





PROCEEDING BOOK

E-ISBN: 978-625-00-8185-3



The 5th International Conference of Materials and Engineering Technology

5. Uluslararası Malzeme ve Mühendislik Teknolojileri Konferansı



13-16 NOVEMBER, 2023 prof. dr. osman turan culture and convention center

TRABZON - TÜRKİYE



CONFERENCE OBJECTIVE

HASAN KALMONCU 415" ----

The 5th International Conference of Materials and Engineering Technology (TICMET'23) will be held on 13-16 November 2023 in partnership with Karadeniz Technical University, Hasan Kalyoncu University, and Gaziantep University.

The main purpose of TICMET'23 is to present the latest research and results of scientists related to materials and engineering technologies. This conference provides different field delegates with opportunities to exchange new ideas and application experiences, build business or research relationships, and find global partners for future collaboration. After this science feast, your abstract/full texts will be published in conference book with ISBNs and will be brought to the world of science literature with open access and significant contributions will be made to the scientific field.

In addition to the valuable speeches of the invited speakers, a special R&D session will be held at the Conference. It is expected that the R&D session will be a very productive session with the participation of academicians, industrialists and students from universities.

The conference organizing committee is pleased to invite prospective authors to send their original texts to TICMET'23. All papers will be reviewed and evaluated by the referees in the field, based on their technical and/or research content depth, accuracy, relevance to the conference, contributions, and readability. Selected papers presented at the conference will be published in conference book as an abstract and then will be proposed for publication in one of the following journals:

- * IEEE Transactions on Engineering Management (SCI)
- * Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences (Sigma) (E-SCI)
- * Acta Mechanica et Automatica (E-SCI)
- * Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies (JSCMT) (TR Dizin)
- * Turkish Journal of Materials (TJOM)
- * Turkish Journal of Electromechanics and Energy (TJOEE)
- * International Journal of Materials and Engineering Technologies (TIJMET) (Dergipark)

(The publication of selected papers in journals is not guaranteed. The extended version of the selected papers recommended to the journals must be submitted to the journal by the corresponding author. Afterwards, the publications will be subjected to an additional refereeing process. No additional fees will be charged by the Journals)





PROGRAM COMMITEES

Honorary Chair

Prof. Dr. Hamdullah Çuvalcı, Karadeniz Technical University – TR

Prof. Dr. Türkay Dereli, Hasan Kalyoncu University - TR

Prof. Dr. Arif Ozaydin, Gaziantep University – TR

Chair

Prof. Dr. Necip Fazıl Yılmaz, Gaziantep University – TR

Organizing Committee

Prof. Dr. Necip Fazıl Yılmaz, Gaziantep University - TR Prof. Dr. Mehmet Lutfi Yola, Hasan Kalyoncu University - TR Prof. Dr. Bülent Öztürk, Karadeniz Technical University – TR Prof. Dr. Sultan Öztürk, Karadeniz Technical University – TR Prof. Dr. Ümit Alver, Karadeniz Technical University – TR Prof. Dr. Ömer Necati Cora, Karadeniz Technical University – TR Assoc. Prof. Dr. Temel Varol, Karadeniz Technical University - TR Assoc. Prof. Dr. Ersin Yener Yazıcı, Karadeniz Technical University - TR Assoc. Prof. Mustafa Ergin ŞAHİN, Recep Tayyip Erdoğan University - TR Assist. Prof. Dr. Kürşat İçin, Karadeniz Technical University – TR Prof. Dr. Khair Jadaan, University of Jordan – JO Prof. Dr. Ahmad Sakhrieh, American University of RAS Al Khaima - UAE Prof. Dr. Metin Bedir, Gaziantep University - TR Prof. Dr. Ali Riza Yildiz, Uludag University - TR Prof. Dr. Mustafa Bakkal, Istanbul Technical University - TR Prof. Dr. Erdem Cüce, Istanbul Technical University - TR Assoc. Prof. Dr. Halil Ibrahim Kurt, Samsun University - TR Assist. Prof. Dr. Erhan Durur, Gaziantep University - TR Dr. Musa Yılmaz, Gaziantep University - TR Lect. Aykut Bilici, Gaziantep University - TR Hakan Yılmaz, Secreteriat – TR Mücahit Doğan, Secreteriat – TR



TÜRKİYE



Prof. Dr. Abdulkadir Eksi, Cukurova University - TR

Prof. Dr. Abdulkadir Cevik, Gaziantep University – TR

- Prof. Dr. Ahmet Erklig, Gaziantep University TR
- Prof. Dr. Ali Gursel, Duzce University TR
- Prof. Dr. Emrah Ozahi, Gaziantep University TR
- Prof. Dr. Enver Atik, Celal Bayar University TR
- Prof. Dr. Erol YILMAZ, Recep Tayyip Erdoğan University, TR
- Prof. Dr. Gençağa Pürçek, Karadeniz Technical University TR
- Prof. Dr. Ismail Saritas, Selcuk University TR
- Prof. Dr. Mehmet Cengiz Kayacan, Süleyman Demirel University TR
- Prof. Dr. Mete Kalyoncu, Konya Technical University TR
- Prof. Dr. Mustafa Bakkal, Istanbul Technical University TR
- Prof. Dr. Mustafa Cigdem, Yildiz Technical University TR
- Prof. Dr. Oguzhan Yilmaz, Gazi University TR
- Prof. Dr. Omer Eyercioglu, Gaziantep University TR
- Prof. Dr. Rahmi Unal, Gazi University TR
- Prof. Dr. Serdar Salman, National Defense University TR
- Prof. Dr. Suleyman Can Kurnaz, Sakarya University TR
- Prof. Dr. Sultan Ozturk, Karadeniz Technical University TR
- Prof. Dr. Ugur Cem Hasar, Gaziantep University TR
- Prof. Dr. Yahya Bozkurt, Marmara University TR
- Prof. Dr. Yasin ALEMDAĞ, Karadeniz Technical University, TR
- Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI, Karadeniz Technical University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Abdulcabbar Yavuz, Gaziantep University TR
- Assoc. Prof. Dr. Kursat Gov, Gaziantep University TR
- Assoc. Prof. Dr. Esin Sarioglu, Gaziantep University TR
- Assist. Prof. Dr. Ali Yasar, Selcuk University TR
- Assist. Prof. Dr. Aziz Baris Basyigit, Kirikkale University TR
- Dr. Engin Ergul, Dokuz Eylul University TR





Scientific Committee (International Committee)

- Prof. Dr. Andrey Tsarkov, Moscow State Technical University RU
- Prof. Dr. Bekir Sami Yilbas, King Fahd University of Petroleum and Minerals SA
- Prof. Dr. Fabienne Delaunois, University Of Mons BE
- Prof. Dr. Hazman Seli, University Of Sains Malaysia MY
- Prof. Dr. Heiba Zein, Ain Shams University EG
- Prof. Dr. Marwan K Khraisheh, Hamad Bin Khalifa University QA
- Prof. Dr. Mohamed Elsayed Yahia, International University of Sarajevo BA
- Prof. Dr. Muammer Koç, Hamad Bin Khalifa University QA
- Prof. Dr. Ramazan Asmatulu, Wichita State University US
- Prof. Dr. Senay Simsek, North Dakota State University US
- Prof. Dr. Tai Cheng Chen, Institute Of Nuclear Energy Research Iner TW
- Prof. Dr. Vincent Ji, University Of Paris Sud FR
- Prof. Dr. Yousef Haik, Hamad Bin Khalifa University Hbku QA
- Prof. Dr. Yusuf Ozturk, San Diego State University US
- Prof. Dr. Zakaria Boumerzoug, University Of Biskra DZ
- Assoc. Prof. Dr. Ahmad Azmin Mohamad, University Of Sains Malaysia MY
- Assoc. Prof. Dr. Katarina Batalovic, Vinca Institute University Of Belgrade RS
- Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin Aydin, UWE Bristol GB
- Assoc. Prof. Dr. Mikhail E Semenov, Tomsk Polytechnic University RU
- Assist. Prof. Dr. Faten Adel Ismael Chaqmaqchee, Koya University IQ
- Assist. Prof. Dr. Sami G Al Ghamdi, Hamad Bin Khalifa University Hbku QA
- Assist. Prof. Dr. Shoukat Alim Khan, Hamad Bin Khalifa University Hbku QA
- Dr. Abdessalem Bouferrouk, University Of The West Of England GB
- Dr. Fahmi Fariq Muhammad, Koya University IQ
- Dr. Mazhar Malik, University Of The West Of England GB
- Dr. Mirza Nadeem Baig, Pakistan Welding Institute PK
- Dr. Mohammad Ghaffar Faraj, Koya University IQ
- Dr. Peter Kay, University Of The West Of England GB
- Dr. Sabir Ghauri, University Of The West Of England GB





Dr. Tugrul Daim is a Professor in the Department of Engineering and Technology Management. He is also the director of the Technology Management Doctoral program at Portland State University. Dr. Daim leads a research group on Technology Evaluations and Research Applications. His group has had more than 20 PhD graduates. He is currently advising more than 15 PhD students. Over 15 visiting scholars from all around the world have joined his group in the last decade. Dr. Daim is recognized worldwide for his research leadership in roadmapping and forecasting technologies. He has published over 200 refereed journal papers, more than 20 special issues and more than 20 books. He made more than 200 conference presentations and gave several keynote lectures. He sits on the board of many academic institutions and industrial organizations.

Awards & Honors

- Honorary Chair Professor title by Chaoyang University of Technology (2019)
- R&D Advisory Board member for TUPRAS (Turkey) (2018)
- Leading Research Fellowship at National Research University Higher School of Economics in Moscow (2018-2020)
- David E Wedge Award for Excellence in Teaching by Portland State University (2017)
- President of Omega Rho, International Honor Society in Operations Research and Management Science (2014 2016)









Invited Speaker PROF. DR. NIMIR ELBASHIR

Texas A&M University

Director, TEES Gas and Fuels Research Center Chair, ORYX Gas-to-Liquid Excellence Program

Nimir Elbashir, Professor, Petroleum Engineering and Chemical Engineering at Qatar.

Educational Background

Ph.D., Chemical Engineering, Auburn University - 2004

- M.S., Chemical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia 1998
- B.S., Chemical Engineering, University of Khartoum 1994

Research Interests

Research responsibilities include:

- Director of Texas A&M Engineering Experiment Station Gas and Fuels Research Center: a major research center that involves 30 faculty members from both the Qatar and College Station campuses of Texas A&M University
- Chair of the ORYX GTL Gas-to-Liquid Technology Excellence Program

Research interests include:

Design of advanced midstream and downstream natural gas processing units including reactors, catalysts and conversion processes to ultra-clean fuels and value-added chemicals

Awards & Honors

- Faculty Excellence Award, Texas A&M University Qatar 2017
- Laboratory Safety Excellence Award, Texas A&M University 2017
- Genesis Research Excellence Award, Texas Engineering Experiment Station 2016
- Distinguished Achievement Award in Teaching College Level, Texas A&M University Association Former Students 2015
- Dean's Leadership Award for Outstanding Service, Texas A&M University 2015





Prior to his appointment as a founding professor of sustainability at HBKU in 2014, Professor Koç held professor, director, chair and dean positions at different universities in Turkey and the USA between 2000-2014. He has a PhD degree in Industrial and Systems Engineering from the Ohio State University (1999) and an Executive MBA degree from the University of Sheffield, UK (2014). He has published 130+ publications in various international journals and conferences; edited three books; organized, chaired, and co-chaired various international conferences, workshops and seminars on design, manufacturing and product development.

In addition to his academic and educational activities, he provides consulting services to industry, government and educational institutes for strategic transformation, business optimization, organizational efficiency, lean operations, restructuring and reengineering initiatives. He has taught courses across a range of subjects, including product/process/business innovation and development; medical design and production; energy and efficiency; computer-aided engineering, design and manufacturing; modern manufacturing technologies; manufacturing system design; material forming plasticity; and the mechanical behavior of materials.





Invited Speaker Prof.Dr. FAHRETTİN ÖZTÜRK

Chairman of the Board of Directors TUSAS Engine Industries Inc. (TEI)

Prof. Dr. Fahrettin Öztürk is the Chairman of the Board of Directors at TAI Motor Sanayii A.Ş., Deputy General Manager at Turkish Aerospace Industries A.Ş. and a faculty member in the Department of Mechanical Engineering at Ankara Yıldırım Beyazıt University.

Professor Öztürk received all of his degrees in Mechanical Engineering and graduated from Konya Selçuk University, Department of Mechanical Engineering in 1992 with the first rank. He then received his M.S. degree from University of Pittsburgh, PA, USA in 1996 and Ph.D. degree from Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA in 2002. During his time in the USA, he worked at the General Electric Research Center for 3 years.

Prior to joining Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Professor Öztürk worked at Rensselaer Polytechnic Institute (RPI), Niğde Ömer Halisdemir University (formerly Niğde University) and Khalifa University (formerly The Petroleum Institute (PI)). Dr. Öztürk's main areas of expertise are Sheet Metal Forming, Materials Processing and Characterization, Lightweight Materials, Thermoplastic Composite Materials, Additive Manufacturing, Friction Stir Welding, and Mechanically Clad Corrosion Resistant Alloy Pipes. He has published numerous Journal Articles, Books, Book Chapters, Conference Papers and also writes columns on various topics. He contributes to the awareness of the society.

Education

- PhD (1996 2002), Mechanical Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA.
- MS (1994 -1996), Mechanical Engineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA.
- Bachelor (1988 1992), Mechanical Engineering, Selcuk University, Konya, TURKEY. (Graduated as the first in his department)





Prof. Bekir Özçelik has received his MSc and PhD degrees from Çukurova University (Adana-Turkey), completing the experimental part of his PhD thesis, related to harmonic and non-harmonic susceptibilities of various magnetic materials as anti-, ferro-magnetic and spin-glasses, at the Kamerlingh Onnes Laboratory (Leiden University- Holland) between 1988 and 1990. He currently holds a position as Professor at Çukurova University.

His research work deals with high-Tc superconductors, thermo-electrics, magnetic materials and nano particle materials. He keeps intensive scientific collaborations with the University of Zaragoza in Spain and the National Institute for Materials Science (NIMS) at Tsukuba-Japan. He has published more than 120 peer reviewed journal articles and 4 problem solution books in Mathematics.





TRABZON - TÜRKIYE



PROGRAM OVERWIEV					
Location: Karadeniz Technical University - Prof. Dr. Osman Turan Culture and Convention Center					
13.11.2023 -					
09:00 - 10:00	Registration	Conference Registration Desk			
10:00 - 11:15	Opening Ceremony	Karadeniz Technical University – Main Hall (Fahri Kuran Hall)			
11:15 - 12:00	Invited Talk	Prof. Dr. Muammer KOÇ			
12:30 - 13:30	Lunch	Γ			
13:45 - 14:30	Invited Speakers Session	Prof. Dr. Fahrettin ÖZTÜRK			
14:30 - 14:45	Coffee Break				
14:45 - 17:00	Session I	Karadeniz Technical University - Hall 1 - Hall 2 - Hall 3 & Hall 4			
18:30	Bus transfer from KORU Hote	l for Dinner			
19:00	Dinner (KTÜ SAHİL Restauran	t)			
21:30	Bus transfer to KORU Hotel				
14.11.2023 -	TUESDAY				
08:45 - 10:15	Session II	Karadeniz Technical University - Hall 1 - Hall 2 - Hall 3 & Hall 4			
10:15 - 10:30	Coffee Break	r 			
10.20 11.45	Invited Cooplars Cassion	Prof.Dr. TUĞRUL DAİM			
10:30 - 11:45	invited speakers session	Prof. Dr. Nimir ELBASHIR			
11:45 – 12:00	Coffee Break				
12:00 - 13:15	Session III	Karadeniz Technical University - Hall 1 - Hall 2 - Hall 3 & Hall 4			
13:15 - 14:30	Lunch				
15:00	TRABZON CITY TOUR (Free)				
18:30	Dinner (Akçabat Municipality)				
20:00 Bus transfer to KORU Hotel					
15.11.2023 -	WEDNESDAY				
08:45 - 10:15	Session IV	Karadeniz Technical University - Hall 1 - Hall 2 - Hall 3 & Hall 4			
10:15 - 10:30	Coffee Break				
10:30 - 11:15	Invited Speakers Session	Prof. Dr. Bekir ÖZTEKİN			
11:15 - 11:30	Coffee Break				
11:30 - 13:00	Session V	Karadeniz Technical University - Hall 1 - Hall 2 - Hall 3 & Hall 4			
13:00 - 14:00	Lunch				
14:00	Bus transfer to SUMELA Mon	astery (Free)			
17:00	Bus transfer from SUMELA M	onastery			
18:30	Dinner (SERA LAKE Restauran	t)			
20:00	Bus transfer to KORU Hotel				
16.11.2023 - THURSDAY					
08:00-22:00	BATUM Tour (Paid)*				
10:00-18:00	UZUNGÖL Tour (Paid)*				
 * The tour options are with a fee, and only one tour can be chosen. * The registration for the tours and fee payment should be processed in the first day of conference (November 13, 2023) preferably during the registration. *The fee includes only transportation and guided services. Expenses such as the international exit fee, meals, and personal expenses are not included in the fee. Note: Turkish residents need to present either their passports or new ID cards (with photo) for Batum tour. There is an additional "Travel Abroad Fee" of 150 TL which should be paid when leaving Sarp Border Gate. 					





CONTENTS

MAGNESIUM-INCORPORATED P	OLYMER FILA	MENTS f	or POTENTIAL	USE in H	BONE
IMPLANTS					
SUMAMA NUTHANA KALVA, MUA	AMMER KOÇ				1
CONTROLLING ELECTRON	MOVEMENT	WITH	MAGNETIC	FIELD	IN
ELECTROSPINNING METHOD					
A. ÖZGÜR POLAT, S. ALPEREN Ç	CELTEK, MUSTA	FA TEKB	AŞ, EMRE KAÇ	CMAZ, GA	AMZE
KARANFİL KAÇMAZ					8
OPTIMIZATION OF BLDC TRACT	TION MOTOR PA	ARAMETI	ERS IN ELECTR	RIC VEHI	CLES
WITH WHALE OPTIMIZATION A	LGORITHM				
MURAT TOREN, HAKKI MOLLAHA	ASANOGLU				9
THE EFFECT OF NANOPAR'	FICLE FLUID	COOLE	RS ON THE	LIFE	AND
PERFORMANCE OF DISTRIBUTIO	ON TYPE TRAN	SFORME	RS		
MURAT TOREN, HAKKI MOLLAHA	ASANOGLU				10
AL 5182 SERISI SACLARIN	DP800 SERIS	SI SACL	ARLA CMT	METODI	J YLA
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNC	CELENMESİ				
UFUK ÖZTÜRK, CİHAN YAKUPOĞ	LU, İBRAHİM A	CAR, FAR	UK VAROL		20
INTERCALATION REACTION	ON LITHIUM-	ION BAT	TERY: EFFEC	T ON	CELL
CHARACTERISTICS					
THEODORE AZEMTSOP MANFO, M	IUSTAFA ERGİN	N ŞAHİN			21
RAMAN CHARACTERIZATION C)F SILVER-DOI	PED TANI	ALUM-TUNGS	TEN NIT	RIDE
STRUCTURE GROWN ON MICE	ROSCOPE SLID	E SUBST	RATE UTILIZI	NG THE	PVD
TECHNIQUE					
TAHA CAGRI SENOCAK					22
PASLANMAZ ÇELİK CIVATALAR	RIN KOROZYON	N DİRENÇ	LERININ INCE	LENMES	İ
DOĞUŞ ZEREN, M. BURAK TOPAR	LI, SAMED ENS	ER, UMUT	T İNCE		27





FARKLI KİLİTLEME KİMYASALI VE SIKMALI SOMUN KULLANILAN MONTAJ KOŞULLARINDA GEVŞEME DİRENCİNİN İNCELENMESİ BAYBARS SARICA, TOLGA AYDIN, SAMED ENSER, M. BURAK TOPARLI, UMUT INCE 35 COMPARISON OF TENSILE PROPERTIES OF SINGLE AND PLIED POLYPROPYLENE FRIEZE YARNS CEMİLE EMEL YAZ, GÜLBİN FİDAN 36 FARKLI ATKI SIKLIĞINDAKİ POLYESTER HAVLI HALILARDA STATİK YÜKLEME SONRASINDA REZILYANS PERFORMANSININ İNCELENMESİ GÜLBİN FİDAN, BETÜL TURAN 41 ENERGY MANAGEMENT STRATEGY BASED ON A ROBUST FREQUENCY-DECOUPLING AND **OPTIMIZATION** PARTICLE SWARM FOR **BATTERY/SUPERCAPACITOR ELECTRIC VEHICLES** KHOUDIR KAKOUCHE, MUSTAFA ERGİN SAHİN, AZEMTSOP MANFO THEODORE, HARTANI MOHAMED AMINE, DJAMILA REKIOUA, TOUFIK REKIOUA 42 İNFRARED IŞINLAR İLE ERGİTİLEN ORGANİK VE İNORGANİK MADDELERİN ISIL ENERJİ DEPOLAMADA KULLANIMI ALİ KEMAL ÖZCAN, ÖMER ÖKSÜZ, CEVDET DEMİRTAŞ 43 MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF DISSIMILAR \$235 AND **S32205 STEEL SHEETS AFTER TIG WELDING** AZİZ BARIŞ BAŞYİĞİT, ALİ GÜL, HALİL İBRAHİM KURT 44 LATERAL BUCKLING INVESTIGATION ON REINFORCED EPP FOAM WITH CARBON/EPOXY LAMINATES FOR UAV USAGE EYÜP YETER, BURAK ŞAHİN, MURAT KALAK, KÜRSAD GÖV 45 COMPARATIVE MECHANICAL INVESTIGATION ON UAV WINGS REINFORCED WITH **EPP FOAM AND CARBON/EPOXY LAMINATES** EYÜP YETER, MURAT KALAK, MUSTAFA VARKİ 52 **INVESTIGATING OF PROCESS PARAMETERS IN ROTARY SWAGING** MUSTAFA BAKKAL, UMUT KARAGÜZEL, ALİ TANER KUZU, HASAN AYTUĞ KURT, HASAN ÇAKIR 59 ii



ZAKARIA BOUMERZOUG, PAWEL STRZEPEK, ANDRZEJ MAMALA, THIERRY BAUDIN, FRANCOIS BRISSET, MALGORZATA ZASADZIŃSKA, PIOTR NOGA 119





OPTIMIZATION OF SPECIFIC COMPRESSION STRENGTH OF ABS SAMPLES PRODUCED WITH FDM BY TAGUCHI METHOD OĞUZ TUNÇEL 120

13-16 NOVEMBER, 2023

FARKLI KAPLAMA YÖNTEMLERİYLE YÜZEYİ CUO NANOPARTİKÜLLERLE MODİFİYE EDİLMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK PARÇALARIN YÜZEY VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ GİZEM KARABULUT, NURAY BEKÖZ ÜLLEN 130

METAL ESASLI NANOYAPILARLA KAPLANMIŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK YÜZEYİNİN KAPLAMA MORFOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ GİZEM KARABULUT, NURAY BEKÖZ ÜLLEN 139

HOMOJENİZASYON VE YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMLERİNİN AI-40Zn-3Cu Alaşımının mekanik özelliklerine etkisi

MUHAMMET UZUN, SADUN KARABIYIK, YASİN ALEMDAĞ	147
---	-----

GROWTH OF COMPOSITE COATINGS ON AL2024 ALLOY BY MICRO ARC OXIDATION MAO METHOD

AYSU KILIÇ, BÜLENT ÖZTÜRK, SÜLEYMAN ŞÜKÜROĞLU, EBRU EMİNE ŞÜKÜROĞLU 156

DISCOVERY THE STRATEGY ON ENHANCEMENT OF CARBON QUANTUM DOTS CONDUCTIVITY AS POTENTIAL FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE DEVELOPMENT

HARIVALAGAN SIVA KUMAR, SITI AISYAH SHAMSUDIN

EFFECTS OF SILVER SOURCE SOLUTION MOLARITY ON THE ELECTROLESS SILVER COATING OF RECYCLED TI-GRADE 4 PARTICLES TEMEL VAROL, SERHATCAN BERK AKÇAY, ÜMİT ALVER, MURAT BEDER 164

RAPID TOOL MANUFACTURING FOR LOW PRESSURE INJECTION MOLDING USING DLP 3D PRINTING: A CASE STUDY

ÖMER EYERCİOĞLU, DIMA BABI

173

163

EFFECT OF CARBON FIBER ADDITIVE ON TENSILE PROPERTIES OF LARGE SCALE ADDITIVE MANUFACTURED (LSAM) ABS SINGLE WALL PARTS OMER EYERCIOGLU, ENGIN TEK, MEHMET ALI AKELOGLU, MEHMET ALADAG 181



INVERSITY OF SHARE

OPTIMAL ENRGY MANAGEMENT SYSTEM IN A GRID-CONNECTED REM	NEWABLE
HYBRID SYSTEM WITH DIRECT POWER CONTROL	
FATIMA MENZRI, TAREK BOUTABBA, MUSTAFA ERGİN ŞAHİN	182
TWO DIFFERENT TYPES OF SENSORLESS CONTROL APPLIED TO THRE	EE PHASE
PWM RECTIFIER	
AHMANE ANISSA, MUSTAFA ERGIN ŞAHIN, SAKRİDJAMEL, GOLEA NOUREDD	DINE 183
COMPRESSION BEHAVIOR OF ABS/EVA POLYMER BLEND AT DIFFEREN	T STRAIN
RATES	
SELAHATTİN BUDAK, HAMDİ KULEYİN, RECEP GÜMRÜK	197
EXPENDABLE MOLD MANUFACTURING FOR INJECTION MOLDING – A CA	SE STUDY
OF A HYBRID ADDITIVE MANUFACTURING	
OMER EYERCIOGLU, DIMA BABI, AHMET ABRA, YUNUS EMRE ÇİMEN	198
COMPARISON OF RELATIVE FIXATION AND ACTIVE PUNCH ADJUST	MENT OF
MULTI-POINT FORMING FOR 3D FREE-FORM PART	
MAHMUT TANDOGAN, OMER EYERCIOGLU	207
SULU KESIM ILE LAZER KESIMIN YÜZEY KALITESI ÜZERINDEKI	ETKI: SU
GÜDÜMLÜ LAZER BAŞLIĞI TASARIMI VE UYGULAMASI	
HAKAN ÇANDAR, MUHAMMED PAKSOY, NECİP FAZIL YILMAZ, MAHMUT	FURKAN
KALKAN	208
CONVERSION AND AUTOMATION OF AN IDLE LATHE INTO FRICTION	WELDING
EXPERIMENTAL SYSTEM	
HAKAN ÇANDAR, SADIK OLGUNER, AHMET ABRA, YUNUS EMRE ÇİMEN	218
IMPROVEMENT OF THE INTERNAL SURFACES OF INFANTRY RIFLE BARR	ELS WITH
ELECTROLYTIC HARD CHROME PLATING	
UĞUR TEMEL YILDIZ, TEMEL VAROL, SERHATCAN BERK AKÇAY,	GENÇAĞA
PÜRÇEK	219
KOMPOZİT MALZEME YAZABİLEN YENİ BİR 3B YAZICI TASARIMI, F	PROTOTIP
ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ	
MUSA YILMAZ, ALİ KILIÇ, NECİP FAZIL YIMAZ	220



G	TICONE TRABER	12
	B4C TAKVIYELI ALUMINYUM METAL MATRISLERIN MIKROYAPIS	INDA
	SEGMENTASYON CALISMASI	
	NECİP FAZIL YILMAZ, MAHMUT FURKAN KALKAN, ABDULCABBAR YAVUZ	253
	FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİNİN GÜNCEL DURUMU VE KAPSA	AMLI
	DEĞERLENDİRMESİ	
	HASAN MİTHAT DELİBAŞ, NECİP FAZIL YILMAZ	260
	A RESEARCH ON Z-SHAPE BEVELOID GEAR; PROPERTIES AND MANUFACTU	RING
	METHODS	
	OMER EYERCIOGLU, OMER AKIN	275
	AN ASSESSMENT AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF AN ACTUAL POWER PI IN THE FRAME OF A TRI-GENERATION CONCEPT	LANT
	EMRAH ÖZAHİ	276
	THE EFFECT OF TI ON MICROSTRUCTURAL AND HYDROGEN STOR PROPERTIES OF MG2NI ALLOYS	RAGE
	SEFA EMRE SUNBUL, KURSAT ICIN	277
	INVESTIGATION OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF NACA AIRFOILWITH BACKWARD COUNTER-ROTATING TRIANGULAR TYPE VOR GENERATORS	0012 RTEX
	FURKAN ERMAN KAN, MEHMET SEYHAN	278
	A COMPARATIVE STUDY OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS ON PREDIC DELAMINATION IN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) DRILL PROCESS	TING LING
	AMMAR TARIK DİNÇER, UMUT KARAGÜZEL, MUSTAFA BAKKAL	286
	OPTIMIZATION OF ENGINEERING PROBLEMS USING ENHANCED ARTIFIC	CIAL
	ERHAN DÜZGÜN, ERDEM ACAR, ALİ RIZA YILDIZ	298
	ATIMLI AKIŞTA MANYETİK ALANIN ETKİSİ	
	ABDULLAH ALPEREN OKUMUŞ, CEMALETTİN AYGÜN, MEHMET BAŞOĞLU	299

13-16 NOVEMBER, 2023





DESIGN and CONTROL of NONISOLATED DC-DC MODULAR MULTII	LEVEL
CONVERTER for INTERCONNECTION of HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT GE	RIDS
ABDURRAHİM ERAT, AHMET METE VURAL	314
AN APPROACH FOR DETERMINING THE OPTIMUM LASER POWER AND SCAN	NNING
SPEED IN THE SLM PROCESS OF NICKEL-PLATED WC POWDERS	
TEVFİK OĞUZHAN ERGÜDER, ONUR GÜLER, FATİH YILDIZ	321
SELECTIVE LASER MELTING OF CoCrFeMnNi HIGH ENTROPY ALLOY: EFFE	CT OF
LASER POWER AND SCANNING SPEED	
CANER BULUT, TEMEL VAROL, TEVFİK OĞUZHAN ERGÜDER, FATİH YILDIZ	331
THE IMPACT OF GLASS POWDER ON SURFACE AND MORPHOLOGICAL PROPE	RTIES
OF ALUMIX 431 ALLOY	
AYŞE NUR ACAR, DOĞAN KAYA, ABDUL KADIR EKŞİ, AHMET EKİCİBİL	345
STUDY ON TOPOLOGY OPTIMIZATION OF SCRAPER CONVEYOR CHAIN	
HAMIT TÜRKMEN, MELIH GAZI KIRPIK, TUGRUL SAPMAZ, FETHIYE YALÇIN	346
WRONG WAY DRIVING: ACCIDENT STUDY IN JORDAN	
BUSHRA AL AYYAN, KHAIR JADAAN, MAHMOUD ALBATTAH, MAJED MSALLAM	347
HOW OPTIMISTIC ARE CONSUMERS' EXPECTATIONS ABOUT THE ECONOM	MY? A
RESEARCH ON EUROPEAN UNION MEMBER AND CANDIDATE COUNTRIES	
ÖZGE VAR, ALPTEKİN DURMUŞOĞLU, TÜRKAY DERELİ	361
IMPACT OF INDUSTRIE 4.0 ON THE TRANSPORT SECTOR	
KHAIR JADAAN, LUMA ALMAWAJDEH, MARAH ALRASHDAN, RAJAA ALAWADI	369
EFFECT OF GEOMETRY AND MATERIAL OF ELECTRODE IN ELECTI	RICAL
DISCHARGE DRILLING OF TUNGSTEN CARBIDE	
ABDULLAH GAZİ FIRAT, ALİ TOLGA BOZDANA	376
THE ROLE OF INK RHEOLOGY AND PRINTING PARAMETERS IN CONTROLLING	G THE
RESOLUTION AND ACCURACY OF DIRECT INK WRITING 3D PRINTING	
FAWAD ALI, MUAMMER KOC	377

		KARADENIZ TERNIK ONVERSITESI TERNIK ONVERSITESI TERNIKON UNIVERSIT	13-16 NOVEN KARADENIZ TECHN PROF. DR. OSMAN TURAN CULTU TRABZON	IBER, 2023 ICAL UNIVERSITY REAND CONVENTION CENTER TÜRKIYE	TIC	ME	T'23
I	NFLUENCE of A	NNEALING	TIME on 1%	Fe DOPED	ZnO FILMS I	PRODUC	ED by
τ	ULTRASONIC SPR	RAY PYROL	YSIS				
Ι	DAMLA DILARA Ç	CAKIL, MI	ERYEM POLAT	GÖNÜLLÜ,	CEMIL ÇETINI	KAYA,	ÖMER
Ş	SAHIN						384
I	DEPREM FAY HAT	FLARINDA I	PETROL VE DO	ĞAL GAZ BC)RU ŞEBEKELI	ERININ A	KILLI
S	SISTEM ILE GERI	LME SEVİY	ELERİNİN İZL	ENMESİ			
A	AHMET YETİK, SE	YİT ALİ KAF	RA, CEVAT ÖZA	RPA			385
I	EXAMINING NEC	K GROWTH	I CHANGES IN	3D-PRINTED	ULTEM 1010	MATERI	AL AT
V	VARIOUS HEAT T	REATMENT	TEMPERATU	RES			
S	SUAT ÖNAL, NECI	P FAZIL YILI	MAZ				392
A	AC MOTOR SELE	CTION IN IN	DUSTRIAL AP	PLICATIONS	; A CASE STUI	DY	
Ν	MEHMET ERKAN H	KÜTÜK, SAD	ETTİN KAPUCU	J			398
Y	YÜKSEK HIZLI İ	INSANSIZ H	IAVA ARAÇLA	ARI IÇIN NA	CA 0012 VE I	KFM-4 ŀ	KANAT
I	PROFILLERININ I	KARŞILAŞT	IRILMASI				
Ν	MUKTEDİR GÖZÜN	M, CEVAT Ö	ZARPA				399
I	BİYOMİMETİK YI	ILANSI ROB	OTLARIN TAS	ARIM KRİTE	RLERİ		
Ν	MURAT GÖKMEN,	CEVAT ÖZA	ARPA				400
I	PRELIMINARY F	INDINGS O	F THE ERA-N	AIN 2 PROJ	ECT (ELIMINA	ATE) ON	N THE
Ν	MANAGEMENT A	ND TREATN	AENT OF END-	OF-LIFE LIT	HIUM-ION BAT	TERIES	(LIBS)
F	ERSIN YENER YAZ	ZICI, H. DEV	ECI, C. DORFLI	NG, R. F. VAN	N SCHALKWYK	, E. EMII	LSSON,
A	A. WU, M. PETRAN	IKOVA, E. E	KEN TORUNOO	LU, E. CUHAI	DAR, C. EYUPO	GLU	409
Ι	FABRICATION C	OF COATE	D GRAPHITE	WIRE FOR	R FLEXIBLE	ELECT	RONIC
A	APPLICATION						
Ν	METIN BEDIR, HUS	SEYIN FAAL	, ABDULCABBA	AR YAVUZ			410
I	NDIUM OXIDE C	OATED FLE	XIBLE ELECT	RODE CYCLI	NG IN AN IONI	IC LIQUI	D
I	ABDULCABBAR Y	AVUZ					411

13-16 NOVEMBER, 2023



HISAN KANDONCU (15" pure California University



SYNTHESIS AND F	PHOTOCATALYTIC D	EGRADATIO	N CAPABILIT	Y OF DI	STINCT ZNO	
MORPHOLOGIES						
DERYA KAPUSUZ YAVUZ, MUHAMMED EL ACCEN, METIN BEDIR						
EXPERIMENTAL	VERIFICATION OF L	OW PRESSU	IRE KINETICS	5 MODE	L FOR THE	
DIRECT SYNTHES	SIS OF DIMETHYL CA	RBONATE O	VER CEO2 CA	TALYST	ſ	
AMIRA ABDELBAH	R, IBRAHIM G, HA CHO	UDHURY, CH	HALLIWALA, E	LBASHI	R NIMIR 413	
EVALUATING SE	VERAL PATHWAYS	FOR SUSTA	AINABLE AVI	ATION	FUELS SAF	
PRODUCTION VIA	A GAS TO LIQUID GTL	PROCESS R	ETROFITTIN	G A STE	P TOWARDS	
INTEGRATING RE	ENEWABLE ENERGY A	AND CCU PR	OCESSES			
YASMIN ABDELKE	ERIM, MOHAMED S CH	ALLIWALA, 1	NIMIR O ELBA	SHIR	415	
AL 6016 SERISI SA	ACLAR ILE AL 5182 S	ERISI SACLA	ARIN CMT ME	ETODUN	DA FARKLI	
KAYNAK AKIMLA	ARI ILE BIRLESTIRILI	EBILIRLIGIN	IN INCELENN	IESI		
UFUK OZTURK, Cİ	HAN YAKUPOGLU, IBI	RAHİM ACAR	, FARUK VARO	DL	417	
FOTOVOLTAIK	TEKNOLOJISININ	GUNCEL	DURUMU	VE	KAPSAMLI	
DEGERLENDIRM	ESI					
NECIP FAZIL YILM	IAZ, HASAN MITHAT D	DELIBAS			418	
STRENGTHENING	G AL 2024 ALLOY VIA	EQUAL CHA	ANNEL ANGUI	LAR PR	ESSING AND	
SUBSEQUENT AG	ING					
MUHAMMET DEM	MİRTAS, HARUN YAN	NAR, MUHA	MMET UZUN,	MELİH	H USTALAR,	
GENCAGA PURCE	K				419	
CUAL10FE3MN AI	LUMINYUM BRONZUN	NUN FARKLI	ELEKTRIKSE	L AKIM	ALTINDAKI	
TRIBOLOJIK DAV	RANISININ INCELEN	MESI				
HARUN YANAR					420	
ELECTROLESS DI	EPOSITION OF SILVE	R ON ACRYL	ONITRILE BU	TADIEN	IE STYRENE	
MICROSTRUCTU	RAL AND THERMAL B	EVALUATION	N			
SERHATCAN BERK	K AKCAY, KUTAY CAV	A, MUSTAFA	ASLAN, TEME	EL VARO	DL 421	
SIZE EFFECT FOR	R GRAPHENE A REVIE	2W				
OMER NECATI CO	RA, HAJI ABDULLAYE	V			422	



HASAN KANDONCU 15" KARADENIZ UNIVERSITY 15" KARADENIZ UNIVERSITY



MUHENDISLIKTE YAYGIN OLARAK KULLANILAN BAZI METALIK MALZEMELERIN KATI PARCACIK EROZYON DAVRANISININ INCELENMESI ALİ IHSAN BUDUR, HASAN GEDİKLİ 423

EFFECT OF LASER SURFACE TEXTURING ON THE TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE MATERIALS TUFAN CAVRAR, RADKA BICISTOVA, TOMAS PRIMUS, PETR HAUSCHWITZ, JAN BRAJER 424

THE EFFECT OF DIFFERENT PRE TREATMENT APPLICATIONS ON SURFACE FREE ENERGY AND WETTABILITY OF GLASS FIBER REINFORCED POLYAMIDE COMPOSITE

MUSTAFA ASLAN, MERVE OZTURK, MUCAHİT KOCAMAN, KUTAY CAVA, HAMDULLAH CUVALCİ 425

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE FORCE DEFORMATION PROPERTIES OF PURE COPPER SAMPLES PRODUCED BY INDUCTION SYSTEM

ALPER MUTLU, MUSTAFA MURAT YAVUZ, UGUR CAVDAR 426

PREPARATION OF NI B GRAPHENE COATINGS WITH ELECTROLESS DEPOSITION TECHNIQUE

SUMRAN BİLGİN, SAMET TOPAL, YUNUS EMRE USTA, MUHAMMET SADRİ BAYRAK, MUSTAFA BAYRAM, UMİT ALVER 427

CAM ELYAF TAKVIYELI NANO KOMPOZIT MALZEMELERIN DELME PARAMETRELERININ VIKOR YONTEMIYLE OPTIMIZASYONU YUSUF FEDAİ 428

ENHANCED LIGHTWEIGHT DESIGN OF ORTHOPEDIC BONE PLATES THROUGHTOPOLOGY OPTIMIZATION AND ADDITIVE MANUFACTURINGDURMUS ALİ BİRCAN, ABDUL KADİR EKSİ429

APPLICATION OF ARTEFICIAL INTELLIGENCE AI TO TRAFFIC NOISE PREDICTION UNDER JORDANIAN CONDITIONS

KHAİR JADAAN, BRAA ALZAHARNEH, MAİS SLİEHAT, DANİA ALAMEH, DİMA HAMMODEH 430





SOLID PARTICLE EROSION PERFORMANCE OF DRONE PROPELLER MATERIALS DOGAN ACAR, DURSUN MERIC, HASAN GEDİKLİ, ANDREAS SCHULZ, OMER NECATİ CORA 431 **DEFORMATION PERFORMANCE MONITORING IN ROTARY SWAGING USING IMAGE** PROCESSING HASAN AYTUG KURT 432 DIJITAL DONUSUMUN METAL ISLEME SEKTORUNDEKI ISLETMELER UZERINE **ETKILERI** AYKUT BİLİCİ 433 SCHEDULING OF UROLOGICAL SURGERY OPERATIONS SERAP ULUSAM SECKINER, ILKER SECKINER 434 **INVESTIGATION OF** LEAN PRODUCTION SUITABILITY OF **COSMETICS** MANUFACTURERS OPERATING IN THE GAZIANTEP REGION MIHRIBAN NALCI. SULEYMAN METE 435 **IMPACT OF INDUSTRIE 40 ON THE TRANSPORT SECTOR** KHAIR JADAAN. LUMA ALMAWAJDEH. MARAH ALRASHDAN. RAJAA ALAWADI 436 **COMPARATIVE SURFACE FINISHING ON TI 6AL 4V BY AFM VS GOV PROCESSES** EYUP YETER, MURAT KALAK, IBRAHIM GOV, KURSAD GOV 437 **INVESTIGATION OF THE MICROHARDNESS BEHAVIOUR OF INCONEL 718 BY FLOW** PEENING GOV PROCESS EYUP YETER, MURAT KALAK, MEHMET HANIFI DOGRU, KURSAD GOV 438 SURFACE TREATMENT OF TI 6AL 4V USING CONVENTIONAL AND ULTRASONIC **DEEP COLD ROLLING PROCESSES** ALI TOLGA BOZDANA 439 THE MODE II INTERLAMINAR CRACK MIGRATION AND R CURVE BEHAVIOUR OF CARBON EPOXY LAMINATES WITH THE HYBRID USE OF CORE SHELL RUBBER PARTICLES AND NON WOVEN THERMOPLASTIC VEILS MEHMET CAGATAY AKBOLAT, KALI BABU KATNAM, PRASAD POTLURI 440





VACUUM ASSISTED 3W TECHNIQUE FOR MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY IN MAGNETRON SPUTTERED BI SE TE THIN FILMS GIZEM DURAK YUZUAK, NUR EFSAN YILMAZ, ERCUMENT YUZUAK 441

13-16 NOVEMBER, 2023

NADIR TOPRAK ELEMENTI ICEREN YUKSEK ENTROPILI OKSITLERIN KENDILIGINDEN YANMA SENTEZI ILE URETIMI

KURSAT ICIN, SEFA EMRE SUNBUL

ELYAF CESITLERININ FREN BALATASI SURTUNME MALZEMELERININ FIZIKSEL OZELLIKLERI UZERINE ETKISI

BUSE YUKSEL YAHSI, ONUR OZCAN

443

442

ISIL ENERJI DEPOLA SISTEMLERINDE KULLANILMAK UZERE URETILEN KOMPOZIT MALZEMELERININ ISIL ILETKENLIKLERININ ARTTIRILMASININ INCELENMESI

SECIL SARI, GOKHAN HEKIMOGLU, KAMIL KAYGUSUZ, AHMET SARI, SEDAT KELES 444

ISIL ENERJI DEPOLAMA SISTEMLERI ICIN FAZ DEGISTIREN MADDELER VE KARBON TABANLI MALZEMELERDEN YARARLANARAK KOMPOZIT MALZEMELERIN SENTEZI VE ISIL OZELLIKLERININ BELIRLENMESI SECIL SARI, GOKHAN HEKIMOGLU, KAMIL KAYGUSUZ, AHMET SARI, SEDAT KELES 445

THEORETICAL VERIFICATION OF EXPERIMENTALLY PRODUCED COBALT DOPED MAGNETITE NANOPARTICLES WITH ADDITION OF BORON OXIDE KEVSER TOPAL 446

STRONSIYUM HEKZAFERRITLERE ALUMINYUM IKAMESININ MANYETIK OZELLIKLER UZERINDEKI ETKISI KURSAT ICIN, SUAT ONAL, METIN GOBULUK, SULTAN OZTURK 447

STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF BORIDED 2842 STEEL THE EFFECT OF BORIDING TIME

HASAN ONUR TAN, SELCUK ATASOY, SITKI AKTAS 448





THE EFFECT OF STOICHIOMETRY ON RE SRALXOY PHOSPHORESCENCEPRODUCED BY SOLUTION COMBUSTION SYNTHESISMERVE TURKMEN, RASIT SEZER449

13-16 NOVEMBER, 2023

TÜRKİYE

HIGH STRENGTH BULK STEELS FOR HIGH TEMPERATURE STRUCTURAL APPLICATIONS PRODUCED BY MECHANICAL ALLOYING IN COMBINATION WITH HOT EQUAL CHANNEL ANGULAR EXTRUSION

HASAN KOTAN, KRIS DARLING

HASAN KANDONCU 15" KARADENIZ UNIVERSITY 15" KARADENIZ UNIVERSITY

450

THE SYNTHESIS OF POLYANILINE BY CHEMICAL POLYMERIZATION METHODSUMRAN BILGIN, SEDA DERICI, KURSAT ICIN, UMIT ALVER, MUSTAFA ASLAN451

SUSTAINABLE AND BIODEGRADABLE NONWOVEN FABRICS USING BIOBINDERS TULIN KAYA NACARKAHYA, ESIN SARIOGLU, SEYMA SATIL 452

INVESTIGATION OF EFFECT OF DRAW FRAME PASSAGES ON OPEN END YARN QUALITY ALI OSMAN HAN, HALIL IBRAHIM CELIK, GOKHAN TANDOGAN 453

DEVELOPMENT AND CRITICAL DESIGN OF MAGNETIC TORQUE ROD FOR LEO SATELLITES

HAVA CAN, UGUR TOPAL

454

CEVRESEL SICAKLIGIN FLUXGATE SENSOR PERFORMANSI UZERINE ETKILERI HAVA CAN 455s



MAGNESIUM-INCORPORATED POLYMER FILAMENTS for POTENTIAL USE in BONE IMPLANTS

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER TRABZON - TÜRKIYE

SUMAMA NUTHANA KALVA¹, MUAMMER KOÇ¹

¹Division of Sustainable Development, College of Science and Engineering, Hamad Bin Khalifa University, Qatar Foundation, Doha P.O. Box 34110, Qatar

Abstract

Magnesium (Mg) is appropriate for bone tissue engineering applications because it exhibits mechanical properties like bones, is biocompatible, and is biodegradable. This study's main objective is to examine the viability of using Mg-loaded polymer composites as filament feedstock for 3D printing using fused deposition modeling (FDM). Three polymer-magnesium mixtures were created as filaments by a synthetic process, and test samples were printed using an FDM 3D printer. The impact of magnesium incorporation on the thermal, physicochemical, and printability characteristics of the filament is assessed. SEM analysis of the films shows that the distribution of the Mg particles is uniform throughout all compositions. The FTIR measurements reveal that the polymers and Mg particles underwent no chemical reaction. The cross-sectional images of the filament show that the Mg particle distribution is homogeneous with up to a 15% Mg concentration. Additionally, it has been established that an uneven distribution and increased porosity impact the Mg particles' printability. The 5 and 10% Mg composite filaments that were printable overall have the potential to be used as composite biomaterials for 3D-printed bone implants.

Keywords: 3D Printing, Magnesium, Composite, PLA, Bone implants.

1. Introduction

The ability to precisely and adaptably generate intricate three-dimensional structures that closely match the natural architecture of bone has revolutionized bone tissue engineering. [1]. As a substitute for natural bones, implants should be as similar to bone as feasible in terms of strength, hardness, chemical composition, rate of deterioration, biocompatibility in the physiological environment, etc [2,3]. Due to its outstanding mechanical and biological properties, the 3D printing material polylactic acid (PLA), which is one of several available options, is commonly used in tissue engineering applications [4]. However, because PLA needs more tensile strength and toughness necessary for load-bearing bones, it could not be sufficient on its own for bone tissue engineering applications [5]. In contrast, magnesium (Mg) is a biodegradable and bioactive metal that has shown promise as a bone substitute due to its mechanical properties and ability to encourage bone regeneration [6,7]. A composite material that can be 3D printed could be created by combining the mechanical strength and biodegradability of PLA with the bone-stimulating properties of Mg [8,9].





Even though several preparation techniques have been employed in previous PLA/Mg composite 3D printing studies [10,11]. Using a simple solvent evaporation technique, we try to successfully make FDM filaments in this post. Four PLA + Mg compositions were developed, examined, and then used to print test samples on a cheap FDM 3D printer to gauge the effectiveness of the process.

2. Material and methods

2.1. Materials

Polylactic acid (PLA) pellets were bought from Goodfellow Cambridge Limited (England). Nanografi Nanotechnology delivered Mg alloy (WE43, purity 99.95 percent) powder with a typical diameter of 35 to 50 m. (Turkiye). The PLA solvent used was chloroform, which was provided by VWR Chemicals in Germany.

2.2. Composite Films preparation and characterization

The composite films were made using the solvent evaporation process. To reach a concentration of 125 g/l, chloroform was combined with PLA pellets and various amounts of Mg alloy powder (5 weight percent, 10 weight percent, and 15 weight percent). After that, the mixture was mechanically stirred at 400 rpm for 24 hours. The solution was then allowed to dry for a further 24 hours at room temperature before being peeled off. After evaporating the chloroform, the PLA/Mg composites were taken out for characterization.

A field emission scanning electron microscope was utilized to examine the surface morphology of the composite films (FEI Quanta650FEG is used for imaging). To reveal a uniform surface, the filament cross-section was polished using fine grit sandpaper. This was done to assess the degree to which Mg particles were absorbed into the PLA matrix. The thermogravimetric analysis was used to evaluate the PLA/Mg composites' thermal stability (TA SDT 650). The melting point, decomposition temperature, and remaining mass % at 500 °C were determined using the testing curves. Using an X-ray diffractometer, the composites' crystal structures were determined (XRD). Using a Fourier transform infrared spectrometer, the functional groups of PLA/Mg composites were discovered (FTIR).

2.3 Filament Extrusion and 3DP

PLA/WE43 composites of various concentrations, previously produced as films, were shred into uniform-sized squares for use as feedstock in the extruder. A Filabot EX2 device was the most sophisticated filament extruder available. The extruded filament was then cut into small, uniform pieces and put back into the extruder to achieve consistency and uniformity in the distribution of Mg particles. A commercial FDM 3D printer employed the PLA-Mg composite filaments (SOVOL-SV02 by SHENZHEN Lian Dian Chuang Technology LTD). The printing temperature was set at 180 °C, the printer bed temperature was retained at 60 °C, and the printing speed was maintained at 50 mm/s.

3. Results and Discussions

3.1. Composite film characterization

The distribution of WE43 magnesium particles in the results was uniform, indicating that the magnesium particles had been well mixed with the PLA matrix (Figure 1). This shows that the mixing technique may be used to create high-quality polymer/metal composite filaments, enabling



perfect 3D printing. The films' rough surface results from the incorporation of more magnesium, which causes the particle-simulated nucleation (PSN) phenomena to produce grain-shaped characteristics [12–14]. EDS mapping images demonstrate that as WE43 concentrations rise, the amount of uniformly distributed magnesium particles on the surface also rises. The increase in WE43 content is confirmed by the linear connection in EDS images.



Figure 1. A. SEM images of the composite films. The figure shows the SEM images of the various compositions of Mg/PLA composite films developed at different magnification levels. B. EDS mapping showing the magnesium particles

The XRD spectra of the PLA and Mg-incorporated samples showed observable peaks in the Mg alloy at $2\Theta = 32^{\circ}$, 34° , and 36° as the Mg concentration increased (Figure 2-A). The semicrystalline structure of pure PLA was visible, while samples with Mg loading showed less prominent peaks. Small differences in FTIR spectroscopy showed comparable chemical bands between PLA and PLA-Mg composites (Figure 2-A). The peak positions of the C-H stretch were slightly, but not considerably, altered by adding Mg particles. Since there was no chemical reaction, the magnesium particles and polymer matrix were a good fit.

Thermal deterioration of PLA occurs between 300 and 370 degrees Celsius, whereas PLA/Mg composites degrade between 250 and 300 degrees Celsius (Figure 2-B). Including magnesium causes residual levels in the composite mixtures, and adding Mg speeds up PLA heat breakdown. [15]. DSC measurements were used to examine the thermal behavior of PLA/Mg composites in the generated blends. Three thermal transitions were visible regardless of whether the samples contained Mg particles (Figure 2-B). The inclusion of Mg particles increased the glass transition of PLA (Tg) to a high of 52°C for 10 percent Mg samples, even though the melting enthalpies showed minimal variation across Mg-loaded samples but noticeably lower values compared to no filler PLA samples [17,18].



13-16 NOVEMBER, 2023

TRABZON - TÜRKİYE

DENIZ TECHNICAL UNIVERSITY IAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER TICMET

Figure 2. A. XRD characterization of the PLA and composite films B. FTIR characterization of the PLA and composite films C. DSC characterization of the PLA and composite films D. TGA characterization of the PLA and composite films E. DTG characterization of the PLA and composite films

3.2. Filaments and 3DP

 \bigcirc

HASAN KANDINCU

PLA filaments with Mg levels of 5, 10, and 15 (wt%) were created specifically for the SOVOL SV02 printer. The process stability is evaluated by keeping an eye on the divergence in filament diameter away from the extruder. The filaments' equal distribution and rough surface suggest that the mixing technique may effectively produce high-quality polymer/metal composite filaments. However, composite filaments with a more than 10% Mg concentration may show porosity surrounding the filler particles, presumably due to poor flowability and clumped magnesium particles (Figure 3-A). The best distribution is obtained in the 15% WE43 samples, however, the pores may reduce printability [11].



13-16 NOVEMBER, 2023

DENTZ TECHNICAL UNIVERSITY AN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER

KARADENIZ TEKNIK ÜNİVERSITESI KARACENIZ TECINICAL UNIVER

Figure 7. A. SEM images of the cross-section of extruded filaments of various concentrations of composites. B. 3D printing of the composite filaments

The molten composite material needs to support the weight of the generated layers while also flowing freely through the nozzle. Samples of several PLA-Mg mixtures were 3D printed to determine whether filaments suit intricate geometrical features and structural stability (Figure 3-B). With the nozzle temperature set at 50 mm/s and the bed temperature set at 60 mm/s, all compositions were chosen to melt at 175 °C. 5 and 10 percent WE43 composite filaments were produced without any noticeable defects.

4. Conclusion

In this study, Mg-filled PLA composite filaments for 3D printing are investigated. The composites are evaluated for fabrication and extrusion using FDM-based 3DP. The impact of magnesium incorporation on the thermal, physicochemical, and printability behavior of PLA is evaluated in this work. The results show that adding magnesium increases the glass transition and melting peak temperatures but has no appreciable effect on crystallinity. The distribution of magnesium particles is homogenous up to a concentration of 15% WE43, although the presence of pores diminishes their printability by 15%. More research is needed to understand the composites' mechanical and biological properties before they may be utilized to 3D print bone implants.

Acknowledgment

The authors thank QNRF for providing some support for their project NPRP13S-0126-200172 (Additive Manufacturing of Mg-based Porous Tissue Scaffolds).



References

- 1. H.N. Tran, I.G. Kim, J.H. Kim, E.J. Chung, I. Noh, Control of maleic acid-propylene diepoxide hydrogel for 3D printing application for flexible tissue engineering scaffold with high resolution by end capping and graft polymerization, Biomater Res. 26 (2022) 1–19. https://doi.org/10.1186/S40824-022-00318-X/FIGURES/8.
- 2. M. Razavi, Y. Huang, Assessment of magnesium-based biomaterials: From bench to clinic, Biomater Sci. 7 (2019) 2241–2263. https://doi.org/10.1039/c9bm00289h.
- N. Shayesteh Moghaddam, M. Taheri Andani, A. Amerinatanzi, C. Haberland, S. Huff, M. Miller, M. Elahinia, D. Dean, Metals for bone implants: safety, design, and efficacy, Biomanufacturing Reviews. 1 (2016) 1. https://doi.org/10.1007/s40898-016-0001-2.
- A. al Rashid, S.A. Khan, S.G. Al-ghamdi, M. Koc, Additive manufacturing of polymer nanocomposites: Needs and challenges in materials, processes, and applications, Journal of Materials Research and Technology. 14 (2021) 910–941. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.016.
- K.-J. Chen, F.-Y. Hung, Y.-T. Wang, C.-W. Yen, Mechanical properties and biomedical application characteristics of degradable polylactic acid–Mg–Ca3(PO4)2 three-phase composite, J Mech Behav Biomed Mater. 125 (2022) 104949. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104949.
- 6. D. Bairagi, S. Mandal, A comprehensive review on biocompatible Mg-based alloys as temporary orthopaedic implants: Current status, challenges, and future prospects, Journal of Magnesium and Alloys. 10 (2022) 627–669. https://doi.org/10.1016/j.jma.2021.09.005.
- V. Tsakiris, C. Tardei, F.M. Clicinschi, Biodegradable Mg alloys for orthopedic implants A review, Journal of Magnesium and Alloys. 9 (2021) 1884–1905. https://doi.org/10.1016/j.jma.2021.06.024.
- F. Ali, S.N. Kalva, M. Koç, Additive Manufacturing of Polymer/Mg-Based Composites for Porous Tissue Scaffolds, Polymers (Basel). 14 (2022) 5460. https://doi.org/10.3390/polym14245460.
- S.N. Kalva, F. Ali, C.A. Velasquez, M. Koç, 3D-Printable PLA/Mg Composite Filaments for Potential Bone Tissue Engineering Applications, Polymers 2023, Vol. 15, Page 2572. 15 (2023) 2572. https://doi.org/10.3390/POLYM15112572.
- A. Leonés, V. Salaris, I. Ramos Aranda, M. Lieblich, D. López, L. Peponi, Thermal Properties and In Vitro Biodegradation of PLA-Mg Filaments for Fused Deposition Modeling, Polymers 2023, Vol. 15, Page 1907. 15 (2023) 1907. https://doi.org/10.3390/POLYM15081907.
- 11. R. Bakhshi, M. Mohammadi-Zerankeshi, M. Mehrabi-Dehdezi, R. Alizadeh, S. Labbaf, P. Abachi, Additive manufacturing of PLA-Mg composite scaffolds for hard tissue engineering applications, J Mech Behav Biomed Mater. 138 (2023) 105655. https://doi.org/10.1016/J.JMBBM.2023.105655.
- 12. K. Huang, R.E. Logé, A review of dynamic recrystallization phenomena in metallic materials, Mater Des. 111 (2016) 548–574. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.09.012.
- A.A. Mazen, A.Y. Ahmed, EFFECT OF ALUMINA ADDITIONS ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF PM MMC WITH LOW STRENGTH MATRIX, Current Advances in Mechanical Design and Production VII. (2000) 397–406. https://doi.org/10.1016/B978-008043711-8/50041-6.





- 14. R. Kaibyshev, Dynamic recrystallization in magnesium alloys, Advances in Wrought Magnesium Alloys. (2012) 186–225. https://doi.org/10.1533/9780857093844.1.186.
- 15. F. Ali, S.N. Kalva, K.H. Mroue, K.S. Keyan, Y. Tong, O.M. Khan, M. Koç, Degradation assessment of Mg-Incorporated 3D printed PLA scaffolds for biomedical applications, Bioprinting. 35 (2023) e00302. https://doi.org/10.1016/j.bprint.2023.e00302.
- 16. T. Motoyama, T. Tsukegi, Y. Shirai, H. Nishida, T. Endo, Effects of MgO catalyst on depolymerization of poly-l-lactic acid to l,l-lactide, Polym Degrad Stab. 92 (2007) 1350–1358. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.03.014.
- A. Saiter, N. Delpouve, E. Dargent, J.M. Saiter, Cooperative rearranging region size determination by temperature modulated DSC in semi-crystalline poly(l-lactide acid), Eur Polym J. 43 (2007) 4675–4682. https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2007.07.039.
- S. Ghosh, J.C. Viana, R.L. Reis, J.F. Mano, Oriented morphology and enhanced mechanical properties of poly(l-lactic acid) from shear controlled orientation in injection molding, Materials Science and Engineering A. 490 (2008) 81–89. https://doi.org/10.1016/J.MSEA.2008.01.003.



HASAN KALNONCU 15"



Controlling Electron Movement with Magnetic Field in Electrospinning Method

A. Özgür POLAT¹, S. Alperen ÇELTEK², Mustafa TEKBAŞ¹, Emre KAÇMAZ³, Gamze KARANFİL KAÇMAZ^{2,4*}

¹Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Electric-Electronic Engineering, Karaman, Turkiye

²Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, Karaman, Turkiye

³Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Eskisehir,

Turkiye

⁴GMZ Energy Systems Industry and Trade Limited Company, Eskisehir, Turkiye gamzekaranfil86@gmail.com

Abstract

Electrospinning method is a multidisciplinary process that involves basic physics, electrical physics, polymer chemistry, fluid dynamics, mechanical and textile engineering disciplines. One of the biggest problems encountered in the production of fiber mats by the electrospinning method is that the electrical field dispersed due to instabilities prevents the production of homogeneous material. Although the fibers produced by the currently used electrospinning method tend to tend to the outside of the collector plate due to the dispersed electrical field, this causes both material loss and not producing fiber mats with the desired properties. In this study, electrons that go from the anode to the cathode are focused by using a magnetic field. The fibers produced using the magnetic field have a homogeneous distribution and also material loss is prevented. Thus, it has been determined that the fact that there is no need for an extra energy consumption by using permanent magnets and that the system placed to obtain the magnetic field is not on the production line, controls the instability and makes fiber production with the electrospinning device more cost-effective and more applicable.

Keywords: Electrospinning, Nanofiber, Electron movement, Magnetic field, Neodymium magnets

OPTIMIZATION OF BLDC TRACTION MOTOR PARAMETERS IN ELECTRIC VEHICLES WITH WHALE OPTIMIZATION ALGORITHM

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SH

TICMET'2

MURAT TOREN *1, HAKKI MOLLAHASANOGLU²

¹Recep Tayyip Erdogan University, Engineering Faculty, Electrical Electronic Engineering Department, Rize, TURKEY.

² Recep Tayyip Erdogan University, Engineering Faculty, Electrical Electronic Engineering Department, Rize, TURKEY.

Abstract

Brushless direct current (BLDC) motors have become an important system element employed in the traction motor of electric cars due to their high efficiency and dynamic performance requirements within the permanent magnet motor (PM) class. When compared to other motor types, it possesses notable characteristics such as better torque density, increased efficiency due to the absence of field flux excitation, a near unit power factor, and a maintenance-free structure. As the need for special-purpose PMBLDC motors for a variety of applications grows, efforts are being made to create design methodologies and optimize their characteristics within this design. As a result, in this work, design parameters have been defined specifically for permanent magnet brushless direct current (PMBLDC) motors. The whale optimization algorithm is used to optimize the variable parameters impacting the stator slot opening, magnet thickness, and magnet and rotor slot opening, all of which affect motor performance. It tries to obtain a PMBLDC traction motor with the original parameters by optimizing the PMBLDC motor. The whale method was used in the study to improve the characteristics of a 2.45 kW prototype PMBLDC motor acquired from theoretical data. It is projected that the acquired parameters can be modeled using the whale algorithm optimization of the PMBLDC motor design, which has more optimum values than the theoretical values.

Keyword: Optimization, PMBLDC, Traction Motor, Whale Algorithm

THE EFFECT OF NANOPARTICLE FLUID COOLERS ON THE LIFE AND PERFORMANCE OF DISTRIBUTION TYPE TRANSFORMERS

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2

MURAT TOREN^{*1}, HAKKI MOLLAHASANOGLU²

¹ Affiliation: Recep Tayyip Erdogan University, Engineering Faculty, Electrical Electronic Engineering Department, Rize, TURKEY.

² Affiliation: Recep Tayyip Erdogan University, Engineering Faculty, Electrical Electronic Engineering Department, Rize, TURKEY.

Abstract

Oil-type transformers (YTT), which have a strong place in the distribution of electrical energy, are electrical machines with a higher usage density compared to other types. These transformers stand out with the parameters of cost, efficiency, and performance. Since these parameters directly affect the useful life of transformers, studies in this field are common. Various current and interdisciplinary research is carried out specially to reduce the temperature effect, which is one of the most important negative effects, during the operation of transformers. Nanoparticles, the use of which has increased in recent years, are preferred in cooling systems due to their good heat transfer properties. Better cooling is provided by utilizing the high specific heat capacities and thermal conductivity properties of nanoparticles.

In this study, heat transfer is provided by using nanoparticle fluids as well as conventional methods for cooling a 1.5 kVA transformer. For this, nanoparticle $(Al_2O_3, TiO_2 \text{ ve } CuO_2)$ materials and water dispersion fluid are used. These nanoparticles are prepared in sizes 5-20 nm and in mass fractions of 0.5, 1 and 1.5%. In addition, transformer cooling system is designed by using SDS (sodium dodecyl sulfate) surfactant to prevent agglomeration and stable operation of fluids. Experimental studies confirm that fluids with nanoparticle materials provide better heat transfer than conventional cooling methods (water, naphtanic/paraffinic based oils).

Keyword: Oil type transformers, cooling, nanoparticles, ZrO_2 , TiO_2 , Al_2O_3

1. Introduction

Transformers are used to convert electrical energy from one voltage level to another. They generate a large amount of heat during this process. High temperature can lead to deterioration of the materials in the transformer, reduced performance, and safety issues. Therefore, cooling of transformers is important to keep high temperatures under control and to ensure long life and safe operation of transformers.

The types of cooling of transformers can vary depending on the size, power and conditions of use of the transformer [1]. In small and medium-sized transformers, natural ventilation cooling is a frequently used cooling method. In this method, the air around the transformer circulates naturally to dissipate heat. The design of the transformer may include an air gap or air ducts, allowing air to

HASAN KALNONCU 415"



circulate freely. In some high-power applications, the water-cooled method can be used. In this method, a stream of water is used to cool the transformer. The flow of water is controlled by an external cooling unit. However, water cooled transformers are more costly than other methods. Oil cooled system is a cooling method which is frequently used in medium and large size transformers. In this method, the coils and core inside the transformer are located in the oil and the heat is dissipated by passing through the surface of the oil.

When the studies on the cooling of transformers are examined, it is seen that by analyzing the loss of life of transformers, the hottest points are determined and the percentage loss of these temperature values in the useful life and the useful life are evaluated [2-4]. For many years, naphthanic oils have been used especially for cooling and insulation of distribution transformers [5]. In many studies, the effect of naphthanic oils on the operation of transformers and the change in their electrical properties have been investigated [6]. In these studies, it is shown that the electrical conductivity and dielectric strength of naphthanic oils used in the cooling of the transformer directly affect the transformer life. However, naphthanic oils have some disadvantages such as being flammable, containing toxic substances and negative environmental effects. These disadvantages indicate that the use of naphthanic oils has some risks and difficulties. For this reason, ester-based oils have recently been used instead of naphthanic oils for cooling oiltype transformers [7]. The main reasons for this are that ester-based oils have less fire risk than naphthanic oils, better dielectric strength, longer service life and are more beneficial to the environment due to their biodegradability [8]. All these advantages show that the use of esterbased oils in transformers can be safer, environmentally friendly, and efficient. It has been observed that the thermal performance values and dielectric strength of ester-based oils are superior to naphthenic oils, and the transformer cooled with ester between certain positions shows a higher temperature difference than the transformer cooled with mineral oil [9]. Furthermore, ester oils have been found to improve the insulation level of transformers and even delay the oil deterioration time [10].

However, although ester-based oils have superior properties compared to conventional transformer cooling oils used in the industry since the first day, the deterioration of the morphology of the oil after a certain period and environmental pollution are still the most important problems. Therefore, different studies have been carried out, including the addition of additives to ester-based oils, changing the chemical structure of the oil and designing transformers compatible with oils [11]. However, since the oils used for cooling transformers are not fully environmentally friendly and maintenance costs are high, an environmentally friendly cooling can be provided by using nanoparticles in the cooling of transformers.

Nanoparticles offer many advantages with their use in cooling systems. In these systems, high heat transfer efficiency, thermal stability, reduced viscosity, and anti-corrosion properties of nanoparticles are utilized [12]. Since nanoparticles have a larger surface area, they can conduct heat more efficiently, thus allowing the temperature in the system to decrease faster. In addition, the homogeneous distribution of nanoparticles prevents the formation of hot spots and increases the stability of the system. Thanks to their anti-corrosion properties, they help protect metal surfaces and extend the life of system components. When used in a special formulation known as nanofluids, nanoparticles provide greater heat transfer and increase efficiency by reducing system size.

There are some studies evaluating the systems in which nanoparticles are used for cooling and their performance in these systems [13-14]. It is determined by experimental results that single


metal oxide nanoparticles $(Al_2O_3, TiO_2 \text{ ve } CuO_2)$ used in these studies provide good heat transfer. In addition, the high dispersion of these materials in water and other base fluids is one of the reasons why they are preferred in cooling systems.

For these reasons, nanoparticles are used in the cooling of transformers in this study. Fluid coolers containing single metal oxide nanoparticles $(Al_2O_3, TiO_2 \text{ ve } CuO_2)$ are used to reduce the heat-related disadvantages of transformers during operation. These materials are preferred due to their good water dispersion and heat transfer properties. The results obtained are also compared with conventional cooling methods.

2. Materials and Methods

HASAN KALNONCU

In this study, different types of nanoparticles are used as an alternative method to water and oils for cooling transformers. With the designed system, the transformer is operated under rated conditions and the cooling performance is analyzed.

2.1. Cooling of Transformers

Transformers generate a lot of heat during operation due to heat core losses, copper losses in the windings and leakage current losses. Among these losses, the losses due to the hysteresis effect of the magnetic material in the transformer (P_h) are expressed in Equation 1.

$$P_h = \sigma_h f B_m G_{fe} \tag{1}$$

Here, σ_h , f, B_m and G_{fe} are the hysteresis loss factor, frequency value, flux density and iron core mass, respectively. In Equation 2, fuko losses (P_e) another core loss that causes the transformers to heat up, are expressed. These losses are the currents caused by the induced voltage across the body when variable current is flowed through the coil [15].

$$P_e = \sigma_e f^2 B_m^2 G_{fe} \tag{2}$$

In Equation 2, σ_e , is the Eddy constant which varies depending on the material. The losses caused by the current (I) passing through the windings of transformers are called copper losses and are given in Equation 3.

$$P_{cu} = I^2 R \tag{3}$$

During the operation of transformers, the heat generated by all these losses must be transferred without allowing the transformer to reach a high temperature. Therefore, transformers must be cooled to transfer the heat. The cooling of oil-immersed transformers and their design accordingly are determined by considering IEEE C57.91-1995 and IEC 60354 industry standards [16].

2.2. Nanoparticle Materials

The nanoparticles to be used in the experimental study are selected from particles with properties that can be suspended in water. It is important that these nanoparticles have both high heat conduction coefficients and high specific heat capacity. Therefore, in this study, single metal oxide nanoparticles (Al_2O_3 , TiO_2 ve ZnO) are preferred. These nanoparticles are popular as well as important due to their small size and high surface area. Single metal oxide nanoparticles are of great importance in the field of chemistry, physics, material sciences and various industries. These



HASAN KALNONCU 415" SHI



nanoparticles can adopt many structural geometries with a very specific electronic structure. These structural changes give them metallic, conductive, semiconducting, or insulating character. Due to these characters, they can be used in microelectronic circuits, fuel cells, sensors, piezoelectric applications and as catalysts. These single metal oxides also show corrosion resistant character and therefore are suitable nanoparticles for use in multifunctional coating applications [17].

For the fluidization of these nanoparticles, the two-step production method given in Figure 1 is used [18].



Figure 1. Production of nanofluid from nanoparticles

Nanoparticle sizes to be made with the method given in Figure 1 are also important. The optimum size ranges and geometry determined by considering heat transfer values are given in Table 1.

Nanoparticle	Size	Geometry
Al_2O_3	4-8 nm	Stick
TiO_2	5-17 nm	Stick
ZrO_2	10-20 nm	Stick

Table 1. Nanoparticle size and geometry.

In Table 2, the heat transfer coefficients of nanoparticles for nanofluid, their suspension with the base fluid water, their contribution rates to heat transfer and specific heat capacities are given. It is thought that the fluids obtained from these nanoparticles will provide better heat transfer when compared with the data obtained in heat transfer with water.

		[19].	
Nanoparticle	Heat Capacity (<i>kj/kgK</i>)	Thermal Conductivity (<i>W/mK</i>)	Suspension with water Heat Conduction Improvement Rate (%)
Al_2O_3	0.773	40	20-26
TiO ₂	0.692	8.4	6.5-32
ZrO_2	0.420	1.7	28
Water (Base fluid)	4.187	0.613	-

Table 2. Thermal conductivity and specific heat capacity values of water with nanoparticles

13-16 NOVEMBER, 2023

In the dispersion of the nanoparticles used in this study with water, the surfactant SDS (sodium dodecyl sulphate) is added to the nanoparticles in different sizes (Table 5 values) at 0.5% and 1% and mixed at 0.5% - 1% and 1.5% ratios.

3. Results and Discussion

HASAN KALMONCU 415"

1.5 kVA transformer at nominal operating conditions, according to different insulation materials for cooling the transformer is shown in Figure 2. The ambient temperature in the test environment was provided as 30 °C, taking into account the IEEE C57.91-1995 standard. In this experimental setup, a 1.5 kVA - 380/220 V transformer is operated at nominal values of 3 A on the primary side and 5 A on the secondary side for each phase.



Figure 2. Cooling of the transformer: Block diagram (a) and experimental setup (b)

Using the experimental setup given in Figure 2, the temperature values occurring on the winding, core and material of the transformer are obtained during 60 minutes of operation at 30 °C ambient temperature. Both thermocouple thermometer and thermal camera are used for temperature



measurement. Air, water, ester-based oil and nanoparticles $(Al_2O_3, TiO_2 \text{ ve } ZrO_2)$ are used as cooling materials. The results obtained are given in Figure 3.



Figure 3. Temperature values on the transformer according to the cooling material

When Figure 3 is examined, it is seen that nanofluid materials consisting of nanoparticles give better results than conventional cooling methods in measurements made with thermal camera. In the core of the transformer, it is seen that the fluid with Al_2O_3 nanoparticles provide the best cooling because of 60 minutes of operation. In the transformer windings, the fluid with ZrO_2 nanoparticles cool better.

Figure 4 shows the rate of increase in the cooling of the transformer at 30 °C ambient temperature, at the end of 60 minutes of operation time, compared to the initial temperature. Here, it is seen that nanofluid materials consisting of nanoparticles give better results compared to conventional cooling methods.



Figure 4. Temperature increase rates according to the cooling material used

4. Conclusions:

The heat generated during the operation of transformers, which are widely used in the transmission and distribution of electrical energy, affects the service life of the core and winding as well as the insulation material in the transformer. In this study, heat transfer is provided by using nanoparticle fluids as well as traditional methods for cooling a 1.5 kVA transformer. At 30 °C ambient temperature, at the end of 60 minutes of operation time, the percentages of change in the winding, core and material of the transformer compared to the initial temperature value are given in Table 3. Both thermocouple thermometer and thermal camera are used for temperature measurement.

Cooling	The	ermal Came	ra (%)	Thermocouple (%)		
Material	Core	Winding	Material	Core	Winding	Material
Dry (Air)	177,11	200,51	11,22	178,61	264,97	11,22
Water	155,17	130,00	157,38	171,43	166,67	157,38
Al2O3	146,27	126,47	143,52	163,18	165,97	143,52
ZrO2	145,89	116,13	151,89	158,94	152,02	151,89
TiO2	150,50	127,66	142,78	163,37	169,79	142,78
Ester-based Oil	157,21	113,64	210,91	173,63	153,41	210,91

Table 3. Changes according to the initial temperature value on the winding, core, and	nd material of
the transformer.	

In the experiment using transformer oil (naphthenic-paraffinic based), the temperature increase was determined to be 17.21% on the core, 14.3% on the windings and 25.79% on the oil. Then, hybrid cooling was performed by dispersing nanoparticles (Al_2O_3 , TiO_2 and ZrO_2) with water. In the cooling with nanofluid liquid containing Al_2O_3 , there was a 16.17% temperature increase in the core, 15.47% in the winding and 17.55% in the liquid. In the cooling with ZrO_2 containing nanofluid liquid, 15.75% temperature increase was observed in the core, 14.17% in the winding and 18.58% in the liquid. Finally, cooling with TiO_2 containing nanofluid liquid resulted in a temperature increase of 16.19% in the core, 15.83% in the winding and 17.46% in the liquid. In general, cooling systems containing Al_2O_3 , ZrO_2 and TiO_2 nanoparticles are 8.24%, 7.21% and 8.33% better than conventional cooling methods, respectively. Thus, it is confirmed that nanoparticle-containing nanofluids provide better heat transfer in the cooling of transformers. It is evaluated that this will contribute to the useful life of transformers and reduce operating costs.



References

- 1. M. Tören, H. Mollahasanoğlu and M. Tağıl, "Investigation Of The Thermoelectric Coolers Effects On Life Cycle Of Transformers," 2020 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), Bursa, Turkey, 2020, pp. 221-225.
- 2. Rahimpour, E., Azizian, D. Analysis of Temperature Distribution in Cast-resin Dry-type Transformers. Electr Eng 89, 301–309 (2007). <u>https://doi.org/10.1007/s00202-006-0008-4</u>
- 3. Swift, Glenn, and Tom Molinski. "Power transformer life-cycle cost reduction." Proceedings of the Minnesota Power Systems Conference (MIPSYCON), Minneapolis, USA. Vol. 111. 1996.
- Zhou, Liwei, et al. "A maintenance decision optimization method based on life cycle cost of converter transformer." 2016 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC). IEEE, 2016.
- Filho, A. A. P., Luna, F. M. T., & Cavalcante, C. L. (2019). Oxidative stability of mineral naphthenic insulating oils: Optimization of commercial antioxidants and metal passivators. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 26(1), 240–246. doi: 10.1109/TDEI.2018.007513
- 6. Wang, Xiaobo, Tang, C., Huang, B., Hao, J., & Chen, G. (2018). Review of Research Progress on the Electrical Properties and Modification of Mineral Insulating Oils Used in Power Transformers. Energies, 11(3), 487. doi: 10.3390/EN11030487
- 7. Stebel, M., Kubiczek, K., Rodriguez, G. R., Palacz, M., Garelli, L., Melka, B., ... & Smolka, J. (2022). Thermal analysis of 8.5 MVA disk-type power transformer cooled by biodegradable ester oil working in ONAN mode by using advanced EMAG–CFD–CFD coupling. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 136, 107737.
- 8. Dombek, G., Goscinski, P., & Nadolny, Z. (2017). Comparison of mineral oil and esters as cooling liquids in high voltage transformer in aspect of environment protection. In E3S Web of Conferences (Vol. 14, p. 01053). EDP Sciences.
- Garelli, L., Ríos Rodriguez, G. A., Kubiczek, K., Lasek, P., Stepien, M., Smolka, J., Storti, M., Pessolani, F., & Amadei, M. (2021). Thermo-magnetic-fluid dynamics analysis of an ONAN distribution transformer cooled with mineral oil and biodegradable esters. Thermal Science and Engineering Progress, 23, 100861. doi: 10.1016/J.TSEP.2021.100861
- Rao, U. M., Pulluri, H., & Kumar, N. G. (2018). Performance analysis of transformer oil/paper insulation with ester and mixed dielectric fluids. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 25(5), 1853–1862. doi: 10.1109/TDEI.2018.007224
- Ab Ghani, S., Muhamad, N. A., Noorden, Z. A., Zainuddin, H., Abu Bakar, N., & Talib, M. A. (2018). Methods for improving the workability of natural ester insulating oils in power transformer applications: A review. Electric Power Systems Research, 163, 655– 667. doi: 10.1016/J.EPSR.2017.10.008
- Alkasmoul, F. S., Al-Asadi, M. T., Myers, T. G., Thompson, H. M., & Wilson, M. C. T. (2018). A practical evaluation of the performance of Al2O3-water, TiO2-water and CuOwater nanofluids for convective cooling. International Journal of Heat and Mass Transfer, 126, 639-651.
- 13. Cuce, E., Cuce, P. M., Guclu, T., & Besir, A. B. (2020). On the use of nanofluids in solar energy applications. Journal of Thermal Science, 29, 513-534.
- Ünvar, S., Menlik, T., Sözen, A., & Ali, H. M. (2021). Improvement of heat pipe solar collector thermal efficiency using Al2O3/Water and TiO2/Water nanofluids. International Journal of Photoenergy, 2021, 1-13.



HASAN KALMONCU 415"



- 15. Toren, M., & Celebi, M. (2016). Impact on efficiency of core materials in dry type transformers. 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering, 170–173.
- 16. Perez, J. (2010). Fundamental principles of transformer thermal loading and protection.
 63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers. doi: 10.1109/CPRE.2010.5469518
- 17. <u>https://nanografi.com/blog/differences-between-alpha-and-gamma-alumina-nanoparticles/</u>
- Şahin, F., & Namlı, L. (2018). Nanoakışkanlarda kararlılığın ısı transferini iyileştirme açısından önemi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(2), 880-898.
- 19. Nazififard, M., Nematollahi, M., Jafarpur, K., & Suh, K. Y. (2012). Numerical simulation of water-based alumina nanofluid in subchannel geometry. Science and Technology of Nuclear Installations, 2012.



AL 5182 SERISI SACLARIN DP800 SERISI SACLARLA CMT METODUYLA BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

UFUK ÖZTÜRK *1, CİHAN YAKUPOĞLU¹, İBRAHİM ACAR², FARUK VAROL²

¹Akpres Metal Yedek Parça Mak. San. Ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Bölümü, Sakarya, TÜRKIYE ²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Karasu Meslek Yüksek Okulu, Sakarya, TÜRKIYE

Özet

Bu çalışmada otomotiv gövde ve şasi parçalarının üretiminde kullanılan 1 mm kalınlığında DP800 (Dual Phase) yüzeyleri galvanizli kaplı çelik levhalar ile 1,5 mm kalınlığında Al 5182 serisi saclar birleştirilmiştir. Bu bağlantılar, gazaltı ark kaynağının soğuk metal transferi (CMT) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Uygulanan kaynak pozisyonu bindirme olarak belirlenir. Bu uygulama 1 mm çapında alüminyum esaslı ER4043 (AlSi5) dolgu teli kullanılarak tam otomatik robotik sistemde gerçekleştirilmiştir. Soğuk metal transferi (CMT) yöntemi ile birleştirme işlemleri sonrasında çekme dayanımı (MPa), eğme testi, sertlik değerleri (HV), birleştirme bölgelerindeki makro ve mikro testler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: DP800 Çelik, Al5182, Soğuk Metal Transferi, ER4043

INTERCALATION REACTION ON LITHIUM-ION BATTERY: EFFECT ON CELL CHARACTERISTICS

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

THEODORE AZEMTSOP MANFO^{*1}, MUSTAFA ERGİN ŞAHİN¹

¹ Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Engineering of Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Rize, TURKEY. <u>azemsouleymane@yahoo.fr</u>, mustafaerginsahin@yahoo.com

Abstract

Lithium-ion batteries (LIBs) are vital components in mobile devices and electric vehicles (EVs) due to their high energy density and long lifespan. However, to meet the rising demand for electrical devices, LIB energy density must be improved further. Anode materials, as a key component of lithium batteries, significantly improve overall energy density. LIBs are a widely utilized electrochemical power source in EVs and energy storage. LIBs have proven to be consistent because of their superior power density, which is directly related to the type of cathode, and extended lifespan in comparison to other types of rechargeable batteries. LIBs are developed with suitable electrolytes through a complex pathway that almost parallels advances in electrode chemistry. This article concentrated on the intercalation of alkali metal ions (Li+) into graphite, summarizing the important advances from experiments and theoretical calculations that underlie the tight host-guest relationship. This study elucidates the effect of the intercalation mechanism on the LIB on the electrode surface to achieve high-performance LIBs. Li metal ions in graphite are intercalated into monovalent and multivalent ions in layered electrode materials. This will result in a better understanding of intercalation chemistry in host materials for storage and conversion applications.

Keywords: Lithium-ion battery, electrolyte, intercalation, graphite, voltage, energy efficiency

RAMAN CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED TANTALUM-TUNGSTEN NITRIDE STRUCTURE GROWN ON MICROSCOPE SLIDE SUBSTRATE UTILIZING THE PVD TECHNIQUE

13-16 NOVEMBER, 2023

TAHA CAGRI SENOCAK^{*1}

¹ Atatürk University, Engineering, Metallurgical and Materials Engineering, Erzurum, TÜRKİYE.

Abstract

Tantalum and tungsten nitride coatings are significant types of coatings with wide application in various industries. The Physical Vapor Deposition (PVD) process allows for the deposition of metals in their oxide, nitride, and metallic forms onto any surface easily. Adding silver to this process aims to create antibacterial coatings. However, even a small amount of silver addition significantly enhances Raman analysis signal values due to its plasmonic effect; 1) Background: Silver-doped and undoped Ta-W-N coatings were produced using the PVD method; 2) Methods: The coatings were completed at 5x10⁻³ mTorr pressure with 99.95% purity, using Argon and Nitrogen gases. SEM and Raman analyses were performed on the coatings; 3) Results: The addition of silver led to the formation of large nodules, resulting in a slightly rougher surface; 4) Conclusions: In this study, Ta-W-N-based coatings with or without silver were successfully grown using the PVD process. Silver enhances Raman signals due to the observation of surface plasmon resonance. In summary, Tantalum and tungsten nitride coatings offer valuable applications across diverse industries, and the PVD process allows for their efficient deposition. The addition of silver brings forth unique benefits, particularly in enhancing Raman signals through plasmonic effects.

Keyword: PVD coating, Tantalium Nitride, Tungsten Nitride, Silver, Raman shift.

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415" SHI

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER

Tantalum and tungsten nitride coatings are important types of coatings that enhance the physical and chemical properties of materials, finding wide application in various industries. Tantalum nitride coatings are utilized in high-performance industrial applications due to their high temperature resistance, wear resistance, and chemical inertness. They are preferred for components exposed to wear and tear, such as cutting tools, dies, bearings, valves, and furnace parts, where they provide long-lasting and durable surfaces. Tungsten nitride coatings offer high hardness, heat resistance, and chemical resistance. As a result, they are used in diverse fields like cutting tools, dies, drill bits, molds, and microelectronics applications. Tungsten nitride coatings can improve cutting and drilling efficiency in the metal processing industry, reducing costs and increasing productivity. Both types of coatings exhibit excellent stability at high temperatures, making them valuable in the aerospace, energy production, automotive, and biomedical sectors. Tantalum and tungsten nitride coatings play a crucial role in extending the lifespan of components, improving surface properties, and enhancing overall performance, making them widely favored choices in various industrial and technological applications[1–5]. The PVD (Physical Vapor Deposition)



technique stands out for the coating of these materials due to its high temperature resistance, chemical stability, and excellent adhesion properties. Through this process, metals, metal oxides, and metal nitrides can be successfully coated onto surfaces. The PVD method involves evaporating the solid-state material and depositing it onto surfaces as thin film layers. This technique ensures dense, homogeneous, and tightly bonded coatings, enhancing their durability and performance. Tantalum and tungsten nitride coatings can efficiently and effectively be applied using the PVD technique, making them preferred coating options in various industrial and technological applications[6]. Silver-doped coatings generally stand out in antibacterial studies. However, the high rate of silver splattering allows it to penetrate the coating structure more. Moreover, this factor can impact the results of characterization tests, such as Raman analysis[7]. In this study, Raman analysis was conducted after adding silver to the Tantalum-Tungsten-Nitride coating to investigate the Raman shift effect.

2. Materials and Methods

HASAN KALNONCU 415"

The surfaces of the microscope slides were cleaned with 95% isopropyl alcohol before the coating process and then dried. Tantalum-Tungsten-based films were deposited on the microscope slide substrates using RF reactive unbalanced magnetron sputtering (Midas, Vaksis Corp.). Two different types of coatings were applied: Tantalum-Tungsten-Nitride and Silver-doped Tantalum-Tungsten-Nitride. The targets used were Ta target (99.95% pure and 3-inch in diameter), W target (99.95% pure and 3-inch in diameter), and Ag target (99.95% pure and 0.3x3 inch attached to W target). The sputtering gas used was Ar (99.995% purity from Linde), and the reactive gas was N₂ (99.998% purity from Linde). The Ar flow rate in the chamber was set to 50 sccm with a base pressure of 5x10⁻³ mTorr and a 50 mm substrate-target distance, while the N₂ flow rate was set to 5 sccm. Prior to the start of the coating process, the substrates were preheated to a temperature of 300°C, which was consistently maintained throughout the one-hour duration of the coating process. The depositions were carried out with an RF power of 130 watts for the Tantalum target and 90 watts for the Tungsten and Silver targets. Coated samples are shown in Figure 1. The morphological images of the coatings were analyzed using a Zeiss-Sigma 300 model Scanning Electron Microscope (SEM). Raman scattering studies were conducted employing a micro Raman setup (WITech alpha 300R) at ambient temperature, with excitation provided by the 514 nm wavelength of an Ar ion laser at a perpendicular angle. The laser power used for these measurements was set at 5 mW, and the spectrum acquisition time was limited to 50 seconds to reduce sample heating effects.



13-16 NOVEMBER, 2023

Figure 1. coated samples a) without Ag b) Ag-doped

3. Results and Discussion

SEM images obtained after the coating process are shown in Figure 2. The coatings have grown according to the Thorton Zone 1. In this region, an open voided columnar growth structure and amorphous crystallographic structure result in limited adatom diffusion, weak lateral forces, and low density. As a consequence, the films typically exhibit higher resistance. In Figure 2a, the Tantalum-Tungsten nitride coating exhibits a lightly roughened surface due to the formation of columnar flat growth. In Figure 2b, the addition of silver leads to the formation of large nodular structures. These structures are supported by the different melting points of the metals, which promote the formation of large nodules due to varying adatom activities.



Figure 2. SEM Images of the coatings a) without Ag b) Ag-doped

Raman analyses are presented in Figure 3. Peaks in the range of 0-250 correspond to TaN[4], while the range of 800-1000 corresponds to $W_2N[2]$. The range of 1250-1750 corresponds to silver. Silver can enhance Raman signals due to the significant effect of surface plasmon resonance observed in Raman spectra. This phenomenon arises from the interaction of electromagnetic wave modes, known as surface plasmons, with metal surfaces. Certain metals, like silver, readily support surface plasmons. In Raman spectroscopy, when light strikes the coated surface, plasmons are excited, strengthening the Raman scattering signals.

13-16 NOVEMBER, 2023

тісмет



This plasmonic enhancement makes typically weak Raman signals more prominent, leading to improved sensitivity in analyses. As a result, Raman spectroscopy can be more effective for precise analysis, low-concentration samples, and thin coating layers. Silver nanoparticles, especially those with high plasmonic enhancement properties, are popular options in Raman spectroscopy and are used in sensitive detections and biomedical applications. However, it should be noted that the physical and chemical properties of silver, such as coating and configuration, can affect the degree of plasmonic enhancement[7]. Therefore, proper utilization of silver and careful consideration of experimental conditions are vital for Raman analysis. For samples without the addition of silver, Raman signals were detected at significantly lower levels. Researchers should be mindful that even a small amount of silver addition can cause changes in Raman signals and should not overlook this aspect in their investigations.

4. Conclusions

HASAN KALNONCU 415"

In the conducted study, it is possible to grow Ta-W-N based coatings with and without silver using the PVD (Physical Vapor Deposition) process. Silver enhances Raman signals due to the observation of surface plasmon resonance.

Acknowledgments: The author would like to express his gratitude to Prof. Dr. Kadri Vefa Ezirmik for his contributions to the data acquisition and interpretation.



References

HASAN KALMONCU 415" ----

- 1. Novikov V., Stepanov N., Zherebtsov S., Salishchev G., Structure and Properties of High-Entropy Nitride Coatings, Metals, **2022**, Vol. 12, Page:847.12.
- 2. Zhang M., Qiu Y., Han Y., Guo Y., Cheng F., Three-dimensional tungsten nitride nanowires as high performance anode material for lithium ion batteries, J Power Sources. 322, **2016**, 163–168.
- 3. Rivera-Tello C.D., Broitman E., Flores-Ruiz F.J., Perez-Alvarez J., Flores-Jiménez M., Jiménez O., Flores M., Micro and macro-tribology behavior of a hierarchical architecture of a multilayer tan/ta hard coating, Coatings. 10, **2020**.
- 4. Alishahi M., Mahboubi F., Mousavi Khoie S.M., Aparicio M., Lopez-Elvira E., Méndez J., Gago R., Structural properties and corrosion resistance of tantalum nitride coatings produced by reactive DC magnetron sputtering, RSC Adv. 6, **2016**, 89061–89072.
- David Serna-Manrique M., Escobar-Rincón D., Ospina-Arroyave S., Alejandro Pineda-Hernández D., Paola García-Gallego Y., Restrepo-Parra E., Growth Mechanisms of TaN Thin Films Produced by DC Magnetron Sputtering on 304 Steel Substrates and Their Influence on the Corrosion Resistance, Coatings, 2022.
- 6. Senocak T.C., Ezirmik K.V., Aysin F., Simsek Ozek N., Cengiz S., Niobium-oxynitride coatings for biomedical applications: Its antibacterial effects and in-vitro cytotoxicity, Materials Science and Engineering: C. 120, **2021**, 111662.
- 7. Qin J., Pan L., Li C., Xia L., Zhou N., Huang Y., Zhang Y., Controlled preparation of Ag nanoparticles on graphene with different amount of defects for surface-enhanced Raman scattering, RSC Adv. 7, **2017**, 27105–27112.

PASLANMAZ ÇELİK CIVATALARIN KOROZYON DİRENÇLERİNİN İNCELENMESİ

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'23

DOĞUŞ ZEREN¹, M. BURAK TOPARLI^{*1}, SAMED ENSER¹, UMUT İNCE¹

¹Norm Fasteners, Ar-Ge Merkezi, AOSB, Çiğli, İzmir, Türkiye

Özet

Yüksek sıcaklık başarımları, korozyon dirençleri ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle paslanmaz çelikler, imalat sektöründe oldukça fazla kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik bağlantı elemanlarına olan ihtiyaç ve talep de günden güne artmaktadır. Denizcilik sektöründe oldukça yaygın olan paslanmaz çelik bağlantı elemanları, günümüzde araçların değişken ortamlara ve tuz gibi korozyon açısından riskli ortamlara maruz kaldığı göz önünde bulundurulduğunda otomotiv sektöründe de oldukça ilgi görmeye başlamıştır. Paslanmaz çelikler, içerdikleri yüksek oranda krom sayesinde, yüzeylerinde oluşan krom oksit tabakası vasıtasıyla korozyon direnci sağlarlar. Ancak yüzeydeki krom oksit tabakası soğuk şekillendirme gibi deformasyonla üretim yapılan durumlarda zarar görür ve korozyona açık hale gelirler. Paslanmaz çeliklerin yüksek korozyon dayanımını tekrar kazanabilmesi için pasivasyon işlemi yapılmaktadır. Bu çalışmada, M10x25 DIN912 paslanmaz çelik cıvataların pasivasyon işlemi öncesi ve sonrası korozyon dayanımları incelenmiştir. Ayrıca orta karbonlu çelik cıvatalara korozyon direnci için uygulanan iki farklı ticari çinko lamelli kaplama da paslanmaz çeliklere uygulanabilirliği ve korozyon başarımlarının incelenmesi adına uygulanmıştır. ISO 9227 standardına göre tuz püskürtme testleri gerçekleştirilmiştir. Toplamda dört farklı paslanmaz çelik konfigürasyonunun denemesi tamamlanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, soğuk şekillendirme ile üretilen paslanmaz çelik cıvatalar için pasivasyon işleminin beklenen korozyon direncinin elde edilmesinde kritik bir işlem olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Cıvata, Soğuk şekillendirme, Paslanmaz çelik, Korozyon

1. Giriş

Paslanmaz çelikler otomotiv, sağlık, havacılık, denizcilik gibi birçok sektörde üstün korozyon dirençleri ve mekanik özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır. Hammaddenin daha bulunabilir ve maliyetlerinin düşmesiyle günümüzde daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Sektördeki bu kullanım artışından paslanmaz çelik cıvalar da etkilenmiştir. Östenitik paslanmaz çelikler, en sık kullanılan paslanmaz çelik alaşımlarıdır [1, 2]. Soğuk şekillendirme ile üretilen paslanmaz çelik bağlantı elemanlarının üretiminde de form verilebilirlik, iş sertleşmesi kabiliyetleri, bulunabilir ve maliyetlerinin görece uygun olması sebebiyle sıklıkla tercih edilen paslanmaz çelik sınıfı östenitik paslanmaz çelik lerdir. Paslanmaz çelik cıvalar ISO 3506-1 standardı altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre A sınıfı cıvatalar östenitik paslanmaz çelikleri ifade etmektedir. Sayıyla belirtilen kısım ise mekanik sınıfını belirtmektedir ve bu değerin on katı çekme dayanımını ifade etmektedir [3].



Şekil 1. Cıvatalar için paslanmaz çelik kaliteleri ve özellik sınıfları tanımlama sistemi [3].

Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunması gereken en az % 10,5 oranındaki krom ve diğer alaşım elementleri olan nikel, molibdenyum gibi elementler korozyon direncini sağlar. Paslanmaz çeliğin korozyon direnci, yüzeyinde çelik oksijene maruz kaldığında doğal olarak oluşan ince bir krom oksit tabakasının varlığından kaynaklanmaktadır. Bu katman, oksijen ve diğer aşındırıcı maddelerin çeliğe nüfuz etmesini ve alttaki metale ulaşmasını engelleyen bir bariyer görevi görür. Soğuk dövme sonrası bu krom oksit tabakasında hasar oluşumu veya kontamine olma durumu, bu oksit tabakasının korozyon direncini düşürmesine sebebiyet verebilmektedir [4]. Bunun önüne geçebilmek için paslanmaz çelik bağlantı elemanlarına pasivasyon işlemi uygulanmaktadır. Pasivasyon işlemi ASTM tarafından A 967-05 belgesinde standardize edilmiştir [5].

Paslanmaz çelikler her ne kadar korozyona dayanıklı olsa da, tamamen korozyona dayanıklı değildir. Gerilmeli korozyon, erozyon, galvanik korozyon, oksidasyon, çukurcuk korozyonu gibi korozyon tipleri paslanmaz çeliklerde karşılaşılan korozyon türleridir. Çelik bağlantı elemanlarının korozyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar ve testler mevcuttur. Tuz püskürtme testleri sert ortam koşullarını simüle etmesi sayesinde belirli bir standarda göre yapıldığından ötürü sonuçların tekrarlanabilirliği ve hızlı sonuç alınabilmesi açısından önemli bir test metodudur. Paslanmaz çelik bağlantı elemanları zorlu ortamlarda kullanılabildiğinden ötürü uygulanan tuz püskürme testleri de korozyon direnci açısından bilgi vericidir. Tuz püskürtme testleri ISO 9227 ile standardize edilmiştir [6].



Şekil 2. Tuz püskürtme kabini tasarımının şematik diyagramı [6].



Paslanmaz çelik üretiminin artması ve paslanmaz çelikten üretilen cıvataların yaygınlaşmasıyla beraber mekanik ve kimyasal özellikler açısından bir bilgi ve tecrübe açığı oluşmuştur. Bu nedenle, literatürde paslanmaz çelik cıvatalar ile alakalı akademik çalışmalar günden güne artmaktadır. 2007 yılında yapılmış bir çalışmada 304 paslanmaz çeliklerin magnezyum klorit çözeltisi damlatılarak çukurcuk korozyonu oluşumu incelenmiş ve bu sayede deniz atmosferi altında paslanmaz çeliklerin korozyona uğrama mekanizmalarını araştırmışlardır. Damla çapı azaldıkça korozyon oluşma olasılığı ve oluşan çukurcuk korozyonlarının çaplarının da düşmekte olduğu bildirilmiş ve ayrıca klorür çözeltilerinin damlacıkları altında oluşan çukurcukların sığ bir tip olduğu, çukurun tercihen yatay yönde ilerlediğini belirtilmiştir [7]. Bir başka çalışmada, standart ve Hollo-Bolt paslanmaz çelik cıvataların sabit genlikte bir yük altında yorulma performansı incelenmiştir [8]. Diğer bir çalışmada ise 304 paslanmaz çelik malzemeden soğuk şekillendirilmesi zor bir formun üretim denemeleri gerçekleştirilmiş. Hammaddenin 200 °C dereceye ısıtılarak yapılan üretim denemelerinde yüksek iş sertleşmesi gösteren paslanmaz çeliğin işlenebildiğini ortaya koymuşlardır [9]. 2023 yılında yayınlanmış bir başka makalede ise, martenzitik ve östenitik olmak üzere iki farklı paslanmaz çelik cıvatanın iki farklı kaplama uygulanarak torklama testleri gerçekleştirilmiş ve kaplama tiplerinin paslanmaz çeliklerde torklama üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda kaplamaların torklama üzerindeki etkisi belirlenmiş ve istenilen sürtünme katsayı aralığının yakalanabilmesi adına kaplama uygulamalarının gerekli olduğu yorumu yapılmıştır [10].

Bu çalışmada Norm Fasteners bünyesinde üretilmiş M10x25 DIN912 A2-70 sınıfı paslanmaz çelik inbus cıvataların korozyon özellikleri araştırılmıştır. Cıvatalar doğrudan üretildiği gibi, pasivasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve ticari iki farklı çinko lamelli kaplama ile kaplanmış olacak şekilde toplamda dört farklı koşulda ISO 9227 standardına göre tuz püskürtme testi gerçekleştirilmiştir. Tuz püskürtme testleri sayesinde hem pasivasyonsuz hem pasivasyonlu, hem de farklı kaplama tiplerine sahip bağlantı elemanlarının korozyon dirençleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Norm Fasteners Ar-Ge Merkezi'nde gerçekleştirilen çalışma kapsamında, test için kullanılan M10x25 DIN912 paslanmaz çelik cıvatalar Norm Fasteners bünyesinde üretilmiştir. A2-70 sınıfi üretilen cıvataların üretiminde 304Cu hammadde kullanılmıştır. Kullanılan hammaddenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 304Cu hammadde kimyasal kompozisyonu.								
Element	С	Si	Mn	Р	S	Cr	Ni	Cu
Oran (w/w)	0.017	0.25	0.77	0.035	0.001	18.15	8.06	3.51

Testlerde kullanılacak M10x25 DIN912 A2-70 paslanmaz test cıvatalarının üretilmiş son halleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Soğuk dövme ile üretimi tamamlanan cıvatalar tarak kalıpları kullanılarak diş açılmıştır. Ardından, test için hazırlanan numuneler yağ gibi üretimden kaynaklanan kontaminasyonlardan arındırılmıştır. HASAN KALMONCU





Şekil 4. Üretilmiş M10x25 DIN912 A2-70 paslanmaz test cıvataları.

Korozyon direncini artırmak adına üretimi yapılmış olan M10x25 DIN912 cıvatalara ASTM A-967 standardına uygun olacak şekilde pasivasyon işlemi yapılmıştır. Krom, paslanmaz çeliğin yüzeyinde, alttaki metali korozyondan koruyan pasif bir oksit tabakası oluşturur. Bu oksit tabakası, alttaki metali korozyona maruz bırakabilecek soğuk dövme, talaşlı imalat gibi işlemler sırasında hasar görebilir veya kirlenebilir. Bu durumlarda, oksit tabakasını eski haline getirmek ve paslanmaz çeliğin uzun süreli korozyon direncini sağlamak için pasivasyon yapılmaktadır. Pasivasyon tipik olarak paslanmaz çeliğin nitrik asit çözeltisine veya sitrik asit çözeltisine daldırılmasını içerir. Pasivasyon işlemi ayrıca paslanmaz çeliğin yüzeyinde bulunabilecek, kirleticileri veya serbest demir iyonlarını da giderir. Pasivasyon işleminde öncelikle kir ve yağdan arındırılmıştır. Yüzeydeki pas tabakasının giderilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından yüzeydeki metalik tozların ve yağların tamamen giderilmesi sağlanmıştır. Nitrik asit çözeltisine alınan malzemeler burada pasivasyon işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak durulama ve kurutma işlemleri ile pasivasyon işlemi tamamlanmıştır.

Geleneksel karbonlu çeliklerde yüzey kalitesinin iyileştirilmesi, sürtünme katsayılarının istenilen aralıkta ayarlanması ve korozyon direnci kazandırılması için yapılan kaplama işlemleri sektörde paslanmaz çeliklere de uygulanabilmektedir. Kaplama uygulanmadan önce, iyi bir yapışma sağlamak için cıvatanın yüzeyi hazırlanır ve çeşitli teknikler kullanılarak çinko lamelli kaplama uygulanabilir. Yaygın bir yöntem, kaplamanın cıvatanın tüm yüzeylerine eşit şekilde uygulanmasını sağlayan bir kaplama malzemesi banyosuna cıvataları batırmaktır. Alternatif olarak kaplama, özel donanım kullanılarak cıvatanın yüzeyine püskürtülebilir. Kaplama uygulandıktan sonra korozyona karşı dayanıklı ve etkili bir bariyer oluşturması için kürleme işlemi uygulanması gerekir. Bu çalışmada, sektörde sıklıkla kullanılan iki farklı ticari çinko lamelli kaplama ürünü ile cıvatalar kaplanarak korozyon direnci açısından pasivasyon işlemi ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kaplamaların uygulama parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Her iki kaplama işlemi sonrasında kaplamalı örnekler Şekiller 6 (a) ve (b)'de görülmektedir.

Tablo 2. Test Prosedürü.						
Kaplama Program süresi Kürleme Süresi Kürleme Sıcaklığı						
Kaplama 1	3 dakika	1 saat	180 °C			
Kaplama 2	5 dakika	1.5 saat	250 °C			



13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'

Şekil 6. (a) Kaplama 1 ve (b) Kaplama 2 uygulanmış test cıvataları.

Östenitik paslanmaz çelik cıvataların üretimleri tamamlandıktan sonra korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Korozyon testi olarak tuz püskürtme testi ISO 9227 standardına göre uygulanmıştır. Tuz püskürtme testi, pas ve korozyona karşı dirençlerini değerlendirmek için cıvatalar ve diğer metaller üzerinde gerçekleştirilen bir korozyon testidir. Her bir varyasyon için 5'er numune kullanılmıştır. Test, cıvataların kontrollü bir ortamda belirli bir süre boyunca tuz püskürtme sisine maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Test tipik olarak kontrollü bir tuzlu su sisi oluşturabilen özel bir odada gerçekleştirilir. Oda, test koşullarını korumak için bir sıcaklık ve nem kontrol sistemi ile donatılmıştır. Cıvatalar test odasında üzerlerine önceden belirlenmiş bir oranda tuzlu su sisi püskürtülmüştür. Test sırasında, pas veya çukurlaşma gibi korozyon belirtileri olup olmadığını kontrol etmek için cıvatalar periyodik olarak incelenmiştir. Testler 24 saatlik periyotlarla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, cıvataların istenen korozyon direnci seviyesini karşılayıp karşılamadığını belirlemek için endüstri standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Testlerde Liebisch 42016101 modeline sahip tuz püskürtme kabini kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Liebisch Model: 42016101 tuz püskürtme testi kabini.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, üretimleri tamamlanmış M10x25 DIN912 A2-70 paslanmaz çelik cıvata numunelerinin tuz püskürtme testleri gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada doğrudan üretilmiş herhangi bir işlem yapılmamış cıvatalar tuz püskürtme testine tabii tutulmuştur. Numunelerde 48 saat



HASAN KALNONCU 415" SHI

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER



sonunda cıvataların şaft, kafa ve soket bölgelerinde kırmızı oksitlenme tabakası (demir oksit) görülmüştür. Şekil 8'de teste ait test raporu ve test sonu cıvataların görselleri paylaşılmıştır. Malzemede herhangi bir kaplama olmadığı için beklendiği üzere beyaz oksidasyon görülmemiştir. İşlem görmemiş numunelerin tuz testi sonuçları paslanmaz çelikler için görece düşük korozyon direnci gösterdiği görülmektedir.

TEST RESULT & OBSERVATION	15			6	
White oxidation was observed at Beyaz oksidin görüldüğü süre	-				
Red oxidation was observed at Kırmızı oksidin görüldüğü süre	48 hrs				600
Test duration Test süresi	48 hrs	6	9		Kırmızı oksit (Demir oksit)

Şekil 8. Pasivasyon işlemi yapılmamış cıvataların tuz püskürtme testi sonucu.

Pasivasyon işlemi uygulanmış olan cıvataların korozyon direncini belirlemek amacıyla tuz püskürtme testi gerçekleştirilmiştir. Teste ait rapor ve test sonu cıvata görselleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Yapılan testlerde 1128 saat sonunda beyaz oksit tabakası görülmüştür. 1152 saat sonrasında özellikle kafa kısmında kırmızı oksit tabakası görülmüştür. Pasivasyon uygulanmamış cıvatalara yapılan testlere göre (48 saat) kırmızı oksit görülme süresi 24 kat artmıştır. Korozyon direnci konusunda pasivasyon işleminin kritik öneme sahip olduğu görülmüştür.

TEST RESULT & OBSERVATIONS		
White oxidation was observed at Beyaz oksidin görüldüğü süre	1128 hrs	
Red oxidation was observed at Kırmızı oksidin görüldüğü süre	1152 hrs	
Test duration Test süresi	1152 hrs	

Şekil 9. Pasivasyon işlemi yapılmış cıvataların tuz püskürtme testi sonucu.

Şekil 10'da Kaplama 1 uygulanmış cıvataların tuz püskürtme testi sonuçları görülmektedir. Test sonucuna göre 192 saat sonunda beyaz oksit tabakası görülmüştür. Beyaz oksidasyon, kaplama malzemesinin içeriğinde yüksek oranda bulunan krom ve alüminyum elementlerinin oksitlenmesinden kaynaklanmaktadır. 504 saatlik test sürecinde sonunda kırmızı oksit görülmemiştir.

	13-16 NOV KARADENIZ T PROF. DR. OSMAN TURAN TRABE	EMBER, 2023 ECHNICAL UNIVERSITY CULTURE AND CONVENTION CENTER	TICM	
TEST RESULT & OBSERVATION	IS			
White oxidation was observed at Beyaz oksidin görüldüğü süre	192 hrs			
Red oxidation was observed at Kırmızı oksidin görüldüğü süre	-			
Test duration Test süresi	504 hrs			

Şekil 10. Kaplama 1 uygulanmış cıvataların tuz püskürtme testi sonucu.

Şekil 11'de ise Kaplama 2 uygulanmış cıvataların tuz püskürtme testi sonuçları görülmektedir. Test sonucuna göre 288 saat sonunda beyaz oksidasyon görülmüştür. Test sonunda Kaplama 2 uygulanmış cıvatalarda da Kaplama 1 uygulanmış cıvatalara benzer olarak kırmızı oksit 594 saatlik test sonucunda görülmemiştir. Yapılan tüm testlerin ardından tüm malzemelerin tuz püskürtme test sonuçları Tablo 3'te birlikte verilmiştir. Pasivasyon işleminin yapılan kaplamalardan daha etkili bir korozyon direnci sağladığı açıkça görülmektedir. Kaplama 2'nin Kaplama 1'e göre 1.5 kat daha iyi bir korozyon direnci sağladığını da test sonuçları göstermiştir.

TEST RESULT & OBSERVATION	<u>s</u>
White oxidation was observed at Beyaz oksidin görüldüğü süre	288 hrs
Red oxidation was observed at Kırmızı oksidin görüldüğü süre	Ē
Test duration Test süresi	504 hrs

Şekil 11. Kaplama 2 uygulanmış yapılmış cıvataların tuz püskürtme testi sonucu.

Malzeme	Tuz Testi Sonucu Kırmızı Pas (saat)	Tuz Testi Sonucu Beyaz Pas (saat)	
Pasivasyonsuz cıvata	48	-	
Pasivasyonlu cıvata	1152	1128	
Kaplama 1 uygulanmış cıvata	-	192	
Kaplama 2 uygulanmış cıvata	-	288	

Tablo 3. Tüm malzemelerin tuz püskürtme testi sonuçları.

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında günümüzde kullanımı git gide artmakta olan paslanmaz çelik cıvataların korozyon dirençleri tuz püskürtme testi ile incelenmiştir. Çalışmada paslanmaz çeliklere uygulanan pasivasyon işleminin korozyon direncine etkisinin incelenmesinin yanı sıra sektörde kullanılan çinko lamelli iki ticari kaplama uygulamasının da korozyon direncine etkisi incelenmiştir. Öncelikle pasivasyon işlemi yapılmadan üretimden direkt alınan numunelerine tuz püskürtme testi uygulanmıştır ve 48 saat sonunda beyaz pas oluşmadan doğrudan kırmızı pas





oluştuğu görülmüştür. Bu durum malzemenin yüzeyindeki koruyucu krom oksit tabakası eksikliğini göstermiştir. Ardından pasivasyonlu test cıvataları tuz püskürtme testi uygulanmıştır. Pasivasyonlu cıvatalarda 1128 saat sonunda beyaz pas oluşmuş olup 1152 saat sonunda ise kırmızı pas oluşmuştur. Beyaz pas oluşumu pasivasyon işleminin doğru şekilde yapıldığını göstermektedir. Pasivasyonsuz çıtalarla karşılaştırıldığında korozyon direncinde 24 kat artış olmuştur. Bu sonuç paslanmaz çelik cıvatalarda pasivasyon işleminin korozyon direnci açısından kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Paslanmaz cıvatalara uygulanabilen ticari çinko lamelli kaplama türleri ayrıca korozyon dirençleri açısından kıyaslanmıştır. Sektörde sıklıkla kullanılan iki farklı kaplama çeşidi (Kaplama 1 ve Kaplama 2) test cıvatalarına uygulanmış ve tuz püskürtme testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan test sonucunda Kaplama 2 uygulanmış cıvatalar Kaplama 1 uygulanmışlara göre 1.5 kat yüksek korozyon direnci göstermiştir. Ancak pasivasyon işleminin sağladığı korozyon direnciyle kıyaslandığında kaplama işlemleri oldukça düşük kalmakta olduğu görülmüştür. Pasivasyonlu cıvatalar, Kaplama 2 uygulanmış cıvatalara göre yaklaşık 4 kat daha iyi korozyon direnci sergilemişlerdir. Kaplama işleminin maliyetleri ve uygulama zorlukları göz önünde bulundurulduğunda pasivasyon işlemiyle karşılaştırıldığında korozyon direnci özelinde anlamlı bir artış sağlamadığı ortaya çıkmıştır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmanın yapılması ve sunulması konusunda sunduğu fırsat için Norm Holding'e teşekkür eder.

Kaynaklar

- 1. Davis, J.R., Stainless steels. 1994: ASM international.
- Sheets, A.S.G.D., Atlas steels technical handbook of stainless steels. Stainless Steel, 2013. 630: p. 17-4PH.
- 3. ISO, E., 3506-1. Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners— Part 1: Bolts, screws and studs (ISO 3506, 1997. 1.
- 4. Maller, R.R., Passivation of stainless steel. Trends in food science & technology, 1998. 9(1): p. 28-32.
- 5. ASTM, A., 967-05. Standard specification for chemical passivation treatments for stainless steel parts. West Conshohocken: ASTM, 2005.
- 6. ISO, E.I.E., 9227 (2017). Corrosion tests in artificial atmospheres–Salt spray tests. Search in, 2020.
- Tsutsumi, Y., A. Nishikata, and T. Tsuru, Pitting corrosion mechanism of Type 304 stainless steel under a droplet of chloride solutions. Corrosion science, 2007. 49(3): p. 1394-1407.
- 8. Wang, J., et al., Fatigue behaviour of stainless steel bolts in tension and shear under constant-amplitude loading. International Journal of Fatigue, 2020. 133: p. 105401.
- 9. Byun, J.B., et al., Automatic multi-stage cold forging of an SUS304 ball-stud with a hexagonal hole at one end. Materials, 2020. 13(22): p. 5300.
- 10. Tianxiong, Z., et al., Experimental study on mechanical properties and tightening method of stainless steel high-strength bolts. Engineering Structures, 2023. 290: p. 116176.



13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'23

BAYBARS SARICA¹, TOLGA AYDIN¹, SAMED ENSER¹, M. BURAK TOPARLI^{*1}, UMUT İNCE¹

¹Norm Fasteners, Ar-Ge Merkezi, AOSB, Çiğli, İzmir, Türkiye

Özet

Bağlantı elemanları, kullanıldığı alanlarda tekrarlı ve değişken yüklere maruz kalmaktadır. Bu durum, bağlantı elemanlarının gevşemesi veya hasar alması sonucunda bağlantının çözülmesi gibi riskleri ortaya çıkarmaktadır. Bir cıvata-somun bağlantısında kullanılan ürünlerin kalitesinin yanında montaj koşulları da gevşeme riskleri açısından oldukça önemlidir. Cıvata-somun bağlantısında kullanılan elemanların sürtünme katsayısı, kilitleme boyu ve atalet momenti montaj bölgesindeki bağlantıda meydana gelebilecek gevşemelerin veya kırılmaların ana parametreleri arasında yer almaktadır. Montaj koşullarında yaşanabilecek gevşemelerinin önüne geçilmesi adına cıvata üzerine uygulanan kilitleme kimyasalları özellikle otomotiv endüstrisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Montaj bölgesine ve bağlantı elemanına uygun olarak seçilen kilitleme kimyasalları kullanılarak montaj parçalarında titreşim altında yaşanabilecek çözülmelerin önlenmesi hedeflenmektedir. Kilitleme kimyasalı özelinde seri üretimde kullanılabilecek farklı özellikler sunan ticari ürünler bulunmaktadır. Bu çalışmada, üç farklı ticari kilitleme kimyasalının gevşemeye karşı performansları incelenmiştir. Çalışma kapsamında M8x1,25 8.8 DIN 933 cıvata, M8x1,25 8.8 DIN 934 somun kullanılmıştır. Ayrıca titreşimli alanlarda gevşeme riski taşıyan bağlantılarda kullanılan M8x1,25 8.8 DIN 980 sıkmalı somun da çalışmalara eklenmiştir. Sürtünme katsayısının kilitleme yüküne olan etkisi nedeniyle montaj koşullarında eş değerlik sağlanması adına tüm bağlantı elemanları aynı kaplama ile kaplanmıştır. Kilitleme kimyasallarının titreşim performansları, iki farklı somun ile oluşturulan montaj koşulları ile birlikte Junker titreşim test düzeneğinde incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve çalışma sonunda titreşim direnci en yüksek montaj koşulu belirlenmiştir. Sonuç olarak, kilitleme kimyasalı kullanımı ve sıkmalı somun tercih edilmesiyle montaj bölgelerinde gevşeme direncinin arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cıvata, Sıkmalı somun, Kilitleme Kimyasalı, Montaj, Junker titreşim testi



COMPARISON OF TENSILE PROPERTIES OF SINGLE AND PLIED POLYPROPYLENE FRIEZE YARNS

CEMİLE EMEL YAZ^{*1}, GÜLBİN FİDAN¹

¹Gaziantep University, Naci Topcuoglu Vocational School, Gaziantep, TURKEY.

Abstract

Frieze yarn, which is a fancy yarn type that has high curly property, is one of the most preferred yarn types on machine carpets for usage as pile. In production process, the yarns are produced either single or plied structure, and the difference between structures directly affects the mechanical responses of yarns. In this study, effect of yarn ply structure on the tensile properties was investigated. In this respect, polypropylene frieze yarns that composed of single ply (2500 dtex), double ply (2500×2 dtex) and three ply (2500×3 dtex) were produced at constant production parameters. In order to determine the alterations on tensile responses based on ply number, tensile strength and breaking elongation tests were carried out and the results were analysed comparatively. According to the obtained test results, three ply yarn sample had higher tenacity than those of single ply and double ply samples, while double ply sample performed higher breaking elongation compared to the others. Statistical analysis results also exhibited that yarn linear density had a significant effect on both tenacity and breaking elongation values of the samples.

Keyword: Plied yarn, Frieze yarn, Tensile property.

1. Introduction

Bulked continuous filament (BCF) yarn technology is one of the mostly preferred production techniques for carpet pile yarn in various forms such as intermingled, twisted, heat-setted or in curly form which is called as frieze. Frieze unit, which can be added into BCF yarn production process as optional, gives a curly structure to the twisted yarn, in order to enable to produce fancy residential or commercial products such as shaggy carpets or rugs. Frieze yarns are produced by feeding the twisted BCF yarn into the stuffing box before heat-setting in order to provide crimp, and then the crimped yarns are passed through heat-setting for fixation. Frieze yarns, which can be in either single or plied forms, show different texture and mechanical behaviors on carpet surface. In other respects, due to its some features such as durability, easy processability, low density and price advantage, polypropylene is the most used raw material for BCF yarn production as pile yarn [1-4].

As seen in literature survey, there are several studies which investigated the mechanical and morphological properties of BCF yarns that produced by polypropylene in different mixtures and production parameters. According to these researches, Tavanai et al. studied some mechanical properties of polypropylene BCF yarns by blending polypropylene with polyamide 6 in different



ratios [5]. In their another study, the effect of pigment addition on the microstructure and some mechanical behaviors of polypropylene BCF yarn were also have been examined [6]. Sarkeshick et al. have investigated the effects of varied heat-setting parameters such as temperature and time, on the structures and properties of polypropylene BCF yarns [7]. Kebabcı et al. have studied the tensile properties of polypropylene CF and BCF yarns produced with different crosssections and draw ratios [8]. Bagheri et al. studied the effect of mixing pigments with varied proportions on texturing and mechanical properties of polypropylene BCF yarns [9]. Sözcü investigated the mechanical effect of mixing recycled polypropylene with virgin polypropylene on some behaviors of BCF yarns produced with different filament numbers and cross-sections [10]. Yaz has also examined the effect of blending polypropylene homopolymer with different types of polyolefins on the mechanical and morphological characteristics of BCF yarns [11]. In other respects, there are also many studies have searched some properties of plied yarns, by the way most of them have not focused on polypropylene and BCF technique, but they investigated plied yarns composed of different textile fibers and production methods [12-15]. In this regard, this experimental study aims to investigate the tensile properties of single and plied polypropylene frieze yarns with the purpose of determining the effect of plying the filament yarns.

2. Materials and Methods

In this study, with the aim of investigating the tensile properties of plied frieze yarns, three polypropylene frieze yarn samples that composed of single ply, double ply and three ply were produced at constant production parameters. In this respect, samples with 2500 dtex, 2500×2 dtex and 2500×3dtex yarn linear density were used to determine the tensile property changes based on ply number, tensile strength and breaking elongation tests were carried out on Statigraph testing device in accordance with TS EN ISO 2062 and the results were analyzed comparatively.

In order to determine the statistical importance of the number of yarn ply on the tensile response of frieze yarns, one-way ANOVA was performed for the yarn samples. The statistical software program SPSS 25.0 was used to interpret the experimental data. All test results were assessed at 95% confidence interval.

3. Results and Discussion

Tensile strength values of single and plied frieze yarn samples are listed in Table 1, tenacity and breaking elongation test results are also exhibited in Figure 1 and Figure 2, respectively. Meanwhile, it should be noted that tenacity is calculated by dividing the tensile strength by the linear density (fineness, usually measured in tex), or cross-sectional area of the fiber or yarn [16]. According to Table 1, as the linear density of the yarn increases, the force that is required to break the yarn also increases, as expected in theoretically. On the other hand, when the results are evaluated in terms of tenacity, an alteration is not observed on the tenacity of single ply and double ply yarn samples, however, three ply yarn sample performs slightly higher tenacity compared to the others. In such a case, it can be stated that plying the yarn does not constitute a significant difference on the tenacity of frieze yarns, nevertheless, as far as the ply number reaches at higher, it is seen that the coarser yarn has higher value of tenacity.



Figure 1. Tenacity of the frieze yarn samples

2500×2 dtex

2500×3 dtex

2500 dtex

As far as the breaking elongation results are analyzed, although a trend cannot be established between yarn linear density and elongation at break values of the samples, it is also observed that double ply yarn sample performs higher elongation compared to the single ply and three ply yarn samples which have similar values.



Figure 2. Breaking elongation of the frieze yarn samples

One-way ANOVA results of frieze yarn samples are given in Table 2. According to Table 2, yarn linear density has a statistically significant effect on both tenacity (p=0.00<0.05) and breaking elongation (p=0.000<0.05) values of yarn samples.

Table 2. One-way ANOVA for tenacity and breaking elongation of frieze yarn samples.

		F	Sig.
	Between Groups	109.547	0.000
Tenacity	Within Groups		
	Total		
	Between Groups	65.402	0.000
Breaking elongation	Within Groups		
	Total		

Duncan test results, which were carried out to determine the similarities in terms of tenacity and breaking elongation of yarn samples with different ply structure are shown in Table 3 and Table 4, respectively. Depending on Table 3, it can be said that single ply and double ply yarn samples do not have a statistically significant difference, however, there is a significant difference between three ply sample and the others. Additionally, as Table 4 depicts, a statistically significant difference is not obtained between single ply and three ply samples, whereas double ply sample is found to have significant difference from the others, in terms of breaking elongation results.

13-16 NOVEMBER, 2023

Table 3. Duncan test results for	tenacity of frieze	yarn samples.
----------------------------------	--------------------	---------------

Yarn linear density	Subset for alpha = 0.05	
	1	2
2500 dtex	1.8060	
2500×2 dtex	1.8100	
2500×3 dtex		2.0120
Sig.	0.806	1.000

Table 4. Duncan test results for breaking elongation of frieze yarn samples.

Yarn linear density	Subset for alpha = 0.05	
J	1	2
2500×3 dtex	43.6400	
2500 dtex	44.2920	
2500×2 dtex		57.7280
Sig.	0.648	1.000

4. Conclusions

HASAN KALNONCU 415"

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER

In this study, single ply (2500 dtex), double ply (2500×2 dtex) and three ply (2500×3 dtex) polypropylene frieze yarn samples were produced in order to determine the effect of plied yarn structure on tensile responses of frieze yarns. Depending on the results, the tensile strength of the yarns had increased as the yarn linear density of samples increased, on the other hand, as far as the results were evaluated in terms of tenacity, three ply yarn was detected to have higher tenacity compared to single ply and double ply samples which had similar tenacity values. On the other side, breaking elongation results showed that double ply yarn had higher elongation at break than those of the other samples which performed similar elongation values. Additionally, the statistical analysis also exhibited that yarn linear density was found to be statistically significant on both tenacity and breaking elongation results of the samples. Moreover, according to Duncan test results for tenacity, it can be stated that there was no significant difference between single ply and double ply yarn, whereas a statistically significant difference was observed between three ply and the others. In addition to this, Duncan test results for breaking elongation also showed that there was no statistically significant difference between single ply and three ply samples, while double ply sample was detected to have a significant difference from the others.

Acknowledgments: The authors wish acknowledge to company of GRAND HALI TEKS. SAN. ve TİC. A.Ş., Gaziantep, Türkiye, for their technical support for production of yarn and carpet samples.



References

HARAN KADDINGU

- 1. Gong, R, H. Specialist Yarn and Fabric Structures Developments and Applications, Sawston, UK: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- 2. Crawshaw, G,H. Carpet Manufacture, Sawston, UK: Woodhead Publishing Limited, 2002.
- 3. Goswami, K,K. Advances in Carpet Manufacture, Sawston, UK: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- 4. Küçükoğlu, B., Kılıç, A., Kapucu, S. Kıvırcıklandırılmış Halı İpliklerinin Geometrik Parametrelerinin Görüntü İşleme ile Belirlenmesi, Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2014, 2(2), 246-256.
- 5. Tavanai, H., Morshed, M., Hosseini, S.M. Effect of On-Line Melt Blending of Polypropylene with Polyamide 6 on the Bulk and Strength of the Resulting BCF Yarn, Iranian Polymer Journal, 2003, 12(5), 421-430.
- 6. Tavanai, H., Morshed, M., Zarebini, M., Rezve, A.S. A Study of the Nucleation Effect of Pigment Dyes on the Microstructure of Mass Dyed Bulked Continuous Filament Polypropylene, Iranian Polymer Journal, 2005, 14(3), 267-276.
- 7. Sarkeshick, S., Tavanai, H., Zarrebini, M., Morshed, M. An Investigation on the Effects of Heat-Setting Process on the Properties of Polypropylene Bulked Continuous Filament Yarns, The Journal of the Textile Institute, 2009, 100(2), 128-134.
- 8. Kebabcı, M., Babaarslan, O., Özkan Hacıoğulları, S., Telli, A. The Effect of Drawing Ratio and Cross-Sectional Shapes on the Properties of Polypropylene CF and BCF Yarns, Journal of Textiles and Engineer, 2015, 22(100), 47-53.
- 9. Bagheri, G., Tavanai, H., Ghiaci, M., Morshed, M., Shamsabadi, A.S. An Investigation on the Effect of Pigments on the Texture Ability and Mechanical Properties of Polypropylene BCF Yarns, The Journal of the Textile Institute, 2020, 111(9), 1308–1317.
- 10. Sözcü, Ş. The Production of BCF Yarn and Machine Carpet from Recycled Polypropylene Pellets, Master of Science Thesis, Gaziantep University, Graduate School of Natural & Applied Sciences. Gaziantep, Turkey, 2019.
- 11. Yaz, C,E. The Investigation of the Effect of Polypropylene Copolymer and Thermoplastic Polyolefin Use in Bulked Continuous Filament Yarn Production on Carpet Performance, PhD Thesis, Gaziantep University, Graduate School of Natural & Applied Sciences. Gaziantep, Turkey, 2021.
- Huang, W., Fu, T., Zhang, Y., Wang, J. An Approach to Predict the Tensile Strength of a Two-ply Yarn from Single Filament Yarn, The Journal of The Textile Institute, 2017, 108:3, 412-417.
- 13. Sibellas, A, Adrien, J, Durville, D, Maire E. Experimental Study of the Fiber Orientations in Single and Multi-ply Continuous Filament Yarns, The Journal of The Textile Institute, 2020, 111:5, 646-659.
- Palaniswamy, N, K, Mohamed, A, P. Effect of Single Yarn Twist and Ply to Single Yarn Twist Ratio on Strength and Elongation of Ply Yarns, Journal of Applied Polymer Science, 2005, 98(5), 2245-2252.
- 15. Palaniswamy, K., Mohamed, P. Effect of the Single-yarn Twist and Ply to Single-yarn Twist Ratio on the Hairiness and Abrasion Resistance of Cotton Two-ply Yarn, Autex Research Journal, 2006, 6(2), 59-71.
- 16. Sinclair, R. Textiles and Fashion, Woodhead Publishing: 2015.



FARKLI ATKI SIKLIĞINDAKİ POLYESTER HAVLI HALILARDA STATİK YÜKLEME SONRASINDA REZİLYANS PERFORMANSININ İNCELENMESİ

HASAN KALNONCU 415" SH

GÜLBİN FİDAN*¹, BETÜL TURAN²

¹Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu MYO, Gaziantep, TÜRKİYE. ²Dokuteks (KOZA Halı) Tekstil, Gaziantep, TÜRKİYE.

Özet

Makine halıcılığında çeşitli doğal ve sentetik lifler kullanılmaktadır. Akrilik halılarda görülen alerji, tozuma; polipropilen halılarda görülen aşınma, keçeleşme gibi problemler, yüksek mukavemeti ile ön plana çıkan polyester lifini sadece zemin ve dolgu ipliği olarak değil, aynı zamanda hav ipliği olarak da kullanımını mümkün hale getirmiştir. Polyester lifinin hav ipliği olarak kullanıldığı makine halılarının, özellikle polipropilene göre daha yumuşak bir tuşeye sahip oldukları ve parlak renkli halıların elde edildiği makine halısı üreticileri tarafından belirtilmektedir. Bu çalışmada, iplik üretimi sırasında yapılan yumuşatıcı uygulaması ve katlı iplik kullanımı sayesinde oldukça yumuşak bir tuşeye sahip, viskon hav iplikleri ile elde edilen halılara benzer üretimler yapılmıştır. Numune halı üretimleri farklı sıklıklarda gerçekleştirilerek optimum yumuşaklıkta ve dayanım özelliğine sahip sıklığın belirlenerek seri üretimin yapılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, 150 denye, 144 filament sayısında polyester iplikleri katlanarak yüksek filament sayılı 1200 denye hav iplikleri üretilmiştir. Üretilen hav iplikleri ile 50, 60, 90 tel/dm atkı sıklığında, wilton tipi yüz-yüze halı dokuma işlemi gerçekleştirilmiş ve 3 adet numune halı elde edilmiştir. Halı numuneleri kısa süreli statik yükleme testine tabi tutulmuştur. Statik yükleme test sonuçları istatistiksel olarak analiz edilmiş ve atkı sıklığının kalınlık kaybı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı, ancak rezilyans sonuçları üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Makine halısı, Polyester, Statik yükleme, Kalınlık kaybı, Rezilyans



HASAN KALNONCU 415" ----



ENERGY MANAGEMENT STRATEGY BASED ON A ROBUST FREQUENCY-DECOUPLING AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR BATTERY/SUPERCAPACITOR ELECTRIC VEHICLES

KHOUDİR KAKOUCHE^{*1}, MUSTAFA ERGİN SAHİN², AZEMTSOP MANFO THEODORE^{*2}, HARTANİ MOHAMED AMİNE³, DJAMİLA REKİOUA¹, TOUFİK REKİOUA¹.

¹ Laboratoire de Technologie Industrielle et de l'Information Faculté de Technologie, Université de Bejaia, 06000 Bejaia, Algeria.

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize 53100, Turkive

³ Sustainable Development and Computer Science Laboratory SDCS-L, Ahmed Draia University, Adrar 01000, Algeria

khoudir.kakouche@univ-bejaia.dz, azemsouleymane@yahoo.fr

Abstract

Hybrid Energy Storage Systems (HESS) have gained increasing importance in electric vehicle (EV) research. Controlling the energy and power flows of onboard HESS and their integration is essential for enhancing EV performance. The development of an Energy Management Strategy (EMS) is crucial as it significantly impacts the autonomy and capabilities of EVs. In this study, we present a novel power-splitting approach for HESS using Frequency Decoupling and an Advanced Low-Pass Filtering (ALPF) Technique. This innovative approach is integrated between the external Direct Current (DC) bus voltage loop and internal current loops to optimize the allocation of frequency components between batteries and supercapacitors. The Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is employed to optimize the superior performance of the system using the ALPF technique with parameters optimized through the PSO strategy compared to the ALPF with PI technique. The ALPF approach with PSO enhances the lifespan of the hybrid storage system by reducing the values of Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) values of both battery and supercapacitor currents. Furthermore, it provides improved stability of the DC bus voltage and enhances the transient response of the system.

Keyword: Electric vehicle, Battery, Supercapacitor, Energy management strategy, Frequency decoupling, Optimal control, Particle swarm optimization

İNFRARED IŞINLAR İLE ERGİTİLEN ORGANİK VE İNORGANİK MADDELERİN ISIL ENERJİ DEPOLAMADA KULLANIMI

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SH

TICMET'2

ALİ KEMAL ÖZCAN¹, ÖMER ÖKSÜZ², CEVDET DEMİRTAŞ³

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ozcants61@gmail.com omeroksuz@ktu.edu.tr demirtas@ktu.edu.tr

Özet

Enerji tüketimine olan talebin karşılanması için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Enerjide sürekliliğin sağlanması için, enerji depolama işlemlerinin araştırılarak uygulanması gerekmektedir. İnfrared lambadan yayılan ışınların konik bir yansıtıcı ile yoğunlaştırılarak, depo üst yüzeyinden iki farklı faz değişim malzemesine (FDM) ısı olarak aktarılmıştır. Bu çalışmanın özgün değeri, infrared ışınımlar ile FDM'nin yenilikçi bir ısı depolama sistemi üzerindeki performansının deneysel olarak incelenmesidir. Laboratuvar ortamında orta sıcaklık (100-300°C) uygulamalar ile infrared lambadan elde edilen ışınları konik bir yoğunlaştırıcı ile organik FDM1 ($C_n H_{2n+2}$) olarak parafin ve inorganik FDM2 (KNO₃, NaNO₂ ve NaNO₃) olarak Hitec tuzların ergitilmesi ile termal depolamada kullanımları incelenmiştir. Isı depolamada şarj durumunda, odak sıcaklığı yaklaşık 300 °C iken, yaklaşık 10 lt'lik fırın üst ve orta bölgesi sıcaklıkları Hitec ve parafin için, 4 saat sonunda sırasıyla en yüksek 240 °C ve 87 °C ölçülmüştür. Deşarj durumunda 4 saat sonunda, fırındaki Hitec tuzunun üst bölge sıcaklığı yaklaşık 102 °C den 46 °C'ye düşerken, Parafin ise 75 °C den 55 °C'ye düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca yapay ışın yöntemi ile fırındaki FDM'lerin kütlesel debileri parafinin ve Hitec için sırasıyla 6.8x10⁻⁵ ve 1.4x10⁻⁵ kg/s belirlendi. Parafin ve Hitec tuzu için hesaplanan Termodinamiğin birinci kanun verimleri ise sırasıyla % 20,5 ve % 26,2'dir. Sonuç olarak, sınırlı bir sıcaklığa kadar (80°C) olan düşük sıcaklıklarda yapılan uygulamalarda parafinin yüksek ısı depolama kabiliyeti olduğu görülmüştür. Buna karşın, orta ve yüksek sıcaklıklarda termal depolamada ise, inorganik tuz olan özellikle düşük ergime noktasına sahip olması, özgül 1sı kapasiteleri yüksek olan ve yüksek sıcaklıklarda kararlı çalışabilen Hitec tuzu karışımının kullanılması uygun görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İnfrared ışınlar, parafin, Hitec tuzu, ısıl depolama

MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF DISSIMILAR S235 AND S32205 STEEL SHEETS AFTER TIG WELDING

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2

AZİZ BARIŞ BAŞYİĞİT *1, ALİ GÜL 2, HALİL İBRAHİM KURT³

 ^{1*} Associate Prof. Dr., Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Metallurgical and Materials Engineering Department, Kırıkkale, Türkiye
 ² B.Sc. Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering, Kırıkkale, Türkiye
 ³ Associate Prof. Dr., Samsun University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aerospace Engineering, Samsun, Türkiye

Abstract

S235 unalloyed steels are broadly used in structural and constructional applications while UNSS32205 duplex stainless steel alloys are preferred especially in bridges, marine and pulp, paper production industries. These two distinct types of steel alloys can be both used in applications especially for economical considerations assuming that high alloyed UNS S32205 steel is more expensive as compared to S235 alloy. These alloys can be joined together with fusion welding operations such as Tungsten Inert Gas Welding technique. Welding of these alloys are referred as white and black welding technique as a result of white and black designating stainless and low alloyed steels respectively.

In this study, S32205 and S235 steel sheets both having thicknesses of 3mm were joined by TIG welding with pure argon shielding gas. Micro-structural investigations, micro-vickers hardness and tensile tests were made on raw materials and welded joints. As tensile and micro-vickers hardness tests are both considered, dissimilar welded joints exhibited close hardness and strength values with raw materials.

Keywords: S235 steels, S32205 steels, Dissimilar welding

LATERAL BUCKLING INVESTIGATION ON REINFORCED EPP FOAM WITH CARBON/EPOXY LAMINATES FOR UAV USAGE

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHNI DDOE DD OSMAN TUDAN CUITUD TICMET'2

EYÜP YETER ^{*1}, BURAK ŞAHİN ¹, MURAT KALAK ¹, KÜRŞAD GÖV¹

¹ Gaziantep University, Aeronautics and Aerospace Faculty, Aircraft and Aerospace Engineering, Gaziantep, TURKEY.

Abstract

Poly-propylene (EPP) foams are preferred materials in the production of UAV due to their low weight and ease of production. In addition, easy formability and low price are other reasons for preference. However, their low strength and inability to withstand possible loads are among their disadvantages. In order to avoid these disadvantages, combining polymer materials both increases the strength and ensures that the controls during flight are more stable. The wing-like structures used in the UAV are exposed to buckling loads. Sometimes, while the stresses caused by the loads are at low values, the structures can be damaged due to buckling. In this study, carbon/epoxy was chosen as the polymer composite material. The aim of the study is to investigate the lateral buckling properties of structures reinforced with carbon/epoxy layers. The foam was used in the interior of the models, and Carbon/Epoxy layers in different sequences were used in the bottom and top layers. As a result, the strength of the foam reinforced with carbon/epoxy layers to lateral buckling load was compared with the nonreinforced foam. The lateral buckling load of foam reinforced with Carbon/Epoxy layers is higher than non-reinforced foam. In other words, it was observed that the plate reinforced with carbon/epoxy layers was more resistant to lateral buckling load. In addition, the effects of the different orientations on the lateral buckling load were investigated. It was obtained that changing the orientation affects the lateral buckling load.

Keyword: EPP Foam, Composite, Lateral buckling, Finite Element Analysis

1. Introduction

HASAN KALDONCU

EPP Foam materials are commonly used in the design of light UAV structures due to less weight and easy manufacturing advantages. However, despite the low weight of these types of foams, their low mechanical properties limit their usage areas. Hence, increasing these low mechanical properties without increasing the weight is important. For this purpose, the foam structure can be reinforced with polymer composite layers, providing the desired mechanical properties.

The wing-like structures used in the UAV are exposed to buckling loads. Sometimes, while the stresses caused by the loads are at low values, the structures can be damaged due to buckling. Buckling is the sudden bend of structures below the yield strength. Lateral buckling is a type of buckling that occurs under lateral load and is a phenomenon that aircraft structures may be exposed to.

HASAN KALMONCU



There are various studies examining the mechanical properties of EPP foam reinforced with composite layers. When thin face plates are combined with lightweight core material, it is called as sandwich structure [1,2]. Abdi et al. [3] researched the mechanical performance of the foam and glass/polyester sandwich structure under the compression and indentation loads. It was observed that using circular reinforcing pins increased the mechanical performance of the structure. MP Arunkumar et al. [4] researched the effects of foam adding to the truss core for aerospace usage. It was concluded that the addition of triangular foam to the truss core increases the deformation resistance. Impact energy and stitch density. Low-velocity impact performance foam reinforced with polymer composites was investigated by Han et al.[5]. Foam reinforced with polyester pins and composite layers and the resistance of this structure to the compressive loads were researched by Jayaram et al. [6]. It was seen that load-carrying capacity increased by adding polyester pins to the sandwich plate. Chen et al.[7]researched sandwich tubes obtained combanng fiber reinforced plastics and foam core. It was concluded that the total buckling occuring to the tube thre is no local buckling mode. Sandwich plates were produced using natural reinforcement elements and foam and were subjected to impact loads and then 3-point bending tests were performed by Betts et al. [8]. As a result, no significant strength decrease was observed in the samples subjected to impact. An analytic equation was derived for the buckling resistance of cylindric sandwich structure including a foam core by Ye et al. [9]. Foam-added honeycomb structures and these structures were tested under compression by Luo et al [10]. It was concluded that adding foam increased the lateral buckling resistance.

In this study, carbon/epoxy was chosen as the polymer composite material. The study aims to investigate the lateral buckling properties of structures reinforced with carbon/epoxy layers. The foam was used in the interior of the models, and Carbon/Epoxy layers in different sequences were used in the bottom and top layers. In the design of sequences, the design criteria were to obtain high lateral buckling loads with less weight. For this purpose, firstly, the lateral buckling load change with increasing thickness of the selected foam and composite material was examined. Then, by keeping the thickness of the foam and outer composite layer constant, the effect of different sequences of the placed composite layer on the lateral buckling load was investigated.

2. Materials and Methods

In the study, lateral buckling investigation on EPP foam reinforced with carbon/epoxy laminates was performed. The foam was used in the interior of the models, and Carbon/Epoxy layers in different sequences were used in the bottom and top layers. Finite element analyses were conducted to obtain critical buckling loads for different models. The used model has a constant width of 100 mm and a length of 200 mm as given in Figure 1.



Figure 1. The plate geometric information (dimensions in mm)

The material properties of carbon/epoxy used in the study are taken from the ANSYS material library and the mechanical properties are given in Table 1. EPP Foam mechanical properties are taken from a reference study [11,12] and these properties are given in Table 2.

Property	Value
Density (kg m^- ³)	1490
Young Modulus X direction (MPa)	121000
Young Modulus Y direction (MPa)	8600
Young Modulus Z direction (MPa)	8600
Poisson's Ratio XY	0.27
Poisson's Ratio YZ	0.4
Poisson's Ratio XZ	0.27
Shear Modulus XY	4700
Shear Modulus YZ	3100
Shear Modulus XZ	4700
Tensile Stress in X	2231
Tensile Stress in Y	29
Tensile Stress in Z	29

Table 1. Material parameters of carbon/epox
--
Property
--
Density (kg m ^{-3})
Young Modulus (MPa)
Poisson's Ratio
Ogden Foam Modem I
MU1 (MPa)
A1
MU2 (MPa)
A2
MU3 (MPa)
A3
B1
B2
B3

Table 2. Material parameters of EPP Foam

13-16 NOVEMBER, 2023

_

The boundary conditions of models are given in Figure 2. The left side of the plate is fixed and a downward lateral unit load is applied from the top of the right side of the plate.



Figure 2. Boundary and Loading Conditions

In the study, 7 different models in different sequences were created. The models used in the study and their names are given in Table 3.





Name	Models	Total thickness
Model1	Foam	10 mm-34 mm
Model2	[(0/90) ₃ /Foam/(90/0) ₃]	1.5 + 12 +1.5 =15 mm
Model3	$[(30/-60)_3/Foam/(-60/30)_3]$	1.5 + 12 +1.5 =15 mm
Model4	[(45/-45) ₃ /Foam/(-45/45) ₃]	1.5 + 12 +1.5 =15 mm
Model5	$[(0/90)/(30/-60)_2/Foam/(-60/+30)_2/(90/0)]$	0.5+1+ 12 +1+0.5=15 mm
Model6	$[(0/90)/(45/-45)_2/Foam/(-45/+45)_2/(90/0)]$	0.5+1+ 12 +1+0.5=15 mm
Model7	$[(0/90)_2/(30/-60) / Foam/(-60/+30)/(90/0)_2]$	0.5+1+ 12 +1+0.5=15 mm
Model8	$[(0/90)_2/(45/-45)/Foam/(-45/+45)/(90/0)_2]$	1+0.5+ 12 +0.5+1=15 mm

3. Results and Discussion

HASAN KAINONCU 415"

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER

The study started by obtaining the lateral buckling load of 15 mm foam. The lateral buckling load for 15 mm EPP foam was obtained as 158.87 N. Later, the lateral buckling load for model 1 was obtained as 624.11N. In the study, this load value (624 N) was taken as a reference and other model results were compared according to this value. Figure 3 shows the lateral buckling load change for EPP foam increased from 10 mm to 34 mm. As seen in this figure, to obtain a lateral buckling strength above the reference value of 624 N, it is necessary to use EPP foam with a thickness of at least 34 mm.



Figure 3. Lateral buckling load changes with EPP Foam thickness increase.

Figure 4 shows the lateral buckling load change for the carbon/epoxy plate increased from 1 mm to 5 mm for cross-ply orientation. As can be seen in the figure, the value of 527.33 N in the 3 mm thick carbon/epoxy plate reached the reference value of 624 N. Therefore, in the models given in Table 3, carbon/epoxy was used as 3 mm in total



Figure 4. Lateral buckling load changes with carbon/epoxy thickness increase.

Lateral buckling load changes of EPP foam reinforced with carbon/epoxy laminate models are given in Figure 5. When the figure is examined, it was observed that the highest lateral buckling load is obtained in Model2 and Model7. It is seen that the lowest lateral buckling load is obtained in model 4 there is an approximately 65% difference between the model with the highest lateral buckling load and the model with the lowest.



Figure 5. Lateral buckling load changes of EPP foam reinforced with carbon/epoxy laminates models

4. Conclusions:

In this study, lateral buckling resistance of carbon/epoxy reinforced EPP foam was investigated. The foam was used in the interior of the models, and Carbon/Epoxy layers in different sequences were used in the bottom and top layers. In the design of sequences, the design criteria were to



obtain high lateral buckling loads with less weight. by keeping the thickness of the foam and outer composite layer constant, the effect of different sequences of the placed composite layer on the lateral buckling load was investigated.Resuls shows that lateral buckling load increase 7 times When EPP foam increased from 10 mm to 34 mm. Itwas observed that the highest lateral buckling load is obtained in Model2 and Model7. It is seen that the lowest lateral buckling load is obtained in model 4 there is an approximately 65% difference between the model with the highest lateral buckling load and the model with the lowest.

References

HASAN KALMONCU

- 1. Khatua, T. and Cheung, Y. Bending and vibration of multilayer sandwich beams and plates. **1973**, 6(1):11-24.
- 2. He, M. and Hu, W. A study on composite honeycomb sandwich panel structure. **2008**, 29(3):709-713.
- 3. Abdi, B., Azwan, S., Abdullah, M., Ayob, A. and Yahya, Y. Comparison of foam core sandwich panel and through-thickness polymer pin–reinforced foam core sandwich panel subject to indentation and flatwise compression loadings. **2016**, 37(2):612-619.
- 4. Arunkumar, M., Pitchaimani, J. and Gangadharan, K. Bending and free vibration analysis of foam-filled truss core sandwich panel. **2018**, 20(5):617-638.
- 5. Han, F., Yan, Y. and Ma, J. Experimental study and progressive failure analysis of stitched foam-core sandwich composites subjected to low-velocity impact. **2018**, 39(3):624-635.
- Jayaram, R., Nagarajan, V. and Vinod Kumar, K. Compression and low velocity impact response of sandwich panels with polyester pin-reinforced foam filled honeycomb core. 2019, 21(6):2014-2030.
- 7. Chen, L., Pan, D., Zhao, Q., Niu, L., Cong, L. and Li, C. Overall buckling characteristics of slender FRP-foam sandwich tube under axial compression. **2021**, 24(100585.
- 8. Betts, D., Sadeghian, P. and Fam, A. Post-impact residual strength and resilience of sandwich panels with natural fiber composite faces. **2021**, 38(102184.
- 9. Ye, L., Lu, G. and Ong, L. Buckling of a thin-walled cylindrical shell with foam core under axial compression. **2011**, 49(1):106-111.
- [Luo, H. C., Ren, X., Zhang, Y., Zhang, X. Y., Zhang, X. G., Luo, C., Cheng, X. and Xie, Y. M. Mechanical properties of foam-filled hexagonal and re-entrant honeycombs under uniaxial compression. 2022, 280(114922.
- 11. Zhang, X., Andrieux, F. and Sun, D. Pseudo-elastic description of polymeric foams at finite deformation with stress softening and residual strain effects. **2011**, 32(2):877-884.
- 12. Sadighi, M. and Salami, S. An investigation on low-velocity impact response of elastomeric & crushable foams. **2012**, 2(4):627-637.

COMPARATIVE MECHANICAL INVESTIGATION ON UAV WINGS REINFORCED WITH EPP FOAM AND CARBON/EPOXY LAMINATES

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'23

EYÜP YETER^{*1}, MURAT KALAK¹, MUSTAFA VARKİ¹

¹Gaziantep University, Aeronautics and Aerospace Faculty, Aircraft and Aerospace Engineering Department, Gaziantep, TURKEY.

Abstract

Expanded Poly-propylene (EPP) foam, which is a low density and light material, has high flexibility and toughness properties. While these properties of EPP increase the durability of mini-UAV wings against loads that may be encountered during flight, they also help to reduce damages by providing energy absorption. Due to these reasons, UAV wing model with Naca 4412 airfoil was designed from EPP foam material and its mechanical properties such as deformation, stress were investigated using ANSYS in this study. Seven different cases were formed by laying Carbon/Epoxy composite materials on this airfoil. The composite plies are laid up to form twelve-ply laminates having $[\theta]_{12}$ stacking sequences and used fiber orientations are: $[(0/90)_3]_s$, $[(30/-60)_3]_s$, $[(45/-45)_3]_s$, $[(0/90)_2/(30/-60)]_s$, $[(0/90)_2/(45/-45)]_s$, $[(0/90)_2/(30/-60)]_s$ $(60)_2/(0,90)_2$ and $[(0/90)_2/(45/-45)_2/(0,90)_2]$. Designs were carried out to ensure that the wing profile thicknesses of the first and second models were equal. The seven cases in the second model were orientated at different angles and each case represented a different configuration. Each configuration provided the opportunity to evaluate the distribution and impact of the carbon/epoxy material on the airfoil from different angles. The mechanical properties of the second model were also investigated in ANSYS and compared with the first model. The results obtained revealed the effect of the combination of EPP foam and carbon epoxy composite material on the mechanical performance of Naca 4412 airfoil. This study has an important role in the design and material selection of UAV wings. It provides valuable insights into the mechanical behaviour and performance of the wing profile, helping to optimize the design and enhance the overall durability and performance of UAVs.

Keyword: EPP Foam, Composite, UAV Wing (Naca 4412), Finite Element Analysis, XFLR5

1. Introduction

Nowadays, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become an important part of modern aerospace technology, holding an important place in military and civilian applications areas [1,2]. The design and performance of UAVs used in these areas are shaped by the continuous development of the materials and manufacturing techniques. One of the primary aims of the aerospace industry is to enhance the flight performance, improve the durability, and maintain the light-weight of UAVs. Therefore, the development of lightweight and durable materials plays a critical role in the improvement of UAV technology [3].



HASAN KALNONCU 415"



EPP (Expanded Poly-propylene) foam, known as a polypropylene resin-based thermoplastic foam material, which is frequently used especially in the manufacturing of mini-UAV wings [4], is a preferred material due to its lightness, machinability and resistance to impact [5]. These features increase the flight endurance and durability of mini-UAVs. Many studies in the literature have focused on the design and production of mini-UAV wings using EPP foam material [6,7]. These studies presented the suitability and advantages of EPP foam and provided different approaches to optimise the design on factors such as airfoil shape, airfoil width and length. However, the strength properties of EPP foam are limited compared to the high strength potential of carbon epoxy composites [8].

Carbon epoxy composite materials have performed an important role in modern industry and engineering applications and have provided a revolutionary development in the area of material engineering [9]. These composites are characterised by a carbon fiber-reinforced epoxy matrix and offer a combination of superior strength and lightweight [10]. Due to these properties, it is frequently used in the aviation industry for the construction of aircraft and unmanned aerial vehicles (UAVs), in the automotive industry for designing lightweight vehicles and in many other application areas [11]. The place of carbon epoxy composites in the literature is quite extensive and covers various research areas. Park et al. investigated the effect of using carbon epoxy composite materials in the construction of UAV wings on flight performance [12]. This study emphasises the relationship between the lightweight and strength of carbon epoxy composites and the advancement of UAV technology. Similarly, Balakrishnan et al. studied the use of carbon epoxy composites in the automotive industry and investigated techniques that can be used for damage detection and repair assessment of these materials. [13].

By combining the specific mechanical properties of EPP foam with the strength potential of carbon epoxy composites, a more durable and lightweight material structure can be created [14]. This study presents the effects on the mechanical properties of applying carbon epoxy composite material at different angles and configurations to a mini-UAV wing with a Naca 4412 airfoil made of EPP foam material to improve the performance of UAV wings. The studies carried out using the ANSYS program have enabled the comparison between the mechanical properties of EPP foam material and the material obtained by applying composite material on EPP foam. This study will provide an important base for optimising of such applications and obtaining better results in the design of mini-UAV wings.

2. Materials and Methods

At the center of this study are Carbon/Epoxy composite material and EPP foam material, which have low density and light-weight. At the beginning of the study, EPP Foam material was selected and subsequently, Naca 4412 profile which has a flat bottom side was preferred as a suitable airfoil in order to lay carbon/epoxy composite material on top of this material. This airfoil was particularly preferred for ease of covering. After Naca 4412 airfoil was identified, the wing model was designed (**Figure 1**).



Figure 1. Three-dimensional design of Naca 4412 airfoil (a) and XFLR5 image (b)

The EPP Foam material has been defined using the Ogden model in the ANSYS program (**Table 1**). The Ogden model is a material model used to mathematically describe the mechanical behaviour of elastic materials. This model is widely used, especially to simulate the behaviour of rubberlike elastomers. Ogden model is also used to describe the stress-strain relationship of elastic material.

Property	Value
Density ρ (kg/m ³⁾	52
Young's Modulus E (MPa)	3.87
Poisson's Ratio v	0.3
Degree of the Ogden model N	3
Shear modulus μ_1 (MPa)	1.66
Parameters of the Ogden model α_1	13.74
Parameters of the Ogden model β_1	4.95
μ_2 (MPa)	3.80
α ₂	12.97
β_2	0.45
μ_3 (MPa)	-0.974
α ₃	-2.405
β ₃	5.51544

Table 1. Parameters of EPP foam and Ogden model [5,15]

Subsequently, carbon/epoxy composite materials (**Table 2**) were applied to the surface of the EPP foam wing profile to obtain seven different configurations. The composite layers are placed to obtain laminates with different angles and sequences (**Figure 2**).



HASAN KALMONCU

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER TICMET

Figure 2. The laying carbon/epoxy composite material on the EPP foam wing

Table 3 presents the sequences used in the study and the names of the sequences. These configurations allow to evaluate the effect and distribution of the carbon/epoxy material on the airfoil in different aspects.

Property	Value
Density (kg/m ³⁾	1490
Young Modulus X direction (MPa)	121000
Young Modulus Y direction (MPa)	8600
Young Modulus Z direction (MPa)	8600
Poisson's Ratio XY	0.27
Poisson's Ratio YZ	0.4
Poisson's Ratio XZ	0.27
Shear Modulus XY	4700
Shear Modulus YZ	3100
Shear Modulus XZ	4700
Tensile Stress in X	29
Tensile Stress in Y	29
Tensile Stress in Z	29

Table 2. Parameters of carbon/epoxy composite material



Figure 2. The laying carbon/epoxy composite material on the EPP foam wing

Name of the sequence	Abbreviation	Model	Total thickness
Sequence 1	S1	Foam	33 mm
Sequence 2	S2	[(0/90)3]s	33 mm
Sequence 3	S3	[(30/-60) ₃] _s	33 mm
Sequence 4	S4	[(45/-45) ₃] _s	33 mm
Sequence 5	S5	$[(0/90)_2/(30/-60)]_s$	33 mm
Sequence 6	S6	$[(0/90)_2/(45/-45)]_s$	33 mm
Sequence 7	S 7	$[(0/90)_2/(30-60)_2/(0,90)_2]$	33 mm
Sequence 8	S 8	$[(0/90)_2/(45/-45)_2/(0,90)_2]$	33 mm

TICME

The studies were carried out using ANSYS program. The simulations were used to analyse the mechanical behaviour of the mini-UAV wing having Naca 4412 airfoil made of EPP Foam material. Furthermore, this study has provided the opportunity to compare the effects of applying carbon/epoxy composite material with the results obtained from EPP Foam.

3. Results and Discussion

HASAN KALMONCU 415"

Firstly, the deformation analysis of the UAV wing model made of EPP foam material was investigated in ANSYS program. According to the results of the study, the total deformation value was obtained as 319.13 mm for the 33 mm wing thickness model (Figure 3). Subsequently, the studies continued for the models obtained by laying composite materials on the surface of this wing model and the deformation values are shown graphically in Figure 4. The best value among the models was obtained as 0.1094 mm for the S6 model. This deformation value is considered as a reference in the study. Figure 3 shows the deformation change from 0 mm to 500 mm for EPP foam. As seen in this figure, in order to obtain the reference value of 0.1094 mm, at least 350 mm thick EPP foam should be used.



Figure 3. Deformation changes with EPP Foam thickness increase



Figure 4. Deformation changes of EPP foam reinforced with carbon/epoxy airfoil models

The changes of deformation values of the wing models made of carbon/epoxy composite material (without EPP foam) are presented in **Figure 5**. When the figure is examined, it is seen that the lowest deformation values of 0.1989 mm and 0.1986 mm are obtained in Model 7 and Model 8, respectively. It is seen that the highest deformation value is obtained in model 4 as 0.4439 mm. It can be seen that there is a difference of approximately 55% between the model with the highest deformation value and the model with the lowest.



Figure 5. Deformation changes of carbon/epoxy wing models without EPP foam

4. Conclusions

This study investigates the mechanical performance of mini-UAV (Unmanned Aerial Vehicles) wings, which is an important focus on design and material selection. The mechanical behaviour of EPP foam was successfully described using the Ogden model, which improved the accuracy of material characterisation and simulations. Furthermore, the use of carbon/epoxy composite



material in UAV wings has the potential to improve mechanical performance. The use of composite materials orientated at different angles and models increases the flexibility of the design and can fulfil different application requirement. The best value among the eight models was obtained as 0.1094 mm for the S6 model. Material selection is a critical factor in the success of the design and must be balanced with application requirements. The future studies can focus on examining more material options and application methods and contribute to the development of UAV technology.

References

- 1. Nawaz, H., Ali, H. M. and Massan, S. Applications of unmanned aerial vehicles: a review. Tecnol. Glosas InnovaciÓN Apl. Pyme. Spec, **2019**, 3(2019):85-105.
- 2. Udeanu, G., Dobrescu, A. and Oltean, M. Unmanned aerial vehicle in military operations. Sci. Res. Educ. Air Force, **2016**, 18(1):199-206.
- 3. Siengchin, S. A review on lightweight materials for defence applications: A present and future developments. Def. Technol., **2023**, 24(1):1-17.
- 4. Cao, S., Wang, X. and Yu, H., in *Real-time maneuver command generation and tracking for a miniature fixed-wing drone with a ducted-fan unit*, 2021 (IEEE), p. 3591-3596.
- 5. Zhang, X., Andrieux, F. and Sun, D. Pseudo-elastic description of polymeric foams at finite deformation with stress softening and residual strain effects. **2011**, 32(2):877-884.
- 6. Yu, L., Zhu, Q. and Yu, J. Development and application of expanded polypropylene foam. J. Wuhan Uni. Technol.-Mater. Sci. Ed., **2013**, 28(2):373-379.
- 7. Ren, W. and Beard, R. W. Cooperative Surveillance with Multiple UAVs. Distrib. Consen. Multi-vehicle Coop. Control: Theory App., **2008**, 14(5):265-277.
- 8. Davoodi, M., Sapuan, S. and Yunus, R. Conceptual design of a polymer composite automotive bumper energy absorber. Mater. Des., **2008**, 29(7):1447-1452.
- 9. Harussani, M., Sapuan, S., Nadeem, G., Rafin, T. and Kirubaanand, W. Recent applications of carbon-based composites in defence industry: A review. Def. Technol., **2022**, 18(8):1281-1300.
- 10. Alsubari, S., Zuhri, M., Sapuan, S., Ishak, M., Ilyas, R. and Asyraf, M. Potential of natural fiber reinforced polymer composites in sandwich structures: A review on its mechanical properties. **2021**, 13(3):423.
- 11. Mangalgiri, P. Composite materials for aerospace applications. Bull. Mater. Sci., **1999**, 22(3):657-664.
- 12. Park, S. W., Shin, J. W. and Kim, T.-U. Development of the main wing structure of a high altitude long endurance UAV. Int. J. Aeronaut. Space Sci., **2018**, 19(1):53-71.
- 13. Balakrishnan, V. S. and Seidlitz, H. Potential repair techniques for automotive composites: A review. Compos. B. Eng., **2018**, 145(1):28-38.
- 14. Zhang, Y., Zong, Z., Liu, Q., Ma, J., Wu, Y. and Li, Q. Static and dynamic crushing responses of CFRP sandwich panels filled with different reinforced materials. Mater. Des., **2017**, 117(1):396-408.
- 15. Sadighi, M. and Salami, S. An investigation on low-velocity impact response of elastomeric & crushable foams. Open Eng., **2012**, 2(4):627-637.

INVESTIGATING OF PROCESS PARAMETERS IN ROTARY SWAGING

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

TICMET?

MUSTAFA BAKKAL¹, UMUT KARAGÜZEL², ALİ TANER KUZU³, HASAN AYTUĞ KURT⁴, HASAN ÇAKIR⁴

¹ Istanbul Technical University, Mechanical Engineering Department, Istanbul/ Türkiye
 ² Yildiz Technical University, Mechanical Engineering Department, Istanbul/ Türkiye
 ³ Isik University, Mechanical Engineering Department, Istanbul/ Türkiye
 ⁴ Yilmaz Machine, R&D Department, Kocaeli/Türkiye

Abstract

Rotary swaging is a metalworking process used to reduce the diameter of a cylindrical workpiece or to shape it into a desired form. It is a cold-forming process, meaning it is carried out at room temperature or slightly elevated temperatures without the need for additional heat. Rotary swaging is particularly useful for creating components with a taper or complex geometries.

In this study, focusing on an effects of die angle and feeding rate upon specified tubular geometry which have 2 mm thickness. An identified load was applied to the tubular geometry in Simufact finite element software for 3 different die angles and feed rates. As a result, optimum die angle and feed rate were determined.

Keyword: Rotary swaging, Die angle, Feeding rate

HASAN KALNONCU 15" ----

THE RISE OF GREEN HYDROGEN: A PROMISING OPPORTUNITY FOR A SUSTAINABLE ENERGY TRANSITION

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHNI

HASAN KALDONCU 15" SHI

TICMET'2

TOUFIK SEBBAGH^{*1}, MUSTAFA ERGIN ŞAHİN², LAMIA BENZAID¹

¹University of 20 August 1955-Skikda, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Skikda, Algeria

²Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering, Department of electrical and electronics engineering, Rize, Türkiye

Abstract

The article highlights the emergence of green hydrogen as a clean and sustainable energy carrier, offering a promising opportunity for an energy transition towards a more responsible future. Green hydrogen is produced with electricity from renewable sources, without CO_2 emissions. Its advantages include reducing carbon emissions, energy storage and its diversity of applications in different sectors. However, challenges remain, particularly in terms of production cost, infrastructure, logistics and research and development. Despite this, green hydrogen has enormous potential to help fight climate change and promote more resilient energy systems, but its widespread adoption will require global cooperation to overcome these challenges.

Keyword: Green hydrogen, Energetic transition, Hydrogen production, Reduction of carbon emissions, Renewable energy storage

HASAN KALNONCU 415"



ENHANCING ACCIDENTS FORECASTING THROUGH THE IMPLEMENTATION OF DEEP LEARNING TECHNIQUES

KHAİR JADAAN¹ , SARA HABASHNEH^{2*} , ABEER BANİBAKER² , OSAMA QTAİSH³ , RANA AL SHAFİE⁴

¹ Professor: University of Jordan, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Amman, Jordan.

 ² Postgraduates: University of Jordan, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Amman, Jordan.
 ³ Postgraduates: Yarmouk University, Faculty of Information Technology and Computer Science, Artificial Intelligence Department, Irbid, Jordan.

⁴ Contracts Management Engineer, Tenders Department, Ministry of Digital Economy, and Entrepreneurship

Abstract

Road traffic accidents continue to pose significant challenges to public safety necessitating accurate forecasting models for prevention and mitigation strategies. Recent research demonstrated that the Deep Learning approach has superiority over other existing methods of traffic prediction. For instance, deep learning can accurately predict travel times for any segment of the transportation network using a single model structure. The technique has remarkable capabilities in various domains that enables precise predictions for all road network segments using a unified model structure and ensuring accurate estimates. The primary objective of this research is to produce a powerful model, using deep learning that can make accurate accident predictions along the road network of Amman, the capital of Jordan using comprehensive data provided by Jordan Traffic Institute (JTI) and Greater Amman Municipality. The data encompass accident occurrences, causes, severity levels, location, temporal variations, the type of vehicle involved, the gender and age of the driver, the speed, peake AM volumes, light conditions, weather conditions, road properites, and other essential information like the number of population and vehicles in Jordan are all included in the data. Two distinct deep learning architectures, namely Artificial Neural Networks (ANN) and Deep Neural Networks (DNN) are employed. Results demonstrate promising results, suggesting that the indicated ensemble Deep Learning model performs better than baseline algorithms and other Deep Learning models documented in the literature within the problem's context. When planning initiatives to prevent traffic accidents, traffic control authorities may find the information supplied by the model to be useful.

Keyword: Deep learning, Modelling, Forecasting, Jordan

1. Introduction and Related work

Road accidents have become a prime problem in the world, when they found that the road accidents are a major cause of death and injury, safety of the Drivers have a remarkably close relation and directly affected by road accidents. The existing conditions indicate that accidents are going to increase. Thus, it is important to develop a model to assist the decision makers in forecasting the magnitude of this problem in the future to establish and develop strategies in traffic accident prevention and improve road safety. The main objective of this paper is to develop a model to





forecast road accidents and their consequences. The considered independent variables (predictors) were annual average daily traffic (AADT), number of population and vehicles in Jordan, intersection width, the type of accident (collision, run over and turn over accidents), the type of the vehicle, the speed, date, severity level (slight, moderate, serious injuries and fatalities), weather condition, lightning, age and gender of the driver, and the mistake that leads to each accident. Ten intersections were selected representing different traffic characteristics in Amman, the capital city of Jordan, which recorded the highest percentage of injuries and fatalities, accounting for (41.8%). The data include eight years of accidents from (2015 to 2022), to model the incidence of fatal and severe injuries accidents using Artificial Neural Networks (ANN) and Deep Neural Networks (DNN) and make a comparison between them.

Jordan is one of the top countries worldwide in term of having higher number of death rate per ten thousand vehicles. In 2022, according to Traffic Department in Jordan there were a total of 169409 traffic accidents in the country, resulting in 562 fatalities, 805 serious injuries, 6739 moderate injuries, and 9552 minor injuries, with an estimated financial cost of 322 million Jordanian Dinars. The population of Jordan stands at approximately 11.31 million, with a total of 1855901 registered vehicles and an additional 557120 foreign vehicles operating within its borders.it is a high number of fatality and injury when compared with the registered vehicles. This contrast highlights how hazardous and risky Jordan's safety situation is.

Researchers have utilized a variety of traffic accident severity analysis models over time and from various perspectives. They have shown how important it is to accurately estimate the various traffic engineering issues. In this regard, deep learning models have been receiving increased attention within the artificial intelligence (AI) community because of their high prediction accuracy, A very recent publication by Ke Zhang and Yaming Guo presented a deep learning technique called attention-based residual dilated network (ARDN)[1] that extracts crucial information from multisource datasets, the technique models sequential information using bidirectional long short-term memory and includes a device for attention to adjust the weights. Examining experiments datasets gathered from Austin and Houston show that ARDN performs better than a variety of machine learning techniques include deep learning, Xgboost, gradient boosting, and logistic regression techniques. The ablation experiments provide more evidence for each component's essentiality in the suggested approach.

Another paper in 2023 by Anique Azhar et al [2] offered a deep learning accident prediction model that incorporated data taken from twitter messages with expanded variables such sentiment analysis, emotions, weather, geo-coded locations, and time information. The results revealed that accident detection accuracy has risen by 8%, bringing test accuracy to 94%. Additionally, the method addressed high-performance computing issues brought on by detector-based accident detection, which required extensive data calculation. The outcomes further increased confidence that utilizing innovative characteristics helped with better traffic accident identification and forecasting.

To forecast traffic accidents, Le Yu and Bowen Du [3] research suggested a brand-new Deep Spatio-Temporal Graph Convolutional Network, or DSTGCN. There are three parts to the suggested model. To assess the suggested model, they gathered a lot of real-world data, such as data on traffic accidents, vehicle speeds across the city, road networks, weather, and distributions of points of interest. On real-world datasets, experimental results showed that DSTGCN performs better than both classical and state-of-the-art.



To address the issue of an accident period prediction in the preliminary stages of the tragedy using millions of traffic accident information from India, Dr. Sudipta Sahana et al [4] developed an enhanced accident occurrence prediction model in 2022. They focused on the early phases of accident development and selected a little amount of valuable information from five categories: location, traffic, objects, climate, and time. To improve the quality of the data, they applied data cleansing, outlier processing, and missing value processing. Their primary objective was to develop a framework to predict traffic accidents by collecting information from social media accounts and free access databases, by implementing an ensembled Deep Learning Model.

Another paper published in 2023 by Ke Zhang and Naming Guo [5] introduced a deep learning methodology for predicting traffic risks, utilizing LSTM, attention mechanism, dilated residual network, and a Glove encoding technique. Through experiments with datasets from both Austin and Houston, they demonstrated the effectiveness of the proposed approach in extracting crucial insights from diverse sources, surpassing established benchmarks. As a result, their method held the promise of delivering dependable and accurate forecasts that could enlighten policymakers and decision-makers on the contributing factors to traffic accidents. This foresight could enable them to proactively allocate resources to high-risk zones, enact targeted preventive measures, and enhance traffic management strategies. In turn, this initiative-taking approach had the potential to lead to a reduction in accidents, saving lives and mitigating the economic losses linked with traffic accidents.

2. Materials and Methods

2.1 Data Description

In this section, we introduce the chosen data source for this study. Given that this dataset has not been previously utilized for predicting the nimber of traffic accidents.

2.1.1 Description of Data Source.

This study encompasses analyses performed on 10 intersections located in Amman, the capital of Jordan. Each intersection is characterized by having between 3 to 4 legs, incorporating both minor and major lanes. The dataset covers the period from 2015 to 2022. It was sourced from The Jordan Traffic Institute, the establishment accountable for gathering comprehensive details and characteristics of the road network on an annual basis. Peake AM volumes were recorded from Greater Amman Municipality while the geometric for each site taken from Google Earth. The local features of the traffic accident data encompass a total of 28 aspects. These include, for instance, the characteristics related to the timing of the accident, the type of vehicle involved, the gender and age of the driver, his mistake, the speed, prevailing light conditions, weather conditions, and the condition of the road surface, population, number of deaths per year among other relevant attributes. We employ basic statistical analysis techniques to conduct a descriptive overview of the entire dataset. The ages of the drivers range from 1 to 97, with an average age of 38. On average, Males account for 80% of the drivers, while females constitute the remaining 20%. The most prevalent accident type is collision accidents account for 99.4% of the total incidents, while rollovers make up 0.2%, and hit and runs constitute 0.4%. In terms of accident severity, approximately 97.4% are categorized as no injures accidents, while injures accidents make up only about 2.2% and fatal acount for 0.3%. Figure 1 shows the format of the data used in the model.





А	В	С	D	E	F	G	Н
Intersection name	year	No of leges	Area taype	Througt-major	left-major	Right-major	Share lane -major
Abu Ghazleh	2015	4	Commercial	2	1	1	0
Abu Ghazleh	2016	4	Commercial	2	1	1	0
Abu Ghazleh	2017	4	Commercial	2	1	1	0
Abu Ghazleh	2018	4	Commercial	2	1	1	0
Abu Ghazleh	2019	4	Commercial	2	1	1	0
Abu Ghazleh	2020	4	Commercial	2	1	1	0

Figure 1. The format of the data used in the model

2.2 Methodology

2.2.1 Data Cleaning

HASAN KALNONCU 415" SH

It takes place in the pre-processing stage, which is a process in which the quality and reliability of the data is improved by correcting the errors contained in it. The goal is to prepare the data for subsequent analysis, modeling, or visualization in a way that reduces bias, errors, and artifacts. In the data cleaning stage, missing values are dealt with and that According to each missing part separately, for example, the arithmetic mean of the ages was replaced in place of the missing values in the age field, and duplicate rows were removed, and Date formats have been standardized. The presence of duplicate rows causes distortion of the results.

2.2.2 Encode Categorical Variable

In this study, we used a one-hot encoding method to convert data as a binary vector into a digital format such as categorical data. The method removes any ordinal relationship that might be incorrectly inferred. The method selects all unique values from categorical data, then creates a binary vector for each value equal to the number of unique values, and then automatically sets all values to zero except for one position that corresponds to a value. Categorical feature, which is set to 1 and calls that point "hot" and the rest of the points "cold."

2.2.3 Architecture and train model

Neural networks are one of the concepts of artificial intelligence, and their function is like the function of the nervous system in the brain. Their importance lies in recognizing patterns and the ability to predict them. Figure 1 represents the structure of neural networks [6].Neural networks consist of a group of neurons interconnected with each other by edges, which have a weight to be adjusted during the training process to become as close as possible to the true values. Loss function is measured by subtracting the expected values from the true values [7].

2.2.3.1 Deep Neural Network (DNN)

It is one of the most complex neural networks with multiple hidden linear layers interconnected with each other and assigning weight to each edge (Hospital, 2001). Then we Encodes nonnumeric columns using Label Encoding as the area type. We split the feature into training and testing, and we use Standardizes feature selection, in DNN model we use ReLU activation function with 5000 epochs.

2.2.3.2 Artificial neural network (ANN)

It is another type of Neural Network learning architecture ANN and DNN terminologies that are closely related. However, ANN is less complex and profound than DNN, Therefore, we followed the same methodology used in DNN.



TICMET'2

(2)

Figure 2. Structure of Neural Networks

3. Result and Discussion

3.1.Evaluation Models

HASAN KALMONCU 415"

A training set 80% and a test set 20% are created from the data sets. Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), and Mean Absolute Error (MAE) metrics were used to assess the results. RMSE, which measures the discrepancies between expected and actual values, was computed as the square root of the MSE. MSE was determined as the average of the squared differences between each computed value and its matching true value. Strong prediction accuracy is shown by a low mean absolute error (MAE). A better level of forecast precision is shown by a lower RMSE number. When assessing deep learning models employed in the field of forecasting traffic accidents, both MSE and RMSE are frequently utilized. A low MAE score denotes strong predictive accuracy. Mean absolute error, sometimes referred to as average prediction error, is computed as the average of the difference between the expected and actual value in each test case.

Equation 1	\mathbb{R}^2 square:	
$R^2 = 1 -$	ss _{res}	(1)
N – 1	SS _{tot}	(1)

Where: SS_{res} : the residual sum of squares and SS_{tot} = the total sum of squares. Equation 2 Mean Squared Error: $MSE = \frac{1}{N} * \sum_{1}^{N} (\frac{actual value}{forcast value})^{2}$

Where N: simple size. Equation 3 RMSE:

$$RMSE \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - P}}$$
(3)





Where yi is the actual value, \hat{y}_i is the predicted value f, N is the number of observations., P is the number of parameter estimates.

Equation 4 MAE:

$$MAE = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} |y_i - \hat{y}_i|$$
(4)

3.2. Results

It was modelled DNN and ANN with ReLU activation function on all neurons and trained model for 5000 iterations with learning rate of 0.001 table below shows the result with each measure.

Table 1. ANN result					
Description	\mathbf{R}^2	MSE	RMSE	MAE	
Average	0.866	1054.4	30.77	23.39	
Standard Deviation	0.124	744.34	10.35	8.04	
Min value	0.529	368.44	19.19	16.13	
Max value	0.973	741.78	52.36	38.71	



Figure 3. Actual vs Predicted values for ANN model.

Table 2. DNN result					
Description	\mathbb{R}^2	MSE	RMSE	MAE	
Average	0.833	1292.88	34.276	24.415	
Standard	0.143	823.22	10.862	8	
Deviation					
Min value	0.459	371.63	19.277	15.214	
Max value	0.975	3147.65	56.103	43.39	





Figure 4. Actual vs Predicted values for DNN model.

3.3. Discussion

HASAN KALNONCU 15"

Based on the information in Table 1 and Table 2, it can be confirmed that the experiment demonstrated reliable performance in predicting accidents at intersections in Amman, Jordan and the results indicate that the DNN and ANN produced outcomes that were comparable, thus they can be considered. Moreover, relevant authorities can rely on it in the future, especially with an increase in the volume of utilized data. This is because deep learning requires a substantial amount of data to achieve better results.

Previous research has shown in studies [1, 2, 4] that information was acquired from diverse sources such as social media and handled as pictures. despite this, the data used in our research was sourced from reputable Jordanian sources including the Greater Amman Municipality and the Traffic Institute, after which it was analyzed and classified. Additionally, every study depends on the sort of data that is utilized, and every study's evaluation criteria (R², MSE, RMSE, MAE) are based on the type, format, source, and nature of the data—whether it be tables or images—that is used in the study. Considering the earlier studies that have been presented and used various deep learning techniques such as (ARDN)[1] and (DSTGCN)[3] ,while we used Artificial Neural Networks (ANN) and Deep Neural Networks (DNN). Furthermore, our study was the first of its type to be carried out on the intersection in Jordan using actual data, and we were able to acquire good findings with the potential for improvement, such as the incorporation of Amman Governorate internal and exterior highways.

4. Conclusions

With the recognition, deep learning is important in addressing some issues in the transportation sector. In this paper, we imaginatively apply Deep Neural Network (DNN) and Artificial Neural Network (ANN) methods to the prediction the number of traffic accident considering the awareness of the significance of deep learning in tackling specific problems in the transportation area. A variety of performance metrics, Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), and Mean Absolute Error (MAE), were used to assess how well the proposed methods performed at predicting the number of acciednt. Our suggested method has a good forecasting performance, which means that it can be helpful tool for predicting accident number . It can



therefore be easily modified to address a wide range of traffic issues, including the assessment of traffic flow conditions and short-term travel time forecasts on expressway sections. For this study's future research, we can collect more data, and we'll work on combining and creating certain features that aren't there in the raw data depending on the data characteristics' information.

Author Contributions

Abstract ,review and editing, K.J; Data description, S,H; Introduction, literature review & editing, A.B; Methodology, O,Q; Editing, writing Results, Analysis, discussion, Conclusion, S,H; Discussion, A.B; Data gathering ,R,A.

References

- 1. Zhang K, Guo Y. Attention-Based Residual Dilated Network for Traffic Accident Prediction. *Mathematics*. 2023; 11(9):2011. https://doi.org/10.3390/math11092011
- 2. Azhar, A, Rubab, S, Khan, M.M. et al , Detection and prediction of traffic accidents using deep learning techniques, *Cluster Comput.* (2023) **26**, 477–493
- 3. Yu,L,Du,B,Hu,X,Sun,L. Deep spatio-temporal graph convolutional network for traffic accident prediction, Neurocomputing.2021, Volume 423, Pages 135-147.
- 4. Ke, Zhang, Yaming, Guo, "Attention-Based Residual Dilated Network for Traffic Accident Prediction," Mathematics. (2023) MDPI, vol. 11(9), pages 1-15, April.
- 5. Al Shehri, W, Alzheimer's disease diagnosis and classification using deep learning techniques., *PeerJ Computer Science*. (2022), 8. https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1177
- 6. Abiodun,O, Jantan,A,Omolara,A,et.al, State-of-theart in artificial neural network applications: A survey. Heliyon 4.(2018) e00938. doi: 10.1016/j.heliyon.2018. e00938.
- 7. Schmidhuber, J, Deep learning in neural networks: An overview, Neural Networks.2015, Volume 61, Pages 85-117.
- 8. Cui, S., Sudjianto, A., Zhang, A., & Li, R, Enhancing Robustness of Gradient-Boosted Decision Trees through One-Hot Encoding and Regularization. (2023), 1–24. https://arxiv.org/abs/2304.13761v2
- Whang, S. E., Roh, Y., Song, H., & Lee, J. G, Data collection and quality challenges in deep learning: a data-centric AI perspective. *VLDB Journal*. (2023), 32(4), 791–813. https://doi.org/10.1007/s00778-022-00775-9
- Yedla, A., Kakhki, F. D., & Jannesari, A, Predictive modeling for occupational safety outcomes and days away from work analysis in mining operations, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. (2020), 17(19), 1–17. https://doi.org/10.3390/ijerph17197054
- 11. Sarkar, A., & Sarkar, S. (2020). Comparative assessment between statistical and soft computing methods for accident severity classification. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 101(1), 27-40.
- 12. Li, Z., Liu, P., Wang, W., & Xu, C, Using support vector machine models for crash injury severity analysis. Accident Analysis & Prevention. (2012). 45, 478-486.
- 13. Jamal, A., Tauhidur Rahman, M., Al-Ahmadi, H. M., Ullah, I., & Zahid, M, Intelligent intersection control for delay optimization: Using meta-heuristic search algorithms, Sustainability. (2020), 12(5), 1896.

IMPLEMENTING DEEP LEARNING TECHNIQUES FOR TRAVEL TIME PREDICTION

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

KHAIR JADAAN¹, ABDULLAH NAJJAR¹, SAMEER ABU-EISHEH^{*2}, ABDALLAH ABUAISHA³

¹ University of Jordan, Civil Engineering Department, Amman, JORDAN.
 ² An-Najah National University, Department of Civil and Architectural Engineering, Nablus, PALESTINE.
 ³ Monash University, Department of Data Science and AI, Melbourne, AUSTRALIA.

Abstract

In recent years, Deep Learning (DL) has proved to be a powerful artificial intelligence prediction tool in solving many complex problems. Despite its demonstrated superiority over traditional approaches in various domains, the utilization of DL for traffic prediction remains limited. Nevertheless, prior studies have shown its potential and effectiveness in this area. As for travel time, DL can make accurate predictions for all segments in the transportation network with a single model structure. This study reports on the application of DL in simultaneously predicting the travel time over several segments of a network. Two DL models, namely Multilayer Perceptions (MLPs) and Long-Short Term Memory Networks (LSTM), which can deal with high-dimensional input data, are proposed to tackle the problem. The outcome of the application of the two DL models in two locations of this study is presented. One of these locations of interest is Amman City, the capital of Jordan, where Amman City Taxi Company provided a dataset containing information such as trip origin, destination, and travel time, for taxi trips over the years 2018 and 2019. Further application of DL is carried out using a 2020 Uber trips data in Cairo, Egypt. The results demonstrate that DL models hold great promise in achieving precise and real-time prediction of travel time on a network-wide level.

Keyword: Travel Time Prediction, Deep Learning, Artificial Intelligence Applications, Neural Networks, Jordan, Egypt

TICMET'23

SARE MITINCIK^{1*}, MUSTAFA YUSUF YAZICI¹

¹The University of Samsun, Samsun 55420, Turkey.

Abstract

In this study, the thermal energy storage (TES) unit of an annular graphite composite was numerically investigated under different boundary conditions (isothermal wall and mass flow inlet) for solar energy and waste heat applications. The effect of boundary conditions was analyzed for a paraffin/graphite matrix composite storage medium with a 75 kg/m³ bulk density. Two surface/inlet temperatures (65° C and 85° C) and flow rates (100L/h and 240L/h) were used. The numerical model was validated with data from the literature and experimental results for one case (75kg/m³, 250L/h). Results show that the rise in the wall temperature (65° C to 85° C) reduced melting time by 56.6%, increased temperature readings based on climbed temperature gradients. The higher wall temperatures lead to an early phase change process. On the other hand, the use of graphite matrix has increased the thermal pathways through which heat can be transferred and exhibited uniform temperature distribution and homogenous melting behavior due to the conduction heat transfer mechanism in composite material. In addition, it is concluded that the flow rate had a significant effect on TES systems, especially at low HTF inlet temperatures as a reason for reduced turbulence rates.

Keywords: Composite PCM, Expanded graphite, Latent heat storage, Solar energy, Waste heat

1. Introduction

HASAN KALMONCU

Nowadays, worldwide population growth and competition between countries lead to a rapid increase in energy demand. Latent heat thermal energy storage in energy storage technologies is a promising way to handle energy problems with the global goals of sustainable energy, a green environment, and low carbon emissions. In this sense, the use of phase change materials can be considered an attractive alternative [1]. By using these materials, it is possible to store large amounts of energy in relatively small volumes at a constant temperature or low temperature ranges. However, the main issue is its low thermal conductivity because it reduces the melting and solidification rates of the latent heat thermal energy storage unit (LHTES) unit [2]. Therefore, researchers have developed some heat transfer enhancement methods (geometrical arrangement, fin, nanoparticle, matrix) in order to compensate for the low thermal conductivity disadvantage of PCMs. The common feature of these methods is to increase the heat transfer surface area by using materials with high thermal conductivity. At this point, graphite-carbon based material-offers considerable potential with its significant properties such as high thermal conductivity, superior mechanical qualities, low density, high porosity (95%) etc [3]. Its high porosity allows PCM to be impregnated with the effect of surface tension phenomena [4]. In addition, while graphite material considerably improves the thermal

HASAN KALNONCU 15" KARADENIZ UNIVERSITY 15" KARADENIZ UNIVERSITY 15" KARADENIZ

TRABZON - TÜRKİYE



conductivity of the composite PCMs (PCM+Graphite), it also solves the leakage issue by embedding the PCM in the porous medium under the effects of capillary forces and surface tension [5]. Although interest in graphite material has increased recently with the use of thermal conductivity enhancement material and skelaton material, it has drawn attention the lack of numerical studies on solar energy and waste heat applications. It is also clear that most of the studies were experimental, which is expensive and time-consuming. Herein are some studies from literature: [6] performed an experimental study on the thermal conductivity of paraffin/graphite composite blocks with different bulk densities. Results showed that the thermal conductivity of composite material increased 20-130 times with addition of the graphite material. [7] carried out an experimental study of five composite (paraffin/graphite) blocks with various bulk densities to improve the thermal performance of paraffin. They realized that the thermal conductivity of the composite block increased 28-180 times compared to the pure paraffin case. In another study carried out by [8], they experimentally and numerically studied the melting performance of pure paraffin and paraffin/graphite composite materials on thermophysical properties in an annular geometry. They reported that with addition of the graphite the thermal conductivity increased 14.65 times and energy storage time was shortened by 86.6%, respectively, compared to the pure paraffin case. [9] studied the effect of ten paraffin/graphite composite materials with various mass ratios on thermal behavior. Results showed that the composite PCM with a 20% graphite mass ratio had a thermal conductivity value of 14 W/mK and had much better melting capability up to 43.8 times when compared with pure paraffin. [10] experimentally investigated the thermophysical properties of paraffin/graphite composite blocks with different mass ratios. At the light of the results, it was seen that the thermal conductivity value increased 6.5 times when the amount of graphite in the composite was rised up to 15%. Another experimental study conducted by [11] aimed to improve the storage performance of paraffin by adding carbon fiber and graphite sheets to the PCM/graphite composite blocks. They observed that the blocks containing graphite sheet exhibited higher energy storage capacity and thermal conductivity than those containing carbon fiber. [12] experimentally and numerically investigated various samples of dodecane/graphite composite to enhance the thermal conductivity of PCM by changing the amount of graphite in the composite material. It was concluded that 16% graphite material in composite was the best and boosted the thermal conductivity by 15 times compared to pure PCM. [13] focused on the melting performance of a paraffin/graphite matrix composite for thermal energy storage systems. It was observed that there was a 35-fold improvement in the thermal conductivity value and about a 92% reduction in melting time when compared to the pure paraffin. They also noted total melting time of PCM/graphite matrix's decreased about 31% by increasing the heat transfer fluid inlet temperature. [14] carried out a numerical study (with experimental validation) investigating the effect of composite (paraffin/graphite) bulk densities under various wall temperatures on storage performance with a shell in tube geometry. They revealed that the higher bulk densities exhibits remarkable storage performance up to 76 times compared to pure paraffin case. However, they observed that there is an ideal bulk density value (100kg/m³), and just about 8% increase in storage performance above that value of 100 kg/m³.

A brief summary of the relevant literature shows that there are very few numerical reports investigating graphite matrix as a thermal conductivity enhancement material for solar energy and waste heat applications in LHTES systems. In this study, a numerical approach was developed to investigate the effect of boundary conditions on the latent heat thermal energy storage/melting process in shell in tube geometry filled with composite PCM. Two boundary conditions, including isothermal wall (65°C, 85°C) and mass flow inlet (100L/h, 240L/h), which are applied to be 2D symmetry and axisymmetry models are adopted. Paraffin/graphite matrix composite with 75 kg/m³ bulk density was used as a latent heat thermal energy storage medium.



Two studies (one from the literature, and another from experimental setup) have been used to validate the numerical models. Results are analyzed using the total melting times/liquid fraction curves, contours of temperature and liquid fractions, and transient temperature profiles.

2. Materials and Methods

HASAN KALMONCU 415"

2.1. Numerical Approach

Mathematical models based on porosity, in which graphite matrix is used as a main skeleton material usually fail to provide satisfactory results due to the pore structure in the matrix. The micron-sized pore structure of the graphite matrix allows it to be modeled homogeneously [15], [16], [12]. In this sense, numerical studies were carried out using the common properties of PCM/graphite matrix composite (Table 1). 2D transient numerical simulations were performed using ANSYS Fluent 19.1-Computational Fluid Dynamics software, which predicts the characteristics of the LHTES system.

Properties	Paraffin/graphite matrix composite (75 kg/m ³ bulk density)
Density (ρ)	773 kg/ m ³
Specific heat (c _p)	1400 J/kg.K
Thermal conductivity (k)	7 W/m.K
Dynamics viscosity (μ)	-
Thermal expansion coefficient (β)	-
Latent heat (L)	147 000 J/kg
Melting Range (T _s -T _m)	48-56°C

Table 1.	. Physical	properties	of com	posite P	CM
		F F			

2.1.1. Computational Domain

Figure 1 illustrates the computational domains (indirectly physical domains) for the symmetry and axisymmetry models used for CFD simulations. Both cases were modeled as 2D in order to reduce the computational cost. It is seen from Figure 1-a and Figure 1-b two boundary conditions (isothermal wall boundary conditions (65 °C and 85 °C) and mass flow boundary conditions (100L/h, 240L/h)) are adopted for the LHTES system in shell and tube geometry. Thermal energy storage material consists of PCM (paraffin)+graphite material with a 75 kg/m³ bulk density (Table 1). Water is used as a heat transfer fluid (HTF) for axisymmetry modeling. For the isothermal wall boundary condition area is established neglecting the inner and outer wall thicknesses for simplicity (Figure 1-a). To ensure that the flow has been fully developed, the heat transfer pipe (copper tube) is extended (10D for turbulence flow) at the inlet, and at the outlet the same is applied to avoid flow deterioration in the axisymmetry model (Figure 1-b). Local points for temperature readings are determined as T_A , T_B , T_C , T_D for isothermal wall boundary condition; T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , T_7 , T_8 for mass flow boundary condition.



Figure 1. Computational domains; symmetry model (a), axisymmetry model (b)

2.1.2. Governing Equations

Fluent package program is based on the Enthalpy-Porosity technique to solve the Melting/Solidification problems. It is difficult to analyze the heat transfer characteristics of PCM due to changes at the solid-liquid interface (the mushy region) during the phase change process. The Enthalpy-Porosity technique eliminates the need for heat transfer characteristics in the mushy region [17].

To simplify the heat transfer model, the following assumptions were made in this study:

- Composite PCM is homogeneous and isotropic.
- During the phase change process of composite PCM, heat transfer occurs only by conduction, neglecting density changes.
- The viscosity of the composite PCMs is assumed to be infinity (10^5) .
- The viscous dissipation term is negligible since there are no large velocity gradients.
- There is convection heat transfer of $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ to the surrounding medium.
- There is no heat generation in the composite material.
- The axial conduction is insignificant in the mass flow boundary condition.

Based on the assumptions, the governing equations are written as follows: For the HTF

Continuity:	
$\nabla . \vec{V} = 0$	(1)
Momentum:	
$\rho_{\rm f} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} = \mu_{\rm f} \nabla^2 \vec{V} - \nabla P$	(2)

Energy

 $\rho_f c_f \left(\frac{\partial T_f}{\partial t} + \vec{V} . \nabla \vec{V} \right) = k_f \left(\nabla^2 \vec{V} \right)$ Where f and c are fluid and composite, respectively. For the composite PCM

$$\rho_{\rm eff} \frac{\partial H}{\partial t} = k_{\rm eff} (\nabla^2 T_c)$$
(4)

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'

(3)

Where ρ_{eff} and k_{eff} are the effective density and effective thermal conductivity of the paraffin/graphite matrix, respectively. H is the total enthalpy, which can be represented as the combination of sensible and latent heat:

$$H = h + \Delta H = h + \lambda L \tag{5}$$

$$h = h_{ref} + \int_{T_0}^{T_c} C_p. dT$$
(6)

Changes in the enthalpy due to the phase change can be calculated as:

$$\lambda = \begin{cases} 0 \ T_{c} < T_{solidus} \\ \frac{T_{c} - T_{solidus}}{T_{melting} - T_{solidus}} \ T_{solidus} < T_{c} < T_{melting} \\ 1 \ T_{c} > T_{melting} \end{cases}$$
(7)

To model the phase change process, Fluent-Melting/Solidification model was used. Material properties were assumed to be constant in the melting process. The k- ω SST turbulence model was used in mass flow boundary condition. Coupled Algorithm was chosen for pressure-velocity coupling. PRESTO! was used for pressure correction, and Second Order Upwind discretization scheme was applied for momentum and energy equations. For the convergence criteria, the continuity, momentum and energy equations were determined as 10⁻⁵, 10⁻⁶, 10⁻⁶, respectively.

2.1.3. Initial and Boundary Conditions

For all cases,

- Initial temperature of the composite PCM; T₀: 25°C
- Thermal boundary conditions (BCs); T_{wall/inlet}: 65°C and 85°C
- Mass flow boundary conditions; V: 100L/h, 240L/h
- Convection heat transfer to the surrounding medium; h: 3 W/m²K and T_{∞} : 25°C

3. Results and Discussion

The effect of boundary conditions on latent heat thermal energy storage unit is investigated for solar energy and waste heat applications. Paraffin/graphite matrix composite with 75 kg/m³ bulk density is adopted, and six cases (65°C and 85°C for isothermal wall boundary conditions, and 65°C-100L/h, 65°C-240L/h, 85°C-100L/h, 85°C-240L/h mass flow boundary conditions) are analyzed numerically. In this section; model verification, solution independency, and numerical simulation results, including the effect of isothermal wall temperature and flow rate of HTF are discussed.

3.1. Model Verification

A study from the literature [18] and the established experimental setup [14] were used to validate the numerical model. [18] investigated different mass ratios of polyethylene glycol/expanded



HASAN KALMONCU 415" ----



graphite (PEG/EG) on TES performance in a rectangular prism. A numerical model was built for the case, which the PEG/EG ratio is 92/8. As shown in Figure 2-a, the liquid fraction of the numerical model is compatible with [18]. Another validation study was performed by authors [14] with experimental results. 75 kg/m³ composite block with D_{inner} :28.5mm, D_{outer} :113.8mm and L:50mm dimensions was employed as a storage medium. The heat transfer fluid (water) passes through the copper pipe at 80°C inlet temperature and a flow rate of 250L/h. It was set to 76°C (average pipe temperature value) for the isothermal wall boundary condition. Even if the insulation layer is applied to the system in the experimental study, it is not possible to obtain a completely adiabatic wall. Therefore, the scenario was simulated by allowing convection heat transfer to the surrounding medium. Although there is a deviation between the experimental and numerical results, the temperature profiles provided by the simulations are compatible with the experimental results. Both cases are references for the numerical study to be carried out.



Figure 2. Verification of the numerical study; Liquid fraction variations (a), Temperature profile variations (b)

3.2. Solution Independency

The solutions were made to be independent of the mesh so that the numerical analyses are not affected by the mesh elements. A structured mesh was used for symmetric and axisymmetric cases. A fine mesh was generated in regions close to the inner wall (heat source), where temperature and density gradients are high and significant. In the case of the mass flow boundary condition, the smallest mesh element was determined according to the calculated y+ values. The mesh independency study was carried out for both cases (isothermal wall boundary condition and mass flow boundary condition). In Figure 3, the liquid fraction-time variations are shown. The mesh independency study for the symmetry boundary condition (85°C wall temperature BC) was performed with 19200, 27000 and 39600 mesh elements, respectively. It is concluded that the number of 27000 elements are sufficient for the accuracy of the solution. Furthermore, 228750, 346800, and 493500 grid numbers were adopted for the axisymmetry boundary condition (for a 143 kg/m³ bulk density value with 85°C inlet temperature [14]), and 346800 elements were used because there were very little changes above this value. It was also tested at various time steps (0.2s, 0.5s, 1s, and 2s), and the best choice is 1s time step value for the accuracy of the numerical model. Thus, calculation errors were attempted to be minimized.



Figure 3. Liquid fraction-time variations for mesh independency study; for symmetry boundary condition (a), for axisymmetry boundary condition (b)

3.3. Numerical Simulation Results

In Figure 4, total melting times are given for all cases. The use of graphite matrix has increased the thermal pathways through which heat can be transferred, and it ends up with shortened melting times with high latent heat thermal energy storage rates, considering pure paraffin case. For example, the melting times of 65°C isothermal wall temperature BC, 65°C inlet temperature with 240L/h and 100L/h BC, are 38min, 71min, and 121min, respectively. With an increase in the wall/inlet temperatures to 85°C, it is relatively decreases by 56.6%, 61.3%, and 62.8%, regressing to 16.5min, 27.5min, and 45min. This is the result of higher heat transfer rates to storage medium with climbed temperature gradients during melting periods. Moreover, it is obvious that the flow rate had a significant effect on the melting times, especially at low HTF inlet temperature), while it is 38.9% for 85°C inlet temperature. It is mainly due to reduced turbulence rates based on temperature-dependent heat transfer fluid properties such as density and viscosity. This shows that the effects of boundary conditions on thermal energy storage system are appreciable and should not be neglected.



Figure 4. Total melting times of composite PCMs for all cases; (a) T_{wall}: 65°C, (a) T_{wall}: 85°C



HASAN KALMONCU 415"

TRABZON - TÜRKIYE



3.3.1. Effect Of The Isothermal Wall Temperature

Figure 5 shows the comparison of the transient temperature profiles of two isothermal wall boundary conditions (T_{wall}=65°C and 85°C) with a bulk density of 75 kg/m³ for annular geometry. The dashed lines on the graphs represent melting temperature range of the paraffin/graphite matrix composite. It can be seen that there are stepwise temperature distrubutions, and the solid/liquid phase transformation is finally completed at the T_D point. There are higher temperature readings near the hot wall, and this behavior is caused by heat transfer from the hot surface to the cooler region. The temperature profiles for T_{wall} :65°C are as follows: In the early stages (0min < t < 3min), sensible heat storage begins rapidly, caused by temperature differences with a rate of 7.66°C/min. After the melting range is reached, the latent heat storage process just begins (3min < t < 38min), and temperature rise rate gets damped significantly (4.3°C/min). At the final stages (38min < t <40min) the temperature readings begin to rise again because of restarted sensible heat storage. It is obvious that latent heat storage clearly outperforms sensible heat storage in terms of the amount of energy stored in the system. For the isothermal wall boundary condition at 85°C, it ends up with similar temperature curves with higher temperature readings at the assigned points. For example, temperature readings of T_B is 55°C and 78°C at 65°C and 85°C wall temperatures, respectively (for 20min). It is increased by 29.5% with a rise in the wall temperatures because the higher wall temperatures leads to early phase change process due to higher temperature gradients between the hot wall and the initial temperature of the paraffin/graphite matrix composite medium.



Figure 5. Transient temperature profiles of isothermal boundary conditions at local points; (a) T_{wall}: 65°C, (a) T_{wall}: 85°C

Figure 6 shows the temperature and liquid fraction contours for isothermal wall temperature boundary conditions (T_{wall} : 65°C and 85°C). The left half of the annular geometry represents temperature contours, while the right half shows the liquid fraction contours. 16.5min and 38min point out total melting times as mentioned before in Figure 4. It is clear that the graphite matrix material exhibits uniform temperature distribution and homogenous melting behavior owing to the dominant conduction heat transfer mechanism in the storage medium. Natural convection is prevented when the pore structure is smaller than 10mm [19], and conduction is the effective heat transfer mechanism. Although the phase change temperature range causes the mushy zone (solid-liquid interface) to expand, the temperature gradients are large and heat is easily transferred. It is also seen that there is a gradual variation from the isothermal wall to the outer wall in the temperature contours because of thermal stratification in the storage medium.



Figure 6. Temperature (left) and liquid fraction (right) contours of composite PCMs for isothermal wall BC; T_{wall}: 65°C (a), T_{wall}: 85°C (b)

3.3.2. Effect Of The Flow Rate Of HTF

When considering industrial applications, the effect of flow rate in thermal energy storage systems becomes more and more significant. Figure 7 shows transient temperature profiles of mass flow boundary conditions at local points of T₂ and T₆, which refer to the front and back of storage medium. It is evaluated for two HTF inlet temperatures (65°C and 85°C) and two HTF flow rates (100L/h and 240L/h). Total melting times are presented with dashed lines on the graphs and shown in Figure 7. It should be noted that the heat transfer to the composite PCMs (paraffin/graphite matrix composite with 75 kg/m³ bulk density) is only in the r direction, and there is no heat transfer along the pipe direction, based on the previously assumption. It can be seen from Figure 7 that heat is stored in the form of sensible heat in the first period, and then latent heat storage starts with reaching the melting range. When composite PCM melted completely, sensible heat storage started again, accelarating temperature rises. For example, it is sensible heat storage (0min < t < 5min), latent heat storage ($5\min < t < 60\min$), followed by again sensible heat storage ($60\min < t < 71\min$) for T₂ (T_{inlet}: 65C, V: 240L/h). Meanwhile, the temperature difference between inlet and outlet local points (T₂ and T₆) tends to get larger as HTF inlet temperature increases. For example, it is 9°C and 16°C for 65°C and 85°C inlet temperatures of HTF, respectively (100L/h). This is because of higher temperature gradients between HTF and composite PCMs with higher heat transfer rates. On the other hand, temperature differences at assigned points (T₂ and T₆) goes down from 16°C to 10°C with the increase in flow rates of 100L/h to 240L/h (for T_{inlet} :85°C). The reason for this is that the amount of water (heat transfer fluid) in the copper tube increases with a rise in the flow rates in addition to accelerated turbulence rates, enhancing heat transfer rates. It is clearly seen that the effect of flow rate is more appreciable at 65°C HTF inlet temperature due to temperaturedependent HTF properties. The higher HTF flow inlets and temperature inlets help to improve the heat transfer to the thermal energy storage medium by rising the local temperatures correspondingly.



Figure 7. Transient temperature profiles of mass flow boundary conditions at local points; (a) T_{inlet}: 65°C, (a) T_{inlet}: 85°C

4. Conclusions

The effect of boundary conditions (isothermal wall boundary condition and mass flow boundary condition) on the latent heat thermal energy storage system was investigated using a paraffin/graphite matrix composite with a bulk density of 75 kg/m³ in the shell in tube geometry. Six cases (65°C and 85°C for isothermal wall boundary conditions, and 65°C-100L/h, 65°C-240L/h, 85°C-100L/h, 85°C-240L/h mass flow boundary conditions) were analyzed numerically (validated with experimental data). Results show that graphite material in composite PCM accelarates the melting process by easily transferring heat through its highly conductive thermal bridges/paths, and exhibits uniform temperature distribution, and homogenous melting behavior, correspondingly. Total melting times are reduced by 56.6%, 61.3%, and 62.8% with an increase in the wall/inlet temperatures from 65°C to 85°C for the isothermal wall, 240L/h and 100L/h, respectively, resulting in enhanced heat transfer rates to storage medium. In addition, temperature differences at assigned points (T₂ and T₆) goes down from 16°C to 10°C with the increase in flow rates of 100L/h to 240L/h (for T_{inlet}:85°C) because of accelerated turbulence rates. It is also concluded that the effect of flow rate is more significant at lower HTF inlet temperatures due to temperature-dependent HTF properties. The established numerical model can be extended by considering the temperature-dependent changes in composite material properties in future works.

References

- 1. Salunkhe PB, Shembekar PS. A review on effect of phase change material encapsulation on the thermal performance of a system. Renew Sustain Energy Rev 2012;16:5603–16. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.05.037.
- 2. Huang X, Chen X, Li A, Atinafu D, Gao H, Dong W, et al. Shape-stabilized phase change materials based on porous supports for thermal energy storage applications. Chem Eng J 2019;356:641–61. https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2018.09.013.
- Zhang S, Feng D, Shi L, Wang L, Jin Y, Tian L, et al. A review of phase change heat transfer in shape-stabilized phase change materials (ss-PCMs) based on porous supports for thermal energy storage. Renew Sustain Energy Rev 2021;135:110127. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110127.
- 4. Umair MM, Zhang Y, Iqbal K, Zhang S, Tang B. Novel strategies and supporting materials applied to shape-stabilize organic phase change materials for thermal energy



storage–A review. Appl Energy 2019;235:846–73. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.11.017.

- 5. Badenhorst H. A review of the application of carbon materials in solar thermal energy storage. Sol Energy 2019;192:35–68. https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2018.01.062.
- 6. Mills A, Farid M, Selman JR, Al-Hallaj S. Thermal conductivity enhancement of phase change materials using a graphite matrix. Appl Therm Eng 2006;26:1652–61. https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2005.11.022.
- Zhong Y, Li S, Wei X, Liu Z, Guo Q, Shi J, et al. Heat transfer enhancement of paraffin wax using compressed expanded natural graphite for thermal energy storage. Carbon N Y 2010;48:300–4. https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2009.09.033.
- Liu XH, Ling ZY, Sun P, Fang XM, Xu T, Zhang ZG. Experimental study and numerical simulation on thermal energy storage characteristics of composite phase change materials in annular space of vertical double-pipe heat exchanger. Adv Mater Res 2014;1053:143–9.

https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.1053.143.

- Li Z, Sun WG, Wang G, Wu ZG. Experimental and numerical study on the effective thermal conductivity of paraffin/expanded graphite composite. Sol Energy Mater Sol Cells 2014;128:447–55. https://doi.org/10.1016/J.SOLMAT.2014.06.023.
- 10. Raza G, Shi Y, Deng Y. Expanded graphite as thermal conductivity enhancer for paraffin wax being used in thermal energy storage systems. Proc 2016 13th Int Bhurban Conf Appl Sci Technol IBCAST 2016 2016:1–12. https://doi.org/10.1109/IBCAST.2016.7429846.
- 11. Xie M, Huang J, Ling Z, Fang X, Zhang Z. Improving the heat storage/release rate and photo-thermal conversion performance of an organic PCM/expanded graphite composite block. Sol Energy Mater Sol Cells 2019;201. https://doi.org/10.1016/J.SOLMAT.2019.110081.
- 12. Song Y, Zhang N, Jing Y, Cao X, Yuan Y, Haghighat F. Experimental and numerical investigation on dodecane/expanded graphite shape-stabilized phase change material for cold energy storage. Energy 2019;189. https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.116175.
- 13. Yazici MY, Saglam M, Aydin O, Avci M. Thermal energy storage performance of PCM/graphite matrix composite in a tube-in-shell geometry. Therm Sci Eng Prog 2021;23. https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2021.100915.
- 14. Mitincik S, Yazici MY. Numerical study on the thermal energy storage performance of graphite matrix composite with phase change in shell-in-tube: Effects of bulk density and wall temperature. J Energy Storage 2023;72:108304. https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108304.
- Carson JK, Lovatt SJ, Tanner DJ, Cleland AC. Thermal conductivity bounds for isotropic, porous materials. Int J Heat Mass Transf 2005;48:2150–8. https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2004.12.032.
- 16. Ling Z, Chen J, Xu T, Fang X, Gao X, Zhang Z. Thermal conductivity of an organic phase change material/expanded graphite composite across the phase change temperature range and a novel thermal conductivity model. Energy Convers Manag 2015;102:202–8. https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2014.11.040.
- Voller VR, Prakash C. A fixed grid numerical modelling methodology for convectiondiffusion mushy region phase-change problems. Int J Heat Mass Transf 1987;30:1709– 19. https://doi.org/10.1016/0017-9310(87)90317-6.
- 18. Lv Y, Zhou W, Jin W. Experimental and numerical study on thermal energy storage of





polyethylene glycol/expanded graphite composite phase change material. Energy Build 2016;111:242–52. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.11.042.

19. Kang S, Choi JY, Choi S. Mechanism of Heat Transfer through Porous Media of Inorganic Intumescent Coating in Cone Calorimeter Testing. Polym 2019, Vol 11, Page 221 2019;11:221. https://doi.org/10.3390/POLYM11020221.

ALÜMİNYUM ESASLI AÇIK HÜCRELİ METALİK KÖPÜKLERİN ÜRETİMİ, YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU

TICMET'2

ZAFER GÖLBAŞI¹, BÜLENT ÖZTÜRK¹, NURAY BEKÖZ ÜLLEN²

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

Özet

Metalik köpükler, üstün mekanik, termal, elektrik, kimyasal ve akustik özelliklerinden dolayı yapısal ve fonksiyonel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Özellikle alüminyum esaslı köpükler bu alanda öne çıkan malzeme grubunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada açık hücreli alüminyum esaslı metalik köpükler toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Köpük üretiminde boşluk yapıcı olarak +1700-2400 µm boyut aralığına sahip küresel formda karbamit kullanılmış olup, karbamitin oranı hacimce %17-80 aralığında değişmektedir. Elde edilen sonuçlara göre köpük numunelerin yaklaşık olarak %18,57-65,12 arasında açık gözenek, %6,94-15,94 arasında kapalı gözenek ve %25,51-81,06 arasında toplam gözenekliliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Köpüklerin maksimum küresel çap, ortalama küresel çap ve küresellik değerleri sırasıyla 913,5-1026,2 µm, 469,5-682,4 µm ve 0,56-0,84 aralıklarında belirlenmiştir. SEM incelemelerinden gözeneklerin küresele yakın olduğu ve gözenek duvarlarının birbirinden ayrıldığı görülmüştür. Statik deformasyon testleri sonucunda, artan gözeneklilik oranıyla maksimum başıadığı şekil değişimi artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum köpük, toz metalurjisi, karbamit, gözenek, basma gerilmesi.

PRODUCTION OF ALUMINUM BASED OPEN CELL METALLIC FOAMS AND INVESTIGATION OF THEIR STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHN

TICMET'2

ZAFER GÖLBAŞI¹, BÜLENT ÖZTÜRK¹, NURAY BEKÖZ ÜLLEN²

1 Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Trabzon, TURKEY

2 Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Istanbul, TURKEY

Abstract

Metallic foams have found a wide range of applications in structural and functional applications due to their superior mechanical, thermal, electrical, chemical and acoustic properties. Especially aluminum based foams constitute the prominent material group in this field. In this study, open cell aluminum based metallic foams were produced by powder metallurgy method. Carbamide in spherical form with a size range of $+1700-2400 \mu m$ was used as a void former in foam production, and the ratio of carbamide varies between 17-80% by volume. According to the results obtained, it was determined that the foam samples had approximately 18.57-65.12% open pore, 6.94-15.94% closed pore and 25.51-81.06% total porosity. The maximum spherical diameter, average spherical diameter and sphericity values of the foams were determined as 913.5-1026.2 μm , 469.5-682.4 μm and 0.56-0.84, respectively. SEM analyses showed that the pores were close to spherical and the pore walls were separated from each other. As a result of static deformation tests, the maximum compressive stress values decreased with increasing porosity; the length of the plateau region and the shape change at the beginning of condensation increased.

Keywords: Aluminium foam, powder metallurgy, carbamide, pore, compressive stress.

1.Giriş

HASAN KALNONCU 415" SHI

Günümüzde mühendislik malzemeleri ekonomik, teknik, çevresel ve estetik gibi bazı yönlerde yetersiz kalabilmekte ve bu yetersizlik araştırmacıları yeni nesil malzemeler üretme ve mevcut özelliklerini geliştirmeye teşvik etmektedir. Yeni nesil malzeme türlerinden biri olan metalik köpükler, sahip oldukları mekanik, elektrik, termal ve akustik özelliklerinin yanısıra hafifliğiyle öne çıkmaktadır. Gelişen teknolojiyle, hafif malzemelere ihtiyaç artmış yüksek gözenekliliğe sahip metalik köpüklerin önemi giderek artmıştır [1-4].

Köpük malzemeler kullanım alanlarına göre metalik, polimerik, seramik ve hibrit olmak üzere dört farklı şekilde uygulama alanı bulmaktadır. Polimerik köpükler, bardaklarda, içecek kutularında, süngerlerde ve hava yastıkları gibi çeşitli yerlerde uygulama alanı bulmaktadır. Seramik köpükler, yalıtım, elektronik, atık su arıtma, inşaat, otomobil ve biyomalzelemeler gibi uygulamalarda yaygın
HASAN KALNONCU 415"

KARADENÍZ TEKNIK ÜNÍVERSÍTESÍ KARADENÍZ TEKNIK ÚNÍVERSÍTESÍ



olarak kullanılmaktadır. Yapısal uygulamalar için polimer köpüklerin dayanımı yetersiz, seramik köpükler ise kırılgandırlar. Polimerik ve seramik köpüklerin yapısal uygulamalar için mukavemet değerleri yetersiz kaldığı için bu alanlarda metalik köpükler geniş uygulama alanı bulmaktadır [1, 5-7].

Metalik köpükler, enerji sönümleme özelliklerinin yüksek olması, yoğunluğunun düşük olması, ısıl izolasyon, elektrik iletkenliği, titreşim azaltma ve kimyasal süzme gibi birçok üstün özelliklerinden dolayı hemen hemen tüm sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Metal esaslı köpük türlerinden biri olan alüminyum esaslı metalik köpüklerin çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanımı, giderek Alüminyum esaslı metalik darbe artmaktadır. köpükler. enerjisini plastik eneriive dönüştürebilmekte ve birçok metalden daha fazla enerjiyi sönümleyebilmektedir. Alüminyum köpüklerin tüpler içerisine dolgu malzemesi olarak konularak hibrit formda kullanımındaki sönümlenen toplam enerji, köpük ve tüpün avrı avrı sönümlediği enerjinin toplamından daha büyüktür [3, 5, 8-10].

Metalik köpükler, sahip oldukları gözeneğin şekli, boyutu, anizotropik özellikleri, hücre duvarlarının birbiriyle temas etme durumuna göre açık ve kapalı gözenekli olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Metalik köpükler, toz metalurjisi (T/M), döküm, polimer emdirme, ergiyik metal içerisine gaz enjektesi, köpürtücü madde ilavesi ile ergiyik metalin köpürtülmesi, ergitmeçözünürlük-filtrasyon, metal enjeksiyon kalıplama, katı-gaz ötektik katılaşma, sıvı hal köpüklendirmesi gibi farklı yöntemlerle üretilebilmektedir [1, 5, 11-13].

Bu çalışmada; karbamit beş farklı hacim oranında parametrik bir şekilde katılarak toz metalurjisi (T/M) yöntemi ile açık hücreli alüminyum esaslı metalik köpükler üretilmiştir. Üretilen numunelerin açık, kapalı ve toplam gözeneklilik oranları, küresel çap, küresellik değerleri belirlenmiş, SEM analizleri yapılmış ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2.Malzeme ve Yöntem

Toz metalurjisi yöntemiyle köpük üretiminde Alfa Aesar firmasından temin edilen %99,5 saflık ve <44µm boyut aralığındaki alüminyum tozları kullanılmıştır. Daha sonra, alüminyum tozlarına farklı hacim oranlarında (%17, %34, %51, %66, %80) boşluk yapıcı olarak +1700-2400 µm boyut aralığına sahip küresel formda karbamit ilave edilerek farklı oranlarda gözenek içeren açık hücreli metalik köpükler üretilmiştir. Köpük üretim aşamasında uygulanan işlemler; alüminyum tozlarının boşluk yapıcı olarak kullanılan karbamit ile karıştırılması (toz karışımlarının hazırlanması), presleme, karbamitin suda çözündürülmesi, numunelerin kurutulması ve sinterlemedir. Bu yönteme ait iş akış diyagramı şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Boşluk yapıcı kullanarak toz metalurjisi (T/M) yöntemiyle metalik köpük üretimi

Boşluk yapıcı olarak kullanılan karbamit, 20°C'de 100 ml saf suda 100 g çözünebilmektedir. Karbamitin yüksek çözünürlük özelliğinden dolayı, ham numunelerden uzaklaştırılması oda sıcaklığında saf su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin içerdiği karbamit oranına göre suda çözündürme süreleri ve çözündürülen karbamit miktarı değişmiştir. 3-5 saat saf suda bekletilerek yapıdaki karbamitlerin uzaklaştırılmasından sonra, numuneler önce etil alkolle yıkanıp 40°C'de 2 saat ve daha sonra ise 60°C'de 6 saat kurutularak sinterleme öncesi yapıdaki nemin giderilmesi sağlanmıştır.

Numunelerin sinterleme işlemleri, atmosferik koşullarda 5°C/dk ısıtma hızında 630°C sıcaklıkta 2 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Sinterleme sonrası numuneler, doğal soğutmayla fırın ortamında oda sıcaklığına kadar bekletildikten sonra dış ortama alınmıştır.

34-b şeklinde kodlanan numunenin açıklaması aşağıdaki şekildedir.



2.1. Karakterizasyon Yöntemleri

Üretilen numunelerin yoğunlukları Arşimed Yöntemi'ne göre belirlenmiştir. Yoğunluk ölçümleri, CP2245-OCE model Sartorius marka 1 mg hassasiyette cam koruma kabinli ve yoğunluk belirleme takımına sahip dijital terazide yapılmıştır. Havada ve hekzan içerisinde ağırlığı ölçülen numunenin hacmi ve yoğunluğu hesaplanmıştır. Üretilen numunelerin açık ve kapalı gözenek oranlarını belirlemek için numuneler 150°C'de kaynayan parafin içerisinde 1,5 saat bekletilmiş, parafinin gözeneklere emdirilmesi sağlandıktan sonra numunelerin ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda parafinin erimesi sırasında %7,2 oranında gerçekleşen hacimsel değişim göz önüne alınmıştır. Köpüklerin gözeneklerinin küresel çap (gözenek boyutu) ve küresellik (gözenek şekli) dağılımları; Clemex Vision PE 4.0 görüntü analiz programı kullanılarak belirlenmiştir. Farklı gözenek oranlarına sahip 20 mm çapında üretilen köpüklere statik deformasyon (basma) testleri





gerçekleştirilerek basma gerilmesi-deformasyon oranı ve kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Testler, yükseklik/çap oranı yaklaşık 1-1,2 olan numunelere 1 mm/dk (0,83 1/s) basma hızında ve %85 deformasyon oranı için üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Mühendislik basma gerilmesi-deformasyon oranı grafikleri ve hesaplamalar, Bluehill programı kullanılarak elde edilmiştir.

3.Bulgular ve Tartışma

HASAN KALNONCU

Sinterlenmiş numunelerin Arşimed yöntemine göre belirlenen yoğunlukları, toplam, açık ve kapalı gözenek oranları numune kodlarına göre Tablo 1'de verilmiştir.

		01	ranları		
Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm³)	Bağıl Yoğunluk	Toplam Gözenek (%)	Açık Gözenek (%)	Kapalı Gözenek (%)
17-b	2,01	0,74	25,51	18,57	6,94
34-b	1,42	0,52	47,17	37,26	9,91
51-b	1,12	0,41	58,36	46,89	11,47
66-b	0,88	0,32	67,32	58,66	8,66
80-b	0,51	0,19	81,06	65,12	15,94

Tablo 1. Numunelerin yoğunluk, bağıl yoğunluk, toplam gözenek, açık ve kapalı gözenek

Tablo 1'de görüldüğü gibi, sinterlenen metalik köpük numunelerinin yoğunlukları 0,51-2,01 g/cm³, açık gözenek oranları %18,57-65,12, kapalı gözenek oranları %6,94-15,94, toplam gözenek oranları ise %25,51-81,06 aralığında değişmektedir. Artan karbamit oranıyla birlikte gözeneklerin birbiriyle bağlantı kurmasından dolayı açık gözenek oranları ve toplam gözenek oranlarının arttığı tespit edilmiştir [9, 14, 15].

Farklı oranlarda gözenekliliğe sahip köpüklerin makro ve mikroyapıları incelenmiş ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. 17-b, 34-b, 51-b, 66-b ve 80-b kodlu köpüklerin makro yapısı

%26 gözeneklilikten %81 gözenekliliğe doğru, köpüklerin farklı büyütme oranlarındaki (50X, 1000X) mikroyapılarının SEM görüntüleri Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. 17-b kodlu köpüklerin yüzeylerinin SEM görüntüleri



Şekil 4. 80-b kodlu köpüklerin yüzeylerinin SEM görüntüleri

Şekil 3 ve Şekil 4' deki SEM görüntüleri incelendiğinde, gözenek morfolojisinin küresele yakın bir davranış sergilediği ve gözeneklerin birbirinden gözenek duvarları ile ayrıldığı görülmektedir. Bunun nedeni, kullanılan karbamitin küresel şekilli olmasıdır. Artan karbamit oranı ile birlikte gözeneklilik oranının arttığı ve buna bağlı olarak da hücre duvarı sayısının da arttığı görülmüştür. Sathaiah, karbamit miktarı arttıkça gözenek miktarının ve dolayısıyla açık gözeneklerin arttığını tespit etmiştir. Artan gözeneklilikle birlikte, hücrenin duvar kalınlığı azalmaktadır. Köpüklerin azalan alüminyum içeriğiyle boşluk tutucuların her birine daha etkili temas nedeniyle artan gözeneklilik ile gözeneklerin açıklığı artmakta ve hücre duvarı kalınlığı azalmaktadır [9, 16, 17]. Clemex Vision PE-4.0 görüntü analiz programı kullanılarak, farklı hacim oranlarına sahip numunelerin SEM fotoğrafları üzerinden küresel çap (gözenek boyutu) ve küresellik (gözenek şekli) dağılımları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.



				10110801			-8	-
Numune Kodu		Küresellik Çap (Gözenek Bo	Dağılımı Son oyutu Dağılır	uçları nı)		Küresellik l (Gözenek	Dağılımı Son Şekli Dağılı	uçları mı)
	Minimum (µm)	Maksimum (µm)	Ortalama (µm)	Standart Sapma (µm)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
17-b	533,6	1026,2	608,7	196,5	0,41	0,99	0,79	0,253
34-b	386,3	945,6	682,4	169,8	0,42	0,97	0,64	0,248
51-b 66-b 80-b	85,3 52,5 112,8	992,3 1010,8 913,5	583,5 632,7 469,5	169,2 172,6 167,4	0,52 0,40 0,11	1,00 0,98 0,91	0,84 0,63 0,56	0,141 0,241 0,223

Tablo 2. Numunelerin küresel	çap ve küresellik dağılımları
Küresellik Çap Dağılımı Sonuçları	Küresellik Dağılımı Sonuçla

Tablo 2'de görüldüğü gibi, gözeneklerin maksimum ve ortalama küresel çap ile küresellik değerleri 913,5-1026,2 µm, 469,5-682,4 µm ve 0,56-0,84 aralığındadır. Artan karbamit miktarı ile küresellik önce artmış daha sonra ise azalmıştır.

Artan karbamit oranıyla birlikte, gözeneklilik oranının artması ortalama gözenek boyutunu artırmıştır. Maksimum gözenek boyutunun kullanılan boşluk yapıcının boyutundan büyük olmasının nedeni, makrogözeneklerin birbiriyle bağlantı kurarak hacimce daha büyük gözenekler oluşturmasıdır [18-20].

+1700-2000 µm parçacık boyut aralığına sahip karbamitlerin hacimce farklı oranlarda (%17, %34, %51, %66, %80) kullanılmasıyla üretilen metalik köpüklere statik deformasyon testleri uygulanmış olup, elde edilen kuvvet-yer değiştirme ve basma gerilmesi-deformasyon oranı grafikleri Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. 17-b, 34-b, 51-b, 66-b ve 80-b kodlu metalik köpüklerin kuvvet-yer değiştirme grafiği ve basma gerilmesi-deformasyon oranı grafikleri





Şekil 5'de görüldüğü üzere basma eğrileri; tipik gözenekli malzemelere ait benzer mekanik davranışları göstermektedir. Karbamit oranı arttıkça gözeneklilik oranı artmış, daha düşük kuvvet değerlerinde hücre duvarları kırılarak yoğunlaşma bölgelerine doğru gidilmiştir. Basma gerilmesideformasyon oranı eğrileri incelendiğinde basma testi esnasında kırılmanın gevrek olduğu anlaşılmaktadır [21].

1. Sonuçlar

- Farklı karbamit çapı ve hacim oranında boşluk yapıcı karbamit kullanarak toz metalurjisi yöntemiyle alüminyum esaslı açık hücreli metalik köpükler üretilmiştir.
- Köpüklerin bağıl yoğunlukları arttıkça, birbirinden izole gözenek sayısı artmıştır.
- Statik deformasyon testleri ve metalografik incelemeler kırılmanın gevrek olduğunu ortaya koymuştur.
- Artan gözenek oranıyla birlikte maksimum basma gerilmesi ve kuvvet değerleri azalmış, plato bölgesinin uzunluğu ve yoğunlaşmanın başladığı şekil değişimi artmıştır.
- Artan karbamit miktarı ile küresellik önce artmış daha sonra ise azalmıştır.

Referanslar

- 1. Ashby, M.F., Evans, A., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W. ve Wadley, H.N.G., Metal Foams A Design Guide, Butterworth Heinemann, 2000.
- 2. Banhart, J., Metallic foams : challenges and opportunities, 3rd Euroconference on Foams, Emulsions and Their Applications (Eurofoam 2000), 2000, Bremen, Almanya 13-20.
- 3. Tunç, A., Köpük Metaller ve Uygulama Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2020.
- 4. Banhart, J., Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, Progress in Materials Science, 46,6 (2001) 559-632.
- 5. Banhart, J., Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, Progress in Materials Science, 46 (2001) 559-632.
- Doğan, A., Atmaca, İ. ve Özbalcı, O., Metal Köpük Malzemeler ve Yüzey Soğutmada Kullanımı, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 2015, İzmir: 2641-2652.
- 7. Tunçer, N., Gözenekli Titanyumda Yapı-Özellik İlişkisi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2011.
- 8. Bafti, H. ve Habibolahzadeh, A., Production of aluminum foam by spherical carbamide space holder technique-processing parameters, Materials & Design, 31,9 (2010) 4122-4129.
- Sathaiah, S., Dubey, R., Pandey, A., Gorhe, N.R., Joshi, T.C., Chilla, V., Muchhala, D. ve Mondal, D.P., Effect of spherical and cubical space holders on the microstructural characteristics and its consequences on mechanical and thermal properties of open-cell aluminum foam, Materials Chemistry and Physics, 273 (2021).
- Seitzberger, M., Rammerstorfer, F.G., Degischer, H.P. ve Gradinger, R., Crushing of axially compressed steel tubes filled with aluminium foam, Acta Mechanica, 125,1 (1997) 93-105.

HASAN KALMONCU



- 11. Azzi, W.E., A Systematic Study on the Mechanical Properties of Open Cell Metal Foams for Aerospace Applications, Yüksek Lisans Tezi, North Carolina State University, 2004.
- 12. Çinici, H., Toz Metalurjisi Yöntemi İle Al Esaslı Parçacık Takviyeli Sandviç Metalik Köpük Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- 13. Ceylanoğlu, Ö., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Esaslı Çinko Takviyeli Metalik Köpük Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
- Bafti, H. ve Habibolahzadeh, A., Compressive properties of aluminum foam produced by powder-Carbamide spacer route, Materials & Design (1980-2015), 52 (2013) 404-411.
- Wenjuan, N., Bai, C., Qiu, G. ve Wang, Q., Processing and properties of porous titanium using space holder technique, Materials Science and Engineering: A, 506,1-2 (2009) 148-151.
- 16. Jain, H., Gupta, G., Mondal, D.P., Srivastava, A.K., Pandey, A., Srivastava, S.k. ve Kumar, R., Effect of particle shape on microstructure and compressive response of 316L SS foam by space holder technique, Materials Chemistry and Physics, 271 (2021).
- 17. Mondal, D.P., Barnwal, A. ve Diwakar, V., Effect of Strain Rate and Relative Density on the Compressive Deformation of Open Cell Ti6Al Alloy Foam through P/M Route, Journal of Applied Mechanical Engineering, 06,06 (2017).
- Kotan, G. ve Bor, Ş., Production and Characterization of High Porosity Ti-6Al-4V Foam by Space Holder Technique in Powder Metallurgy, Turkish Journal Engineering and Environmental Sciences, 31 (2007) 149-156.
- 19. Mutlu, I. ve Oktay, E., Production and aging of highly porous 17-4 PH stainless steel, Journal of Porous Materials, 19,4 (2011) 433-440.
- 20. Bekoz, N. ve Oktay, E., Effects of carbamide shape and content on processing and properties of steel foams, Journal of Materials Processing Technology, 212,10 (2012) 2109-2116.
- An, J., Chen, C. ve Zhang, M., Effect of CaCO3 content change on the production of closed-cell aluminum foam by selective laser melting, Optics & Laser Technology, 141 (2021) 107097.



TICMET'2

AKBAR FAKHERNIA¹, İSMAİL ALTIN¹

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE.

Özet

Proses gaz kompresörleri; gazın türüne, sıkıştırma oranına, kapasiteye ve endüstriyel uygulama alanına bağlı olarak çeşitli tiplerde üretilmektedir. Bu tipler arasında pistonlu kompresörler özellikle doğal gaz rafinerilerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır ve üretim sürecinde kritik bir öneme sahip bulunmaktadır. Doğal gaz rafinerilerinde; tasarımı, imalatı, montajı ve bakımı için minimum gereksinimleri karşılayan API 618 standardına uygun gaz kompresörleri kullanılmaktadır. Piston tipli kompresörlerin, kısa bir süre bile sistemde devre dışı kalması, işletme açısından büyük maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu bağlamda, kompresörün arızalanmasına neden olan olası kök nedenlerin tanımlanıp ortaya konması; işletmenin üretim sürecinde süreklilik sağlanması açısından büyük önem kazanmaktadır. Kök nedenlere bağlı olarak; arızaların tek tek analiz edilmesi ve hasarlara karşı önleyici stratejilerin belirlenmesi gaz kompresörünün güvenilir şekilde kullanımını temin edecektir. Sunulan bu çalışmada, API 618 piston tipli proses gaz kompresöründe proses kaynaklı arızalar Hata Ağacı Analizi Yöntemi (FTA) ile incelenmiştir. Çalışmadaki kök nedenler ve bunlara bağlı olarak oluşan arızalar Open FTA programında modellenip gerekli hesaplamalar adı geçen yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda; başlangıç olaylarının etkilerinin payı göz önüne alındığında, proses kaynaklı arızaların oluşumunda, ana olaylardan "kompresörün titreşimli ve sarsıntılı çalışması" olarak isimlendirilen temel etmenin önem hesaplamasına göre ilk sırada yer aldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Rafineri, Doğal gaz, Piston Tipli Proses Gaz Kompresörü, Hata Ağacı Analizi.





1. Giriş

Uluslararası ilişkileri belirleyen en önemli faktörlerden biri olan enerji konusundaki yetkinlik; ülkelerin ekonomik gelişmişliğinin önemli bir göstergesidir. Bu bağlamda, doğal gazın diğer enerji kaynaklarına göre üstün özelliklere sahip olması, doğal gazın ülkelerin birincil enerji kaynakları arasında yer almasını sağlamıştır. Petrol ve gaz sektörünün üretim (upstream), iletim (mid-Stream) ve işleme (downstream) süreçlerinde birçok ekipman kullanılmaktadır. Piston tipli kompresörler ve özellikle API 618 proses (süreç) gaz kompresörleri; petrol ve gaz sektörlerinde (kıyı ve açık deniz tesislerinde) ve diğer birçok önemli sanayi sektöründe yoğun bir şekilde kullanım alanı bulmaktadır. Geçmişte yapılmış olan saha araştırmalarına göre; tüm rafineri cihazları içinde en büyük hasar oranının (failure rate) piston tipli kompresörlerde ortaya çıktığı belirlenmiştir [1]. Bu bağlamda, API 618 piston tipli proses kompresörü arızalarınır; nicel ve nitel özelikleri olan bir risk değerlendirme yöntemi ile incelenmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır.

1.1. API 618 Standardı ve Proses Kompresörleri

API 618 standardı; Amerikan Petrol Enstitüsü tarafından yayımlanmış olan bir standart olup petrol, kimya ve gaz endüstrilerinde piston tipli kompresörlerin kullanımına yönelik olarak sahip olmaları gereken minimum gereksinimleri tanımlamaktadır. Herhangi bir basınçtaki süreç gazı ve gösterge basıncı 9 bar'dan daha yüksek olan hava için de tanımlamalar yine bu standart içerisinde verilmiştir. API 618 standardındaki kompresörlerin çalışma aralığı 300-750 dev/dak aralığında değişmektedir. Ayrıca, API 618; yağlama sistemleri, kontrol sistemleri, donatım, ısı değiştiriciler, basınç dalgalanmalarını baskılayıcı araçlar ve diğer yardımcı donanımlar konularını da kapsamaktadır [2].

1.2. Hasar Kavramı

Hasar, bir yapının veya yapı elemanının kendisinden beklenen işlevleri yerine getiremez hale gelmesidir. Hasarlar; teknolojik hatalar, korozyon ve aşınma, elastik veya plastik distorsiyon gibi belli başlı hasar tiplerinden biri veya birkaçının meydana gelmesi ile ortaya çıkmaktadır. Hasarların ortaya çıkma potansiyeli, çok iyi tasarlanmış parça veya sistemlerde dahi bulunmaktadır. Bir sistemin veya parçanın; tamamen kullanılmaz hale gelmesi, kullanılacak durumda olmasına rağmen beklenen performansı yeterli ölçüde gösterememesi ve ortamdan kaynaklanan ciddi hasar sonucu kullanılmasının tehlikeli olması durumlarında fonksiyonlarını kaybetmektedir [3]. Bu durumlarda, fonksiyonlarını kaybeden parça veya sistem tamir edilerek veya yenisi ile değiştirilerek uğranan zararın giderilmesi sağlanabilmektedir. Bu bağlamda, hasar analizlerinin yetkin kişiler tarafından yapılması, hasar ile ilgili mekanizmanın doğru şekilde anlaşılmasını mümkün kılacaktır.

1.3. Hata Ağacı Analizi Yöntemi

Hata ağacı analizi (FTA, Fault Tree Analysis), istatistiksel bir yöntem olan karar ağacı analizinin bir türü olup ilk olarak 1960'larda kullanılmaya başlanmıştır [1]. Belirli bir olayın veya sonucun nedenlerini ve ilişkilerini anlamak için kullanılmaktadır. Hata ağacı analizi; genellikle kalite kontrol, iş süreçleri, mühendislik, sağlık sektörü ve sürekli olarak iyileştirmeye odaklanan birçok endüstriyel ve ticari diğer birçok organizasyon tarafından kullanılmaktadır. Hata ağacı analizi ile; belirli bir olumsuz olayın (örneğin, ürün hatası, iş kazası, makine arızası, vb.) ardındaki nedenler ve bu nedenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amaçlanmaktadır [1,4-7]. Böylece, karmaşık olayların daha küçük ve yönetilebilir parçalara bölünmesi sağlanmış olur. Hata ağacı analizi; hedef olayı belirleme, temel nedenlerin belirlenmesi, hata ağacı oluşturma, olay olasılıklarının ve etkilerinin değerlendirilmesi, önemli nedenlerin belirlenmesi ile düzeltici ve önleyici eylemlerinin anlaşılabilmesi ve yönetilebilmesi açısından oldukça etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu



HASAN KALNONCU 415"



analiz yöntemi, analiz yapılacak olayın doğasına ve karmaşıklığına bağlı olarak farklı düzeylerde ayrıntılı hale getirilebilmektedir.



Şekil 1. FTA yönteminde kullanılan semboller [8].

Hata ağacı analizi yönteminde nitel yaklaşımın amacı; hata ağacının oluşumunu anlamak ve genel bir görünüm tesis etmektir. Bu durum özel karakteristiklere sahip olay kümeler ile elde edilmektedir. Hata ağacında temel olay kümeleri, eş zamanlı olduğu zaman baş olayı tetiklemektedir. Bu kümelere hata ağacı analizinde kesme kümeleri adı verilmektedir. Şekil 2'de yangın olayı için basit bir hata ağacının oluşumu gösterilmiştir. Basitçe ifade etmek gerekirse; bir yangın olayının gerçekleşebilmesi için 3 ana koşulun (nedensel kümelerin) bir arada olması gerekmektedir. Bunlar: ısı kaynağı, oksijen ve yanıcı madde şeklinde sıralanmaktadır [5].



Şekil 2. Yangın olayının FTA modeli [5].

FTA yönteminde, minimum kesme kümesi sistem bileşenlerinin minimum kümesi olarak tanımlanır. Sistemde oluşturulan bir mantık kümesi diyagramıdır. Eğer tüm bileşenler hatalıysa sistem sonuçları da hatalıdır, ancak bileşenlerden biri hatalıysa sistem sonuçları hatalı değildir [5,9,10].

Hata ağacında sayısal analizde başlangıç olayı hata olasılığı için qi ve baş olayın hata olasılığını hesaplamak için Q0 kullanılır. Hesaplama işlemleri ile ilgili daha fazla ayrıntı için [1], [5] ve [9] numaralı referanslara müracaat edilebilir. Sayısal analizde seri ve paralel yapı olmak üzere iki tane temel karakteristik göz önüne alınmaktadır. Bir sistem ya da alt sistemdeki tüm bileşenler bir 13-16 NOVEMBER, 2023 KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER

TRABZON - TÜRKİYE

TICMET'23

işleve sahip olduğu zaman sistemin işleyişini sağlamak için bileşenler seri yapıda düzenlenir. Bununla birlikte bileşenlerden sadece biri işleve sahipse tüm sistemi işlevsel kılabilmek için bileşenler paralel yapıda düzenlenir [5]. Hata ağacındaki hesaplamalarda minimum kesme kümleri ve ilgili boolean işlemleri OpenFTA yazılımı tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Konu ile ilgili daha fazla ayrıntı Akbar [1]'da bulunabilir.

1.4. Open FTA Yazılımı

HASAN KALNONCU 415"

Hata ağacı analizi çalışmalarında kullanılmak üzere çok sayıda ücretli ve ücretsiz yazılım bulunmaktadır. Sunulan bu çalışmada, tüm analiz ve hesaplama işlemleri serbest kullanıma açık olan Open FTA yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Open FTA programı, hata ağacı analizi için geliştirilmiş üst düzey bir yazılımdır. Open FTA programı; petrol ve gaz endüstrilerde, havacılık, uzay, tıbbi malzeme, nükleer, savunma alanları gibi alanlarda uluslararası ölçekte yaygın bir kullanım alanı bulması felsefesi ile tasarlanmıştır. Kullanımı kolay olan bir arayüze sahiptir. Tek bir arayüz kullanılarak hem modelleme hem de analiz işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 3'te Open FTA programın arayüzü gösterilmiştir [11].



Şekil 3. Open FTA paket programı ara yüzü [11].

1.5. Literatür taraması

Dinamik pozisyonlama (DP) sisteminde dizel motoru hasarının risk değerlendirmesini hata ağacı ve papyon yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmiştir [12]. Khorasani [12] çalışmasında; ilk olarak DP sistemi hakkında ayrıntılı bilgiler verdikten sonra DP sistemini FTA analizinde zirve (baş) olay olarak tanımlamıştır ve hata ağacı oluştururken 7 adet ikinci seviye olayı (jeneratör arızası, sevk sistemi arızası, vb..) dikkate almıştır. Deniz suyu soğutma sistemindeki arızanın dizel motoru arızasının kök nedeni olduğunu belirlemiştir. Zhu [13] yaptığı çalışmada tipik bir santrifüj kompresörün oluşan hasarları FTA yöntemiyle analiz etmiştir. Santrifüj kompresörün hasarlanmasının, ağacı oluşturmak için 6 temel etmeni sırasıyla; ana mihverin çökmesi, pervanelerin hasarlanması, yağ kanallarının hasarlanması, yatakların hasarlanması, rotor haizinin düşük olması, aşırı derecede titreşimin olması şeklinde göz önüne almıştır. 46 tane başlangıç



olayını esas alarak hata ağacını analiz yapmıştır. Zhu [13] çalışmasında, santrifüj kompresörlerin arıza olasılık değerlerini ve hata ağacı için minimum kesme kümelerini belirlemeyi amaçlamıştır. Laskowski [14], gemi ana makinesi arızalarını hata ağacı yöntemini kullanarak incelemiştir. Çalışma sonunda makine arızasına neden olayların; silindir ünitesi, turboşarj ve yardımcı makine (blower) arızaları şeklinde sıralandığını belirlemiştir.

Literatür araştırmasında görüldüğü üzere API 618 piston tipli proses kompresör arızalarının, hata ağacı yöntemiyle incelenmesi ile ilgili bu zamana kadar kapsamlı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Sunulan bu çalışmada; proses gaz kompresöründe proses kaynaklı arızaların hata ağacı analizi yöntemi ile değerlendirilmesi ve hasara sebep olan kök nedenlerin önem sırasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda; 17 ana olay ve bu olaylara bağlı olarak toplam 221 alt olay göz önüne alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

HASAN KALNONCU 415"

2.1. API 618 Proses Gaz Kompresörü

Bu çalışmanın uygulama kısmında, KOBELCO firması [15] tarafından üretilen çift etkili süreç kompresörü referans alınmıştır. Yağlı veya yağsız sıkıştırma sistemine sahip olan bu kompresör API 618 standartlarına uygun bir şekilde tasarlanıp üretilmiştir. Kompresörün güvenilirliği ve kullanılabilirliği yüksek, parçalarının kalitesi yüksektir. Çeşitli tasarım seçenekleri vardır. Bakımı kolay olacak şekilde tasarlanmıştır ve böylece bakım maliyetleri en aza indirilmiştir. Şekil 4'te piston tipli kompresörün iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4. API 618 piston tipli kompresör kesit resmi [1].

2.2. API 618 Piston Tipli Kompresörün Arızalanmasına Sebep Olan Proses Kaynaklı Arızalar

Arızalara neden olan başlangıç olaylarının olasılık değerleri hesaplanırken OREDA ve NSWC ve NPRD ve birçok, İran'ın dördüncü gaz rafinerisinin dokümanlarından ve KOBELCO firmasının kompresör için hazırlanmış olan dokümanlardan yararlanılmıştır. Toplamda 17 adet proses kaynaklı hasarlar çalışmada göz önüne alınmıştır. Proses kaynaklı hasarlar ifade edilirken "Pi"





notasyonu kullanılmıştır. Burada i, 1-17 arasında sıralı değerler almaktadır. Proses kaynaklı arızalara karşılık gelen olaylar aşağıda sıralanmıştır:

- P1 (Proses 1) : Anormal sesler gürültü ve vuruntular
- P2 (Proses 2) : Sızıntı
- P3 (Proses 3) : S1v1 ve suyun girmesi
- P4 (Proses 4) : Aşırı ısınma

HASAN KADDNCU

- P5 (Proses 5) : Yağ ve yağlanma
- P6 (Proses 6) : Emniyet valfinin atması
- P7 (Proses 7) : Basınç
- P8 (Proses 8) : Ara soğutucu basıncı
- P9 (Proses 9) : Kompresörün titreşimli ve sarsıntılı çalışması
- P10 (Proses 10): Çalışma sıklığının anormal uzun olması
- P11 (Proses 11): Kompresör kapasitesinin düşük olması
- P12 (Proses 12): Aşırı yük
- P13 (Proses 13): Kompresörün yüksüz duruma geçmemesi
- P14 (Proses 14): Gaz taslımı, kapasite limitinden çok az olması
- P15 (Proses 15): Kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkmaması ve teslim edilmemesi
- P16 (Proses 16): İstenen basınca ulaşmak için ünite sürecinin çok uzun olması
- P17 (Proses 17): Basınç kontrol supabının (unloader) düzensiz çalışması

2.3. Hata Ağacı Analizi Yöntemi

Proses kaynağı arızalara neden olan olayların hata ağacı Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu olayların gerçekleşmesi kompresörün arızalanmasına yol açmaktadır. Burada her bir prosesin altında çok sayıda başlangıç olayı bulunmakta ve bunlara ait hata ağaçları ayrı oluşturularak analizler yapılmıştır. Fakat burada sadece örnek olması bağlamında P1 olayının alt olayları ve olasılık değerleri Tablo 1'de verilmiştir. P1 için hazırlanan hata ağacı ise Şekil 6'da verilmiştir. Hata ağacı analizinde kullanılan tüm olaylar ve kodları "Ekler" başlığı altında Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 5. Proses kaynaklı arızalar için OpenFTA'da hazırlanmış hata ağacı modeli



HASAN KALMONCU



Tablo 1. Anormal sesler gürültü ve vuruntulara neden olan başlangıç olayları

Proses kaynaklı başlangıç olayları (üçüncü seviye)	Kısaltması	Olasılık değeri
Silindir gömleğinin çatlak olması	P1,1.SGCO	3.34E-08
Piston segmanının kırılması	P1,1.PSK	6.78E-08
Piston ve silindir başlığın ortasında olan boşluğun yetersiz olması	P1,1.PVSB	2.72E-07
Piston ve silindir çapının ortasında olan boşluğun çok büyük olması	P1,1.PVSC	1.35E-07
Valf plakasının çatlak olması veya valflerin düzensiz çalışması	P1,1.VPCO	2.72E-07
Krosetin hidrolik somunun, gevşek olması	P1,1.KHSG	3.34E-08
Yatakların aşınması	P1,2.YA	1.67E-08
Kroset piminin veya busunun boşluğunun çok büyük olması	P1,2.KPBK	2.04E-07
Kroset ve kılavuz ortasında olan boşluğun aşırı derecede çok olması	P1,2.KVGO	6.78E-08
Kroset aşınması veya gevşemesi.	P1,2.KAVG	5.1E-06
Biyel büyük tarafının olan cıvatalarının gevşemesi	P1,2.PKBT	5.1E-08
Balans ağırlığın somun veya cıvatalarının gevşemesi	P1,2.BASV	1.67E-08
Ara soğutucunun titreşimli olması	P1,3.ASTO	1.27E-08
Yağlamanın yetersiz olması	P1,3.YY	7.62E-08
Sıvıların kompresör içine girmesi	P1,3.SKIG	1.9E-08
Kompresör temel cıvatasının gevşemesi	P1,3.KTCG	1.9E-08
Piston veya piston somunun gevşek olması veya hidrolik somunun	P1,3.PVPS	6.36E-09
Valflerin yerlerine oturmaması	P1,3.VYO	5.08E-08
Deşarj basıncının yüksek olması	P1,3.DBYO	1.27E-08
Kasnağın veya volanın gevşek olması	P1,3.KVVG	7.62E-08
Motor yataklarının çok sıkı olması	P1,4.MYCS	1.27E-08
Kompresör yataklarının çok sıkı olması	P1,4.KYCS	5.08E-08
Yağ eksikliği	P1,4.YE	1.02E-07
Conta veya bağlantı parçalardan sızıntı	P1,4.CVBP	3.82E-09



Şekil 6. Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan olayların hata ağacı modeli



3. Bulgular ve Tartışma

HASAN KALNONCU 415" SHI

3.1. Minimum Kesme Kümeleri

API 618 kompresörün arızalarının hata ağacı analizinde, minimum kesme kümelerini (MCS) belirlemek amacıyla bir analiz yapıldı. Analiz sonucunda kompresör hasara oluşumuna neden olan proses kaynaklı 235 adet minimum kesme kümesi Tablo 2'de kısaltılarak verilmiştir. Tablo 2'nin ayrıntıları Akbar [1]'da bulunabilir.

Tablo 2.	Proses kaynaklı hasarların neden olan minimum kesme kümelerini oluşturan
	başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları

No	MCS	Olma olasılığı
1	P1,1.KHSG	3.340000E-008
2	P1,1.PSK	6.780000E-008
3	P1,1.PVSB	2.720000E-007
•••		
232	P9.MRSU	1.920000E-006
233	P9.PVPR	8.700000E-005
234	P9.SVKG	6.200000E-005
235	P9.USVK	8.500000E-005

3.2. Başlangıç Olayların Önemi

Başlangıç olaylarının olasılık ve önem değerleri Tablo 3'te, %2 ve üzeri değere sahip olaylar dikkate alınarak verilmiştir. Tablonun daha geniş hali Akbar [1]'da bulunabilir. Hesaplamalar neticesinde toplam önem değeri %17.5 olarak hesaplanmıştır. Şekil 7'de ise proses kaynaklı hasarların oluşumundaki, başlangıç olayların etkilerinin payı (önemi) pasta diyagramı şeklinde verilmiştir.

 Tablo 3. Proses kaynaklı hasarlarla ilgili başlangıç olayların önemi ve toplam önemi

Olay	Olasılık değeri	Önemi (%)
P9.BSUD	9.900000E-004	% 2.58
P5,4.PSYS	9.570000E-004	% 2.49
P4,2.CVVC	9.520000E-004	% 2.48
P9.KCGY	9.200000E-004	% 2.40
P9.KITE	9.200000E-004	% 2.40
P4,2.VKVA	8.970000E-004	% 2.34
•••		



Şekil 7. Proses kaynaklı hasarların oluşumunda başlangıç olaylarının önemi

4. Sonuçlar

Sunulan bu çalışmada proses gaz kompresöründe proses kaynaklı arızaların hata ağacı yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- a) Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan borulama sistemlerinde uygunsuz destekleyicinin (supporting) kullanılmasının, proses kaynaklı arızalara neden olan başlangıç olayları arasında birinci öneme (%2.58) sahip olduğu belirlenmiştir.
- b) Yağlayıcının, yağlama yağını yanlış ulaştırmasına neden olan pompa strokunun yanlış şekilde ayarlanmasının, proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (%2.49) sahip olduğu belirlenmiştir.
- c) Kompresör parçalarının aşırı ısınmasına neden olan çek valfleri veya çıkış valflerinin arızalı olmasının, proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında üçüncü öneme (%2.48) olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- 1. Akbar, F., API 618 Proses Gaz Kompresörü Arızalarının Hata Ağacı Yöntemi ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. **2016**.
- 2. SIM ENGINEERING, https://www.sim-engineering.com/en/api-618/
- 3. Alsaran, A., Hasar Analizi. Atatürk Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi. Makine Mühendisliği Bölümü. 2014.



- 4. Harms-Ringdahl, L., Safety Analysis: Principles and Practice in Occupational Safety. Taylor & Francis. CRC Press. USA. 2003.
- 5. Kristiansen, S., Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis. Elsevier Butterworth-Heinemann. USA. **2005**.
- 6. Tanaka, H., Fan, L., Lai, F. and Toguchi, K. Fault-Tree Analysis by Fuzzy Probability. IEEE Transactions on Reliability, **1983**, 32(5): 453-457.
- 7. Uğurlu, Ö., Petrol Tankerlerinde Meydana Gelen Deniz Kazalarının Risk Analizi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. **2011**.
- 8. Gürgen, S., Yazır, D., and Konur, O. Fuzzy Fault Tree Analysis for Loss of Ship Steering Ability. Ocean Engineering, **2023**, 279: 114419.
- 9. Amrozowicz, M., The Quantitative Risk of Oil Tanker Groundings. PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology. Department of Ocean Engineering. USA. **1996**.
- Haegeman, K., Scapolo, F., Ricci, A., Marinelli, E., and Sokolov, A. Premises and Practices in Combining Quantitative and Qualitative FTA method. Fourth International Seville Conference on Future-oriented Technology Analysis (FTA), FTA and Grand Societal Challenges–Shaping and Driving Structural and Systemic Transformations. Seville. 2011.
- 11. Informer Technologies, https://openfta.software.informer.com
- 12. Rasoulzadeh Khorasani, V. Risk Assessment of Diesel Engine Failure in a Dynamic Positioning System. Master's thesis. University of Stavanger. Norway. **2015**.
- 13. Zhu, J.F. Fault Tree Analysis of Centrifugal Compressor. Key Engineering Materials, 2011, 474-476: 1587-1590.
- Laskowski, R. Fault Tree Analysis as a Tool for Modelling the Marine Main Engine Reliability Structure. Scientific Journals of The Maritime University of Szczecin, 2015, 41(113): 71-77.
- 15. KOBELCO COMPRESSORS CORPORATION, https://kobelco-compressors.com/

Ekler

HASAN KALNONCU 415"

Tablo 4. Kompresör sızıntısına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başl	şlangıç olayları,	olayların kısaltması ve
olasılık değerleri		

Proses kaynaklı başlangıç olayları (üçüncü seviye)	Kısaltması	Olasılık değeri
Valf plakalarının çatlak olması	P2,1.VPCO	1.02E-08
Valf yaylarının kırık olması	P2,1.VYKO	7.26E-09
Valf plakasının düzensiz çalışması	P2,1.VPDC	1.87E-08
Piston segmanlarının ve silindir gömleğinin aşınması	P2,1.PSVS	5.8E-08
Piston rot salmastralarının yetersiz ve zayıf olması	P2,1.PRSY	3.64E-08
Valflerin oturma yüzeylerinin cilasının zayıf olması	P2,1.VOYZ	4.36E-08
Bağlantı elemanların sızdırması	P2,1.BES	2.9E-08
Valfın oturma yerinde olan kanalları veya valf plakalarının aşınması	P2,2.VSKV	4.02E-08
Vidaların yetersiz olması	P2,2.VYO	6.1E-09
Valflerin yanlış şekilde monte etmesi	P2,2.VYSM	1.22E-08
Valf hücresinde olan contaların, bozulması	P2,2.VHOC	4.52E-08
Valf oturma yüzeyin kanallarının, gayda yapışması	P2,2.VSKG	1.83E-08
Silindir kafası sızdırması. Silindir başlığının conta bozukluğu nedeniyle	P3,1.SKS	9E-08
Silindir kafası veya silindir gömleğinin çatlak olması	P3,1.SKVS	6E-08
Silindir sıcaklığının düşük olması ve kondansat'ın oluşması	P3,1.SSDO	1.4E-08
Separatör ve kapanı (water trap) görevlerini iyi yapamıyorlar.	P3,1.SVKG	5E-08
Kompresör üzün süre çalışmadığında, gaz kondanslar kompresörün	P3,1.KUSC	6.1E-09
Borulama sisteminin uygun olmaması yerlerde, silindirlerin alt	P3,1.BSUO	2.06E-08
Yağın içine suyun karışması veya yağ separatör cihazını kullanmamak	P3,2.PVLS	2.56E-08
Yağ temizleyici kullanması	P3,2.YTK	5.1E-09
Kompresörün bulunduğu yerin çok nemli ve ıslak olması	P3,2.KBYÇ	1.53E-08
Krank muhafazasının kapaklarının contalarının bozulması	P3,2.KMKC	3.56E-08

TRABZON - TÜRKIYE

0



Soğutma suyun yetersiz olması	P4,1.SSYO	6.04E-06
Giriş çıkış valflerin bozuk olması	P4,1.GCVB	4.88E-06
Piston veya silindir gömleğin çizikli yüzey olması	P4,1.PVSG	9.38E-06
Yağlamanın yetersiz olması	P4,1.YYO	3.26E-06
Salmastraların fazla sıkı olması	P4,1.SFSO	1.76E-06
Giriş gazın yüksek sıcaklığı olması	P4,1.GGYS	1.22E-06
Çek valfleri veya çıkış valflerinin arızalı olması	P4,2.CVVC	9.52E-04
Deşarj basıncının limitin yüzerinde olması	P4,2.DBLY	1.91E-05
Yağ seviyesinin çok yüksek olması	P4,2.YSCY	1.91E-06
Yağ seviyesinin çok düşük olması	P4,2.YSCD	1.81E-06
Yağ viskozitesinin yanlış ve uygunsuz olması	P4,2.YVYV	1.83E-06
Piston segmanlarının yuvalarında sıkışması veya aşınması veya	P4,2.PSYS	8.91E-5
Piston rot salmastraların çok sıkı olması	P4,2.PRSC	1.91E-05
Valflerin kirli olması	P4,2.VKO	9.94E-06
Valflerin kırılması veya aşınması	P4,2.VKVA	8.97E-4
Soğutma giriş suyun sıcaklığının yüksek olması	P4,2.SGSS	2.02E-05
Soğutma suyun miktarının yetersiz olması	P4,2.SSMY	1.45E-05
Valflerin silindir içinde oturmaması	P4,2.VSIO	1.43E-06
Unloderin yanlış ayarlanması	P4,3.UYA	2.44E-06
Giriş boruların limitli olması çok küçük veya çok uzun olması	P4,3.GBLO	1.09E-07
Giriş filtrelerin tıkalı olması	P4,3.GFTO	9.2E-07
Valflerin aşınması veya kırılması	P4,3.VAVK	6.52E-08
Valflerin yanlış yerlerde olması	P4,3.VYYO	2.72E-08
"Conta sizintisi"	P4,3.CS	6.78E-08
Unloder veya kontrolün arızalı olması	P4,3.UVKA	1.11E-08
Hızın yüksek olması	P4,3.HYO	4.36E-08
Yağ seviyesinin yüksek olması	P4,3.YSYO	4.88E-08
Çevre sıcaklığının yüksek olması	P4,3.CSYO	4.06E-08
Havalandırmanın zayıf olması	P4,3.VZO	2.22E-07
Gaz akışının, fan soğutucuya doğru bloke olması	P4,3.GAFS	3.52E-07
Giriş veya çıkış valflerin arızalı olması	P4,3.GVCV	2.22E-06

	-	
Giriş suyun sıcaklığının çok yüksek olması	P4,4.GSCY	1.08E-07
Silindir baslığı iç soğutucusunun kirli olması	P4,4.SBIS	2.4E-08
Deşarj basıncının aşırı yüksek olması	P4,4.DBAY	4.82E-08
Ara soğutucu basıncının yüksek olması	P4,4.ASBY	7.2E-08
Çıkış gazın sıcaklığının çok yüksek olması	P4,4.CGSC	8.1E-06
Su ceketi veya ara soğutucunun kirli olması	P4,4.SCVA	1.44E-07
Soğutma su miktarının yetersiz olması	P4,4.SSMY	2E-07
Gaz soğutucu fan içinin kirli veya çamurlu olması	P4,5.GSFI	1.32E-06
Deşarj basıncının çok yüksek olması	P4,5.DBCY	8.8E-06
Valfin hasar görmesi (wire drawing)	P4,5.VHG	9.92E-05
Kompresör ters çalışıyor	P4,5.KTC	7.6E-7
Ara soğutucunun tıkalı olması ve çalışmaması	P4,5.ASTO	2.2E-07
Kompresör muhafazasında olan emniyet valfinin (baş emniyet valfleri)	P5,1.KMOE	1.18E-06
Yağ hattının kısıtlı olması	P5,1.YHKO	5.2E-07
Yağ omur suresinin kısıtlı olması	P5,1.YOSK	6.2E-06
Yağ kalitesinin uygunsuz olması	P5,1.YKUO	1.24E-06
Yağın soğuk olması	P5,1.YSO	1.3E-06
Basınç regülasyon valf, yüksekte ayarlanması	P5,1.BRVY	1.88E-06
Yağ dişli pompanın aşınması veya bozulması	P5,2.YDPA	9.8E-06
Yağ filtrelerin veya süzgeçlerin tıkalı olması	P5,2.YFVS	1.06E-06
Yağ seviyesinin düşük olması	P5,2.YSDO	1.12E-07
Yağ viskozitesinin yanlış olması	P5,2.YVYO	1.4E-06
Yağ borulamalarından sızmalar	P5,2.YBS	1.02E-07
Yağ pompasının veya yağ emniyet valfinin arızalı olması	P5,2.YPVY	7.4E-06
Yatakların aşınmış olması veya yatak boşluklarının çok olması	P5,2.YAOV	2.4E-06
Yağ basıncının düşük olması	P5,2.YBDO	9.8E-06
Yağ pompa sisteminde olan filtrelerler ve süzgeçlerin kirli ve tıkanması	P5,2.YPSO	1.98E-07
Yağ sıcaklığının yüksek olması	P5,2.YSYO	7E-06

•



TRABZON - TÜRKİYE

	1	
Soğuk yağın kullanılması	P5,2.SYK	8.2E-06
Yağ viskozitesinin düşük olması	P5,2.YVDO	4.6E-06
Krank mahfazasında, yağ seviyesinin yüksek olması	P5,3.KMYS	1.38E-07
Yağın çok hafif olması	P5,3.YCHO	4.2E-07
Yağ basıncının çok yüksek olması	P5,3.YBCY	6.83E-6
Piston segmanların ve silindir gömleğinin aşınmış olması	P5,3.PSVS	1.04E-06
Yağ deposunun hava venti (hava deliğinin) olmaması	P5,4.YDV	1.04E-06
Yağ seviyesinin cok cok düsük olması	P5,4.YSCC	6.2E-06
Yağlama deposunun ventinin (hava deliğinin) tıkalı olması	P5.4.YDVO	3.6E-06
Silindir icinde olan vağ cek valflerin bozulması	P5.4.SUOY	5.4E-05
Pompa strokunun vanlıs sekilde avarlanması	P5.4.PSYS	9.57E-4
Boru hatlar veva bağlantılardan sızmalar	P5.4.BHVB	2.8E-05
Giris veva cıkıs yüksek başınclı valflerin arızalı olması	P6.1.GVCY	2.4E-08
Yüksek başınclı unloder pistonunun seat parcaşının sızdırmaşı	P6.1.YBUP	1.96E-08
Unloder gije vavin kirilmasi	P6 1 UGYK	3 4E-08
Unloder pistonunun sikismasi	P6 1 UPS	1 96E-08
Giris veva cıkış vüksek başınclı valflerin kırılmaşı	P6.2 GVCY	5E-08
Vüksek başınclı unlader nistanunun sıkısması	P6 2 VRUP	3 4E-08
Unloderin calismaması	P6 3 UC	$1.62E_{-0.0}$
Kontrol have bettinin sizdirmesi	D63KHIS	1.02E-08
Kontrol hava hatti süzgeçinin tikalı olması	D6 2 KHI SU	1.58E-08
Rontron nava natti suzgeennin tikan onnasi	D6 4 DVSC	1.04E-08
V satusla sa hamlarin and massive ve va cizikii yuzey olinasi	P0,4.PV30	1.02E-08
Kontrol gaz borularin sizdirmasi	P6,4.KGBS	9E-09
Sogutma suyun yetersiz olmasi	P6,4.55YO	1.1E-08
Silindire gomlegime giren suyun sicakliginin fazla olması	P6,4.SGGS	9E-09
Silindir su ceketi veya giriş sogutucunun kirli olması	P6,4.SSCV	1.25E-08
Emniyet valilerin çok düşük ayarlanması	P6,4.EVCD	8E-09
Emniyet valflerin arizali olmasi	P6,4.EVAO	9.5E-09
Giriş veya çıkış rezonans titreşimi	P6,4.GVCR	1.15E-08
Diston segmenterinin esinmesi yeye kirilmesi yeye cizikli yüzey olmosi		
Tiston segmaniarinin aşınınası veya kirininası veya çızıklı yüzey olinası	P0,4.P5AV	8E-09
Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması	P6,4.PSAV P6,4.ASKT	7.5E-09
Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı)	P6,4.ASKT	7.5E-09
Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan	P6,4.ASKT P7,1.SBVA	7.5E-09 2.1E-08
Tiston segmanarının aşınması veya kırınması veya çızıklı yüzey ölması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması	P6,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08
Tiston segmanlarının aşınması veya Kırınması veya Çızıklı yüzey ölması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi	P6,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK	2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08
Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD	2.1E-09 2.4E-08 2.2E-08 2.2E-08 1.96E-08
Tistoli seginantarinin aşınması veya kırılması veya çızıkli yüzey ölması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08
Tiston segmanarinin aşınması veya kırınması veya çızıklı yüzey ölması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08
Tiston segmanarininasi veya kiriniasi veya kiriniasi veya kiriniasi Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.UVKH	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08
Tiston segmanlarının aşınması veya kırınması veya çızıklı yüzey ölması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.UAYY	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.46E-08
Tistori segmanarininasi veya kiriniasi veya kiriniasi veya kiriliasi Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.46E-08 1.62E-08
Tistoli seginanarinin aşınması veya Kırınması veya Çızıklı yüzey ölması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.46E-08 1.62E-08
Tistoli seginanarinin aşınması veya Kırınması veya Çızıklı yüzey ölması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.46E-08 1.62E-08 1.52E-08
Tistori segnanarimasi veya kirimasi veya kirimasi veya kirimasi Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT P7,3.SILU	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.46E-08 1.62E-08 1.52E-08 5.6E-09
Tiston segmanarinasi veya kiriniasi veya kirinasi Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede ic kacaklar	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT P7,3.SILU P7,3.SADİ	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.46E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.46E-08 1.52E-08
Tistori segnanarimasi veya kirimasi veya kirimasi Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması va da aşınması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT P7,3.SILU P7,3.VKYA	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.4E-08 1.3E-08
Tiston segnanarinin aşınması veya kırınması veya çızıklı yüzey ölması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT P7,3.SILU P7,3.VKYA P7,3.VO	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.4E-08 1.3E-08 1.3E-08 1.96E-08
Tiston segnanarinin aşınması veya kırınması veya kırılması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT P7,3.SILU P7,3.VKYA P7,3.VO P7.3.CS	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 5.6E-09 1.4E-08 1.3E-08 1.96E-08 7.7E-09
Tiston segnannarinin aşınması veya kirinnası veya çizikli yüzey olması Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tikalı olması Sistemi naşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması Contaların sızdırması Pistonun cizikli yüzey olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT P7,3.SILU P7,3.VKYA P7,3.VS P7,3.PSYO	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 5.6E-09 1.4E-08 1.3E-08 1.96E-08 7.7E-09 1.26E-08
Tiston segmanarinasi veya kiriniasi veya kirinasi Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemi aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması Pistonun çizikli yüzey olması Pistonun çizikli yüzey olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGHT P7,3.SILU P7,3.VKYA P7,3.VS P7,3.PSYO P7 3 PRSS	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 5.6E-09 1.4E-08 1.3E-08 1.96E-08 7.7E-09 1.26E-08 2E-08
Tiston segnanarinina aşınması veya kırınması veya çızıklı yüzey ölması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması Contaların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Fiston rot salmastraların sızdırması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.GTAD P7,1.GTAD P7,1.GTAD P7,2.DBLU P7,2.DBLU P7,2.UAYY P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.VO P7,3.PSYO P7,3.PRSS P7 3 EVS	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.32E-08 1.3E-08 1.96E-08 7.7E-09 1.26E-08 2E-08 1.8F-08
Tistori segmanarinin aşinması veya kritinası veya çizikli yüzey olması Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tikalı olması Sistemi naşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması Contaların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valflin sızdırması Hızın düsük olması (limit hızın altında olma durumu)	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.PSYO P7,3.PRSS P7,3.EVS P7,3.HDO	8E-09 7.5E-09 2.4E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.59E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.26E-08 2.2E-08 1.26E-08 2.208 1.8E-08 1.96E-08
Tistori seginanarinin aşınması veya krinnası veya çizikli yüzey olması Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tikalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin turumansı Contaların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valflin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergenin düşük değer gösterilmeşi	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.CS P7,3.PSYO P7,3.EVS P7,3.HDO P7.3 RGDO	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.59E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.26E-08 2.6E-08 1.96E-08 1.26E-08 2.608 1.8E-08 1.06E-08 1.8E-08 1.96E-08
Tistoli seginantarini aşınınası veya kırınnası veya çizikli yüzey olnası Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tikalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemi naşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Contaların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valflin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi Deşari basınç sunırın üzerinde	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.BSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.PSYO P7,3.PRSS P7,3.BGDO P7,3.BGDO P8.1 DBLU	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.59E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 1.6E-08 1.52E-08 2.6E-09 1.4E-08 1.3E-08 1.96E-08 7.7E-09 1.26E-08 2E-08 1.8E-08 1.06E-08 1.8E-08 1.06E-08 1.1E-08 1.82E-07
Tistoli seginantarini aşınması veya kırınması veya çizikli yüzey olması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemi naşırı derecede iç kaçaklar Valflerin oturmaması Valflerin oturmaması Valflerin oturmaması Piston rot salmastraların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valfilin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi Deşarj basınç sınırın üzerinde	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GTAD P7,1.GTAD P7,1.GSVB P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.CS P7,3.PSYO P7,3.BGDO P7,3.BGDO P8,1.DBLU P8,1.SGVP	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.59E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.96E-08 7.7E-09 1.26E-08 2E-08 1.8E-08 1.06E-08 1.1E-08 1.82E-07 1.72E-07
Tistoli segmanlarının aşınması veya kırılması Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması Contaların sızdırması Piston ne çizikli yüzey olması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valflin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi Deşarj basınç şınırın üzerinde Silindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,2.DBLU P7,2.DBLU P7,2.UAYY P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.VS P7,3.PSYO P7,3.EVS P7,3.HDO P7,3.BGDO P8,1.DBLU P8,1.SGVP P8,1.ASVT	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.59E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.96E-08 7.7E-09 1.26E-08 2.2E-08 1.8E-08 1.06E-08 1.1E-08 1.82E-07 1.72E-07 1.84E-07
Tiston segmanarının aşınması veya kırılması Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşari başıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tıkalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması Contaların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valflin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi Deşarj basınç sınırın üzerinde Siindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması Ara soğutucu kanallarının tıkanık olması Soğutucu sun milternun uternir alıması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,2.DBLU P7,2.DBLU P7,2.UAYY P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.VS P7,3.PSYO P7,3.BGDO P8,1.DBLU P8,1.ASKT P8,1.SGVY	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.59E-08 1.46E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.26E-08 1.82E-07 1.72E-07 1.84E-07 1.92E-07
Tiston segmantarinin aşınması veya kırınması veya çizikli yüzey ölması Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşını derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tikalı olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin oturmaması Contaların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valflin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi Deşarj basınç sınırın üzerinde Silindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması Ara soğutucu kanallarının tıkanık olması Soğutucu su miktarının ytetersiz olması	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.VO P7,3.PSYO P7,3.PSYO P7,3.BGDO P8,1.DBLU P8,1.SGVP P8,1.ASKT P8,1.SSMY	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.26E-08 1.8E-08 1.06E-08 1.1E-08 1.82E-07 1.72E-07 1.84E-07 1.92E-07
Tiston segmanlarının aşınması veya kırınması veya çizikli yüzey ölması Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz hattının tikalı olması Sistem intiyacı limitin üzerinde olması Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar Valflerin kırılması ya da aşınması Valflerin turumaması Contaların sızdırması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valflin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi Deşarj basınç sınırın üzerinde Silindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması Ara soğutucu kanallarının tıkanık olması Soğutucu su miktarının yetersiz olması Giriş su	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VKYA P7,3.VKYA P7,3.PSYO P7,3.PRSS P7,3.BGDO P8,1.SGVP P8,1.ASKT P8,1.SSMY P8,1.GSSY	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.8E-08 1.06E-08 1.1E-08 1.82E-07 1.72E-07 1.84E-07 1.92E-07 1.8E-07
Tiston segmanlarının aşınması veya krifinası veya çizikli yüzey olması Ara soğutucunu kanallarının tikalı olması Tablo 4. (devamı) Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan Piston segmanlarının aşınması veya kırılması Giriş filtrelerin kirlenmesi Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması Deşarj basıncının limitin üzerinde olması Unloder ya da kontrolün hasara uğraması Unloder ayarının yanlış yapılması Göstergenin bozuk olması Kontrol gaz borusunun sızdırması Kontrol gaz borusunun sızdırması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması Sistemi naşırı derecede iç kaçaklar Valflerin oturmaması Contaların sızdırması Pistonun çizikli yüzey olması Piston rot salmastraların sızdırması Emniyet valfilin sızdırması Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu) Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi Deşarj basınç sınırın üzerinde Silindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması Ara soğutucu kanallarının tıkanık olması Soğutucu su m	P0,4.PSAV P6,4.ASKT P6,4.ASKT P7,1.SBVA P7,1.PSAV P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,1.GFK P7,2.DBLU P7,2.UVKH P7,2.GBO P7,2.KGBS P7,2.KGBS P7,3.KGHT P7,3.SILU P7,3.SADİ P7,3.VO P7,3.VS P7,3.PRSS P7,3.PSYO P7,3.BGDO P8,1.SGVP P8,1.SGVP P8,1.ASKT P8,1.GSSY P8,2.VSIDO P9,2.CS	8E-09 7.5E-09 2.1E-08 2.2E-08 1.96E-08 1.98E-08 1.58E-08 1.59E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.62E-08 1.52E-08 1.62E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.96E-08 1.8E-08 1.8E-08 1.1E-08 1.82E-07 1.72E-07 1.84E-07 1.92E-07 1.8E-07 2.0E-07



Unloder veya kontrolün bozulması	P8,2.UVKB	2.0E-07
Piston segmanlarının yuvalarında sıkışması veya aşınması veya kırılması	P8,2.PRYS	6.0E-07
Emniyet valflerin sızdırması	P8,2.EVS	1.0E-7
Ara soğutucunun sızdırması	P8,2.ASS	6.0E-8
Göstergenin arızalı olması	P8,2.GAO	4.0E-7
Kompresörden çıkan gazın, yüksek basıncı olması	P9.KCGY	9.2E-4
Kompresör temelinin çok küçük olması	P9.KTCK	8.6E-5
Kompresör temelinin düzensiz kaya ünitelerde olması	P9.KTDK	5.6E-05
Motorun rotoru, şaft üzerinde gevşemesi	P9.MRSU	1.92E-6
Borulama sistemlerinde uygunsuz destekleyici (supporting)kullanılmak	P9.BSUD	9.9E-4
Boşaltıcı (unloader) sisteminin veya kontrolün, arızalı olması	P9.USVK	8.5E-05
Piston veya piston rotunun yâda biyel, somunlarının gevşek olması	P9.PVPR	8.7E-5
Silindir veya kompresör gövdesinin somun ve vidalarının gevşek olması	P9.SVKG	6.2E-5
Kompresör ile tahrik eden sisteminin (elektrik motoru ,türbin) hıza	P9.KITE	9.2E-4
Kompresör temelinin (compressor fondation) somunlarının gevşek olması	P9.KTSG	6.47E-5
Krank şaft yataklarının (sabit ve hareketli yataklar) boşluğun çok olması	P9.KSYK	8.2E-5
Borulama sistemlerin (giriş ve çıkış) tıkanık olması	P9.BSTO	8.0E-6
Kroset piminin, boşluğunun çok olması	P9.KPKC	6.0E-5
Deşarj basıncının limitin üzerinde olması	P10.DBLU	4.8E-08
Silindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması	P10.SGVP	1.34E-08
Piston segmanlarının, yuvalarında sıkışması veya kırılması	P10.PSYS	4.8E-08
Unloderin arızalı olması	P10.UAO	4.6E-08
Sistemin aşırı sızdırmalar	P10.SAS	4.8E-08
Valflerin hasarlanması	P10.VH	1.2E-07
Gaz ölçme tekniklerin yanlış olması	P11.GOTY	3.4E-08
Silindir yakınında, gaz titreşimin olması	P11.SYGT	1.14E-07
Piston segmanlarının bozulması	P11.PSB	1.78E-07
Boşaltıcı (unloader) sisteminin bozuk olması	P11.USBO	1.3E-07
Valflerin iyi çalışmaması	P11.VIC	2.4E-07
Giriş gaz filtrelerinin kirli veya tıkanık olması	P11.GGFK	2.2E-07

Tablo 4. (devamı)

Borulama sistemlerinde, basınç düşüşünün çok olması	P11.BSBD	1.48E-07
Elektro motor devrinin düşük olması	P11.EMDD	1.14E-07
Giriş gazın basıncının az olması	P11.GGBA	1.48E-07
Gaz giriş yollarının tıkanık olması	P11.GGYT	1.46E-07
Salmastra kutusundan (packing seal) çoklu gazın sızıntısı	P11.SKCG	1.5E-07
Aşırı kapasite teslim edilmesi	P12.AKTE	1.08E-07
Ünitede mekanik koşulların zayıf olması	P12.UMKZ	4.5E-08
Silindir etrafındaki gaz titreşimleri	P12.SEGT	1.36E-07
Borulama elemanların tıkalı olması	P13.BETO	4.1E-08
Unloder parçalarının aşınması veya kirli olması	P13.UPAV	1.66E-08
Yanlış rotasyon	P13.YR	6.6E-09
Elektrik koşullarının yanlış olması	P13.EKYO	7.6E-09
Tahrikin yetersiz olması	P13.TYO	2.4E-08
Voltajın anormal şekilde düşük olması	P13.VASD	4.2E-08
Motorun aşırı yüklenmesi ve röle atması	P13.MAYV	2.6E-08
Sigortanın yanması	P13.SY	3.6E-08
Kabloların uygunsuz olması	P13.KUO	1.16E-07
Yağ basıncının düşük olması ve rölenin açık olması	P13.YBDO	1.46E-08
Contanın sızdırması	P14.CS	4.6E-08
Piston segmanlarının kırılması veya yuvalarında sıkışması veya	P14.PSKV	4.2E-08
Piston ve silindir başlığın ortasında olan boşluğun, çok küçük olması	P14.PVSB	5E-08
Piston rot salmastraların aşırı derecede sızdırması	P14.PRSA	5.8E-08
Emniyet valflerin sızdırması	P14.EVS	6.2E-08
Silindire giren soğutma suyun sıcaklığının yüksek olması	P14.SGSS	6.6E-08
Valflerin hasar görmesi	P15.VHG	7.2E-07
Sistemin basınç ayarının çok yüksek olması	P15.SBAÇ	1.52E-07
Borulardaki sızmalar	P15.BS	1.22E-07







Hızın çok düşük olması	P15.HÇDO	6.25E-08
Kompresörün gaz talebinin aşırı derecede fazla olması	P15.KGTA	8.2E-08
Giriş filtrelerinin arızalı olması	P15.GFAO	3.3E-07
Unloder saplanmış	P15.US	5.6E-08
Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında	P15.SBVA	2.4E-07
Girişin kısmen bloke olması ve tıkanması	P16.GKBO	6.6E-08
Giriş filtresinin kirlenmesi	P16.GFK	1.3E-07
Unloderin kısmen baypas etmesi	P16.UKB	2.4E-08
Valflerin arızalı olması	P16.VAO	9.6E-08
Borular ve bağlantıların sızdırması	P16.BVBS	1.3E-08
Girişin kısmen bloke olması ve tıkanması	P16.GKBO	6.6E-08
Giriş filtresinin kirlenmesi	P16.GFK	1.3E-07
Unloderin kısmen baypass etmesi	P16.UKB	2.4E-08
Valflerin arızalı olması	P16.VAO	9.6E-08
Kontrol hava hattının sızdırması	P17.KHHS	8.4E-08
Kontrol hava hattının çok küçük olması	P17.KHLC	6.8E-08
Kontrol hava hattının kısmen tıkalı olması	P17.KHLK	8.8E-08
Unloder yayının uygunsuz seriden olması	P17.UYUS	8.4E-08

DERİN EVRİŞİMSEL SİNİR AĞI KULLANILARAK ÇUVAL SEKTÖRÜNDE KULLANILABİLECEK BİR KALİTE KONTROL MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

NECİP FAZIL YILMAZ^{1,2*}, SEBAHATTİN ÇÜRÜK¹, MAHMUT FURKAN KALKAN¹

¹Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep, Türkiye ²Hasan Kalyoncu University, Board of Trustees, Gaziantep, Türkiye

Özet

Kumaş üretim sektöründeki kalite kontrol, bir ürünün üretilmesindeki parametreleri ve ortaya çıkan bu üründen oluşacak müşteri memnuniyetini karşılamasını zorunlu kılan standartların bütünüdür. Kumaş üretimi yapılan işletmelerde üretim esnasında çeşitli sebeplere bağlı olarak kalite kontrol mekanizmasının personeller aracılığı ile yapılması ile müşterinin ortaya çıkan sonuçlara duyduğu güven ve memnuniyet arasında ters orantı vardır. Bunun yanı sıra kalite kontrol işlemlerinin otomatik olmaması zaman kaybına neden olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, çuval sektöründe kullanılabilecek bir Derin Evrişimsel Sinir Ağı (DCNN) modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelin özellikle çuval sektöründe üretilen kumaşlarda kalite kontrolü yapabilme yeteneği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında üç farklı veri seti kumaş üretim hattından alınan örneklerden hazırlanmıştır. Bu veri setleri sırasıyla eğitim, doğrulama ve test veri seti olarak kullanılmıştır. Geliştirilen model hazırlanan test veri seti kullanılarak test edilmiş olup bu test sonucunda ortaya çıkan karışıklık matrisi üzerinden doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-Skor gibi metrikler değerlendirmek üzere hesaplanmıştır.Yapılan değerlendirmelerin sonucunda geliştirilen modelin başarısının bu alanda kullanılabilecek bir kalite kontrol yöntemi olarak uygun olabileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Evrişimsel Sinir Ağları, Kalite Kontrol, Hatalı Kumaş Tespiti

1. Giriş

Tekstil sektöründe kumaş üretimi genellikle dokuma makineleri kullanılarak yapılmaktadır. Özellikle yuvarlak ve düz dokuma makineleri sektörde büyük bir üretim kapasitesine sahip olup her bir dokuma makinesi aylık 8-10 ton kumaş üretilebilmektedir.[1] Günümüzde tekstil sanayisinde yüksek üretim kapasitesi ile birlikte kalite oranları yüksek kumaş üretimi amaçlamaktadır. Dokuma makinelerinde üretim esnasında meydana gelen çeşitli olumsuzluklar üretilen kumaşın defolu olmasına neden olabilmektedir. Kumaş hataları, üretim işlemlerinde yaşanan problemler sonucunda kumaş yüzeyinde oluşan ve kalite kaybına yol açan renk ve doku bozulmalarıdır. [1]. Kumaş hataları bazen makinesel bazen operatör kimi zamanda iplik problemlerinden kaynaklanmaktadır. Günümüz tekstil sektöründe 35'ten fazla kumaş hatası çeşidi ile karşılaşılmakta ve bu hatalar üretilen ürünlerin niteliğini olumsuz yönde etkilemektedir [2]. Kumaş hatalarının tespiti, geleneksel olarak üretim başlangıcında ve sonrasında kalite kontrol birimlerinde yapılmaktadır. Bu işlem, üretilen kumaş numunenin veya

TÜRKİYE



kumaş topunun kalite kontrol birimine gönderilmesi, kumaş topunun geri açılması ve bir kalite kontrol operatörünün steril bir ortamda kumaşı izlemesi aşamalarını içermektedir. Böylece kumaş üzerindeki hatanın yeri, boyutu ve tipi gibi istatistiksel veriler elde edilebilmektedir.[3] Bu tespit yönteminin dezavantajı hatanın geç fark edilmesi ve böylece defolu kumaş üretiminin engellenememesidir. Üretim esnasında hataların tespit edilememesi ciddi kumaş kayıplarına vol acmaktadır. Cünkü üretimin herhangi bir anında başlayan kumaş hataşı devam edebilmekte ve üretim tamamlanana kadar bu etki devam edebilmektedir.[4] Günümüzde sürekli devam eden üretim esnasında oluşacak hataların tespiti işçiler tarafından ara sıra yapılmaktadır. Bu durum kumaş üretimi gerçekleştiren tekstil işletmelerinde olumsuzluklara neden olmaktadır. Hatalı üretim devam ettiği için kumaş kayıpları yaşanmaktadır. Kumaş hatası başladıktan sonra hata fark edilmediği için dokuma makinesi çalışmaya devam etmekte, bu nedenle özellikle tüketilen elektrik katma değerli ürüne katkı sağlamadığı için maaliyetlerde artış meydana gelmektedir.[5] Geleneksel sistemlerde bir kalite kontrol operatörünün üretim esnasında sürekli kumaşı kontrol etmesi gerekmektedir. 7-24 çalışılan işletmelerde üretimde hatanın her an olabilmesi, üretim yapan makine sayısının fazla olması ve sürekli olarak operatörün üretilen kumaşı gözle takip etmesinin zor olması, yapılan kontrolün yetersiz olmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu olumsuz durum iş kaybına ve ekonomik zarara neden olmaktadır. Gece gündüz üretimin devam ettiği isletmelerde dokuma makineleri için alanında uzman kalite kontrol elemanı bulmak ve istihdam etmek sektörün hem giderleri hem de rekabet gücü açısından oldukça zor bir süreçtir.[6] İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra seri üretimin daha da yaygınlaşması pazarlar ve tüketici isteklerini de değiştirmiştir. Globalleşme ile birlikte ekonomik sınırların ortadan kalkması tüm dünyada sadece bir tek pazarın oluşmasına sebep olmuştur. Pazar büyümemekte ancak her geçen gün yeni üreticiler pazara dâhil olmaktadır. Bu da beraberinde acımasız rekabeti getirmiştir. Önceleri rekabet sadece fiyat odaklı iken artık günümüzde tüketicilerin "kaliteli ürünü" ucuza almak istemeleri kaliteyi de önemli hale getirmiştir. Acımasız rekabetin yanında artık kalite savaşları da yaşanmaktadır. Bu tür zorluklar ele alındığında çuval evrişimsel sinir ağları kullanılarak kalite kontrol modeli geliştirmeye ihtiyaç duyulmuştur.

Atkı ve çözgü ipliklerinin dik açı ve dokuma teknikleri ile bir düzen içerisinde birleştirilerek dokuma tezgahlarında kumaş yüzeyi meydana getirilmektedir. Atkı hataları, çözgü hataları, düğüm hataları, tasarım hataları, kirlilik hataları, kırışıklık hataları, baskı hataları genel anlamda en çok görülen hata türleridir. [7] Bu hata türlerinin belirlenilmesi, veri toplama, veri setinin oluşturulması hata türlerinin sınıflandırılmasında kolaylık sağlamıştır. Bu tür zorluklar ele alındığında çuval evrişimsel sinir ağları kullanılarak kalite kontrol modeli geliştirmeye ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışma, kumaş üretiminde en yaygın karşılaşılan hata türlerini tanımlamak için önceden eğitilmiş Densenet121, Densenet169 ve Densenet201 modelleri kullanılarak geliştirilmiştir. Üç farklı temel model üzerinde yapılan analizler, 10., 20. ve 40. iterasyonlarda elde edilen sonuçları içermektedir.

1.Metod Yöntem

Derin Evrişimsel Sinir Ağları (CNN'ler), görüntü işleme ve desen tanıma gibi alanlarda büyük başarı elde etmiş bir yapay zekâ modelidir. CNN'ler, çok katmanlı yapıları ve özellikle görüntü verileriyle çalışmak için optimize edilmiş evrişim ve havuzlama katmanları içerir. Bu katmanlar, verilerden özellikleri çıkarmak ve daha sonra sınıflandırma veya regresyon görevleri için kullanmak için tasarlanmıştır. Kumaş üretiminde, kalite kontrol için geleneksel yöntemler genellikle insan gözüne dayanır ve bu süreç zaman alıcı ve hatalara açıktır. Bu sorunların üstesinden gelmek ve kalite kontrol süreçlerini optimize etmek için CNN tabanlı bir model geliştirme ihtiyacı duyulmuştur. Çalışma kapsamında hatalı kumaşların kategorize edilmesinde





kullanılan Keras tabanlı CNN ön eğitimli mimarilerinin özellikleri bu bölümde tartışılmaktadır.[8] Tüm operasyon dört temel bölüme ayrılmıştır. Veri hazırlama, veri eğitimi, veri sınıflandırma ve veri değerlendirmesi ilgili aşamalardır.



Şekil 1. Evrişimsel sinir ağı modeli

1.1.Veri Setinin Hazırlanması

Bu çalışma için kullanılan veri kümesi, kumaş görüntülerin iki sınıfa ayrıldığı özel bir ikili sınıflandırma görevini ele almak üzere toplanmıştır.[9]Veri kümesi, gerçek kumaş görüntü verilerini içerir ve eğitim, doğrulama ve test bölümlerine ayrılmıştır. Eğitim veri seti, modelin öğrenme sürecini desteklemek için kullanılmıştır. Doğrulama veri seti, modelin performansını izlemek ve aşırı uyumu kontrol etmek için kullanılmıştır. Test veri seti, modelin nihai performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.[10]

1.2. Model Mimarisi

Bu çalışma için kullanılan model, önceden eğitilmiş DenseNet121, DenseNet169, DenseNet201 mimarisi temel alınarak inşa edilmiştir. DenseNet121,DenseNet169, DenseNet201, ImageNet veri kümesi üzerinde geniş bir eğitim almış ve nesne tanıma görevlerinde yüksek başarı elde etmiş derin sinir ağı modelleridir. Bu temel modelin üzerine, özel olarak tasarlanmış yoğun katmanlar eklenmiştir. Bu katmanlar, veriyi daha iyi temsil etmesine yardımcı olmakta ve sınıflandırma görevini gerçekleştirmektedir.[11]

1.3.Verilerin Eğitimi

Evrişimsel sinir ağlarının oluşturulması veri kümesi üzerinde gerçekleştirildi. Bu çalışmadaki modeller, kategorik çapraz entropi kayıp fonksiyonu ve Adam optimizasyonu kullanılarak derlendi. Modeller, 32'lık bir grup boyutuyla 40 döngü (epoch) boyunca "fit_generator" işlevi kullanılarak eğitildi.[12] Aşırı uyumlanmayı önlemek için sabır seviyesi 5 döngü (epoch) olarak ayarlanmış olan erken durdurma uygulandı.[13] Ayrıca, daha verimli derin sinir ağı modelleri oluşturmak için evrişimsel sinir ağı mimarilerine daha fazla veri sağlamak için görüntü artırma yöntemi kullanıldı [14]. Görüntü artırma yaklaşımında, iki rastsal olmayan prosedür kullanıldı: yeniden ölçeklendirme, piksel değerlerini 0 ile 1 aralığında ölçeklemek için 255'e bölmeyi içeren bir işlem ve doldurma modu, resim değiştirildikten sonra oluşan yeni bölgelerdeki pikselleri doldurmayı içeriyordu. Ayrıca, kaydırma, yakınlaştırma, yatay ve dikey çevirme, genişlik ve yükseklik kaydırma ve parlaklık gibi rastgele işlemler de kullanıldı. Bu çalışmada kullanılan görüntü boyutuna bağlı olarak CNN mimarilerinin seçimi yapıldı. Evrişimsel sinir ağı modelleri, görevleri başarıyla eğitmek için büyük miktarda veri gerektirir. Bu nedenle,





model performansını ve eğitim süresini artırmak için önceden eğitilmiş modellerin kaynağı olarak ImageNet kullanıldı. ImageNet, 20.000'den fazla kategori içeren bir veri kümesi olarak, model performansını ve eğitim süresini artırmak için kullanıldı.[15]

1.4.Modelin Geliştirilmesi

HASAN KALMONCU 415" ----

Eğitilmiş modelin performansını değerlendirmek için, eğitim veya doğrulama için kullanılmayan bağımsız bir test kümesi kullanılmıştır. Test kümesi, eğitim kümesinde kullanılan veri artırma teknikleri ile aynı teknikler kullanılarak genişletilmiştir. Eğitilmiş model, test kümesini tahmin etmek ve doğruluk, hassasiyet, duyarlılık, F1 skoru, AUC (eğri altı alan) gibi değerlendirme ölçütlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Hassasiyet, duyarlılık ve F1 skoru değerleri karışıklık matrislerinden hesaplanmıştır.[16]

2.BULGULAR

Bu çalışmada kumaş üretiminde en sık karşılaşılan hata türlerinin tespitine yönelik elde edilen model daha önceden eğitilmiş olan Densenet121,Densenet169 ve Densenet201 temel alınalarak inşa edilmiştir. 3 farklı temelde incelenen sonuçlarda 10. iterasyon 20. iterasyon ve 40. iterasyonlarda sonuçlar elde edilmiştir.[17]

2.1 Densenet 121 Temelli Bulgular



Şekil 2. Model doğruluk grafiği

Şekil 2'deki grafik incelendiğinde 10. iterasyonda model, eğitim verileri üzerinde yaklaşık %89.55 doğruluk elde etmektedir. Doğrulama verileri için başlangıçta yüksek bir doğruluk seviyesi (%93.41) vardır, ancak zaman içinde dalgalanmalar göstermektedir. Bu durumda, modelin eğitim verilerine iyi uymasını, doğrulama verileri üzerinde daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. 20. iterasyonda, model, eğitim verileri üzerinde yaklaşık %88.56 doğruluk elde etmektedir. Doğrulama verileri için doğruluk hızla artmakta ve yaklaşık %95.60'a ulaşmaktadır. Bu iterasyon, modelin eğitim verilerini hızla öğrendiğini ve iyi bir şekilde genelleme yaptığını göstermektedir. doğrulama verileri için doğruluk hızla artmakta ve yaklaşık %95.60'a ulaşmaktadır. Bu iterasyon, daha uzun süre eğitim yapmanın model için faydalı olduğunu ve daha iyi genelleme yeteneği sağladığını göstermektedir.[18]



Şekil 3'teki grafik incelendiğinde 10. İterasyonda, model eğitim verileri üzerinde başlangıçta yüksek bir kayıp (loss) değeri (5.54) gösterir, ancak zaman içinde düştüğü görülmüştür. Doğrulama verileri için kayıp, başlangıçta yüksektir. Bu iterasyon, modelin eğitim verileri üzerinde iyileşme sağladığını, ancak daha fazla iterasyonun doğrulama verileri üzerinde daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.20. İterasyon model, eğitim verileri üzerinde kayıp değeri göstermektedir ve zaman içinde daha düşük bir da azaldığı görülmüştür.Doğrulama verileri için kayıp hızla azalmakta ve modelin genelleme yeteneği artmaktadır.Bu iterasyon, modelin hızla öğrenme yeteneğini ve daha iyi bir şekilde genelleme yapmaya başladığını göstermektedir.40. İterasyon model, eğitim verileri üzerinde çok düşük bir kayıp değeri (0.32) göstermekte ve daha da azalmaktadır. Doğrulama verileri için kayıp çok düsüktür (0.20) ve hızla azalmaktadır. Bu iterasyon, modelin hem eğitim verilerine hem de doğrulama verilerine çok iyi uyum sağladığını göstermektedir. Sonuç olarak, 40. iterasyonun sonuçları modelin daha düşük kayıp ve daha yüksek doğruluk elde ettiğini, bu nedenle daha uzun süre eğitim yapmanın model için daha iyi olduğunu göstermektedir.[19]



Şekil 4. 10-20-40. iterasyonlardaki karmaşıklık matrisi

Modelin Hatalı sınıfı tanıma yeteneği oldukça yüksektir. 50 gerçek Hatalı örneğin 48'i doğru bir şekilde tanımlamaktadır. Bu durum, Hatalı sınıfının hassasiyetinin ve duyarlılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Şahit sınıfı için model, daha dengeli bir performans sergilemektedir. 50 gerçek Şahit örneğin 36'sı doğru bir şekilde tanımlamaktadır. Ancak, bu sınıfın duyarlılığı biraz daha düşüktür. Karmaşıklık matrisi ve sınıflandırma raporu, her iki sınıf için modelin performansını daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirmemize yardımcı olmaktadır.[20]Hatalı sınıfında daha fazla yanlış sınıflandırma olduğunu ve bu alanda iyileştirmeler yapılması gerektiğini belirtir. Sonuç olarak, modelin temel olarak iyi bir performans sergilediği söylenebilmektedir, ancak Hatalı sınıfının tanınmasını daha da iyileştirmek için çalışmalar

yapılabilir. Modelin güvenilirliği, özellikle Şahit sınıfında da kabul edilebilir bir seviyededir.[21]

13-16 NOVEMBER, 2023

2.2.Densenet 169 Temelli Bulgular

HASAN KALMONCU 415" ----



Şekil 5. Model doğruluk grafiği

10. iterasyon, eğitim doğruluğunda zaman içinde istikrarlı bir artış göstermektedir ve sonunda yaklaşık %92 doğruluk elde edilmektedir. Ancak doğrulama doğruluğu, yaklaşık %87'de dalgalanmaktadır. Bu durum, modelin eğitim verilerine oldukça iyi uyum sağladığını, ancak doğrulama verileri üzerinde daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.20.1terasyon eğitim ve doğrulama doğruluğunda hızlı bir artış göstermektedir ve yaklaşık %95 doğrulukla sonuçlanmaktadır. Bu durum, modelin eğitim verilerini hızla öğrendiğini ve iyi bir şekilde genelleme yaptığını göstermektedir.40.1terasyon sonuçlarına bakıldığında, diğer sonuçlara göre daha yüksek eğitim ve doğrulama doğruluğuna sahiptir. Eğitim doğruluğu yaklaşık %95'ten başlayıp %98'e kadar artar, bu da modelin verilere çok iyi uyum sağladığını göstermektedir. Model doğruluğu ise yaklaşık %94 ile %99 arasında dalgalanmalar göstermektedir.[22]



Şekil 6. Model kayıp grafiği

10.1terasyonda, eğitim kaybında sürekli bir azalma görülmektedir ve sonunda yaklaşık 0.35 kayba ulaşıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, doğrulama kaybı, eğitimden daha fazla dalgalanma göstermekte ve sonunda yaklaşık 1.16 kayıp oluğu görülmektedir. Bu durum, modelin eğitim verilerine daha iyi uyum sağladığını, ancak doğrulama verileri üzerinde daha



HASAN KALNONCU 415"





fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu göstermektedir. 20. iterasyonda, eğitim ve doğrulama kavbında azalma görülmektedir. Eğitim kaybı sonunda yaklaşık 0.14'e düşerken, doğrulama kaybı yaklasık 0.25'te dalgalandığı görülmektedir. Bu durum, modelin eğitim verilerini iyi öğrendiğini ve doğrulama verileri üzerinde de ivi performans sergilediği görülmektedir.40.1terasyonda, eğitim ve doğrulama kaybında sürekli bir azalma görülmektedir. Eğitim kaybı yaklasık 0.13'e düserken, doğrulama kaybı yaklasık 0.20'de dalgalandığı gözlemlenmiştir. Bu durum, modelin verilere çok iyi uyum sağladığını ve iyi bir şekilde genelleme yaptığını göstermektedir.[23] Genel olarak, sonuçlar modelin iyi bir şekilde eğitildiğini ve verilere genellikle iyi genelleme yaptığını göstermektedir. 40.1terasyonda gözlemlenen sonuçlar, en yüksek doğruluk ve en düşük kayıpları elde ederken, 10.1terasyonda gözlemlenen sonuclar daha fazla calısmaya ihtiyac duyulduğu görülmektedir.



Şekil 7. 10-20-40. iterasyonlardaki karmaşıklık matrisi

Şekil 9'da belirtilen matrislerde, sol üst kısmında bulunan sayılar, her iterasyon için "Hatalı" sınıfını doğru bir şekilde tanıyanların sayısını temsil ederken, sağ üst kısımdaki sayılar, "Sahit" sınıfını "Hatalı" olarak yanlış bir şekilde sınıflandıranların sayısını temsil etmektedir. Sol alt köşedeki sayılar, "Hatalı" sınıfını "Sahit" olarak yanlış bir şekilde sınıflandıranların sayısını ve sağ alt köşedeki sayılar ise "Sahit" sınıfını doğru bir şekilde tanıyanların sayısını göstermektedir. İterasyon sayısı arttıkça, modelin performansının genellikle arttığını gözlemlenmektedir. Özellikle 40. iterasyonda modelin performansı oldukça yüksek ve karmasıklık matrisindeki hatalı sınıflandırmalar minimum seviyeye inmis olduğu görülmektedir. Doğru Pozitifler (True Positives): Her üç iterasyonda da yüksek ve benzer düzeydedir. Bu, modelin "Sahit" sınıfını doğru bir şekilde tanıma yeteneğinin istikrarlı olduğunu göstermektedir. Yanlış Pozitifler (False Positives): İterasyonlar arasında azalma eğilimindedir. Bu, modelin "Hatalı" sınıfını yanlışlıkla "Sahit" olarak sınıflandırma hatalarının azaldığını göstermektedir. Doğru Negatifler (True Negatives): İterasyonlar arasında artar. Bu, modelin "Hatalı" sınıfını doğru bir şekilde tanıma yeteneğinin arttığını göstermektedir. Yanlış Negatifler (False Negatives): Her üç iterasyonda da düşüktür ve azalma eğilimindedir. Bu, modelin "Sahit" sınıfını yanlışlıkla "Hatalı" olarak sınıflandırma hatalarının azaldığını göstermektedir. Sonuç olarak, modelin iterasyonlar ilerledikçe daha iyi bir performans gösterdiği ve hatalı sınıflandırmaları azalttığı görülmektedir.[24]

RADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY SMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTE

13-16 NOVEMBER, 2023



2.3.Densenet 201 Temelli Bulgular

HASAN KALMONCU 415"



Şekil 8. Model doğruluk değerleri grafiği

Her iterasyon için eğitim doğrulukları noktalarla temsil edilmektedir. Eğitim ve doğrulama doğrulukları, iterasyon sayısına göre grafiklenmiştir.10 iterasyonda, eğitim doğruluğu artarken doğrulama doğruluğu dalgalanmalar göstermektedir. 20 iterasyonda, eğitim ve doğrulama doğrulukları hızla artmaktadır. 40 iterasyonda, eğitim doğruluğu yüksektir ve doğrulama doğruluğu daha istikrarlıdır.[25]



Şekil 9. Model kayıp değerleri grafiği

Eğitim ve doğrulama kayıpları, epoch (iterasyon) sayısına göre grafiklenmiştir. 10 iterasyonda, eğitim kaybı yavaşça düşmekte ve doğrulama kaybı yavaşça artmaktadır. 20 iterasyonda, eğitim ve doğrulama kayıpları hızla düşmektedir. 40 iterasyonda, eğitim ve doğrulama kayıpları daha da düşmektedir. Şekil 11'de modelin eğitim ve doğrulama performansını göstermektedir. İterasyon sayısı arttıkça model daha iyi eğitilmiş gibi görünmektedir, ancak 10 iterasyonda doğrulama verileri üzerinde daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır, 20 ve 40 iterasyonda ise daha yüksek bir doğruluk seviyesi elde edilmiştir. [26]



Şekil 12. 10-20-40. iterasyonlardaki karmaşıklık matrisi

10. İterasyonda "Hatalı" sınıfına ait tahmin edilen değerlerin (50) hepsi doğru çıkmıştır, yani bu sınıf için 50 örnek doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. "Şahit" sınıfına ait tahmin edilen değerlerin (43) hepsi doğru çıkmıştır, yani bu sınıf için 43 örnek doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. "Hatalı" sınıfına ait gerçek değerler (50) ile tahmin edilen değerler (50) karşılaştırıldığında, bu sınıf için doğruluk yüzdesi %100'dür."Şahit" sınıfına ait gerçek değerler (50) ile tahmin edilen değerler (43) karşılaştırıldığında, bu sınıf için doğruluk yüzdesi %86'dır.Toplam doğru sınıflandırılmış örnek sayısı 50 (Hatalı) + 43 (Şahit) = 93'tür. 20. iterasyonda "Hatalı" sınıfına ait tahmin edilen değerlerin (50) hepsi doğru çıkmıştır, yani bu sınıf için 50 örnek doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. "Şahit" sınıfına ait tahmin edilen değerlerin (49) 1 yanlış tahmin içermektedir. "Hatalı" sınıfına ait gerçek değerler (50) ile tahmin edilen değerler (50) karşılaştırıldığında, bu sınıf için doğruluk yüzdesi %100'dür. "Şahit" sınıfına ait gerçek değerler (50) ile tahmin edilen değerler (49) karşılaştırıldığında, bu sınıf için doğruluk yüzdesi %98'dir. Toplam doğru sınıflandırılmış örnek sayısı 50 (Hatalı) + 49 (Şahit) = 99'dur. 40.iterasyonda "Hatalı" sınıfına ait tahmin edilen değerlerin (47) 3 yanlış tahmin içerir. "Sahit" sınıfına ait tahmin edilen değerlerin (49) 1 yanlış tahmin içerir. "Hatalı" sınıfına ait gerçek değerler (50) ile tahmin edilen değerler (47) karşılaştırıldığında, bu sınıf için doğruluk yüzdesi %94'tür. "Şahit" sınıfına ait gerçek değerler (50) ile tahmin edilen değerler (49) karşılaştırıldığında, bu sınıf için doğruluk yüzdesi %98'dir.Toplam doğru sınıflandırılmış örnek sayısı 47 (Hatalı) + 49 (Şahit) = 96'dır.[25] Karmaşıklık matrisleri, her iterasyonun sınıflandırma performansını ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. Modelin doğru tahminlerini, tahminlerini ve sınıflara özgü doğruluk yüzdelerini değerlendirmek vanlıs icin kullanılmaktadır. İterasyonlar ilerledikçe modelin performansının arttığı ve daha az hata yaptığı gözlemlenmektedir.[27]

Model	Iterasyon	Hassasiyet (Precision)	Duyarlılık (Recall)	F1 Skoru	Doğruluk (Accuracy)	AUC Skoru
Densenet 121	10	0.77	0.96	0.86	0.84	0.9624
Densenet 121	20	0.90	0.92	0.91	0.91	0.9596
Densenet 121	40	0.86	0.96	0.91	0.90	0.9784
Densenet 169	10	0.88	1.00	0.93	0.93	0.9904
Densenet 169	20	0.92	0.98	0.95	0.95	0.9892
Densenet 169	40	0.92	0.96	0.94	0.94	0.9892
Densenet 201	10	0.88	1.00	0.93	0.93	0.9992
Densenet 201	20	0.98	0.98	0.99	0.99	0.9976
Densenet 201	40	0.98	0.94	0.96	0.96	0.9932

Tablo 1 Sınıflandırma rapor tablosu.



Tablo 1'e bakıldığında, Densenet 121, Densenet 169 ve Densenet 201 olmak üzere üç farklı Densenet modelinin performansını sunmaktadır.[28] Her bir model, farklı iterasyonlar (epoch sayıları) boyunca değerlendirilmiştir. Bir modelin farklı iterasyonlarında (10, 20 ve 40 epoch) elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Genel olarak, daha fazla iterasyon (epoch) sayısı, modelin performansını artırma eğilimindedir. Bu, modelin daha fazla öğrenme fırsatına sahip olduğu anlamına gelmektedir. Hassasiyet, bir modelin pozitif olarak tahmin ettiği örneklerin ne kadarının gerçekten pozitif olduğunu göstermektedir. Özellikle Densenet 201 modeli, yüksek hassasiyet değerleri (0.98) ile dikkat çekmektedir.[29] Duyarlılık, gerçek pozitif örneklerin ne kadarının doğru bir şekilde tespit edildiğini gösterir. Densenet 169, 10. İterasyonda mükemmel duyarlılık (1.00) gösterirken, diğer modellerde de yüksek duyarlılık değerleri bulunmaktadır. F1 skoru, hassasiyet ve duyarlılık arasındaki dengeyi gösteren bir metriktir.[30] Yüksek F1 skoru, modelin hem pozitif tahminlerini hem de gerçek pozitifleri etkili bir şekilde yapabildiğini göstermektedir. Doğruluk, modelin tüm tahminlerinin ne kadarının doğru olduğunu gösterir. Tüm modeller, yüksek doğruluk değerlerine sahiptir (0.90 ve üzeri). AUC skoru, sınıflandırma modelinin sınıflar arası ayrım yeteneğini değerlendiren önemli bir metriktir. Tüm modeller, yüksek AUC skorlarına sahiptir.[31]

Sonuç olarak, bu modellerin sınıflandırma görevinde yüksek performans sergilediği ve metrik değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.[32]

3. Sonuç

Bu çalışma, Derin Evrişimsel Sinir Ağları gibi yapay zeka modellerinin, özellikle görüntü işleme ve desen tanıma alanlarında büyük başarılar elde ettiği bir dönemde gerçekleştirilmiştir. Derin Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks veya CNN'ler), çok katmanlı yapılara sahip ve özellikle görüntü verileriyle çalışmak üzere tasarlanmış evrişim ve havuzlama katmanları içeren derin öğrenme modelleridir. Bu katmanlar, girdi verilerinden önemli özellikleri çıkarmak ve ardından sınıflandırma veya regresyon gibi görevler için kullanmak amacıyla geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerle kalite kontrol işlemleri, insan gözlemlerine davandığı icin zaman alıcı ve hata vapma eğilimlidir. Bu nedenle, üretim tesislerinde kalite kontrol süreçlerini optimize etmek ve hataları azaltmak için otomatikleştirilmiş yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, bu bağlamda Derin Evrişimsel Sinir Ağı tabanlı bir model geliştirme hedef edinilmiştir ve özellikle hatalı kumaşların sınıflandırılması görevini ele almaktadır. Calısmanın temel asamaları, veri hazırlama, veri eğitimi, veri sınıflandırma ve veri değerlendirmesi olarak dört ana bölüme ayrılmıştır. İlk olarak, çalışma için kullanılan veri kümesi, kumaş görüntülerini içermekte olup iki ayrı sınıfa ayrılmıştır: sağlam ve hatalı. Bu veri kümesi daha sonra eğitim, doğrulama ve test veri bölümlerine ayrılmıştır. Eğitim veri seti, modelin öğrenme sürecini desteklemek amacıyla kullanılırken, doğrulama veri seti modelin performansını izlemek ve aşırı uyumu önlemek için kullanılmıştır. Test veri seti ise modelin nihai performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Modelin mimarisi, önceden eğitilmiş DenseNet mimarileri (DenseNet121, DenseNet169, DenseNet201) temel alınarak inşa edilmistir. Bu temel modeller, "ImageNet" veri kümesi üzerinde genis bir eğitim almış ve nesne tanıma görevlerinde yüksek başarı elde etmiş derin sinir ağı modelleridir. Bu temel modele özel olarak tasarlanmış yoğun katmanlar eklenmiştir. Bu katmanlar, veriyi daha iyi temsil etmeye yardımcı olmakta ve sınıflandırma görevini gerçekleştirmektedir. Verilerin eğitimi aşamasında, evrişimsel sinir ağı modelleri veri kümesi üzerinde oluşturulmuştur. Bu modeller, kategorik çapraz entropi kayıp fonksiyonu ve Adam optimizasyonu kullanılarak derlenmiştir. Eğitim, belirli bir grup boyutu ve belli bir sayıdaki döngü (epoch) ile gerçekleştirilmiştir. Aşırı uyumu önlemek amacıyla erken durdurma (early stopping) yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, daha fazla veri sağlamak ve model performansını artırmak için görüntü artırma (image augmentation)





yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, resimleri rastgele işlemlere tabi tutarak daha fazla çeşitlilik sağlamıştır. Eğitilmiş modelin performansı bağımsız bir test kümesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu test kümesi, eğitim kümesinde kullanılan veri artırma teknikleri ile genişletilmiştir. Modelin performansı, doğruluk, hassasiyet, duyarlılık, F1 skoru, AUC gibi ölçütlere dayalı olarak değerlendirilmiştir. Bu ölçütler, karışıklık matrisleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışma, kalite kontrol süreçlerini optimize etmek ve hataları azaltmak amacıyla Derin Evrişimsel Sinir Ağı tabanlı bir model geliştirmeyi başarmıştır. Bu model, kumaş üretimi gibi endüstrilerde kalite kontrolünü otomatikleştirmek için potansiyel bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, çalışma, derin öğrenme ve görüntü işleme alanlarında önemli bir ilerlemeyi yansıtmaktadır ve gelecekte benzer uygulamalar için temel teşkil edebilmektedir.

Bu çalışma, derin öğrenme topluluğuna, Derin Evrişimsel Sinir Ağı tabanlı modellerin endüstriyel uygulamalarında nasıl kullanılabileceği konusunda önemli bir katkı sunmaktadır. Calışmanın sonuçları, Derin Evrişimsel Sinir Ağı tabanlı modellerin endüstriyel kalite kontrol süreçlerinde önemli bir rol oynayabileceğini vurgulamaktadır. Özellikle, bu modeller hatalı kumaşların hızlı ve doğru bir şekilde sınıflandırılmasına yardımcı olabilmektedir. Bu, kumaş üretimi gibi endüstrilerde ürün kalitesini artırmak ve israfları önlemek için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Ayrıca, bu çalışma, derin öğrenme alanında önemli bir ilerleme kavdedildiğini göstermektedir. Özellikle Derin Evrişimsel Sinir Ağı temelli modeller, görüntü işleme ve desen tanıma gibi görevlerde üstün performans sergilemektedir. Bu, yapay zeka ve derin öğrenme alanlarında yeni olanaklar sunmaktadır. Gelecekte, benzer uygulamalar için daha fazla araştırma ve geliştirme yapılabilmektedir. Modelin daha geniş bir veri kümesi üzerinde eğitilmesi ve farklı endüstrilerdeki kalite kontrol süreçlerinde kullanılması mümkündür. Modelin daha fazla veri artırma teknikleri ile iyileştirilmesi ve daha hassas sonuçlar elde etmek için farklı hiper parametre ayarlarının incelenmesi de potansiyel araştırma alanlarıdır. Yapılan bu çalışma, sadece endüstriyel uygulamalarda değil, aynı zamanda bilimsel araştırmalarda da önemli bir rol oynayabilmektedir. Örneğin, malzeme bilimi alanında, kumaşların kalitesini ve özelliklerini değerlendirmek için bu tür görüntü işleme yöntemlerinin kullanılması, yeni malzemelerin tasarımı ve üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu durum, yapılan çalışmanın sadece endüstriyel değil, aynı zamanda bilimsel topluluğa da katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, çalışmanın gelecekteki araştırmacılara ve mühendislere ilham kaynağı olabileceğini vurgulamak gerekmektedir. Derin öğrenme ve görüntü işleme alanındaki bu tür uygulamalar, gelecekteki projeler için bir temel kaynak oluşturabilmektedir ve bu alandaki potansiyeli daha da genişletebilme imkânı sunmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, yapay zeka ve derin öğrenme tekniklerinin endüstriyel uygulamalarda nasıl kullanılabileceğini gösteren önemli bir örnek sunmaktadır. Derin Evrişimsel Sinir Ağı tabanlı modeller, kalite kontrol süreçlerini otomatikleştirmek ve daha verimli hale getirmek için güçlü bir araç olabilir. Gelecekteki araştırmaların, bu modellerin daha geniş bir yelpazede uygulanabilirliğini ve etkinliğini artırma potansiyeline odaklanması beklenilmektedir.

Referanslar

- 1. TSE. 2005. Dokunmuş Kumaşlar Hata Tarifleri Terimler, TSE, Ankara, Türkiye, TS 471 ISO 8498.
- 2. Gergın, Z., Özkan, C., Ayan, B., Kalite kontrol faaliyetlerinde uygun kabul örneklemesi planı kullanımı: bir tekstil işletmesinde inceleme.
- Lindley, D. V. (1999). Introduction to the practice of statistics, by David S. Moore and George P. McCabe. Pp. 825 (with appendices and CD-ROM).£ 27.95. 1999. ISBN 0 7167 3502 4 (WH Freeman). The Mathematical Gazette, 83(497), 374-375.



- 4. Hanbay, K., & Talu, M. (2014). Kumaş hatalarının online/offline tespit sistemleri ve yöntemleri. Sakarya University Journal of Science, 18(1), 49-69.
- 5. Rahimunnisa, K. (2022). Textile Fabric Defect Detection. Journal of Innovative Image Processing, 4(3), 165-172.
- 6. Zhu, Z., Han, G., Jia, G., & Shu, L. (2020). Modified densenet for automatic fabric defect detection with edge computing for minimizing latency. IEEE Internet of Things Journal, 7(10), 9623-9636.
- 7. BARIŞ, Berkay; ÖZEK, H. Ziya. Dokuma Kumaş Hatalarının Sistematik Sınıflandırılması Üzerine Bir Çalışma. Tekstil ve Mühendis, 2019, 26.114: 156-167.
- 8. ŞEKER, Abdulkadir; DIRI, Banu; BALIK, Hasan Hüseyin. Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2017, 3.3: 47-64.
- 9. BÜYÜKKABASAKAL, Kemal. Kumaş dokuma hatalarının tespiti ve sınıflandırılması. İzmir, Ege Üniversitesi, 2010.
- 10. GARCÍA, Salvador; LUENGO, Julián; HERRERA, Francisco. Data preprocessing in data mining. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2015.
- 11. WANG, Shui-Hua; ZHANG, Yu-Dong. DenseNet-201-based deep neural network with composite learning factor and precomputation for multiple sclerosis classification. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM), 2020, 16.2s: 1-19.
- 12. Géron, A. (2022). Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. " O'Reilly Media, Inc.".
- 13. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT press.
- 14. SHORTEN, Connor; KHOSHGOFTAAR, Taghi M.; FURHT, Borko. Text data augmentation for deep learning. Journal of big Data, 2021, 8: 1-34.
- 15. RUSSAKOVSKY, Olga, et al. Imagenet large scale visual recognition challenge. International journal of computer vision, 2015, 115: 211-252.
- 16. Evaluation of Deep Learning Algorithms for Image Classification
- 17. WANG, Chuang, et al. Textile defect detection and classification based on deep convolution neural network. In: Developments of Artificial Intelligence Technologies in Computation and Robotics: Proceedings of the 14th International FLINS Conference (FLINS 2020). 2020. p. 1094-1101.
- 18. Géron, A. (2022). Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. " O'Reilly
- 19. Charu, C. A. (2018). Neural networks and deep learning: a textbook. Spinger.
- 20. Bishop, C. M., & Nasrabadi, N. M. (2006). Pattern recognition and machine learning (Vol. 4, No. 4, p. 738). New York: springer.
- 21. Lakshmanan, V., Görner, M., & Gillard, R. (2021). Practical machine learning for computer vision. " O'Reilly Media, Inc.".
- 22. Raschka, S., & Mirjalili, V. (2019). Python machine learning: Machine learning and deep learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow 2. Packt Publishing Ltd.
- 23. Hassaballah, M., & Awad, A. I. (Eds.). (2020). Deep learning in computer vision: principles and applications. CRC Press.
- 24. Krstinić, D., Braović, M., Šerić, L., & Božić-Štulić, D. (2020). Multi-label classifier performance evaluation with confusion matrix. Computer Science & Information Technology, 1.
- 25. Smola, A. (2008). Introduction to machine learning.
- 26. Muller, A. C., & Guido, S. (2017). Introduction to machine learning with Python. O'Reilly.

HASAN KALMONCU 415" ----



- 1. Uludag, K. (2023). Using ChatGPT to Learn Scikit-Learn Package. Available at SSRN 4468553.
- Zhang, Y., Chaganty, A. T., Paranjape, A., Chen, D., Bolton, J., Qi, P., & Manning, C. D. (2016). Stanford at TAC KBP 2016: Sealing Pipeline Leaks and Understanding Chinese. In TAC.
- Klaß, A., Lorenz, S. M., Lauer-Schmaltz, M. W., Rügamer, D., Bischl, B., Mutschler, C., & Ott, F. (2022). Uncertainty-aware evaluation of time-series classification for online handwriting recognition with domain shift. arXiv preprint arXiv:2206.08640.
- 4. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H., & Friedman, J. H. (2009). The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction (Vol. 2, pp. 1-758). New York: springer.
- Carrington, A. M., Manuel, D. G., Fieguth, P. W., Ramsay, T., Osmani, V., Wernly, B., ... & Holzinger, A. (2022). Deep ROC analysis and AUC as balanced average accuracy, for improved classifier selection, audit and explanation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 45(1), 329-341.
- 6. Yakoot, M. S. E., Ragab, A. M. S., & Mahmoud, O. (2021, October). Machine learning application for gas lift performance and well integrity. In SPE Europec featured at 82nd EAGE Conference and Exhibition. OnePetro.

CONTINUOUS CASTING OF Cu-Mg ALLOY ROD

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

ZAKARIA BOUMERZOUG^{1*}, PAWEL STRZEPEK², ANDRZEJ MAMALA², THIERRY BAUDIN³, FRANCOIS BRISSET³, MALGORZATA ZASADZIŃSKA², PIOTR NOGA²

¹ University of Biskra, Department of Mechanical Engineering, LMSM, ALGERIA
 ²AGH University of Krakow, Faculty of Non-Ferrous Metals, POLAND
 ³ Université Paris-Saclay, CNRS, Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay, 91405 Orsay, FRANCE
 *Corresponding author: z.boumerzoug@univ-biskra.dz

Abstract

Nowadays, different processes are used to make copper wire rod. Among these methods, there is a direct casting method which is also divided into upward vertical casting and horizontal casting.Cu-Mg alloy is one of the copper alloys produced by continuous casting which has not been widely studied and which has interesting properties such as high conductivity with good tensile strength, excellent weldability and excellent plateability. In this study, the effect of horizontal continuous casting parameters on the microstructures, mechanical properties and electrical conductivity on the Cu-Mg alloy rod was investigated.Pulling distance and pause time were gradually changed during the manufacturing of the Cu-Mg alloy rod. The evolution of the cast rod microstructure was studied by optical microscopy and scanning electron microscopy. The texture in cast copper alloy was analyzed by electron backscatter diffraction technique. The chemical composition was measured by energy dispersive spectroscopy. The mechanical properties of the cast rod were determined by hardness measurements. Electrical conductivity was measured with an eddy current conductivity meter. It has been found that the grain size and their distribution vary with the casting parameters. Columnar anf fine grains were observed in the same cast metal which gave higher hardness in fine grain areas and low electrical confuctivity.

Keyword: Horizontal casting, Cu-Mg alloy, Microstructures, Mechanical Properties, Electrical Conductivity, Grains
OPTIMIZATION OF SPECIFIC COMPRESSION STRENGTH OF ABS SAMPLES PRODUCED WITH FDM BY TAGUCHI METHOD

13-16 NOVEMBER, 2023

OĞUZ TUNÇEL^{*1}

¹Siirt University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Siirt, TÜRKİYE

Abstract

FDM can produce complex geometries and a variety of thermoplastic or composite products. It is therefore important to understand the relationship between printing parameters and the quality and mechanical properties of the parts produced. In this study, the specific compressive strength of samples produced with FDM using ABS filament was tested, and parameters were optimized using the Taguchi method. Following the "larger is better" approach, the highest specific compressive strength was achieved at 75.06 kNm/kg in sample 9, while the lowest value was recorded at 44.60 kNm/kg in sample 3. The Taguchi-based response table was utilized to assess the impacts of infill density, layer height, and printing speed on specific compressive strength, with infill density emerging as the most influential parameter. Visualizing the effects of different parameters on specific compressive strength in ABS printing samples, the optimal parameters were determined as infill density (80%), layer height (0.28 mm), and printing speed (120 mm/s). An analysis of variance (ANOVA) examined the effects of experimental parameters on specific compressive strength, highlighting infill density (94.60%) as the most impactful parameter, followed by printing speed (3.28%), while layer height had a minor effect (1.29%). The error rate was notably low at 0.83%, confirming result reliability. Through validation experiments, a specific compressive strength value of 76.25 kNm/kg was measured, demonstrating a 1.34% improvement compared to the initial value of 75.26 kNm/kg obtained before optimization. A linear regression analysis yielded an R² value of 98.33%, indicating a strong correlation between predicted values and experimental results. These findings underscore the effectiveness of Taguchi optimization and regression analysis in enhancing specific compressive strength. This study successfully presents the optimization of specific compressive strength for ABS samples manufactured using FDM technology.

Keywords: FDM, ABS, Compression Strength, Taguchi, ANOVA

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415" SHI

Additive manufacturing technology, which offers advantages such as shorter production times and lower costs compared to traditional manufacturing processes in the production of complex shapes, is rapidly evolving and being used in various manufacturing sectors such as aviation, automotive, and bioengineering. With additive manufacturing, part production is based on the principle of creating a physical component by stacking two-dimensional data, which is divided into cross-sections, that is designed in a CAD environment [1][2][3].

HASAN KALNONCU 415"



In the field of manufacturing technology, 3D printing has seen rapid advancements in the past decade. Among 3D printer models, the Fused Deposition Modeling (FDM) method is more widely utilized compared to other 3D printing models due to its advantages of fast printing times, a wide range of cost-effective materials, and the high strength and durability of these materials. With FDM, printing parameters such as printing speed, layer thickness, layer height, nozzle diameter, infill density, infill pattern, printing temperature, printing orientation, support structures, and others can be adjusted throughout the production process [4][5][6].

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) stands out as a favored homopolymer FDM material due to its attributes, including resistance to chemicals, stability under heat, toughness, impact resistance, hardness, and ease of processing. ABS is known for its outstanding resistance to impacts and high mechanical strength, making it exceptionally well-suited for demanding consumer product applications. Moreover, ABS offers excellent dimensional stability and electrical insulating properties. While standard ABS grades can be adequate for certain outdoor uses, extended exposure to sunlight can result in color fading and a reduction in surface gloss, impact resistance, and flexibility. Notably, properties like tensile strength, flexural strength, hardness, and elastic modulus are less susceptible to such effects. Molded ABS items serve a dual purpose, finding applications in both protective and ornamental contexts. Examples encompass safety headgear, camper roofs, automotive instrumentation, assorted interior components, pipe connectors, household security devices, small domestic appliances, as well as casings for communication equipment and industrial machinery [7][8].

Different studies examining the effect of production parameters on the mechanical properties of parts produced with 3D printers are available in the literature. Some of these studies are given below. In their study, Gao et al. [9] conducted experiments to assess the impact of various FDM process parameters on mechanical properties in PLA-ABS bi-layered composites. They found that infill density had the most significant influence, while bed temperature had the least impact. Optimized settings for improved tensile strength were identified as 75% infill density, 30 layers, a printing speed of 20 mm/sec, and a bed temperature of 100°C. The study also analyzed parameters like percent elongation, printing time, and strength-to-weight ratio, providing valuable insights into FDM optimization. Dev and Srivastava [10] conducted empirical research, optimizing FDM process parameters for intelligent structural applications. They explored bio-inspired infill patterns, analyzing layer thickness, build orientation, and infill density effects on material use and compressive strength. Using Taguchi and NSGA-II methods, they found Pareto-optimal solutions. Notably, an 80% gyroid pattern, 0.2 mm thickness, and 90-degree build provided robust strength akin to ABS, reducing material usage. This study optimizes intelligent structure design, improving strength-to-weight ratios. In their research, Sharma et al. [11] performed an empirical investigation aimed at the optimization of process variables within the realm of FDM for the production of ABS components. Their study delved into the effects of three crucial process variables, namely layer thickness, infill percentage, and print speed, on both tensile and compressive strength. Employing the DOE methodology, they systematically explored these variables. The outcomes of their experimentation unveiled that mechanical properties were notably influenced by alterations in layer thickness and infill percentage, while the impact of the third variable was confined to a specific range. These findings yield valuable insights into the enhancement of the structural integrity of FDM-manufactured parts. Oudah et al. [12] explored FDM in Additive Manufacturing (AM) for intricate component production. They studied how infill patterns, densities, and layer thicknesses affected ABS material's compressive strength. Employing Taguchi methods, they conducted nine experiments with a commercial FDM 3D printer following ASTM D695 standards.



Their research highlighted infill density as the key factor influencing compressive strength. Optimal parameters (0.3 mm, 75%, Gyroid) yielded the highest strength at 44.64 MPa.

The objective of this research is to identify the ideal FDM settings to achieve maximum strength in standard compression test samples manufactured using ABS material. In this study, both experimental and statistical analyses were conducted, focusing on factors like infill density, layer height, and printing speed. The Taguchi methodology was employed to minimize expenses while optimizing these parameters. Ultimately, the impact of process variables on the specific compressive strength was assessed through an analysis of variance (ANOVA), and the optimization of these parameters for the manufacturing process was carried out. By improving the understanding of how specific compressive strength can be optimized in industrial applications, this study provides valuable insights for future research and practical applications in additive manufacturing processes.

2. Material & Method

HASAN KALNONCU 415"

In this study, the specific strengths of compression specimens produced by FDM method with 3D printer with different manufacturing parameters were experimentally investigated. Compression test samples were produced utilizing the Creality Ender 3 S1 Pro 3D printer. The specimens were fabricated using Creality's ABS filament in gray color, with a diameter of 1.75 mm.

The test specimens used in the study were first designed in Solidworks 2020 CAD program in accordance with the dimensions specified in ASTM D695 (cylindrical specimen with 6.65 mm radius x 25.4 mm height) [13]. The designed sample geometry was converted to ".stl" file format and transferred to CURA 5.4.0 program. CURA 5.4.0 program is used to create the G codes required for the 3D printer. In addition, with the help of this program, different manufacturing parameters can be determined with the 3D printer.

Table 1 shows the manufacturing parameters and levels. The experimental design consists of three parameters and three levels. The parameters that were kept constant in the study were printing temperature (240 °C), build plate temperature (100 °C), infill pattern (Grid), line width (0.4 mm), wall thickness (1.6 mm), wall line count (4) and fan speed (100%).

Test Parameters	Unit	Level 1	Level 2	Level 3	Output
A- Infill Density	%	20	50	80	Succific Community
B- Layer Height	mm	0.12	0.20	0.28	Specific Compression
C- Print Speed	mm/s	40	80	120	Strength (KN*m/kg)

Table 1. Printing parameters and levels used in the study.

In this study, Minitab 20.3 statistical software program was preferred to optimize the effects of selected variable parameters on compressive strength. The Taguchi approach was also applied to analyze the effects of variable parameters on output. This technique employs an experimental design known as orthogonal array (OA) factorial design to assess the impact of factors and identify optimal combinations with a reduced number of experimental runs. The experimental design by choosing the Taguchi L9 OA is shown in Table 2.

Experiment	A-Infill Density	B-Layer Height	C-Print Speed
Number	(%)	(mm)	(mm/s)
1	20	0.12	40
2	20	0.20	80
3	20	0.28	120
4	50	0.12	80
5	50	0.20	120
6	50	0.28	40
7	80	0.12	120
8	80	0.20	40
9	80	0.28	80

13-16 NOVEMBER, 2023

In this study, specific compressive strength was chosen as the output. First of all, the masses of all samples produced using the 3D printer were measured using a precision scale. The measurements were based on the average of the three samples produced with the same parameter. Compression tests were carried out using UTEST-7014 tensile-compression tester at room temperature with a constant feed rate of 5 mm/min. Compression tests were performed in three repetitions for each parameter. Standard deviations were also calculated and taken into account. The tested specimens are shown in Figure 1.



Figure 1. Photos of tested specimens.

3. Results & Discussions

HASAN KALMONCU 415" ----

Specific compressive strengths (kN*m/kg) of the samples produced with ABS filament at different printing parameters and the related S/N values for each printing combination are given in Table 3. In order to obtain the highest specific compressive strength value, the "larger is better" approach in Equation 1 was used in optimizing the print parameters [14]. According to the test results in Table 3, the highest specific compressive strength was obtained as 75.06 kN*m/kg in the 9 coded sample. The lowest specific compressive strength is 44.60 kN*m/kg in 3 coded sample.

	Table 3. Specific	compression str	ength values	with the calculated S/N ratios	5.
No	Compression Strength (MPa)	Standard Deviation	Density (g/cm ³)	Specific Compression Strength (kN*m/kg)	S/N Ratio
1	30.0	0.59	0.61	49.05	33.81
2	28.3	0.50	0.62	46.37	33.32
3	28.0	0.23	0.63	44.60	32.99
4	41.8	0.82	0.74	56.21	35.00
5	41.5	0.32	0.74	55.50	34.89
6	46.2	0.48	0.75	61.69	35.80
7	63.1	1.58	0.92	68.54	36.72
8	67.3	1.62	0.94	71.76	37.12
9	70.0	2.22	0.93	75.06	37.51

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2

$$\frac{S}{N_{max}} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right) \tag{1}$$

Using the Taguchi-based response table, the most effective parameters such as infill density, layer height and print speed were determined for the optimal levels of specific compressive strength performance. Table 4 shows the S/N response table and the most effective parameter is infill density.

Table 4. Response table for the S/N ratios for the compression strength (Larger is better).

Level	Infill Density	Layer Height	Print Speed
1	33.37	35.18	35.58*
2	35.23	35.11	35.28
3	37.11*	35.43*	34.86
Delta	3.74	0.32	0.71
Rank	1	3	2

*Optimum level

HASAN KALMONCU 415 -

Figure 2 shows the effects of control parameters on S/N values for specific compressive strength in ABS printing samples produced with different parameters. The most suitable parameters (highest values) for the specific compressive strength (Figure 2) were the 3rd level of infill density (80%), the 3rd level of layer height (0.28 mm) and the 1st level of print speed (120 mm/s).



Figure 2. Process parameter effects on average S/N ratio for specific compression strength

Analysis of variance (ANOVA) is performed to determine the individual interactions and effects of all experimental parameters in an experimental design. Table 5 gives ANOVA results revealing the effects of infill density, layer height and print speed test parameters on specific compressive strength at 95% confidence level and 5% significance level. To determine the importance of the experimental parameters, the F values of each parameter were compared. In this study, ANOVA results revealed that the most effective parameter on specific compressive strength was infill density with an effect rate of 94.60%. Print speed was the most effective parameter after infill density with 3.28%. The layer height parameter has an effect rate of only 1.29%. In addition, the error rate is very low at 0.83%, which supports the reliability of the results. Additionally, the effects of all parameters on specific compressive strength are visualized in Figure 3.

Source	(DoF)	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Contribution (%)
Infill Density (%)	2	950.109	475.055	114.22	0.009	94.60
Layer Height (mm)	2	12.959	6.479	1.56	0.391	1.29
Print Speed (mm/s)	2	32.969	16.484	3.96	0.201	3.28
Residual Error	2	8.318	4.159			0.83
Total	8					100

Table 5. Analysis of variance (ANOVA) results for specific compression strength.



Figure 3. Effect of parameters on compression strength as a percentage.

In this experimental study using Taguchi optimization method, it is aimed to find the optimal result of specific compressive strength values. Sometimes the optimum experimental parameter can be any of the existing parameters and sometimes it can be a parameter other than the parameters. In this study, a different optimum result was found from the experiments performed. The optimum result for specific compressive strength was reached at 80% infill density, 0.28 mm layer height and 40 mm/s print speed, different from the existing experiments. In this direction, the values obtained as a result of the calculations in which the optimum conditions were estimated and the compression strength values obtained as a result of the verification experiments are shown in Table 6. The results obtained from the verification experiment reinforced the conclusion that the optimization was successful. The specific compressive strength obtained as a result of the verification tests was measured as 76.25 kN*m/kg. Thus, an improvement of 1.34% was achieved at the end of optimization compared to the specific compressive strength value (75.26 kN*m/kg) obtained in the first experiments. When the results of the verification experiment are examined, it is seen that the result obtained for the estimated print parameter is sufficient and Taguchi optimization has been successfully applied.

Table 6. Optimum results and validation experiment results.						
Optimum Level:	Predicted Value	Experimental Result				
Infill Density (80%)	(kN*m/kg)	(kN*m/kg)				
Layer Height (0.28 mm)	75 56	76.21				
Print Speed (40 mm/s)	75.50					
Prediction Error [%]		0.86				

When multiple variables are involved in the relationship between a dependent variable and one or more independent variables, regression analysis is utilized for modeling and data analysis. In this study, regression analysis was used to calculate equations for the prediction of specific compressive strength. The equation estimates were formulated as a linear model. Table 7 shows the linear equation for the specific compressive strength. The R² value obtained from the linear regression model equation is 98.33% for the specific compressive strength.

Table 7. Equations for prediction of D-Specific compression strength Specific Compression Strength (kN*m/kg)						
	R-sq= 98.33%					

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET

A comparison of the predicted values from the linear regression model with the experimental results can be seen in Figure 4. A very good correlation was found between the predicted values and the experimental results. The R^2 value in the equations performed with the linear regression model was determined as 99.2% for the specific compressive strength. The R² value was close to 100%, indicating that the regression model was successful in predicting the specific compressive strength.



Specific Copmpression Strength = - 0.000 + 1.000 Predict Specific Compression Strength

Figure 4. Linear regression model compared with experimental results for D.

4. Conclusions

HASAN KALNONCU 415" SH

The results obtained in this research on the optimization of the specific compressive strength of ABS samples produced by the FDM method using the Taguchi method are as follows.

This study was carried out to optimize the specific compressive strength of samples produced with different printing parameters using ABS filament. Using the Taguchi optimization method, it was determined that the most effective parameter was infill density (94.6%). The optimum specific compressive strength was obtained as 76.21 kN*m/kg under conditions



where the infill density was 80%, the layer height was 0.28 mm and the printing speed was 40 mm/s.

- The results of the verification experiments showed that the optimization was successful and a 1.34% improvement in specific compressive strength was achieved. Additionally, a linear model was created to predict the specific compressive strength using regression analysis and a very good agreement was found between the experimental results and the predicted values (R² = 98.33%). The high value of R² indicates that the regression model successfully predicts the specific compressive strength.
- This study shows that methods such as Taguchi optimization and regression analysis are effective in optimizing the specific compressive strength using ABS printing material. As a result, it was concluded that the specific compressive strength can be increased by carefully adjusting the 3D printing parameters and such optimization studies can be useful in industrial applications.

References

HASAN KALNONCU 415" SH

- 1. Bilgin, M. Optimization of 3D Processing Parameters Used Fdm Method in the Production Of Abs Based Samples. Int J 3D Print Technol Digit Ind, **2022**, 6:358-369.
- 2. Kuruoğlu Y, Akgün M, Demir H. Modelling and Optimization of Surface Roughness and Tensile Strength of ABS, PLA and PETG Samples Produced by FDM Method. Int J 3D Print Technol Digit Ind. **2022**,6:358–369.
- 3. Alammar A, Kois JC, Revilla-León M, et al. Additive Manufacturing Technologies: Current Status and Future Perspectives. J Prosthodont. **2022**,31:4-12.
- 4. Kamer MS, Temiz Ş, Yaykaşli H, et al. Comparison of Mechanical Properties of Tensile Test Specimens Produced with ABS and PLA Material at Different Printing Speeds in 3D Printer. J Fac Eng Archit Gazi Univ. **2022**,37:1197–1211.
- 5. Popescu D, Zapciu A, Amza C, et al. FDM Process Parameters Influence Over the Mechanical Properties of Polymer Specimens: A review. Polym Test. **2018**,69:157–166.
- 6. Solomon IJ, Sevvel P, Gunasekaran J. A Review on the Various Processing Parameters in FDM. Mater Today Proc. 2020,37:509–514.
- 7. Wankhede V, Jagetiya D, Joshi A, et al. Experimental Investigation of FDM Process Parameters Using Taguchi Analysis. Mater Today Proc. **2019**,27:2117–2120.
- Nor SMM, Sudin MN, Razali MF Bin. Application of Taguchi Method in Investigating the Effect of Layer Thickness and Fill Angle on FDM Parts. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2018;409.
- 9. Gao G, Xu F, Xu J. Parametric Optimization of FDM Process for Improving Mechanical Strengths Using Taguchi Method and Response Surface Method: A Comparative Investigation. Machines. **2022**:10.
- **10.** Dev S, Srivastava R. Experimental Investigation and Optimization of FDM Process Parameters for Material and Mechanical Strength. Mater Today Proc. **2019**,26:1995–1999.
- **11.** Sharma M, Sharma V, Kala P. Optimization of Process Variables to Improve the Mechanical Properties of FDM Structures. J Phys Conf Ser. **2019**:1240.
- Oudah S, Al-Attraqchi H, Nassir N. The Effect of Process Parameters on the Compression Property of Acrylonitrile Butadiene Styrene Produced by 3D Printer. Eng Technol J. 2022,40:189–194.





- Beniak J, Križan P, Šooš Ľ, et al. Roughness and Compressive Strength of FDM 3D Printed Specimens Affected by Acetone Vapour Treatment. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2018,297.
- 14. Ahmad MN, Ishak MR, Taha MM, et al. Application of Taguchi Method to Optimize the Parameter of Reinforced Thermoplastic Composites. Polymers. **2022**, 14:240

HASAN KALDONCU 15" SHI



FARKLI KAPLAMA YÖNTEMLERİYLE YÜZEYİ CuO NANOPARTİKÜLLERLE MODİFİYE EDİLMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK PARÇALARIN YÜZEY VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

GİZEM KARABULUT *1, NURAY BEKÖZ ÜLLEN 1

¹ Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, İstanbul, Turkiye.

Özet

316L paslanmaz çelikler, biyomedikal malzeme uygulamalarında uygun maliyeti ve kolay bulunabilirliğinin yanısıra biyouyumlu bir metal olması nedeniyle tercih edilen östenitik paslanmaz çeliktir. Ancak biyouyum özelliğinin arttırılması, gelişebilecek reaksiyonları en aza indirmek ve çeşitli özellikler kazandırmak amacıyla son yıllarda yüzey kaplama uygulamaları ön plana çıkmıştır. Bakır oksit nanopartiküller (CuO NP'ler) nano boyutta sergiledikleri özellikler nedeniyle son zamanlarda kaplama uygulamalarında dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, CuO NP'ler biyopolimerik matris içerisinde maça çayı özü ile ultrasonik ses dalgası destekli yöntemle hazırlanmış ardından damlatma ve püskürtme kaplama yöntemleriyle yüzeye kaplanmıştır. Sentezlenen CuO NP'lerin fizikokimyasal ve morfolojik özellikleri, TEM ve XRD yöntemiyle incelenmiştir. Kaplanan yüzeyler SEM, profilometre, yüzey pürüzlülük ölçümleri ile incelenerek morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca farklı yöntemlerle hazırlanmış kaplamaların korozyon incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, CuO NP'lerin her iki yöntemle de başarılı şekilde yüzeyi kapladığı, ancak püskürtme kaplama yönteminde homojen ve daha küçük boyutlu şekilde NP'lerin dağılım gösterdiği görülmüştür. Her iki yöntemde de CuO NP'lerin 316L paslanmaz çelik altlıkların korozyon dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bakır oksit nanopartikül, sonikasyon, püskürtme kaplama, yüzey modifikasyonu

1. Giriş

Kemiğe uygun elastik modül, yüksek çekme dayanımı ve akma dayanımı özelliklerine sahip olmaları nedeniyle kemik implantasyonu uygulamalarında yaygın kullanılan metalik biyomalzemeler paslanmaz çelikler, titanyum alaşımları ve kobalt bazlı alaşımlarından oluşmaktadır [1,2]. Paslanmaz çelikler korozyon dayanımı nedeniyle kullanılan, demir esaslı ağırlıkça %10,5'tan daha fazla krom içeren birbirinden farklı birçok çeliğin genel adıdır [3,4]. Paslanmaz çelikler yüksek birim şekil değiştirme özelliğinin yanı sıra kolay bulunabilirlik ve uygun maliyeti nedeniyle biyomedikal uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir [3]. 17-4 çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik, 316, 316L, 304 ve 302 alaşımları biyomedikal uygulamalarda tercih edilirler [3–5]. Bunlar içerisinde 316L paslanmaz çelik biyoimplant uygulamalarında ön plana çıkmaktadır. İçeriğinde ağırlıkça %17-19 Ni ve 2,25-3% Mo bulundurması nedeniyle korozyon özelliği gelişmiştir [3]. Buna ek olarak "L" ile belirtilen düşük karbon içeriği (ağırlıkça %0,03'ten daha az) krom karbürlerin oluşma olasılığını düşürerek



korozyon özelliğini daha da arttırmaktadır [6,7]. γ-yüzey merkezli kübik yapıya sahip östenitik paslanmaz grubundan olan 316L paslanmaz çeliğinin mikroyapısı yüksek tokluk sağlamasının yanı sıra ısıl işlem ile sertleştirilebilmesi, işlenebilirliği ve manyetik olmamaları nedeniyle tercih edilirler [3–5]. Cerrahi uygulamalarda tercih edilmesinin en önemli nedeni Co-Cr ve titanyum bazlı alaşımlara göre daha uygun maliyetli olmasıdır [3]. Biyomalzeme olarak kullanılan metallerin birçok uygulamada tercih edilmelerine neden olan üstün özelliklerinin yanı sıra vücut sıvıları ile temas sonrası korozyona uğrama risklerinden dolayı biyouyumluluklarının az olması, metal iyonu vererek alerjik doku reaksiyonlarına sebep olmaları, yüksek yoğunlukları ve dokulara göre sert olması gibi dezavantajları da kullanım alanlarını sınırlamaktadır [8]. Bu nedenlerden dolayı, vücutta kullanılan metalik biyomalzemelerin yüzeylerinin modifikasyonu önem kazanmıştır. Yüzeyde yapılan iyileştirilmelerle yüzeyde oluşabilecek oksitlenme reaksiyonları yavaşlatılır, vücut sıvısı içinde metalin çözünmesi en az seviyeye çekilebilir ve implant edildiği bölgedeki dokuya biyolojik olarak yeterince tutunması sağlanır.

Bu çalışmada, 316L paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını geliştirmek amacıyla biyopolimerik matrisli CuO NP'ler yeşil bir yöntemle sentezlenmiştir. Damlatma ve püskürtme olarak iki farklı kaplama yöntemiyle yüzeyler modifiye edilerek morfolojik özelliklerinin yanı sıra elektrokimyasal davranışları Ringer çözeltisi içerisinde incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

HASAN KALDONCU 15" SHI

2.1. Malzemeler

Maça çayı (*Camellia sinensis*) tozu Arpaş Arifoğlu Pazarlama Dağıtım ve Ticaret A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Bakır (II) sülfat pentahidrat (CuSO₄.5H₂O), sodyum hidroksit (NaOH) (moleküler ağırlık: 40.00 g/mol) ve etanol (EtOH, saflık ≥%99.4) Merck (Almanya) firmasından temin edilmiştir. Polietilen glikol 400 (PEG400) (moleküler ağırlığı: 400kDa) Fluka (İsviçre) firmasından temin edilmiştir. 316L paslanmaz çelik Birçelik A.Ş firmasından 28 mm çap ve 1 m uzunluğunda temin edilmiştir. Firma tarafından verilen kalite belgesine göre temin edilen 316L tavlama işlemi uygulanmış ve soğuk işlem görmüştür. Kullanılan 316L paslanmaz çelik malzemenin kalite belgesinde verilen kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1'de verilmiştir.

C		Si	Mn	Ni	Cr	Мо	Cu	S	Р	N	Fe
0,0	3	0,75	2,0	10,0-13,0	16,5-18,0	2,0-2,5	1,0	0,03	0,04	0,1	Kalan

Tablo 0.1: 316L paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (ağ. %).

2.2. Yöntem

2.2.1. CuO NP'lerin Hazırlanması

NP'leri sentezleme işleminde ilk olarak bitki özütü hazırlanmıştır. Maça çayı tozları birkaç kez destile su ile yıkanmıştır, ardından 50 °C'de 2 s boyunca etüv içerisinde kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Temizlenen maça tozundan 5 g alınarak 100 mL destile su içerisine eklenmiştir. Daha sonra 3 gün sabit bir konumda ağzı kapalı steril kap içerisinde 27 °C sıcaklıkta karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Son olarak numune önce dekante edilip kaba filtre kağıdı ile süzülmüştür, böylece maça özütü (Mat) elde edilmiştir. NP'lerin yüzey enerjisinin fazla olması topaklaşma ve oksidasyon gibi kararsız durumlara neden olduğundan, her iki NP'in sentezlenmesinde de stabilizasyonu arttırabilmek için polimer matris olarak PEG kullanılmıştır. Hazırlanan 20 mL bitki



HASAN KALNONCU 415"



özütü içerisine 0,1 g PEG ilave edilmiş ve 500 rpm hızda 10 dak karıştırılmıştır. 0,0424 g CuSO₄.5H₂O 50 mL destile su içerisinde çözündürülmüş ve 10 dak 27 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. 0,2 g NaOH 50 mL destile su içerisinde çözünmüştür ve 10 dak 27 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. NaOH solüsyonundan 3 mL ve CuSO₄.5H₂O solüsyonundan 50 mL Pasteur pipeti yardımıyla damla damla olacak şekilde Mat/PEG çözeltisi içerisine eklenmiş ve 27 °C sıcaklıkta, 10 dak boyunca ve 500 rpm hızda karıştırılmıştır. Son olarak, 30 dak boyunca %50 genlikte sonikasyon işlemi uygulanmıştır ve işlem sonunda solüsyon 0,22 μm steril filtre ile süzülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere steril bir kap içerisinde karanlık ortamda oda sıcaklığında (27 °C) saklanmıştır.

2.2.2. 316L Paslanmaz Çeliklerin Kaplanması

316L paslanmaz çelik kaplama için talaşlı imalat tekniği ile kesilmiştir. Parçaların kesilmesi, Bor Kesici Takım ve Makine San. Tic. Ltd. Şti.'de gerçekleştirilmiştir. Altlık malzemelerin kesimi X ve Z eksenli, 550 mm işleme derinliğine ve 3000 rpm kesme devrine sahip ortogonal yüzey tornalama tezgâhında (YouJi Machine Industrial Co. Ltd.) yapılmıştır.

Gerek kesme işlemi, gerekse dış etkenlerden kaynaklı parçaların yüzeyinde bulunabilen toz, kir, yağ ve küçük parçacıkların kaplama işlemi öncesinde temizlenmesi yüzey kaplama kalitesini önemli derece etkilemektedir. Bu nedenle, kaplama prosesi öncesinde tüm altlık parçaları, 120 W ultrasonik güce sahip 3 L hacimli ve dijital göstergeli Isolab marka ultrasonik banyoda, oda sıcaklığında, 20 Hz frekansta titreşimli olarak 10 dak paslanmaz çelik tel sepet içerisinde derinlemesine temizlenmiştir. Temizleme işlemi sonrası tüm parçalar etüv içerisinde 60 °C sıcaklıkta 10 dak süre ile kurutulmuştur.

Damlatma yöntemiyle kaplama işleminle Pasteur pipeti yardımıyla hazırlanan NP solüsyonlarından 3 mL alınarak, altlık yüzeyi üzerine tüm yüzeyi üzerine damlatılmıştır. Tüm parçalara aynı sayıda ve homojenliği sağlamak için tüm parçaların aynı yerlerinde 4 farklı noktadan damlatma ile kaplama yapılmıştır. Ardından yüzeyi kaplanmış parçalar etüv içerisinde 60 °C sıcaklıkta 1 s kurutulmuştur. Püskürtme yöntemiyle kaplama işleminde piston tipi airbrush kompresör kiti (Model: AS186) kullanılmıştır. Püskürtme tabancasının nozul ucu 0,2 mm'dir. Hazırlanan kaplama solüsyonları hazneye doldurulmuş ardından tüm altlık yüzeylerine hazırladığımız bir yardımcı düzenek ile 75 mm mesafeden 3 bar basınçta ve 4 sn süre ile püskürtülmüştür. Kaplama sonrası parçalar etüv içerisinde 60 °C sıcaklıkta 1 s kurutulmuştur.

2.2.3. Karakterizasyon Çalışmaları

Mat/PEG-CuO NP'lerin boyut ve şekillerinin incelenmesinde, 40-120 kV gerilime sahip x200,000 HRC x600,000 HR modunda büyütmelere sahip, 0,204 nm (100 kV) çözünürlük sağlayan Hitachi High Tech HT7700 TEM cihazı kullanılmıştır. Mat/PEG-CuO NP'lerin kristalin yapısının incelenmesi için Cu-Kα ışını ile 40 kV ve 15 mA değerlerinde 10° ile 80° arasında tarama yapabilen Rigaku D/Max2200/PC XRD cihazı kullanılmıştır.

Mat/PEG-CuO NP'ler ile püskürtme ve damlatma teknikleri ile kaplanan numunelerin üzerindeki NP'lerin dağılımı, boyutları ve morfolojilerinin incelenmesi Schottky Thermal Field Emitter elektron kaynağına sahip 0,02-30 kV potansiyel aralıklarında çalışabilen Zeiss-Sigma 300 SEM cihazında yapılmıştır. Kaplanmış numunelerin yüzey profilleri, yüzeydeki kaplamanın kalınlık ve dağılım incelemeleri 640x480 piksel çözünürlüğe ve entegre renkli CCD kameraya sahip Kla Tencor Stylus Profiler P7 profilometre cihazı ile yapılmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin elektrokimyasal korozyon davranışı incelemeleri bilgisayar bağlantılı bir potansiyostat (Interface, Gamry) ile bulunan Ringer solüsyonu içerisinde oda sıcaklığında



yapılmıştır. Ringer çözeltisi (pH=5,9) iki Ringer tableti (Merck Company) ve 1000 mL destile su içerisinde manyetik karıştırıcı ile hazırlanmıştır. Korozyon ölçümleri için geleneksel üç elektrotlu sistem kullanılmıştır. Sistemde numuneler çalışma elektrodu, yüksek yoğunluklu grafit karşı elektrot ve standart doymuş kalomel elektrot (SCE) referans elektrot olarak kullanılmıştır. Verilerin analizi Framework ve Echem Analys Gamry yazılımları ile yapılmıştır. İlk olarak, numuneler bakır bir tele bağlanarak epoksi reçineye gömülmüş ve düzenek hazırlanmıştır. Deney hücresinin hacmi 1000 mL olup tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal korozyon ölçümleri gerçekleştirilmeden önce ilk olarak numunelerin açık devre potansiyel ölçümleri (OCP) gerçekleştirilmiştir. OCP seviyeleri, stabil bir değere gelene kadar 2-3 s süre ile ölçülmüştür. OCP eğrileri asimptotik olarak stabil bir bölgeye eriştiğinde OCP değerleri stabil kabul edilmiştir. Ardından numunelere çevrimsel polarizasyon uygulanmıştır. Maksimum potansiyel +250 mV'a kadar polarize edip daha sonra ters yönde -250 mV'a kadar polarize edip daha sonra ters yönde -250 mV'a kadar polarize edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

HASAN KALMONCU 415" ----

3.1. CuO NP'lerin Karakterizasyon Sonuçları

Maça çayı özütü ile hazırlanan CuO NP'lerin kollodial çözeltiler içerisinde yapılan TEM incelemeleri sonucu elde edilen görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Sentezlenen CuO NP'ler oldukça küresel bir morfolojiye sahip, boyutları ortalama olarak 20 nm olduğu ve oldukça homojen bir dağılım sergilediği belirlenmiştir. NP'lerin birbirinden farklı büyüklüklerde taneciklerden oluşan polidispers bir dağılım gösterdiği ve belirgin bir kümeleşme olmadığı da TEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. CuO NP'lerin XRD grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Bragg saçılmalarına karşılık gelen CuO NP'lerin karakteristik pikleri 31,5°, 39,5°, 45,4°, 47,3°, 56,3° ve 75,1°'de meydana gelmiştir. Oluşan bu pikler sırasıyla (110), (111), (-112), (-202), (021) ve (222) düzlemlerinin kırınımlarına denk gelmektedir. Bu kırınım desenleri CuO NP'lerin monoklinik yapıda olduğunu göstermektedir. 25,5°, 28,3° ve 29,4°'lerde oluşan pikler ise matris fazındaki organik yapılardan kaynaklanmaktadır [9]. CuO NP'lerin kırınım deseni kart numarası 04-015-5865 olan JCPDS dosyasıyla eşleşmektedir. Debye-Scherrer denklemi kullanarak hesaplanan CuO NP'lerin kristal boyutu 33,17 nm olarak bulunmuştur.



Şekil 1. CuO NP'lerin a) TEM görüntüsü b) XRD grafiği



3.2. CuO NP'ler ile Kaplanan Yüzeylerin Karakterizasyon Sonuçları

CuO NP'lerle farklı yöntemler kullanılarak 316L altlıklarına gerçekleştirilen kaplamaların SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Damlatma yöntemiyle kaplanmış numunelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde, NP'lerin boyutlarının 60-100 nm arasında değiştiği, küresele yakın ve kübik şekillerde olduğu belirlenmiştir. Daha küçük büyütmede incelendiğinde tüm yüzeyde iki farklı şekildeki NP'lerin olduğu ve NP'lerin homojen dağıldığı daha net görülmektedir. Yüzeyde çok az oranda görülen mikro düzeydeki çatlaklar ise kaplama sonrası numune yüzeylerinin kurutulması aşamasında yaşanan ısıl değişimlerden kaynaklanmaktadır. Püskürtme yöntemiyle kaplanmış numuneye ait SEM görüntülerinde, yüzeydeki NP'lerin oldukça küresel formda olduğu, yaklaşık 50-70 nm arasında boyuta sahip olduğu ve homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Görüntüye geniş planda bakıldığında NP'lerin yer yer kümeleştiği belirlenmiştir. Ayrıca numunenin kesimi esnasında oluşan kesme çizgileri de belirgin şekilde görülmektedir. Literatürde CuO NP'lerle gerçekleştirilen kaplama çalışmaları oldukça azdır. Tavakoli ve diğ. [10], yaptıkları calısmada hidrofobik özellikli polidimetilsiloksan (PDMS)-SiO₂-CuO nanokompozit ile 316L paslanmaz çelik yüzeyi modifiye ederek, yüzey özelliklerinin değişimini incelenmiştir. Yapılan çalışmada da CuO NP'lerin düzensiz şekilli olarak yüzeyde nispeten kümelenmiş bir dağılım gösterdiği görülmüştür.



Şekil 2. Damlatma kaplama yöntemiyle hazırlanan yüzeylerin SEM görüntüleri a) x20.000 b) x10.000 ve Püskürtme kaplama yöntemiyle hazırlanan yüzeylerin SEM görüntüleri c) x50.000 d) x5.000



HASAN KALMONCU 415" ----



Kaplamanın değerlendirilebilmesinde kaplama kalınlığı ve kaplama yüzeyinde dağılımının tespit edilmesi oldukça önemlidir. CuO NP'ler ile farklı kaplama teknikleri kullanılarak yüzeyi modifiye edilen çelik malzemelerin, kaplama kalınlıkları ve kaplamanın dağılımı 3 boyutlu yüzey profilometresi ile detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 3'te damlatma ve püskürtme yöntemleri ile CuO NP'lerle kaplanmış 316L altlıkların yüzey profilometre görüntüleri verilmiştir. Damlatma yöntemiyle kaplanmış numunelerde kaplama kalınlığı 5,4 µm, püskürtme yöntemiyle kaplanmış numunelerde ise kaplama kalınlığı 5,31 µm olarak bulunmuştur. CuO NP'ler ile kaplanan 316L numunelerde kaplama kalınlığı her iki yöntemde de birbirine oldukça yakındır ve NP'lerin dağılımı da benzer şekilde heterojen bir görüntü sergilemiştir. CNC kesme işleminden dolayı meydana gelen kesme çizgileri her iki numunede de belirgindir.

13-16 NOVEMBER, 2023



Şekil 3. a) Damlatma ve b) püskürtme yöntemleriyle hazırlanmış numunelerin yüzey profilometre görüntüsü.

HASAN KALNONCU 15"



Farklı yöntemler kullanarak CuO NP'ler ile 316L altlığın yüzeyinin kaplanmasının korozyon dayanımını nasıl etkilediği elektrokimyasal polorizasyon testleri ile incelenmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış numuneler ilk olarak OCP ölçümüne tabi tutulmuş ardından Tafel ölçümleri gerceklestirilmistir. OCP eğrileri herhangi bir malzemenin bulunduğu ortamda kararlılık durumu hakkında bilgi verir. Yüksek OCP değerine sahip malzeme o ortamda daha kararlı davranış sergiler. Tafel eğrisi ile yüzeyindeki kaplama ve zayıflayan bölgeden başlayarak meydana gelen korozyonunun elektrokimyasal tekniklerle incelenmesi, kaplamanın kalitesi ve stabilitesi hakkında bilgi alınır. Kaplanmış ve kaplanmamış 316L paslanmaz çelik numunelere ait Ringer çözeltisi içerisindeki OCP eğrisi ve Tafel eğrisi Şekil 4'te verilmiştir. Yapılan elektrokimyasal test sonuclarında, kaplamasız, damlatma yoluyla CuO NP'lerle kaplanmıs ve püskürtme vöntemiyle CuO NP'lerle kaplanmış 316L paslanmaz çelik numunelerin elektrokimyasal potansiyelleri sırasıyla -0,593 V, -0,579 V ve -0,488 V olarak bulunmuştur. Her iki kaplamanın Ringer çözeltisi içerisindeki polarizasyon davranışının kaplanmamış numune ile benzer rejime sahip olduğu, fakat kaplanmış numunelerin potansiyellerinin daha soy değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç yüzeyi CuO NP'ler ile modifiye edilen biyometalik malzemelerin elektrolit içerisine iyon salınımının daha az olduğunu göstermektedir. İmplant olarak vücut içerisinde yerleştirilecek bir malzeme için bu sonuç oldukça önemlidir. Kullanılan implantın biyouyumluluğunu ve osteointegrasyonunu olumlu yönde etkilemektedir. Şekilden püskürtme kaplama yöntemiyle hazırlanan numunenin Ringer çözeltisi ortamında daha stabil davrandığı, Tafel eğrilerinde ise daha düsük akım yoğunluğu ve yüksek potansiyel sergilediği görülmektedir. Bu durum CuO NP'ler ile kaplamanın 316L paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını arttırdığını göstermektedir. Tavakoli ve diğ., CuO NP'lerle yaptıkları çalışmada yapay vücut sıvısı içerisinde gerçekleştirdikleri korozyon dayanımı incelemelerinde artan CuO NP'lerin içeriğinin 316L paslanmaz çeliğin dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir. Her iki çalışmanın sonuçları uyumludur.



HASAN KADDINCU (15" SHA





Şekil 4. a) OCP eğrileri ve b) Tafel eğrileri.



4. Sonuçlar

HASAN KALMONCU 415" ----

Bu çalışmada yeşil yöntemle biyopolimerik matrisli CuO NP'ler hazırlanarak 316L paslanmaz çelik yüzeyine iki farklı kaplama yöntemi olan damlatma ve püskürtme yöntemleriyle kaplanmıştır. Sentezlenen CuO NP'ler monoklinik kristalin yapıdadır ve ortalama boyut dağılımı 20 nm'dir. Her iki yöntemle de 316L paslanmaz çelik yüzeyi başarılı şekilde kaplanmıştır. Kaplama yöntemine bağlı olarak CuO NP'lerin morfolojisinin farklı olduğu görülmüştür. Korozyon dayanımı incelemelerinde püskürtme kaplama yönteminin CuO NP'lerle yüzey modifikasyonunda daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Referanslar

- 1. Solanke, S., Gaval, V., Sanghavi, S., 2021, In vitro tribological investigation and osseointegration assessment for metallic orthopedic bioimplant materials, *Materials today: proceedings*, 44, 4173–4178.
- Kaliaraj, G.S., Thukkaram, S., Alagarsamy, K., Kirubaharan, A.M.K., Paul, L.K., Abraham, L., Vishwakarma, V., Sagadevan, S., 2021, Silver-calcia stabilized zirconia nanocomposite coated medical grade stainless steel as potential bioimplants, *Surfaces and interfaces*, 24, 101086.
- 3. Hanawa, T., 2019, Overview of metals and applications, *Metals for biomedical devices*, 3–29.
- 4. Wilson, J., 2018, Metallic biomaterials, *Fundamental biomaterials: metals*, 1–33.
- 5. Ivanova, E.P., Bazaka, K., Crawford, R.J., 2014, Metallic biomaterials: types and advanced applications, *New functional biomaterials for medicine and healthcare*, 121–147.
- Ivanova, E.P., Bazaka, K., Crawford, R.J., 2014, New Functional Biomaterials for Medicine and Healthcare, New functional biomaterials for medicine and healthcare, 1– 226.
- 7. Zindani, D., Kumar, K., Paulo Davim, J., 2019, Metallic biomaterials-A review, *Mechanical behaviour of biomaterials*, 83–99.
- 8. Khan, M.A., Hussain, W., Hassan, N., IIyas, M., Zill-e-huma, Abbas, S.Z., Hui, L., 2021, Fabrication of Ag nanoparticles on a Cu-substrate with excellent superhydrophobicity, anti-corrosion, and photocatalytic activity, *Alexandria engineering journal*, 61, 6507–6521.
- 9. Karabulut, G., Beköz Üllen, N., Karakuş, S., Toruntay, C., 2023, Enhancing antibacterial and anticorrosive properties of 316L stainless steel with nanocoating of copper oxide nanoparticles, *Materials chemistry and physics*, 308, 128265.
- 10. Tavakoli, S., Nemati, S., Kharaziha, M., Akbari-Alavijeh, S., 2019, Embedding CuO Nanoparticles in PDMS-SiO2 Coating to Improve Antibacterial Characteristic and Corrosion Resistance, *Colloid and interface science communications*, 28, 20–28.



METAL ESASLI NANOYAPILARLA KAPLANMIŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK YÜZEYİNİN KAPLAMA MORFOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ

GİZEM KARABULUT *1, NURAY BEKÖZ ÜLLEN 1

¹ Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, İstanbul, Turkiye.

Özet

Günümüzde nanomalzemeler fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırılan çeşitli yöntemlerle hazırlanabilmektedir. Küresel ısınma ve insan sağlığı gibi nedenlerle çevreci proseslere duyulan ihtiyacın giderek artmasıyla yesil yaklasımı benimseyen yöntemler ön plana çıkmaktadır. Bitkisel özler kullanılarak gerçekleştirilen sentezler yeşil yöntemler arasında en revaçta olan yöntemdir. Son yıllarda biyomedikal uygulamalar için metalik yüzeylerin bitkisel özlerle hazırlanmış nanoyapılarla modifikasyonu ön plana çıkan bir araştırma alanıdır. Bu calışmada, 316L paslanmaz çelik yüzeyi farklı bitki özleri kullanılarak biyopolimerik matris içerisinde hazırlanmış Ag NP'ler ve farklı NP'lerin aynı matris içerisindeki özelliklerini incelemek amacıyla da CuO NP'ler ile püskürtme kaplama tekniği kullanılarak kaplanmıştır. Çalışmada, bitki aracılı ultrasonik ses dalgası destekli sentez kullanılarak, keçiboynuzu zamkı ve maça çayı özleri kullanılarak Ag NP'ler ve yine maça çayı özü ile CuO NP'ler sentezlenmiştir. Hazırlanan biyopolimerik matrisli nanoyapılar ile yüzeyler püskürtme kaplama tekniği kullanılarak kaplanmıştır. Sentezlenen nanoyapılar fizikokimyasal ve morfolojik özellikleri TEM ve XRD yöntemleriyle, kaplanan yüzeyler ise SEM ve 3 boyutlu yüzey profilometrisi ile incelenmiştir. Sonuç olarak, farklı bitki özleri kullanımının kaplama morfolojisini belirgin şekilde etkilediği görülmüştür. Aynı matris içerisinde farklı NP'lerin morfolojik açıdan yüzeyde belirgin derecede fark yaratmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Gümüş nanopartiküller, bitki aracılı sentez, yüzey morfolojisi, kaplama.

1. Giriş

HASAN KALNONCU 415"

Nanopartiküller (NP'ler) 0 boyutlu nanoyapılardır. NP'lerin diğer nanomalzemelere veya atoma kıyasla daha yüksek özgül yüzey alanına sahip olması nanoteknoloji uygulamaları için NP'leri vazgeçilmez kılar [1]. Nano ölçekli boyutlarından ve yüksek özgül yüzey alanları sayesinde NP'nin özelliklerinde iyileşme gözlemlenir ve benzersiz spektroskopik, elektronik, kimyasal, biyolojik ve manyetik özellikler kazanırlar [1–4]. Metal [5], seramik [6], polimer [7] gibi geleneksel malzemelerin yanı sıra metal oksit [8], yarı iletken [9], organik [10], biyopolimer [11] gibi çeşitli fonksiyonel malzemeler NP formunda sentezlenebilmektedir [12]. NP'lerin sentez yöntemleri genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olarak gruplandırılmaktadır [14]. Fiziksel sentez yöntemleri genel olarak bir güç kullanımı gerektiren, karmaşık ekipman sistemleri ve yüksek maliyetli uygulamalardır [15]. Kimyasal sentez yöntemleri ise kimyasal öncüler kullanılması ve zararlı yan ürünler oluşturması nedeniyle biyomedikal uygulamalar için avantajlı konumda değildir. Bu noktada son yıllarda kullanımı giderek artan alternatif bir yöntem olan biyolojik sentez yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Biyolojik sentez yöntemleri bir alternatif olarak



çevre ve sağlık açısından tehdidi azaltmak, düşük maliyetle üretim gerçekleştirilmesi ve kimyasal maddeler kullanılmaması amaçlarıyla ortaya çıkmıştır [16,17]. NP'lerin biyolojik yöntemle sentezi hem prokaryotik (bakteri) hem de ökaryotik (mantar ya da bitkisel kaynaklar) türler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Biyolojik yöntemler arasında biyomalzeme uygulamaları için en güvenilir yöntem bitkisel kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilen sentezdir. Bitkiler yapılarında ikincil metabolit olarak adlandırılan (fenolik asit, flavonoid, terpenoid vb.) NP oluşumunu sağlayan metalik iyonu seçici maddeler içermektedir. Bitkisel kaynaklar kullanılarak NP'lerin sentezi genellikle kolay bulunabilme, yüksek üretim miktarına uygunluk, tüm ürünlerin çevre dostu olması gibi avantajlar sebebiyle diğer sentez yöntemlerine bir alternatif oluşturmuştur [12]. Temel olarak yöntem bitki içeriğindeki biyo-indirgeme ajanının saflaştırılmasını ve öncü metal solüsyonu ile kontrollü bir şekilde karıştırılması adımlarını içerir. Daha sonra oda sıcaklığında NP'lerin oluşmasını sağlayan reaksiyonlar meydana gelir. Bazen sentez sürecini hızlandırmak amacıyla karıştırma ve ısıtma gibi işlemler uygulanabilir [17]. Sentezlenen NP'lerin verimini arttırmak (küçük boyut, stabilizasyon vb. özellikler) amacıyla mikrodalga, ultrasonik ses dalgası ile uyarma gibi destekler tercih edilebilir. Son zamanlarda ultrasonik ses dalgası destekli bitkisel özler kullanılarak NP sentezi yaygın olarak çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, bitkisel kaynak olarak keçiboynuzu zamkı ve maça çayı özleri kullanılarak Ag ve CuO NP'ler hazırlanmıştır. Farklı bitki özlerinin NP'lerin özelliklerine etkisi ve aynı bitki özü ile hazırlanan farklı NP'lerin özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan NP'ler 316L paslanmaz çelik yüzeyine kaplanarak morfolojik özellikleri incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzemeler

HASAN KALNONCU 415"

NP'lerin sentezinde *Camellia sinensis* (maça çayı) ve *Ceratonia siliqua* L. (keçiboynuzu zamkı) özütü kullanılmıştır. Maça çayı tozu Arifoğlu firmasından, keçiboynuzu zamkı Meysüt Gıda ve Makina San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Bakır (II) sülfat pentahidrat (CuSO₄.5H₂O) ve NaOH Merck firmasından temin edilmiştir. Filtre kağıdı (Whatman®, çap: 25 mm) ve gümüş nitrat (AgNO₃) Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. SS316L 1 m boyunda bar formunda Birçelik A. Ş. firmasından temin edilmiştir.

2.2. Nanopartiküllerin Sentezi

İlk olarak bitki özleri hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan maça çayı ve keçiboynuzu zamkı tozları ilk olarak birkaç destile su ile kirliliklerden arındırıldıktan sonra etüv içerisinde 60 C'de 4 saat süre boyunca kurutulmuştur. Kurutulan tozlardan 0,1 g alınarak 250 mL destile su içerisine eklenmiş ve 5 dakika boyunca 500 rpm hızda oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım 5 gün boyunca karanlık bir ortamda sabit bir şekilde bekletilmiştir. 5 gün sonunda dekante edilerek öz ayrılmıştır. Maça çayı özütü ile Ag NP'lerin sentezi aşamasında ilk olarak 0,2 g NaOH 125 mL destile su içerisine eklenerek oda sıcaklığında 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Ayrı bir beherde, 0,42 g AgNO₃ 250 mL destile su içerisinde karıştırılmıştır. Hazırlanan maça çayı özütünden 50 mL alınarak içerilerine 1 mL NaOH çözeltisi ve 100 mL AgNO3 çözeltisi eklenmiş ve karıştırılmıştır. Ardından 30 dakika %30 genlikte sonikasyon işlemi uygulanmıştır. Keçiboynuzu özütü ile Ag NP'lerin hazırlanması ise ilk olarak 0,1 g NaOH-250 mL destile su ve 0,84 g AgNO3-500 mL destile su çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan gümüş çözeltisi damla damla hazırlanan keçiboynuzu özütü çözeltisine eklenmiş ardından NaOH çözeltisi karışıma eklenmiştir. Hazırlanan karışım 10 dakika %45 genlikte sonikasyona tabi tutulmuştur. Maça çayı özütü ile CuO NP'lerin hazırlanması adımında ise hazırlanan 20 mL bitki özütü içerisine 0,1 g PEG ilave edilmiş ve 500 rpm hızda 10 dakika karıştırılmıştır. 0,0424 g CuSO₄.5H₂O 50 mL destile su içerisinde





çözündürülmüş ve 10 dakika 27 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. 0,2 g NaOH 50 mL destile su içerisinde çözünmüştür ve 10 dakika 27 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. NaOH solüsyonundan 3 mL ve CuSO₄.5H₂O solüsyonundan 50 mL Pasteur pipeti yardımıyla damla damla olacak şekilde Mat/PEG çözeltisi içerisine eklenmiş ve 27 °C sıcaklıkta, 10 dakika boyunca ve 500 rpm hızda karıştırılmıştır. Son olarak, 30 dakika boyunca %50 genlikte sonikasyon işlemi uygulanmıştır. Sonikasyon işlemlerinden sonra hazırlanan NP'lerin çözeltileri filtrelenerek daha sonra deneylerde kullanılmak üzere steril bir kaba alınmıştır.

2.3.Yüzeylerin Kaplanması

SS316L paslanmaz çelik ilk olarak CNC kesme işlemi ile 2 mm'lik disk formunda dilimlenmiştir. Altlık olarak kullanılan diskler CNC işleminden ve çevresel faktörlerden kaynaklanabilecek kirliliklerden yüzeyleri arındırmak amacıyla ultrasonic banyo içersinde etanol+aseton karışımı içerisinde 10 dakika boyunca temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Temizlenen altlık malzemeleri etüv içerisinde 60 °C sıcaklıkta 10 dak süre ile kurutulmuştur. Püskürtme yöntemiyle kaplama işleminde piston tipi airbrush kompresör kiti (Model: AS186) kullanılmıştır. Hazırlanan kaplama solüsyonları hazneye doldurulmuş ardından tüm altlık yüzeylerine hazırladığımız bir yardımcı düzenek ile 75 mm mesafeden 3 bar basınçta ve 4 sn süre ile püskürtülmüştür. Hazırlanan numuneler etüv ortamında 60 °C sıcaklıkta 10 dak süre ile kurutulmuştur.

2.4. Karakterizasyon Yöntemleri

NP'lerin boyut ve şekillerinin incelenmesi, 40-120 kV gerilime sahip x200,000 HRC x600,000 HR modunda büyütmelere sahip, 0,204 nm (100 kV) çözünürlük sağlayan Hitachi High Tech HT7700 TEM cihazı ile yapılmıştır. NP'lerin kristalin yapısının incelenmesi için Cu-Kα ışını ile 40 kV ve 15 mA değerlerinde 20° ile 70° arasında tarama yapabilen Rigaku D/Max2200/PC XRD cihazı kullanılmıştır. Kaplanmış yüzeylerin üzerindeki NP'lerin dağılımı, boyutları ve morfolojilerinin incelenmesi Schottky Thermal Field Emitter elektron kaynağına sahip 0,02-30 kV potansiyel aralıklarında çalışabilen Zeiss-Sigma 300 SEM cihazında yapılmıştır. Kaplanmış numunelerin yüzey profilleri, yüzeydeki kaplamanın kalınlık ve dağılım incelemeleri 640x480 piksel çözünürlüğe ve entegre renkli CCD kameraya sahip Kla Tencor Stylus Profiler P7 profilometre cihazı ile yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sentezlenen Ag ve CuO NP'lerin Karakterizasyon Sonuçları

Şekil 1'de farklı bitki özleriyle sentezlenmiş Ag NP'lerin TEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 1.a'da maça çayı özütü ile hazırlanan Ag NP'lerin (MÇ-Ag NP'ler) küresel şekilli olduğu, değişken ancak dar bir boyut dağılımı ile 10 nm'den düşük boyutlara sahip olduğu görülmektedir. Şekil 1.b'de verilen keçiboynuzu özütü ile hazırlanan Ag NP'lerin (KB-Ag NP'ler) ise yine küresel şekle yakın, polidispers dağılımlı ve ortalama boyutlarının 47 nm olduğu görülmektedir. Farklı matrislerle sentezlenen Ag NP'lerin kolloidal çözeltiler içerisinde genel olarak küresel şekilli olduğu ancak matrise bağlı olarak boyutlarının değişiklik gösterdiği görülmektedir. Şekil 1.c'de maça çayı özütü ile hazırlanan CuO NP'lerin (MÇ-CuO NP'ler) kollodial çözeltiler içerisinde yapılan TEM incelemeleri sonucu elde edilen görüntüsü verilmiştir. Sentezlenen CuO NP'ler oldukça küresel bir morfolojiye sahip, boyutları ortalama olarak 20 nm olduğu ve oldukça homojen bir dağılım sergilediği belirlenmiştir. NP'lerin birbirinden farklı büyüklüklerde taneciklerden oluşan polidispers bir dağılım gösterdiği ve belirgin bir kümeleşme olmadığı da TEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Maça çayı özütü kullanılarak hazırlanan Ag NP'lerin ve CuO NP'lerin benzer morfolojilerde olduğu görülmektedir.





MÇ-Ag NP'ler, KB-Ag NP'ler ve MÇ-CuO NP'lerin kristalin yapısı XRD ile incelenmiştir. XRD spektrumları Şekil 2'de verilmiştir. Ag NP'lere ait spektrumlar incelendiğinde bütün nanoyapıların $2\theta = 38,60^{\circ}, 44,40^{\circ}$ ve $65,60^{\circ}$ değerlerinde pikler oluşturduğu görülmektedir. Bu pikler sırasıyla gümüşün (1 1 1), (2 0 0) ve (2 2 0) düzlemlerine karşılık gelerek gümüşün yüzey merkezli kübik yapıda olduğunu göstermektedir [13]. CuO NP'lere ait XRD spektrumda 31,5°, 39,5°, 45,4°, 47,3°, 56,3° ve 75,1°'de pikler meydana gelmiştir. Oluşan bu pikler sırasıyla (110), (111), (-112), (-202), (021) ve (222) düzlemlerinin kırınımlarına denk gelmektedir, bu durum CuO NP'lerin monoklinik kristalin yapıda olduğunu göstermektedir [14].



Sekil 1. Bitkisel özütlerle hazırlanan NP'lerin TEM görüntüleri: a) MÇ-Ag NP'ler, b) KB-Ag NP'ler, c) MÇ-CuO NP'ler



Şekil 2. XRD spektrumları





3.2.Kaplanan Yüzeylerin Karakterizasyon Sonuçları



Şekil 3. Kaplanan yüzeylerin SEM görüntüleri: a) MÇ-Ag NP, b) KB-Ag NP ve c) MÇ-CuO NP

Şekil 3'te farklı bitki özleriyle sentezlenen Ag NP'ler ve CuO NP'ler ile püskürtme yoluyla kaplanmış SS316L'lerin yüzeylerinin SEM görüntüleri görülmektedir. Farklı bitki özlerinin kaplama morfolojisine etkisi belirleyebilmek için aynı büyütmelerde görseller incelenmiştir. Kaplama öncesinde Ag NP'lerin hepsi küresel morfolojide ancak farklı boyutlardaydılar. Şekil

HASAN KALNONCU 415" ----

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER



3'teki SEM görüntüleri incelendiğinde Şekil 3.a'da bulunan MÇ-Ag NP'lerin küresel morfolojide ve partikül formunu koruduğu görülmektedir. Daha küçük büyütmedeki görüntüsünde CNC kesme işleminden kaynaklanan kesme çizgisi belirgin bir şekilde görülmektedir. Yüzeyin tamamen NP'ler ile kaplandığı görülmektedir. Şekil 3.b'de verilen KB-Ag NP'lerin görüntüsünde, TEM görüntüsüyle uyumlu olarak NP boyutunun diğer NP'lere göre daha büyük olduğu görülmektir, keçiboynuzu matrisinin NP'lerin çevresini sardığı NP'lerin küresel oluşumunu zorlaştırdığı görülmektedir. Şekil 3.c'de verilen MÇ-CuO NP'lerle yapılmış yüzey kaplamalarına ait görüntüler incelendiğinde, NP'lerin küresel formunu koruduğu, homojen bir şekilde yüzeyde dağıldığı görülmektedir. CuO NP'ler TEM görüntüleriyle uyumlu olarak MÇ-Ag NP'lerle benzer morfolojide ve nispeten yüksek partikül boyutlarındadır.

Şekil 4'te kaplanan yüzeylerin profilometre ile elde edilmiş 3 boyutlu yüzey görüntüsü verilmiştir. Görsellerde gözlemlenen siyah bölgeler en derin bölgeleri, beyaz bölgeler ise en yüksek bölgeleri temsil etmektedir. Yüzeydeki derin bölgeler CNC kesme işleminden kaynaklanan kesme çizgileridir. Görüntülerde SEM görüntüleriyle uyumlu olarak en az pürüzlülüğe sahip numune KB-Ag NP'lerle kaplanan yüzey olduğu görülmektedir. Bu durum keçiboynuzu matrisinin NP'lerin küresel oluşumunu baskılamasından kaynaklandığı öngörülmektedir.



Şekil 4. 3 boyutlu yüzey görüntüleri: a) MÇ-Ag NP, b) KB-Ag NP ve c) MÇ-CuO NP



4. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı bitkisel özlerle hazırlanmış Ag NP'ler ve aynı bitki özü kullanılarak hazırlanmış Ag NP'ler ve CuO NP'lerin kaplama morfolojisine etkisi incelenmiştir. Ultrasonik ses dalgası destekli yöntemle başarılı şekilde sentezlenen NP'ler SS316L yüzeyine püskürtme kaplama tekniği ile başarılı şekilde kaplanmıştır. Kaplama sonrası elde edilen görüntülerde, solüsyon içerisindeki özelliklerini kaplanmış yüzeyde de sergiledikleri görülmüştür. Farklı bitki özlerinin kaplama morfolojisini belirgin şekilde etkilerken, aynı bitki özü ile hazırlanan farklı NP'lerin özelliklerini etkilemediği görülmüştür.

Referanslar

- P.G. Jamkhande, N.W. Ghule, A.H. Bamer, M.G. Kalaskar, Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications, J. Drug Deliv. Sci. Technol. 53 (2019) 101174. https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101174.
- 2. B. Bhushan, Introduction to Nanotechnology, Springer Handb. Nanotechnol. (2010) 1–13. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02525-9_1.
- 3. M.C. Roco, Nanoparticles and Nanotechnology Research, J. Nanoparticle Res. 1 (1999) 1– 6. https://doi.org/10.1023/A:1010093308079.
- 4. I. Das, S.A. Ansari, Nanomaterials in science and technology, J. Sci. Ind. Res. (India). 68 (2009) 657–667.
- Y. Ohara, K. Akazawa, K. Shibata, T. Hirota, Y. Kodama, T. Amemiya, J. Wang, T. Yamaguchi, Seed-mediated gold nanoparticle synthesis via photochemical reaction of benzoquinone, Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 586 (2020) 124209. https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2019.124209.
- V. Uskoković, G. Abuna, P. Ferreira, V.M. Wu, L. Gower, F.C.P. Pires-de-Souza, R.M. Murata, M.A.C. Sinhoreti, S. Geraldeli, Synthesis and characterization of nanoparticulate niobium- and zinc-doped bioglass-ceramic/chitosan hybrids for dental applications, J. Sol-Gel Sci. Technol. 2021 972. 97 (2021) 245–258. https://doi.org/10.1007/S10971-020-05442-5.
- 7. O. Galant, H.B. Donmez, C. Barner-Kowollik, C.E. Diesendruck, Flow Photochemistry for Single-Chain Polymer Nanoparticle Synthesis, Angew. Chemie. 133 (2021) 2070–2074. https://doi.org/10.1002/ANGE.202010429.
- 8. S. Loganathan, M.S. Shivakumar, S. Karthi, S.S. Nathan, K. Selvam, Metal oxide nanoparticle synthesis (ZnO-NPs) of Knoxia sumatrensis (Retz.) DC. Aqueous leaf extract and It's evaluation of their antioxidant, anti-proliferative and larvicidal activities, Toxicol. Reports. 8 (2021) 64–72. https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2020.12.018.
- 9. E. Gharibshahi, Simulation, synthesis and optical properties of cadmium telluride (CdTe) semiconductor nanoparticles, Solid State Commun. 320 (2020) 114009. https://doi.org/10.1016/J.SSC.2020.114009.
- 10. F. Fang, M. Li, J. Zhang, C.-S. Lee, Different Strategies for Organic Nanoparticle Preparation in Biomedicine, ACS Mater. Lett. 2 (2020) 531–549. https://doi.org/10.1021/ACSMATERIALSLETT.0C00078.
- 11. M.L. Verma, B.S. Dhanya, Sukriti, V. Rani, M. Thakur, J. Jeslin, R. Kushwaha, Carbohydrate and protein based biopolymeric nanoparticles: Current status and biotechnological applications, Int. J. Biol. Macromol. 154 (2020) 390–412. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.03.105.
- 12. A. Tuantranont, Nanomaterials for Sensing Applications: Introduction and Perspective,





(2012) 1-16. https://doi.org/10.1007/5346_2012_41.

- A. Rana, K. Yadav, S. Jagadevan, A comprehensive review on green synthesis of natureinspired metal nanoparticles: Mechanism, application and toxicity, J. Clean. Prod. 272 (2020) 122880. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122880.
- 14. G. Karabulut, N. Beköz Üllen, S. Karakuş, C. Toruntay, Enhancing antibacterial and anticorrosive properties of 316L stainless steel with nanocoating of copper oxide nanoparticles, Mater. Chem. Phys. 308 (2023) 128265. https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2023.128265.

HOMOJENİZASYON VE YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMLERİNİN Al-40Zn-3Cu Alaşımının mekanik özelliklerine etkisi

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KANONCU 45%

TICMET'23

MUHAMMET UZUN¹, SADUN KARABIYIK¹, YASİN ALEMDAĞ¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

Özet

Al-Zn esaslı alaşımlar yüksek özgül mukavemetleri, düşük üretim maliyetleri ve üstün tribolojik özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar. Alaşım elementi katkısı ve ısıl işlem uygulamaları ile söz konusu alaşımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik calısmalar günümüzde de devam etmektedir. Bakır katkısı, bu alasımların hem mekanik özelliklerini iyileştirilmesinde hem de bu mekanik özelliklerin yaşlandırma yolu ile geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Al-Zn-Cu esaslı alaşımlar içerisinde Al-40Zn-3Cu alaşımının dökülmüş durumda pirinç ve bronz gibi geleneksel malzemelere göre daha üstün mukavemet ve aşınma direnci sergilediği belirlenmiştir. Ancak, literatürde söz konusu alaşımın ısıl işlem durumunu detaylı inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada homojenizasyon ve farklı sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma işleminin Al-40Zn-3Cu alaşımının yapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Homojenizasyon işlemi 400 °C sıcaklıkta alaşımın 24 saat süreyle tutulmasıyla, çözündürme ve yaşlandırma işlemi ise bu alaşımın yine aynı sıcaklıkta 12 saat süreyle çözündürülüp suda soğutulduktan sonra 100 °C sıcaklıkta 5 saat (T6 ısıl işlemi), 150 ve 200 °C sıcaklıklarda ise 1 saat (T7 ısıl işlemi) bekletilmesi şeklinde uygulanmıştır. Uygulanan işlemlerden sonra alaşımın yapısı optik mikroskop ile mekanik özellikleri ise sertlik, çekme ve darbe deneyleri ile incelenmiştir. Alaşımın kırılma davranışı çekme ve darbe deneyleri sonrası elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM ile incelenmesi yoluyla belirlenmiştir. Homojenizasyon işlemi sonrası alaşımın dendritik yapısının ortadan kalktığı, T6 ısıl işlemi sonrası ötektoid α+η fazın tane sınırlarında, T7 ısıl işlemi sonrasında ise η fazının α ana matrisi içerisinde çökeldiği görülmüştür. Uygulanan ısıl işlemlerin ikincil fazın (θ) üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. T6 ve T7 işlemlerinden sonra alaşımın sertlik, akma ve çekme dayanımları ile sünekliğinin arttığı ancak sünekliğin yalnızca T6 işleminden sonra yaklaşık %3,26'dan %1,16'ya düştüğü belirlenmiştir. Alaşımın kırılma yüzeylerinin klivaj düzlemlerinden oluştuğu gözlenmiştir. Uygulanan işlemler arasında 150 °C'de gerçekleştirilen yaşlandırma işleminin, söz konusu alaşımın mekanik ve süneklik özellikleri açısından en ideal koşul olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular alaşımın mikro yapısında meydana gelen değişimlere göre açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Al-Zn Alaşımları, Yaşlandırma, Mekanik Özellikler, Kırılma Davranışı

1. Giriş

Çinko-alüminyum alaşımları ikinci dünya savaşı sırasında bakır (Cu) temininde karşılaşılan zorluluklar nedeniyle geliştirilmiş olup, bronz ve pirinç gibi metallerin yerine kullanılmıştır [1-3]. İkili durumda pek çok uygulama için nispeten yetersiz dayanım özellikleri sergileyen bu alaşımların özellikleri bakır katkısı ve ısıl işlem ile önemli oranda artırılmış, savaş sonrası bakır tedariğindeki zorlukların ortadan kalkmasına rağmen kullanımları iyice yaygınlaşmıştır. Bu



TÜRKİYE



durum söz konusu alaşımların yüksek özgül mukavemet, iyi aşınma ve korozyon direnci sergilemelerine ve dökümlerinin ekonomi olmasına dayandırılmıştır. Söz konusu üstünlüklerine rağmen bu alaşımların boyutsal kararsızlıklarının yanı sıra yüksek sıcaklıklarda düşük aşınma direnci sergiledikleri ve düşük sünekliğe sahip oldukları belirlenmiştir [1-3]. Boyutsal karasızlık, metastabil ε (CuZn₄) fazının kararlı T' (Al₄Cu₃Zn) fazına dönüşmesinden kaynaklanırken, çinkonun (Zn) düşük ergime sıcaklığına sahip olması yüksek sıcaklık uvgulamalarında alasımın asınma direncini düsürmektedir. Cu bakımından zengin intermetalik fazlar ise Zn-Al-Cu alaşımlarını gevrekleştirmektedir [4-6]. Bu dezavantajların azaltılması veya ortadan kaldırılması için çeşitli yollar denenmiştir. Bu yollardan biri alaşımın Al miktarını artırıp Zn oranını düşürmek üzerine oluşturulmuştur [7, 8]. Bu kapsamda yapılan sistematik çalışmalar sonucunda ikili Al-25Zn ve Al-40Zn alaşımlarının yüksek dayanım sergiledikleri, %3 bakır katkısından sonra ise dayanımlarının yansıra asınma direnclerinin de en yüksek değerlerine ulaştığı belirlenmiştir [7, 9, 10]. Diğer taraftan yüksek Al içeren alaşımların mikro yapılarında ε fazı yerine daha kararlı olan θ (CuAl₂) fazının oluştuğu görülmüştür [7, 9, 10]. Ancak ısıl islemin yeni geliştirilen Al-Zn-Cu esaslı alaşımların mekanik özelliklerine etkişini inceleyen sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır [11, 12]. Bu nedenle bu çalışmada homojenizasyon, T6 ve T7 ısıl işlemlerinin Al-40Zn-3Cu alaşımının yapı ve mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaclanmıstır.

2. Deneysel Çalışma

HASAN KALNONCU 415"

Alaşımın üretiminde %99,7 ve %99,9 saflıkta alüminyum ve çinko ile Al-50Cu master alaşımı kullanıldı. Ergitme işlemi elektrikli bir ergitme ocağında grafit pota içerisinde yapıldı. 690°C sıcaklıktaki ergiyik belli bir süre karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında tutulan çelikten imal edilmiş bir kalıba döküldü ve katılaştırıldı. Kalıptan çıkarılan ingottan 40 x 40 x 20 mm³ boyutunda numuneler üretildi. Söz konusu numunelere homojenleştirme ve çözündürme-yaşlandırma ısıl işlemleri uygulandı. Homojenleştirme alaşımın 400 °C sıcaklıkta 24 saat süre ile bir fırında tutulmasının ardından yine aynı fırında soğutulması, çözündürme ve yaşlandırma ısıl işlemi ise 400 °C sıcaklıkta 12 saat süreyle çözündürülen alaşımın su verildikten sonra 100 °C sıcaklıkta beş saat 150 °C ve 200 °C sıcaklıklarda birer saat bir fırın içerisinde tutulması ve ardından suda soğutulması şeklinde gerçekleştirildi. Söz konusu işlem parametreleri önceki çalışmalar ile Al-Zn faz diyagramlarından yararlanılarak belirlendi [7, 8]. Alaşımın yaşlandırılması sırasında elde edilen sertlik eğrilerinden 100 °C sıcaklıkta yapılan yaşlandırma işleminin T6'ya, 150 ve 200 °C sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma işlemlerinin ise T7'ye karşılık geldiği tespit edildi.

Döküm ve ısıl işlem uygulanmış alaşımın yapısal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan numunelerin alındığı bölgeleri ve boyutlarını gösteren şematik resim Şekil 1'de verilmiştir. Yapısal incelemeler için alaşımdan alınan numuneler standart zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulduktan sonra Kroll çözeltisi ile (2 ml HF + 4 ml HNO₃ + 250 ml saf su) dağlandı. Dağlanan numunelerin içyapıları optik mikroskop (OM) ile incelendi ve fotoğrafları çekildi. Alaşımın tüm durumlarına ait mekanik özelliklerin belirlenmesinde çekme, sertlik ve darbe deneylerinden yararlanıldı. Makro sertlik ölçümlerinde Brinell ve α -Al fazının mikro sertliğinin ölçümlerinde ise Vickers sertlik ölçüme yöntemleri kullanıldı. Brinell sertlik ölçümleri 2,5 mm çapında bilye ve 62,5 kgf yük kullanılarak yapıldı. Vickers sertlik ölçümleri ise 500 gramlık yük ile gerçekleştirildi. Çekme deneyleri 5 x 10⁻⁴ s⁻¹'lik deformasyon hızında, darbe deneyleri ise 50 J kapasiteli bir Charpy cihazında yapıldı. Söz konusu deneylerde ölçülen değerlerin doğruluğu için her bir koşuldaki numuneden en az beş kez tekrarlı deney gerçekleştirildi. Çekme ve darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi.





3. Bulgular ve İrdeleme

Dökülmüş ve ısıl işlem görmüş Al-40Zn-3Cu alaşımının içyapısını gösteren OM görüntüleri Şekil 2'de verilmektedir. Dökülmüş durumundaki alaşımın içyapısı α , η ve θ fazlarından oluşmaktadır. α ve η fazları sırasıyla alüminyumca ve çinkoca zengin katı çözeltileri θ fazı ise bakırca zengin CuAl₂ bileşiğini göstermektedir. α katı çözeltisi çinkonun alüminyum içerisinde çözünmesi sonucunda oluşmakta ve dendritik bir görünüm sergilemektedir. η fazı ise çinkoca zengin β fazının ötektoid dönüşüm ile $\alpha+\eta$ olarak ayrışması sonucunda oluşmakta ve α dendritlerinin etrafında yer almaktadır. Ancak bakırın hem Al hem de Zn içerisindeki çözünürlüğü oldukça düşüktür [13]. Çözünürlüğün dışında kalan bakır Al ile reaksiyona girip θ fazını oluşturmaktadır. Homojenizasyon işleminden sonra alaşımın dendritik yapısı ortadan kalkmakta ve η fazı α taneleri içeresinde çökelmektedir. Bu durum homojenizasyon süresince çinkonun alüminyum içeresindeki difüzyonundan kaynaklanmaktadır. Bu gözlemler önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumludur [5, 7, 9].

T6 işleminden sonra ötektoid $\alpha+\eta$ faz karışımı alaşımın tane sınırlarında büyük adacıklar halinde çökelmektedir. Ancak T7 işlemlerinden sonra η fazı α fazı içerisinde çökelmekte ve homojen bir dağılım sergilemektedir. θ fazı ise söz konusu ısıl işlemlerden belirgin bir biçimde etkilenmemektedir. Bu gözlemler çekirdeklenme ve büyüme mekanizması ile açıklanabilir. Çözeltiye alma işleminin ardından yapılan su verme işleminin aşırı doymuş α katı çözeltisinin oluşumuna yol açtığı bilinmektedir [1, 14]. Yaşlandırma işlemi sırasında aşırı doymuş katı çözelti içeresinde bulunan çinko atomları difüzyon ile bira araya gelip η çökeltilerini oluşturmaktadır. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça, difüzyon hızındaki artışa bağlı olarak çökeltilerin büyüme hızı da artar [1, 14]. Bu nedenle daha yüksek sıcaklıklarda yapılan





yaşlandırma işleminde η çökeltileri daha görünür hale gelmekte ve α taneleri içerisinde homojen bir dağılım sergilemektedir [1, 12, 14].



Şekil 2. a) Dökülmüş, b) homojenize edilmiş ve c-e) sırasıyla 100 °C, 150 °C ve 200 °C sıcaklıkta yaşlandırılmış Al-40Zn-3Cu alaşımının içyapısına ait OM görüntüleri

Dökülmüş, homojenize edilmiş, T6 ve T7 ısıl işlemleri görmüş durumlardaki Al-40Zn-3Cu alaşımının mekanik deneylerinden elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmektedir. Homojenizasyon işlemi Al-40Zn-3Cu alaşımının çekme dayanımını, darbe tokluğunu ve kopma uzamasını artırmakta akma dayanımı ve sertliğini ise düşürmektedir. 100 °C ve 150 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilen yaşlandırma ısıl işlemleri (T6 ve T7) alaşımın hem sertliğini hem de mukavemetini artırırken, 200 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen yaşlandırma işlemi (T7) ise mekanik özelliklerinin düşmesine neden olmaktadır. 100 °C sıcaklıkta uygulanan yaşlandırma işlemi sonucunda alaşım en yüksek sertlik ve mukavemet ile en düşük yüzde uzama değerlerine ulaşırken, 200 °C sıcaklıkta yaşlandırılan alaşım ise en düşük sertlik ve mukavemet ancak en yüksek kopma uzaması sergilemektedir. Bu bulgular alaşımın içyapısına ve çökelme sertleştirmesi mekanizmasına dayandırılarak açıklanabilir [11, 12]. Şöyle ki, homojenizasyon işleminden sonra alaşımın dendritik yapısını ortadan kalkması dendritler arası bölgelerin çatlak oluşturma eğilimini azaltarak alaşımın çekme dayanımını ve sünekliğini artırmaktadır. Diğer taraftan η fazı α 'dan daha yumuşak olduğu için,



HASAN KALMONCU

homojenizasyon ısıl işleminden sonra bu fazın matris içinde homojen dağılımı alaşımın sertliğinin düşmesine yol açmaktadır [11, 12]. T6 işleminden sonra oluşan η çökeltileri ile θ parçacıkları dislokasyonların hareketlerini kısıtlayarak ya da engelleyerek dislokasyon yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır [11, 12, 15]. Dislokasyon yoğunluğundaki artış alaşımın mukavemetini ve sertliğini artırırken sünekliğini azaltmaktadır. Aynı mekanizma T7 ısıl işlemi görmüş alaşımda da meydana gelmektedir. Ancak sıcaklık arttıkça çökeltilerin büyüdüğü ve sayılarının azaldığı bilinmektedir [1, 15]. Bu durum, yaşlanma sıcaklığı artıtıkça dislokasyon hareketinin önündeki engellerin sayısının azalması ve dislokasyonların nispeten daha kolay hareket etmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle T7 işlemlerinde artan yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak alaşımın dayanım değerleri kademeli azalırken sünekliği artmaktadır.

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2



İşlem Durumu

Şekil 3. Alaşımın çekme ve akma dayanımı ile sertliğinin işlem durumuna göre değişimlerini gösteren eğriler



İşlem Durumu



HASAN KALNONCU 415"



Şekil 4. Alaşımın darbe tokluğu, kopma uzaması ve mikrosertlik değerlerinin işlem durumuna göre değişimlerini gösteren eğriler

Çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuş döküm, homojenize edilmiş, T6 ve T7 ısıl işlemleri uygulanmış alaşımın kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 5'te gösterilmektedir. Alaşımın dökülmüş durumundaki kırılma yüzeylerinde klivaj düzlemlerinin yanı sıra çukur ve tepeler bulunmaktadır. Benzer durum homojenizasyon işlemi uygulanmış alaşımın kırılma yüzeyinde de görülmektedir, ancak bu alaşım kırılma yüzeyleri daha dalgalı ve lifli bir görünüm sergilemektedir. Çözündürme ve su verme işleminden sonra farklı sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma işleminin ardından alaşımın kırılma yüzeylerinde bulunan klivaj düzlemleri büyümekte ancak bu düzlemlerin büyüklüğü artan yaşlandırma sıcaklığı ile azalmakta, çekme yönünde uzamış lifler meydana gelmektedir. Bu durum düşük sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma işleminden sonra $\alpha+\eta$ faz karışımın tane sınırlarında toplanmasından, artan yaşlandırma sıcaklığı ile söz konusu karışımın tane içerisinde çökelmesinden kaynaklanmış olabilir [11, 12, 15, 16].



13-16 NOVEMBER, 2023

0

Şekil 5. Çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuş a) dökülmüş, b) homojenize edilmiş, c-e) 100 °C, 150 °C ve 200 °C'de yaşlandırılmış alaşımın kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri



4. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Homojenizasyon ve T7 ısıl işlemlerinden sonra alaşımın dendritler arası bölgelerinde yer alan çinkoca zengin η fazı tüm yapıya homojen bir biçimde dağılırken, T6 işleminden sonra bu faz tane sınırlarında çökelmektedir.

2. Homojenizasyon işlemi alaşımın çekme dayanımı ve darbe tokluğu ile kopma uzamasını artırmakta ancak akma dayanımı ve sertliğini düşürmektedir.

3. T6 ısıl işlemi alaşımın mekanik özelliklerinde belirgin bir artışa yol açarken sünekliğini önemli oranda düşürmektedir.

4. T7 ısıl işleminde artan yaşlandırma sıcaklığı ile alaşımın mekanik değerleri azalırken sünekliği artmaktadır.

5. Dökülmüş ve T6 uygulanmış durumda gevrek kırılma davranışı sergileyen alaşım homojenize edilmiş ve T7 ısıl işlemi uygulanmış durumda nispeten sünek kırılmaktadır.

6. 150 °C sıcaklıkta bir saat yapılan yaşlandırma işlemi alaşımın mekanik ve süneklik özellikleri açısından en uygun sonuçları vermektedir. Bu sonuç ilgili alaşımlar için tanımlanan kalite indeksi formülünden (Kalite İndeksi=Çekme Dayanımı + 150 log(Yüzde uzama)) yararlanılarak elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimleri Laboratuvarında, SEM analizleri ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar değerli katkılarından dolayı tüm çalışanlara ve emeği geçenlere teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- 1. Savaşkan T., Murphy S., Decomposition of Zn–Al alloys on quench–aging, Materials Science and Technology. **1990**, 6(8):695-704.
- 2. Prasad B.K., Influence of heat treatment parameters on the lubricated sliding wear behaviour of a zinc-based alloy, Wear. **2004**, 257(11):1137-1144.
- 3. Prasad B.K., Patwardhan A.K., Yegneswaran A.H., Microstructure Property Characterization ot some Zn-Al Alloys: Effects of Heat Treatment Parameters, International Journal of Materials Research. **1996**, 87(12):967-971.
- 4. Sharath P.C., Udupa K.R., Kumar G.V.P., Effect of Multi Directional Forging on the Microstructure and Mechanical Properties of Zn-24 wt% Al-2 wt% Cu Alloy, Transactions of the Indian Institute of Metals. **2017**, 70(1):89-96.
- 5. Savaşkan T., Hekimoğlu A.P., Pürçek G., Effect of copper content on the mechanical and sliding wear properties of monotectoid-based zinc-aluminium-copper alloys, Tribology International. **2004**, 37(1):45-50.
- 6. Pürçek G., Savaşkan T., Küçükömeroğlu T., Murphy S., Dry sliding friction and wear properties of zinc-based alloys, Wear. **2002**, 252(11):894-901.
- 7. Savaşkan T., Bican O., Alemdağ Y., Developing aluminium–zinc-based a new alloy for tribological applications, Journal of Materials Science. **2009**, 44(8):1969-1976.
- 8. Shin S.-S., Won S.-J., So H., Lee S.-K., Kim K.-H., High-Strength Al-Zn-Cu-Based Alloy Synthesized by High-Pressure Die-Casting Method, Metallurgical and Materials Transactions A. **2020**, 51(12):6630-6639.
- 9. Alemdağ Y., Savaşkan T., Mechanical and tribological properties of Al–40Zn–Cu alloys, Tribology International. **2009**, 42(1):176-182.

HASAN KALNONCU 415"



- Savaşkan T., Alemdağ Y., Effects of pressure and sliding speed on the friction and wear properties of Al–40Zn–3Cu–2Si alloy: A comparative study with SAE 65 bronze, Materials Science and Engineering: A. 2008, 496(1):517-523.
- 11. Shin S.-S., Lim K.-M., Park I.-M., Effects of high Zn content on the microstructure and mechanical properties of Al–Zn–Cu gravity-cast alloys, Materials Science and Engineering: A. **2017**, 679340-349.
- 12. Zhou W.B., Teng G.B., Liu C.Y., Qi H.Q., Huang H.F., Chen Y., Jiang H.J., Microstructures and Mechanical Properties of Binary Al-Zn Alloys Fabricated by Casting and Heat Treatment, Journal of Materials Engineering and Performance. 2017, 26(8):3977-3982.
- 13. Murphy S., Solid-Phase Reactions in the Low-Copper Part of the Al-Cu-Zn System, International Journal of Materials Research. **1980**, 71(2):96-102.
- Savaşkan T., Bican O., Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al-25Zn-3Cu-(0-5)Si Alloys in the As-Cast and Heat-Treated Conditions, Tribology Letters. 2010, 40(3):327-336.
- Park M.-J., So H., Kim K.-H., Byeon J.-W., Kang L., Natural Aging Effect of Al-20Zn-3Cu Alloy on Mechanical Properties and Its Relation to Microstructural Change, Metals. 2021, 11(9):1485.
- Sivasankaran S., Ramkumar K.R., Ammar H.R., Al-Mufadi F.A., Alaboodi A.S., Irfan O.M., Microstructural Evolutions, Hot Deformation and Work Hardening Behaviour of Novel Al–Zn Binary Alloys Processed by Squeezing and Hot Extrusion, Metals and Materials International. 2021, 28998–1013.
GROWTH OF COMPOSITE COATINGS ON AL2024 ALLOY BY MICRO ARC OXIDATION MAO METHOD

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHNICAL UNIVE

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

AYSU KILIÇ^{*1}, BÜLENT ÖZTÜRK², SÜLEYMAN ŞÜKÜROĞLU³, EBRU EMİNE ŞÜKÜROĞLU⁴

¹Karadeniz Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Trabzon, TURKEY.

² Karadeniz Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Trabzon, TURKEY. ³ Gumushane University, Faculty of Health Sciences, Gumushane, TURKEY.

⁴ Gumushane University, Department of Mechanical Engineering, Gumushane, TURKEY.

Abstract

Aluminum (Al) is a metal belonging to the group of light metals, has high cell and thermal conductivity, good corrosion resistance in the atmosphere, easy manufacturability, and light feature such as low weight. These properties allow the widespread use of Al and its alloys in various industries such as aviation, automotive, construction, and electronics. However, in extremely aggressive environments (when pH is below approximately 4 or above 7) corrosion resistance and wear properties limit their use. Many surface treatments are applied to expand the surfaces and uses of Al alloys and surfaces. For this purpose, the surface of the Al 2024 alloy was coated with Micro Arc Oxidation (MAO), an electrochemical coating method. Composite coatings were grown on the surface of the Al 2024 alloy by adding zinc oxide (ZnO) and graphite particles into the electrolyte used in the MAO method. The effects of the particles included in the electrolyte on the microstructure of the coatings were characterized by XRD and SEM characterization techniques. With the addition of particles, it was determined that the porosity and the pore sizes in the structure of the coating growing on the surface decreased. It was also determined that the micro-cracks formed on the coating surface diminished.

Keywords: Al 2024 Alloy, Micro Arc Oxidation Method, Composite Coatings, ZnO, Graphite.





1. Introduction

HASAN KALNONCU 415"

Aluminum (Al) and its alloys are metals that belong to the group of lightweight metals and are widely used in the technical fields. They have several properties, such as low density, high electrical and thermal conductivity, resistance to atmospheric corrosion, and the ability to form high-strength alloys with other metals. For these reasons, Al and its alloys are extensively utilized in various industries including aviation, automotive, construction, and defense. Al holds the highest production quantity among non-ferrous metals and plays a significant role in various applications due to these characteristics [1, 2]. Starting from the aluminum production process, it interacts with oxygen due to the presence of an oxide layer on its surface. This oxide layer covers the aluminum's surface and provides resistance against corrosion. Due to this feature, Al is preferred in most corrosive environments. However, the structure of the oxide layer is compromised against certain acid, alkali, and salt solutions [3]. To enhance this characteristic, the surface treatments are applied to the Al and its alloys. These methods include various surface modification techniques such as physical vapor deposition, arc ion plating, plasma spraying, plasma nitriding, and plasma oxidation. Among these techniques, the most frequently used method is Micro Arc Oxidation (MAO), also known as Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) technique. Thanks to this technique, thick ceramic films with high mechanical properties are formed on the surfaces of the Al alloy. This enhances the mechanical characteristics, corrosion resistance, and wear behavior of Al and its alloys. MAO is a highly efficient and cost-effective method widely employed to increase attributes like wear resistance, hardness, and corrosion resistance in materials, and to generate thick protective coatings on valve metals and their alloys [4-10].

Coatings produced by the MAO process can be utilized as protective layers in spacecraft and rockets due to their high-temperature resistance. Taking advantage of the excellent dielectric properties of such coatings, their use in insulating environments is also feasible. In recent years, various additives like graphite, SiC, MoS₂, ZrO₂, graphene, TiO₂, Si₃N₄, and h-BN have been incorporated into the electrolyte to improve some properties of the coatings produced by the MAO method [5-8].

In this study, the surface of the Al 2024 alloy was coated with the MAO method. Composite coatings were grown on the surface of the Al 2024 alloy by adding zinc oxide (ZnO) and graphite particles into the electrolyte used in the MAO method. The effects of the particles included in the electrolyte on the microstructure of the coatings were characterized by XRD and SEM.

2. Materials and Methods

Al 2024 Al alloy samples $(25 \times 25 \times 2 \text{ mm})$ were polished with SiC abrasives and adjusted to Ra=0.19-0.22 µm roughness values, then washed with ethanol and distilled water and dried. The MAO process was performed by using the AC power supply in the bipolar mode. Graphite and zinc oxide (ZnO) were added to the electrolyte solution with Na₂SiO₃, Na₂HPO₄, and KOH and dispersed in a magnetic stirrer. During the coating process, the Al 2024 sample and the stainless steel bath were set as anode and cathode, respectively. The system parameters were set as voltage 450/-100V, duty cycle 10%, frequency 250 Hz, the processing time 15 min. The stainless steel bath was cooled with mains water to protect the electrolyte solution. Following the MAO process, the coated samples were placed in a drying oven at 100°C for the drying procedure.

The phase analyses of the samples were determined using Cu-K_{α} radiation with a wavelength of λ =1,5418 A°, a power value of 40 mA, and 46 kW at room temperature. The measurement values





were obtained within the scanning range of $10 \le 20 \le 90$, at a scanning rate of 0.017 degrees/s, and under scanning conditions of 0.1 degrees. Additionally, to examine the morphological structures of the samples after the MAO process, a Zeiss Evo LS 10 model scanning electron microscope (SEM) device was utilized.

3. Results and Discussion

HASAN KALNONCU 415"

The SEM images of surface morphology of unadditivated (additive-free), graphite, and zinc oxide (ZnO) additive coatings are given in Figure 1(a-c), respectively. As can be seen in Figure 1, a crater-like morphology was observed on all sample surfaces, resulting from microdischarge events occurring due to high temperature and pressure during the formation of the MAO coating. This morphology occurs due to the outflow of molten material through the microdischarge channel during sparking, which is inherent in the MAO method. It was stated that the diameter and density of the discharge channels change with the addition of additives to the electrolyte [11]. Investigating the surface morphologies shown in Figure 1, it appears that the samples with particle additives have more dense pores, reduced microcracks, and larger pore sizes. The deposition of particles added to the electrolyte on the coating is due to negative surface charges, which cause them to move toward the anode under the influence of the strong electric field resulting from the applied potential. There are many weak and small pores on the coating surface resulting from discharges.





Figure 1. The surface SEM images at x100 magnification of (a) unadditivated (additive-free), (b) graphite, and (c) ZnO additive coatings.



Unadditivated Graphite additive Zinc oxide additive

Figure 2. The variation of average pore size of the samples.

Figure 2 shows the variation of average pore size versus the unadditivated, graphite, and zinc oxide (ZnO) additive composite coatings. In the MAO process, the pores expanded as a result of multiple repetitions of the discharge channels. The average pore size of the coatings grown without adding additives to the electrolyte is $30.39 \ \mu\text{m}$. The pore sizes have changed with adding different particles to the electrolyte [11, 12]. The average pore sizes of the zinc oxide and graphite-added composite samples were determined as $26.80 \ \mu\text{m}$ and $22.21 \ \mu\text{m}$, respectively. As a result of the accumulation of the added particles on the surfaces of the composite coatings, smaller pores were formed compared to the unadditivated coating.

The SEM images of the thickness of unadditivated (additive-free), graphite, and ZnO additive coatings are given in Figure 3(a-c), respectively. Also, the value of the average coating thickness of the coatings is given in Figure 4.





Figure 3. SEM images of average coating thickness of (a) unadditivated (additive-free), (b) graphite, and (c) ZnO additive coatings.



Figure 4. The variation in average coating thickness of the samples.

When the oxide layer formed on the samples after the MAO coating was examined, it was seen that the average coating thickness of the sample with ZnO added was the highest. The reason for this is that the additives added to the electrolyte increase the electrolyte conductivity. This situation accelerated the formation of gas bubbles on the sample surfaces [13, 14]. It is reported in the literature that the conductivity of the electrolyte as well as the particle size of the additives increases with increasing coating thickness [14].

The XRD graphs of the samples coated using the MAO method are provided in Figure 5. The phases present in the formed oxide layer are predominantly α -Al₂O₃ and γ -Al₂O₃. It has been determined that the phase ratios in the oxide layer change with the addition of additives in the coating. The presence of additives has led to variations in the thickness of the oxide layer formed on the surface, as well as the formation and alteration of phase quantities [9, 10]. In addition to



HASAN KALNONCU 415" SHI



these phases, the presence of graphite and ZnO phases has been identified in samples with ZnO and graphite additives, respectively.



Figure 5. The XRD patterns of (a) substrate material, (b) unadditivated (additive-free), (c) graphite, and (d) ZnO additive coatings.

4. Conclusions

In this study, the surface of the Al 2024 alloy was coated with the MAO method. Composite coatings were grown on the surface of the Al 2024 alloy by adding zinc oxide (ZnO) and graphite particles into the electrolyte used in the MAO method. The results are summarized below;

- The coatings exhibited a porous, rough, and microcracked surface morphology due to the nature of the MAO coating.
- The ZnO-doped coatings were thicker and also had a more homogeneous surface morphology.
- The addition of additives has been found to lead to a reduction in microcracks and the size of formed pores on the coating surface.
- > The phases present in the formed oxide layer are predominantly α -Al₂O₃ and γ -Al₂O₃. Additionally, in samples with graphite and zinc oxide additives, peaks corresponding to graphite and ZnO have been detected.

References

 Zhao, D., Lu, Y., Wang, Z., Zeng, X., Liu, S. ve Wang, T., 2015. Antifouling Properties of Micro Arc Oxidation Coatings Containing Cu2O/ZnO Nanoparticles on Ti6Al4V, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 54, 417-421. 

- Jianzhuo Z., Weibing D., Xishu W., Yaming W., Haitao Y., Qiang L., Xinle Y., Chenguang G., Changyou L., 2023. Micro-arc oxidation of Al alloys: mechanism, microstructure, surface properties, and fatigue damage behavior, Journal of Materials Research and Technology, 23, 4307-4333.
- Şimşek, M., 2014. Mikro Ark Oksidasyon ile Al203 Kaplanmış AA7075 Alaşımının Kuru ve Yağlı Şartlarda Sürtünme ve Aşınma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İsparta.
- Clyne T.W., Troughton S.C., 2019.A review of recent work on discharge characteristics during plasma electrolytic oxidation of various metals, Int Mater Rev, 64,127-162.
 5Yang Y., Chen H., Zhao B., Bao, X., 2004. Size Control of ZnO Nanoparticles Via Thermal Decomposition of Zinc Acetate Coated on Organic Additives, Journal of Crystal Growth, 263, 1-4, 447-453.
- 5. Martin J., Haraux P., Ntomprougkidis V., Migot S., Bruyère S., Henrion G., 2020. Characterization of metal oxide micro/nanoparticles elaborated by plasma electrolytic oxidation of aluminium and zirconium alloys, Surface and Coatings Technology, 397, 125987.
- 6. Gromov A., Nalivaiko A., Fehn T., Yahya D.P.M., Osipenkova A., Koleczko A., Knapp Teipel S., U., 2019, Cathode plasma electrolysis in diluted potassium hydroxide solutions: particles formation and energetic estimation, J. Electroanal. Chem., 844, 155-160.
- 7. Liu C., Meng Y., Jia W., Zhang W., Zhao Q., Tian Y., 2018. Peanut shaped titanium oxide micro-particles achieved by cathode plasma electrolysis and their electrorheological characteristics, Smart Mater. Struct., 27, 115017.
- Yang, Y. ve Wu, H., 2010. Effects of Current Frequency on the Microstructure and Wear Resistance of Ceramic Coatings Embedded with SiC Nano-particles Produced by Microarc Oxidation on AZ91D Magnesium Alloy, Journal of Materials Science & Technology, 26, 10, 865-871.
- 9. Gu, Y., Bandopadhyay, S., Chen, C.-f., Guo, Y. ve Ning, C., 2012. Effect of Oxidation Time on the Corrosion Behavior of Micro-Arc Oxidation Produced AZ31 Magnesium Alloys in Simulated Body Fluid, Journal of Alloys and Compounds, 543, 109-117.
- Bordbar-Khiabani, A., Yarmand, B. ve Mozafari, M., 2019. Enhanced Corrosion Resistance and in-Vitro Biodegradation of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings Prepared on AZ91 Mg Alloy Using ZnO Nanoparticles-Incorporated Electrolyte, Surface and Coatings Technology, 360, 153-171.
- Liu, W., Pu, Y., Liao, H., Lin, Y. ve He, W., 2020. Corrosion and Wear Behavior of PEO Coatings on D16T Aluminum Alloy with Different Concentrations of Graphene, Coatings, 10, 3, 249.
- 12. Babaei K., Fattah-alhosseini A., Molaei M., 2020. The effects of carbon-based additives on corrosion and wear properties of Plasma electrolytic oxidation (PEO) coatings applied on aluminum and its alloys: a review, Surfaces and Interfaces. 21, 100677.
- Zuo, Y., Li, T., Yu, P., Zhao, Z., Chen, X., Zhang, Y. ve Chen, F., 2019. Effect of Graphene Oxide Additive on Tribocorrosion Behavior of MAO Coatings Prepared on Ti6Al4V Alloy, Applied Surface Science, 480, 26-34.
- Kaplan, E., Sukuroglu, E. E. ve Cuvalci, O., 2021. Investigation of Characterization and Tribological Behavior of Composite Oxide Coatings Doped with h-BN and Graphite Particles on ZA-27 Alloy by Micro-Arc Oxidation, Journal of Adhesion Science and Technology, 35, 12, 1305-1319.



DISCOVERY THE STRATEGY ON ENHANCEMENT OF CARBON QUANTUM DOTS CONDUCTIVITY AS POTENTIAL FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE DEVELOPMENT

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KANONCU 15" KARADENIZ UNIVERSITY 15" KARADENIZ UNIVERSITY 15" KARADENIZ

HARIVALAGAN SIVA KUMAR¹, SITI AISYAH SHAMSUDIN^{*1}

¹Universiti Kebangsaan Malaysia, Faculty of Science and Technology, Department of Applied Physics, Bangi, MALAYSIA.

Abstract

Carbon Quantum Dots (CQDs) can be produced from various sources including organic biomasswaste, which is able to avoid the disposal of biomass, that resulted in releasing pollutants to the environment. While Quantum Dots (QDs) are generally known to be dangerous to the health and negatively impact environment. It is known that CQDs from biomass waste provide various advantages such as renewable and sustainable precursor material, low toxicity, and good biocompatibility. Furthermore, stability, and high conductivity of CQDs are important in electronics and optoelectronics, solar cells, sensing and detection, energy storage and transparent conductive films applications. However, CODs from biomass-waste give a low conductivity value and large energy band gap and easily agglomerate. Therefore, doping is necessary due to being able to increase the conductivity, narrow the band gap energy and stabilize the colloidal system of CQDs. Hence, this study has doped nitrogen-based compound is added for surface passivation of CQDs which results the material N-CQDs. The N-CQDs have been synthesized in two methods to identify the difference in interaction of nitrogen to carbon atoms of CQDs to produce N-doped CQDs (N-CQDs), which are in-situ and coating. The result of UV-Vis absorbance shows, the in-situ method has retained the absorption peaks of n- π and π - π , while the coating method only occurs π - π peak. Nevertheless, FTIR has shown both methods have produced N-CQDs with similar nitrogen-carbon bonding with similar intensity peaks. Furthermore, the conductivity and the stabilization of CQDs have increased while producing using in-situ method as compared to coating method because CQDs obtain in highly alkaline medium and give high negative charge as from zeta potential results. Consequently, this study shows that in-situ method has produced N-CQDs with high conductivity due to optimization of the processing method (pressure and temperature) during synthesis of N-CQDs.

Keyword: Carbon Quantum Dots, Biomass-waste, Nitrogen-based dopant, Supercapacitor, EDLC

EFFECTS OF SILVER SOURCE SOLUTION MOLARITY ON THE ELECTROLESS SILVER COATING OF RECYCLED TI-GRADE 4 PARTICLES

13-16 NOVEMBER, 2023

TEMEL VAROL^{*1,2}, SERHATCAN BERK AKÇAY¹, ÜMİT ALVER¹, MURAT BEDER³

¹ Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, Trabzon, TÜRKİYE.

² Karadeniz Technical University, Medical Device Design and Production Application and Research Center, Trabzon, TÜRKİYE.

³Gümüşhane University, Department of Mechanical Engineering, Gümüşhane, TURKEY.

Abstract

Titanium (Ti) is a metal widely used in engineering applications due to its high mechanical properties and low density. Its superior properties make titanium suitable for many different sectors such as biomedical, aerospace, space and automotive. This study focused on the effects of the molarity of the silver source solution used in the silver coating bath on the plating layer in the electroless silver plating process on Ti-Grade 4 powders obtained from waste titanium chips based on recycling. In the experimental studies, the molarity of the silver source solution was chosen as variable while the amount of reducing agent was used as constant. Characterization analysis of coating layer was carried out using scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), and X-ray diffraction (XRD). According to XRD results, the silver coated Ti-Grade 4 particles showed both silver and Ti peaks. Moreover, all characterization procedures show that the coating layer is more effectively with increasing silver source solution molarity.

Keyword: Electroless Coating, Powder Metallurgy, Surface Coating, Silver, Titanium.

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415"

Titanium (Ti) is a material suitable for use in engineering with its low density (4.5 g/cm³), high melting temperature (1670 °C), corrosion resistance, suitability for use at high temperatures and superior mechanical properties. Thanks to its superior properties, it is used in the production of qualified products in many different fields such as aviation, defense and medicine. However, the high cost of production of titanium and its alloys is a disadvantage in addition to all these superior properties [1–3]. Therefore, the recycling of titanium and its alloys is of great importance both to eliminate environmental pollution and to reduce production costs. There are various studies on the recovery of titanium in the literature. Valighazvini et al. (2013) conducted a study on the recovery of titanium by evaluating blast furnace slag with various experiments. As a result of their study, they revealed that titanium can be recovery of titanium powders from waste titanium chips. As a result of their study, they revealed that qualified and high value-added titanium powders can be produced by evaluating the waste titanium with a suitable process [5]. Titanium and its alloys have



many superior properties, but the easy reaction of titanium with oxygen reduces its oxidation resistance. This limits the usability of titanium in a number of applications. To solve this problem, titanium can be alloyed with various elements. In addition, surface coating method, which is one of the innovative methods, is also used to solve this problem [6]. Coating metals with other metals or metals with high oxidation resistance in order to increase their oxidation resistance is a subject that is being studied in the literature. Among these metals, silver (Ag), with its high oxidation resistance, is a coating metal used to increase oxidation resistance. In a study in the literature, when the sheet resistivity values of copper particles coated with silver by electroless plating method are examined according to oxidation time, it is understood that low sheet resistivity values are obtained even at very high oxidation times with increasing silver content in the structure [7]. In another study, it was observed that after silver plating on copper particles by electroless plating method, oxidation resistance was highly increased compared to pure copper [8]. There are literature studies on the coating of various metals using electroless plating method for titanium powders. In a study conducted by Zangeneh-Madar and Jafari in 2013, experimental studies were carried out on the coating of pure titanium powders with nickel by electroless plating method. After the studies, it was determined that the nickel layer was located on the titanium powders as a result of the 1h coating process [9].

In this study, experimental studies on silver plating and characterization by electroless plating method on titanium-grade 4 particles obtained by recovery within the scope of our previous study were carried out. The effects of changing the molarity of the silver source solution, one of the most important components of the electroless silver plating process, on the electroless silver plating process on titanium while all other plating parameters where constant were investigated.

2. Materials and Methods

HASAN KALNONCU 415"

The aim of this study, Ti-Grade 4 particles produced by mechanical milling method on a recycling basis were produced within the scope of our previous study [5]. Electroless silver plating process was carried out using silver nitrate (AgNO₃) as silver source solution, potassium-sodium tartrate ($C_4H_4O_6KNa$) as reducing agent solution and ammonium hydroxide as pH regulating solution. The chemical solutions used in electroless plating processes have 99.9%< purity. The experimental parameters used for electroless coating processes are shown in Table 1. As seen in Table 1, the molarity of the silver nitrate solution was varied while the molarity of the reducing agent solution was kept constant in this study for electroless silver plating on recycled titanium powders. After the coating process, the waste solution and silver-coated titanium powders were separated from each other by filtration. The silver-coated titanium powders were then washed 3 times with distilled water and 3 times with analytically pure ethyl alcohol to remove chemical residues on the surface of the silver-coated titanium powders. After washing, the silver-coated titanium powders were dried in an oven under vacuum atmosphere.

Sample Code	AgNO ₃ (M)	C4H4O6KNa (M)
S1	0.04	
S2	0.06	0.06
S3	0.08	0.06
S4	0.12	

Table 1. Parameters of electroless coating





Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrum (EDS) were used to investigation of morphology and elemental distribution of silver coated titanium-grade 4 particles. Coating layer characterization was carried out using cross-sectional investigation of the silver coated titanium-grade 4 particles with SEM and EDS. Silver coated Ti-Grade 4 particles firstly molded with epoxy resin in a mold and then cured. After the completing of curing the bulk materials was sanded with wet-sandpapers and polished with alumina solution to obtain cross-sectional surface of the silver coated particles. In addition, to investigate of the crystal structure of particle X-ray diffraction (XRD) was used.

3. Results and Discussion

HASAN KALMONCU 415" ----

The morphology images of the silver coated Ti-grade 4 particles were shown in Fig.1-4 for S1, S2, S3 and S4 coded samples, respectively. As seen in Fig.1, the silver coating layer is lower, and the homogeneous coating layer is not achieved. Similarly, as can be seen for sample S2 (Fig.2), the silver coating layer has become more prominent compared to S1, but there is still no homogeneous coating layer on the surface. As can be seen from the morphology images of samples S3 and S4 (Fig.3 and Fig.4), increasing the molarity of the silver source solution contributed significantly to the prominence of the coating layer. Thus, it is understood that a more effective coating layer can be obtained by increasing the molarity of the silver source solution in electroless silver plating processes using constant reducing agent molarity. Similar results in coating studies carried out with electroless coating method are also found in the literature. Shu et al. (2015) studied parameter optimization for Ni-W-P coating and found that the elemental structure of the coating layer is directly affected by increasing or decreasing the proportions of the components used in the coating bath [10]. Cheng and Leung (1999) in their study on the effects of bath composition on the results of electroless plating process revealed that the initial bath concentration is like the final plating layer [11]. From this point of view, adding a higher proportion of silver source solution to the bath initially will result in a more concentrated silver content in the final coating. Hai et al. (2006) studied the effects of variables such as feed rate of silver ion solution, coating time and molar ratio of activation components on electroless silver coating and found that each coating parameter affects the properties of the final coating layer [12]. From this point of view, in this study, the effects of using the molarity of the silver nitrate solution used in the plating bath for the electroless silver plating process at 4 different ratios on the final plating layer were investigated and as a result, it was determined that a more homogeneous and denser silver plating layer can be obtained as a result of the plating process starting with increasing silver source solution molarity, that is, with more silver ion amount. As seen in Fig.1-4 the results are consistent and accordance with literature studies.





•

Figure 1. Morphology image of the S1 coded sample



Figure 2. Morphology image of the S2 coded sample



Figure 3. Morphology image of the S3 coded sample



13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALMONCU

TICMET'2

Figure 4. Morphology image of the S4 coded sample

Cross-sectional investigation images and EDS mapping analysis of the silver coated Ti-Grade 4 particles were shown in Fig.5-8 for S1, S2, S3 and S4 coded samples, respectively. The silver layer can be seen clearly in cross-sectional images. In addition, like morphology images, increasing silver source solution molarity was caused to obtain more thick and homogeneous silver layer on the Ti-grade 4 particles. When the particle surfaces were examined in morphology examinations, it was explained that there was the presence of a silver layer because of all coating processes, but a more effective silver coating layer was obtained with an increase in the molarity of the silver source solution. As seen in the cross-sectional images, the explanations made for the morphology images are confirmed by the cross-sectional images. In addition, if the coating layers are examined from the cross-sectional images, no porosity or similar defects are observed between the coating layer and the underlying powder. This result supports the successful realization of the electroless silver coating process. Wang et al. (2021) performed Cu coating on Ti powders in their study. They revealed that time, one of the process parameters in the electroless Cu coating process, has a direct effect on the coating layer. After the experiment carried out for 30 minutes, there were empty areas on the Ti powder, but as a result of the 60- and 90-min experiments, very dense and voidfree coating layers were obtained [13]. From this perspective, process parameters in the electroless coating process directly affect the properties and structure of the final product. Within the scope of this study, the effect of the molarity of the silver ion source solution also showed an effect in accordance with literature studies. Moon et al. (2008) investigated the electroless coating on glass fiber. They conducted experimental studies and they reported the thickness of coating layer is increasing by increasing silver nitrate amount in the coating bath of the electroless silver coating [14].



 (\mathbf{f})

Figure 5. Coating layer cross-sectional image and EDS mapping analysis of S1 coded sample



Figure 6. Coating layer cross-sectional image and EDS mapping analysis of S2 coded sample



HASAN KAINONCU 415"





Figure 7. Coating layer cross-sectional image and EDS mapping analysis of S3 coded sample



Figure 8. Coating layer cross-sectional image and EDS mapping analysis of S4 coded sample

XRD patterns were shown in Fig.9 for silver coated Ti-Grade 4 particles. As seen in Fig.9, the silver peaks can be clearly seen for all samples. Silver (JCPDS 04-0783) and titanium (JCPDS 44-1294) have diffraction pattern at approximately 38.15° and 38.42°. In our previous study, the highest diffraction pattern for Ti-Grade 4 was observed at about 40° [5,8,15,16]. However, in this study, with the silver coating layer, the highest diffraction pattern was obtained at about 38°. This result reveals that a successful coating process was carried out in all experiments. However, a careful examination of the XRD patterns shows that the intensity values of the silver peaks increase with increasing molarity of the silver source solution. This reveals the presence of a denser silver coating layer. A similar result is found in a study conducted by Lin et al. in 2015. In their study,



they performed various experiments for the coating of BaLi₂Ti₆O₁₄ powders and investigated the effects of silver content in XRD analysis. As a result of their study, they revealed that diffraction patterns of silver were observed as a result of all coating processes in addition, that the peaks became more prominent and higher with increasing silver content [17].



Figure 9. XRD Patterns of the samples

4. Conclusions

HASAN KALNONCU 415" SHI

In this study, the effects of silver source solution molarity variation, one of the coating parameters, on the silver coating process on Ti-Grade 4 in the electroless silver plating process on recycled Titanium-Grade 4 particles were investigated. As a result of the experimental studies, the presence of a silver layer was detected in all experiments. However, it was understood that a more homogeneous and higher thickness silver layer could be obtained with increasing silver source solution molarity.

Acknowledgments: This study supported by Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) (Project number: 122M371) and Office of Scientific Research Projects of Karadeniz Technical University (Project number: FBA-2022-10484). The authors would like to thank Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK), Office of Scientific Research Projects of Karadeniz Technical University and AGS Medikal Factory for their contributions to this study.

References

- 1. C. Veiga, J. P. Davim, A. J. R. Loureiro. Properties and applications of titanium alloys: A brief review. Rev Adv Mater Sci 2012;32:133–48.
- 2. G Welsch, R Boyer EC. Materials Properties Handbook: Titanium Alloys ASM



International. 1994.

HASAN KALNONCU 415"

- 3. Sha W, Malinov S. Titanium Alloys: Modelling of Microstructure, Properties and Applications. 2009. https://doi.org/10.1533/9781845695866.
- 4. Valighazvini F, Rashchi F, Khayyam Nekouei R. Recovery of titanium from blast furnace slag. Ind Eng Chem Res 2013;52:1723–30. https://doi.org/10.1021/ie301837m.
- 5. Çuvalcı O, Varol T, Akçay SB, Güler O, Çanakçı A. Effect of ball mill time and wet premilling on the fabrication of Ti powders by recycling Ti machining chips by planetary milling. Powder Technol 2023;426. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118637.
- Dai J, Zhu J, Chen C, Weng F. High temperature oxidation behavior and research status of modifications on improving high temperature oxidation resistance of titanium alloys and titanium aluminides: A review. J Alloys Compd 2016;685:784–98. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.06.212.
- 7. Xu X, Luo X, Zhuang H, Li W, Zhang B. Electroless silver coating on fine copper powder and its effects on oxidation resistance. Mater Lett 2003;57:3987–91. https://doi.org/10.1016/S0167-577X(03)00252-0.
- 8. Varol T, Güler O, Akçay SB, Aksa HC. The effect of silver coated copper particle content on the properties of novel Cu-Ag alloys prepared by hot pressing method. Powder Technol 2021;384:236–46. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.020.
- 9. Zangeneh-Madar K, Jafari A. Characterisation of electroless nickel plated titanium powder. Surf Eng 2012;28:393–9. https://doi.org/10.1179/1743294411Y.0000000067.
- 10. Shu X, Wang Y, Lu X, Liu C, Gao W. Parameter optimization for electroless Ni-W-P coating. Surf Coatings Technol 2015;276:195–201. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.06.068.
- Cheng YS, Yeung KL. Palladium-silver composite membranes by electroless plating technique. J Memb Sci 1999;158:127–41. https://doi.org/10.1016/S0376-7388(99)00009-5.
- 12. Hai HT, Ahn JG, Kim DJ, Lee JR, Chung HS, Kim CO. Developing process for coating copper particles with silver by electroless plating method. Surf Coatings Technol 2006;201:3788–92. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.03.025.
- 13. Wang C, Zeng L, Ding W, Liang T. Novel fabrication of low-cost Ti–Cu alloy by electroless copper plating and vacuum sintering. Vacuum 2021;191. https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110330.
- 14. Moon JH, Kim KH, Choi HW, Lee SW, Park SJ. Electroless silver coating of rod-like glass
particles.2008;108:1307–10.https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2008.04.070.2008;108:1307–10.
- 15. Zeng L, Wei X, Miao J, Zhang R, Zhang J, Zhou M, et al. Preparation and investigation of a Ni–B-assisted SnO2–Sb anode for electrooxidation of phenol. J Solid State Electrochem 2021;25:1541–53. https://doi.org/10.1007/s10008-021-04923-z.
- 16. Syed B, Nagendra NP, B.L. D, Mohan Kumar K, Yallappa S, Satish S. Synthesis of silver nanoparticles by endosymbiont Pseudomonas fluorescens CA 417 and their bactericidal activity. Enzyme Microb Technol 2016;95:128–36. https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2016.10.004.
- 17. Lin X, Wang P, Li P, Yu H, Qian S, Shui M, et al. Improved the lithium storage capability of BaLi2Ti6O14 by electroless silver coating. Electrochim Acta 2015;186:24–33. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.10.175.



RAPID TOOL MANUFACTURING FOR LOW PRESSURE INJECTION MOLDING USING DLP 3D PRINTING: A CASE STUDY

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER TRABZON - TÜRKIYE

ÖMER EYERCİOĞLU¹, DIMA BABI¹

¹Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Gaziantep, Turkey.

ABSTRACT

Injection molding is one of the most widespread manufacturing processes to produce polymeric parts. Typically, most molds for mass production are made of tool steel, ensuring long tool life. On the other hand, there is a significant drawback of such a rigid tool that it requires a lot of time and cost to produce, and as a result of the mentioned reasons it makes it really difficult to overcome the tooling costs in case of prototypal production or small batches. This study worked on combining two methods, low-pressure injection molding (for production via injection of material) with 3D printing/digital light processing DLP (for mold design). This type of hybrid manufacturing provides a cheaper alternative than aluminum/steel molds. These injected molds provide the opportunity to produce complex, bespoke parts with improved productivity and shorter lead times. A straight bevel gear was chosen for the case study, and solid models of the gear and a two-piece mold of it were prepared by using a design software. The mold was printed using UV-sensitive resin, and high-density polyethylene was injected into the 3D printed mold using a simple in-set prepared injection machine. The resulting parts have had a good finishing quality and dimensional accuracy. The results show that the combination of additive manufacturing and injection molding is a robust hybrid method for low-quantity production. The 3D printed molds could be used many times by controlling the injection temperature, which ensures rapid tooling production.

Keywords: Rapid tooling, Additive manufacturing, DLP, injection molding.

1.Introduction

Injection molding is widely used for the manufacturing of polymeric parts. During this process, melted polymers are injected at high pressure in metal molds. Typically, most molds for mass production are made of tool steel, ensuring long tool life. What distinguishes this process most from other manufacturing processes is its relatively high tool (mold) cost and the long time it takes for mold manufacturing. This makes the injection molding process high in cost and low in economic feasibility when used to produce prototypes or for small batches [1]. Therefore, relying on additive manufacturing has greatly helped in overcoming these drawbacks, as it constitutes a practical solution to reduce tooling costs and manufacturing times for molds and inserts [2].

Although the main aim of Rapid Tooling was to reduce cost and time of production it is also used for the increasing need to customize products. Nowadays most rapid tools are typically produced by AM (Additive Manufacturing) which ensures obtaining complex shapes [3].





The principle of additive manufacturing is the process of joining materials using computer-aided design (CAD) software to deposit material, layer upon layer, in precise geometric shapes till finally the final part, generally without the need for after-milling or finishing processes. Although the great benefits we get by using additive manufacturing, there are also a lot of disadvantages with this method like a long time of 3D printing, relatively high cost compared to the parts number that could be produced, and pre-preparation processes. Also, the inter-bonding strength and porous structure because of the layering material building mechanism may result in anisotropic mechanical properties, and the proportionally rough surfaces are the other possible drawbacks. All of the mentioned issues led to the idea of combining additive manufacturing with the injection method to become one of the rapid tools for prototyping [4-5].

Digital Light Processing (DLP) is one of the additive manufacturing methods where a 3D printer projects the image of the part's cross-section onto the resin surface, and where a video UV light projector is used to provide the resin polymerization process. The resin continues to harden as a result of its exposure to ultraviolet rays continuously, layer after layer, simultaneously with the device's axis moving towards the z-axis, which ultimately ensures the piece is completely built with high finishing accuracy and fewer defects [6].

This study is concerned with the possibility of combining two methods, low-pressure injection molding (for production via injection of material) with 3D printing/digital light processing DLP (for mold design). The study covers controlling the process parameters, till getting at last the best results while maintaining time and cost at minimum levels. A straight bevel gear was chosen for the case study, and solid models of the gear and a two-piece mold of it were prepared by using a design software. The mold was printed using UV-sensitive resin, and high-density polyethylene was injected into the 3D printed mold using a simple in-set prepared injection machine.

2. Materials and procedure

A straight bevel gear was chosen for the case study, and solid models of the gear and a two-piece mold of it were prepared by using design software. The specifications of the bevel gear are given in Table 1. The mold was designed as a two-piece, namely upper and lower mold with necessary drafts to ensure ejecting the injected molded part easily. The solid models of the mold components were designed by using SolidworksTM Software and final models for 3D printing were generated in STL format. The mold components were prepared for printing using AnycubicTM Workshop Software. The layer thickness and infill density were set as 50 µm and 100%, respectively. Due to the cylindrical flat bases of the components, any support was not required. Figure 1 shows the solid models of the bevel gear and its upper-lower mold.

HASAN KANDONCU 15" MARADANIZ UNIVERSITY 15" MARADANI CONVERSITESI UNIVERSITY 15" MARADANI CONVERSITESI MARADANI CONVERSITESI



Type of gear	Straight Bevel Pinion 1M 12PT
51 8	ິ
	Z
Module	l
Number of teeth	12
İnnər diamətər	5 mm
miler utameter	5 11111
Pressure angle	20 °
Tressure ungle	20
E: 44h	0
Face width	9 mm
Hub diameter	16
Mounting	15 mm
1:	10 1111
distance	
Nominal shaft	5 mm
diameter	
anumeter	
Tanar angle	70 °
raper angle	/0

Table 1. Specifications of the bevel gear.



Figure 1. Solid models of the bevel gear and its upper-lower mold.

The generated slicing file was then loaded to the DLP printer. Two bottom layers of 60 s exposure time was enough to ensure sticking the building plate and 8 s exposure time was successfully cured the further layers. The printer is an LCD-based one and has a UV-integrated light (wavelength 405nm) source. Its XY resolution is 47 microns (2560x1440) and 50W in power. The printing was taken 70 minutes.

A high-temperature resin (Phrozen TR300) was used as the photosensitive resin for DLP printing. The chemical composition of the resin includes acrylate oligomer, Tris (2-hydroxy ethyl) isocyanurate triacrylate, acryloyl morpholine, diphenyl (2, 4, 6-trimethyl benzoyl) phosphine oxide <5%), and pigment <1%. Table 2 shows the mechanical and physical specifications of Phrozen TR300 resin as the manufacturer has stated on its website.



HASAN KALMONCU 15" M KARADENIZ UNIVERSITY 15" M KARADENIZ

Table 2. Physical and mechanical properties of PHROZEN TR300 high temperature 3D resin.

Density	1.17 g/cm3
Viscocity	160-250 Cp
Surface hardness	80 Shore D
Tensile stress at break	54 Mpa
Elongation at break	2%
Notched izod impact	20.2 J/m
Tensile mudulus	2749 Mpa
HDT at 0.45 Mpa	156 °C
Tg	220 °C

After printing was completed, the molds were washed to remove any excess resin from the surface of them. Isopropyl alcohol (IPA) was used as a solvent to remove the sticky resin and it took 4 minutes. Post-curing is then performed for about 2 minutes under UV light of 40W. For washing and post-curing Anycubic wash and cure machine was used as shown in Figure 2.



Figure 2. DLP 3D photon printer and wash-and-cure machine.

The injection molding process was followed after the mold assembly was completed. The 3Dprinted molds were replaced in a cylindrical cavity of the aluminum block. The purpose of the aluminum block is to further support the mold insert against injection pressure. A simple, small in-set prepared manual injecting machine was used for injection molding which is a low-pressure machine, shown in Figure 3. 13-16 NOVEMBER, 2023 KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER

TRABZON - TÜRKİYE





Figure 3. The simple injection machine used.

Commercial high-density polyethylene granules were used for the gear material. The chamber of the injection machine was filled with the polymer granules, and heated to the injection temperature. The melting point of HDPE is 131 °C, but the injection temperature must be higher to be sure that the filling of the mold is complete.

3.Results and discussion

The overheating temperature was found by a trial-and-error method for simplicity, otherwise, a mold-filling simulation should be required. Finally, proper mold filling was found at 185 °C injection temperature. The injection temperature is dependent on the injection material, the geometry, and the runner system of the mold. For longer mold filling time, more overheating may require. Unfortunately, more overheating is also limited due to the danger of degrading the liquid polymer. After injection, the pressure was held on for a while to overcome any shrinkage cavity forming. Due to the lower heat conductivity of the mold material (polymer), the ejection of the gear from the die was done for about 3 minutes after for proper solidification and cooling of the gear.

The injection process was repeated three times using the same mold. However, the mold maintained its shape and dimensions without being exposed to damage that prevented it from continuing its work. Likewise, the injected parts were of acceptable quality and very similar in external appearance. Figure 4 shows the mold assembly components including the aluminum support case, while Figure 5 presents the designed model and injected part.









Figure 4. The mold assembly components together with the injected part.



Figure 5. The bevel gear a) designed model b) injected part.

The overall process cycle of rapid injection mold manufacturing via additive manufacturing is schematically presented in Figure 6.



Figure 6. The process cycle of rapid injection mold manufacturing via additive manufacturing.

machine

4.Conclusions

This study worked on combining two methods, low-pressure injection molding (for production via injection of material) with 3D printing/digital light processing DLP (for mold design). The hybrid manufacturing method given in this study provides a cheaper alternative than aluminum/steel molds. These injected molds provide the opportunity to produce complex, bespoke parts with improved productivity and shorter lead times. From the study, it can be concluded that the combination of additive manufacturing and injection molding is a robust hybrid method for low-quantity production. The 3D printed molds could be used many times by controlling the injection temperature, which ensures rapid tooling production.





Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the contributions of the Scientific Research Projects Unit (BAPYB) of The Gaziantep University.

Author contributions

Omer Eyercioglu: Supervision, experimental study, writing - review & editing, validation.

Dima Babi: methodology, resources, experimental study, writing - original draft, validation, visualization.

References

- 1. Bagalkot, D. Pons, D. Clucas, and D. Symons, "A methodology for setting the injection molding process parameters for polymer rapid tooling inserts, "Rapid Prototyp. J., no. January, p. RPJ-10-2017-0217, Jan. 2019.
- 2. Daniele Fariolia , Matteo Stranoa , Francesco Briatico Vangosab , Veronica Geraldine Zaragozac , Andrea Aicard, Rapid tooling for injection molding inserts, 24th International Conference on Material Forming (ESAFORM 2021).
- C. M. Cheah, C. K. Chua, C. W. Lee, C. Feng, and K. Totong, "Rapid prototyping and tooling techniques: A review of applications for rapid investment casting," Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 25, no. 3–4, pp. 308–320, 2005.
- 4. Hegab,H.A, design for additive manufacturing of composite materials and potential alloys; a review, manufacturing review.2016,3,11.
- Guardia, L, Fiore, O, Lovo Italo, P, De Camargo, L, Rejane, C, Carlos, C, Fortulan, A, 3D DLP additive manufacturing: printer and validation, 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, January, 2017.
- 6. VELLA A, ROCHMAN Arif, VELLA P, Rapid tooling development for low volume injection molding of cosmetic compacts, ESAFORM 2023 Materials Research Forum LLC Materials Research Proceedings 28 (2023) 207-216.



13-16 NOVEMBER, 2023

RARADENIZ TECHNICAL UN PROF DR OSMAN TURAN CULTURE AND CO

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

OMER EYERCIOGLU¹, ENGIN TEK^{*2}, MEHMET ALI AKELOGLU³, MEHMET ALADAG³

¹ Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep, Türkiye ² Gedik University, Gedik Vocational High School, Mechatronics Program, Istanbul, Türkiye ³ Bialystok University of Technology, Mechanical Engineering Faculty, Bialystok, Poland

Abstract

Additive Manufacturing (AM) is one of the most studied technologies to produce different parts today. Large-scale additive manufacturing (LSAM) is used to produce complex parts without further technological processes and for the production of large-sized polymer parts. In order for the parts produced from polymer materials to show better mechanical properties, a range of different materials is required. In this study, the tensile properties of 3D printed ABS single wall parts using LSAM were investigated experimentally. The effect of carbon fiber (0, 5%, and 10%) additive on the main mechanical properties of ABS was investigated. The tests were carried out according to ASTM D638 standards as the spatial printing direction (0° and 90°). According to the results of the tensile test, ABS material reinforced with 5% carbon fiber showed higher load resistance than other mixture ratios. In all groups, it was observed that the samples with a horizontal (0°) orientation compared to the printing direction showed better performance.

Keyword: Additive Manufacturing (AM), Large Scale Additive Manufacturing (LSAM), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Tensile Strength

OPTIMAL ENRGY MANAGEMENT SYSTEM IN A GRID-CONNECTED RENEWABLE HYBRID SYSTEM WITH DIRECT POWER CONTROL

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU

TICMET'2

FATIMA MENZRI^{*1}, TAREK BOUTABBA², MUSTAFA ERGİN ŞAHİN ³

¹ L'arbi Ben M'hid Oum Bouaghi University, Science and applied science Faculty, electrical engineering Department, Oum Bouaghi, ALGERIA.

² Department of Electrical Engineering, University of Abbas Laghrour Khenchela, LSPIE laboratory, ALGERIA.

³ Department of Electrical and Electronics Engineering, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize 53100, Turkey

Abstract

For grid-connected pulse-width modulation PWM converters, the Direct Power Control technique DPC has gained popularity as an alternative to the traditional vector-oriented control strategy. In this paper, this method is applied to converts the nonlinear voltage source converter VSC model into a linear one, making it simple and operating point independent to design the controller. In the DPC framework, the issue is identified. Due to its constant switching frequency operation, the DPC with space vector modulation (DPC-SVM) is used. Also, we developed an algorithm to prioritize the storage system over the grid in supplying the load when the main system fails, taking into account the state of the battery during charging and discharging to extend the battery life. The obtained results confirmed the effectiveness of the technique to improve the generated power and load supply under different weather conditions. The dynamic behavior of the system was simulated and modeled using MATLAB/Simulink.

Keyword: Solar Generator, Wind Turbine, Battery Storage, Grid Integration

TWO DIFFERENT TYPES OF SENSORLESS CONTROL APPLIED TO THREE PHASE PWM RECTIFIER

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHN

TICMET'2

AHMANE ANISSA¹, MUSTAFA ERGIN ŞAHIN², SAKRİDJAMEL¹, GOLEA NOUREDDINE¹

¹L'arbi Ben M'hidl University,Science and applied science Faculty, Electrical Engineering Department, LGEA Laboratory, Oum El Bouaghi, Algeria

² Recep Tayyip Erdoğan University, Electrical and Electronics Engineering Department, , Rize, Türkiye ¹anissa.ah93@gmail.com, ²mustafa.sahin@erdogan.edu.tr, ³sk_djamel@yahoo.fr, ⁴nour_golea@yahoo.fr

Abstract

This paper presents a study of two observation techniques associated with the sliding mode controland predictive control for PWM rectifier. This sensorless control uses two distinct observers, namely the conventional observer and the sliding mode observer. The study involves simulating sliding mode observer using MATLAB/Simulink. The primary objective of this research is to evaluate the performance of the conventional observer and the sliding mode observer when regulating the behavior of a three-phase PWM rectifier. This study will enable us to evaluate and compare various aspects of their performance, including stability, accuracy, transient response, and robustness.

Keyword: Sliding mode control, Sliding mode observer, Luenberger observer, Unity power factor

1.Introduction

Over the past few years, progress in power electronics has played a pivotal role in shaping new configurations of static converters [1-2]. These structures enable the effective modulation of electrical energy to suitvarious industrial applications[3-4]. Commonly employed in both industrial and residential settings, examples include non-controlled diodes and controlled thyristorrectifiers. However, it is noteworthy that these converters exhibit characteristics akin to non-linear loads, absorbing harmonic currents that can significantly detriment the stability of the electrical grid. This phenomenon gives rise to a spectrum of disturbances, ranging from equipment malfunctions to potential system-wide failures[5-6].

Three-phase pulse-width modulation (PWM) rectifiers provide numerous benefits, including reduced harmonic distortion in grid currents, the ability to control reactive power, manage the direct current DC-link voltage, and facilitate bidirectional power flow[5].

In this research, we conducted a theoretical study of two various control systems for regulating a three-phase PWMRectifier. The emphasis was placed on examining and implementing two primary controllers: the sliding mode controller (SMC) and the Lunberger observer (LO)Many literatures have addressed the significance of the SMC on three-phase rectifiers, and its



HASAN KALMONCU 415" ----



numerous advantages can be summarized as follows: One notable benefit is its robustness in the face of parameter uncertainties and disturbances[7]. The controller's ability to maintain stability and performance under varying conditions makes it particularly suitable for real-world applications where system parameters may not be precisely known. Additionally, the SMC facilitates fast response times and accurate tracking of reference signals, contributing to enhanced dynamic performance. Its simplicity in design and ease of implementation makes it an attractive choice for applications in three-phase rectifiers, providing effective and reliable control over the system [8-9].

On the other hand, we proposed a theoretical study for the LO, aligning the investigation with the same conceptual framework suggested for the SMC in the context of three-phase rectifiers PWM. This work presents an improved LO scheme for a PWM-connected network that uses Luenberger as the full system observer in its structure. For to compensate for control delays caused by digital devices and to implement the predictive controller, we relied on the (LO) controller, which in turn sends it to the deadbeat-control the three-phase rectifier[10].

2.Three Phase PWM Rectifier

The power supply circuit of the PWM rectifier shows in Figure 1, with v_{abc} representing the voltages at the AC input terminals of the PWM rectifier; r is the line resistance and line inductance L; i_{abc} is the PWM rectifier line current; S_a , Sband S_cillustrate the modulation signals of phases a, b and c.C is a dc link capacitor; i_{dc} represents the DC link current i_{ch} ; is the load current; R_{ch} is the DC load [11-4].



Figure1. Three phase PWM rectifier.



The mathematical modeling of the PWM rectifier in *abc*frame can be written as:

$$\begin{bmatrix}
L\frac{di_{a}}{dt} = -ri_{a} + v_{a} - \frac{V_{dc}}{3} (2S_{a} - S_{b} - S_{c}) \\
L\frac{di_{b}}{dt} = -ri_{b} + v_{b} - \frac{V_{dc}}{3} (-S_{a} + 2S_{b} - S_{c}) \\
L\frac{di_{c}}{dt} = -ri_{c} + v_{c} - \frac{V_{dc}}{3} (-S_{a} - S_{b} + 2S_{c}) \\
c\frac{dV_{dc}}{dt} = (S_{a}i_{a} + S_{b}i_{b} + S_{c}i_{c}) - \frac{V_{dc}}{R_{cb}}
\end{cases}$$
(1)

The synchronous rotating reference frame model dq is given as follows:

$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} = e_d - ri_d + \omega Li_q - S_d V_{dc} \\ L \frac{di_q}{dt} = e_q - ri_q + \omega Li_d - S_q V_{dc} \\ c \frac{dV_{dc}}{dt} = S_d i_d + S_q i_q - \frac{V_{dc}}{R_{ch}} \end{cases}$$
(2)

2. Sliding Mode Observer

HASAN KALNONCU 415" ----

The control diagram shown in Figure2 configures Q_{ref} to zero to obtain a unity power factor. [12].The DC bus voltage loop is adjusted using a sliding mode regulator to generate P_{ref} .Differences between power references and their estimated values are transmitted to ST controllers. After transformation of the coordinates, the ST controllers output signals are used as switching signals in a PWM[3, 4].



Figure2. The control diagram of sliding mode observer.

2.1. Sliding mode observer

Figure 3 explained the part of SMC observer ,at this point we use (α, β) frame, using the model of a three-phase PWM rectifier in this frame, current model can be written as following

13-16 NOVEMBER, 2023 KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY

TRABZON



(8)

$$\begin{aligned} \frac{di_g}{dt} &= \frac{1}{L} \left(e_g - Ri_g - V_g \right) \end{aligned} \tag{3} \\ \text{Where } i_g &= \begin{bmatrix} i_\alpha & i_\beta \end{bmatrix}^T, e_g = \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \end{bmatrix}^T \text{ and } V_g = \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \end{bmatrix}^T \\ \text{The model of the sliding-mode-observers is shown as below;} \\ \frac{di_g}{dt} &= \frac{1}{L} \left(Gsign(S_g) - R\hat{i_g} - V_g \right) \end{aligned} \tag{4} \\ \text{Where } S_g &= i_g - \hat{i_g}, \ \hat{i_g} &= \begin{bmatrix} \hat{i_\alpha} & \hat{i_\beta} \end{bmatrix}^T, G = \begin{bmatrix} G_1 & G_2 \end{bmatrix}^T \\ \text{With } S_g \text{ is the current sliding surface of the observer, } \hat{i_g} \text{ represents estimated vector current and} \\ G_1, \quad G_2 \text{ positive gains.} \\ \text{From the preceding expressions (3) and (4), we get} \\ \frac{dS_g}{dt} &= \frac{1}{L} \left(e_g - RS_g - Gsign(S_g) \right) \end{aligned} \tag{5} \\ \text{When sliding mode is achieved } \hat{S_g} = 0, \text{ the grid voltages estimated are given by:} \end{aligned}$$

$$e_g = Gsign(S_g) \tag{6}$$

We can use a low-pass filter (LPF) to generate grid voltages, which also minimizes chattering [3-13].

With
$$e_{af} = LPF(Gsign(S_a))$$
 (7)

In this step we present a novel adaptive technique for amplitude and phase compensation, using a dual LPF to observe the grid voltage while attenuating the effects of frequency deviation. The method exploits identical LPF to induce similar phase and amplitude deviations for signals of the same frequency. An additional LPF is used to estimate the introduced phase and amplitude deviations, resulting in the acquisition of another filtered grid voltage, as expressed in Equation 8[3].



Figure 3.Slidingmodeobserver.

$$\begin{cases} e_{g1} = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} e_{gf} \\ e_{g2} = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} e_{g1} \end{cases}$$

The output phases and amplitudes of the filters can be determined as follows:

13-16 NOVEMBER, 2023



$$\begin{cases} E_1 = \|e_{g_1}\| \\ E_2 = \|e_{g_2}\| \\ \text{end} \end{cases} \begin{cases} \theta_1 = \arg(e_{g_1}) \\ \theta_2 = \arg(e_{g_2}) \\ \theta_2 = \arg(e_{g_2}) \end{cases}$$
(9)
Errors in amplitude and phase can be deduced as follows:
$$(AF = \frac{E_1}{E_1} \end{cases}$$

$$\Delta E = \frac{1}{E^2}$$

$$\Delta \theta = \theta_1 - \theta_2$$
(10)

In conclusion, the expressions for the estimated grid voltages can be deduced, accounting for compensation of both phase deviation and amplitude attenuation, as follows:

$$\begin{cases} \hat{e}_{\alpha} = E_2 \Delta E^2 \cos\left(\theta_2 + 2\Delta\theta\right) \\ \hat{e}_{\beta} = E_2 \Delta E^2 \sin\left(\theta_2 + 2\Delta\theta\right) \end{cases}$$
(11)

2.2.DC-Voltage SMC Regulator

Sliding mode control is basically about two principles [4, 14, 15]:

A sliding surface in the state space •

HASAN KALMONCU 415" ----

$$S(t) = \left(\lambda + \frac{d}{dt}\right)^{n-1} e(t) + k1 \int_0^t e(t) dt$$
(12)
With $e(t)$ is a tracing error and $\lambda \gg 0$

With e(t) is a tracing error, and $\lambda_k > 0$.

For output DC voltage tracing-problem, n is set to 1, the sliding surface as below:

$$S_{dc} = v_{dc}^{ref} - v_{dc} + k1 \int (v_{dc}^{ref} - v_{dc}) dt$$
(13)

The S_{dc} temporal derivative is given;

$$S_{dc}^{i} = v_{dc}^{ref} - \frac{l_r}{c} + \frac{v_{dc}}{R_{ch}c} + k1 \left(v_{dc}^{ref} - v_{dc} \right)$$
(14)

• Design a controllaw:

The objective of the control is using SMC, a law " I_r " is determined for desired control that forces v_{dc} to follow the v_{dc}^{ref} with condition $\frac{v_{dc}}{R_{ch}} \leq \beta$ (15)

where $\beta > 0$

$$I_r = cv_{dc}^{ref} + k_1 c \left(v_{dc}^{ref} - v_{dc} \right) + k_2 S_{dc} + \hat{\beta} sgn(S_{dc})$$
(16)
Where $\hat{\beta}$ is the estimate of the unknown constant β .

$$\hat{\beta} = \frac{\eta}{c} |S_{dc}| \tag{17}$$

 $k_1, k_2, \eta > 0$

The function sgn(.) denotes signum function defined as:

$$sign(S_{dc}) = \begin{cases} +1...if ...S_{dc} > 0\\ 0...if ...S_{dc} = 0\\ -1...if ...S_{dc} < 0 \end{cases}$$
(18)

This reference active power is determined by the following equation:

$$P_{ref} = V_{dc}I_r$$

(19)

2.3. The active and reactive power

We define active power p and reactive power q by the expression:

$$\begin{cases} P = e_d i_d + e_q i_q \\ Q = e_d i_q - e_q i_d \end{cases}$$
(20)

With i_d , i_q , e_d and e_q as the d-q components of the three-phase current grid and the three-phase voltage grid, respectively. Suppose that the voltage vector of the source is oriented on the d-axis in the dq frame, as illustrated in Figure 4[4].





Figure 4.Source voltage and current in $\alpha\beta$ and dq frame.

So equation (20) becomes as follows;

HASAN KALNONCU 415"

$$\begin{cases} P = e_d i_d \\ Q = e_d i_q \end{cases}$$
(21)
With $e_d = U = v_m \sqrt{\frac{3}{2}}$
(22)

With
$$e_d = U = v_m \sqrt{\frac{3}{2}}$$

Where v_m is the system phase voltage amplitude.

Replacing equation 22 by 21, we get:

$$\begin{cases}
P = Ui_d \\
Q = Ui_q
\end{cases}$$
(23)

2.4. Super twisting sliding mode control

The Super Twisting sliding mode control algorithm introduces an advanced approach to dynamic system control, designed specifically to optimize performance in the face of uncertainties and disturbances. Contrary to traditional sliding mode control methods, the "super twisting" algorithm enhances system robustness, making it particularly capable of mitigating the impact of external disturbances. This advanced control strategy has applications in fields ranging from robotics to industrial processes, where maintaining stability in the face of unforeseen challenges is paramount. These unique features are a promising avenue for precise, adaptable control in dynamical systems that have not previously been addressed in the literature[4, 16].

The u(t) super twisting control law comprises two separate components the initial segment is characterized by its time derivative u_1 while the subsequent component is determined by the function of the sliding variable u_2 the *st_control* law formulation is thus established by these two constituent parts present in Figure 5[4]:



Figure 5. The control diagram of super twisting sliding mode control.

$$u_{ST} = u_1(t) + u_2(t)$$
where
$$(u_2 = -\lambda |S|^{\rho} sign(S) + u_1$$
(24)



 $\alpha,\lambda>0$ used to regulate Super Twisting sliding mode control. ρ is this coefficient used to regulate the degree of non-linearity. Where $0 < \rho < 0.5$ For maximum control of the second-order sliding mode, ρ is set to 0.5. The ST_SMC laws for power controllers are given by: $(\rho = 10^{-10.5} + 10^{-5})$

$$\begin{cases} u_{ST} = -\lambda |S_p|^{\circ S} sign(S_p) + u_1 \\ u_1 = \alpha sign(S) \end{cases}$$

$$(26)$$

In equation (25), $\lambda = \sqrt{u}$ and $\alpha = 1.1u$ where u>0 The system is stable and is proven step by step in [4].

3. Luenberger observer

HASAN KALNONCU 415"

The Luenberger Observer is a tool in real time for estimating unmeasured internal states in control systems[20]. Its fundamental mathematical principle lies in a dynamic equation that updates estimated states by comparing available measurements with model predictions.

It continuously adjusts the estimates by adjusting the differences between real and estimated measurements.

The basic mathematical rule relies on the system equations and available measurements to iteratively update and improve state estimates for effective control[19].

The observer plays a crucial role in mitigating the impact of disturbance variables, enabling the anticipation of desired quantities. This proactive approach proves invaluable in offsetting delays inherent in the digital implementation of Proportional-Derivative Power Control (P-DPC). By incorporating the observer, the need for grid voltage sensors in the control scheme is obviated. This not only enhances accuracy and reliability but also results in cost and size reduction, along with increased immunity to noise. Leveraging the observer to estimate signals emerges as a strategic choice, offering a spectrum of advantages in the realm of power control [10].Figure 6 illustrates the structure of the Luenberger observer.



Figure6.LuenbergerObserver.





The model of *PWM* rectifier in stat space in matrix form:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax(t) + bu(t) \\ \text{Where} x &= \begin{bmatrix} i_{\alpha\beta}, e_{\alpha\beta} \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} v_{\alpha\beta} \end{bmatrix} \\ \text{With} A &= \begin{bmatrix} \frac{-r}{L}I & \frac{1}{L}J \\ 0 & \omega \end{bmatrix}, 0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, and J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$
(27)

When discretizing in (4) with the sampling period Ts, we obtain the discrete state space equations below

$$\begin{cases} x(k+1) = A_d x(k) + B_d u(k) \\ A_d = L^{-1}[(sI - A)^{-1}] \approx I + AT_s \\ B_d = \int_0^{T_s} A_d (T_s - \tau) B d\tau \approx BT_s \end{cases}$$
(28)

The observer equations are detailed.

HASAN KALNONCU 415" ----

$$\begin{cases} \hat{x}(k+1) = A_d \hat{x}(k) + B_d u(k) + k(y(k) - \hat{y}(k)) \\ \hat{y} = C_d \hat{x}(k) C_d = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$
(29)

Where the measured and estimated outputs are y and \hat{y} and the observer gain is k. A_d and B_d matrices in the observer equations (29) are given by using equations (28). We rewrite equation (29) as follows: $(\hat{y}(k+1) = A_k \hat{y}(k) + B_k u(k) + kv(k))$

$$\begin{cases} X(K+1) = A_0 X(K) + B_d u(K) + K Y(K) \\ A_0 = A_d - K C_d \end{cases}$$
(30)

The designed Control (P-DPC) scheme relies on deadbeat control, as illustrated in Figure 7. In this innovative approach, the necessary converter voltage for the upcoming control period is calculated within each sampling interval. This computation is derived from predicted values generated by the Learning Observer (LO), reference powers, and the model of the converter system [17-10]. The optimized converter voltage is then stored and applied at the onset of the subsequent sampling period. As a result, the entire sampling period becomes available for executing all computations, effectively compensating for control delays arising from computational processes[18-10].



(34)



Figure7. The control diagram of Luenberger observer.

The proposed Deadbeat-DPC is grounded in the prediction of powers two steps ahead, and this can be mathematically expressed as[18-10]:

$$S(k+2) = p(K+2) + jq(k+2) = \hat{e}(k+1)\hat{\iota}(k+2)^{*}$$
*=conjugate
(31)

$$\begin{cases} \hat{\imath}(k+2) = \left(1 - \frac{r}{L}T_s\right)\hat{\imath}(k+1) + \frac{1}{L}T_s\left(\hat{e}(k+1) - e(k+1)\right)\\ \hat{e}(k+2) = (1 + j\omega T_s)\hat{e}(k+1) \end{cases}$$
(32)

 $\hat{e}(k + 1)$ and $\hat{i}(k + 1)$ represent observed signals through the Luenberger Observer (LO). Finally, by inserting Equation (9) into (8), replacing S(k+2) with the reference powers at sampling time k(Sref(k)) and performing certain manipulations, the required converter voltage is as follows[11]:

$$\begin{cases} v_{ref}(k+1) = \hat{e}(k+1) - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^* \\ P_1 = S_{ref}(k) - (1+j\omega T_s) \left(1 - \frac{r}{L}T_s\right) S(k+1) \\ P_2 = \frac{T_s}{L} (1+j\omega T_s) \hat{e}(k+1) \end{cases}$$
(33)

where S(k + 1) is determined using the output of the LO : $S(k + 1) = \hat{e}(k + 1)\hat{\iota}(k + 1)^*$

3.1. Simulation Result

HASAN KALMONCU

In order to validate the effectiveness of the control strategy examined in this paper, sliding mode observer was studied through simulations using MATLAB/Simulink.

The system parameters, as follow. The line resistance is specified as 0.33Ω , while the line inductance is denoted by 2.5e-3H. Additionally, the DC-link capacitance is defined as 1100e-6F, and the load resistance is indicated by 36ohm. The system operates with a phase voltage of 53V, supplied at a frequency of 50Hz. The DC-link reference voltage is maintained at 173V, and the PWM switch frequency for control is set at 15000Hz. notably, the SMC parameters are
established as Rau = 0.001 and u = 100, while the STSMC parameters take the values k1 = 100 and k2 = 0.4.

13-16 NOVEMBER, 2023

TRABZON

HASAN KALMONCU 415"



Figure 8. Input voltage and current for the rectifier.

Figure 8 shows the rectifier's line voltage and current using SMCO, while varying the load at the output of the rectifier over a period of 1.5 s. The line current and voltage are both sinusoidal and in phase, facilitating the achievement of a unity power factor. Also, line current is multiplied by 1.5 due to the variation in load power.



Figure 9. Rectifier input voltage and observer for rectifier input voltage. Figure 9 represent the estimated grid voltages display no amplitude loss or a phase delay with respect to the real signal. This is achieved by introducing a compensation algorithm.



Figure10. Active Power comparison of a SMCO and his reference.

Figure 10 illustrates the behavior of the PWM rectifier's active power when following its reference, even in the presence of load power variations. It is shown at a load variation in 1.5 that



the active power closely follows its reference, demonstrating the rapid response and robust dynamics of the system.

13-16 NOVEMBER, 2023

TRABZON

HASAN KALMONCU 415"

 (\mathbf{h})

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KANCOMETICINICAL UNIVCI Tes



Figure11.Reactive Power comparison of a sliding mode observer and his reference. Figure 11displays the reactive power and its reference, showcasing the maintenance of zero reactive power throughout this transient period. This observation serves as confirmation of the unity power factor.





Figure 12 shows that sliding mode regulator of the DC voltage eliminates the disturbance in the output load in a fraction of a second. This means that the system reacts quickly and dynamically to brief disturbances in the output load.





Figure 13shows the rectifier input current and its FFT analysis, where we note an FFT of less than 5%, indicating that the IEEE STD 519 standards are met. Finally,we made a theoretical comparison between sliding mode observer and lunberger observer and put them in the following table.

Criteria	Luenberger Observer	Sliding Mode Observer
Complexity	Simpler implementation, less intricate	More complex design and tuning
Robustness	Reasonable robustness against disturbances and uncertainties	Highly robust against uncertainties and disturbances
Performance	Stable but may not excel in complex systems	Offers high accuracy and adaptation to changing system conditions
Sensitivity	More sensitive to model errors and measurement noise	Less sensitive to model uncertainties but may suffer from chattering
Suitability	Adequate for simpler systems	Suitable for complex, uncertain systems

Table.1 A theoretical comparison between luenberger and sliding observer

4. Conclusions

HASAN KALNONCU 415" ----

This paper explores the application of two distinct sensorless control approaches to a three-phase PWM rectifier. Theoretical investigations have been conducted, and notably, the sliding mode observer has been effectively implemented to enhance operational performance.Simulation results confirm several key findings, including achieving synchronized line voltage and current waveforms, maintaining zero reactive power leading to unity power factor, fast response with



robust dynamics, fast dynamic responses to brief disturbances by modifying load power, and system compliance with low total harmonic distortion, meeting the specified limits of IEEE STD 519.

While I have successfully modeled the sliding mode observer, the Luenberger observer has been studied theoretically. In the future, I plan to further explore the Luenberger observer through simulations and conduct a comparative analysis between the two observers based on the simulation results.

References

- 1. Norniella J.G., Cano J.M., Orcajo G.A., Rojas C.H., Pedrayes J.F., Cabanas M.F.andMelero M.G. Improving the Dynamics of Virtual-Flux-Based Control of Three-Phase Active Rectifiers. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, vol. 61, no. 1, pp.
- Rahoui A., Bechouche A., Seddiki.H.and Abdeslam D.O. Grid Voltages Estimation for Three-Phase PWM Rectifiers Control Without AC Voltage Sensors. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018, vol. 33, no. 1, pp. 859-875
- 3. Sakri D., Laib H., FarhiS. E. and Golea N. Sliding mode approach for control and observation of a three phase AC-DC pulse-width modulation rectifier. Electrical Engineering &Electro mechanics, 2023, no. 2, pp. 39-46.
- 4. Anissa.A, Djamel.S, Noureddine.G Direct Power Control based on Super Twisting Sliding Mode Control for Three Phase PWM Rectifier 2022 2nd international conference on advanced electrical engineering ICAEE
- 5. Bouraghda S., Sebaa K., Bechouat M. andSedraoui M. An improved sliding mode control for reduction of harmonic currents in grid system connected with a wind turbine equipped by a doubly-fed induction generator. Electrical Engineering &Electromechanics, 2022, no. 2, pp. 47-55.
- 6. Toshihiko N,Hiroaki T, Seiji K, and Isao T,direct power control of pwm converter without power-source voltage sensors, IEEE transactions on industry applications, vol. 34, no. 3, may/june 1998
- 7. 7Diego C, GioacchinoT, Elia B, Giuseppe L, Vito Giuseppe Mand Francesco C, Variable Structure Control of a Small DuctedWind Turbine in the WholeWind Speed Range Using a Luenberger Observer, journal energies, 2020, 13, 4647.
- 8. Edwards C, Spurgeon S, Sliding Mode Control. CRC Press, 1998.
- 9. Utkin V., GulderJ.andShijun M. Sliding Mode Control in Electromechanical Systems. 2nd ed. New York, Taylor & Francis, 1999.
- 10. Hosein Gholami.K, and Mohammad M,Deadbeat Direct Power Control for Grid Connected Inverters using a Full-Order Observer.2015 IEEE
- 11. Bouafia A. Techniques de commande prédictive et floue pour les systèmes électroniques de puissance : application aux redresseurs MLI. Doctoral Thesis, University of Setif, Algeria, 2010. (Fra).
- Shtessel Y., Baev S. andBiglari H. Unity Power Factor Control in Three-Phase AC/DC Boost Converter Using Sliding Modes. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, vol. 55, no. 11, pp. 3874-3882.
- 13. Bechouche A., Seddiki H., Abdeslam D.O and Mesbah K. Adaptive AC filter parameters identification for voltage-oriented control of three-phase voltage-source rectifiers. International Journal of Modelling, Identification and Control, 2015, vol. 24, no.4, pp. 319-331.

HASAN KALMONCU 415" ----



- 14. Zhang Z., Xie Y., Le J.and Chen L. Decoupled State-Feedback and Sliding-Mode Control for Three-Phase PWM Rectifier, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2009, pp. 1-5.
- 15. Barkat S., Tlemcani A.and Nouri H. Direct power control of the PWM rectifier using sliding mode control. International Journal of Power and Energy Conversion, 2011, vol. 2, no. 4,pp.
- Guezi A., BendaikhaA.andDendouga A. Direct torque control based on second order sliding mode controller for three-level inverter-fed permanent magnet synchronous motor: comparative study. Electrical Engineering &Electromechanics, 2022, no. 5, pp. 10-13.
- 17. Changliang Xia, Meng Wang, Zhanfeng Song, and Tao Liu, Robust Model Predictive Current Control of Three-Phase Voltage Source PWM Rectifier With Online Disturbance Observation, IEEE transactions on industrial informatics, august 2012 459, vol. 8, no. 3.
- 18. 18. Lisi Tian, Jin Zhao and DehongZhou, Finite control set model predictive control scheme of four-switch three-phase rectifier with load current observer Control Engineering Practice 73, (2018), 186–194
- 19. Soo-Cheol Kim, Thanh Hai Nguyen, Dong-Choon Lee, Kyo-Beum Lee, and Jang-Mok Kim, Fault Tolerant Control of DC-Link Voltage Sensor for Three-Phase AC/DC/AC PWM Converters, Journal of Power Electronics, July 2014, Vol. 14, No. 4, pp. 695-703.
- 20. M. Merai, M. W. Naouar, I. Slama-Belkhodja and E. Monmasson, An improved dc-link voltage control for a three-phase PWM rectifier using an adaptive PI controller combined with load current estimation, European Conference on Power Electronics and Applications, 2017 19th, ISBN: 9789075815276 et CFP17850-ART.



HASAN KALNONCU 415" SHI



COMPRESSION BEHAVIOR OF ABS/EVA POLYMER BLEND AT DIFFERENT STRAIN RATES

SELAHATTİN BUDAK*¹, HAMDİ KULEYİN², RECEP GÜMRÜK³

¹Gümüşhane University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Mechanical Engineering Department, Gümüşhane, Türkiye

² Recep Tayyip Erdoğan University, Engineering and Architecture Faculty, Mechanical Engineering Department, Rize, Türkiye

³Karadeniz Teknik University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Trabzon, Türkiye

Abstract

Thermoplastic polymers are considered an alternative to metals in many engineering applications due to their advantages such as superior mechanical properties, recyclability, lightweight and easy production. The polymer blending method is widely used in improving the properties of the polymer matrix because it does not require a new polymer synthesis and is an easy and fast method. This study investigates the effect of blending composition and strain rate on the compression behavior of ABS/EVA polymer blends. The blends, consisting of between 10% to 30% of EVA, were prepared using the melt blending method with a twin screw extruder and manufactured compression test samples using the Fused Filament Fabrication (FFF) method. For the chemical characterization of the blends, Fourier transform infrared (FTIR) spectrometry investigations were used, which can reveal the chemical properties of the blends. In addition, the effects of EVA composition and strain rate on the compression behavior of ABS/EVA blends were investigated with uniaxial compression tests. The relationships between EVA blend composition and compression and strain rates were detailed and revealed.

Keywords: Compression behavior, Strain rate, ABS, EVA, FFF

EXPENDABLE MOLD MANUFACTURING FOR INJECTION MOLDING – A CASE STUDY OF A HYBRID ADDITIVE MANUFACTURING

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'23

OMER EYERCIOGLU¹, DIMA BABI¹, AHMET ABRA¹, YUNUS EMRE ÇİMEN¹

¹Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Gaziantep, Turkey.

Abstract

Plastic injection molding is a process of using pressurized machinery to fill mold cavities. However, injection molding may not be feasible for complex parts that have protrusions, holes, cavities, undercuts, or recessed areas in the part where the alignment is not perpendicular to the mold's parting line. Those are the features in an injection-molded part that prevent its ejection from the mold. Investment casting can be used for complex parts that are not feasible to manufacture with injection molding, in that case, the lower density (strength) and the unfilled tiny sections may occur due to pouring the material into the cavity without pressure. However, additive manufacturing allows the manufacture of molds for complex geometries which are impossible to obtain with conventional methods. It also enables manufacturing injection molds in just a few hours, instead of several days for low-volume production. Recently, a single-use 3D-printed mold has been presented and the mold dissolved in a liquid base solvent after plastic injection into it. This study aimed to explore the capability of hybrid manufacturing (DLP 3D printing of an expendable injection mold and injection molding) for the one-off production of plastic parts. An injection mold for a 3-blade helical mixer part was designed and printed from a photo-curable resin by using the DLP (Digital Light Processing) technique. High-density polyethylene (HDPE) was injected into the mold. The mold together with the injected plastic was inserted into a pool to dissolve the molding resin. After dissolving the mold, the final part was obtained as its injected form. In the study, work has been done to adjust many factors that control both DLP 3D printing and injection molding processes, the most important of which is to adjust the temperature that is applied to injection material without affecting the quality of injected parts and the mold. The results show that the presented hybrid manufacturing (3D printing of an expendable injection mold and injection molding) is a feasible method for the one-off production of complex plastic parts.

Keywords: Additive manufacturing, DLP, injection molding, hybrid manufacturing.

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415"

There are two conventional mechanical methods of production, which are formative manufacturing (FM) and subtractive manufacturing (SM). Parts produced by FM methods like injection molding, pressing, and die casting, are characterized by high quality, and low cost [1]. However, this method has a lot of disadvantages, like the need for high initial cost and the long period required to produce molds. While parts produced by SM methods, like CNC machining, milling, and drilling, have a high machinery cost and are not suitable for high-volume production or complex shapes [1], [2], [3]. Although SM is considered a highly precise production process, it



is also considered a wasteful process because it has a high percentage of buy-to-fly ratio which is the ratio of the starting material mass to the finished part mass [4].

Although there are great benefits we get by using the additive manufacturing method, it also has a lot of disadvantages the time of 3D printing, the relatively high cost compared to the parts number that could be produced, and pre-preparation processes such as the computer-aided pre-designing and preparation of raw materials. All of the mentioned issues led to the idea of combining additive manufacturing with other production methods to become one of the rapid tooling to prototyping methods [5].

In recent years, hybrid Injection molding technology, combined injection molding with additive manufacturing, has received great attention, as it reduces the cost and time of production, especially in the field of large-volume production. As for low-volume production, according to previous studies, it has been shown that direct additive manufacturing DAM, like material jetting, powder bed fusion, and VAT photo-polymerization is the most suitable for integrating with injection molding [6][7][8]. Parts produced with this method have much less portion of layered defects, inter-layer adhesion, and anisotropic issues, compared with samples produced with only additive manufacturing methods [4].

This hybrid method relies on taking advantage of both injection molding and additive manufacturing, in particular, DLP 3D printing, which enables us to significantly increase production speed and reduce the mold manufacturing cost as they are manufactured by 3D printing instead of the need to manufacture a high-cost metal mold. This technology is suitable for low-volume production, such as producing spare parts,[5] which enables us to obtain products with high density, high surface finish quality, with fewer anisotropic defects, unlike parts produced by additive manufacturing alone. Also, the use of dissolvable one-off polymeric molds gives us freedom through the designing stage with access to complex geometric shapes, and high accuracy in final dimensions, without thinking much about the difficulty of ejecting parts after the injection molding process as molds will be dissolved [9].

The purpose of this study is to explore the capability of hybrid manufacturing (DLP 3D printing of an expendable injection mold and injection molding) for the single-part production of plastic parts. Injection molds for a 3-blade helical mixer part were designed and printed from a photo-curable resin by using the DLP (Digital Light Processing) technique. High-density polyethylene (HDPE) was injected into the mold. The mold together with the injected plastic was inserted into a pool to dissolve the molding resin. After dissolving the mold, the final part was obtained as its injected form.

2. Materials and Methods

HASAN KALMONCU 415" ----

A photosensitive resin that has high-temperature (Phrozen TR300) withstanding properties was used for DLP printing. The chemical composition of the resin includes acrylate oligomer, Tris (2-hydroxy ethyl) isocyanurate triacrylate, acryloyl morpholine, diphenyl (2, 4, 6-trimethyl benzoyl) phosphine oxide <5%), and pigment <1%. Table 1 shows the mechanical and physical specifications of Phrozen TR300 resin as the manufacturer has stated on its website. Commercial high-density polyethylene (HDPE) granules were used for the gear material. The thermo-physical properties of the HDPE are given in Table 2.



Table 1. Physical and mechanical properties of PHROZEN TR300 high temperature 3D resin.

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALMONCU 415"

Density	1.17 g/cm3
Viscosity	160-250 Ср
Surface hardness	80 Shore D
Tensile stress at break	54 MPa
Elongation at break	2%
Notched Izod impact	20.2 J/m
Tensile modulus	2749 MPa
HDT at 0.45 MPa	156 °C
Тg	220 °C

 Table 2. <u>Thermo-physical properties of high density polyethylene (HDPE)</u>.

Density	0.961 g/cm3
Melting Point	131.8 °C
Temperature of crystallization	121.9 °C
Latent heat of fusion	188.6 kJ/kg.
Thermal conductivity	0.54 W/m.°C at °C.
Specific heat capacity	1331 to 2400 J/kg-K
Specific heat (solid)	2.9 kJ/kg. °C
Crystallinity	61%

The work can be divided into three basic stages; the DLP 3D printing of the molds, the injection molding with HDPE, and the dissolving of the mold. A 3-blade helical mixer part was selected for the case study. The helical blade and the cylindrical top and bottom features of the part bring many difficulties for mold design and ejection problems. A movable-multi-core and multi-part metal mold may be required for injection molding of the 3-blade helical mixer part. This makes the process very complicated, laborious, and expensive. An expendable mold overcomes all these drawbacks. The solid models of the part and the mold were created by using SolidworksTM Design Software (see Figure 1). The mold was designed as a hollow component with a 3-blade helical shape. The solid model of the mold was converted to STL format for 3D printing. The mold was then prepared for printing by using AnycubicTM Workshop Software. The layer thickness and infill density were set as 50 µm and 100%, respectively. Raft and supports were added to the bottom feature of the mold for 3D printing.



Figure 1. Solid models of the 3-blade helical mixer part and the injection mold.

The generated slicing file was then loaded to the DLP printer. A washing and curing machine was used to remove any excess resin from the surface of the mold after 3D printing and post-curing. Isopropyl alcohol (IPA) was used as a solvent to remove the sticky resin and UV light for post-curing. Anycubic 3D printer and wash-and-cure machine were used as shown in Figure 2. The printer is an LCD-based one and has a UV-integrated light (wavelength 405nm) source. Its XY resolution is 47 microns (2560x1440) and 50W in power.

An aluminum block was machined to support the printed mold against injection pressure. Two cylindrical aluminum parts were also produced for the top and bottom of the 3D-printed mold to form of central hole. For the injection of the molten HDPE, two holes were added to the upper part.



Figure 2. ANYCUBIC 3D photon printer and wash-and-cure machine.

A simple in-site prepared injection machine (see Figure 3) was used for the injection molding of the part. After injection molding, the mold with the HDPE filled was removed from the assembly



HASAN KALMONCU 415"



and dipped into a pool. The pool was filled with an alkaline aqueous solution which was prepared by using sodium hydroxide pellets and deionized DI water.



Figure 3. The simple injection machine

3.Results and Discussion

The 3D printing parameter setting is one of the important steps for successful printing. After calibration of the resin according to the manufacturer's recommendations, three bottom layers of 60 s exposure time were chosen for sticking the building plate. 8 s exposure time was successfully cured the further layers. The printing took 65 minutes. The 3D-printed mold is shown in Figure 4. The supporting aluminum block and the two cylindrical aluminum parts used in the mold assembly are shown in Figure 5.



Figure 4. The 3D printed mold



HASAN KALNONCU 415"



TRABZON - TÜRKIYE





Figure 5. The components of the mold assembly

The injection temperature is dependent on the injection material, the geometry, and the runner system of the mold. Generally, a longer mold filling time requires more overheating temperature. The mold-filling time can be determined with flow and solidification analyses. In this study, the overheating temperature was found by a trial-and-error method for simplicity. Starting from 150 °C (above the melting temperature of HDPE, 130.8 °C), attempts were performed to gradually increase the temperature by 10 °C steps. Finally, proper mold filling was found at 185 °C injection temperature, taking into accordance it is less than the maximum temperature of used resin at (220 °C). After injection, the pressure was held on for a while to overcome any shrinkage cavity forming. Due to the lower heat conductivity of the mold material (polymer), the ejection of the gear from the die was done for about 3 minutes after for proper solidification and cooling of the part. The injection process was repeated for three molds.

Many solvents were tested for dissolving the mold (3D printed from TR300 resin) and the most proper one was a highly alkaline solution (aqueous NaOH, 1 M) at 50 °C. The required time for complete dissolution depends on the dimensions of the injected part [4]. For the mold that is the subject of this study, 48 hours were required. The injected part was then washed with ethanol and dried. The final part is shown in Figure 6.



Figure 6. The injected part after dissolving the 3D printed mold.

Regarding the external appearance of the piece with the naked eye, it can be said that a highly acceptable result was obtained, especially with the use of a mold with a complex shape, as we were able to combine the benefits of 3D printing. The DLP 3D printing method enables us to design molds with extreme accuracy and shorter time compared to traditional manufacturing methods. The results show the feasibility of hybrid manufacturing (DLP 3D printing of an expendable injection mold and injection molding) for the single-part production of plastic. The overall cycle of the hybrid process is shown in Figure 7 schematically.

This case study gave a perception of the general form of how to integrate these two methods in manufacturing, especially with the scarcity of studies related to the thermal properties of resins used in DLP printing and how to adjust manufacturing parameters to obtain the best results, and this initial study must be completed and followed by a deeper and more actual study of the possibility of injection with large scale machines.

4.Conclusions

The objective of this study is to investigate the capability of hybrid manufacturing (3D printing of an expendable injection mold with injection molding) for the one-off production of plastic parts. An injection mold for a 3-blade helical mixer part was designed and printed from a photo-curable resin by using the DLP (Digital Light Processing) technique. High-density polyethylene (HDPE) was injected into the mold. The mold together with the injected plastic was inserted into a pool to dissolve the molding resin. After dissolving the mold, the final part was obtained as its injected form. In the study, the processing route was clarified and work has been carried out to evaluate many control factors of both DLP 3D printing and injection molding processes. The most important of which is to adjust the temperature that is applied to injection material without affecting the quality of injected parts and the mold. The results show that the presented hybrid manufacturing (3D printing of an expendable injection mold and injection molding) is a feasible method for the one-off production of complex plastic parts.



Figure 7. The overall cycle of the hybrid process (DLP 3D printing of an expendable injection mold with injection molding) for the single-part production of plastic part.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the contributions of the Scientific Research Projects Unit (BAPYB) of The Gaziantep University.

Author contributions

Omer Eyercioglu: Supervision, Writing - review & editing, Validation. Dima Babi: Methodology, Resources, Writing - original draft, Validation, Visualization. Ahmet Abra: Experimental studies, Writing original draft, Visualization. Yunus Emre Çimen: Experimental studies, Writing original draft, Visualization.

References

- **3.** Thomas, P. Vielma , A. Cervera , B. Levenfeld , A. V, arez , Production of alumina parts by powder injection molding with a binder system based on high density polyethylene, Journal of the European Ceramic Society 28 (2008) 763–771.
- **4.** Toy, Ç, Palaci, Y, Gaykara,T, A new ceramic thread-guide composition via low-pressure injection molding, Journal of Materials Processing Technology 51 (1995) 211 222.
- **5.** Hinczewski, C , Corbel, Chartie, T Ceramic Suspensions Suitable for Stereolithogiaphy, Journal of the European Ceramic Society 18 (1998) 583-590.
- **6.** Didilis, K ,Marani,D , Bihlet,U,D , Haugen,A,B , Esposito,V , Freeform injection molding of functional ceramics by hybrid additive manufacturing, Additive Manufacturing, volume 60, Part A,December 2022, 103197.

HASAN KALMONCU 415"



- 7. Stansbury, J. W, Idacavage M.J, 3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities, Dental Materials, 32, 54 (2016).
- 8. Sharifi, E, Chaudhuri, A, Waehrens, B.V, Guldborg Staal, L, Farahani, S.D, Assessing the Suitability of Freeform Injection Molding for Low Volume Injection Molded Parts: A Design Science Approach, Sustainability 2021, 13, 1313.
- 9. Holmström, J.; Partanen, J. Digital manufacturing-driven transformations of service supply chains for complex products. SupplyChain Manag. 2014, 19, 421–430.
- **10.** Khajavi, S.H.; Partanen, J.; Holmström, J. Additive manufacturing in the spare parts supply chain. Comput. Ind. 2014, 65, 50–63.
- 11. Kyriakos Didilis, Debora Marani, Uffe Ditlev Bihlet, Astri Bjørnetun Haugen, Vincenzo Esposito, Freeform injection molding of functional ceramics by hybrid additive manufacturing, Additive Manufacturing, Volume 60, Part A, 2022, 103197.



HASAN KALNONCU 415"



COMPARISON OF RELATIVE FIXATION AND ACTIVE PUNCH ADJUSTMENT OF MULTI-POINT FORMING FOR 3D FREE-FORM PART

MAHMUT TANDOGAN *1, OMER EYERCIOGLU²

¹Adıyaman University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adıyaman, Türkiye ²Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep, Türkiye

Abstract

Multi-point forming (MPF) is a flexible sheet metal forming technique. To save time and money, MPF is primarily used in prototypes for the automotive and aerospace industries. The effects of forming types on multi-point forming have been investigated using relative fixation and active punch adjustments in this work. Multi-point forming (MPF) types were modelled and analysed using the finite element tool Deform 3D. Aluminium 1100 sheet metal that is 0.5 mm thick was used to form the wavy shape. Three alternative diameters, 10 mm, 12 mm, and 14 mm were investigated according to the effective stress distributions and required load of sheet metal in simulations. The results show that a more acceptable forming type for this shape was active punch adjustment for all pins.

Keyword: Multi-point forming, Sheet metal, Finite element, Punch

SULU KESIM ILE LAZER KESIMIN YÜZEY KALITESI ÜZERINDEKI ETKI: SU GÜDÜMLÜ LAZER BAŞLIĞI TASARIMI VE UYGULAMASI

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2

HAKAN ÇANDAR^{*1}, MUHAMMED PAKSOY¹, NECİP FAZIL YILMAZ¹, MAHMUT FURKAN KALKAN¹

¹Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, TÜRKİYE

Özet

Bu çalışma, su güdümlü lazer başlığı tasarımı ve su güdümlü lazer kesim işleminin geleneksel lazer kesimine göre yüzey kalitesine etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Araştırmanın başlangıcında, 1 kW fiber lazer tezgahı için uygun uç tasarımları SolidWorks yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve akış analizi ile değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda en etkili akışı sağlayan uç modeli belirlenmiş ve bu modelin doğruluğunu test etmek amacıyla 3D yazıcılar kullanılarak prototipler üretilmiştir. Elde edilen prototipler sonucunda, en iyi uç modeli bakır malzemeden üretilmiş ve mevcut lazer kesme cihazı su güdümlü lazer kesme cihazına dönüştürülmüştür. Su basıncı kontrolünü sağlamak amacıyla bir su pompası kullanılmıştır. Daha sonra, suyun kesme kalitesine olan etkisini değerlendirmek için bir deney tasarımı geliştirilmiştir. Deneylerde, 1.5 mm kalınlığındaki 1040 çelik sac numuneler kullanılmış ve farklı lazer güçleri ve ilerleme hızları kullanılarak kesimler gerçeklestirilmiştir. Kesimler hem su güdümlü lazerle hem de geleneksel lazerle yapılmıştır. Kesim sonrası numunelerin yüzey pürüzlülükleri 3D profilometre ile ölçülmüştür. Araştırma sonuçları, lazer gücünün ve ilerleme hızının kesme kalitesi üzerinde etkili parametreler olduğunu göstermektedir. Sulu kesim ile elde edilen yüzeyler, geleneksel lazer kesimine göre daha düşük pürüzlülüğe sahiptir. Bu çalışma, su güdümlü lazer kesimin yüzey kalitesi üzerindeki olumlu etkisini doğrulamakta ve endüstriyel uygulamalar için yeni bir yöntem sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fiber lazer, su kılavuzlu lazer kesme, yüzey pürüzlülüğü, 3D profilometre



1. Giriş

HASAN KALNONCU 415"

Teknolojinin hızlageliştiği günümüz dünyasında, endüstriyel üretim alanı da büyük bir dönüşümün içerisindedir. Bu dönüşümün temel nedenlerinden biri, giderek artan karmaşıklıkta parçaların ve özelleştirilmiş ürünlerin talebidir. İmalat sektörü, bu taleplere cevap verebilmek ve verimliliği artırabilmek için yeni yaklaşımlar ve teknolojiler aramaktadır.

Geleneksel imalat yöntemlerinin, özellikle karmaşık parçaların üretimi söz konusu olduğunda sınırlamalara sahip olduğu bir gerçektir. Bu nedenle, geleneksel olmayan imalat yöntemlerine olan ilgi artmış ve bu yöntemlerin farklı disiplinlerden özellikleri birleştirerek daha iyi sonuçlar elde etme potansiyeli keşfedilmiştir.

Lazer kesme, iş parçasının yüzeyine odaklanan yüksek enerjili bir lazer ışınının kullanılmasıyla malzemelerin kesilmesi ve işlenmesinde önemli bir rol oynayan gelişmiş bir tekniktir. Bu işlem sırasında, lazer ışığı iş parçasını eritir veya buharlaştırırken, kesme gazları tarafından sağlanan yoğunluk, kesme işlemi sırasında oluşan ısıyı kontrol etmek ve iş parçasını şekillendirmek için kritik bir rol oynar. Bu yöntem, geleneksel kesme yöntemlerine kıyasla daha hassas ve verimli sonuçlar sunar. Ancak, geleneksel lazer kesme işlemleri sırasında karşılaşılan iki önemli sorun vardır: birincisi, kesme işlemi sırasında ısının iş parçasının etrafındaki bölgeye yayılması ve iş parçasının ısı etkisine maruz kalmasıdır. İkincisi ise kesim sırasında oluşan "kerf açılanması" problemidir. Son yıllarda geliştirilen su güdümlü lazerler, bu iki sorunun üstesinden gelmek için önemli bir çözüm sunar. Su ile güdümlenen lazer ışını, iş parçasının yakınında soğutucu bir etki oluşturur ve böylece ısıdan etkilenen bölgeyi minimize eder. Ayrıca, lazer odağı sabit kalacağından kesme işlemi sırasında odak ayarı yapma ihtiyacı da ortadan kalkmış olur. Bu sayede, farklı kalınlıklara sahip olan bir iş parçası, kesme kafasının yukarı veya aşağı yönde hareketine gerek kalmadan kesilebilmektedir.

Lazer işlemi için suyun bir araç olarak kullanılabileceği ilk olarak Fransız fizikçi JacquesBabinet ve İsviçleri iş arkadaşı Jean-Daniel Colladon tarafından 1840 lı yıllarda ileri sürülmüştür [1]. 1993 yılında ise İsviçreli Bernold Richerzhagen ilk su güdümlü lazer kurulumunu yapmış ve patent almıştır [2]. Son yıllarda, birçok araştırmacı su jeti ile yönlendirilen lazerin uygulama alanlarını genişletmeye odaklanmıştır. Li Ling ve arkadaşları su jeti güdümlü lazer nozulları için bağlantı unitesi tasarımı yapmışlardır. Ayrıca su basıncı ve nozul geometrisinin kesme performansına etkileri araştırılmıştır [3]. JA Porter ve arkadaşları, ince metal saclar için farklı kesme mesafesi, ilerleme hızı için deneysel çalışmalar yapmış ve elde edilen sonuçlar için optimum değerler bulunmuştur. Çalışmada, kesme mesafesinin, kesme hızından daha etkili bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır [4]. Yixin Bai, benzer bir çalışmada lazer parametrelerinin ve işlem stratejisinin yüzey kalitesine etkilerini araştırmıştır [5]. Wagner ve arkadasları, su güdümlü lazer ile normal lazer kesmenin aynı hız değerlerinde paslanmaz celik malzeme için iş parçası üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Su güdümlü lazerde çapak oluşumu, kerf açılanması ve ısıdan etkilenmiş bölge, normal lazere oranla çok düşük bulunmuştur [6]. Rashed ve arkadaşları ise su güdümlü lazer ve mikro-EDM yöntem ile delme işlemlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan yüzey morfolojisi analizlerinde (SEM ve SHFM), su güdümlü lazer için yüksek karakteristiğe sahip sonuçlara ulaşılmıştır [7]. Abdelman ve arkadaşları, titanyum ve çelik malzemeler için lazer gücü, atış tekrar hızı ve geçiş sayısının kesme derinliğine etkisini araştırmışlardır [8]. Su güdümlü lazerlerin kompozit iş parçalar için performansının incelenmesi için, D. Sun ve arkadaşları karbon fiber takviyeli plastik numuneler (CFRP) için bir dizi deneysel çalışma yürütmüştür. Deneylerde su güdümlü lazer kesimin kesme geometrisine etkisi incelenmiş ve bu yöntemin iş parçası üzerinde adeta düzeltme etkisi yarattığı öne sürülmüştür [9].







Lazerin su içerisinde güdümlenebilmesi için lazerin dalga boyunun su iletim spektrumunu geçmesi gerekmektedir [10]. Bu nedenle, Nd-YAG lazerler bu işlem için tercih edilmektedir. Ancak son yıllarda geliştirilen ve yüksek dalga boyuna sahip olan fiber lazerlerle de güdümleme yapılabilmektedir. Bu çalışmada 1 KW gücüne sahip fiber lazer kesme tertibatı kullanılmıştır. Lazerin su içerisinde güdümlenebilmesi için kesme kafasına adapte olacak biçimde ve suyun farklı çıkış biçimlerini dikkate alacak şekilde Solidworks programı ile tasarımlar yapılmıştır. Yapılan tasarımlar, önce bilgisayar ortamında akış analizine tutularak suyun akış doğrultusu incelenmiştir. Daha sonra üç boyutlu yazıcılar yardımıyla modeller üretilip akış testleri yapılmıştır. En iyi akış özelliği gösteren model, bakır malzemeden üretilerek kesme kafasına monte edilmiştir. Daha sonra 1.5 mm kalınlığa sahip çelik numuneler için farklı lazer güçlerinde ve hızlarında tam faktöriyel deney tasarımına göre su güdümlü ve normal lazer kesimler yapılıp, yüzey pürüzlülükleri beyaz ışık teknolojisine sahip 3D profilometre ile ölçülmüştür. İlerleme hızı ve lazer gücünün kesme kalitesine etkisi su güdümlü ve normal lazer kesim için elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, su güdümlü lazerin yüzey kalitesine olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

2. Su Güdümlü Lazer Tasarımı

HASAN KALNONCU 415"

Su güdümlü lazer işleminin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 1 de verilen lazer kesme ünitesi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan ünite CNC kontrollü ve 3 eksende hareketi sağlamaktadır. Ancak, z yönündeki hareket manuel olarak kontrol edilmekte olup, işlem sırasında hareketsizdir. Bu tasarımda, 1 KW gücünde fiber lazer kullanılmıştır. Lazer kesme kafasına su gönderilebilmesi için pompa sisteminden faydalanılmıştır. İşlem için gereken su, şebekeden alınarak filtrelenip kesme kafasına gönderilmektedir. Pompada su debisi ayarı yapılabilmektedir, ancak deneylerde sabit 2,25 m³/sn debi kullanılmıştır.



Şekil 1. Su Güdümlü lazer kesme ünitesi







Lazerin kesme kafasında güdümlenebilmesi için Solidworks programında çeşitli uç tasarımları ve bu tasarımlar için akış analizleri yapılmıştır. Analizlerde suyun iş parçasına doğru dikey bir hareketle akışının sağlanması hedeflenmiştir. Şekil 2 de yapılan ilk tasarım için akış analizi verilmiştir. Analizlerde suyun dik bir şekilde akışının sağlanmadığı görülmüştür. Analizin doğrulanması için bakır malzemeden yapılan ilk uç örneğinde, Şekil 3 te görüldüğü üzere, suyun tıpkı analizde olduğu gibi hem dik bir açı ile akışının sağlanmadığı hem de türbülanslı bir akışa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu uç kullanılarak yapılan normal lazer kesme işleminde, lazerin odak noktasının optimum mesafenin dışında olmasının lazerin etkisini düşürdüğü görülmüştür.



Şekil 2. Tasarlanan ilk uç tasarımına ait akış analizi



Şekil 3. Tasarlanan ilk uç tasarımında suyun akışı

Suyun daha dik bir açıyla akışının sağlanabilmesi ve türbülans etkisinin azaltılabilmesi için tasarımlarda suyun iki ayrı uçtan nozul içerisine girişi düşünülmüştür. Ayrıca, lazer odağının değişmemesi için uzunluğunun lazerin kendi uç uzunluğuna eşit olacak şekilde alınmıştır. Bu hususlar dikkate alındığında çeşitli uç geometrilerinde su akış analizleri yapılmış ve çeşitli





örnekler üretilip denenmiştir. Şekil 4 te en iyi akışı sağlayan ve kesme işlemlerinde kullanılan uç geometrisinin akış analizi ve kesme işlemi sırasında suyun lazer başlığından akışı verilmiştir.



Şekil 4. (a) Deneylerde kullanılan kesme ucu için akış analizi, (b) Su güdümlü lazer kafası

Tasarımlarda ayrıca lazerin çıkışı etrafında suyun çıkışı için delikler oluşturulması da düşünülmüştür. Örneğin Şekil 5 te gösterilen modelimizde 8x1.2 mm delikler mevcuttur. Tasarım 3 boyutlu yazıcıdan üretilerek su akışı denenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi suyun delik çıkışında dağıldığı görülmüştür. Düşünülenin aksine lazeri güdümleyecek bir etki oluşturmayacağı düşünüldüğünden bu tasarımdan vazgeçilmiştir.



Şekil 5. Delikli uç örneğinde suyun akışı



3. Deneysel Çalışmalar

Deneylerde 1.5 mm et kalınlığına sahip AISI 1020 çeliğinden yapılan malzemeler kullanılmıştır. 30x30cm ölçülerindeki plakalardan 4cmx4cm kare parçalar kesilerek çıkarılmıştır. Kesme işlemlerinde, kesme hızı ve lazer gücü 3 farklı değer için değişken olarak alınmış ve deney tasarımı tam faktöriyel olacak şekilde yapılmıştır. Toplamda sulu ve susuz kesim için 18 kesim gerçekleştirilmiştir.

Kesme işlemleri sonrasında kesim yüzeyindeki yüzey pürüzlülük değerleri Polytec TMS100 3D profilometre ile ölçülmüştür. Ölçümlerde yüzey üzerinden 3 farklı çizgi boyunca ortalama pürüzlülük (Ra) değerleri alınıp ortalaması hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde her numune için 3 farklı eş örnek çizgi üzerinden pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır. Örnek çizgilerin her biri 10 mm uzunluğunda olup, ilk örnek çizgi kesim alanının üst yüzeyinden 0.25 mm aşağısında çekildikten sonra diğer örnek çizgiler ise ardışık olarak 0.5 mm mesafe bırakılarak çekilmiştir. Şekil 6 da örnek bir parça için ölçümün nasıl gerçekleştirildiği gösterilmektedir.



Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Tablo 1 de su güdümlü lazer ve normal lazer kesim için, kesme parametrelerine karşılık gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde su güdümlü kesme işlemi için yüzey pürüzlülüğü değerleri normal lazer kesmeye göre çok daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu farklılık çıplak gözle bile fark edilebilecek düzeyde görülmüştür.



	No	Kesme Hızı (mm/dak)	Lazer gücü (KW)	Ra (µm)
	1	15	500	5,370
Kesim	2	15	700	7,083
	3	15	900	7,647
ılü F	4	20	500	5,010
düm	5	20	700	4,657
Gü	6	20	900	6,820
Su	7	25	500	4,897
	8	25	700	6,067
	9	25	900	6,103
	No	Kesme Hızı (mm/dak)	Lazer gücü (KW)	Ra (µm)
	No	Kesme Hızı (mm/dak) 15	Lazer gücü (KW) 500	Ra (μm) 17,17
ш	No 1 2	Kesme Hızı (mm/dak) 15 15	Lazer gücü (KW) 500 700	Ra (μm) 17,17 11,80
Kesim	No 1 2 3	Kesme Hızı (mm/dak) 15 15 15	Lazer gücü (KW) 500 700 900	Ra (μm) 17,17 11,80 15,71
zer Kesim	No 1 2 3 4	Kesme Hızı (mm/dak) 15 15 15 20	Lazer gücü (KW) 500 700 900 500	Ra (μm) 17,17 11,80 15,71 14,17
l Lazer Kesim	No 1 2 3 4 5	Kesme Hızı (mm/dak) 15 15 15 20 20	Lazer gücü (KW) 500 700 900 500 700	Ra (μm) 17,17 11,80 15,71 14,17 20,78
rmal Lazer Kesim	No 1 2 3 4 5 6	Kesme Hızı (mm/dak) 15 15 15 20 20 20 20	Lazer gücü (KW) 500 700 900 500 700 900	Ra (μm) 17,17 11,80 15,71 14,17 20,78 14,18
Normal Lazer Kesim	No 1 2 3 4 5 6 7	Kesme Hızı (mm/dak) 15 15 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	Lazer gücü (KW) 500 700 900 500 700 900 500	Ra (μm) 17,17 11,80 15,71 14,17 20,78 14,18 11,12
Normal Lazer Kesim	No 1 2 3 4 5 6 7 8	Kesme Hızı (mm/dak) 15 15 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 25 25	Lazer gücü (KW) 500 700 900 500 700 900 500 500 700	Ra (μm) 17,17 11,80 15,71 14,17 20,78 14,18 11,12 13,25

Tablo 1. Yüzey Pürüzlülüğü ölçümü sonuçları

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALMONCU

Şekil 7, kesim sonucu numunelerden elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçlarına bağlı hesaplanmış ana etki grafiklerini vermektedir. Şekil 7a ve 7b Su güdümlü lazer kesim yöntemi ile kesilmiş numunelerin yüzey pürüzlülük test sonuçlarından elde edilen ilerleme hızı ve güç faktörlerine ait ana etki grafikleri gösterilmektedir. Aynı şekilde Şekil 7c ve 7d de ise normal lazer kesim yöntemi ile kesilmis numunelerden elde edilen ana etki grafikleri gösterilmektedir. İki farklı yöntem içerisinde de genel bir karşılaştırma yapıldığında ortalama 3 katlık bir pürüzlülük farkı olduğu görülmektedir. İlerleme hızı arttıkça pürüzlülük değerinin azaldığı su güdümlü lazer ile kesim yöntemi sonucunda elde edilen numunelerde de gözlenmiştir. 15 ile 20 mm/s arasındaki geçişte ciddi bir düşüş gözlemlenirken 20 ile 25 mm/s arasında ciddi bir pürüzlülük farkı oluşmadığı görülmüştür. Diğer bir faktör olan "watt" cinsinden güç için ise arttıkça yüzey pürüzlülüğünde de kesin bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Normal lazer kesim esnasında kullanılan ilerleme hızı değerlerindeki eğilimin su güdümlü lazer kesim yöntemine göre biraz daha farklı olduğu görülmüştür. 15 mm/s lik ilerleme hızının 20 mm/s lik ilerleme hızı uygulandığındaki kesime göre daha düşük bir yüzey pürüzlülüğü sonucu alınmış olmasının pürüzlülük değerlerinin yüksekliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Güç değişkenine bağlı olarak su güdümlü lazer kesim ile benzer bir eğilime sahip olduğu görülmüştür.

 (\mathbf{b})





Şekil 7. Su güdümlü lazer kesim (a, b) ve normal lazer kesim (c, d) yüzey pürüzlülük sonuçlarına ait ana etki grafikleri

Gerçekleştirilen çalışmaya bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerine anova analiz sonuçları Tablo 2' de gösterilmektedir. Şekil 6' ya bağlı yorumlamalarda olduğu gibi Güç faktörünün İlerleme hızına göre daha etkili bir faktör olduğu belirtilen tablo üzerindeki P-Değerlerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca modele ait F-Değerinin 6.54 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Model sonuçlarına göre F-Değerinin gürültüden kaynaklı olma ihtimalinin yalnızca %3.11 olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Su güdümlü lazer kesim işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerine model özeti ve varyans
analizi (ANOVA)

13-16 NOVEMBER, 2023

Kaynak	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F-Değeri	P-Değeri
Model	6,03	3,01	6,54	0,0311
A-İlerleme Hızı	1,53	1,53	3,33	0,1180
B-Güç	4,50	4,50	9,75	0,0205
Kalan	2,77	0,4611		
Cor Total	8,80			

Yüzey pürüzlülük sonuçları ile bağımsız değişkenler arasındaki kodlanmış değişkenler cinsinden ilişki Denklem 1'de verilmiştir.

 $R\alpha = 5,95 - 0,5056A + 0,8656B$

HASAN KANONCU 45%

Denklem 1

Yukarıdaki denklemde Ra yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada suyun lazer kesme işleminde yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Araştırmada öncelikle lazer ışınlarının suyun içerisinde güdümlenebilmesi için farklı tasarımlar üzerinde çalışılmıştır. Tasarımlarda suyun akışının dik doğrultuda hareket etmesinin kesme işleminde çok önemli olduğu aksi halde lazer ışınlarının kesme işlemini gerçekleştirebilecek yoğunluğa erişemediği görülmüştür.

Yapılan deneysel hazırlıkta aynı şartlar altında sulu ve normal lazer kesme işlemi gerçekleştirilmiş ve eş zamanlı olarak lazer gücünün ve kesme hızının etkisi de araştırılmıştır. Gözle muayenelerde dahi, sulu kesilen numunelerde yüzey kalitesinin açık bir şekilde daha iyi olduğu görülmüştür. Daha sonra, numuneler için yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına bakılmıştır. Ölçümlerde üst ve alt yüzeylerden eşit ölçü uzaklıkta olacak şekilde yüzey boyunca 3 ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçları üst yüzeye yakın yerlerde pürüzlülüğün daha az, alt yüzeye doğru ise arttığı şeklinde olmuştur. Sonuçlar değerlendirilirken bu 3 ölçümün ortalama değerleri alınmıştır. Genel olarak bakıldığında lazer gücü arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir artış yakalanmıştır. Normal lazer işlemi sonuçlarında bu durum değişkenlik gösterse dahi, yine de benzer eğilim görülmüştür. Öte yandan kesme hızının yüzey kalitesine etkisi yapılan deneysel çalışmada kararlı bir yapı göstermemiştir.

Elde edilen diğer bir sonuç ise, su güdümlü lazer için lazerin daha fazla güç gerektirdiğidir. Kesme işlemi bu açıdan ele alındığında, yüzey kalitesi için olumlu bir durum yaratırken, güç kaybına neden olmaktadır.

Bu çalışma, bu konu ile ilgili ilk yapılan deneysel çalışmayı özetlemektedir. Araştırmalarımız devam etmekte olup, farklı seviyede ve farklı kalınlıkta numunelerle daha kapsamlı bir deneysel çalışma devam ettirilmektedir. Bu çalışmada elde ettiğimiz en büyük kazanç, lazer kesme kafasına uyumlu bir başlıkla, normal lazer ile su güdümlü lazer işleminin her ikisinin de gerçekleştirilebilmesi olmuştur.



Referanslar:

HASAN KALNONCU 415"

- 1. Hecht, J.: Understanding Fiber Optics, 3rd edn. Prentice-Hall, Inc (1999)
- 2. Richerzhagen, B., Delacretaz, G.P., Salathe, R.-P.: Complete Model to Simulate the Thermal Defocusing of a Laser Beam Focused in Water, p. 9. SPIE (1996)
- Li, L., Wang, Y., Yang, L., Chu, J.: Experimental research on water-jet guided laser processing. In:Fundamental Problems of Optoelectronics and Microelectronics III, p. 6. SPIE (2007)
- Porter, J.A., Louhisalmi, Y.A., Karjalainen, J.A., Füger, S.: Cutting thin sheet metal with a water jet guided laser using various cutting distances, feed speeds and angles of incidence. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 33(9), 961–967 (2007). https://doi.org/10.1007/s00170-006-0521-7
- 5. Y. Baia, A. Richmanna, J. Paikb, B. Richerzhagena, Reducing the Roughness of the Kerf for Brass Sheet Cutting with the Laser MicroJet® by a SystematicParameter Study, 2015.
- Wagner, F.R., Boillat, C., Buchilly, J.-M., Spiegel, A., Vago, N., Richerzhagen, B.: High-speed cutting of thin materials with a Q-switched laser in a water-jet versus conventional laser cutting with a free running laser. In: High-Power Lasers and Applications 2003, p. 5. SPIE
- Rashed, C.A.A., Romoli, L., Tantussi, F., Fuso, F., Burgener, M., Cusanelli, G., Allegrini, M., Dini, G.:Water jet guided laser as an alternative to EDM for micro-drilling of fuel injector nozzles: a comparison of machined surfaces. J. Manuf. Process. 15(4), 524–532 (2013). https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.08.002
- 8. B. Adelmann, C. Ngo, R. Hellmann, High aspect ratio cutting of metals using water jet guided laser, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 80 (9) (2015) 2053–2060.
- 9. D. Sun, F. Han, W. Ying, The experimental investigation of water jet-guided laser cutting of CFRP, Int. J. Adv. Manuf. Technol. (2019).
- Perrottet, D., Boillat, C., Amorosi, S., Richerzhagen, B.: PV processing: improved PVcell scribing using water jet guided laser. Refocus. 6(3), 36–37 (2005). https://doi.org/10.1016/S1471-0846(05)70398-X

CONVERSION AND AUTOMATION OF AN IDLE LATHE INTO FRICTION WELDING EXPERIMENTAL SYSTEM

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

HAKAN ÇANDAR*, SADIK OLGUNER, AHMET ABRA, YUNUS EMRE ÇİMEN

Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep, Türkiye

Abstract

This paper presents the conversion of an idle lathe into a friction welding experimental system. Initially, the mechanical design for the friction welding system is created using the SolidWorks software, utilizing the lathe's bed structure and the sliding system. In order to meet the high-speed and power requirements of the process, the lathe's drive connections are removed, and an electric motor with a magnetic brake is connected to the spindle of the lathe with a coupling. A hydraulic unit is designed to apply compression load during the process. Automation controls are implemented to manage rotational speed, pressure and process time. In the designed experimental system, the effectiveness of the welding process is evaluated using solid and pipe-shaped specimens made from similar and dissimilar materials. The tests confirmed the success of the welding process.

Keyword: Mechanical design, System automation, Friction welding

IMPROVEMENT OF THE INTERNAL SURFACES OF INFANTRY RIFLE BARRELS WITH ELECTROLYTIC HARD CHROME PLATING

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SH

TICMET'2

UĞUR TEMEL YILDIZ^{1,2}, TEMEL VAROL^{*2}, SERHATCAN BERK AKÇAY², GENÇAĞA PÜRÇEK³

¹ Trabzon Silah Sanayi A.Ş., Research and Development Department, Trabzon, TURKEY.
 ² Karadeniz Technical University, Metallurgical and Materials Engineering Department, Trabzon, TURKEY.
 ³ Karadeniz Technical University, Mechanical Engineering Department, Trabzon, TURKEY.

Abstract

Infantry rifle barrel is one of the critical components that determine the lifetime of the weapon system, which is exposed to challenging mechanical, chemical and thermal effects simultaneously during use. In this study, it is aimed to improve the inner surface of an infantry rifle barrel with a length of 260 mm and a diameter of 5.56 mm produced by cold forging method from 42CrMo4 material by electrolytic hard chrome plating method. The rifle barrel was electrolytically chromium plated by forced circulation method using a peristaltic pump to remove the hydrogen and oxygen gases generated at the cathode and anode during plating. In the plating process, a steel anode coated with wt. 93%Pb-7%Sn alloy with a final diameter of 2.35 mm, was positioned in the center of the barrel. In order to examine the distribution of coating thickness and coating microhardness in the vertical axis on the inner surface of the barrel, the barrel was divided into six parts and the five interfaces were examined using a metallurgical microscope and Vickers hardness tester. Vickers microhardness measurement was performed using a 25-gram load. As a result of the characterization processes, it was determined that the coating thickness in the vertical axis was between 23.38±0,7 µm and 30.10±1,3 µm and the coating microhardness was between 986±9 $HV_{0.025}$ and 1143 ± 18 HV_{0.025}. As a result of the examination at five points, it was observed that the coating microhardness decreased with increasing coating thickness. With the electrolytic hard chrome plating application, the inner surface hardness of the barrel was increased from $299,5 \pm 10$ $HV_{0.025}$ to 1143 ± 18 $HV_{0.025}$ and a harder surface was obtained.

Keyword: Materials Science, Electroplating, Hard Chromium, Steel, Surface Hardness, Barrel

KOMPOZİT MALZEME YAZABİLEN YENİ BİR 3B YAZICI TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU

TICMET'2

MUSA YILMAZ^{*1}, ALİ KILIÇ¹, NECİP FAZIL YIMAZ^{1,2}

¹Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye ²Mütevelli Heyeti, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye *msyilmaz@gantep.edu.tr

Özet

Eklemeli imalat, endüstriyel sektörde kullanımı günden güne hızla artan bir üretim teknolojisi olup, eriyik yığma modelleme (EYM/FDM) gibi yöntemlerle karmaşık geometri üretimi için önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, FDM ile üretilen parçaların pratik uygulamalarda kullanımı düşük mukavemet sebebinden dolayı sınırlı olmaktadır. Bu çalışmada kompozit malzeme yazabilen yeni bir eklemeli imalat cihazı geliştirilerek düşük mukavemet sorununa çözüm bulunması amaçlanmıştır. Geliştirilen yeni 3B yazıcı sistemi ile in-situ olarak kompozit üretimi yapabilmektedir. Bu cihaz ile üretilmiş kompozit numunelere çekme ve eğme gibi mekanik testler uygulanmıştır. Deneysel gözlemler sonucunda, 3B basılı ürünlerin mekanik özelliklerinde dikkate değer gelişmeler saptanmıştır. Böylelikle kompozit üretimi yapabilen ve bunun sonucunda mukavemet artışı sağlayabilen işlevsel ve inovatif bir 3B yazıcı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, 3B yazıcı, FDM, Kompozit Üretimi

VALORIZATION OF MARBLE SLAB CUTTING WASTES AS MICRONIZED MARBLE POWDER (CALCITE)

13-16 NOVEMBER, 2023

RARADENIZ TECHNICAL UN

TICMET'2

ÇİMEN GÜL KULUŞAKLI¹, MUSTAFA BİRİNCİ^{*2}

İnönü University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Malatya, TURKEY.
 İnönü University, Engineering Faculty, Mining Engineering Department, Malatya, TURKEY.
 *mustafa.birincil@inonu.edu.tr

Abstract

The subject of this study is grinding of marble piece wastes to micronized size for industrial uses. Dry grinding experiments were performed using a planetary ball mill with porcelain balls as milling media. The effects of grinding parameters such as the revolution speed of mill (RSM), ball to powder mass ratios (BPR) and grinding time were investigated. The tests were carried out with the same feed size (<1 mm) at variable times up to 240 min. Experimental results were evaluated based upon the product particle size distribution (d_{90} , d_{50} , d_{10}). Based on particle size distribution, it was concluded that the suitable condition for the dry grinding of marble waste took place at medium RSM (350 rpm) and high BPR (10). However, the effect of RSM and BPR became much less pronounced for grinding times longer than 30 min, and it was concluded that grinding time was a critical parameter. As a result, the particle d_{90} size was reduced to about 45 microns (from 904.948 to 44.884). This product may fully replace micronized calcite in materials such as construction chemicals.

Keywords: Marble piece wastes, Ultrafine grinding, Planetary ball mill, Particle size d₉₀-d₅₀-d₁₀

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415" SHI

Geologically, marble is a metamorphic rock consisting of carbonate minerals, most commonly calcite (CaCO₃) or dolomite (CaMg(CO₃)₂) that recrystallize under the influence of heat, pressure and aqueous solutions, with crystals of varying thickness. Pure marble is translucent and white and can take different colors through various chemical and physical that occur within it. Commercially, it contains many kinds of rocks such as travertine that are durable when cut and polished. The marble industry in Turkey is an important mining sector that provides wealth, employment, and social development. Turkey also has a prominent position in the world marble market, with a lot of Turkish marble exports to many countries. Turkish marbles have gained wide acceptance in the world market in building-construction and decoration works, thanks to its diversity, richness and durability. This industry mines and processes many rock types into finished products yearly, including limestone, travertine, granite, onyx, and others [1-3].

Marble wastes are mainly generated during the process of cutting and polishing. To obtain the properly marble blocks of the desired size, marble slab is cut into smaller blocks. Relatively large amounts of marble waste are becoming fragmented during this cutting process, and need to be



disposed of in a sustainable way and valorized [4]. Although marble waste seems to be unharmful, nowadays marble waste is considered as a non-inert solid waste material in some countries. Therefore, it is potentially harmful to the environment and human health when disposed of improperly. Moreover, in many countries, a large part of marble wastes is randomly disposed of in landfills at a high cost for decorative stone companies [5-7].

Ultrafine marble powder with high calcite is used in the rehabilitation of acidic soils, in the production of anti-acid drugs in the field of pharmacy, paper, plastic and paint [8, 9]. In recent years, marble wastes ground to very fine sizes have been used as a source of calcite in many industries such as paper and paint production. The production of submicron-size calcite is receiving greater attention due to the growing demand for paint and paper. For ultrafine particles (<10 μ m), the use of mills delivering a huge amount of energy for particle breakage, such as vibratory, jet, and planetary mills, has been considered an alternative for mineral processing [10-13]. As far as we know, even though the fine grinding of carbonate rocks and marble waste using different mills such as stirred ball mill has been studied, planetary ball mill studies have been limited. Guzzo et al. [14] studied particle size distribution and structural changes in limestone ground in planetary ball mill. They emphasized that grinding speed reduction occurs when the average particle size reaches 20 μ m, and the mean particle size was reduced from 134 to 10 μ m.

The aim of this study is to investigate the effect of planetary mill on the fine grinding of marble waste. For this purpose, marble piece waste (from Uşak White Marble slab cutting) was finely ground at different grinding conditions using a laboratory type planetary ball mill and then particle size analyzes were carried out.

2. Materials and Methods

HASAN KALNONCU 415"

The marble slab cutting waste was collected from an marble processing plant (Porga Mermer) located in Malatya(Turkey). Marble slabs produced from Uşak White Marble, which is a kind of white marble quarried in Uşak(Turkey), are commonly available in varying thicknesses ranging from 2 cm to 3 cm. Sample preparation occurred in two rounds as follows. Firstly, the marble pieces (approx. 10-15 cm) were crushed with jaw crusher until all particles being <10 mm. The crushed particles were then ground in a porcelain ball mill in order to obtain particle size below 1 mm for use in ultrafine grinding tests.

Chemical and mineralogical composition of the marble sample was carried out through the X-ray fluorescence (XRF) and X-ray powder diffraction (XRD) technique. Chemical analysis results are given in Table 1. When the chemical analysis results is examined, it is seen that the marble sample contains 54.37% CaO, and this result is supported by XRD. It can be accepted that these results are very close to the calcite content (the calcite in purest form contains 56.03% CaO). According to the XRD results given in Fig. 1, the main mineral phase is calcite (CaCO₃) and not contain detrimental impurities. These results show that the marble samples are of very high purity in terms of calcite content.

Table 1. ART analysis results of the marble sample used used in the study					
Major oxides (%)					
CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe_2O_3	SiO ₂	LOI
54.37	0.65	0.12	0.015	0.041	44.69

 Table 1. XRF analysis results of the marble sample used used in the study

LOI: Loss on ignition at 1000 °C



Figure 1. XRD analysis results of the marble waste (Cal: Calcite)

To achieve ultrafine milling, planetary ball mill (Fritsch Pulverisette 6 Mono Mill) and agate bowl with 250 ml volume was used. Alubit balls with a diameter of 10 mm were chosen as grinding media. In all milling experiments, a constant volumetric ball filling ratio (the ratio between the total volume of the milling balls to total volume of the milling bowl) of 0.25 was used. The milling tests were performed in three different BPR 2.5, 5 and 10. 132, 66, 33 g of marble powder were used for BPR 2.5, 5 and 10, respectively. In the present study, the revolution speed of mill (RSM) was chosen as 150, 200, 250, 300, 350 and 400 rpm. The marble samples were dry milled for 7.5, 15, 30, 60, 120 and 240 min.

After milling, particle size distribution of the ground materials were measured by laser scattering using the Matersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd., UK). The analysis is based upon laser diffraction technique, capable of Mie scattering, and covers a wide size range of 0.02 and 2000 μ m. The device is capable of measuring the particle size of emulsions, suspensions and dry powders. In this study, a little sample (approx. 0.5 grams) was stirred with distilled water at 2500 rpm in a 1 liter cell integrated into the device and measurements were performed on particles in a fluid aqueous suspension. Before determination, marble particles were treated in 0.05 M sodium hexametaphosphate as a dispersing agent with ultrasound waves for 3 min.

3. Results and Discussion

In mineral processing and particle size technology, there are several approaches to defining particle size distribution. However, the particle size of a powder is usually determined using cumulative particle size distribution (PSD) data. According to Copelli et al. [15] four main descriptors are commonly used: d_{10} , d_{50} and d_{90} (10th-50th-90th percentile of particle diameter curve), and SPAN (measure of the spread of the distribution obtained as (d_{90} - d_{10})/ d_{50}). These are statistical parameters that can be read directly from the cumulative particle size distribution (PSD) curve. These data parameters provide important data about the particle size of a powder material. Therefore, it was considered that it would be appropriate to use d_{10} , d_{50} and d_{90} for particle size in this study.

HASAN KALMONCU



The variation of particle size distribution (d90, d50, d10) of marble waste samples ground up to 240 minutes with different RSM and BPR is fully given in Figure 2. When the results are evaluated briefly, the particle size decreased significantly for all grinding conditions. Another important result is that the mean particle size (d_{50}) decreased dramatically for the first 15 minutes of grinding and remained almost invariable for grinding periods longer than 30 min. A similar trend is observed for d_{10} and d_{90} diameters. The grinding performance of the mill decreases for prolonged periods possibly due to the low Mohs hardness and structural changes of the marble waste. In a previous study, Guzzo et al. [14] made similar statements. As similar trends are seen in all of the particle size curves, a few critical graphs obtained from 150, 300 and 400 rpm are discussed here.

The results for mill speed of 150 rpm are shown in Figure 2a-c. These experiments were carried out only at three different BPR (2.5, 5 and 10). It is clearly seen that the particle size decreased with increased grinding time, as expected. However, the dramatic reduction occurred at the first 30 minutes of grinding. At the first 30 minutes of grinding, d_{90} , d_{50} and d_{10} average sizes of the sample ground for BPR=2.5 were determined as 645 µm (from 904,948 to 644,832 µm), 100 µm (415,406 to 99,205 µm) and 4 mm (from 13,84 to 4.199), respectively (Fig. 2a). As seen in Fig. 2a and 2b, similar results were obtained for BPR 5 and 10. In this experiment, the finest particle size was d_{90} =350 µm, d_{50} =20 µm and d_{10} =0.5 µm when the grinding condition was set with grinding time of 240 min and BPR=10.

As seen from Fig. 2d-o, a similar mill performance was attained when the RSM was 200, 250, 300 and 350 rpm, respectively. As observed from the figures, the particle size decreased with increased grinding time, as in the others. However, the particle size curves in Fig. 2j-l and Fig. 2m-o obtained from 300 and 350 rpm are nearly the same. For 300 and 350 rpm, the particle size reduction can be much more significant when comparing the initial graphs. Additionally, it was observed that the effect of BPR on the d₉₀, d₅₀, d₁₀ particle size decreased, as the mill speed (RSM) increased. The best results achieved for 300 and 350 rpm are as follows: At the milling condition of RSM=300 rpm, BPR=10 and GT=240 min, particle size d₉₀, d₅₀ and d₁₀ was determined as 39.779, 5.710 and 0.213 µm, respectively. At the same grinding condition except 350 rpm mill speed, particle size d₉₀, d₅₀ and d₁₀ was determined as 35.404, 5.004 and 0.210 µm, respectively. These results show that the particle size does not change much more after a critical mill speed and grinding time. Additionally, it can be stated that the grinding efficiency is also reduced. As a matter of fact, it was observed that the 400 rpm results supported this case.

The partice size analysis obtained from 400 rpm is shown in Fig. 2p-r. When the particle size curves in Figure 2p-r are examined completely, it is seen that the particle size shows a increasing trend with prolonged grinding time, in contrast to the others. From the plot of curves, it is easy to see that d_{90} , d_{50} and d_{10} batches are very similar. It is observed that d_{90} , d_{50} and d_{10} decreases sharply with grinding time up to 7.5 min, and then increases. For example, at 7 min grinding time and BPR=2.5, d_{90} , d_{50} and d_{10} was 54.361, 7.078 and 0.215 µm, respectively. And then, after 30 and 240 min of grinding, it increased to 69.612, 9.097, 0.236 µm and 126.286, 28.104, 2.081 µm, respectively. During prolonged grinding experiments, it was observed that both balls and bowl walls were covered by a compact layer of ground material. For prolonged grinding, d90 was higher for the material ground line. According to Guzzo et al. [14], particles were considerably damaged and their shape became less defined with the increase of the grinding time. In the same study, SEM images also show an intense agglomeration between fines and partially broken particles for grinding periods ≥ 60 min.



TRABZON - TÜRKİYE



HASAN KALIONCU (15" MAR KALION

 \bigcirc













Milling time, min







Figure 2. Variation of the particle size distribution (d₉₀, d₅₀, d₁₀) of marble waste particles ground up to 240 min with different RSM and BPR.



Figure 2 (continued).

4. Conclusions

In this study, the effect of grinding parameters (mainly grinding speed, grinding time and ball/powder ratio by weight) on dry grinding of marble slab wastes to micronized sizes using a laboratory scale planetary ball mill was investigated. In this context, only the results of particle size analysis were discussed.

Based on particle size distribution, it was concluded that the suitable condition for the dry grinding of marble slab waste took place with balls of revolution speed at 350 rpm and ball/powder ratio at 10. After 30 min of grinding under this condition, the mean particle size (d_{50}) was reduced from 415 to 5 µm. However, it was observed that agglomeration occurs at higher mill speed and prolonged grinding time.

Acknowledgments

This work is financially supported by the İnönü University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project Number: FYL-2021-2538).

References

- 1. Onargan T, Köse H ve Deliormanlı A.H., Mermer üretimi kesme teknolojisi, ekonomisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, **1992**, İzmir.
- 2. ASTM International. ASTM C119: Standard Terminology Relating to Dimension Stone. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- 3. Marble Institute of America (MIA), **2012**.

HASAN KALMONCU 415"



- 4. Ural, N., Evaluation of Energy Conservation with Utilization of Marble Waste in Geotechnical Engineering, International journal of waste resources, **2015**, 5(4), 1000189.
- 5. Braga, F.S., Buzzi, D.C., Couto, M.C.L. and Lamge, L.C., Environmental characterization of processing sludge of ornamental Stones. Eng. Sanit. Ambient, **2010**, 15, 237-244.
- 6. Mulk, S., Korai, A.L., Azizullah, A. et al., Marble industry effluents cause an increased bioaccumulation of heavy metals in Mahaseer (Tor putitora) in Barandu River, district Buner, Pakistan. Environ Sci Pollut Res, **2017**, 24, 23039-23056.
- Iqbal, Q.; Musarat, M.A.; Ullah, N.; Alaloul, W.S.; Rabbani, M.B.A.; Al Madhoun, W.; Iqbal, S. Marble Dust Effect on the Air Quality: An Environmental Assessment Approach. Sustainability 2022, 14, 3831.
- 8. João Carlos R. Ramos, Pedro G.S. Passalini, José Nilson F. Holanda, Utilization of marble waste as a sustainable replacement for calcareous in the manufacture of red-firing wall tiles. Construction and Building Materials, **2023**, 377, 131115.
- 9. Mehta, D., Paliwal, D., & Sankhla, V.S., Study of Marble Waste and Its Utilization. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), **2020**, 7(7).
- 10. Milin, L., Rajamani, R. K., Kinetics of Alumina Ultrafine Grinding in a Planetary Ball Mill. Materials and Manufacturing Processes, **1997**, 12(2), 241-260.
- 11. Osawaru, A., Orumwense, E.F., Superfine and ultrafine grinding: a literature survey. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, **1992**, 11, 107-127.
- 12. Wellenkamp, F.J., Moagens Fina e Ultrafina de Minerais Industriais: Uma Revisão. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, **1999**, (55 pp. (in Portuguese)).
- 13. He, M., Wang, Y., Forssberg, E. ()., Slurry rheology in wet ultrafine grinding of industrial minerals: a review. Powder Technology, **2004**, 147, 94-112.
- Guzzo, P. L., Santos, J. B., David, R. C., Particle size distribution and structural changes in limestone ground in planetary ball mill. International Journal of Mineral Processing, 2014, 126, 41-48.
- 15. Copelli, D., Cavecchi, A., Merusi, C., Leardi, R., Multivariate evaluation of the effect of the particle size distribution of an Active Pharmaceutical Ingredient on the performance of a pharmaceutical drug product: a real-case study. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, **2018**, 178, 1-10.
IMPROVEMENT OF 42CRMO4 LOW ALLOY STEEL SURFACE BY NITROCARBURIZATION AND ELECTROLESS NI-P PLATING

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

UĞUR TEMEL YILDIZ^{1,2}, TEMEL VAROL^{*2}, BURAK BERK DAY^{1,2}, BÜŞRA KANDEMİR¹, FURKAN ALPTEKİN^{1,2}, AHMET FUAT GÜNAÇAR^{1,2}

¹ Trabzon Silah Sanayi A.Ş., Research and Development Department, Trabzon, TURKEY. ² Karadeniz Technical University, Metallurgical and Materials Engineering Department, Trabzon, TURKEY.

Abstract

In this study, it was aimed to improve the surface of 42CrMo4 low alloy steel material, which is widely used in the defense industry and especially in handgun production, by nitrocarburization and electroless Ni-P plating processes. In this scope, 42CrMo4 low alloy steel samples with an initial hardness of 303.4±12.3 HV_{0.1} were first subjected to nitrocarburization process. The nitrocarburized surface was characterized by microhardness measurements according to DIN 50190 standard. The hardness and diffusion depth values on the surface were determined as 566 $HV_{0.1}$ and 132.60 µm, respectively. The ceramic-like white layer formed on the surface in the nitrocarburization process was removed by sandblasting method using Al₂0₃ abrasive particles in order to perform electroless Ni-P plating. Electroless Ni-P plating process was carried out for 45 minutes at 90 °C in using proprietary chemicals. Finally, the samples were heat treated at 250°C for 4 and 8 hours to increase the hardness of electroless Ni-P plating. Coating thickness and coating microhardness were measured by metallurgical microscope and Vickers hardness tester The coating thicknesses of the samples were determined in the range of 10.91 µm to 14.81 µm. The hardness of the electroless Ni-P plating as coated was measured as 563±33 HV_{0.1}. Heat treatments at 250 °C for 4 and 8 hours increased the hardness of the coating to 715±24 HV_{0.01} and 852±42 HV_{0.01}, respectively. As a result, the initial hardness of low alloy 42CrMo4 steel was increased from 303.4 ± 12.3 HV_{0.1} to 852 ± 42 HV_{0.01} on the surface by electroless Ni-P plating process and the hardness of the material was gradually reduced from 566 HV_{0.1} to core hardness along a distance of 132.60 µm from the surface by nitrocarburization process, resulting in a structure with hard and wear-resistant surface and a subsurface that is able to support the coating hardness.

Keyword: Materials Science, Nitrocarburization, Electroless Ni-P Plating, Surface Hardness, Steel

METAL HYDRIDE CONVERSION ANODES FOR ALKALI-ION BATTERIES – A MACHINE LEARNING PERSPECTIVE

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

KATARINA BATALOVIĆ^{*1}, BOJANA KUZMANOVIĆ¹, MIRJANA MEDIĆ ILIĆ¹, BOJANA PASKAŠ MAMULA¹, JANA RADAKOVIĆ¹

¹ VINCA Institute of nuclear sciences-national institute of the Republic of Serbia. University of Belgrade, Department of nuclear and plasma physics, Belgrade, SERBIA. *corresponding author: kciric@vin.bg.ac.rs

Abstract

Aiming for the increased utilization of renewable energy and a decrease in carbon footprint, electrochemical energy conversion plays a vital role in many applications. Improvements in battery materials aim for cheaper and safer systems, including all-solid-state batteries. Due to the high theoretical capacity and suitable working potential, the conversion reaction of metal hydrides is demonstrated as a valuable solution for negative electrodes in both standard and all-solid-state Li-ion batteries. Relying on the same principle of conversion reaction, applicability for Na-ion batteries is in the early stage of the investigation. In this work, we demonstrate the relevance of the developed deep-learning model for the fast screening of potential anode materials based on the stability of the metal hydrides. Relying on the structural features of various metal alloys obtained using density functional theory calculations, we predict equilibrium electrode potential for both Li-ion and Na-ion batteries. From the initial dataset of over 5000 intermetallic compounds, we discuss ten selected compositions for both applications, focusing on the stability of alloys and additional criteria (such as weight, price, etc.). In addition to proposing promising compositions for future experimental investigation, this work demonstrates the advantages of developing and utilizing artificial intelligence tools for property prediction and fast assessment of the vast combinatorial space of metal alloys.

Keywords: metal hydride, conversion-type anode, Na-ion, artificial intelligence, ANN, enthalpy, DFT

1. Introduction

Electrochemical energy conversion and storage are of large importance for modern society, as a route toward zero-emission solutions and wide utilization of renewable energy sources. Recent investigations in the field of alkali ion batteries focus on optimizing rechargeable Li-ion batteries and developing competitive Na-ion batteries. Developing Na-ion batteries is important also from the ecological and economic aspects, keeping in mind the price and abundance of row metals. Anode materials for these applications can be divided based on the mechanism of alkali ion bonding to intercalation, alloying, and conversion-type electrodes [1]. Among them, conversion-type anodes show benefits such as high theoretical capacity due to exchanging more than one



HASAN KALNONCU 415"

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER



electron per redox center and suitable working potential that can be compositionally tuned [1,2]. Transition-metal compounds with different anion species with formula M_aX_b , where X = F, O, S, P, and H, have been shown to exhibit Li/Na insertion by reversible conversion reaction with a theoretical capacity that is a factor of three higher than that of commercial graphite [1]. However, complicated multi-electron transfer leads to voltage hysteresis and other issues in these materials. For example, the oxides have been more robust and stable but lacking in terms of voltage hysteresis [1]. On the other hand, hydrides have shown the lowest voltage hysteresis, but are lacking in terms of stability [1,3].

Machine learning and artificial intelligence are adopted as the next scientific paradigm in material science, offering novel solutions to many key technology areas that await materials discovery and processing solutions [4]. Our recent work demonstrated the development [5] and application [6] of the machine learning model for predicting the heat of hydride formation in metal alloys. Motivated by the need to develop novel conversion-type materials for alkali-ion batteries, in this work we employ this model to target suitable metal compositions based on the requirements of equilibrium potential and alloy stability.

2. Materials and Methods

The machine learning model used in this research [7] relies on the universal graph neural network implementation, MEGNet [8]. Transfer learning is used to adopt elemental embeddings from the mp-2019.4.1 model [8] (trained on a data set containing 133,420 data from the Materials Project (MP) [9]). As input features for model development, we used density functional theory (DFT) calculated crystal structures paired with experimentally determined heats of hydride formation [5]. Prediction of heat of hydride formation (in kJmol⁻¹H₂) in arbitrary intermetallic is possible based on the information on the crystal structure and chemical composition, with mean absolute error (MAE) of 9.1 kJ/molH₂[5]. Utilizing this approach, we perform a large-scale screen of a Material Project database [9] for possible metal alloy compositions containing Mg or Ti. Initial screening of a database resulted in over 5,000 compositions. These were further filtered to compositions containing only 3rd, 4th, and 5th-row metals/metalloids in order to preselect potential material with lower mass. Among those, Cd, As, Tc, and Rb were also excluded as highly toxic/radioactive elements. An additional restriction on the absolute stability of these compounds was imposed by requiring energy above the Hull to be zero. This resulted in a dataset containing 384 potential materials that were further examined for application as conversion-type anodes in Li/Na batteries. Hydride formation enthalpy is predicted allowing the calculation of equilibrium electrode potential vs. Li⁺/Li⁰ and Na⁺/Na⁰. Additional data related to the energy of the formation of metal alloys is adopted from the MP database [9] and is based on the DFT calculated values.

3. Results and Discussion

The conversion reaction mechanism, corresponding to a reaction of metal hydride and alkali-ions can be written as follows (1):

$$MHy + yA^{+} + ye^{-} \leftrightarrow M + yAH$$
(1)

where the reduced metal/alloying M is surrounded by an amorphous AH (A=Li, Na) matrix [2]. The corresponding change in the Gibbs free energy at T=25°C is given in equation (2):

$$\Delta_{\rm r} G_{298}^{\circ} = {\rm x} \Delta_{\rm f} G_{298}^{\circ} ({\rm AH}) - \Delta_{\rm f} G_{298}^{\circ} ({\rm MH}_{\rm x}) = -{\rm x} {\rm EF}$$
(2)

Where F is Faraday constant and E is electrode potential. Experimental values for the standard Gibbs free energy of formation for LiH and NaH, $\Delta_f G_{298}^{\circ}(AH)$, are taken from NIST data [10], while the change in Gibbs free energy during metal hydride formation for any metal-hydride system is reasonably approximated by adopting the value of entropy change, $\Delta_f S(MH_x)$ to 130 J/KmolH₂ [11]. Therefore, based on the predicted enthalpy of hydride formation in an intermetallic compound we calculate the equilibrium potential of metal hydride anode versus Li⁺/Li⁰ and Na⁺/Na⁰. The safe potential range for negative electrodes in Li-ion batteries was proposed in the range 0.1–0.5 V versus Li⁺/Li⁰ [3]. Fig.1. displays the obtained results while the shaded region depicts the safe potential range.

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 15"



Figure 1. Predicted equilibrium potential vs. Li⁺/Li⁰ as a function of formation energy per atom in the Ti and Mg containing intermetallic compounds

A total of 161 alloys were found to have predicted equilibrium potential in the range of 0.1-0.5V vs. Li^+/Li^0 . Table 1 displays ten selected compositions displaying the largest stability in terms of formation energy, and variations in terms of constituent elements.

	Potential vs. Li ⁺ /Li ⁰ (V)	Formation energy of the intermetallic (eV per atom)
$Ca_{10}Mg_2Sb_9$	0.117394	-1.016276
Sr(MgSb) ₂	0.237102	-0.828204
MgScRh ₂	0.452161	-0.810936
YMgPd	0.34540	-0.695730
Ca_2MgPd_2	0.353700	-0.676013
KMgSb	0.335044	-0.649915
Ti ₂ Rh	0.428323	-0.625763
CaMgPd	0.351627	-0.620673
CaMgSn	0.283223	-0.552951
Ti ₂ Sb	0.378056	-0.532284

Table 1. ML-predicted equilibrium potential of metal-hydride conversion anode vs. Li⁺/Li⁰ forselected intermetallics showing the largest formation energy per atom

TRABONIC INVESTIGATION INTERNATIONAL UNIVERSITY PROF. DR OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER TRABZON - TÜRKIYE

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

Among the metal hydrides that are predicted to have suitable potentials for Li-ion anodes and, at the same time, exhibit high stability of the metal alloy, we find dominantly Mg alloys with Rh, Pd, or Sb. Additionally, binary Ti alloys with Rh and Sb are also of interest. We can conclude that these metals act here to stabilize metal alloys and can therefore be expected to be suitable to increase the durability of the anode during cycling. However, further experimental investigation is needed to follow the possible phase changes and disproportions during reversible hydride formation reactions.

Figure 2 shows the predicted potentials for the usage in Na-ion battery anodes. Due to the lower stability of NaH as compared to LiH, studied metal hydrides would provide theoretical potential in the range of -0.5 to 0.5V vs. Na⁺/Na⁰. The safe potential range for Na-ion batteries was not reported explicitly and will depend also on the working potential of used electrolytes. For this study, we adopt the same value as proposed for Li-ion batteries [3], i.e. 0.1-0.5eV vs. Na⁺/Na⁰ (fig.2 shaded part), resulting in a total of 253 intermetallics satisfying these conditions.



Figure 2. Predicted equilibrium potential vs. Li⁺/Li⁰ as a function of formation energy per atom in the Ti and Mg containing intermetallic compounds

We further sort these intermetallics based on the stability. Table 2 gives details of five ternary and five binary alloys, found among the most stable ones to satisfy the potential condition stated above. Additional Rh and Pd containing intermetallics are dominant by stability condition but omitted from the table, in order to depict various compositions and corresponding predicted potentials which can be expected if these materials were employed as conversion-type anodes.

In addition, among the alloys suited for metal-hydride anodes in Na-ion batteries, we also find some well-investigated hydrogen storage materials (predicted equilibrium potential vs. Na^+/Na^0 given in the brackets), e.g. Mg₃TiNi₂ (0.23V), Mg₃MnNi₂ (0.32V), Ti₂Ni (0.23V), TiFe (0.36V), TiNi (0.29V). Even pure MgH₂, with a predicted equilibrium pressure of 0.11V, could be suited for this application. In general, binary intermetallics and here listed ternary ones, show lover stability as compared to compositions given in Table 2. However, due to the possible disproportion of metal alloys during hydrogen sorption, simpler compositions might be advantageous, and



therefore this investigation can serve as a guide toward optimization of the metal hydride composition in order to optimize the properties of conversion-type anodes in alkali-ion batteries.

	Potential vs. Na ⁺ /Na ⁰ (V)	Formation energy of the intermetallic (eV per atom)
TiAlRh ₂	0.21	-0.9830
$MgScPd_2$	0.16	-0.8393
TiCoSi	0.31	-0.7895
TiAlRu ₂	0.39	-0.7655
TiCoSb	0.35	-0.7252
Ti ₃ Rh ₅	0.19	-0.7759
Ti5Si3	0.10	-0.7434
MgPd	0.21	-0.7418
Mg ₃ Pd ₅	0.25	-0.6485
TiPd ₂	0.27	-0.6315

Table 2. ML-predicted equilibrium potential of metal-hydride conversion anode vs. Na⁺/Na⁰ for selected intermetallics showing the largest formation energy per atom

4. Conclusions

HASAN KALMONCU 415" ----

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER

We demonstrate the application of machine learning for materials research in the domain of conversion-type anodes for alkali-ion batteries. Based on the model trained to predict the heat of hydride formation in various metal alloys, the potential of conversion reaction on the anode is calculated for a series of materials found in a database of DFT-optimized intermetallic structures. The search was restricted to Ti- and Mg- containing intermetallics. From the initial dataset of over 5,000 intermetallics, we select 384 of them based on the conditions of stability and applicability. Among them, 161 satisfy the potential range to be applied in Li-ion batteries, while 253 are suitable for Na-ion batteries. In particular, we focus on the issue of low stability of metal alloys during multiple charge/discharge cycles in the batteries and select 10 intermetallic compositions with the highest stability for these applications. Regarding Na-ion batteries, we also demonstrate that some of the well-known hydrogen storage materials, such as TiFe and TiNi, also provide suitable theoretical equilibrium potential of the conversion-type anode. We hope that this research can serve as a starting point for future experimental investigation of these materials.

Acknowledgments: This research is funded by the Ministry of Education and Ministry of Science, Technological Development and Innovation, Republic of Serbia (contract number: 451-03-47/2023-01/200017).

References:

- Puthusseri, D., Wahid, M., Ogale, S., Conversion-type Anode Materials for Alkali-Ion Batteries: State of the Art and Possible Research Directions, ACS Omega. 2018, 3(4): 4591-4601.
- 2. Cheng, Q., Sun, D., Yu, X. Metal hydrides for lithium-ion battery application: A review, J. Alloys Compds., **2018**, 769:167-185.
- 3. Oumellal, Y, Rougier, A., Nazri, G.A., Tarascon, J-M., Aymard, L. Metal hydrides for lithium-ion batteries, Nat. Mater., **2008**, 7: 916-921.

HASAN KALMONCU 415" ----

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER



- 4. DeCost, B.L., Hattrick-Simpers, J.R., Trautt, Z., Kusne, A.G., Campo, E., Green, M.L. Scientific AI in materials science: a path to a sustainable and scalable paradigm, Mach. Learn.: Sci. Technol. 2020, 1: 033001.
- 5. Batalović, K., Radaković, J., Paskaš Mamula, B., Kuzmanović, B., Medić Ilić, M. Predicting the heat of hydride formation by graph neural network exploring the structure–property relation for metal hydrides, Adv.Theory Simul., **2022**, 5: 2200293.
- 6. Batalović, K., Radaković, J., Kuzmanović, B., Medić Iiić, M., Paskaš Mamula, B., Machine learning-based high-throughput screening of Mg-containing alloys for hydrogen storage and energy conversion applications, J. Energy Storage, **2023**, 68: 107720.
- 7. Batalović, K., Radaković, J., Kuzmanović, B., Medić Iiić, M., Paskaš Mamula, B. "MetalHydrideEnth". Mendeley Data, V1,**2022** doi: 10.17632/4tpmdzxtf6.1[Online].
- Chen, C., Ye, W., Zuo, Y., Zheng, C., Ping Ong, S. Graph Networks as a Universal Machine Learning Framework for Molecules and Crystals, Chem. Mater., 2019, 31: 3564–3572.
- Jain, A., Ong, S.P., Hautier, G., Chen, W., Davidson Richards, W., Dacek, S., Cholia, S., Gunter, D., Skinner, D., Ceder, G., Persson, K.A. Commentary: The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation, APL Mater., 2013, 1: 011002
- 10. NIST Standard Reference Database 13, Last Update to Data Content: **1998**, doi: 10.18434/T42S31
- 11. Zuttel, A, Hydrogen storage methods, Naturwissenschaften. 2004, 91:157-172.



DFT STUDY OF HYDROGEN INTERACTION WITH NICKEL AND NICKEL ALLOYS

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHNICAL UN

KATARINA BATALOVIĆ^{*1}, TANJA ANTANASIJEVIĆ¹, IGOR PAŠTI²

 ¹ VINCA Institute of nuclear sciences-national institute of the Republic of Serbia. University of Belgrade, Department of nuclear and plasma physics, Belgrade, SERBIA.
 ² University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Belgrade, SERBIA.

*corresponding author: kciric@vin.bg.ac.rs

Abstract

Interaction of nickel and nickel alloys with hydrogen is a topic of interest in hydrogen production and storage, and also due to the unwanted hydrogen embattlement in the nickel-containing alloys. The strength of the metal-hydrogen bond plays a crucial role in electrocatalysis or hydrogen sorption; therefore, correlating electronic structure and stability of metal hydrides is of broad interest for material design. We present a theoretical investigation of the interaction of nickel with hydrogen, concentrating on the influence of volume and chemical surroundings on the electronic structure and magnetism in the studied systems. Density functional theory calculations are done using the all-electron FPLAPW method, as included in the Wien2k program. In addition to various concentrations of hydrogen in the nickel, the influence of Hf and Pt on the structure, bulk modulus, and stability are examined. By augmenting these calculations with data from the NOMAD archive, we also search for structure-property relations and trends in numerous nickel-metal-hydride systems.

Keywords: Nickel, DFT, hydride, electronic structure.

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415" SHI

Nickel's primary use is as an alloying element in stainless steels, alloy steels, non-ferrous metals, and other corrosion-resistant alloys [1], industrial alkaline electrolysis, and automotive and aerospace materials [2]. Hydrogen interaction with Ni and Ni-containing metal alloys is a topic of interest in hydrogen production and storage. Nickel is an important destabilization element in metal hydrides used to tune their hydrogen storage properties [3]. Additionally, hydrogen embattlement of the nickel-containing alloys is an unwanted phenomenon [4,5]. The strength of the metal-hydrogen bond plays a crucial role in catalysis and electrocatalysis [6,7,8]; therefore, correlating alloy composition, electronic structure, and stability of metal hydrides is of broad interest for material design. This paper examines the influence of volume and chemical effects on the electronic structure and stability of nickel hydride.

2. Materials and Methods

Calculations were performed using a Full Potential (Linearized) Augmented Plane-Waves plus local orbitals (FP (L)APW + lo) method, as implemented in the Wien2k program package based



on the density functional theory [9]. The exchange and correlation effects were included within the generalized gradient approximation. The muffin-tin radii of 2.0 bohr for Ni and 1 bohr for H were adopted. Appropriate supercells were also adopted for the Ni-H system to simulate the concentration effect, while also supercells of formula Ni₁₅XH, X=Pt, Hf were constructed to simulate the influence of these metals. The Brillouin zone integration was achieved via a tetrahedron method. Criteria for the convergence of the integrated charge difference between the two successive iterations was set to less than 10^{-5} electrons. The unit cell volumes were optimized, and structures relaxed until the forces acting on atoms were less than 1 mRy/bohr. Additionally, the NOMAD database [10] was searched for Ni-containing bimetal hydrides, to further examine the structure-property relations in these materials.

3. Results and Discussion

HASAN KALMONCU 415" ----

First, we examine the influence of structural stress, i.e. volume change on the stability and electronic structure of NiH, by comparing the stability of NiH and Ni having various volumes. Table 1 displays calculated changes in the stability of nickel hydride in reference to nickel and hydrogen in their standard state, i.e. metal nickel and H₂ molecule [11].

Table 1. Hydride formation energy as a function of the volume change in the hydride and metal;% of volume change marks the deviation from the optimized volume for these structures

Volume change (%)	Hydride formation	
	energy (kJ/mol ⁻¹)	
-10	-12.13	
-7.5	-13.55	
-5.0	-12.30	
-2.5	-12.14	
0	-12.17	
2.5	-11.44	
5	-10.98	
10	-10.38	

We can observe a general trend that an increase in the cell volume leads to the destabilization of the hydride. This is also in line with some data-driven observations in metal hydride systems that demonstrated how the enthalpy of hydride formation decreases with the increase of the volume per atom in the metal/metal alloy, for various systems [12].

Additionally, fig.1. displays the density of states in nickel hydride for the systems having various volumes. The volume increase is reflected in the upward shift of the hydrogen states, as well as nickel d-states, toward the Fermi level. The same is seen for nickel metal. A recent study of tensile and compressive strain of various metal lattices showed that with volume increase the d-band center shifts up and the hydrogen solution energy decreases [4]. The Hammer-Nørskov d-band model is a known descriptor for catalysis[6]. It demonstrates that a stronger upward shift of the d-band center leads to a stronger binding energy of the hydrogen atom at the surface. Also, for the fcc crystals (Cu, Ni) it was demonstrated that tensile strain instead decreases the electrons transferring to the hydrogen atom[4], which is in line with the decreased stability we observed.

TRABZON

HASAN KALNONCU 415"





Figure 1. The density of states in NiH for various volumes; volume variations in reference to optimized NiH structure are shown in % at the right of each plot

However, in the case of hydrogen absorption volume of metal as well as the behavior of hydride with strain, also plays an additional important role. Additionally, the volume of the interstitial site itself in the metal lattice [4]. This is evident from Table 2, where the influence of hydrogen concentration in the metal lattice is discussed.

	Hydride formation energy (kJ/mol ⁻¹)	E _d -E _F (eV)	Spin magnetic moment (µb)
Ni	-	-1.83	0.66
NiH0.065	-11.903	-1.81	0.60
NiH0.25	+3.68	-1.71	0.46
NiH	-12.17	-1.60	0

Table 2. Influence of concentration of hydrogen in the metal cell on the hydride stability, magnetization, and position of the d-band center

An increase in the concentration of hydrogen in nickel leads to the deterioration of the magnetization, and the spin magnetic moment is zero for the nickel monohydride. A similar trend is observed for the other metal hydrides found in the NOMAD database – the higher H/M (ratio of hydrogen in metal) in general leads to a lower spin magnetic moment. At the same time, higher hydrogen concentration moves the d-band center closer to the Fermi level. Given that these results are all obtained for the optimized volumes of the hydrides, the influence of hydrogen concertation is one factor, while the other, which is also present, is the influence of the volume increase that is happening during the absorption of hydrogen.



HASAN KALNONCU 415" ----



To test the influence of chemical surroundings, we studied the supercells of $Ni_{16}H$ where one of the nickel atoms is replaced with Pt or Hf, fig.2. Volume was kept fixed to the optimized volume of the nickel hydride supercell.



Figure 2. left: Supercell of Ni₁₅XH, X=Hf, Pt; right: DOS plot for Hf-substituted hydride (top) and Pt-substituted hydride (bottom)

By calculating the stability of these hydrides, both are found to be unstable in reference to bimetal alloys, while the relative stability of the Hf-containing one is higher than that of the Pt-containing one. The d-band center is closer to the Fermi level for Hf containing supercell. We see that in the case of the influence of chemical surroundings, the stability and position of the d-band center follow the Hammer-Nørskov d-band model; however, we cannot neglect the important influence of volume change due to the various natures of substituting atoms. These results are in line with a recent study on metal doping in Fe. The doping of Cr, Mo, or Ni was shown to cause the shift down of the d-band center of the Fe atom near the doping atom after the hydrogen solution, meanwhile, the hydrogen solution energy also increases[4]. In contrast, the doping of Zn, Al, Cu, or Ti results in the shift up of the d-band center of the Fe atom near the doping atom after the hydrogen solution, together with a decreased hydrogen solution energy, i.e. higher hydride stability[4]. The chemical nature of various dopants is a factor that is also correlated to the density, volume, and available interstitial sites in metal lattices. This is illustrated in a search for Nicontaining ternary metal hydrides that was done in the NOMAD database. Figure 3 displays results, i.e. dependence of volume per site and formation energy from the H/M for 23 various optimized hydrides found. Although some correlation can be seen, that an increase of hydrogen concentration in the metal leads to the decrease of volume per site, this is only a logical consequence of the incorporation of hydrogen atoms in an interstitial site. Future work is therefore planned to investigate further structure-property relation in nickel hydride when doped with various metals.



Figure 3. Dependence of volume per site in the crystal lattice from the ratio of hydrogen in metal for 23 unique ternary Ni-containing hydrides found in the NOMAD database [10]; the size of points is proportional to the formation energy of each hydride

Acknowledgments: This research is funded by the Ministry of Education and Ministry of Science, Technological Development and Innovation, Republic of Serbia (contract number: 451-03-47/2023-01/200017)

References

- 1. Kain, V., 12 Corrosion-Resistant Materials, in Functional Mater. Editor(s): S. Banerjee, A.K. Tyagi, Elsevier, **2012**, (507-547).
- Smith, R.J., Lewi, G.J. and Yates, D.H. Development and application of nickel alloys in aerospace engineering. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2001, 73(2): 138-147.
- 3. Batalović, K., Radaković, J., Koteski, V., Savić, M., Density functional theory guide to structure and thermodynamics of metal hydrides–Case study of (Ti, Zr, Hf) Ni intermetallic compounds, Int. J. Hydrogen Energy, **2015**, 40:13029-13038
- 4. Zhu, Q., Huang, W., Huang, C., Gao, L., Su, Y., Qiao, L. The d-band center as an indicator for the hydrogen solution and diffusion behaviors in transition metals. Int. J. Hydrogen Energy, **2022**, 47(90):38445-38454
- 5. S. Huang, D. Chen, J. Song, D. L. McDowell & T. Zhu, Hydrogen embrittlement of grain boundaries in nickel: an atomistic study, npj Computational Materials, 2017, 3, 28
- 6. Hammer, B., and Norskov, J.K. Electronic factors determining the reactivity of metal surfaces, Surf. Sci., **2022**, 343:211-220
- Kim, J. et al., Tailoring Binding Abilities by Incorporating Oxophilic Transition Metals on 3D Nanostructured Ni Arrays for Accelerated Alkaline Hydrogen Evolution Reaction, J. Am. Chem. Soc. 2021, 143:1399–1408
- 8. Jovanović, A.Z., L. Bijelić, L., Dobrota, A.S., Skorodumova, N.V., Mentus, S.V., Pašti, I.A. Enhancement of hydrogen evolution reaction kinetics in alkaline media by fast

HASAN KAMONCU 415" ----

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER



galvanic displacement of nickel with rhodium–from smooth surfaces to electrodeposited nickel foams, Electrochem. Acta **2022**, 414:140214

- 9. Schwarz, K. Blaha, P., Madsen, G.K.H. Electronic structure calculations of solids using the WIEN2k package for material sciences, Comp. Phys. Commun. **2002**, 147: 71–76.
- 10. NOMAD—The Materials Science Discovery Repository, https://youtu.be/UcnHGokl2Nc, 2017-05-30.
- Ćirić, K.D, Koteski, V., Stojić, D.Lj., Radaković, J.S., Ivanovski, V. HfNi and its hydrides– First-principles calculations, Int.J.Hydrogen Energy, 2010, 35(8): 3572–3577
- 12. Witman, M., Ling, S., Grant, D.M., Walker, G.S., Agarwal, S., Stavila, V., Allendor, M.D., Extracting an empirical intermetallic hydride design principle from limited data via interpretable machine learning, J. Phys. Chem. Lett., **2019**, 11(1):40-47

QUALITY CONTROL FOR COAL MILL SHAFTS OF THERMAL POWER PLANTS

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

VEHBI UGUR ORUC¹, MIRJANA BORISAVLJEVIC²

¹ AQRA TECHNIC d.o.o., Inspection Department, Belgrade, SERBIA ² AQRA TECHNIC d.o.o., Inspection Department, Belgrade, SERBIA

Abstract

The degree of responsibility and significance of the mechanical element subjected to quality control are greatly affects to the types and scope of testing and control. Methodology of control for responsible mechanical element covers comprehensively control activities with aim to confirm the fulfillment of the defined acceptance criteria. The shaft in a coal mill of a thermal power plant is a very important structural part, because of its failure can lead to problems in the functioning of the thermal power plant and interruptions in the electricity supply. Therefore, a very rigorous and complex (in terms of type and scope) quality control is applied when procuring a new shaft. The paper lists the quality control of forgings made of 16Mo3 material, according to technological operations: steel and ingot production, forging, heat treatment, pre-machining of forgings, with extensive tests which carried out during the qualitative acceptance. Controls of the machined shaft are also given in detail, which include dimensional control and comprehensive tests for quality acceptance of the finished shaft. The presented coal mill shaft control methodology is applied for procurement in thermal power plants in the Republic of Serbia, with respectable results in ensuring a high-level of quality and confidence in the quality of the final product.

Keyword: quality control, acceptance criteria for a mill shaft



DEVELOPMENT OF A DIGITAL DRIVE CONTROL SYSTEM FOR ELECTRICALLY DRIVEN OFF-HIGHWAY VEHICLES

ALİ KILIÇ^{*1}, ORKUN OĞUZ², FIRAT HATİPOĞLU²

¹ Affiliation: Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep, TÜRKİYE.
² Affiliation: Ceytech Makina Sanayi ve Ticaret Anonim Sirketi, Adana, TÜRKİYE

Abstract

In the scope of this study, the development of a control unit to facilitate the conversion of electric driven off-highway vehicles to digital drive-by-wire systems is targeted. Within the study, all peripheral components that involve user interaction on the vehicle have been connected to the main controller, and the data has been processed in an embedded system environment. Essentially serving as a Custom Vehicle Control Unit, this system enables the preprocessing of vehicle control signals before directly transmitting them to the motor driver. The study has been carried out on a controller based on the ARM Cortex-M4 architecture from STMicroelectronics' F family, utilizing the FreeRTOS system. CAN-BUS 2.0A protocol and the CANOpen standard have been employed for in-vehicle communication, and as part of the study, a human-machine interface has been developed, allowing direct interaction between the user and the machine. Through this interface, users gain access to numerous vehicle functions and the ability to modify driving parameters. The study has effectively met the real-time controllability requirement of the system, laying a foundation for future developments in the field.

Keywords: Electric Driven Construction Machinery. Drive by Wire, Custom Vehicle Control Unit

1. Introduction

In recent years, the adaptation of digital drive control systems in electrically driven off- highway (construction, agriculture, material handling, etc.) vehicles has garnered significant attention due to the array of benefits it offers. Key technologies of pure electric drive systems applied to this type of vehicles enhance various performance metrics including dynamic response, speed control accuracy, and overload capacity compared to traditional engine-based systems [1]. Pure electric drive technology is pivotal in developing vehicles that adheres to increasingly stringent emission regulations. Unlike automobiles, off-highway vehicles operate in harsh environments where the load varies drastically during work processes, necessitating robust and adaptive control systems [2].

Efforts to augment the efficiency of construction, agriculture and material handling machinery driven by pure electric power and minimize energy consumption have led to the exploration of innovative control strategies. For instance, a variable-pressure differential control strategy based on variable-speed has been proposed to address these concerns [2]. Furthermore, the traditional construction machinery, particularly excavators, are known for high fuel consumption and emissions due to the hydraulic pumps being driven by engines. Transitioning to pure electric drive technology alleviates these challenges by offering a pollution-free



alternative, besides addressing the difficulty in matching the working point of the engine to that of the hydraulic pump [3].

The advancements underscore the importance and the continual evolution of digital drive control systems in electrically driven off-highway vehicles, spotlighting a promising avenue for further research and development to meet the dual objectives of operational efficiency and environmental sustainability.

2. Materials and Methods

HASAN KALMONCU 415" ----

The modernization of off-highway vehicles through electrification and digitalization is crucial to improve operational efficiency, safety, and environmental sustainability. An important aspect of this modernization is the transition to digital drive-by-wire systems, which replace traditional mechanical control systems with electronic ones, thus offering improved control and responsiveness. This paper presents the development of a dedicated Vehicle Control Unit (VCU) to facilitate this transition for electrically driven off-highway vehicles.

The core objective of this study is to design and implement a control unit that serves as a linchpin for converting electric driven off-highway vehicles to digital drive-by-wire systems. The VCU developed herein interfaces with all peripheral components involving user interaction on the vehicle, processes the data in an embedded system environment, and preprocesses vehicle control signals before transmitting them directly to the motor driver. The architecture of the VCU is based on the robust ARM Cortex-M4 architecture from STMicroelectronics' F family, utilizing the FreeRTOS system for real-time operating capabilities.

Another significant aspect of this study is the utilization of the CAN-BUS 2.0A protocol and the CANOpen standard for in-vehicle communication, which are instrumental in ensuring seamless communication between the VCU and other vehicle subsystems. Additionally, a human-machine interface (HMI) is developed to allow direct interaction between the user and the machine, granting users access to numerous vehicle functions and the ability to modify driving parameters.

Scientific literature such as the development of electric drive systems for construction, agriculture and material handling machinery and vehicles elucidates the importance of electronic control units in enhancing vehicle performance and user experience. Additionally, research on the development process of robust Drive-By-Wire systems for autonomous electric vehicles provides insights into the design considerations and safety analysis essential for developing reliable digital drive-by-wire systems [4, 5]. Moreover, studies on collision-avoidance systems for electric vehicles underscore the necessity of real-time controllability and efficient in-vehicle communication, which are central to the objectives of this study [6].

Through meticulous design, implementation, and evaluation, this study effectively meets the real-time controllability requirement, thereby laying a solid foundation for future developments in the realm of digital drive-by-wire systems for electric driven off-highway vehicles. This work aims to contribute significantly to the body of knowledge required for the standardization of construction, agricultural and material handling vehicles and pave the way for a more efficient, safe, and environmentally sustainable industry.

Considering safety and performance requirements, a control system named Intelligent VCU has been developed for use as a vehicle control unit in electrically operated off-highway vehicles. The design criteria of the Vehicle Control Unit to be developed were determined as follows:

• The dimensions of the circuit board have been determined based on the area allocated for installation.

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER TRABZON - TÜRKIYE **TICMET'23**

- A P-Channel Mosfet has been utilized to provide reverse polarity connection protection.
- The PCB trace thickness has been designed to accommodate a nominal current of 1.2A.
- A wide input voltage range of 12-28V has been adopted to comply with automotive standards.
- Opto-isolated and ESD Protected Digital Inputs and Outputs:

- The digital inputs and outputs are opto-isolated and protected against Electrostatic Discharge (ESD).
- The analog inputs are filtered for Electromagnetic Compatibility (EMC) and Electromagnetic Interference (EMI) and are also protected by operational amplifiers.
- An RS232 output has been incorporated to enhance USART efficiency and to minimize noise interference.
- The CAN-BUS features built-in 230W 5A ESD protection.

The hardware architecture of the developed Vehicle Control Unit is provided in Figure 1, while the software architecture is presented in Figure 2. List of materials can be seen in Table 1.



Figure 1. Hardware architecture of Intelligent VCU





()

EEPROM MODULE



Figure 2. Software architecture of Intelligent VCU

		List of Materials of Materials of Materiagent VCC	
Category	Quantity	References	Value
Capacitors	9	C1,C11,C24,C33,C51,C54,C57,C60,C63	10uF
Capacitors	10	C2,C13,C16,C23,C34,C52,C55,C58,C61,C64	1uF
Capacitors	41	C3-C4,C10,C14-C15,C17-C22,C27-C28,C30-C32,C35-C50,C53,C56,C59,C62,C65,C70-C73	100nF
Capacitors	2	C5-C6	15nF
Capacitors	1	C7	10pF
Capacitors	3	C8-C9,C12	22uF
Capacitors	2	C25-C26	22pF
Capacitors	1	C29	1nF
Resistors	5	R1,R7,R33-R35	10k
Resistors	1	R2	169k
Resistors	1	R3	51.1k
Resistors	1	R4	25.5k
Resistors	1	R5	10.4k
Resistors	1	R6	2k
Resistors	2	R8,R24	330R
Resistors	2	R11,R19	60R
Resistors	3	R12,R15-R16	1k
Resistors	1	R13	100k
Resistors	1	R14	3k3
Resistors	1	R17	2k
Resistors	17	R18.R21.R23.R26.R28.R30.R32.R37.R39.R41.R43.R45.R47.R59.R61.R63.R65	1k
Resistors	13	R20.R22.R25.R27.R29.R31.R36.R38.R40.R42.R44.R46.R48	100k
Resistors	5	R49.R51.R53.R55.R57	10k
Resistors	5	R50.R52.R54.R56.R58	3k3
Integrated Circuits	1	U1	TPS54231DR
Integrated Circuits	1	1/2	LM1117MPX-3
Integrated Circuits	1	U3	STM32F302RET6
Integrated Circuits	1	U4	FOXSDLF16020
Integrated Circuits	17	U5.U9.U12-U22.U26-U29	LTV814S-TA1
Integrated Circuits	1	U6	ACS712ELCTR-05B-T
Integrated Circuits	1	117	PESD2CAN215
Integrated Circuits	1	U8	PCA82C251
Integrated Circuits	1	U10	MAX232DR
Integrated Circuits	1	111	M95160-WMN6TP
Integrated Circuits	3	U23-U25	LM358
Transistors	1	01	PIA3405
Transistors	1	02	7XTP2025FTA
Transistors	1	03	PIA3406 R1 00001
Diodes	1	D1	15MA4744
Diodes	1	D2	SK36-2144C-HT
Miscellaneous	1	11	
Miscellaneous	3	12-14	533750910
Miscellaneous	1	101	
Miscellaneous	1		MED 2500542
Miscellaneous	1	11	SPI1004 150M
Miscellanoous	1		1 CB2012_200V N
Miscellaneous	2		
INIISCEIIAIIEUUS	4		IIL-I JC-ZUIZIIZUJDU

Table 1. List of Materials of Intelligent VCU

3. Production of VCU

HASAN KALNONCU 415" ----



The conducted study was carried out within a company, which manufactures material handling and light construction machines under the brand name CEYLIFT[®]. An intelligent vehicle control unit has been developed by enhancing the electric vehicles we produce, and the newly developed ones, with features and capabilities that are hard to come by readily in the market. The Pcb design and three-dimensional image of the developed control card can be seen in Figure 3. The developed VCU has the following features:

- Input voltage range of 12-28V.
- Built-in 5V 2A and 3.3V 1A voltage lines.

• 6 protected 0-10V Opamp Analog Inputs: Motion pedal, Lift Pot, Cooling Current, Steering Pot, Distance Meter 1, Distance Meter 2

- 1 built-in SPI EEPROM: For error logging and saving system configurations.
- 8 protected 12V optocoupler digital inputs: Brake pedal, seat, forward, reverse, pedal enable switches, and 3 spare digital switches.
- CAN 2.0a and 2.0b system supported by 1000bps CANOpen.
- 4 digital safety outputs

• 1 RS232 peripheral for communication with external units or for communication with internal HMI

• 1 USART unit. For internet connection through ESP32WROOM Module. Supports cloud connection for remote access and monitoring.



Figure 3. Pcb design and 3D model and layers of developed VCU

The essential groundwork for laboratory testing was laid through the meticulous design of circuit cards, production of PCB prototypes, and preliminary work on the control system software. The system was subjected to initial laboratory tests as part of the hardware testing phase, including independent layer tests and integrated layer tests. These crucial steps enabled a thorough examination of the system's hardware components, thereby identifying potential areas of improvement early in the development process. In Figure 4, the real image of the developed first-generation prototype VCU with components arrayed is shown.







Figure 4. Real photograph of assembled PCB

The developed VCU is planned to be used within a use-case scenario, particularly envisioning an electrically driven compact telescopic forklift heavily utilized in construction, agriculture, and material handling applications. The schematic representation of the relationships between the telescopic forklift and its electromechanical, hydraulic, and control equipment is shown in Figure 5.

The developed VCU, specially designed considering a telescopic forklift in mind, aims to bridge the transition to digital drive-by-wire systems, bringing forth a modernized approach to handling construction and material handling vehicles. Through the meticulous development process, this study encapsulates the integration of user-centric interfaces, real-time controllability, and efficient in-vehicle communication, aligning with the broader objective of enhancing operational efficiency, safety, and environmental sustainability in electrically driven construction, agriculture, and material handling machinery.

The Software-In-Loop (SIL) tests conducted in a controlled laboratory environment played a pivotal role in evaluating the functionality and reliability of the control system software under simulated real-world conditions. This rigorous testing regime established a robust foundation for the subsequent phases of development, ensuring that the control system software is wellprepared to meet the challenges posed by real-world operational scenarios.

Preparations are currently underway for the next crucial phase, which entails Vehicle Integration Tests (HIL). This phase aims to evaluate the integrated performance of the developed hardware and software components within the complete vehicle system, further refining the system's operational capabilities and readiness for real-world deployment.



Figure 5. Component relations and schematic diagram of compact telescopic loader

Upon the completion of vehicle testing, any identified deficiencies in both hardware and software will be meticulously addressed. This iterative refinement process is geared towards achieving a refined design that encapsulates the project's ultimate vision of a reliable and efficient Vehicle Control Unit.

The project is slated to transition into the stages of Electromagnetic Interference (EMI), Electromagnetic Compatibility, and Electrostatic Discharge (ESD) testing and certification subsequent to the refinement of design. These stages are crucial for ensuring that the developed system not only fulfills the operational requirements but also adheres to the stringent industry standards concerning electromagnetic interference and electrostatic discharge. This adherence is imperative for mitigating the risks associated with electromagnetic and electrostatic phenomena, thereby ensuring the safety, reliability, and operational efficiency of the developed Vehicle Control Unit in real-world off-highway vehicles applications.

The comprehensive testing and certification regime underscored in this study elucidates the significant role of a methodical approach to development and testing in advancing the project towards its ultimate goal of delivering a robust, reliable, and industry-compliant Vehicle Control Unit. Through a diligent process of design, testing, refinement, and certification, this project endeavors to contribute significantly to the burgeoning field of vehicle control systems.

4. Conclusions

In this study, development activities were carried out to devise a Vehicle Control Unit (VCU) suitable for off-highway vehicles, tailored to the operational scenarios of the mentioned vehicles for controlling peripheral units. Necessary design work for circuit cards, PCB prototype production, and control system software development were conducted in preparation for laboratory tests. The system underwent preliminary laboratory tests, including independent layer tests and integrated layer tests as part of the hardware testing phase. Software-in-loop (SIL) tests were conducted in a laboratory setting, laying a solid foundation for the subsequent phases. Preparations are underway for the next phase, which entails vehicle integration tests





(HIL). Following the completion of vehicle tests, identified deficiencies in hardware and software will be addressed, refining the design to its final version. Subsequently, the project will transition into the electromagnetic interference (EMI), electromagnetic compatibility, and Electrostatic Discharge (ESD) testing and certification stages. These later stages are paramount to ensure the developed VCU not only meets the functional requirements but also adheres to the critical safety and electromagnetic standards prevalent in the industry. Through rigorous testing and iterative design enhancements, the endeavor aims to deliver a robust and reliable VCU, propelling the capabilities of electrically operated off-highway vehicles to a new echelon of efficiency and safety.

Acknowledgments

HASAN KALMONCU 415"

We would like to express our gratitude to TÜBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) for its support to project number 3230030 within the scope of TEYDEB 1501 Industry R&D support program.

References

- Lin, T., Lin, Y., Ren, H., Chen, H., Chen, Q., & Li, Z. Development and key technologies of pure electric construction machinery. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, 132: 110080.
- 2. Fu, S., Wang, L., & Lin, T. Control of electric drive powertrain based on variable speed control in construction machinery. Automation in Construction, **2020**, 119: 103281.
- 3. Fu, S., Li, Z., Lin, T., Chen, Q., & Ren, H. A positive flow control system for electric excavators based on variable speed control. Applied Sciences, **2020**, 10.14: 4826.
- 4. Sültrop, C. Vehicle control unit for drivetrains exclusively from power electronics technology demonstrators. In: 2015 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC). IEEE, **2015**. p. 1-6.
- 5. Bergmiller, P. Design and safety analysis of a drive-by-wire vehicle. Automotive Systems Engineering, **2013**, 147-202.
- 6. Ijeh, I. C. A collision-avoidance system for an electric vehicle: a drive-by-wire technology initiative. SN Applied Sciences, **2020**, 2.4: 744.

ULTRASOUND-ASSISTED ETHANOLIC EXTRACTION OF OIL FROM *PISTACHIA VERA L*. USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

EZGİ KALKAN¹, MEDENİ MASKAN¹

¹Food Engineering Department, Engineering Faculty, Gaziantep University, Şehitkamil, Gaziantep,

Türkiye

Abstract

In this study, an ultrasound assisted ethanolic extraction technique was used for the first time with success to extract oil from *Pistacia vera L*. The influence of extraction temperature (25, 37.5, 50°C), extraction time (10, 20, 30 min), and solvent to solid ratio (2:1, 4:1, 6:1) on oil efficiency was studied. Ultrasound-assisted extraction is a sustainable extraction technology that uses non-toxic organic solvents like ethanol instead of traditional solvents. According to numerical optimization, the ideal extraction parameters were 32.74°C extraction temperature, 29.47 min extraction time, and 5.94:1 extraction solvent to solid ratio. At these ideal conditions, oil yield is predicted to be 23.54% and experimentally obtained to be 22.04%. The study discovered that linear and quadratic levels of extraction time, as well as interaction levels of extraction time and solvent to solid ratio, had a significant effect on oil yield. It can be stated that the ultrasound-assisted ethanolic method is effective in providing high oil yields compared to traditional methods, reducing extraction time and temperature, and allowing the use of alternative green solvents.

Keywords: Pistachio oil, Extraction, Ultrasound, Optimization



HASAN KANONCU 45%



DEVELOPMENT AND CRITICAL DESIGN OF MAGNETIC TORQUE ROD FOR LEO SATELLITES

UĞUR TOPAL^{*1}, HAVA CAN¹

¹TUBITAK-UME, National Metrology Institute, Gebze-Kocaeli, Türkiye

Abstract

A magnetic torque rod represents an effective means of generating torque for satellite orientation by interacting with Earth's magnetic field. In the dynamic realm of Low Earth Orbit (LEO) satellite systems, precise position control plays a crucial role in the successful execution of a satellite's mission. The insights gained from this study contribute to enhancing the precision, reliability, and diversity of LEO satellite missions, thereby opening doors for new scientific discoveries and technological advancements in Earth observation and beyond. This study delves into critical considerations such as material selection, structural integrity, power consumption and heat management, providing a detailed examination of the fundamental principles behind magnetic torque rod production. To ensure the effectiveness of the torque rod, the design is tailored to the specific dimensions, weight, and power constraints of satellite systems. The designed torque rod possesses a magnetic dipole moment of larger than \pm 60 Am² and consumes just ~2.6 Watts of power. Furthermore, it demonstrates the ability to adapt to satellite technology advancements with an operational temperature range of -50°C to +85°C.

Keywords: Magnetic torque rod, LEO Satellite, magnetic dipole moment, vibrational tests, thermal analysis



HASAN KALDONCU 15 mm



FARKLI ÇAPLARDA AL2024 T3 BORU NUMUNELERE BÜZME İŞLEMİ UYGULANMASI

Mustafa TAŞ¹, Abdul Kadir EKŞİ²

1 Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Adana, TÜRKİYE. 2 Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Adana, TÜRKİYE

Özet

Endüstriyel uygulamalarda alüminyum kullanımı gün geçtikçe artmaktadır, özellikle alaşımlandırılmış alüminyum malzemeler otomotivde ağırlık azaltmada kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Yüksek mukavemet gerektiren havacılık uygulamalarında da yine hem ağırlık kazancı hem yüksek mukavemet ve korozyon direnci ile ön plana çıkmakta ve yüksek ömür sunmaktadır. Bu çalışmada 12,7-28,6 mm arasında farklı çaplarda Al2024 T3 boru numunelere farklı büzme/çap azaltma işlemleri gerçekleştirilmiş ve T0, T42 ve kriyojenik ısıl işlemler uygulanmıştır. Büzme işlemi sonrasında ürünlerin çap azaltma oranına göre deformasyon yoğunluğu artmakta olup çekme dayanımı ve sertlik değerleri doğru orantılı olarak artmıştır. En yüksek çekme ve sertlik değerler %50 deformasyon alan daralması olan numunelerde gözlenmiştir. T3 ısıl işlemli borular, T0-T42 ve kriyojenik ısıl işlem uygulanarak mekanik dayanım, sertlik ve mikroyapı incelemeleri ile Büzme ve ısıl işlemin etkisi kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımları, büzme, kriyojenik ısıl işlem, fiziksel ve mekaniksel özellikler, termofiziksel özellikler

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHNI

TICMET'2

NECİP FAZIL YILMAZ^{1,2}, MAHMUT FURKAN KALKAN¹, ABDULCABBAR YAVUZ³

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi ²Mütevelli Heyeti, Hasan Kalyoncu Üniversitesi ³ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi

Abstract

Bu çalışma, B4C ile takviyeli alüminyum metal matris kompozitlerin mikroyapısının derinlemesine analizi ve semantik segmentasyonunu ele almaktadır. Derin öğrenme yaklaşımları kullanarak, matris içerisindeki B4C parçacıklarının doğru bir şekilde tespit edilmesi ve boyutlarının analizi amaçlanmıştır. Geliştirilen segmentasyon modeli, malzeme karakterizasyonu ve tasarımında önemli bilgiler sağlamayı amaçlayarak, yüksek hassasiyet ve otomasyon sağlamaktadır. Çalışmanın sonuçları, B4C takviyeli alüminyum metal matrislerin mikroyapısının daha iyi anlaşılmasına ve kompozit malzemelerin mühendislik uygulamalarında kullanımına katkı sağlayabilecek bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikroyapı Analizi, Parçacık Boyut Analizi, Derin Öğrenme, Semantik Segmentasyon, Kompozit Malzemeler

1. Giriş

HASAN KALNONCU

Teknoloji ilerledikçe, malzeme kullanımı ve geliştirilmesi aşamasında önemli yollar kat edilmiştir. Yeni alaşımlar ve kompozit malzemeler literatürde olduğu gibi endüstridede kendilerine başta savunma, enerji ve otomotiv sektörleri olmak üzere birçok kullanım alanları bulmuşlardır [1]. Kompozit malzemeler takviye eden partiküllerin geometrisine, kimyasal yapısına göre ve kompozit yapının matrisinin malzemesine göre farklı gruplara ayrılabilirler. Metal matrisli kompozitler (MMK'lar) ise yeni bir ileri malzeme grubu olarak kabul edilmişlerdir [2]. MMK'ların üretiminde genelde matris olarak hafif elementler veya alaşımlar kullanılmaktadır. MMK'ların yapısında takviye elemanları ve matris kimyasal bir bileşim oluşturmadan bulunurlar. Matrisin genel işlevi takviyeleri bir arada tutmak ve malzemenin fiziksel bütünlüğünü korumaktır [3]. Takviye malzemeleri ise kompozitin istenilen spesifik özelliklere getirilmesini sağlamaktır. En yaygın MMK'lar alüminyum veya titanyum bazlı olarak literatürde görülmektedir [4]. MMK'lar genel olarak matris olarak hafif alaşımlar kullanarak ve spesifik geometri ve kimyasal özelliklerde takviye kullanarak kütlece ağır alaşımlar ile rekabet edebilecek malzemeler olarak kabul görmektedir [5].

MMK'ların üretiminde matris elemanı olarak genellikle alüminyum bazlı alaşımlar kullanılmaktadır [6]. Bu alaşımlar düşük yoğunluklarına rağmen sağladıkları mekanik ve fiziksel özellikler sayesinde günlük hayatta birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Takviye malzemeleri olarak ise genel olarak SiC, B₄C, Al₂O₃, grafit ve TiB₂ gibi seramik malzemeler partikül, fiber ve visker gibi geometrilerde kullanılmaktadır [8]. MMK üretiminde takviye malzemelerinin seçimi, birlikte kullanılacak matris malzemelerine uygunluğu ve temin edilme kolaylığına bağlı olarak yapılmaktadır. MMK üretimi ve optimizasyonu üzerine 21.



Yüzyıl öncesinde ve sonrasında yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Literatürde genel olarak üretim şartları, seramik malzeme seçimi ve kullanım oranı ve matris için kullanılacak alaşımlar üzerine çalışmalar yer almaktadır [9,10].

Araştırmacılar genel olarak üretim şartlarına ve mekanik özellikler üzerine çalışmalar gerçekleştirsede MMK'ların mikroskobik görüntülerininde, MMK'ların geliştirilmesinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir [11]. Partiküllerin boyutları, geometrileri ve dağılımlarının üretilen MMK'nın mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu not edilmiştir [12]. Bazı çalışmalarda MMK'ların mikroyapısı üzerine yalnızca görsel olarak yorum yapılırken bazı çalışmalarda ise manuel olarak yapılan ölçümler üzerinde yorumlandığı görülmüştür [13,14]. Bu şekilde yapılan mikroskobik kontrollerin vakit ve hata yönünden dezavantajları bulunmaktadır. Yapay zeka alanında yakın zamandaki gelişmeler neticesinde mikrovapısal karakterizasvonun otomatik hale getirilmesi ve bu dezavantaiları elimine edilmesi ile ilgili umut vaat etmektedir [15]. Semantik Segmentasyon gibi derin öğrenme yöntemleri ile mikroskobik görüntülerde metalik yapıların tespiti ve karakterizasyonu gibi özelliklerin otomatik olarak belirlenmesi ve analiz edilmesi mümkün hale gelebilmektedir [16]. Bu yöntem ile görüntüler, içerisindeki farklı nesnelerin piksel bazında ayırt edilebilir hale geldiği maskeler haline dönüştürülürler. Bu aşamadan sonraki işlemde ise görüntü işleme gibi yöntemler mikroskobik bir görüntü üzerinden otomatik olarak bilgi kullanılarak çıkarımı sağlanabilmektedir [17]. Bu yöntemlerin kullanımının en büyük avantajlarından birisi hızlı bir şekilde yapılabilmesi iken diğeri ise ücretsiz yazılımlar yardımı ile hazırlanabilmesidir.

Bu çalışma, MMK'ların üretimi sonucunda elde edilen mikroskobik görüntü üzerinden otomatik ölçüm yöntemi önermektedir. Çalışma kapsamında bu yöntemin kullanımına örnek olarak farklı oranlarda B₄C takviye edilerek üretilmiş alüminyum matrisli kompozitler üzerinde çalışılmıştır. SEM görüntüleri üzerinden takviye elemanlarının üzerinde tavsiye edilen yöntemin ilk aşaması olarak elde edilen SEM görüntüleri semantik segmentasyon yöntemi ile birlikte takviye elemanlarını piksel bazlı olarak ayrılarak maske haline getirilmiştir. Yöntem ayrıca üretilen maskeler üzerinde otomatik olarak piksel bazlı tanımlanan B₄C partiküllerine ait konturlar kullanılarak partikül sayısı, uzunluğu, genişliği, alanı, ve homojenlik indeksini otomatik olarak ölçmeyi içermektedir. Bu anlamda önerilen yöntem, MMK'lara ait mikroskobik görüntülerde üretim işlemi sonrasındaki partikül yapısını ve dağılımını ücretsiz, otomatik ve hızlı olarak gerçekleştirebilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Yılmaz ve arkadaşlarının üretmiş olduğu ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 olarak farklı oranlarda B4C takviyeli alüminyum matrisli kompozit numunelerden zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra SEM görüntüleri alınmıştır. SEM görüntüleri Zeiss marka Gemini 300 modelinden alınmıştır. Alınan SEM görüntüleri 256*256 piksel olarak kırpılmıştır. Görüntüler semantik segmentasyon modelinde eğitime tabi tutulması için 50 farklı 256*256 piksel SEM resmi manuel olarak maskelenmiştir. Bunlardan 40 ı eğitim, 10 doğrulama ve 10 adet mikroskobik resim ise test etme amacı ile modelin eğitiminde kullanılmıştır. Modelin geliştirilmesinde kullanılan 60 mikroskobik görüntü [0,1] aralığına normalize edildi. Daha sonrasında veri çeşitliliğini arttırmak ve aşırı öğrenmeyi önlemek amacı ile eğitim ve doğrulama için kullanılan mikroskobik görüntüler üzerinde Albumentasyon kütüphanesi kullanılarak görüntü arttırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Semantik segmentasyon yöntemi için LinkNet modeli kullanılmış olup, model tensorflow çerçevesi altında öğrenime tabi tutulmuştur. İlgilenilen kısım sadece B4C partiküllerine ait yapı olduğu için, model tek bir sınıf için geliştirilmiş ve Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Alüminyum matrisine ait piksel arka plan olarak tanımlanmıştır. Model, Adam optimizatörü ve binary crossentropy kayıp fonksiyonu kullanılarak derlendi. Batch boyutu olarak 16 seçildi ve eğitim 50 iterasyonda



HASAN KALNONCU 415" ----



TICMET'23

tamamlandı. Sonrasında numunelere ait kullanılacak olan SEM görüntüleri 256*256 piksel boyutlarında olmak üzere geliştirilen model kullanılarak ölçüm yapılacak olan maskeler üretildi. Otomatik ölçüm işlemleri esnasında numunelere ait SEM görüntülerinde bulunan toplam partikül sayıları, partiküllere ait genişlik ve uzunluklar, partiküllerin yüzeyde kapladıkları alanlar, görüntüler üzerindeki B₄C partiküllerine ait toplam alanların numunelere ait kullanılan resimlerdeki toplam alanlara karşı oranları ve D-indeksi olarak tanımlanan numuneler arasında homojenlik değişimi gösterilmiştir [18]. Belirtilen D-indeksi maskelerin üzerindeki B₄C partiküllerine ait konturların merkez noktaları arasında dikeyde ve yatayda serbest çizgiler çekilmesiyle ve bu çizgilerin diğer bir kontur merkeziyle çakıştığı uzunluklar hesaplanarak elde edilmiştir. Bu uzunluklar serbest yol aralığı olarak isimlendirilmiştir. Serbest yol aralığının ortalamasına ait standart sapma değerinin serbest yol aralığı ortalamasına bölünerek D-indeksi hesaplanıdırılarak elde edilmiştir.

3. Tartışma

Semantik segmentasyon sonrasında üretilen farklı oranlarda B₄C katkısına sahip MMK'lara ait maskeler üzerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılarak farklı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Figür 1 ile orijinal SEM görüntüsü ile görüntüden semantik segmentasyon vasıtası ile elde edilmiş maske örnek olarak verilmiştir. Maske üzerinde B₄C partikülleri kabaca maske üzerinde beyaz konturlarla gösterilmektedir. Alüminyum matris e ait görüntüler ise hiçbir detay belirtilmeden siyah piksellerle gösterilmektedir.



Figür 1. Örnek olarak verilen orijinal SEM görüntüsü (a) ve maskesi (b)

Çalışma kapsamında kullanılan farklı oranlarda B₄C takviye edilmiş MMK'lara 24 er adet SEM görüntülerine ait maskeler farklı ölçümlere tabi tutulmuştur. Tablo 1 de dört farlı MMK için toplam B₄C partikül sayısı, ortalama B₄C partikül obje alanı yer almaktadır. Bununla ölçümlerin doğruluğundan emin olmak adına çalışma kapsamında kullanılan maskeler ve maskelere ait SEM görüntülerinden karışık bir şekilde seçilen B₄C partikülleri manuel olarak ölçülmüş olup, bu ölçümler sonucunda maskelerdeki hata oranı hesaplanmıştır. Alansal olarak hesaplanan hata oranı yine Tablo 1 de yer almaktadır.

Tablo 1 Farklı oranlarda B4C takviyeli MMK' lere ait SEM görüntülerindeki toplam objesayısı, ortalama obje alanı ve Alansal Hata oranı yüzdesi

Toplam B4C Partikül Sayısı	Ortalama B4C Partikül	Ortalama B4C	Ortalama B4C	Uzunluk Hata Oranı (%)
----------------------------------	--------------------------	-----------------	-----------------	------------------------------

 13-16 NOVEMBER, 2023



TRABZON - TÜRKİYE

		Genişliği (µm)	Partikül Uzunluğu	Partikül Alanı	
%5 B ₄ C	338	4.112	3.145	11.51633	
%10 B ₄ C	406	3.256	3.669	13.38749	4 120
%15 B ₄ C	494	5.439	3.308	12.60818	4.139
%20 B ₄ C	570	4.213	3.497	13.5407	

%5 B₄C takviyeli MMK 338 B₄C partikülüne sahip olduğu görülürken, beklendiği üzere döküm esnasında kullanılan B₄C takviyesinin ağırlıkça oranı arttıkça B₄C partikül sayısının da arttığı gözlenmiştir. Partikül sayısı değişimi oranla birlikte artsa da artış oranının ağırlıkça oranla aynı şekilde olmadığı gözlenmiştir. Çalışma kapsamında döküm esnasında kullanılan B₄C partiküllerine ait boyutların 3 µm olarak belirtilmiş olup SEM görüntülerine ait maskelerden yapılan ölçümlerde de yine dört MMK içinde ortalama B₄C uzunluğunun 3 µm a yakın olarak çıktığı gözlenmiştir. Ölçülen partikül genişlikleri ise bir numune haricinde 4 µm nin üzerinnde bulunmuştur. Manuel olarak maske ve orijinal SEM görüntüleri üzerinde yapılan 100 adet B₄C partikülüne ait alansal ölçümlerin sonucunda ise semantik segmentasyon modelinin pixel bazlı olarak %4.139 luk bir hata oranına sahip olduğu görüldü.



Figür 2. B₄C takviye oranına bağlı B₄C piksel yoğunluğu

Figür 2 ağırlıkça B₄C takviyesine bağlı olarak orijinal SEM görüntülerinden elde edilen maskeler üzerinde B₄C partiküllerinin sahip olduğu toplam piksel alanının tüm alana olan yüzdesini vermektedir. Yüzdece B₄C oranı arttıkça piksel oranının giderek arttığı tespit edilmiştir. Yine Tablo 1 de olduğu gibi bu alanın artışı ağırlıkça B₄C artışı ile aynı oranlarda gözlemlenmemiştir. Ağırlıkça %5 takviyeli MMK ile %20 takviyeli MMK arasında dört katlık bir fark döküm esnasında kullanılmışken piksel bazlı yaklaşık olarak iki katlık bir fark olduğu gözlemlendi.

Çalışma kapsamında döküm esnasında kullanılan B₄C partiküllerinin alansal değişimleri histogram olarak Figür 3 ile gösterilmektedir. Ortalama partikül genişliği 3 μ m civarında görülmüş olsa da MMK'ların analizinde takviye edilen partiküllerin boyutsal ve hacimsel değişimleri MMK performansında etkilidir. Bu sebepten ötürü araştırmacılar genellikle kullandıkları partiküllerin boyutlarının ve hacimlerinin aynı olmalarını beklerler. Histogram dağılımlarına göre, kullanılan partiküllerin çok farklı alansal aralıklarda yer aldığı gözlemlendi. Yüzdece partiküllerin en fazla 0 ile 4 μ m² lik alanlara sahip olduğu gözlemlendi. Dört farklı



HASAN KALNONCU 415" ----



numune üzerinden alınan sonuçlar göz önüne alındığında partikül alanlarının değişkenlik gösterdiği ve partiküllerin %5 den daha fazla oranda 40 μ m² kadar alana sahip olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte ağırlıkla partiküllerin sahip olduğu alanların 0 ile 12 μ m² arasında yer aldığı gözlemlendi.



Figür 3. SEM görüntülerinden elde edilen maskeler üzerinden belirlenen partikül alan histogramları; %5 B4C takviyeli (a), %10 B4C takviyeli (b), %15 B4C takviyeli (c) ve %20 B4C takviyeli MMK (d)

MMK mikroyapısında kontrol edilmesi gereken en önemli unsurlardan birisi olan partiküllerin ne kadar homojen dağıldığıdır. Çünkü ne kadar homojen bir dağılım gerçekleştirirse malzeme özelliklerininde o kadar homojen olacağı bilinmektedir. Yalnız mikroyapısal anlamda homojenliği tayin etmek kolay bir işlem değildir. Bu işlem genellikle geleneksel olarak gözle karar verilerek bir işlem olsada mikroyapısal özelliklerin homojenliğinin tayin edilmesinin malzeme geliştirilmesi konusunda öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Farklı yazılımlar üzerinde farklı metotlar literatürde mevcuttur. Seçilen yöntem veya yöntemlerin mikroskobik görüntü ile uyumlu olması gerekmektedir. Çünkü farklı yöntemler farklı açılandan homojenliği kontrol edebilirler. Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntem, Yakaboylu ve Sabolsky' nin çalışmasında önerilmiştir [18]. B₄C partikülleri merkezlerinden geçen dikey ve yatay çizgilerin kesiştiği B₄C partikülleri arasındaki mesafeler serbest yol aralığı olarak tanımlanmıştır. Serbest yol aralıklarının standart sapmasının serbest yol aralıkları ortalaması, standart sapması ve D-indeksi Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2' de verilen değerler göz önüne alındığında dört numuneninde D-indeksi 0.60 dan büyük olduğu için düşük seviyede homojen sınıfına dahil edilebilir olduğu görülmektedir [18]. Numunelerin birbirleri ile karşılaştırıldığında ise döküm esnasında B₄C nin ağırlıkça artışının homojeniteyi azalttığı tespit edilmiştir. %15 B₄C ve %20 B₄C içeren MMK'lar arasında ise ciddi bir fark olmamakla birlikte ağırlıkça %20 B₄C içeren MMK'nın homojenliğinin ağırlıkça %15 B₄C içeren MMK'dan daha fazla olduğu görülmüştür.

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2

Tablo 2. Ağırlıkça farklı oranlarda B4C tavksiyesi kullanılan MMK'lara ait D-indekssonuçları

	s (µm)	Χ (μm)	D-indeks (Cv)
%5 B4C	11.441	13.778	0.830
%10 B4C	6.072	6.795	0.894
%15 B4C	10.367	10.778	0.962
%20 B4C	9.230	9.752	0.946

4. Sonuçlar

HASAN KALNONCU 415"

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER

Çalışma kapsamında ağırlıkça farklı oranlarda B4C takviyesi kullanılarak üretilen alüminyum matrisli MMK'lara ait SEM görüntüleri semantik segmentasyon modeli ile yapılan ölçümlere hazır olacak şekilde maske haline getirilmiştir. Üretilen maskelere OpenCv kütüphanesi kullanılarak yükseklik, genişlik, alan ve homojenite indeksi gibi ölçümler otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, MMK mikroyapısında analiz için otomatik bir yöntem önermektedir. Bu yöntemle birlikte MMK'ların geliştirilmesi esnasında malzemenin mikroskobik karakterinin önemli bir faktör olabileceği düşünülmektedir. Ağırlıkça B4C oranının MMK içerisinde döküm esnasındak kullanılması ile birlikte B4C partiküllerinin sayısının artarken homojenliğinde bir miktar azaldığı görülmüştür. Ağırlıkça artan B₄C oranına bağlı artan partikül sayısıyla birlikte B4C partiküllerinin alüminyum yüzeyinde kapladığı alanında arttığı tespit edilmiş ve oranları ile sunulmuştur. Bununla birlikte, B4C boyutları ile ilgili yapılan ölçümlerde daha büyük alanlara sahip B₄C partikülleri hesaplanmıştır. Bu duruma B₄C partiküllerinin döküm esnasında bazı alanlarda yığılmaya uğramasının sebep olabileceği düşünüldü. Mikroskobik gözlemlerde karşılaşılabilecek yığılma gibi durumlar söz konusu olduğunda örnek segmentasyonu gibi yöntemler kullanılarak daha tutarlı bir gözlem şansı elde edinilebilir. Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından birisi şüphesiz ki mikroskobik analizlerin gözlemsel yolla veya manuel olarak ölçülmesinin yerine otomatik olarak yapılabileceğini göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan birisi mikroyapısal analizler gerçekleştirilirken olabildiğince farklı yerden fazla sayıda resim kullanılması gerekmesidir. Bu şekilde malzemenin mikroskobik karakterinin daha anlaşılır ve objektif bir şekilde ortaya çıkarabileceği düşünülmektedir.

Referanslar

- 1. Yilmaz M, Kurt HI, Yilmaz NF. Manufacturing and Characterization of Al-xMgxMgO Composites Using Stir Casting Process. Int J Met 2023;17:2308–22. https://doi.org/10.1007/s40962-022-00946-y.
- Mortensen A, Llorca J. Metal matrix composites. Annu Rev Mater Res 2010;40:243– 70.
- 3. Kainer KU. Basics of metal matrix composites. Met Matrix Compos Cust Mater Automot Aerosp Eng 2006:1–54.
- 4. Suresh S, Shenbag N, Moorthi V. Aluminium-titanium diboride (Al-TiB2) metal matrix composites: challenges and opportunities. Procedia Eng 2012;38:89–97.
- 5. Sharma AK, Bhandari R, Aherwar A, Rimašauskienė R, Pinca-Bretotean C. A study of

HASAN KALNONCU 415"



advancement in application opportunities of aluminum metal matrix composites. Mater Today Proc 2020;26:2419–24.

- 6. Reddy PV, Kumar GS, Krishnudu DM, Rao HR. Mechanical and wear performances of aluminium-based metal matrix composites: a review. J Bio-and Tribo-Corrosion 2020;6:83.
- 7. Tang S, Ummethala R, Suryanarayana C, Eckert J, Prashanth KG, Wang Z. Additive manufacturing of aluminum-based metal matrix composites—a review. Adv Eng Mater 2021;23:2100053.
- 8. Muharrem PUL. Alüminyum 7075 Matrisli Kompozitlerde SiC, B4C Ve TiB2 takviye elemanlarının mekanik özelliklere etkilerinin karşılaştırılması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol Derg 2019;7:180–93.
- Gugulothu B, Anusha P, Sri MNS, Vijayakumar S, Periyasamy R, Seetharaman S. Optimization of Stir-Squeeze Casting Parameters to Analyze the Mechanical Properties of Al7475/B4C/Al 2 O 3/TiB2 Hybrid Composites by the Taguchi Method. Adv Mater Sci Eng 2022;2022.
- 10. Wang B, Cai D, Wang H, Zou W, Yang Z, Duan X, et al. Microstructures and mechanical properties of B4C-SiC and B4C-SiC-TiB2 ceramic composites fabricated by hot pressing. J Am Ceram Soc 2023.
- 11. Surya MS, Gugulothu SK. Fabrication, mechanical and wear characterization of silicon carbide reinforced Aluminium 7075 metal matrix composite. Silicon 2022;14:2023–32.
- 12. Park B, Lee D, Jo I, Lee SB, Lee SK, Cho S. Automated quantification of reinforcement dispersion in B4C/A1 metal matrix composites. Compos Part B Eng 2020;181:107584.
- 13. Bhowmik A, Dey D, Biswas A. Comparative study of microstructure, physical and mechanical characterization of SiC/TiB 2 reinforced Aluminium matrix composite. Silicon 2021;13:2003–10.
- 14. Prusov ES, Shabaldin I V, Deev VB. Quantitative characterization of the microstructure of in situ aluminum matrix composites. J. Phys. Conf. Ser., vol. 2131, IOP Publishing; 2021, p. 42040.
- 15. Holm EA, Cohn R, Gao N, Kitahara AR, Matson TP, Lei B, et al. Overview: Computer vision and machine learning for microstructural characterization and analysis. Metall Mater Trans A 2020;51:5985–99.
- 16. Hanhan I, Agyei R, Xiao X, Sangid MD. Comparing non-destructive 3D X-ray computed tomography with destructive optical microscopy for microstructural characterization of fiber reinforced composites. Compos Sci Technol 2019;184:107843.
- 17. Martinez Ostormujof T, Purushottam Raj Purohit RRP, Breumier S, Gey N, Salib M, Germain L. Deep Learning for automated phase segmentation in EBSD maps. A case study in Dual Phase steel microstructures. Mater Charact 2022;184:111638. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111638.
- 18. Yakaboylu GA, Sabolsky EM. Determination of a homogeneity factor for composite materials by a microstructural image analysis method. J Microsc 2017;266:263–72.

FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİNİN GÜNCEL DURUMU VE KAPSAMLI DEĞERLENDİRMESİ

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHNI

TICMET'2

HASAN MİTHAT DELİBAŞ*¹, NECİP FAZIL YILMAZ^{2,3}

¹Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Gaziantep, TÜRKİYE
 ²Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mütevelli Heyeti, Gaziantep, TÜRKİYE
 ³ Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, TÜRKİYE

Özet

Hızla yükselmekte olan insan nüfusu ve gelişen yaşam standartları ile birlikte insanoğlunun enerji talebi her geçen gün daha da artmaktadır. Günümüzde küresel enerji talebinin yaklaşık olarak %80'i fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır. Ancak, doğada kendini yenileyememesi nedeniyle tükenebilir bir enerji kaynağı konumunda bulunan fosil yakıtların kullanım ömürlerinin bir sınırı vardır. Aynı zamanda, yüksek oranlarda fosil yakıt kullanımı sera gazı etkisine sebep olarak küresel anlamda yıkıcı çevresel olumsuzluklara neden olmaktadır. Bahsedilen olumsuz sebeplerden dolayı insanoğlu günümüzde temiz, sınırsız ve güvenilir enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bunların verimli ve ucuz kullanım yollarının araştırılmasına büyük önem vermişlerdir. Bu noktada solar enerji, özellikle son çeyrek asırdır hem üretim potansiyeli hem de görece karmaşık teknolojiler gerektirmemesi gibi birçok olumlu özelliklerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaktadır. Bu durum, enerji alanında çalışan araştırmacıları fotovoltaik sistemlerin yapısı ve uygulamaları üzerine çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalar neticesinde fotovoltaik sistemler her geçen gün önemini artırırken, kullanım alanları da git gide genişlemektedir. Ancak tüm bu çalışmalara rağmen temel dezavantajları hala tasarım ve işletme koşullarına dayanmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik teknolojisinin güncel durumu incelenmiş, fotovoltaik sistemler ile ilgili genel kısıtlamalar irdelenmiş ve bu kısıtlamaları aşmak amacıyla gerçekleştirilen güncel çalışmalar derlenerek kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Teknolojiler, Solar Enerji, Fotovoltaik Verimlilik, Fotovoltaik Hücre, Güneş Enerjisi.

1. Giriş

Worldmeters'ın yayımladığı verilere göre, son 10 yılda dünya nüfusu her yıl bir önceki yıla göre ortalama %1 oranında artış göstermiştir ve bu durum dünya nüfusuna her yıl yaklaşık olarak 70 ila 90 milyon arasında insan popülasyonunun eklenmesi anlamına gelmektedir [1]. Popülasyondaki bu hızlı artışın yanı sıra insanoğlunun gelişen yaşam standartları da her geçen gün git gide yükselmektedir. Bu iki faktör bir arada düşünüldüğü zaman küresel enerji talebinin sürekli bir artış eğiliminde olması ve sonucunda bir soruna dönüşmesi kaçınılmazdır. Günümüzde artık her geçen gün artan küresel enerji talebini karşılamak üzere kullanılan en temel enerji kaynağı fosil

KARADENÍZ TEKNIK ÜNÍVERSÍTESÍ KARADENÍZ TEKNIK ÚNÍVERSÍTESÍ

HASAN KALNONCU 415"



yakıtlardır ve dünya genelindeki enerji talebinin yaklaşık olarak %80'inin bu sayede karşılanıldığı tahmin edilmektedir [2]. Fosil yakıtlara olan bu bağımlılık temelinde üç ana sorunu da bünyesinde barındırmaktadır. Bunlardan ilki yenilenemeyen enerji kaynağı sınıfında bulunan fosil yakıtlar doğada kendilerini yenileyemediklerinden kullanım ömürlerinin bir sınırı bulunmaktadır ve bir gün tükeneceklerdir. Bunun yanı sıra geçmişe kıyasla tedarik, üretim ve nakil maliyetleri de oldukça yükselmiştir. Fosil yakıt kullanımının sonuncu ve en önemli handikabı ise ciddi çevresel sorunlara neden olmasıdır. Fosil yakıt kullanımının sera gazı etkisini arttırdığı ve küresel iklim değişikliğinde önemli bir rolünün olduğu bilinmektedir [3].

Fosil yakıtların dünya üzerinde göreceli olarak sınırlı miktarlarda ve sınırlı alanlarda bulunması, bütün rezervlerin aynı kalitede veya verimde olmaması ve ciddi çevresel sorunlara neden olması insanoğlunu güvenilir, temiz ve en önemlisi sınırsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Enerji alanında çalışan araştırmacılar bu kaynakların etkin, ucuz ve verimli kullanımları noktasındaki araştırmalarına önem vermektedir. Günümüzde ve gelecekte sürdürülebilir bir enerji arz/talep dengesinin oluşturulabilmesi açısından yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir potansiyele sahiptir. Bu açıdan hem fosil yakıtlara olan bağımlılığın hem de çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacak yeni ve umut verici teknikler geliştirilmesi fikri ön plana çıkmaktadır.

Bu noktada solar enerji, özellikle son çeyrek asırdır gerçekleştirilen atılımlar sayesinde hem barındırdığı enerji potansiyeli açısından hem de diğer yenilenebilir enerji üretim metotlarına kıyasla, göreceli olarak karmaşık teknolojiler gerektirmemesi açısından yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaktadır. Kısacası solar enerji potansiyeli oldukça yüksek, sistem maliyetleri düşük ve çevre dostu önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak nitelendirilebilmektedir.

Solar enerji çeyrek asırdır içinde bulunduğu hızlı gelişim süreci sayesinde içilebilir suyun elde edilebilmesinden, tarımsal üretimin ve verimliliğin arttırılmasına, endüstrinin yüksek oranlı enerji talebine destek olmadan, düşük enerji ihtiyaçlarını herhangi bir şebeke bağlantısına ihtiyaç duymadan karşılamaya kadar geniş bir kullanım alanında kendisine önemli bir yer edinmiştir [4].

İnsanlık güneş ışınımları ile dünyamıza gelen büyük enerjiyi fotovoltaik (PV) sistemler aracılığı ile doğru akıma dönüştürmeyi başarabilmiştir. Temiz, yenilenebilir, sessiz ve çevre dostu olan bu sistemler ile kaynaktan sağlanan enerjiyi kullanılabilir enerjiye dönüştürmek, diğer pek çok yenilenebilir enerji sistemine nazaran, daha kolay ve daha az maliyetlidir. Gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalar neticesinde fotovoltaik sistemler her geçen gün önemini artırırken, kullanım alanları da git gide genişlemektedir ancak tüm bu çalışmalara rağmen temel dezavantajları hala tasarım ile üretim teknolojilerinden ve işletme koşullarından kaynaklanmaktadır [5,6].

Bu çalışmada fotovoltaik teknolojisinin güncel durumu incelenmiş, fotovoltaik sistemler ile ilgili genel kısıtlamalar nedenleriyle birlikte irdelenmiş ve bu kısıtlamaları aşmak amacıyla gerçekleştirilen güncel çalışmalar derlenerek kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Fotovoltaik Hücre Teknolojisi

İnsanoğlu her geçen gün artan enerji talebini karşılamak amacıyla mevcut enerji kaynaklarını mümkün olabilecek en verimli şekilde kullanmaya yönelik çalışmalarını arttırmıştır. Bu açıdan Güneş, bünyesinde barındırdığı enerji potansiyeli ile diğer bütün enerji kaynaklarını geride bırakmaktadır. Günümüzde toplumumuzun yaşam standartlarını koruyarak devam edebilmesi için HASAN KALMONCU 415" ----

KARADENÍZ TEKNIK ÜNÍVERSÍTESÍ KARADENÍZ TEKNIK ÚNÍVERSÍTESÍ



gereken enerjinin yaklaşık olarak on bin katı günlük olarak Güneşten Dünyaya fotonlar aracılığı ile gelmektedir [3,7]. Aynı zamanda Güneş; rüzgâr enerjisi ve dalga enerjisi gibi diğer pek yenilenebilir enerjinin oluşmasında etkin rol oynayarak dünyamızın temel enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Bu ve bunun gibi bilgiler ışığında solar enerjiden etkin yararlanmanın önemi bir kez daha gün yüzüne çıkmaktadır.

Fotovoltaik sistemler fotonlar aracılığı ile gelen enerjiyi doğrudan kullanılabildiğimiz bir diğer enerji türü olan elektrik enerjisine dönüştürmemize olanak veren sistemlerdir. Bu noktada solar enerjiden ne derece faydalanabildiğimiz bu sistemlerin ne derece verimli kullanıldığı ile doğrudan ilişkilidir. Günümüzde ticari amaçla üretilmiş fotovoltaik modül sistemlerinin teorik verimi, optimum koşullar altında, %25 civarlarında seyretmektedir. Ancak saha koşullarında işletilen bu sistemlerin verimliliği %17-20 civarlarında kalmaktadır. Fotovoltaik sistemler her ne kadar her geçen gün kullanım alanlarını genişletiyor olsalar da en önemli dezavantajlarını hala kendi işletim ve tasarım koşullarında saklamaktadırlar [8,9].

Fotovoltaik sistemlerdeki verimlilik solar enerji potansiyeli göz önüne alındığında görece düşük kalmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar fotovoltaik sistemlerin verimliliğini arttırmak ve tasarım koşullarından kaynaklanan verim kayıplarının önüne geçebilmek amacıyla pek çok farklı modül üretim teknolojisi geliştirmişlerdir. Bu alanda yapılan çalışmalar her geçen gün hız kesmeden devam etmektedir.

Hali hazırda ticari olarak kullanılan ve üretilen fotovoltaik sistemlerin neredeyse hepsinin temel yapı taşı silisyumdur. Bunda dünya üzerinde oksijenden sonra en çok bulunan ikinci madde olmasının etkisi büyüktür ve doğada deniz kumu veya kuartz şeklinde bulunur. Bunun yanı sıra silisyum fotonların potansiyel enerjisi için optimum bant aralığına sahip bir yarı iletkendir ve çeşitli çevresel etkenler karışışında bozunum hızı oldukça düşüktür. Silisyum temelli solar hücreler temel olarak iki farklı teknoloji ile üretilirler ve üretim teknolojilerine göre monokristal veya polikristal olarak adlandırılırlar. Sürekli tek bir kristal silikon yapıda düzenli bir kristal dizilimine sahip monokristal hücreler, çok sayıda silisyum parçasının eritilerek üretilmesiyle oluşan ve düzensiz bir kristal dizilimine sahip olan polikristal hücrelerden verim olarak daha yüksektir. Bunun temel nedeni kopan elektronların çok sayıda kristalden oluşan polikristal yapıdaki hücrelerde, tek bir kristal yapıya sahip olan monokristal yapıdaki hücreler kadar rahat hareket alanı bulamamasıdır. Bu durumda monokristal yapıdaki paneller daha yüksek verim ile çalışmaktadır. Ticari olarak en verimli, en kararlı ve en kârlı fotovoltaik sistemlerin günümüzde hala silisyum temelli sistemlerden olmasından dolayı araştırmacılar yoğun olarak silisyum temelli modüller üzerinde yoğunlaşmışlardır. Ancak hali hazırda geleneksel panellerin yanı sıra, özellikle Thin-Film teknolojisine sahip hücrelerde kullanılmak üzere Kadmiyum Tellür (CdTe) veya Galyum Selenit (CIGS) temelli hücreler, organik bazlı maddeleri temel alan organik hücreler ve geleneksel hücrelere kıyasla daha yüksek enerji dönüşüm oranları vadeden perovskite temelli solar hücreler icin de arastırmacılar ciddi calısmalar yürütmektedir [10].

3. Fotovoltaik Hücre Üretim Teknolojileri

Çeşitli fotovoltaik hücre üretim teknolojileri ve üretim temelleri aşağıda verilmiştir;

3.1. Geleneksel Solar Hücre Teknolojisi;

Standart bir solar hücre yük davranışlarına göre 'n-tip' ve 'p-tip' olarak adlandırılan silisyum temelli iki farklı katman içermektedir. Figür 1.'de gösterildiği üzere foton hücrenin iç yapısında deplasyon bölgesi olarak adlandırılan p-n ekleminden elektron kopararak devrede akım oluşumunu



sağlamaktadır. Standart bir hücre rekombinasyon hızını arttırmak amacıyla back surface field (BSF) adı verilen ekstra katman barındırmaktadır. Figür 2.'de *Geleneksel Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [11,12,13].



Figür 1. Standart bir solar hücrede deplasyon bölgesi ve çalışma prensibi



Figür 2. Geleneksel bir solar hücrenin kesiti

3.2. PERC Solar Hücre Teknolojisi

The Passivated Emitter and Rear Contact (PERC) kelimelerinin baş harflerinden ismini alan bu hücre teknolojisinin temeli geleneksel hücrelerde kullanılan BSF katmanına benzemektedir ve bu teknolojide kullanılan *Pasifleştirilmiş Emitör ve Arka Kontak* yardımıyla arka yüzey rekombinasyonunu azaltmayı amaçlanmıştır. Bu ekstra katman sayesinde yüksek dalga boylarına (>1180 λ) sahip fotonlar geri yansıtılarak eklem noktalarına tekrar gönderilir ve bu sayede hem foton verimliliği arttırılmış olur hem de hücrenin yüksek enerjili fotonları soğurması sebebiyle oluşan yüksek ısıdan kaçınılmış olur. Bu teknolojiye sahip modül teknolojisinin zaman içindeki gelişimi sayesinde sistem boyutları azaltılabilmiş ve ilk yatırım maliyetleri gibi çıktılar görece düşürülebilmiştir. Figür 3.'de *PERC Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [12,14].



Figür 3. PERC teknolojisine sahip bir solar hücrenin kesiti




3.3. TOPCon Solar Hücre Teknolojisi

HASAN KALNONCU 415"

İsmini Tunnel Oxide Passivated Contact (TOPCon) kelimelerinin türetilmesinden alan bu hücre teknolojisi temelinde n-tip hücrelerde kullanılan bir yöntemdir. Bu teknolojiye sahip hücrelerin üretiminde hücre yüzeyinin arka tarafına tünel oksit ve Poly-Si katmanlar eklenmektedir. Silisyum Dioksit (SiO₂) bileşiğinden oluşturulan bu tünel oksit akım tünellemesi yapabilmesi açısından ultra ince olarak katmanlaştırılır. Böylelikle hücrenin daha yüksek voltaj değerlerine erişilmesi sağlanarak daha yüksek güç üretimi amaçlanır. Figür 4.'de *TOPCon Solar Hücre Teknolojisi*' ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [14,15].



Figür 4. TOPCon teknolojisine sahip bir solar hücrenin kesiti

3.4. Heterojunction (HJT) Solar Hücre Teknolojisi

Heterojunction hücre teknolojisi üç farklı fotovoltaik malzeme katmanından yararlanılarak çok eklemli tek bir solar hücre oluşturulması temeline bağlı bir teknolojidir. Alt ve üst katmanlar amorf thin-film teknolojisine sahip ultra ince şeffaf iletken oksit (TCO) eklemlerden oluşurken, orta kısım ise monokristal yapıda n-tip silisyumdan oluşan bir ana ekleme sahiptir. Bu üç eklemli yapı ile hücre yüzeyine ulaşan fotonların enerjisinin maksimum verim ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Foton arka yüzeye ulaşana kadar üç farklı katmandan geçer ve bu sayede enerji aktarabilecek elektronlara tutunma şansı artar. Figür 5.'de *Heterojunction (HJT) Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [16,17].



Figür 5. Heterojunction teknolojisine sahip bir solar hücrenin kesiti

3.5. Thin-Film Solar Hücre Teknolojisi

İnce film teknolojisine sahip solar hücreler, esnek bir alt tabaka üzerine yerleştirilen ve fotonlarla etkileşime girme yeteneğine sahip olan ve bu sayede enerji dönüşümü gerçekleştirebilen mikron kalınlıklardaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile üretilen hücrelerdir. En önemli özelliği esnek





yapısı sayesinde yüzey giydirmelerde kullanılabilmesidir. İnce film teknolojisine sahip hücreler, hücreleri oluşturmak için tercih edilen malzeme cinsine bağlı olarak çeşitli türlere ayrılmaktadır. İnce film teknolojisine sahip hücreler genel olarak amorf silikon (a-Si), Bakır İndiyum Galyum Selenid (CIGS), Kadmiyum Tellürür (CdTe) ve Galyum Arsenit (GaAs) temelli olarak üretilmektedir. Figür 6.'da *Thin-Film Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip hücrelerin detaylı kesitleri verilmiştir [18,19,20].



Figür 6. İnce film teknolojisine sahip bir solar hücrenin kesiti (a) CIGS, b) CdTe, c) a-Si, d) GaAs)

3.6. IBC Solar Hücre Teknolojisi

İsmini Interdigitated Back Contact (IBC) cümlesinin baş harflerinden alan bu hücre üretim teknolojisi arka yüzey kontak temelli bir solar hücre üretilmesine olanak sağlamaktadır. Geleneksel hücrelerde yer alan ve finger veya busbar olarak adlandırılan ön yüzey kontakları bu teknoloji sayesinde ön yüzeyden arka yüzeye alınmıştır. Elektron iletimini sağlayan bu metal yapılar aynı zamanda ön yüzey üzerinde bir gölgeleme etkisine ve kontaklardan kaynaklanan

HASAN KALNONCU 415"



ekstra bir dirence neden olmaktadır. Bu teknolojiye sahip hücrelerin temel amacı bu iki olumsuz durumdan kaçınmayı sağlamaktır. Fotonlar tarafından yüksek enerjiye maruz bırakılan elektronlar ve oluşan hole çiftleri hücrenin arka kısmında bulunan kontaklarda toplanarak devre tamamlanır. Pasivasyon işlemi SiO₂ tabakası kullanılarak gerçekleştirilir. Figür 7.'de *IBC Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [14,21].



Figür 7. IBC teknolojisine sahip bir solar hücrenin kesiti

3.7. Bifacial Solar Hücre Teknolojisi

Her iki yüzeye ulaşan fotonların enerjilerini soğurma yeteneğine sahip bu hücre teknolojisi ile hem ön yüzeyden hem de albedo etkisi yardımıyla arka yüzeyden enerji üretilebilmektedir. Albedo etkisi yüzeyin yansıtma gücü ya da yansıtma yeteneği olarak ifade edilebilmektedir. Tek yüzeyli panellerin aksine bu teknolojiye sahip modüllerin arka yüzeyi de ön yüzeydeki gibi foton geçirgen yapılardan imal edilmektedir. Bu durum aynı zamanda modülün alüminyum arka yüzey plakasına sahip olmaması anlamına gelir ve ortalama panel sıcaklıklarının geleneksel panellere kıyasla daha düşük olmasına olanak sağlar. Aynı zamanda herhangi bir çerçeveye ihtiyaç duymayan bu modüllerin herhangi bir topraklama hattına da ihtiyacı yoktur. Her iki yüzeyden de foton yakalamayı amaçlayan bu sistemde her iki yüzeyde de yansıtma önleyici anti-reflective coatings (ARC) kullanılmaktadır. Bahsi geçen durumlar göz önüne alındığı zaman bu teknoloji geleneksel panellere kıyasla daha yüksek enerji verimliliği vadetmektedirler. Figür 8.'de *Bifacial Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [14,22].



Figür 8. Bifacial teknolojisine sahip bir solar hücrenin kesiti

3.8. Perovskite Solar Hücre Teknolojisi

Perovskite solar hücre teknolojisi yapı taşı olarak silisyum yerine perovskite minarelinin veya bu mineral ile aynı kimyasal bileşime sahip olan malzemelerin kullanıldığı bir hücre üretim



HASAN KALMONCU 415" ----

teknolojisidir. Perovskite CaTiO3 adı verilen ve kalsiyum, titanyum ve oksijenden oluşan bir bileşiktir. Aynı zamanda ABX3 standart formuna sahip olan aynı kristallik düzene sahip herhangi bir malzeme perovskite olarak adlandırılabilir (ör: MAPbI3). Perovskite malzemelerden neredeyse mükemmel derecede foton emebilme yeteneğine sahip yarı şeffaf hücreler oluşturulabilir ve bu özellik elektron taşıyabilme kabiliyetleriyle birlikte göz önüne alındığı zaman silisyum temelli geleneksel fotovoltaik sistemlere iyi bir alternatif olma potansiyeli kazanmaktadır. Doğrudan perovskite omurgaya sahip hücreler oluşturulabileceği gibi diğer teknolojiler ile üretilmiş hücreler ile TANDEM olarak da kullanılabilmektedir. Standart bir perovskite hücre TCO, elektron ileticisi, perovskite, boşluk ileticisi ve elektrottan oluşmaktadır. Figür 9.'da *Perovskite Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [14,23,24].

13-16 NOVEMBER, 2023

TRABZON - TÜRKİYE

TICMET'23



Figür 9. Perovskite teknolojisine sahip bir solar hücrenin kesiti. (a) Standart Hücre, b) TANDEM Hücre)

3.9. Organik Solar Hücre Teknolojisi

Organik solar hücre teknolojisi ile üretilmiş hücreler genellikle karbon bazlı polimerler ile küçük yapıdaki moleküllerden meydana gelmektedir. Polimerleri iletken veya yarıiletken hale getirmek için polimerin oksitlenmeye veya indirgenmeye zorlanması gerekmektedir. Çoğu iletken bu nedenle çoğunlukla p-tip bir yapıya sahiptirler. Bu polimerlere konjuge polimerler adı verilmektedir. Organik hücrelerin en önemli özellikleri ince, esnek, işlenebilir ve hafif olmalarıdır. Foton organik madde tarafından soğurulur ve böylelikle elektron ve boşluk çifti meydana gelir, elektron ve boşluklar farklı katmanlara (acceptor ve donor) doğru hareket ederek anot ve katotlara ulaşır ve bu sayede elektrik akımı oluşturulmuş olur. Figür 10.'da *Organik Solar Hücre Teknolojisi* 'ne sahip bir hücrenin detaylı kesiti verilmiştir [14,25].



Figür 10. Organik solar hücre teknolojisine sahip bir hücrenin kesiti.

4. Fotovoltaik Hücre Teknolojilerinin Son Durumu ve Güncel Çalışmalar

Fotovoltaik teknolojisi hem dış hem de iç etkenlerden kaynaklı olmak üzere pek çok kısıtlamaya sahiptir. Öncelikle güneşten gelen fotonlar kesintilidir, bulutlu havalarda panel yüzeyine düşen fotonların oranı düşer ve gün boyunca sabit bir şiddetle panel yüzeyine ulaşmazlar. Panel yüzeyine ulaşan fotonların enerjisinin 1180 nm'den yüksek olması durumunda enerji doğrudan ısı enerjisine dönüşerek hücre iç ısısını arttırmaktadır ve bu durum üretilen enerji miktarında azalmaya neden olmaktadır. Literatür çalışmaları hücre sıcaklığının 25 °C'nin üzerine çıkması durumunda, fazladan alınan her bir derece sıcaklık için mevcut verim üzerinden yaklaşık %0,5'lik bir kayıp yaşandığını göstermektedir [26]. Öte yandan panel yüzeyine ulaşan fotonların dalga boyları mavi ışık bölgesinde yer alan kısa boylu ışınımlardan oluşursa bu seferde fotonun enerjisi elektron hareketliliğine neden olamayacak kadar düsük enerjili olacaktır. Bu durumda solar enerjinin enerji dönüşüm yeteneği ile fotonların enerji aralığının birbirleri ile bağlantılı olduğu açıkça görülmektedir. Bir diğer sınırlayıcı etken ise panel yüzeyine ulaşan fotonların hücre ile herhangi bir etkileşime giremeden yansıyarak paneli olduğu gibi terk etmesi durumudur. Bu durumdan olabildiğince kaçınmak için panellerin yüzeyleri ARC adı verilen bir yöntemle kaplanmaktadır [22]. Öte yandan Tipik bir Güneş Enerjisi Santrali (GES) on-grid, yani şebekeye bağlı ve şebekeye enerji aktaracak şekilde tasarlanmaktadır. Ancak bu durum genellikle şehirleşmeden uzak alanlara kurulan GES sistemleri ile elde edilen enerjinin uzun enerji dağıtım hatları ile şebekeye dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum maliyeti arttıracağı gibi aynı zamanda iletim esnasında enerji kaybı yaşanacağı anlamına da gelmektedir. Off-grid sistemlerde ise sistem herhangi bir elektrik şebekesine bağlı değildir. Bu sistem elektrik şebekesine erişimin sınırlı olduğu alanlar için cazip bir alternatif olmasına rağmen yüksek depolama maliyetini de beraberinde getirmektedir. Off-grid sistemler için en önemli dezavantaj depolama maliyetidir [27]. Aynı zamanda doğru akım (DC) olarak üretilen akımın doğrudan kullanılabilir olan alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu durumda çalışma sırasında yüksek sıcaklıklara ulaşabilen inverterlerin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Fotovoltaik sistemlerin verimini sınırlayan bir diğer önemli faktör ise gölgelenme etkisidir. Fotovoltaik sistemlerde paneller birbirleri ile paralel diziler halinde bağlanır ve bu nedenle gölgelenme etkisi bir fotovoltaik sistem için hayati öneme sahiptir. Paralel bağlı panellerde sistem doğrudan sistemdeki en düsük güç çıkışına göre çalıştığı için sistemdeki tek bir modülün tek bir hücresi dahi gölgelenme faktöründen etkilenirse sistemden alınacak maksimum güç en düsük hücreden alınan güce esit olacaktır. Bundan dolayı fotovoltaik sistem konumlandırılırken gün boyunca herhangi bir gölgelemeye maruz kalmadan üretim sağlayabilecek şekilde tasarlanması son derece önemlidir. Paneller ev, ağaç, direk, aşırı toz gibi dış etmenlerden korunacak şekilde yerleştirildiği gibi, birbirlerine de gölgelenme etkisi yapmayacak şekilde HASAN KALNONCU 415"



konumlandırılmalıdır [28]. Bütün bu gölgelenme etkilerden kaçılsa dahi hücre metalizasyonunun getirmiş olduğu kısıtlamalardan dolayı bir miktar gölgelenme etkisi oluşacaktır. Metalizasyon işlemi ile oluşturulan kontaklar hücre yüzeyinin yaklaşık %5-8'lik bir alanını kaplamaktadır. Bu durum hücre yüzeyinde bir miktar gölgelenme etkisi oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca kontaklar aynı zamanda kesişim noktalarında direnç oluşturarak bir miktar enerji kaybına ve hücrenin iç ısısının artmasına neden olmaktadır. Kontak dirençlerinden kaynaklanan dezavantajların önüne geçmek amacıyla IBC hücre teknolojisi geliştirilmiştir [14,21]. Burada bahsedilen dezavantajlar gibi daha birçok dezavantajdan dolayı fotovoltaik panellerinin verimliliği potansiyeline göre görece düşük kalmaktadır. Özellikle iç etkenlerden kaynaklı verim düşüşüne çözüm önerileri getirebilmek amacıyla pek çok farklı hücre teknolojisi geliştirilmiştir.

Bir önceki başlık altında da değinildiği üzere solar hücreler birbirinden bağımsız üretim süreçlerine sahip pek çok farklı teknoloji ile oluşturulabilirler. Her bir teknoloji kendisine has avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Mevcut dezavantajların giderilmesi veya azaltılması hususunda araştırmacılar her gün yeni çalışmalara imza atmakta ve güncel bulguları literatüre kazandırmaktadırlar. Dünyanın ihtiyaç duyduğu enerji miktarının her geçen gün artması ve bu bağlamda güneş enerjisi sistemlerinin bu ihtiyacı karşılama noktasında giderek daha güçlü bir alternatif olabileceği düşüncesinin gelişmesi bu alandaki çalışmaların yoğunlaşmasına olanak sağlamıştır. Araştırmacılar solar hücrelerin performanslarının arttırılması amacıyla her bir teknoloji için ayrı ayrı çalışmalar gerçekleştirmektedirler. Hücreler her ne kadar farklı teknolojiler ile üretiliyor olsalar da performans arttırımı noktasında nihai sonuç açısından ortaya çıkan ürünlerin birbirleri ile kombine edilerek TANDEM biçimde kullanılması açısından herhangi bir engel teşkil etmez. Bu yüzden araştırmacılar farklı teknolojileri tek bir hücrede kullanarak enerji dönüşüm verimliliğini artırmanın yollarını da aramaktadır.

Günümüzde modül oluşturmak için kullanılan hücrelerin büyük bir kısmı Czochralski (CZ) yöntemi ile imal edilmiş silisyum monokristal yapıya sahip hücrelerdir. Silisyum temelli geleneksel hücrelerde en önemli sorunlardan bir tanesi rekombinasyon kaybıdır ve bu kaybın büyük bir kısmı kontak bağlantılarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle oluşan verim kaybını önlemek için kullanılan en güncel ve etkili yöntem hücre içerisinde bir pasivasyon katmanı kullanmaktır. Bu durumun neticesi olarak günümüzde üretilen PERC teknolojisine sahip fotovoltaik modüllerin market payı %75'ten biraz daha yüksektir [29]. Figür 11'de gösterildiği üzere Uluslararası Fotovoltaik Teknoloji Yol Haritası (ITRPV)'nin verilerine göre 2020'lerin ikinci yarısından itibaren ise pazar payındaki baskın etkinin giderek pasivasyon kontağına sahip hücrelere doğru kayacağı öngörülmektedir. Figür 11 aynı zamanda bizlere 2020'nin ikinci yarısından itibaren fotovoltaik pazarını domine edecek teknolojilerin çift yüzeyli (bifacial) kontak oluşturabilme kabiliyeti bulunan PERC, TOPCon ve HJT teknolojileri olduğunu göstermektedir. Bu durum Figür 12'te de gösterildiği üzere günümüzde yaklaşık %70'lik bir pazar payına sahip olan bifacial hücre teknolojisinin pazar payının her geçen gün artacağı anlamına gelmektedir [30].

HASAN KALMONCU

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER







Figür 11. Fotovoltaik hücre teknolojilerinin pazar payları.



Figür 12. Bifacial ve monofacial hücre teknolojilerinin pazar payları.

Geleneksel silisyum temelli hücreler için n-tip hücre teknolojisi en yüksek verimliliğe sahip hücre teknolojisidir. Ön yüzeylerinde p-n eklemi oluşturulan geleneksel n-tip monokristal hücrelerin verimliliğinin önümüzdeki 10 yıl içerisinde %26'ya yaklaşacağı tahmin edilirken, polikristal yapıya sahip hücreler için bu oran %22'de kalmaktadır. Günümüzde arka yüzey tünel oksit ile pasifleştirilmiş kontaklara sahip n-tip hücreler silisyum temelli hücreler içinde en verimli hücre teknolojisi olarak göze çarpmaktadır. Bununla birlikte önümüzdeki 10 sene içinde HTJ ve PERC teknolojisine sahip n-tip hücrelerin veriminin %27 seviyelerinin üzerine çıkarak silisyum temelli hücreler için teorik üst sınır verimi olan %30 seviyesine oldukça yaklaşacağı öngörülmektedir. Ancak bu teorik üst sınır veriminin hali hazırda çalışmaları devam eden TANDEM hücreler aracılığıyla aşılacağı umut edilmektedir. Standart bir TANDEM hücrenin en düşük çalışma veriminin %26'dan daha yüksek olacağı ön görülmektedir. Figür 13'te silisyum temelli solar hücrelerin güncel ve gelecekte ulaşılması planlanan ortalama verim değerleri gösterilmektedir [30,31].



Figür 13. Silisyum temelli hücreler ortalama verimleri.

Günümüzde solar hücre teknolojileri açasından 2. ve 3. jenerasyon olarak da adlandırabileceğimiz ince-film, organik ve perovskite teknolojilerine sahip hücreler de de verim oranları belirtilen değerlerin üzerine çıkamamaktadır. Güncel literatür çalışmaları incelendiği zaman ince film ve perovskite teknolojilerine sahip hücreler için maksimum teorik verimin %22-23 aralığına kadar çıkarılabildiği gözlemlenmektedir. Organik hücreler için ise bu değer diğer teknolojilere göre oldukça düşük kalarak %13 seviyelerinde bulunmaktadır [32].

5. Sonuç

Worldmeters'ın yayımladığı verilere göre dünya nüfusuna her yıl yaklaşık olarak 70 ila 90 milyon arasında insan popülasyonu eklenmektedir. Popülasyondaki bu hızlı artış insanoğlunun gelişen yaşam standartları ile birleşince küresel enerji talebinin sürekli bir artış eğiliminde olması ve sonucunda bu durumun bir soruna dönüşmesi kaçınılmazdır. Günümüzde artan küresel enerji talebinin %80'i fosil yakıtlar aracılığıyla karşılanmaktadır. Fosil yakıtlara olan bu bağımlılık; sürdürülebilirlik sorunu, artan üretim/dağıtım maliyetleri ve sera gazı salınımının artmasına neden olması gibi 3 temel sorunu barındırdığından dolayı terk edilmeye çalışılan bir bağımlılık olarak değerlendirilmektedir. Bu durum insanoğlunun ilgisini güvenilir, temiz ve en önemlisi sınırsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiş ve araştırmacıları bu kaynakların etkin, ucuz ve verimli kullanımları noktasındaki çalışmalara yönlendirmiştir. Böylelikle sürdürülebilir bir enerji arz/talep dengesinin oluşturulabilmesi açısından yeni ve umut verici teknikler geliştirilmeye başlanılmıştır.

Bu noktada oldukça yüksek bir potansiyele sahip olan solar enerji, son çeyrek asırdır gerçekleştirilen atılımlarla birlikte, yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmıştır. Solar enerji kısaca potansiyeli oldukça yüksek, sistem maliyetleri düşük ve çevre dostu önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak nitelendirilebilmektedir. İnsanlık güneş ışınımları ile dünyamıza gelen enerji potansiyelini PV sistemler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürmeyi başarabilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde fotovoltaik sistemler her geçen gün önemini artırarak kullanım alanını genişletmektedir ancak tüm çalışmalara rağmen temel dezavantajları hala tasarım, üretim ve işletme koşullarından kaynaklanmaktadır.

HASAN KALNONCU 415"



Günümüzde ticari amaçla üretilmiş fotovoltaik modül sistemlerinin teorik verimi, optimum koşullar altında, %25 civarlarında seyretmektedir. Ancak saha koşullarında işletilen bu sistemlerin gerçek verimi %17-20 civarlarında kalmaktadır. Fotovoltaik sistemlerdeki verimlilik solar enerji potansiyeli göz önüne alındığında görece düşük kalmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar fotovoltaik sistemlerin verimliliğini arttırmak amacıyla farklı hücre üretim teknolojileri geliştirmişlerdir. Ticari olarak kullanılan ve üretilen fotovoltaik sistemlerin neredeyse hepsinin temel yapı taşı silisyumdur ve silisyum fotonların potansiyel enerjisi için optimum bant aralığına sahip olmasının yanı sıra çeşitli çevresel etkenler karışışında oldukça düşük bir bozunum hızına sahiptir. Silisyum temelli solar hücreler monokristal veya polikristal yapıda üretilirler ve monokristal yapıdaki hücrelerin verimliliği daha yüksektir. Ancak hali hazırda geleneksel panellerin yanı sıra, özellikle Thin-Film teknolojisine sahip hücrelerde kullanılmak üzere Kadmiyum Tellür (CdTe) veya Galyum Selenit (CIGS) temelli hücreler, organik bazlı maddeleri temel alan organik hücreler ve geleneksel hücrelere kıyasla daha yüksek enerji dönüşüm oranları vadeden perovskite temelli solar hücreler için de çalışmalar yürütülmektedir.

Fotovoltaik sistemlerin verimliliğini sınırlayıcı pek çok iç ve dış etmen bulunmaktadır. Öncelikli olarak fotonlar yapısı gereği kesintili olarak panel yüzeyine ulaşmaktadır ve sabit bir enerji aralığında bulunmazlar. Yüksek enerjili fotonlar hücrede ısınmaya sebep olacağı gibi düşük enerjili fotonlar ise elektronları harekete geçiremezler. Sistem sıcaklığı bir hücre için oldukça önemlidir çünkü 25 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara çıkılması durumunda fazladan alınan her bir derece sıcaklık mevcut verimden %0,5'lik bir kayba neden olmaktadır. Bunun yanı sıra panel yüzeyine ulaşan fotonların hücre ile herhangi bir etkileşime giremeden yansıyarak paneli olduğu gibi terk etmesi de ihtimal dahlindedir ve bu durumdan kaçınmak için hücre yüzeyleri antireflective coatings (ARC) adı verilen bir yöntemle kaplanmaktadır. Öte yandan fotovoltaik sistemler için bir diğer önemli parametre gölgelenme etkisi adı verilen olgudur. Paneller ev, ağaç, direk, aşırı toz gibi dış etmenlerden korunacak şekilde yerleştirildiği gibi, birbirlerine de gölgelenme etkisi yapmayacak şekilde konumlandırılmalıdır. Bu durumlardan kaçınılabilse dahi metalizasyon kaynaklı gölgelenme etkisinden kaçınmak oldukça zordur ve aynı zamanda metalizasyon işlemi kontak dirençlerinden kaynaklı başka dezavantajlarda oluşturmaktadır. Bu dezavantajların önüne geçmek amacıyla IBC hücre teknolojisi geliştirilmiştir. Son olarak fotovoltaik sistemler on-grid veya off-grid olma durumuna göre farklı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. On-grid sistemler uzun enerji dağıtım hatlarına sahiptir ve bu durum maliyeti arttıracağı gibi iletim esnasında enerji kaybı yaşanacağı anlamına da gelmektedir. Offgrid sistemlerin ise en önemli dezavantajı depolama maliyetidir.

Günümüzde bütün *Fotovoltaik Hücre Üretim Teknolojileri* arasında PERC teknolojisine sahip fotovoltaik modüller %75'lik payları ile en geniş pazara sahip olan hücreler olarak göze çapmaktadır ve bifacial modüllerle uyumlu bir teknolojiye sahip olmaları bu hücrelerin yoğun olarak kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak 2020'lerin ikinci yarısından itibaren pazar payındaki baskın etkinin giderek pasivasyon kontağına sahip hücrelere doğru kayacağı öngörülmektedir. Teorik üst sınır veriminin ise hali hazırda çalışmaları devam eden TANDEM hücreler sayesinde aşılacağı umut edilmektedir. Fotonların sahip olduğu geniş ışık spektrumundan maksimum fayda sağlama amacıyla farklı enerji aralıklarına sahip solar hücrelerin art arda eklenmesiyle meydana getirilen TANDEM hücreler, potansiyel olarak *Fotovoltaik Hücre Üretim Teknolojileri* arasındaki en önemli uygulamadır. Hali hazırda perovskite ve silisyumu temel alan, birden çok p-n eklemine sahip, TANDEM hücre çalışmaları literatürde en çok karşımıza çıkan TANDEM yapılar olarak göze çapmaktadır. Bu ürünlerin minimum veriminin %26 olacağı ve



silisyum temelli hücrelerin teorik verim sınırı olan %30'ların çok üstünde bir maksimum verime sahip olacağı öngörülmektedir.

References

- 1. Kruse-Andersen, P.K. Directed technical change, environmental sustainability, and population growth, Journal of Environmental Economics and Management, **2023**, 122:102885.
- 2. Yan, C., Zhenga, M., Guofeng, S., Cheng, Y., Shexia, M., Sun, J., Cui, M., Zhang, M., Han, Y. and Chen, Y. Characterization of carbon fractions in carbonaceous aerosols from typical fossil fuel combustion sources, Fuel, **2019**, 254 (5): 115620.
- 3. Delibaş, H.M. Yenilikçi Bir Tasarım ile Birlikte Fotovoltaik Panel Verimliliğinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, **2021**.
- Byrne, J., Shen, B., and Wallace W. The economics of sustainable energy for rural development: A study of renewable energy in rural China, Energy Policy, 1998, 26 (1): 45–54.
- 5. Bigorajski, J., and Chwieduk, D. Analysis of a micro photovoltaic/thermal PV/T system operation in moderate climate, Renew. Energy, **2019**, 137: 127–136.
- Šúri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., and Ossenbrink, H. A. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, Sol. Energy, 2007, 81 (10): 1295–1305.
- 7. Kapluhan E. Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki Ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, Coğrafya Dergisi. **2014**, 0(29): 70-98.
- 8. Akman, Ö. Fotovoltaik panellerde sıcaklığın elektriksel verime etkileri ve termal güç eldesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2019**.
- 9. Farret, F. A. and Simões, M. G. Integration of renewable sources of energy, Wiley-Blackwell, 2017, New Jersey, 688.
- 10. Luque, A. and Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, Chennai, Second Edition **2011**.
- 11. Moharam, M.M., El Shazly, A.N. and Anand, K.V. Semiconductors as Effective Electrodes for Dye Sensitized Solar Cell Applications, Top Curr. Chem, **2021**, 379: 20.
- 12. Muhammetgulyyev A. III-V Grubu Yarıiletkenlere Dayalı Güneş Hücrelerinin Elektriksel Ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2017**.
- Ferdiansjah, F. and Mularso, T. K. Analysis of Back Surface Field (BSF) Performance in P-Type And N-Type Monocrystalline Silicon Wafer, E3S Web of Conferences, 2018, 43: 01006.
- 14. Benda, V. Crystalline Silicon Solar Cell and Module Technology, A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems with Special Focus on Photovoltaic Systems, **2018**, 181-213.
- 15. Internet: TopCon Solar Cells, https://www.rena.com/en/products/topcon-solar-cells, Access Date: 2023.
- Abdulraheem, Y., Ghannam, M., Radhakrishnan, H. S., and Gordon, I. The Role of Silicon Heterojunction and TCO Barriers on the Operation of Silicon Heterojunction Solar Cells: Comparison between Theory and Experiment, International Journal of Photoenergy, 2021, 6632180.



- Seif J. P., Descoeudres A., Filipic, M., Smole, F., Topic, M., H., Z. C., Wolf, S. De W., and Ballif C. Amorphous silicon oxide window layers for high-efficiency silicon heterojunction solar cells, Journal of Applied Physics, **2014**, 024502(2):115.
- 18. D. L. Taesoo and Ebon, A. U. A review of thin film solar cell technologies and challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, **2017**, 1286-1297.
- 19. Chopra, K. L., Paulson, P. D. and Dutta, V. Thin-Film Solar Cells: An Overview, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, **2004**, 12:69-92.
- 20. Vunnam, S., VanithaSri, M. and Alla, R. An outline of solar photovoltaic systems impact on environment, Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, **2023**, 12(5): 2635-2642.
- 21. Granek, F., Hermie, M., Reichel, C., Grohe A., Schultz-Wittmann, O. and Glunz, S. Positive Effects Of Front Surface Field In High Efficiency Back Contact Back-Junction N-Type Silicon Solar Cells, 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2008, 1-5.
- 22. Guerrero-Lemus, R., Vega, R., Kim T., Kimm, A. and Shephard, L.E. Bifacial solar photovoltaics A technology review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, **2016**, 1533-1549.
- 23. Yu., Y., Xia, J. and Liang Y. Basic understanding of perovskite solar cells and passivation mechanism, AIP Advances, **2022**, 055307.
- 24. Monama, G. R., Ramohlola, K. E., Iwuoha, E. I. and Modibane, K. D. Progress on perovskite materials for energy application, Results in Chemistry, **2022**, (4): 100321.
- 25. Sun, L., Chen, Y., Sun, M. and Zheng, Y. Organic Solar Cells: Physical Principle and Recent Advances, Chem Asian J., **2023**, e202300006.
- 26. Rabie, R., Emam, M., Ookawara, S. and Ahmed, M. Thermal management of concentrator photovoltaic systems using new configurations of phase change material heat sinks, Sol. Energy, 2019, 183(11): 632–652.
- 27. Hassan, Q. Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification, Renewable Energy, **2021**, 164:375-390.
- 28. Duffie, J. A. and Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons Ltd., Publication, New Jersey, **2013**.
- 29. Special Report on Solar PV Global Supply Chains, International Energy Agency IEA, 2022.
- 30. International Technology Roadmap for Photovoltaic: ITRPV, TW Solar, **2023**, Fourteenth Edition.
- 31. Shockley, W. and Queisser, H. J. Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells, Journal of Applied Physics, **1961**, 32.
- Dhilipan, J., Vijayalakshmi, N., Shanmugam, D.B., Ganesh, R. J., Kodeeswaran, S. and Muralidharan, S. Performance and efficiency of different types of solar cell material – A review, Materials Today: Proceedings, 2022, 1295-1302.



HASAN KADONCU 15" MARADENIZ UNIVERSITY 15" MARADENIZ



A RESEARCH ON Z-SHAPE BEVELOID GEAR; PROPERTIES AND MANUFACTURING METHODS

OMER EYERCIOGLU^{*1}, OMER AKIN¹

¹Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Gaziantep, Turkey.

Abstract

Beveloid gears, also called as conical involute gears are a type of gear used to transmit power and motion between non-parallel intersecting shafts [1]. The demand for more efficient power transmission systems for electric vehicles (EVs) is made more popular multi ratio beveloid gear systems [2]. The beveloid gears used at this system has a special "Z" shape. These type gears can be produced by computer-controlled material removing processes. The precision gear forging process is a possible solution for efficient mass production of "Z" shape beveloid gears. [3] In this study; geometrical design methods of beveloid gears have investigated also, existing and possible production methods have been researched as potential mass production for manufacturing of beveloid gears.

Keywords: Beveloid gear, gear forging, manufacturing



HASAN KALNONCU 415" SHI



AN ASSESSMENT AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF AN ACTUAL POWER PLANT IN THE FRAME OF A TRI-GENERATION CONCEPT

EMRAH ÖZAHİ^{*1}

¹Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep, TURKEY.

Abstract

In the case of technological developments, energy consumption is rising. Due to this reason, it is essential for more efficient use of limited energy resources all over the world. The waste energy should be recovered for useful applications. Moreover, the improvements in terms of system efficiency and environmental impacts should be utilized for conventional power plants in the frame of co/tri-generation systems as well as waste-to-energy concept. For all these reasons, in coal-fired power plants and other power cycle enhancement studies, supercritical and ultra-supercritical conditions are being designed for more efficient power plants. In this study, a conventional gas power plant was analyzed in terms of thermodynamic aspect and some recommendations were developed in order to increase the system efficiency. As a result of the thermodynamic analyses, the thermal efficiency of the plant was found to be 43.78%.

Keyword: Gas Power Plant, Thermodynamic Analysis, Thermal Efficiency, Brayton Cycle, S-CO₂Cycle



HASAN KALNONCU 415" SH



THE EFFECT OF TI ON MICROSTRUCTURAL AND HYDROGEN STORAGE PROPERTIES OF MG2NI ALLOYS

SEFA EMRE SUNBUL^{*1}, KURSAT ICIN²

¹ Gaziantep University, Engineering Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, Gaziantep, TURKEY.
² Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, Trabzon, TURKEY.

Abstract

In this study, Mg₂Ni binary and Mg_{2-x}NiTi_x (x=0.05, 0.1 and 0.2) ternary alloys were produced first in bulk by vacuum arc melting and then in ribbon form by melt spinning. XRD, SEM and hydrogen storage analyses of ribbons produced by melt spinning method were performed. Mg_{1.8}NiTi_{0.2} alloy was successfully produced by arc melting in bulk form but could not be produced in ribbon form. Other alloys were successfully produced. TEM analysis was performed on the produced ribbons and hydrogen storage properties were investigated by two different hydrogen characterisation methods. Among the produced ribbons, Mg_{1.95}NiTi_{0.05} ribbons have the highest hydrogen storage properties with 2.0wt%. Electrochemical hydrogen storage properties were also investigated and at the end of 20 cycles, the best initial discharge capacity was obtained in Mg_{1.90}NiTi_{0.1} sample with 115.13 mAh/g value.

Keyword: Mg₂Ni based alloy, Hydrogen storage, structural analysis

INVESTIGATION OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF NACA 0012 AIRFOILWITH BACKWARD COUNTER-ROTATING TRIANGULAR TYPE VORTEX GENERATORS

13-16 NOVEMBER, 2023

FURKAN ERMAN KAN¹, MEHMET SEYHAN^{*1}

¹ Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Trabzon, TURKEY.

Abstract

The experimental study aims to investigate the effects of backward counter-rotating vortex generator (VG) pairs on the suction surface of NACA 0012 airfoil at angles of attack between 0° and 30°. Experiments were carried out with the help of force measurements in a wind tunnel for Re = 6×104 at different chordwise directions that are x/c = 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. The NACA 0012 airfoil model has a chord of 150 mm and a spanwise of 300 mm. The dimensions of the VGs are chosen to be a length of 15 mm, a height of 5 mm, a distance between 5 mm, a distance between pairs (λ) of 30 mm and an angle of (β) VG () of 10°. Vortex generators delayed the stall angle and enhanced the post-stall characteristics compared to the baseline model. The maximum lift coefficient (C_{Lmax}) of the airfoil with VGs at x/c = 10% and 20% is reached up to 6.15% compared to the baseline model. Compared with the baseline model, the models with VGs postponed the stall angle up to 2° at x/c = 10% and 1° at x/c = 20%, 30%, and 40%. VGs at x / c = 10%, 20% and 30% have increased because they are close to the airfoil's leading edge in the prestall region.

Keywords: Vortex generators, NACA 0012, Lift coefficient, Drag coefficient

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415" SHI

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER

The aerodynamic performance of aircraft and similar structures with airfoil profiles remains a highly relevant field of study. In particular, flow separation, vortex breakdown, and vibrations that occur during flight constitute important parameters that affect aerodynamic performance. Controlling these effects contributes significantly to safety and energy efficiency. In recent years, research in this field has been increasingly focused on controlling the boundary layer in airfoil structures, with the aim of increasing the lift coefficient and reducing the drag coefficient. The primary structures influencing the movement of the boundary layer on airfoils are known as vortex generators (VGs). Taylor [1] first demonstrated in 1947 that vortex flows created by small plates delayed flow separation and increased momentum, hence postponing flow separation. Schubauer et al. [2] conducted research under various adverse pressure gradients, demonstrating that the addition of VGs to turbulent boundary layers increased mixing, consequently reducing effective adverse pressure gradients. Li et al. [3] conducted a study to examine the effects of VG



height on the aerodynamic performance of airfoils and the control of the flow of the boundary layer. The results of the research indicated a logarithmic relationship between VG height and concentrated vortex intensity, with this vortex intensity being proportional to the height range of VGs and the fluid's average kinetic energy. In the study by Arunvinthan et al. [4], the effects of vortex generators based on shark skin samples (SSVG) were examined in the NACA 0015 airfoil profile model. The experiments were carried out with a Reynolds number of Re=2x105 and angles of attack ranging from 0 to 24. The results showed that the SSVGs reduced friction and increased the maximum lift coefficient (C_{Lmax}), indicating an overall improvement in aerodynamic performance. Tavernier et al. [5] conducted experimental investigations to examine the control and suppression of vortex generators during the dynamic stall process on wind turbine blades. They conducted their research using a specially designed airfoil profile for a vertical-axis wind turbine, subjecting it to sinusoidal pitch motion in a wind tunnel under both steady flow and unsteady flow conditions. The study revealed that VG significantly inhibited unstable aerodynamic forces. Zhang et al. [6] conducted experimental work in large Reynolds numbers using specific blade models designed for wind turbines. They measured surface pressures to investigate the effects of VG positions, spacing, and the impact of placing a second row of VGs. Their research demonstrated that the addition of a second row of VGs, depending on the VG size, led to an increase in the lift coefficient at high angles of attack. Zhao et al. [7] conducted experimental studies on wind turbine blade airfoils using a novel VG type that they introduced as a new technology. They discussed the aerodynamic factors induced by VGs, providing valuable insights for future research in the field.

This study aims to investigate the effects of backward counter-rotating vortex generator pairs on the NACA 0012 airfoil profile. Force measurement tests were conducted for both VG and non-VG NACA 0012 airfoil profiles around the airfoil profile.

2. Materials and Methods

HASAN KALMONCU 415" ----

The experiments were carried out in a suction type subsonic wind tunnel at Karadeniz Technical University Aerodynamics and Wind Energy Laboratory. The dimensions of the test area are 0.57x0.57x1.2 meters. NACA 0012 airfoil is produced on a 3D printer and sanded to obtain a smooth surface. The schematic and visual of the experimental setup is given in Figure 1 and 2 respectively. This setup consists of a NACA 0012 airfoil, a six-axis load cell, two end plates, a connection rod, and a rotary unite.



13-16 NOVEMBER, 2023

 (\mathbf{b})

Figure 1. Schematic representation of the experimental setup



Figure 2. Experimental setup

The end plates are approximately 1 mm apart between the top and bottom of the NACA 0012 airfoil with and without VGs. The lift and drag forces at each angle were simultaneously recorded through the six-axis load cell. The angle of attack (AoA) is changed by using the rotary unit in the range of 0° and 30° AOAs.



Figure 3. VGs layout plan

The experiments were carried out at $\text{Re} = 0.6 \times 10^5$ and 0.9×10^5 . First of all, experiments were carried out for the airfoil without VG. Then the same experiments were repeated by adding VGs. The study was carried out for VGs at angle between VGs (β) of 10°, distance between VG pairs (λ) of 30mm and counter rotating vortex pair distance (d) of 5 cm as shown in Figure 3. The study was completed by placing VGs at positions of 10-50% depending on the aspect ratio of the airfoil surface as presented in Figure 4.



Figure 4. Positions of VGs on the airfoil surface

3. Results and Discussion

In this research investigation, the effect of Vortex Generators (VGs) on the NACA 0012 airfoil was systematically assessed across a wide range of VG positions that are x/c =10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. Figure 5 and 6 illustrate the variation in lift coefficient (C_L) concerning the angle of attack changing between 0° and 30°, specifically at the Reynolds number (Re) of 6×10^4 and 9×10^4 with VGs positioned at x/c =10%, 20%, 30%, 40%, and 50% for the baseline model. It is noteworthy that the baseline model experiences a stall phenomenon at an angle of attack (α) of 12°. The incorporation of VGs leads to a discernible alteration in the stall angle, consistently evident across various VG positions in contrast to the baseline model. VG implementation effectively postpones the onset of stall, delaying it by 2°, 2°, and 1° at x/c = 10%, 20%, and 30%, respectively. Although the C_L values in the pre-stall region are generally lower for all configurations, there is a notable increase in C_L values across all configurations in the post-stall region. At $\alpha = 12^\circ$, the C_L value for the baseline model is 0.79, while the C_L value at x/c = 10% is measured as 0.825. Consequently, this corresponds to a notable 3.72% improvement in C_L.

HASAN KALMONCU 415" ----

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KANCONETICINICAL UNIVCI



compared to the baseline model. As shown in Figure 6, stall angle is notably delayed by 1° at all locations of VGs compared to baseline. The maximum C_L of the NACA 0015 models with VGs at x/c= 10% and 20% is higher than that of the baseline model.



Figure 5. Variation of C_L for NACA 0012 airfoil with VGs and without VGs at Re= $6x10^4$



Figure 6. Variation of C_L for NACA 0012 airfoil with VGs and without VGs at Re=9x10⁴



HASAN KALNONCU 415" ----

The graphs of the C_D values obtained in the experiments are shown in Figures 7 and 8 at Re= $6x10^4$ and $9x10^4$. While VGs is at x/c =10% and %20, the baseline model has lower C_D values than the VG models at pre-stall region for both Reynolds numbers. C_D value of the model with VG at x/c = 40% is lower than that of baseline model at AoAs between 7° and 19°. All VGs model decrease the C_D values in the vicinity of stall that correspond to AoAs between 12° and 14° for both Re. At $\alpha = 13^\circ$, the C_D value of VG at 30% and 50% decreases to 30.9% compared to the baseline model at Re= $6x10^4$. In the pre-stall region, the baseline model with VGs at x/c = 30% and 40% significantly reduces the C_D value than the baseline model without VG and with VGs at x/c = 10%, 20%, and 50% while Reynolds number is $9x10^4$.

13-16 NOVEMBER, 2023



Figure 7. Variation of C_D for NACA 0012 airfoil with VGs and without VGs at Re=6x10⁴



Figure 8. Variation of C_D for NACA 0012 airfoil with VGs and without VGs at Re=9x10⁴



13-16 NOVEMBER, 2023

TICME

HASAN KALNONCU 15"



Figure 9. Variation of the C_L/C_D values for NACA 0012 airfoil with the VGs and without VGs at Re= $6x10^4$

 C_L/C_D values for the baseline model with and without VGs are given in Figures 10 at Re 9x10⁴. While C_L/C_D ratios of the baseline model at AoAs between 4° and 12° is higher than that of baseline model with VGs at x/c= 10%, 20% and 50%, it is lower than that of baseline model with VGs at x/c = 30%, and 40%. At α = 13° and 14° that is correspond to post stall region, all VGs models enhance the C_L/C_D values than the baseline model. As it was in the Figure 9, The curves that follow each other after 15° show that the effectiveness of the work decreases after the specified angles due to flow separation on the surface of airfoil.



Figure 10. Variation of the L/D for NACA 0012 airfoil with the VGs and without VGs at $Re=9x10^4$



4. Conclusions

HASAN KALNONCU 415"

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER

The effect of backward counter-rotating VG pairs on the suction surface of the NACA 0012 airfoil was experimentally investigated at Re= $6x10^4$ and Re= $9x10^4$. Force measurement tests for the baseline model without and with VGs at x/c = 10%, 20%, 30%, 40% and 50% were carried out in the wind tunnel. VG implementation effectively postpones the stall angle up to 2°, 2°, and 1° at x/c = 0.1, 0.2, and 0.3, respectively. The results show that VGs improve the aerodynamic performance of the NACA 0012 airfoil model at x/c = 30% and 40% for Re= $9x10^4$. For Re= $6x10^4$.and $9x10^4$ All VG models delay stall angle compared to the baseline model. For Re= $9x10^4$, C_L/C_D ratios of the baseline model at AoAs between 4° and 12° is lower than that of baseline model with VGs at x/c = 30%, and 40%. Conducting the study at higher Reynolds numbers at different alpha and beta angles should be taken into consideration in terms of the richness it will add to the literature.

References

- 1. Taylor, H. D., The elimination of diffuser separation by vortex generators, United Aircraft Corporation. 1947, 1, (103)
- 2. Schubauer, G., Spangenberg, W., Forced mixing in boundary layers. Journal of Fluid Mechanics, 1960, 8(1), (10-32)
- 3. Li, X., Yang, K., Wang, X., Experimental and numerical analysis of the effect of vortex generator height on vortex characteristics and airfoil aerodynamic performance. Energies, 2019, 12(5), (959)
- 4. Arunvinthan, S., Raatan, V. S., Nadaraja, P. S., Pasha, A. A., Rahman, M. M., Juhany, K. A., Aerodynamic characteristics of shark scale-based vortex generators upon symmetrical airfoil. Energies, 2021, 14(7), (1808)
- D, De., Tavernier, C., Ferreira, A., Viré, B., LeBlanc, S., Bernardy Controlling dynamic stall using vortex generators on a wind turbine airfoil, Renewable Energy. 2021, 172, (1194-1211)
- 6. Zhang, L., Li, N., Yang, K., Xue, D., Effects of vortex generators on aerodynamic performance of thick wind turbine airfoils, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2016, 156, (84-92)
- Zhao, Z., Ruifang Jiang, R., Feng, J., Liu, H., Wang, T., Shen, W., Chen, M., Wang, D., Liu, Y., Researches on vortex generators applied to wind turbines: A review. Ocean Engineering, 2022, 253, (111266)

A COMPARATIVE STUDY OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS ON PREDICTING DELAMINATION IN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) DRILLING PROCESS

13-16 NOVEMBER, 2023

PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CC

TICMET'2

AMMAR TARIK DİNÇER¹, UMUT KARAGÜZEL², MUSTAFA BAKKAL¹

¹ Istanbul Technical University, Mechanical Engineering Faculty, Istanbul/TURKEY. ² Yıldız Technical University, Mechanical Engineering Faculty, Istanbul/TURKEY.

Abstract

Drilling of carbon-fiber reinforced polymers (CFRP) is a crucial operation, especially in aerospace engineering, due to the possible failure modes specific to composite machining. Therefore, it is a critical problem to determine the relationship between process parameters and the quality of the drilled holes. This paper provides a new predictive way to solve this problem by utilizing the advantages of machine learning (ML) techniques. In this study, CFRP plates are used for drilling a set of holes and creating a database including drilling temperature, force, torque and vibration data in the drilling process. Delamination failure is analyzed for drilled holes. The acquired database is used to generate, optimize and compare different ML models through the presented framework. Experimental study and quantitative comparisons have proven that the delamination factor could be predicted before machining process. The presented methodology contributes to delamination forecasting, thus enhancing the decision-making process concerning the optimization of drilling process parameters within the context of data-driven manufacturing.

Keyword: Multisensor measurement, Drilling of CFRP, Delamination, Machine learning, Optimization

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415" SHI

CFRP composites are widely used in different industries, especially in aerospace, due to their superior properties. Instead of being alternative to more conventional materials such as common steels or metal alloys, CFRP manufacturing is completely different concept with its unique manufacturing methods, quality control procedures, failure modes etc. Due to these characteristic properties of composite materials, a large literature has been created by related studies.

Delamination failure is one of the common composite failure modes. This failure occurs during the drilling process of composite materials. Because of the normal force applied on the composite plate or part, a separation between sequential layers occurs especially at the enter and exit areas of drilled section. This debonding and separation is called delamination. Delamination failure depends on different parameters such as composite manufacturing parameters, errors in the production phase, composite machining parameters, fiber/matrix combination etc. Product with delamination defect is usually rejected due to the deformation and resulting reduction in the mechanical properties. There have been many studies about delamination failure, its causes and



HASAN KALNONCU 415"



parameters which effects the extent of failure. Some characteristics of delamination and other failure modes of composite materials are explained in early studies [1]. Due to proven studies and mechanical explanations, it is known that drilling parameters are directly affecting the delamination and quality of the hole. Depending on the composite type and manufacturing process, there should be an optimal interval for each of the process parameters like cutting speed and feed rate. It is also studied to optimize process parameters in respect of decreasing delamination factor [2]. In this way, severity of delamination in composite drilling can be minimized.



Figure 1. Types of delamination phenomena: a) peel-up delamination and b) push-out delamination [3].

To evaluate delamination as a material specific failure mode, it is needed to quantify the severity of it. To assess this, there have been different approaches applied in literature. Usual and the simplest approach is 1D (linear, delamination diameter) factor [4]. Recent studies utilized different factors representing the severity of delamination as 2D (planar, delamination area) [5], or 3D (volumetric, delamination in different layers of plate) [6].

Currently, ML is a widely used method with proven predictive performance. As an alternative to analytical and numerical modelling methods, there have been many studies using ML as a statistical modelling tool in different manufacturing applications [7, 8]. In ML, quality prediction is classified as a supervised learning problem. Because, quality prediction problems require physical quantities as input datasets to predict the quality criteria as an output of the model. There are numerous algorithms for this type of regression problems. One of the widely used algorithms is Decision Tree (DT). By multiplying DT sequentially or parallelly, Gradient Boosting Decision Tree (GD) and Random Forest (RF) algorithms are obtained. Within the limits of this study, these 3 DT-based algorithms are utilized with their regression implementations and compared in between.

In this study, a holistic delamination prediction framework is proposed through the database created by drilling experiments. The novelty of this study is that the model proposed in this paper has an indirect structure with 2 stages because of physical causality between process parameters, physical quantities and delamination output. Model could be created by only using process parameters as input and delamination factors as output which is much easier way to build a regression model. However, the cutting forces, thrust force or other resultant physical quantities of drilling process are not deterministic but inherently stochastic. Due to this stochastic nature of composite drilling process and the assumption of causality between process parameters-physical quantities and physical quantities-delamination factor, 2 stage model is physically more appropriate.

13-16 NOVEMBER, 2023 KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER



The paper is organized as follows: Section 2 describes the methodology used in this work. Details and principles about experiments and modelling steps are explained here. Some experimental data, prediction performance of model and other statistical results are represented in Section 3. Finally, in the 4th Section, the study is summarized and a perspective on future studies is presented to deepen this topic.

2. Methodology

HASAN KALNONCU 415" SHI

2.1. Experimental Procedure

All of the drilling operations are achieved with Spinner VC650 3-axis CNC vertical machining center. Through-holes are drilled in accordance with the experiment matrix designed. After initial drills, it came out that HSS tools result with extreme delamination factors. Therefore, Hyperion PCD diamond tools with 3 different diameters are used. Process parameters are cutting speed, feed rate and tool diameter. These parameters result in an experiment matrix with 75 drilling operations (5 cutting speed x 5 feed rate x 3 tool diameters). Process parameters are shown in Table-1.

No.	Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/min)	Tool Diameter (mm)
1	20	50	6.35
2	25	100	7.94
3	30	150	9.53
4	35	175	
5	40	200	

Table 1. Drilling process parameters.

During the drilling process, four different physical quantities are measured, plate perpendicular force and torque, acceleration and temperature. For measuring force and torque Kistler Type 9272 multicomponent dynamometer is used. Plates are fixed on dynamometer by a custom fixture. Then, Dytran 3225F IEPE (integrated electronics piezo-electric) accelerometer is located on the plate with Dytran 6273 petro mounting wax. Finally, temperature is measured by FLIR T865 Infrared Camera. A wooden stand is designed for placing the FLIR infrared window to protect the camera and also for stabilizing camera. This measurement stand is shown in Fig.2. The signals from dynamometer and accelerometer are gathered by NI-9234 and cDAQ-9171 and transferred to Kistler Type 5070 multichannel charge amplifier before entering the data to computer. For real-time monitoring on computer, rough cutting and exporting the acquired data, CutPro, a software by Manufacturing Automation Laboratories Inc., is used.

Second part of the experimental study covers delamination analysis. There have been many studies about delamination analysis. In the literature, delamination failure is quantified by the delamination factor. There are numerous ways to determine delamination factor. In this study, delamination factor is determined by using 1-D delamination factor equation which is given in Eq.1.

$$D_f = D_{max}/D_0 \tag{1}$$

where D_f is delamination factor, D_{max} is maximum diameter of the delamination zone and D_0 nominal hole diameter. D_0 is a process parameter with 3 variation which are given in Table-1 as tool diameters. After completion of drilling operations, each hole area is investigated and D_{max}



HASAN KANDONCU 15" SHI



values are measured by Nikon SMZ800 optical microscope. One of the measurement images is given in Fig.3.



Figure 2. Experimental setup.



Figure 3. Measuring and marking the delamination diameter for holes. Outer red circle represents delamination limit; inner circle represents drilled hole diameter. (a) Enter side, (b) exit side of a drilled hole.



2.2. Data Preprocessing

HASAN KALMONCU

All data related works of this study can be summarized and listed as follows:

- Data acquisition
- Data pre-processing
- Creating ML model
- Training the model
- Prediction

After data acquisition step as explained in the Section 2.1, acquired data is needed to be preprocessed. This preprocessing phase covers 3 different operations: 1) Reducing the amount of data obtained; 2) Organizing the data; 3) Feature extraction. Raw data obtained by sensors are naturally noisy in some level due to different sources of noise like sensor itself and machining center. To reduce the noise of signal, digital low-pass (LP) filter is applied. After LP filtering sensor signals are still very long to work with because of the high sampling ratio and relatively long process duration. For reducing the length of these datasets, all the signals are downsampled with a proper downsampling factor. Feature processing methods are necessary operations often used with signals in ML applications. Aim of feature processing is finding or creating the most essential and the most discriminating set of features to identify the timeseries and enhance the efficiency. In this study feature extraction is applied and eight different statistical features are obtained from signals. Six of them are extracted for moment (M), force (F), and acceleration (A) timeseries. Beside these, 2 more features are extracted from temperature timeseries; One for maximum temperature, another one for average temperature. While extracting average temperature feature, a threshold value is applied and mean value is calculated from temperature values above 40°C. Eventually, 20 features are extracted for each of the sensor data types. Thus, the data recorded while non-processing timesteps are eliminated and feature is expected to work more efficient this way. Here, all extracted features are given in Table-2.

	Symbol	Feature		
	Y _{max}	Maximum value of signal		
M, F, A	Y _{min}	Average value of signal		
	σ^2	Standard deviation		
	κ	Kurtosis		
		Skewness		
		Variation		
	T _{max}	Maximum temperature		
	T _{avg,th}	Average temperature above threshold		

 Table 2. Extracted features.

In timeseries forecasting, feature extraction algorithms are generally used for extracting the features of input timeseries and the output is being any sort of label. In this study, ML model is based on 2-stages. In first stage physical quantities, sensor data, are the timeseries with input of



HASAN KALNONCU 415"

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER



process parameters explained above. Contrary to usual, input is a set of parameters and output is timeseries. Second stage is more likely to be usual. Here the model is expected to use features extracted to predict the delamination factor which means input is a set of features extracted from timeseries and the output is singular labels. The general framework used in this work is displayed in Fig. 4. Here; x_i is input parameter, f_i is feature extracted from sensor data, d_{fi} is delamination factor (enter and exit).



Figure 4. General framework of data processing.

2.3. Machine Learning Model

The following five different ML algorithms were used for both stages of the model: Decision tree regression; Random forest regression and Gradient boosting regression. Each of these algorithms are based on decision tree algorithm. It is aimed to compare different algorithms based on same regression principles this way. To generate and optimize models, Scikit-learn Python module was utilized while programming [9].

Decision Tree Regression (DTR)

Decision tree is a simple algorithm to create, adapt and optimize therefore it has been widely used for classification and regression problems. A criterion must be defined to measure the quality of split operation in decision tree. Mean squared error (MSE) and mean absolute error criterions were tested in model and it is decided to use MSE. The most critical hyperparameter for decision tree models is maximum depth value. It refers to the longest path between root node and leaf node or that how deep is the tree. Maximum depth values are obtained for each DTR.

Random Forest Regression (RFR)

Random forest is an ensemble learning algorithm in which robust models are formed by combining multiple weak learners, in this case they are decision trees. In RFR, each decision tree is independent and trained on different and random subsets of training set. This randomness of





training set reduces the overfitting and generally provides better prediction performance. Optimized parameters for RFR are number of trees and maximum depth. Increasing these hyperparameter values results with decreasing error rate generally. But after an optimum point, overfitting problem arises. During the tuning process, residuals and general attitude of regression is checked regularly.

Gradient Boosting Decision Tree Regression (GBR)

Boosting algorithm is a type of ensemble learning method. In this methods, weak learners are built sequentially, unlike the RFR, which means every new model aims to correct the errors of previous one. Generally, these algorithms consist of three main components, loss function, weak learners and an additive model which gathers trees. GBT is capable of representing non-linear relations in regression applications via gradient descent which is an algorithm aiming to reduce the loss function and forecast errors eventually. In GBT model there are also some parameters to be optimized: number of trees, maximum depth, learning rate, loss function and alpha. Alpha is a percentile for Huber loss function which is a combination of the least squares loss function and the absolute loss function. But Huber function is for robust regression models. After testing the Huber function for different parameters in this case, it appeared that the number of samples are not enough to build a robust regression model. Results got stuck in a narrow range of predictions due to excessive robustness. Therefore, absolute error loss function is used. Learning rate is a characteristic hyperparameter for GBR and it determines the step size in each iteration.

Fig.5 represents the general structure of DTR, RFR and GBT algorithms and the relationship between them.

A critical issue is overfitting problem. To avoid excessive overfitting problem, resultant metrics like MSE are investigated and compared with other results. Altering the hyperparameters might result with increase in overfitting so, effect of tuning steps is also observed. It is not possible to avoid overfitting and underfitting perfectly but after evaluating final model, resultant metrics show that if there is a serious fitting problem.

3. Results

For accuracy of regression, hyperparameter optimization is crucially important even in the simple models like DTR. Therefore, following parameters are optimized for related models; maximum depth of tree, number of estimators, split criterion, loss function and learning rate. This optimization provided a certain level of accuracy. However, it was still needed to apply cross validation for utilizing the entire dataset and applying certain numbers of iterations. After making it more robust with 10-k cross validation, the model became ready to run.

Stage-1 covers the regression between process parameters and sensor output features. So, it is determined as a multi-output regression with 3 inputs and 20 different output features. To interpret features and their effectiveness, feature importances are calculated. In Fig.6 feature importance distribution for each 3 algorithms and 3 process parameters are given.

HASAN KANDONOU 15" KARADENIZ UNIVERSITY 15" KARADENIZ

 \bigcirc





(a)



Figure 5. Schematic diagram of (a) DTR and GBR, (b) DTR and RFR.



Figure 6. Feature importance distribution for stage-1 algorithms.

13-16 NOVEMBER, 2023 KARA DE NIZ TE CHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER TRABZON - TÜRKIYE



Even though the distribution of importance factors is altering depending on the model, it is clearly seen that, in each of the 3 models, feed rate is more determinative on predictions which was expected due to the older studies about effects of drilling process parameters on thrust force [10]. Likewise, it is also recorded in former studies that, in CFRP materials, feed rate is the most crucial process parameter which causes delamination failure [11].

HASAN KALMONCU

 \bigcirc

In the stage-2, a similar importance analysis is made between sensor output features and delamination. As it is explained and listed before, there are 20 features defined and extracted. In Fig.7, feature importance distribution for stage-2 models is given.



Figure 7. Importance values for a) DTR stage-2; b) RFR stage-2; c) GBR stage-2.

HASAN KALMONCU 415"



Here in Fig. 7, first six values stand for extracted features of moment series, second set of six features stands for force series and third one for acceleration series. Last two features (19, 20) are temperature features. Due to the characteristics of algorithms, they process data differently from each other and they have their own way to calculate feature importance. Therefore, there are differences between importance values of different algorithms.

Despite the ranking of features, there are some findings came out of comparison between these graphics. It is clearly seen that maximum value is an important feature for all of moment, force and acceleration signal even though their importance depends on model. It also can be seen that average temperature is more determinative than maximum temperature in every models. Effectiveness of average temperature feature shows that applied threshold value fit the model. Other than that, skewness and variance features are looking not much efficient for explaining the sensor data, it was also an expected result due to the characteristics of sensor data. Most important five features of all 3 models are given in Table-3.

Table 3. The most important features for three algorithms

	#1 (Importance)	#2 (Importance)	#3 (Importance)	#4 (Importance)	#5 (Importance)
DTR	7 (0.2)	1 (0.148)	15 (0.14)	14 (0.129)	20 (0.095)
RFR	13 (0.197)	7 (0.123)	8 (0.98)	12 (0.76)	18 (0.07)
GBR	20 (0.147)	7 (0.131)	3 (0.107)	19 (0.072)	4 (0.063)

As another finding it should be noted that, DTR is not so sophisticated algorithm and it is not a robust algorithm by default. That's why levels of feature importance values differ more radically. For example, mostly important six features of DTR have too much importance and model is almost not utilizing last 12 features (importance value is approximately 0). Besides this, in RFR and especially in GBR, importance values are distributed more homogeneously however there are still significantly more important features. This shows that the robustness of model is gradually increasing in order DTR, RFR, GBR.

Averaging importance value for each feature through 3 algorithms, top 5 features and their average importance values are given in Table-4.

	#1	#2	#3	#4	#5
	7 (0.2)	20 (0.148)	13 (0.14)	1 (0.129)	5 (0.095)
FEATURE	Maximum Force	Average Temperature	Maximum Acceleration	Maximum Moment	Moment Skewness

Table 4. Features with highest mean importance values.

Hyperparameters are tuned stage by stage. After tuning, two-stage models are compiled into integrated final models which take process parameters as input, then generates a predictive sensor data feature set and then finally predict a delamination factor depending on the synthetic features generated. As it is a regression problem covered in this study, root mean squared error (RMSE) is used as the evaluation metric for the final model and residuals are interpreted as they provide an insight into model performance, bias in the model and overfitting problem.



 Table 5. Metrics for final models.

	$RMSE_{Df,enter}$	$RMSE_{Df,exit}$	$\mathcal{E}_{Df,enter}$	€ _{Df,exit}
DTR	0.127	0.215	% 7.98	% 12.54
RFR	0.091	0.154	% 6.79	% 9.2
GBR	0.08	0.183	% 5.5	% 9.85

Results shows that enter delamination factor is predicted more accurate regardless of which algorithm is used. Main reason for this difference is manufacturing process. Due to the open mold production method of CFRP plate, entrance surface is very smooth and clean owing to the rigid mold support. Beside this, exit surface was facing the open side of the mold and is relatively rougher. Therefore, exit surface delamination has higher randomness compared to enter surface. Since machining is stochastic process, decreasing randomness in any parameter would result in higher accuracy on predictions about this stochastic process. The same approach appears when metals and composites are compared. Due to the lower homogeneity in material structure, predictive models about composites are more sophisticated and harder to success when compared to metals.

When models are compared in between, it is clear that there is a significant improvement in RFR and GBR when compared to DTR. $\varepsilon_{Df,enter}$ is improved to around %5 error and $\varepsilon_{Df,exit}$ dropped below %10 error rate. Apparently, RFR is better for predicting $D_{f,exit}$ and GBR is better for $D_{f,enter}$. This is due to uniqueness of algorithms as explained before in feature importances.

4. Conclusion & Outlook

HASAN KALNONCU 415" SHI

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KANCONETICINICAL UNIVCI

In the field of forecasting and optimization, machine learning algorithms are utilized extensively. This research aims to predict the CFRP delamination factor by evaluating different drilling process parameters such as cutting speed, feed rate, and tool diameter. The final model is built in two stages while considering the causality between the inputs and outputs to ensure its physical reasonability.

Three ML models used in this study, provided different average error rates in predicting enter and exit surface delamination factors. DTR resulted with ε_{Df} of %7.98 - %12.54, RFR resulted with ε_{Df} of %6.79 - %9.2 and GBR resulted with ε_{Df} of %5.5 - %9.85. Results showed that average error rate in exit surface delamination is higher than the one in the enter surface for this dataset. GBR gives the best result for enter surface delamination. RFR fitted best for exit surface delamination. DTR has the poorest performance in prediction which is an expected result due to simple and unsophisticated structure of DTR algorithm.



These models also provide importance values for each feature included, allowing for the sorting of process parameters or sensor data features in order of importance. The study was able to improve the model to a certain level of success by decreasing error rates, despite the multi-causal nature of composite delamination. However, future studies can improve the model by expanding the experiment matrix and testing different ML algorithms, including deep learning models. Some improvements to create a better regression model can be listed as:

- The models developed in this research were trained using 80% of the 75 samples. Increasing the scope of the experiment can enhance the model's performance.
- The study focuses on decision tree-based algorithms, but there are numerous machine learning algorithms that can be tested on this dataset. Additionally, increasing the sample size may result in better performance by deep learning models.
- The temperature data was collected from the entry surface and exit surface temperature might need to be measured separately to predict delamination at the exit point.

References

- 1. König, W., and Graß, P. Quality definition and assessment in drilling of fibre reinforced thermosets, CIRP Annals Manufacturing Technology. 1989, 38, (119-124).
- Durão, L.M.P., et al. Drilling damage in composite material, Materials. 2014, 7, (3802-3819)
- 3. Ismail, S.O., et al. Recent advances in twist drill design for composite machining: A critical review, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2017.
- 4. Chen, W.C. Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composite laminates, International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1997, 37, (1097-1108).
- 5. Phadnis, V.A., et al. Drilling in carbon/epoxy composites: Experimental investigations and finite element implementation, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2013, 47, (41-51).
- 6. Zhang, B. Novel fiber fracture criteria for revealing forming mechanisms of burrs and cracking at hole-exit in drilling Carbon Fiber Reinforced Plastic, Journal of Materials Processing Technology. 2021, 289.
- 7. Struchtrup, A., et al. Adaptive quality prediction in injection molding based on ensemble learning, Procedia CIRP. 2021, 99, (301-306).
- Guo, W., et al. An intelligent monitoring system of grinding wheel wear based on twostage feature selection and Long Short-Term Memory network, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2019, 233, (2436-2446).
- 9. Pedregosa, F., et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python, Journal of Machine Learning Research, 2011, 12, (2825-2830).
- 10. Wei, Y., et al. Effect of drilling parameters and tool geometry on drilling performance in drilling carbon fiber–reinforced plastic/titanium alloy stacks, Advances in Mechanical Engineering. 2016, 8(9).
- 11. Melentiev, R., et al. Effects of tool geometry and process parameters on delamination in CFRP drilling: An overview, 3rd CIRP Conference on Surface Integrity. 2016, (31-34).

OPTIMIZATION OF ENGINEERING PROBLEMS USING ENHANCED ARTIFICIAL RABBIT ALGORITHM

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SHI

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KARADINETECINICAL UNIVER TICMET'2

ERHAN DÜZGÜN *¹, ERDEM ACAR ², ALİ RIZA YILDIZ ³

¹ TOBB ETÜ University of Economics and Technology, Graduate School of Engineering and Science, Mechanical Engineering Department, Ankara, TURKEY

² TOBB ETÜ University of Economics and Technology, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Ankara, TURKEY

³ Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Bursa, TURKEY

Abstract

In this study, a novel meta-heuristic termed Chaotic Artificial Rabbits Optimization (CARO) algorithm is introduced and examined for optimizing engineering problems. CARO combines the explorative benefits of the recently developed Artificial Rabbits Optimization (ARO) algorithm with the exploitation abilities of chaotic maps. Multiple chaotic maps are utilized in the proposed ARO to manage its parameters, ultimately leading to a balanced exploration and exploitation of the search. Notable mechanical engineering problems are addressed in this research to demonstrate the efficiency of the algorithms. The findings indicate that CARO serves as an effective tool for solving real-world engineering challenges.

Keyword: Pressure Vessel, Welded Beam, Optimization, Artificial Rabbits Optimization, Chaotic Maps

ATIMLI AKIŞTA MANYETİK ALANIN ETKİSİ

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALMONCU

TICMET'2

Abdullah Alperen OKUMUŞ¹, Cemalettin AYGÜN², Mehmet BAŞOĞLU³

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gümüşhane, Türkiye.

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye.

³ Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Gümüşhane, Türkiye.

Özet

Bu çalışma, disiplinler arası önemli konulardan olan atımlı akış ve manyetohidrodinamik (MHD) üzerine odaklanmıştır. Atımlı akış, periyodik bir salınımlı akış bileşeninin sabit bir akışın üzerine bindirildiği, belirli bir zamana bağımlı akış türüdür. Manyetohidrodinamik ise, elektrik iletkenliğine sahip akışkanların manyetik alan altındaki etkileşimlerini inceleyen bir konudur. Bu alanda yapılan araştırmalar, manyetik alanın akışkan davranışları üzerindeki etkilerini anlamamıza ve manyetohidrodinamik olayları analiz etmemize yardımcı olmaktadır.

Bu bağlamda çalışma, üç boyutlu dairesel kesitli bir kanal içerisinde akmakta olan elektrik geçirgenliğine sahip sıvı lityum akışkanın, atımlı akışta manyetik alan etkisindeki akış özellikleri (hız ve sıcaklık) sayısal olarak incelenmiştir. Analizler, sonlu hacimler tekniğine dayalı, ANSYS ticari paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Laminer akış şartlarında, üç farklı boyutsuz frekans (F=0.01 – 1 – 100) ve dört farklı manyetik alan değerinde (B=0 T – 0.05 T – 0.1 T – 0.15 T) çalışılarak akışkanın hız ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; manyetik alan etkisi altındaki atımlı akışın, akışkanın hareketi ve ısı transferi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Manyetik alan akış hızını düşürmüştür, aynı zamanda ısı transferini arttırmıştır. Manyetik alan değerlerindeki analizlerde, ilk manyetik alan değerinde (B=0.05 T) akışkan davranışlarında gözle görülür bir etkinin olduğu, ancak yüksek manyetik alan değerlerinin akış davranışlarına çok fazla etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma, dairesel kesitli kanallarda manyetik alan etkisi altındaki atımlı akışta akışkan davranışının analizini gerçekleştirerek önemli bir katkı sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, bu kapsamda yapılmamış yeni bir çalışma literatüre kazandırılarak MHD ve atımlı akışın akışkanlar dinamiği uygulamalarında ortaya çıkan önemli etkilerini daha iyi anlamamıza ve gelecekteki mühendislik uygulamalarında kullanılmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Atımlı akış, Laminer akış, Isı transferi, Manyetik alan, Manyetohidrodinamik (MHD).




1. Giriş

1.1. Manyetohidrodinamik

Manyetohidrodinamik (MHD), kelime anlamı itibariyle manyetik özelliğe sahip sıvıların hareketi anlamına gelmektedir. MHD bu anlamda, elektriksel iletkenliğe sahip akışkanların manyetik alan etkisi altındaki davranışlarını inceleyen disiplinler arası bir konudur. MHD alanında yapılan öncü çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: İlk olarak 1832 yılında Londra'da bulunan Thames Nehrindeki elektriksel potansiyel farkı ölçmek isteyen Faraday, akımın çok küçük olmasından ve o günkü şartlarda yeterli teknolojik donanıma sahip olunamaması sebebiyle bunu başaramamıştır. Sonrasında 1937 yılında Hartmann, iki plaka arasındaki cıvanın manyetik alan etkisi altında ki iletken akışkanın akışkanlar mekaniğinde var olmayan yeni dalgaların yayıldığını tespit etmiştir (Yağcı, 2016).

MHD; denizaltıların, gemilerin ve insansız sualtı araçlarının sevk edilmesinde, sınır tabaka müdahalesi ile direncin ve gürültünün azaltılmasında, elektromanyetik izlerin azaltılmasında, özel maksatlı tulumbalarda, güç üretiminde (MHD jeneratörleri) ve akısın kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. MHD itki ve güç sistemlerinde, iletken akışkanları yalnızca elektrik ve manyetik alan ile itici güç oluşturarak kullanılmaktadır, bu sayede hareketli bir parçası (şaft, pervane vb.) bulunmayan sistemde aşınma ve gürültü gibi olumsuz etkiler bulunmamaktadır. MHD sistemlerinde hareketli parça yoktur, bu da iyi bir tasarımın sessiz, güvenilir ve verimli olabileceği anlamına gelmektedir. Ek olarak, MHD tasarımı, bir motor tarafından doğrudan tahrik edilen bir pervane ile aktarma organlarının birçok aşınma ve sürtünme parçasını da ortadan kaldırmış olur. MHD kullanılan bir deniz taşıtına örnek; 1991 yılında, dünyanın ilk tam boyutlu prototip Yamato 1 Haziran 1992'de Kobe Limanı'nda 15 km/sa'e varan hızlarda on altı yolcudan oluşan bir mürettebatı başarıyla taşımıştır. Sualtı MHD itiş gücü ile ilgili askeri araştırmalar, yüksek hızlı torpidoları, uzaktan çalıştırılan sualtı araçlarını (ROV: Remotely operated underwater vehicle), otonom sualtı araçlarını (AUV: Autonomous underwater vehicle), denizaltılar gibi daha büyük araçları da içermektedir. Uzay araştırmaları için manyetohidrodinamik kullanan plazma tahrik motorları da aktif olarak çalışılmıştır, çünkü bu tür elektromanyetik itme, aynı zamanda yüksek itme ve yüksek özgül itme sağlar ve itici gaz, kimyasal roketlerden çok daha uzun süre dayanır (URL-1, URL-2, URL-3, 2022).

MHD'nin sağlık alanına örnek çalışması manyetik akışkan hipertermidir. İlk olarak manyetik nanoparçacık içeren bir akışkan tümöre enjekte edilir ardından uygulanan manyetik alan yardımı ile nanoparçacıkların ısı üretmesine dayanan ve tümörün tahribatı ile sonuçlanan kanser tedavi yöntemidir (Rinaldi ve Latorre, 2009). Manyeto-hidrodinamiğin astronomi ve jeofizikteki uygulamaları arasında; yıldızların ve gezegenlerin yapısı, güneş fırtınaları, gezegenler ve yıldızlararası madde, gezegenler arası manyetik alan ve akışkan etkileşimleri, uzay iletişim sistemleri ve iyonosferde radyo dalgaları üretimi de yer almaktadır (Zaloğlu, 2003).

2023 tarihinde Amerikan Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA) tarafından bir program oluşturuldu. PUMP (Denizaltı MHD Pompalarının İlkeleri) adındaki program; MHD tasarımlarını ölçeklendirmek için hidrodinamik, elektrokimya ve manyetikler dahil olmak üzere çoklu fizik modelleme ve simülasyon araçlarını bir araya getirecek ve doğrulayacaktır. Programın amacı, bir elektrot malzeme sistemi belirlemek ve ölçeklendirilebilen bir MHD sürücüsünün prototipini oluşturmaktır. DARPA'nın Savunma Bilimleri Ofisinde yönetici Susan Swithenbank: Bir MHD sürüşte bugüne kadar gösterilen en iyi verimlilik, yaklaşık 4 Tesla değerinde bir manyetik alan kuvveti kullanarak yaklaşık %30'luk bir verimlilikle 6.6 deniz mili elde eden 30



metrelik bir gemi olan Yamato-1'de 1992'de gerçekleştirildiğini, son birkaç yılda, ticari füzyon endüstrisi, bir MHD sürücüde potansiyel olarak %90 verimlilik sağlayabilen 20 Tesla'ya kadar büyük ölçekli manyetik alanlar sergileyen nadir toprak baryum bakır oksit (REBCO) mıknatıslarında ilerleme kaydettiğini açıklamıştır (URL-4, 2023).

1.2. Atımlı Akış

HASAN KALNONCU 415"

Akış problemlerinin çözümündeki karmaşıklığı azaltmak için genellikle zaman bağımsız çözümler yapılır. Ancak doğadaki çoğu akış uygulamalarının zamana bağımlı olduğu görülmektedir. Örneğin insan vücudunda; kalbin belirli bir düzen içerisinde çalışması ile damarlar içerisine pompalanan kan bir atımlı akış oluşturmaktadır. Mühendisliğin de birçok alanında; içten yanmalı motorlar, hidrolik borularda kavitasyonun engellenmesi, özel ısı değiştiricilerde, elektronik soğutucularda, nükleer reaktörlerde, uzay ve havacılıkta atımlı akış kullanılmaktadır (Aygün, 2013).

Literatürde atımlı akış ile ilgili çalışmalar; Miller ve Fejer 1964 yılında akışı durdurup başlatabilen bir kelebek valf kullanarak gerçekleştirmiştir. Ardından Brown ve arkadaşları (1969) sıvı ortamda, Baird ve arkadaşları ise (1971) su ortamında hava titreşimi kullanarak salınım oluşturmuşlardır.

Atımlı akış (*pulsatile flow*), periyodik bir salınımlı akış bileşeninin sabit bir akışın üzerine bindirildiği, belirli bir zamana bağımlı akış türüdür. Atımlı akışlar; ısı transferini arttırmak, kanal içerisindeki temizliği sağlamak, farklı akışkanların karışımının sağlanması vb. özellikleri ile ortaya çıkmaktadır (Aygün ve Aydın, 2015). Farklı bir örnekte; nükleer enerjinin gemilerde ve okyanus ortamında geliştirilmesi ve uygulanması, araştırmacıları titreşimli gemi hareketinde nükleer sistemlerin hidrodinamik ve ısıl özelliklerini ve güvenliğini araştırmaya motive etmiştir (Aygün ve Aydın, 2014). Akışlar, zamana bağlılık açısındar; daimî (*steady*) ve daimî olmayan (*transient*) olmak üzere ikiye ayrılabilir. Daimî akış zamana göre bir değişimin olmamasını, daimî olmayan akış ise zamana göre değiştiği belirtmektedir. Akışın belirli bir düzen içerisinde kendini tekrarlamasına (ör. sinüs eğrisi şeklinde) periyodik akış denilmektedir. Zamana göre periyodik olarak değişmekte olan veya yönü değişen akışlar, atımlı (*pulsatile*) ve salınımlı (*oscillation*) akışlar olarak ikiye ayırabilmektedir (Aygün, 2013).

Bu çalışmada, dairesel kesitli bir kanal içerisinde akmakta olan elektrik geçirgenliğine sahip bir akışkanın, ısıl olarak gelişmiş, hidrodinamik olarak gelişmekte olan atımlı akışta manyetik alanın, akış ve ısı transferi üzerindeki etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışma, sonlu hacimler tekniğine dayalı, ANSYS Fluent paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Manyetik alanın, atımlı akış ile birlikte uygulanmasıyla, boru içerisindeki akışkanın hız ve sıcaklık değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında, manyetik alan ve atımlı akışın boru içi laminer akışa etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Dört farklı manyetik alan değerinde (B=0 T – 0.05 T – 0.1 T – 0.15 T), üç farklı boyutsuz frekansta (F=0.01 – 1 – 100) ve Re=1000 değerinde yapılan çalışmada hız ve sıcaklık değişimler incelenmiştir. Sayısal çalışmaya başlamadan önce literatürde daha öncesinde MHD ve atımlı akış ile ilgili iki ayrı çalışmanın doğrulaması yapılarak çözüm yönteminin doğruluğu teyit edilmiştir.



2. Materyal ve Yöntem

HASAN KALNONCU

Sayısal çalışma, sonlu hacimler tekniğine dayalı, ANSYS Fluent paket programı kullanılarak gerceklestirilmistir. ANSYS Design Modeler kullanılarak, D=0.03 m ve L=1 m boyutlarında 3B varım kesitli dairesel kanal geometrisi oluşturulmuştur.

Sayısal analizlerde en önemli kısım ağ yapısının (mesh) oluşturulmasıdır. Geometrinin yapısına göre uygun ağ şeklinin belirlenmesi, sayısal çözümdeki hataları azaltabilmekte ve zamandan tasarruf sağlayabilmektedir. Ağ şekli yapılandırılmış (structured mesh) ve yapılandırılmamış ağ (unstructured mesh) olarak ayrılmaktadır. Yapılandırılmamış ağ yapısı daha kolay oluşturulabilmektedir ancak birtakım hatalara yol açmakta ve daha fazla sayıda düğüm noktası oluşturmaktadır. Boru cidarındaki kaymama şartı nedeniyle cidara yakın bölgelerde istenilen hassasiyette çözüm yapılamamaktadır. Bu sebeple, sınır tabaka ağı ile birlikte, akış değişkenlerinin hesaplanacağı hücreleri tanımlayacak ağın yapılandırılmış olması tercih edilmektedir. Bu calışmada, Şekil 1'de gösterildiği gibi yapılandırılmış ağ uygulanmıştır.



Şekil 1. Yapılandırılmış ağ görüntüsü

Sayısal çalışmalarda bir diğer önemli husus yapılan çözümlerin ağ bağımsızlığının gösterilmesidir. Her ne kadar ağ yapısı düzgün oluşturulsa da ideal yapı sağlanamamaktadır veya yapılan ağın uygun olup olmadığının denetlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple analiz çözümlerine geçmeden önce ağ bağımsızlık testleri (mesh independence test) yapılmaktadır.

Bu çalışmada yapılacak ağ bağımsızlığı testleri için, geometriyi oluşturan kenarlar belirli oranlarda bölünmüştür. Oluşturulan kenar boyutlandırmaları (edge sizing) ile parametrik çalışma yapılmıştır ve boyutlandırma sonucu oluşan değerler Tablo 1'de belirtilmiştir. Belirtilen değerlere göre bu çalışma için uygun ağ boyutunun "sık ağ" yapısı olduğu sonucuna ulaşılmıştır ve devamındaki analizler de bu ağ boyutunda gerçekleştirilmiştir.

Eleman Sayısı	Hız (m/s)	Аğ Үарısı
1.20E+03	0.090	Çok Kaba
9.60E+03	0.091	Kaba
7.68E+04	0.092	Orta
6.14E+05	0.092	Sık
4.92E+06	0.092	Çok Sık



HASAN KALNONCU 415"



Bu çalışmadaki çözümler; 3B, çift hassasiyet (*double precision*) ve çözümlerin hızlı olabilmesi için 8 paralel çekirdek ve 1 ekran kartı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı olarak, laminer akış şartlarında ve MHD modülü kullanılarak manyetik alan uygulaması ile çözülmüştür. Akışkan olarak, yüksek elektrik iletkenliği ve analiz sırasında sürekli akmaya uygun viskozitesi nedeniyle sıvı lityum seçilmiştir. Malzeme özellikleri (yoğunluk, ısı iletkenliği ve dinamik viskozite), ANSYS Fluent programı içerisinde denklem (*expression*) oluşturabilme özelliği kullanılarak tanımlanmıştır. Özgül ısı değeri ise, program içerisinde denklem oluşturabilme özelliğinin olmaması nedeniyle, polinom (*polynomial*) olarak tanımlanmıştır. Sıvı lityumun fiziksel özellikleri sıcaklığa bağlı ($300 \le T \le 600$ K) ampirik ilişkiler şeklinde Okumuş, 2023 çalışmasında detaylı olarak verilmiştir.

Çalışmada kullanılan sınır koşulları; giriş (*inlet*) hızı (*velocity*), periyodik olduğu için, kullanıcı tanımlı fonksiyon (*UDF: User Defined Function*) olarak programa girilmiş ve ortalama hız Re=1000 olarak seçilmiştir. Giriş ve yüzey (*wall*) sıcaklıkları sabit kabul edilmiş ve sırasıyla $T_i = 300$ K ve $T_w = 573.15$ K olarak verilmiştir.

Atımlı akış için; ortalama Re=1000 için ortalama hız u = 0.04923 m/s olarak hesaplanmıştır. Akış için boyutsuz genlik A=0.5 ve boyutsuz frekanslar (F=0.01 – 1 – 100) kabul edilmiştir.

Analizlerde sabit ısı akısı kabulü daha gerçekçi bir yaklaşım olmasına rağmen, ısı depolama gibi faz değiştiren sistemlerde (faz değişiminde sıcaklığın sabit kalması sebebiyle) ve MHD gibi özel akış durumlarına daha uygun olduğu için çalışmada sabit yüzey sıcaklığı sınır koşulu kabul edilmiştir. Analizlerde; süreklilik, momentum ve enerji denklemleri için yakınsama kriterleri 10⁻⁶ olarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar; hız ve sıcaklık boyutsuz olarak grafik halinde sunulmuştur.

2.1. MHD için Sayısal Modelin Doğrulama Çalışması

Bu çalışmada MHD uygulanarak yapılan çözüm yönteminin doğruluğu, literatürde daha önce -Selimli (2015) tarafından- yapılmış farklı bir çalışma ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Her iki çalışmada da akışkan olarak elektrik iletkenliğine sahip sıvı lityum kullanılmıştır ve benzer sınır koşulları ile Re=2200 değerinde laminer akış şartlarında çözümler yapılmış, karşılaştırma Şekil 2'de sunulmuştur.

Boru girişinden 0.12 m mesafeden alınan hız ve sıcaklık profillerinin tam uyum içerisinde olmamasının sebepleri; boru geometrisinden, ağ yapısından ve malzeme özelliklerini tanımlama biçiminden kaynaklanmaktadır. Selimli'nin çalışmasında çözüm, tam boru geometrisinde, yapılandırılmamış ağ ve malzeme özellikleri UDF olarak tanımlanarak yapılmıştır. Bu çalışmada ise, yarım kesitli boru geometrisinde, yapılandırılmış sınır tabaka ağı ile ve malzeme özellikleri program içerisinde ilgili menülere denklemler tanımlanarak çözülmüştür. Tam boru geometrisinde artık (*residual*) olarak tanımlanan terimlerin -verilen taşıyıcı (*transport*) denklem çözümlerinin tam çözümden sapma ölçütü- fazla olacağından yakınsama problemlerine neden olmaktadır, ayrıca çözüm süresinin uzamaması gibi sebeplerle yarım kesitli boru tercih edilmiştir.



Şekil 2. MHD etkisindeki boyutsuz hız profillerinin karşılaştırılması

u*

Akış problemlerinde boru cidarındaki kaymama sınır şartı sebebiyle bu bölgedeki akışkan davranışlarının daha hassas incelenmesi önem arz etmektedir, bu nedenle hem yapılandırılmış ağ hem de cidara doğru sıklaşan ağ yapısının (*inflation*) kullanılması uygun olacaktır.

2.2. Atımlı Akış için Sayısal Modelin Doğrulama Çalışması

Bir sonraki adımda ise atımlı akış için doğrulama çalışmasına ihtiyaç duyulmuştur. Çözüm yönteminin doğruluğu, Aygün, 2013 ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Her iki çalışmada aynı koşullarda gerçekleştirilmiş ve benzer sınır şartlarında ortalama Re=1000 değerinde laminer akış şartlarında çözümler yapılmıştır.



Şekil 3. Atımlı akışta farklı faz açılarındaki boyutsuz hız profillerinin karşılaştırılması

Atımlı akış doğrulama çalışmasının sonuçları Şekil 3'te verilmiş ve sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür.



3. Bulgular ve Tartışma

HASAN KALMONCU 415" ----

Bu çalışmada, manyetik alanın ve atımlı akışın, laminer boru içi akışta, akış özeliklerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 4. Boru çıkış merkezindeki zamana göre hız değişimi

Manyetik alan altında atımlı akış uygulamasında sonuçların en az beş periyot sonrasında alınması gerektiği elde edilen değerler sonucunda ulaşılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi akışın ilk anlarında manyetik alanın etkisiyle sıçramalar ortaya çıkmaktadır ve devamında düzgün bir sinüs eğrisi şeklinde devam etmektedir.

3.1. Manyetik Alanın Farklı Faz Açılarındaki Hız Profiline Etkisi

Boyutsuz genliğin 0.5 olduğu ve üç farklı boyutsuz frekans (F=0.01 - 1 - 100) durumda, dört farklı manyetik alan değerinde (B=0 - 0.05 - 0.1 - 0.15 T), boru çapının on altı kat ilerisinden (x/D=16) alınan, farklı boyutsuz faz açılarındaki (F τ =0 - 0.5 - 1 - 1.5) boyutsuz hız profillerinin manyetik alan değerlerine göre değişimi Şekil 5, 6 ve 7'de sunulmuştur.

Boru akışlarında atım frekansının artmasıyla en yüksek hızın borunun cidara yakın bölgede oluşmasına halkasal etki (*annular effect*) adı verilmektedir. Bu etki F=100 frekans değerinde, manyetik alanın sıfır olduğu durumda görülmektedir (Aygün, 2013). Ancak manyetik alan uygulaması ile halkasal etki ortadan kalkmaktadır. Bu durumun sebebi, Lorentz kuvvetlerinin akışı frenleyerek ters dönmesine engel olmasıdır.



DENIZ TECHNICAL I IN TURAN CULTURE AND

HASAN KALMONCU 15" SHI

()

TICMET'23

Şekil 5. F=0.01 için farklı faz açılarındaki hız profillerinin manyetik alana göre değişimi



DENIZ TECHNICAL I IN TURAN CULTURE AND

HASAN KALIONCU 15" MAR

()

TICMET'23

Şekil 6. F=1 için farklı faz açılarındaki hız profillerinin manyetik alana göre değişimi



HASAN KALNONCU 415" ----

ICMET'2

Şekil 7. F=100 için farklı faz açılarındaki hız profillerinin manyetik alana göre değişimi

Manyetik alan varlığında akış hızında azalma meydana geldiği, bu durumun uygulanan ilk manyetik alan değerinde büyük etkiye sahip olduğu görüldüğü ancak manyetik alan değerlerinin artması ile bu etkinin çok daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, manyetik alanın artmasıyla akışa karşı oluşan Lorentz direnç kuvveti artmakta fakat bu artış belli bir değerden sonra sabit kalmaktadır. Manyetik alanın, borunun cidarında ve ekseninde de farklı durumlara yol açtığı görülmektedir. Bu durumun sebebi ise yine Lorentz kuvvetlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır (Yağcı, 2016). Lorentz kuvvetleri; cidara yakın yerlerde akış doğrultusunda etki ederek akışı hızlandırdığı, ancak boru merkezine doğru ilerledikçe akışa zıt yönde etki ettiği için akışı yavaşlattığı görülmektedir. Frekans değerinin artışıyla bozulmalar da ortaya çıkmaktadır.

3.2. Manyetik Alanın Farklı Faz Açılarındaki Sıcaklık Profiline Etkisi

Farklı boyutsuz faz açılarındaki boyutsuz sıcaklık profillerinin manyetik alan değerlerine göre değişimi Şekil 8, 9 ve 10'da verilmiştir.

Grafiklere incelendiğinde, düşük frekansta (F=0.01 - 1), hız profilindekine benzer şekilde sıcaklık değişimleri görülmektedir, ancak yüksek frekansta (F=100) sıcaklık farkının daha az olduğu görülmektedir. Hızlanma bölgesinde, taşınım etkilerinden dolayı sıcaklığın düştüğü ve yavaşlama bölgesinde ise sıcaklığın arttığı görülmektedir.

Grafiklerden görüleceği üzere, manyetik alanın artmasıyla birlikte Lorentz kuvvetlerinin etkisi artmakta ve bu durum merkezdeki hızın azalmasına ve böylece merkezdeki sıcaklığın artmasına



HASAN KALIONCU (15" MAR KALION



sebep olmaktadır. Ayrıca uygulanan farklı manyetik alan değerlerine göre faz açılarının da sıcaklık üzerinde önemli bir etkisinin olduğu fark edilecektir. Özellikle düşük frekanslarda (F=0.01) önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu etki frekans artışıyla (F=100) birlikte azalmaktadır. Bunun sebebi ise yüksek frekanslarda atalet kuvvetlerinin etkisinin baskın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. F=0.01 için farklı faz açılarındaki sıcaklık profillerinin manyetik alana göre değişimi



Şekil 9. F=1 için farklı faz açılarındaki sıcaklık profillerinin manyetik alana göre değişimi



Şekil 10. F=100 için farklı faz açılarındaki sıcaklık profillerinin manyetik alana göre değişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, dairesel kesitli bir kanal içerisinde akmakta olan elektrik geçirgenliğine sahip akışkanın, ısıl olarak gelişmiş, hidrodinamik olarak gelişme bölgesinde, atımlı akışta manyetik alanın, akış hızı ve sıcaklığı üzerine olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir.

- 1. Manyetik alanın artışı Lorentz kuvvetinin artmasına neden olur. Bu kuvvet, sıcaklık ve hız değişikliklerini oluşturan taşınım akımlarına karşı çalışır, dolayısı ile Lorentz kuvvetinin artması taşınımın azalmasına yol açar. Bunun sonucu olarak ısı transferi yavaşlar. Ancak, bu çalışmadan görüleceği üzere bazı durumlarda (atımlı akış uygulanması) manyetik alanın artışı, akışın düzenlenmesine ve sıcaklık dağılımının homojenleşmesine sebep olmaktadır. Bu bağlamda ısı transferinin artırılması çalışmalarına olumlu yönde etki yapacaktır.
- 2. Manyetik alanın varlığı yüksek frekansta halkasal etkinin oluşmasını engellemektedir.
- 3. Dört farklı manyetik alan değerinde analizler yapılmış olup, uygulanan ilk küçük manyetik alan değerinin (B=0.05 T) akışkan üzerinde önemli bir etkisi olduğu, ancak manyetik alanın artırılmasıyla hatta en yüksek manyetik alan değerlerine çıkılmasına rağmen bu etkinin hemen hemen sabit kaldığı belirlenmiştir.

13-16 NOVEMBER, 2023 KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN CULTURE AND CONVENTION CENTER



- 4. Atımlı akışın frekansı ve manyetik alanın değeri arttıkça cidara yakın bölgede hızlar artmakta ve böylece sınır tabaka kalınlığı azalacağı için ısı transferini iyileştirebileceği anlamı taşımaktadır.
- 5. Farklı manyetik alan değerlerine göre faz açılarının sıcaklık üzerinde önemli bir etkisinin olduğu değerlendirilmektedir. Özellikle düşük frekanslarda önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu etki frekans artışıyla (F=100) birlikte azalmaktadır. Bu durum manyetik alan değiştirilerek ısı transferi kontrolünü mümkün kılabilmektedir.
- 6. Toplam ısı transferinin artırılmasında veya azaltılmasında, cidara yakın bölgede ısı transferinin artırılmasında veya azaltılmasında atımlı akışla birlikte manyetik alanın kullanılabileceği belirlenmiştir.

Newtonumsu olmayan akışkanlar kullanılarak, daha geniş frekans aralıklarında, farklı genliklerde ve faklı Reynolds sayılarında hidrodinamik ve ısıl çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- 1. Hartmann, J. ve Lazarus, F., "Hg-dynamics II", Theory Of Laminar Flow Of Electrically Conductive Liquids In A Homogeneous Magnetic Field, 1937, 15(7).
- 2. Yağcı, E., İç Akışta Manyetik Alan Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2016.
- 3. URL-1, https://alarga.uskudar.biz/kemere/b%c3%a2li-kaptan.html, 2022.
- 4. URL-2, https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetik_hidrodinamik, 2022.
- 5. URL-3, https://en.wikipedia.org/wiki/Yamato_1, 2022.
- 6. Rinaldi, C., Latorre M., *Applications Of Magnetic Nanoparticles In Medicine: Magnetic Fluid Hyperthermia*, PRHSJ, 2009, 28(3), 227-238.
- 7. Zaloğlu, A., Paralel İki Levha Arasındaki Rivlin-Ericksen Akışlarının MHD Radyal Titreşimli Akışı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- 8. URL-4, https://www.darpa.mil/news-events/-2023-05-18, 2023.
- 9. Aygün, C., Atımlı Giriş Akışının Akış ve Isı Transferi Üzerindeki Etkisi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalı, Trabzon, 2013.
- 10. Miller, J., A. ve Fejer, A., A., *Transition Phenomena in Oscillating Boundary-Layer Flows*, J. Fluid Mech., 1964, 18, 438-448.
- 11. Brown, F., T., Margolis, D., L. ve Shah, R., P., Small Amplitude Frequency Behavior of Fluid Lines with Turbulent Flow, J. Basic Eng. T. ASME, 1969, 91(4), 678-693.
- 12. Baird, M., H., I., Round, G., F. ve Cardenas, J., N., *Friction Factors in Pulsed Turbulent Flow*, Can. J. Chem. Eng., 1971, 49, 220-223.
- 13. Aygün, C. ve Aydın, O., *Pressure-driven Laminar Pulsating Flow In A Pipe: Effect Of The Amplitude*. Isi Bilimi ve Tekniği Dergisi, 2015, 35(1), 97-105.
- 14. Aygün, C. ve Aydın, O., *Hydrodynamics Of Piston-Driven Laminar Pulsating Flow: Part 1. Developing Flow.* Nuclear Engineering and Design, 2014, 274, 164-171.
- 15. Okumuş, A., A., Bir Borudaki Isıl Olarak Tam Gelişmiş Hidrodinamik Olarak Gelişmekte Olan Atımlı Akışta Manyetik Alanın Akış ve Isı Transferi Üzerine Etkisinin İncelenmesi,





Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gümüşhane, 2023.

16. Selimli, S., Computational Hydrodynamic And Heat Transfer Analysis Of Magnetohydrodynamic Internal Flow. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015.



DESIGN andCONTROL of NONISOLATED DC-DC MODULAR MULTILEVEL CONVERTER for INTERCONNECTION of HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT GRIDS

13-16 NOVEMBER, 2023

ABDURRAHİM ERAT¹, AHMET METE VURAL¹

¹Gaziantep University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Department, Gaziantep, TURKEY

Abstract

In recent years, the relevance of high voltage direct current (HVDC) power transmission and distribution systems have recently increased due to the rapid expansion of electrical power generation systems based on renewable energy sources and the development of DC load systems in both the social and industrial sectors. HVDC technology is vital for interconnecting power production systems without a land connection to the main network, as well as for integrating renewable energy generation systems, synchronizing asynchronous alternative current (AC) electrical systems, and long-distance power transmission. DC-DC modular multilevel converter (MMC) topologies, descended from the conventional AC-DC MMC's architecture, can enhance the power system's adaptability, modularity and sustainability, and constitute significant converter topologies for interconnecting HVDC grids. An innovative DC-DC MMC architecture is suggested in this study as an excellent option for interconnecting modern HVDC power transmission systems and high voltage alternating current (HVAC) power transmission systems operating under different voltage levels. The proposed DC-DC MMC topology has a flexible structure. Its operating principle and control strategy are deeply examined in this study. The proposed DC-DC MMC topology has no transformer connection which substantially decreases the size of the converter and power losses. Its operational performance is evaluated in terms of simulation studies.

Keyword: DC-DC Modular Multilevel Converter, HVDC, DC-DC Power Conversion.

1. Introduction

High voltage direct current (HVDC) power transmission and distribution systems have become increasingly important recently as a result of the rapid growth of electrical power generation systems based on renewable energy sources, an increase in the number of electrical power generation systems developed far from the mainland, the transmission and distribution of electrical energy generated at long distances to load systems, and the substantial increase in DC load systems in both social and industrial areas. HVDC technology is a significant electrical power transmission improvement that enables productive electrical power distribution throughout immense distances, electrical power transfer utilizing underground and underwater cables, asynchronous power grid interconnections, lower electrical power losses, controllability, flexibility, considerations regarding the environment, limited short circuit currents, enormous electrical power transmission





capability, high-efficiency electrical power output, and overhead power lines [1]-[5]. Furthermore, power facilities based on renewable energy sources are usually situated distant from power consumers, thus the generated electrical power must make progress across long distances. As an alternative to traditional high-voltage AC (HVAC) electrical power transmission lines, HVDC technologies are now available for transferring provided electricity from renewable resources with higher reliability and dependability. The installation of a sizable number of pointto-point HVDC systems up towards this period has prompted academics to develop the idea of HVDC power networks [5][6]. The current rise in the relevance of HVDC technology is predominantly due to significant advancements in semiconductor technology. Innovations in semiconductor-based power switching technologies play a significant role in AC-DC, DC-AC, and DC-DC power converter technologies given that HVDC technologies are based on power converter systems. In HVDC technologies, the type of converter employed for converting one level of electrical voltage into a different one determines the degree of effectiveness of power transmission. Increased power capacity is an additional advantage of selecting a well-constructed converter for utilization in HVDC applications. Traditionally, line commutated converter HVDC (LCC-HVDC) and voltage source converter HVDC (VSC-HVDC) systems have been used in many HVDC technologies, but recently MMC [7] technology plays a critical role in HVDC applications due to its advantages such as high level of modularity, scalability, transformerless operation, superior harmonic performance, high efficiency, fault-tolerability, enhancement of power quality, low harmonic content, ease of redundancy installation, modular structure and many operational advantages [4], [8]–[10]. These characteristics of MMC technology have lately drawn the attention of numerous academics, who are interested in this technology. It is commonly employed in fields such as power quality enhancement, motor drives [8], and energy storage systems [11][12] in addition to HVDC technology. Many DC-DC MMC designs derived from conventional MMC technology have been published in the literature. The exterior as well as internal behaviors of the DC-DC MMC are included in the model predictive control methodology in this study [13], which introduces a customized model predictive control technique. Three control goals are introduced by the suggested strategy to fully control external as well as internal behavior. In order to integrate numerous HVDC networks, this article [2] proposes a multiport DC-DC MMC. This study presents the mathematical model and working principles that have been suggested for multiport DC-DC MMC. This article [14] introduces a brand-new, adaptable DC-DC MMC for connecting HVDC systems with various line configurations. The novel converter topology that is proposed in this study has a control technique that enables the converter to interface various line configurations. The functioning concept of the design has been presented, demonstrating how AC currents are used to regulate the internal energy and DC currents are required to interchange power between the associated networks. In this paper [4], a recent assessment of both conventional and DC-DC MMC topologies has been presented.

2. Desing and Analysis

This section of the study presents a thorough analysis of both the conventional MMC design and the novel DC-DC MMC study that is suggested by deriving from the conventional MMC design. The conventional MMC design's circuit diagram, mathematical analysis, and operating principle are provided. Additionally, the suggested novel DC-DC MM study's circuit architecture, mathematical analysis, and operating principle have all been examined.

2.1 Conventional MMC

Figure 1 shows the conventional three-phase MMC construction. Positive and negative polarities of the MMC design leg are connected via the MMC design's DC system. The three-phase AC



network (a, b, and c) is connected to the center of each converter's legs. Every leg has two arms in the MMC configuration. Lower arms (l) are linked to negative poles, and upper arms (u) to positive poles. Each arm consists of an inductor (Lo) and several half-bridge or full-bridge submodules (SMs). Every SM has a capacitor inside of it that has a requirement to have its average voltage controlled to provide the necessary voltage waveform and minimize circulating current.



Figure 1. Architecture for a three-phase conventional MMC

2.2 Proposed DC-DC MMC

HASAN KALNONCU 415"

Figure 2 illustrates the novel, controllable, and modular DC-DC MMC architecture that was created as an alternative way of integrating both the current HVAC power transmission networks and the forthcoming HVDC power transmission networks. Utilizing rectifier systems prior to and after the DC-DC MMC architecture makes it straightforward to integrate existing HVAC power transfer systems. This innovative DC-DC MMC design has been developed considering [15]–[18] research as guidelines. There are three arms in this DC-DC MMC architecture, and each of them consists of four different SM sets. Each SM set has four HBSM architectures in its contents. Two SM sets are positioned at the top and bottom of each arm, and two SM sets are placed at the top and bottom of each arm's center, known as the center upper SM set and the center lower SM set, respectively. A branch line that forms the output positive terminal for each arm is established at the intersection of the center upper arm and the highest SM set. Similar to this, the intersection of the center subbranch and the lowest SM set forms the branch line that forms the output negative terminal. There are a total of eight arm inductances with the SM sets, with two between each pair of sets, one over the top SM set, and two underneath the bottom SM set. Three arms have a total of six phase inductors, one on each arm's output positive branch line. One line from each branch is grounded through a string inductor at the intersection of the central lower SM set and the central higher SM set.



HASAN KALDONCU 415"





Figure 2. Proposed novel DC-DC MMC architecture

3. Simulations Results and Discussion

The effective operation of the proposed innovative DC-DC MMC topology between two networks with variable voltage levels, namely HVDC Network 1 (primary side, higher voltage level than the secondary side) and HVDC Network 2 (secondary side, lower voltage level than the primary side), is realized in a simulation environment. The primary and secondary voltage and current levels of the DC-DC MMC circuit are shown in Figure 3 for reference. Since the primary side has a larger voltage level than the secondary side, it is readily apparent that the system tends to keep working in this manner.



Figure 3. The voltage and current levels of the primary and secondary side of the DC-DC MMC

The voltage and current waveform for the set1a SM set in the first arm of the DC-DC MMC architecture is depicted in Figure 4. In the present investigation, the individual phase disposition pulse width modulation (PD-PWM) approach has been employed for controlling the power switching in SM sets of design. In other words, each SM set receives an individualized modulation approach.



Figure 4. Voltage and current levels of Set1a SM set of the DC-DC MMC design

Figure 5 shows the diagrams of the currents flowing from each arm towards the positive pole of the secondary side. As can be seen from the given graph, it is obvious that the arm currents reach a steady state after a certain period of time and the DC-DC MM design switches to a more stable operation mode after this period of time. Figure 5 (a) shows the full current diagrams of the DC-DC MMC design when it is operating within the specified period of time, while Figure 5 (b) shows the state of these currents after they reach a more stable state (zoomed version of the current diagram). Similarly, in Figure 6, the diagrams of the currents flowing from each arm towards the negative pole of the secondary side are given. It is observed that the branch currents reach a steady state after a certain period of time at the positive pole.



(a)



Figure 6. Sub-branch branch flows (ila, ilb, ilc)

4. Conclusions

The design and operation of an innovative DC-DC MM architecture that offers a practical solution for the integration of power transmission networks with various voltage levels (asynchronous power grid) are discussed in this paper. Each power switch in each SM set is equipped with its own PD-PWM method in this architecture. For the integration of two separate HVDC power networks with variable voltage levels for the main and secondary sides, a simulation analysis of the DC-DC MMC architecture was conducted in this research. The simulation findings are provided in a comprehensible manner.

References

- 1. X. Zheng *et al.*, "Loss-Minimizing Generation Unit and Tie-Line Scheduling for Asynchronous Interconnection," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 6, no. 3, pp. 1095–1103, 2018, doi: 10.1109/JESTPE.2017.2783930.
- F. Qin, T. Hao, F. Gao, T. Xu, D. Niu, and Z. Ma, "A Multiport DC-DC Modular Multilevel Converter for HVDC Interconnection," in 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2020, pp. 520–524. doi: 10.1109/APEC39645.2020.9124277.
- 3. A. M. Vural, "Contribution of high voltage direct current transmission systems to interarea oscillation damping: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 57, pp. 892–915, 2016.
- 4. A. Erat and A. M. Vural, "DC/DC Modular Multilevel Converters for HVDC Interconnection: A Comprehensive Review.," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, 2022.
- J. D. Páez, D. Frey, J. Maneiro, S. Bacha, and P. Dworakowski, "Overview of DC–DC Converters Dedicated to HVdc Grids," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 34, no. 1, pp. 119– 128, 2019, doi: 10.1109/TPWRD.2018.2846408.
- 6. R. Razani and Y. A.-R. I. Mohamed, "Augmented Design of DC/DC Modular Multilevel



Converter Improving Efficiency and Reducing Number of SMs," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 35, no. 6, pp. 2905–2915, 2020, doi: 10.1109/TPWRD.2020.2991894.

- 7. A. Lesnicar and R. Marquardt, "An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range," in 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings, 2003, vol. 3, pp. 6-pp.
- A. Dekka, B. Wu, R. L. Fuentes, M. Perez, and N. R. Zargari, "Evolution of Topologies, Modeling, Control Schemes, and Applications of Modular Multilevel Converters," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 5, no. 4, pp. 1631–1656, Dec. 2017, doi: 10.1109/JESTPE.2017.2742938.
- M. Cheah-Mane, J. Arevalo-Soler, E. Prieto-Araujo, and O. Gomis-Bellmunt, "Energy-Based Control of a DC Modular Multilevel Converter for HVDC Grids," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 35, no. 4, pp. 1823–1833, Aug. 2020, doi: 10.1109/TPWRD.2019.2955007.
- 10. N. Parida and A. Das, "A reduced arm DC-AC modular multilevel converter topology," *IETE Tech. Rev.*, vol. 39, no. 3, pp. 613–622, 2022.
- 11. Z. Ma, F. Gao, C. Zhang, W. Li, and D. Niu, "Variable DC-Link Voltage Regulation of Single-Phase MMC Battery Energy-Storage System for Reducing Additional Charge Throughput," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 36, no. 12, pp. 14267–14281, 2021, doi: 10.1109/TPEL.2021.3084605.
- Z. Ma *et al.*, "Multilayer SOH Equalization Scheme for MMC Battery Energy Storage System," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 12, pp. 13514–13527, 2020, doi: 10.1109/TPEL.2020.2991879.
- R. Razani and Y. A.-R. I. Mohamed, "Model Predictive Control of Non-Isolated DC/DC Modular Multilevel Converter Improving the Dynamic Response," *IEEE Open J. Power Electron.*, vol. 3, pp. 303–316, 2022, doi: 10.1109/OJPEL.2022.3176833.
- 14. D. G. Acero, M. Cheah-Mane, J. D. Páez, F. Morel, O. Gomis-Bellmunt, and P. Dworakowski, "Dc-MMC for the interconnection of HVDC grids with different line topologies," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 37, no. 3, pp. 1692–1703, 2021.
- H. Yang, J. Qin, S. Debnath, and M. Saeedifard, "Phasor Domain Steady-State Modeling and Design of the DC–DC Modular Multilevel Converter," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 31, no. 5, pp. 2054–2063, 2016, doi: 10.1109/TPWRD.2016.2515498.
- 16. G. J. Kish and P. W. Lehn, "A modular bidirectional DC power flow controller with fault blocking capability for DC networks," in 2013 IEEE 14th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 2013, pp. 1–7. doi: 10.1109/COMPEL.2013.6626408.
- S. Du, B. Wu, D. Xu, and N. R. Zargari, "A Transformerless Bipolar Multistring DC–DC Converter Based on Series-Connected Modules," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 2, pp. 1006–1017, 2017, doi: 10.1109/TPEL.2016.2553450.
- 18. D. G. Acero, M. Cheah-Mane, J. D. Paez, F. Morel, O. Gomis-Bellmunt, and P. Dworakowski, "Dc-MMC for the Interconnection of HVDC Grids With Different Line Topologies," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 37, no. 3, pp. 1692–1703, Jun. 2022, doi: 10.1109/TPWRD.2021.3095966.

AN APPROACH FOR DETERMINING THE OPTIMUM LASER POWER AND SCANNING SPEED IN THE SLM PROCESS OF NICKEL-PLATED WC POWDERS

13-16 NOVEMBER, 2023

RARADENIZ TECHNICAL UN

TEVFİK OĞUZHAN ERGÜDER^{*1}, ONUR GÜLER², FATİH YILDIZ¹

¹ Erzurum Technical University, Department of Mechanical Engineering, 25050, Erzurum, TÜRKİYE.
² Karadeniz Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61080, Trabzon, TÜRKİYE.

Abstract

The aim of this study is to investigate the manufacturability of cutting tools in WC-Ni composition used in the machining industry by the SLM method. For this purpose, WC powders were coated with Ni using the electroless plating method and the basic laser parameters that can be used in the production of the coated powders with SLM were optimized. The morphology and structural properties of the Ni coating grown on WC were examined by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), Energy Dispersive Spectrum (EDS) methods. It was determined that after the coating process, Ni was coated homogeneously on spherical WC particles and the sphericity, which is of great importance in the SLM process, did not impaired. Afterwards, single laser exposures were performed using the SLM method on the coated powders fed as a single layer on the WC plate. Optimum laser power and scanning speed values were determined by examining the melt pool with images taken from the upper surface and crosssection of the plate.

Keyword: Electroless Plating, Ni, WC Powder, Selective Laser Melting

1. Introduction

HASAN KALNONCU 415" SHI

Additive manufacturing methods, which enable the production of complex geometries, have attracted a lot of attention recently. Selective laser melting (SLM) method, which is based on the complete melting of powdered material with laser and controlled solidification, is one of the additive manufacturing methods [1]. The SLM method is a new generation production technology that allows products with complex geometry to be manufactured, and its use is becoming widespread in many industrial areas [2–4]. One of these areas is the cutting tool industry. WC-based special tools with close to net shape and internal contours can be produced with the SLM method.

WC and binder mixture homogeneity play a crucial role in the performance of cemented carbide. In the preparation of powders such as WC/Co and WC/Ni composite powders, it is possible to ensure equal distribution of the metal coating by the electroless plating method [5]. Therefore, many scientists have conducted extensive research on the electroless plating of WC powders [5–9]. Electroless plating is the process of catalytic reduction of a metal ion using a reducing agent in



an aqueous solution and then depositing the metal without the use of electrical energy [10]. Electroless Ni coatings are widely used in various industries such as automotive, electronics and aerospace where reliable and long-lasting components are required [11].

The microstructure, density and quality of parts produced by the SLM method are significantly affected by laser production parameters. In this study, Ni coating was applied on WC powder material by electroless plating method in order to improve the powder flow properties and interlayer bonding during the SLM process, and the usability of the coated powders in the SLM method was examined. For this purpose, an evaluation was made through a melt pool examination for the laser power and scanning speed values to be used when producing Ni-coated WC powders in SLM.

2. Materials and Methods 2.1. WC Powder

HASAN KALNONCU

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KANCOMETICINICAL UNIVCI Tes

In the study, SEM and EDS analyzes were performed on the spherical WC powder material used for electroless Ni coating and the powder size and composition were determined. SEM images and size distribution of WC powder material are presented in Figure 1. EDS analysis results of WC powder material are given in Table 1. When the powder size distribution graph is examined, it is seen that powder particle sizes are concentrated in the range of 35-40 μ m. When the EDS graph is examined, it is seen that the material contains 91.32% W and 8.68% C element by weight.



Figure 1. SEM image and powder size distribution graph of WC powder

Element Weight %		Atomic % Error %		Net Int.	K Ratio
СК	8.68	59.27	10.04	655.43	0.0307
W M	91.32	40.73	1.95	12515.83	0.8875

Table 1. EDS analysis of WC powder material

2.2. Electroless Ni Coating Process of WC Powders

In the study, WC powders to be used in the SLE process were coated with Ni using the electroless plating method (Figure 2). In a patent study conducted by Holleck, it was stated that 12-15% Ni by weight in carbide materials provides high wear and corrosion resistance [12]. If 1 μ m Ni is coated on WC powders with an average powder size of approximately 35-40 μ m, the Ni ratio by weight becomes 12.8% and provides the optimum ratio range stated in the literature. Since the





WC-based powders to be used as substrates have low electrical conductivity and do not have sufficient surface activity for the reduction of Ni particles, the powders were activated before electroless coating [13]. The activation process was carried out by heating the WC particles in a sintering furnace at 380 °C in an air atmosphere for 1 hour. After pre-treatment (activation), WC powders were taken into an electroless nickel plating bath. The nickel-plating process was carried out on a hot plate with a magnetic stirrer by adding 5 g/l WC powders into 30 g/l nickel sulfate (NiSO₄.5H₂O), 35 g/l sodium hypophosphite (NaH₂PO₂.H₂O), 20 g/l sodium citrate (C₆H₅Na₃O₇) and 20 g/l ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄) solution. The pH value was kept at 10 and the temperature value was kept at 90 °C. pH adjustment was made by dropping dilute ammonia (NH₃). Here, nickel sulfate acted as the source of metal Ni ions, while sodium hypophosphite served as the Ni reducing agent. Sodium citrate was used as a complexing agent, while ammonium sulfate served as a stabilizer to control the pH of the plating solution during the plating process. All chemicals used in coating processes was of analytical reagent grade. Coating time was set to 30 min. After electroless coating, the Ni-coated WC powders were filtered from the solution with the help of filter paper and washed thoroughly with distilled water several times, and the last washing was done with ethyl alcohol and the powders were dried in an oven at 90 °C for one hour. Characterization studies of the obtained Ni-coated WC powders were carried out using energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis and X-ray diffractometry (XRD).



Figure 2. Schematic representation of Ni coated WC powders

2.2.Determination Of Optimum Laser Power And Scanning Speed (Melt Pool Examinations) In order to examine the melt pools formed by single laser exposures in the SLM method, the WC turning inserts shown in Figure 3 were used as a plate. The WC inserts were sanded with the 1200 grade SiC sandpaper, then divided into two from the diagonals with the precision cutting device (Figure 4). HASAN KALNONCU 415" SHI





Figure 3. Images of the WC plate used for single laser exposures in SLM



Figure 4. Precision cutting process applied to samples

Single laser exposures were performed with the Concept Laser MLab R SLM device on WC inserts using different laser power (starting from 20 W in 20 increments up to 100 W) and scanning speed (starting from 200 mm/s in 20 increments up to 2000 mm/s) parameters. Since the laser traces will be examined under the microscope from both the top and the cross-section, the laser traces are adjusted to extend over the edges of the WC inserts. For verification, the laser trajectory in Figure 5a, which has three laser traces for each parameter, was selected. The selected trajectory was applied to the sample side by side for each parameter, as seen in Figure 5b. After the laser exposures were completed, the samples were cleaned in an ultrasonic bath, examined with a ZEISS AXIO A1 optical microscope, and images were taken from the top surface (Figure 5c).



Figure 5. Image of laser traces on the sample

After the laser traces images on the top surface of the insert were taken, the excesses at the corners of the inserts were ground and placed into the mold as seen in Figure 6a, and the inserts were fixed



HASAN KALNONCU 415"



with cold acrylic as seen in Figure 6b. The laser trace depths on the cross-sectional surface of the inserts fixed with cold acrylic were examined with optical microscope and the images were taken as in Figure 6c.



Figure 6. Cross-sectional view of laser traces (melt pools)

The R=A/2B aspect ratios shown in Figure 7 were calculated by measuring the depth (B) and width (A) of the melt pools cross-sectional images. While R≥1 values represent the conductive mode in which the melt pool is elliptical, R<1 values represent the keyhole mode. The keyhole form occurs at values where laser power is high and laser scanning speed is low. With increasing scanning speed values at the same power value, the melt pool form changes from a keyhole form to a hemispherical form. In many studies in the literature, it has been reported that porous structures emerge in melt pools with keyhole mode after overlayering the melt pools in the later stages of production [14,15]. In several studies examining the melt pool form, a non-porous structure is formed as a result of the balanced thermal distribution within the melt pool. Therefore, production parameters that produce melt pools with conductive mode are generally preferred in the literature [16]. Considering this situation, the laser power and scanning speed values that brought the R value closest to 1 were determined in this study.



Figure 7. Geometric sizes of the melt pool (A: width, B: depth)

3. Results and Discussion

3.1. Characterization of WC Powder Material Coated with Ni

SEM and EDS analyses of WC powders coated with Ni by electroless plating are presented in Figure 8 and Figure 9. When the EDS results of the coated WC powder material were examined, it was observed that it contained 85.2% Ni and 14.8% P. The phosphate in the coating originates from sodium hypophosphite (NaH₂PO₂.H₂O) used in the electroless plating process. EDS analysis on the surface of the coating reveals that the WC powder material confirms successful coating by



HASAN KALNONCU 415" ----

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KANCOMETICINICAL UNIVCI Tes



Ni. It was also observed that Ni and P were distributed homogeneously on the WC powder material.



Figure 8. SEM and EDS analyzes of Ni coating



Figure 9. SEM images of Ni coated WC powder

XRD measurement of Ni coated WC powder was carried out with the GNR Explorer X-Ray Diffraction device and a Cu-K α X-ray source with a wavelength of 1.5405 °A. The phase contents were determined by analyzing the data obtained as a result of the measurements with JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) cards and researching from the literature. The XRD graph of Ni coated WC powder material is given in Figure 10. The XRD profile shows the presence of three phases, namely Ni-P, WC and W₂C [17–22]. When the graph is examined, it is clearly seen that WC phases are more intense due to the low coating thickness, and Ni-P phases are present in the powder as a binder.



Figure 10. XRD graph of Ni coated WC powder material

3.2. Determination Optimum SLM Laser Power and Scanning Speed

 (\mathbf{b})

The surface morphology of single laser exposures performed at different laser powers (20 W-100 W) and scanning speeds (200-2000 mm/s) is tabulated and presented in Figure 11. It has been found that both laser power and scanning speed values have a significant impact on the formation of single laser traces. It was seen that the trace widths decrease depending on the increasing scanning speed for the same laser power. Insufficient melting was observed in laser exposures made using low laser power because the energy density was not at the required power. For this reason, as a result of the laser exposures performed at 20 W laser power and 200-2000 mm/s scanning speed, only a superficial trace was seen on the WC sample, which could be viewed with a different filter on the microscope. It was also noted that, except for the 20W laser power, continuous traces were seen and homogeneous for other laser powers.

	200 mm/s	400 mm/s	600 mm/s	800 mm/s	1000 mm/s	1200 mm/s	1400 mm/s	1600 mm/s	1800 mm/s	2000 mm/s
M			SPACE N	1986年3月4日		N W R MAR	RES STAT	A Service		an and
100		Sale D	4-2-22-6-1	MAN MAN	RADA	SEP NOP SH	THE SE			
W				Sector 2 M				のなるの		資源学業務部
80		N.S. STREET		-	196 - A.B.		ANG			1975 A.M
W		Marking		國際的意思		1267月13日	EZANKE E	atena.		
60		DARKS!	Reference.		327A (C					
M				能感到						的现在分词
40			CORNER	C. 2838.27			Set Sta			dia a
N					Contra -					
20 \	CONTRACTOR I			Contraction of the	C. S. S. S.	A STREET	our singuts	and the second		West of States

Figure 11. Surface morphology images of single laser exposures performed at different laser powers and scanning speeds



HASAN KALNONCU 415" SH

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KANCOMETICINICAL UNIVCI Tes



Melt pool images of single laser exposures performed at different laser powers and scanning speeds are tabulated and presented in Figure 12. Melt pools formed at 100 W power were observed, but since the energy input was quite low at other powers, sufficient melting depth could not be reached and cross-sectional images could not be obtained.



Figure 12. Melt pool images of single laser exposures performed at 100 W laser power and scanning speeds

The width, depth and R values of the melt pool for 100 W laser power are given in Table 2. When the optical microscope images of the melt pools are examined, the elliptical pool form is remarkable. At 2000 mm/s scanning speed, no melt pool image could be obtained. Considering the aspect ratio (R) values given in table, it was determined that at 100 W laser power, 400, 600 and 800 mm/s scanning speed parameters provided the optimum melt pool form with conductive mode and an aspect ratio approaching 1. At this stage, the scanning speed with the R ratio closest to 1 is 600 mm/s.

Laser Power (W)	Scanning Speed (mm/s)	Width-A (µm)	Depth-B (µm)	Ratio-R (R=A/2B)
	200	116.270	78.341	0.742
	400	87.775	44.062	0.996
	600	68.500	29.716	1.153
	800	61.181	23.885	1.281
100	1000	61.728	24.584	1.255
	1200	44.088	12.014	1.835
	1400	40.278	9.304	2.165
	1600	39.560	10.018	1.974
	1800	47.117	10.404	2.264

Table 2. Dimensional properties of the melt pool obtained with 100 W power and different scanning speeds

4. Conclusions

In this study, electroless Ni coating of WC powders and determination of laser power and scanning speed to be used in the SLM method were carried out. It was observed that WC powders were successfully coated with Ni by the electroless plating method, and the coating was distributed homogeneously and did not disintegrate and separate from the WC cores. For the parameters to be used the SLM process, it has been determined that the optimum melt pool forms are provided by





100 W laser power and 400, 600 and 800 mm/s scanning speed ranges. Although 600 mm/s scanning speed is the parameter that brings the R ratio closest to 1, in the following stages, scanning speeds of 400 and 800 mm/s can be taken into account as candidate parameters in the single-wall structures proposed to be produced to determine the hatch distance, which is the other basic parameter in SLM.

Acknowledgements: This study is supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the project code 122M758. We would like to thank TÜBİTAK for their contributions. We also thank Erzurum Technical University High Technology Research and Application Center (ETÜ-YÜTAM) for its support in experimental studies, and the Higher Education Council of Turkey (YÖK) for providing scholarships to Tevfik Oğuzhan Ergüder within the scope of the 100/2000 program.

References:

- 1. Kruth JP, Badrossamay M, Yasa E, Deckers J, Thijs L, Van Humbeeck J. Part and material properties in selective laser melting of metals **2010**: 3–14.
- 2. Guo P, Zou B, Huang C, Gao H. Study on microstructure, mechanical properties and machinability of efficiently additive manufactured AISI 316L stainless steel by high-power direct laser deposition **2017**; 240: 12–22.
- Thompson SM, Bian L, Shamsaei N, Yadollahi A. An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part I: Transport phenomena, modeling and diagnostics 2015; 8: 36–62.
- 4. Yan C, Hao L, Hussein A, Young P, Raymont D. Advanced lightweight 316L stainless steel cellular lattice structures fabricated via selective laser melting **2014**; 55: 533–41.
- 5. Liu Z, Jian L, Tao W. Preparation of WC-Co composite powder by electroless plating and its application in laser cladding **2006**; 60: 1956–59.
- 6. Jafari M, Enayati MH, Salehi M, Nahvi SM, Park CG. Microstructural evolution of nanosized tungsten carbide during heatup stage of sintering of electroless nickel-coated nanostructured WC–Co powder **2014**; 40: 11031–39.
- 7. Luo L, Wu Y, Li J, Zheng Y. Preparation of nickel-coated tungsten carbide powders by room temperature ultrasonic-assisted electroless plating **2011**; 206: 1091–95.
- 8. Guo L, Xiao LR, Zhao XJ, Song YF, Cai ZY, Wang HJ, et al. Preparation of WC/Co composite powders by electroless plating **2017**; 43: 4076–82.
- 9. Jiang H, Tong J, Zhan Z, Yao Z, Yu S, Min F, et al. Comparative Study on the Densification, Microstructure and Properties of WC-10(Ni, Ni/Co) Cemented Carbides Using Electroless Plated and Coprecipitated Powders **2023**; 16.
- 10. Balaraju JN, Sankara Narayanan TSN, Seshadri SK. Electroless Ni–P composite coatings **2003**; 33: 807–16.
- 11. Güler O. The effect of candle-soot reinforced electroless Ni-P particle interface on tribological performance in copper-based materials produced by flake powder metallurgy method: Transfer of candle-soot from waste to solid-lubricant **2023**; 673: 131858.
- 12. Holleck H, Karlsruhe K, Application F, Data P. United States Patent (19) 1984.
- 13. Palaniappa M, Babu GV, Balasubramanian K. Electroless nickel-phosphorus plating on graphite powder **2007**; 471: 165–68.
- 14. Hu Z, Nagarajan B, Song X, Huang R, Zhai W, Wei J. Formation of SS316L Single Tracks in Micro Selective Laser Melting: Surface, Geometry, and Defects **2019**; 2019.
- 15. Gençoğlu U, Kaya G, Ergüder TO, Hacısalihoğlu İ, Yıldız F. Investigation of the Structural



and Tribological Properties of 316L Stainless Steel Manufactured Using Variable Production Parameters by Selective Laser Melting **2022**; 31: 3688–3703.

- 16. Wei K, Wang Z, Zeng X. Preliminary investigation on selective laser melting of Ti-5Al-2.5Sn α-Ti alloy: From single tracks to bulk 3D components **2017**; 244: 73–85.
- 17. Yongli He RL. Authors : Ac ce d M us pt 2020: 0-6.

HASAN KALNONCU 415"

- Chen Y, Wu Y, Hong S, Long W, Ji X. The effect of impingement angle on erosion wear characteristics of HVOF sprayed WC-Ni and WC-Cr3C2-Ni cermet composite coatings 2020; 7: 26503.
- 19. Li CW, Chang KC, Yeh AC, Yeh JW, Lin SJ. Microstructure characterization of cemented carbide fabricated by selective laser melting process **2018**; 75: 225–33.
- 20. Tan C, Hu J, Shi Q, Khanlari K, Xie H, Liu X. Enhanced hardness and toughness in WC/W2C-Ni-Cu composites fabricated by selective laser melting **2022**; 105: 105805.
- 21. Zhao Y, Wang H, Zhang L, Li X, Guo Z, Zhang J, et al. Study on the microstructure and properties of WC-12Co cemented carbide fabricated by selective laser melting **2022**; 20: 3512–21.
- 22. Pascal DT, Kazamer N, Muntean R, Valean PC, Marginean GM, SSerban VA. Electrochemical Corrosion Behavior of High Temperature Vacuum Brazed WC-Co-NiP Functional Composite Coatings **2018**; 416.

SELECTIVE LASER MELTING OF CoCrFeMnNi HIGH ENTROPY ALLOY: EFFECT OF LASER POWER AND SCANNING SPEED

13-16 NOVEMBER, 2023

RARADENIZ TECHNICAL UN

TICMET'2

CANER BULUT^{*1}, TEMEL VAROL², TEVFİK OĞUZHAN ERGÜDER³, FATİH **YILDIZ³**

¹ Iğdır University, Technical Sciences Vocational School, 76000, Iğdır, TÜRKİYE. ²Karadeniz Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61080, Trabzon, TÜRKİYE.

³ Erzurum Technical University, Department of Mechanical Engineering, 25050, Erzurum, TÜRKİYE.

Abstract

CoCrFeMnNi high entropy alloy (HEA), one of the well-known high entropy alloys, has attractive mechanical properties for many potential applications. Recently, the use of additive manufacturing methods such as the SLM method has become widespread in order to obtain products from HEAs in addition to traditional methods. Since the powders used in powder bed fusion additive manufacturing systems are both high-cost and have limited availability, determining optimum production parameters by directly producing parts may not be the right approach. For this reason, it is a more appropriate way to try to determine the optimum production parameters to minimize powder consumption by systematically reducing the parameters. In this context, the optimum laser power and scanning speed value ranges that can be used in the processing of CoCrFeMnNi HEA with SLM were examined by applying single laser pulses on the CoCrFeMnNi plate and the geometric properties of the melt pool formed on the plate. As performance criteria, laser power and scanning speed values that bring the melt pool aspect ratio (R) closest to 1 were determined. After the melt pool examinations, single-wall structures were produced with the SLM method and the optimum laser power and scanning speed values that provide the homogeneous wall structure were decided.

Keyword: High entropy alloys, CoCrFeMnNi, selective laser melting, melt pool, aspect ratio, single-wall structure

1. Introduction

High-entropy alloys (HEAs) are attracting attention in both academia and industry due to their unique microstructural features and superior mechanical properties. HEAs are solid-melt structures with a composition of at least five elements in equal or close to equal atomic ratios. HEAs usually contain 5-13 main elements and the concentration of each element that makes up the alloy has a concentration between 5 and 35% [1–6]. HEAs are materials with good high and low temperature stability, good processability, radiation and corrosion resistance, high strength and crystalline structure [7–9].



Additive manufacturing is defined as controlled melting of the material with heat sources such as laser and electron beam and controlled solidification of the metal from the molten or semi-molten form without the need for molding technologies [10–12]. Selective laser melting (SLM), a powderbed fusion based additive manufacturing technique, is a next-generation manufacturing technology that can produce products with complex geometries [13,14]. Laser power (P), layer thickness (t), scanning speed (v), hatch distance (h), which are controlled by the laser energy density change, are known as the basic process parameters in the SLM method. These parameters are expressed as (E=P/(V.h.t)) [16,17]. These parameters and the rate of removal of the energy obtained from the laser energy density from the melt directly affect the structural and mechanical properties of the produced parts [16]. Therefore, in order to achieve the desired microstructure and mechanical properties, it is extremely important to optimize the laser production parameters/strategies and determine the most suitable process conditions.

In this study, optimum laser production parameters were tried to be determined to minimize powder consumption and time. For the CoCrFeMnNi HEA structure, the geometric properties of the melt pool were determined depending on the variable laser power and scanning speed at a fixed layer thickness, and then the optimum parameters were determined, where the melt pool aspect ratio (R) value was closest to 1. Afterwards, single-wall production was carried out for the determined parameters and the optimum laser power and scanning speed values were decided.

2. Materials and Methods

2.1. Characterization of CoCrFeMnNi HEA Powders

In this study, powders with a particle size distribution of equimolar CoCrFeMnNi alloy ranging from 10 to 50 µm and an average size of approximately 30 µm were used. All parameter studies were carried out with the Concept Laser M LabR SLM device (max. 100 W) using continuous laser pulse mode in an argon (Ar) gas atmosphere and on a casting CoCrFeMnNi plate. The oxygen content was kept below 1% during production. Phases of CoCrFeMnNi HEA powders were detected using Cu-Ka radiation at a wavelength of λ =1.5405 A° with the GNR-Explorer X-ray diffractometer (XRD) device. Measurements were obtained in 0.05° steps per second with a symmetric scanning configuration in the range of 20°–100°. XRD data were analyzed with JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) cards and phase contents were determined and compared with literature data. QUANTA – FEG 250 scanning electron microscope (SEM) and Carl Zeiss Scope A1 brand optical microscope device were used for morphological analysis and melt pool images.

2.2. Determination of SLM Production Parameters

Firstly, 15 mm diameter CoCrFeMnNi plate was produced by casting method in order to apply single laser pulses (Figure 1). Single laser pulses on CoCrFeMnNi casting samples using different laser power (starting from 20 W up to 100 W in 20 increments) and scanning speed (starting from 200 mm/s up to 2000 mm/s in 20 increments) parameters were performed. Top morphology images of laser traces created at different laser powers and scanning speeds were taken by optical microscope. Afterwards, the plates were cut in the center perpendicular to the laser traces and cold molding was performed (Figure 2). The samples were sanded up to1500 grade SiC sandpaper and polished with diamond suspension. Melt pool dimensions of the samples subjected to metallographic polishing stages were examined with an optical microscope. From the cross-sectional images, the width (A) and depth (B) of the melt pools were measured and the aspect ratio R=A/2B was calculated.



•

Figure 1. a) Casting device, b) Parameter sample produced by casting, c) Placement of the sample in the SLM device



Figure 2. a) Cutting process of samples, b) Samples treated with a single laser pulse, c) Single laser pulses line and melt pool images

After the melt pool form examinations, single-wall production was carried out by taking into account the values in Table 1. In this context, the geometries with dimensions of 4x5x6 mm given in Figure 3 were produced by the SLM method.



TICMET'2

Figure 3. Geometry of single-wall structures, a) Their appearances on the build platform, b) Technical drawing image, c) A group of single-wall samples

3. Results and Discussion

HASAN KAINONCU 415"

3.1. XRD and Microstructure Analysis

The morphology, XRD and EDS results of CoCrFeMnNi HEA powder are shown in Figure 4. When the SEM image of the powder is examined, it is observed that the powder used is quite spherical and does not exhibit agglomeration behavior. The spherical shape of the alloy powders not only increases the contact area between the powders but also improves their fluidity during SLM process. Therefore, it has a positive effect on the reduction of defect formation and the improvement of mechanical performance in the produced specimens. When the XRD graph is examined, CoCrFeMnNi HEA powders exhibited peaks (111), (200), (220), (311) and (222) FCC (face centered cubic) planes. The planes indicated for the present alloy powder are consistent with literature studies and are typical XRD results for the CoCrFeMnNi structure [15,17–19]. Figure 4c, the EDS plot, shows that the alloy powders are homogeneously distributed as equimolar.


13-16 NOVEMBER, 2023

тісмет

HASAN KALMONCU 415" ----

Figure 4. CoCrFeMnNi HEA powders, a-a') SEM image, b) XRD analysis, c) EDS analysis

3.2. Determining of Optimum Laser Power and Scanning Speed for SLM **3.2.1.** Surface and Melt Pool Morphology of Single Laser Traces

In order to examine the homogeneity of the laser traces formed as a result of the interaction of laser power and scanning speed used in the SLM process, single laser pulses were performed by keeping the layer thickness constant at 25 μ m. Optical microscope morphology images of the sample surfaces obtained as a result of single laser pulses are presented in Figure 5, and cross-sectional images of the melt pools are presented in Figure 6. It has been found that both laser power and scanning speed values have a significant effect on the formation of single laser tracks. Due to insufficient melting caused by low laser power and high scanning speeds, no scanning trace was formed on the CoCrFeMnNi alloy surface produced by the casting method after 1400 mm/s scanning speed at 20 W laser power and a homogeneous trace could not be obtained at other scanning speed of 1200 mm/s, but it was observed that there was instability in the melt region and a continuous melting line could not be formed.

After this information obtained from the surface morphologies, cross-sectional images of the melt pools (Figure 6) were discussed. With the help of these images, the width and depth of the melt pool formed after single laser pulses were examined. As a result of insufficient melting caused by low laser power, melting could not be achieved in the CoCrFeMnNi casting sample at all scanning speed values after single laser pulses performed with 20 W laser power, and geometric sizes of the melt pool could not be determined. At 40 W laser power, melting could not be achieved in the sample at scanning speeds of 1200 mm/s and the size of the melt pool could not be determined, but at values below this scanning speed, the melt pool became evident, provided that the depth was very low. Melt pools were obtained more clearly as a result of the increased energy density due to increasing laser power and decreasing scanning speed values. In general, as expected, an



increasing trend in the molten pool width and depth was determined as a result of increasing laser power or decreasing scanning speed.

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHNICAL UI PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND C

Ĩ		200 mm/s	400 mm/s	600 mm/s	800 mm/s	1000 mm/s	1200 mm/s	1400 mm/s	1600 mm/s	1800 mm/s	2000 mm/s
	20 W	the ground of		ieriseer (ie noo						
	40 W		natore	1000		zerika					
	00 W										
Г	80 W										
	100 W			-							8

Figure 5. Surface morphology images of single laser pulses performed at different laser powers and scanning speeds



Figure 6. Melt pool cross-sectional images of single laser pulses performed at different laser powers and scanning speeds

With the increase in laser power and decrease in scanning speed, the energy absorbed by the powder bed increased, resulting in a larger melt pool width and depth. When the optical

HASAN KALMONCU 415"



microscope images of the melt pools are examined, two different pool forms, one a keyhole form and the other an ellipse form, attract attention. Dimensional properties of the melt pool obtained with different laser powers and scanning speeds and aspect ratio (R) values representing the melt pool form are presented in Table 1.

R=A/2B ratios (aspect ratio) were calculated by measuring the depth (B) and width (A) of the melt pools obtained with an optical microscope of the section samples that were subjected to metallographic polishing stages. R \geq 1 values represent conductive mode where the melt pool is ellipsis, while R<1 values represent keyhole mode. The keyhole form occurs when the laser power is high and the laser scanning speed is small. With increasing scanning speed values at the same power value, the melt pool form changes from keyhole to semi-spherical form. In many studies in the literature, it has been reported that in melt pools with keyhole mode, porous structures appear after overlapping of melt pools at later stages of production. In many studies where the melt pool form is examined, the production parameters that obtain melt pools with conductive mode are preferred due to the formation of a non-porous structure as a result of more even thermal distribution within the melt pool [20,21]. Therefore, the parameters where the R value obtained depending on the laser power and scanning speed values is closest to 1 were determined as the values that provide the optimum melt pool form. Since the penetration after single laser pulses performed at 40 and 60 W laser powers is very low and the production speed decreases at these powers, it is focused on the processes performed at 80 and 100 W laser powers. Considering the aspect ratio (R) values given in Table 1, it has been determined that the scanning speed values of 1600, 1800 and 2000 mm/s for 100 W laser power and the scanning speed values of 1000 and 1200 mm/s for 80 W laser power parameters provided the R-ratio closest to 1.

Laser power (W)	Scanning speed (mm/s)	Width –A (µm)	Depth –B (µm)	Ratio –R (R=A/2B)
	200	60.398	85.668	0,352512
_	400	47.318	58.692	0,403104
-	600	40.625	35.560	0,571216
-	800	29.708	21.847	0,679910
20	1000	28.546	15.401	0,926758
80 -	1200	26.229	13.356	0,981918
-	1400	24.310	10.356	1,173715
-	1600	21.931	9.449	1,160493
_	1800	24.895	8.225	1,513373
-	2000	22.571	7.452	1,514425
100	200	170,014	312,97	0,271614

Table 1. Dimensional properties of the melt pool obtained with 80 W and 100 W laser power and different scanning speeds

HASAN KADUNCU 415°	KARDENZ TODOC OPVERTISI TODOC OPVERTISI TODOC OPVERTISI PROF. DR. OS	ADENIZ TECHNICAL UNIVERSI MAN TURAN CULTURE AND CONVENTIO TRABZON - TÜRKİYE		CMET'
	400	122,257	185	0,330424
	600	96,515	116,903	0,4128
	800	89,909	90,432	0,497108
	1000	74,484	62,5	0,595872
	1200	91,854	53,646	0,856112
	1400	73,797	46,261	0,797616
	1600	80,396	42,896	0,937104
	1800	79,171	39,278	1,007829
	2000	76,688	32,157	1,1924

13-16 NOVEMBER, 2023

3.2.2. Characterization of Single-Wall Structures Produced with the SLM

In order to clearly decide on the optimum laser power and scanning speed values, single-wall production was carried out using 100 W laser power and 1600-1800-2000 mm/s scanning speed values after melt pool form examinations. SEM images of single-walls are given in Figure 7. Considering Figure 6, it was observed that for these scanning speeds, there were voids in the structure, an excess of unmolten particles and these unmolten particles adhering to the molten line, low wall thickness and no homogeneous line was formed. Moreover, even if the R ratio is close to 1 for the scanning speed values, it has been determined that collapse-like cavities form in the upper corners of the melt pool at values after a scanning speed of 1200 mm/sec at 100 W laser power (Figure 6). It is thought that this is due to the high scanning speeds and the laser not being able to penetrate the relevant areas sufficiently. In this context, parameter studies were continued and contour structures were produced at different scanning speeds for 80W and 100W laser power.



HASAN KANDONCU 15" SHI



TRABZON - TÜRKİYE





Figure 7. SEM images of single-wall structures, a-a')100W-1600 mm/s, b-b')100W-1800 mm/s, c-c')100W-2000 mm/s

To determine the optimum laser production parameters, single-wall structures were produced at scanning speeds of 800-1000-1200 mm/s using 80W laser power and 600-800-1000 mm/s using 100W laser power. SEM images of the produced single-wall structures are given in Figure 8 and Figure 9.





TRABZON - TÜRKİYE





Figure 8. SEM images of single-wall structures, a-a') 80W-800 mm/s, b-b') 80W-1000 mm/s, cc') 80W-1200 mm/s



HASAN KALMONCU 15" SHI



TRABZON - TÜRKİYE





Figure 9. SEM images of single-wall structures a-a') 100W-600 mm/s, b-b') 100W-800 mm/s, cc') 100W-1000 mm/s

When the SEM images of single-wall structures are examined, it is seen that the walls are not homogeneous and knots are formed in some parts of the wall in the productions carried out at 80W laser power 1000-1200 mm/s scanning speeds and 100W laser power 800-1000 mm/s scanning speeds. In the productions carried out with 100W laser power at 600 mm/s scanning speed, it was determined that the single-wall was quite homogeneous and, unlike the structures obtained with other scanning speeds, no knotty structure was formed and they exhibited a denser structure. In the light of these examinations, it was determined the production parameters as 100 W laser power and 600 mm/s scanning speed for a constant layer thickness of 25 μ m.



4. Conclusions

In this study, optimum laser parameter determination studies for CoCrFeMnNi HEA powders to be used in the SLM method were carried out. For the CoCrFeMnNi HEA structure, the geometric properties of the melt pool were determined depending on variable laser power and scanning speed at constant layer thickness. Then, single-wall production was carried out and the homogeneity of the wall structures was examined. After all the studies, the optimum laser power and scanning speed values for CoCrFeMnNi HEA were determined as 100 W and 600 mm/s, respectively.

Acknowledgments

This study is supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the project code 122M679. We would like to thank TÜBİTAK for their contributions. We also thank Erzurum Technical University High Technology Research and Application Center (ETÜ-YÜTAM) for its support in experimental studies and the Higher Education Council of Turkey (YÖK) for providing scholarships to Tevfik Oğuzhan Ergüder within the scope of the 100/2000 program.

References

- 1. Alshataif, Y.A, Sivasankaran, S., Al-Mufadi, F.A, Alaboodi, A.S, Ammar HR. Manufacturing Methods, Microstructural and Mechanical Properties Evolutions of High-Entropy Alloys: A Review. The Korean Institute of Metals and Materials **2020**, vol. (26).
- 2. Dong, Y., Zhou, K., Lu, Y., Gao, X., Wang, T., Li, T. Effect of vanadium addition on the microstructure and properties of AlCoCrFeNi high entropy alloy. **2014**, 57: 67–72.
- 3. Murty, B.S., Ranganathan, S., Yeh, J.W., Bhattacharjee, P.P. High-entropy alloys. Second Edi. 2019, vol. (2).
- 4. Yeh JW. Recent progress in high-entropy alloys 2006, 31: 633–48.
- 5. Gao., M.C., Yeh, J.W., Liaw, P.K., Zhang, Y. High-Entropy Alloys Fundamentals and Applications. 2016, Springer I. Switzerland: © Springer International Publishing Switzerland.
- 6. Zhang, Y. High entropy materials. **2019**, Gateway East, Singapore: © Springer Nature Singapore Pte Ltd., ISBN 978-981-13-8525-4.
- 7. Gu, Z., Su, X., Peng, W., Guo, W., Xi, S., Zhang, X. An important improvement of strength and ductility on a new type of CoCr2.5FeNi2TiW0.5 high entropy alloys under two different protective gases by selective laser melting. **2021**, 868.
- 8. Liu, W.H., He, J.Y., Huang, H.L., Wang, H., Lu, Z.P., Liu, C.T. Effects of Nb additions on the microstructure and mechanical property of CoCrFeNi high-entropy alloys. **2015**, 60: 1–8.
- 9. Yang, D., Liu, Y., Jiang, H., Liao, M., Qu, N., Han, T.A novel FeCrNiAlTi-based high entropy alloy strengthened by refined grains. **2020**, 823.
- 10. Frazier, W.E. Metal additive manufacturing: A review. 2014, 23: 1917–28.
- 11. Hacısalihoğlu İ. Seçici Lazer Ergitme Yöntemi İle Ti-6Al-4V ELI Alaşımından Üretilen Farklı Kafes Yapıların Yapısal-Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. **2020**, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- 12. Kaya G. Seçici Lazer Ergitme Yöntemi Kullanılarak Farklı Üretim Parametrelerinde Üretilen Ti6al4v Alaşımının Yapısal Ve Tribolojik Özelliklerinin Karakterizasyonu. 2019, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- 13. Hacısalihoğlu, I., Yıldiz, F., Çelik, A. The effects of build orientation and hatch spacing on mechanical properties of medical Ti–6Al–4V alloy manufactured by selective laser



melting, 2021, 802.

HASAN KALNONCU 415"

- Xu, Z., Zhang, H., Li, W., Mao, A., Wang, L., Song, G. Microstructure and nanoindentation creep behavior of CoCrFeMnNi high- entropy alloy fabricated by selective laser melting. 2019, 28: 766–71.
- 15. Li, R., Niu, P., Yuan, T., Cao, P., Chen, C., Zhou, K. Selective laser melting of an equiatomic CoCrFeMnNi high-entropy alloy: Processability, non-equilibrium microstructure and mechanical property. **2018**, 746: 125–34.
- 16. [16] Thijs, L., Verhaeghe, F., Craeghs, T., Humbeeck, J.V., Kruth, J.P. A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti-6Al-4V. **2010**, 58: 3303–12.
- 17. Ji, P., Jia, Y., Ma, P., Mu, Y., Sun, K., Wang, G. Exceptional strength-ductility combination of CoCrFeMnNi high-entropy alloy with fully recrystallized structure by selective laser melting after post-deformation annealing. **2023**, 23: 3166–76.
- 18. Piglione, A., Dovgyy, B., Liu, C., Gourlay, C.M., Hooper, P.A. Pham MS. Printability and microstructure of the CoCrFeMnNi high-entropy alloy fabricated by laser powder bed fusion **2018**. 224: 22–25.
- 19. Li, R., Kong, D., He, K., Zhou, Y., Dong, C. Improved passivation ability via tuning dislocation cell substructures for FeCoCrNiMn high-entropy alloy fabricated by laser powder bed fusion. **2023**, 621: 156856.
- 20. Gençoğlu, U. Seçici lazer ergitme yöntemi ile değişken üretim parametreleri kullanılarak üretilen 316L paslanmaz çeliğin yapısal ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. **2021**, Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Gençoğlu, U., Kaya, G., Ergüder, T.O., Hacısalihoğlu, İ., Yıldız, F. Investigation of the Structural and Tribological Properties of 316L Stainless Steel Manufactured Using Variable Production Parameters by Selective Laser Melting. 2022, 31: 3688–3703.

THE IMPACT OF GLASS POWDER ON SURFACE AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMIX 431 ALLOY

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

AYŞE NUR ACAR^{1*}, DOĞAN KAYA², ABDUL KADIR EKŞİ³, AHMET EKİCİBİL²

¹Çukurova University, Ceyhan Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adana, Türkiye ²Çukurova University, Art and Science Faculty, Physics Department, Adana, Türkiye ³Çukurova University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adana, Türkiye

Abstract

The Al-7xxx series alloys exhibit exceptional high strength, corrosion resistance, and excellent finishing characteristics, making them a common choice for manufacturing automotive and aerospace components. To further enhance the mechanical and structural properties of these alloys, they are often reinforced with alloy powders. This study focuses on Alumix 431, an Al-7xxx series alloy, and glass powder obtained through the grinding of waste glass. The primary aim of this research is to evaluate the use of glass powder as a reinforcement material in metallic alloys, such as aluminum alloys, with a particular emphasis on utilizing waste materials. The impact of glass powder on the surface and structural properties of Alumix 431 has been systematically examined. A homogeneous mixture was achieved by blending the alloy with 15% (wt) glass powder. Subsequently, this homogeneous mixture was subjected to a 0.6-ton shock pressure and underwent a heat-treatment process at a temperature of 650 °C in a furnace for a duration of 1 hour. The physical properties of this composite material, including hardness, density measurements, surface topography, and microstructural properties, were characterized using optical microscopy, scanning electron microscopy images, energy-dispersive X-ray spectroscopy spectra, and X-ray diffraction analysis for crystal structure determination. The incorporation of glass powder into the alloy resulted in improved hardness and density properties. The maximum hardness and bulk density values were achieved with the Alumix 431-15% GP alloy, measuring 41.846 N/mm² and 2.451 g/cm³, respectively. Conversely, the minimum apparent porosity and water absorption values were observed in this composite material, measuring 2.293% and 0.935%, respectively. Furthermore, the study determined the occurrence of various phases, such as Al₂CuMg diopside, cristobalite, between Alumix 431 and glass powder.

Keywords: Al-7xxx alloys, Alumix-431 alloy, powder metallurgy, structural property, surface morphology

STUDY ON TOPOLOGY OPTIMIZATION OF SCRAPER CONVEYOR CHAIN

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" ----

TICMET'2

HAMIT TÜRKMEN¹, MELIH GAZI KIRPIK^{*1}, TUGRUL SAPMAZ¹, FETHIYE YALÇIN²

¹ Çukurova University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adana, TURKEY
² Çukurova Silo İşletmeleri, Çukurova University, Engineering Faculty, Automotive Engineering Department Adana, TURKEY

Abstract

Silos are structures where grains are stored. In general, for transportation and prevention of wheat from spoiling, some sub-systems can be used in silos. One of these sub-systems is scraper conveyor that is used to transport the grains in horizontal direction. Similar to all other systems in engineering, in order to increase the system efficiency and to optimize the required power for the motors, weight reduction is important without sacrificing safety factor of the system significantly. Topology optimization has been used by mechanical and civil engineers for many years, in this study it is aimed to apply topology optimization to the chain of a scraper conveyor that is used to transport 80 tons of grains per hour in a silo by using ANSYS® Mechanical. In conclusion, a lightweight and material saved new design for the chain was designed without sacrificing from safety factor significantly.

Keyword: Topology optimization, Ansys Mechanical, Scraper Conveyor, Silo, Bulk Material Conveying





WRONG WAY DRIVING: ACCIDENT STUDY IN JORDAN

BUSHRA AL AYYAN¹, KHAIR JADAAN², MAHMOUD ALBATTAH³, MAJED MSALLAM⁴

 ¹Civil Engineering Department, University of Jordan, Amman, Jordan Email: <u>Bushra.AlAyyan@yahoo.com</u>
 ²Civil Engineering Department, University of Jordan, Amman, Jordan Email: <u>kjadaan@gmail.com</u>
 ³ Civil Engineering Department, University of Jordan, Amman, Jordan Email: <u>malbattahg@gmail.com</u>
 ⁴Civil Engineering Department, Al-Isra' Private University, Amman, Jordan Email: <u>Lasam_um@yahoo.com</u>

Abstract

Wrong Way Driving (WWD) is defined as driving against the traffic stream. It is infrequent and rare but is severe. WWD is a dangerous driver behavior causing one of the most serious and hazardous collisions (head- on collision) as compared to other types of collisions.

WWD on Jordan's road network and its associated accidents is a problem that has not been adequately studied. However, it is very important to understand the frequency, characteristics and distribution of these incidents in order to identify relevant countermeasures to mitigate this type of collisions.

In this study accident files from 2013 through 2018 were reviewed and all fatalities caused by drivers traveling in the wrong direction were thoroughly investigated. Consequently, the risk factors and prevention strategies were identified.

Based on the results of the research, several recommendations were made to reduce the frequency and severity of WWD accidents.

Keywords: Wrong-way driving, Accidents, Countermeasures, Driver Behavior, Jordan

1.Introduction

According to the Jordan Traffic Institute statistics, 161511 traffic accidents occurred in 2019 causing 643 fatalities and 17013 injuries, which resulted with an estimated cost of 350 million JD ((equivalent to \$525 millio) (JTI 2019).

Wrong Way Driving (WWD) is defined as driving against the traffic movement on divided roads or ramps (Zhou et al. 2014). WWD is infrequent and rare type of accidents, but it is a dangerous hazard and causing devastating consequences, especially on high speed highways with limited access. For instance, WWD causes severe injuries and fatalities by the most dangerous collision (head-on collisions), compared to other types of traffic



accidents, despite the presence of the countermeasures like warning signs, road marking, improvement of the geometry design and emphasis the security control.

Jordan's roadway network, like other countries, is subjected to WWD, and its associated accidents cause a serious road safety problem which is increasing over the recent years. However, it is a problem that has not been highlighted enough in Jordan calling for the need to be thoroughly explored. The main objective of this study is to know the magnitude, characteristic, main contributing factors and identify the most suitable countermeasures, to reduce WWD accidents and causalities on Jordan's road network.

2.Literature Review

Many studies were carried out on WWD in different countries, especially developed countries. However, such a research still lags and very rare in developing countries. This literature review presents the results of a number of studies on WWD accidents in order to understand the various aspects of this type of accidents, its characteristics, and contributing factors and devise appropriate countermeasures.

WWD accidents reported in many countries were investigated in several studies (Zhou 2012) and their outcomes may be summarized as follows:

In the Netherlands, an annual average of 22 WWD accidents occurred during the period 1991-1997but was reduced to only 7 WWD accidents per year during the period 1998–2003 (SWOV, 2007).

The US states showed different numbers of WWD accidents that vary from as low as 9 WWD accidents annually in Connecticut (Leduc, 2008) to as high as about 170 in Georgia (Cooner,Cothron, and Ranft 2004).and North Carolina (Braam 2006). These accidents were mostly fatal causing, for example, 49 fatalities on the freeways of New Mexico (Lathrop, Dick, and Nolte 2010).

In Japan, an average of 31 WWD accidents occurred annually (ITARDA, 2002).and in Switzerland an average of 27 WWD accidents occur per year (Scaramuzza and Cavegn, 2007).

The literature reveals that most of the WWD accidents were due to the driver errors, and the most common causes of WWD accidents were summarized as follows (Mayers, A. 2017):

-Driving under influence of intoxication, medication.

- Insufficient or confusing geometry design.

-Lacking warning signs.

- Tired or distracted drivers.

-Unfamiliarity with the roadway.

- Suicide causes and mental health problems

Other studies categorized and described the WWD accidents contributing as shown in table 1below (ITARDA 2002; Vicedo 2006) (Zhou et al 2012):



Table 1. WWD Accidents Contributing Factors

Categories	Description
	• Driving under the influence (DUI)
	Intentional reckless driving
Traffic violation	• Suicide
	• Test of courage
	• Escaping from a crime scene
	Avoiding traffic congestion
	• Falling asleep at the wheel
Inattention	• Carelessness, absent-mindedness, distraction
	Inattention to informational signposts
	Physical illness
Impaired judgment	Elderly driver
	Drivers with psychiatric problems
	• Lack of understanding of how to use the highway
Insufficient knowledge	• Unfamiliar with the infrastructure
	Loss of bearings
	Insufficient lighting
Infrastructure deficiency	Insufficient field view
	Heavy vegetation
Others	Inclement weather

Rogers et al.(2015) investigated the main trend of WWD accidents along with the contributing factors on Central Florida's toll roads in the USA. The findings showed the total of 25 WWWD accidents that occurred in 10 years (2003-2012) resulted in 6 fatalities .The estimated cost of WWD accidents was \$3,100,000 .In addition, the analysis of data showed that the majority of WWD 911 calls were received during nighttime conditions.

Jadaan and Rashid (2016) studying and analyzing the general characteristics of the WWD accidents on US main roads showed that WWD accidents generally occur on non-freeway roads, on weekends (about 43%) and (52%) at nighttime hour. Most of the WW drivers are males (67%). Most of the WW drivers 60% were under influence, where the major cause of this event is Intoxication.

The literature show that countermeasures for WWD can be classified into 4E's included in (Engineering, Education, Emergency and Enforcement). These countermeasures differ in efficiency, feasibility, cost and priority of implementing. Therefore, a combination of countermeasures can be implemented to reduce or impact WWD. However, it should be stressed that identifying the causal factors for WW accidents is vital to the transportation agencies to implement appropriate countermeasures. Furthermore, it is necessary to examine the drivers, reaction towards the various countermeasures in order to judge the effectiveness and the favorability of these measures and rank their priority of implementation.





Al-Deek, H.et al (2015) investigated drivers' reactions about WWD countermeasures, to minimize the frequency and severity of this event by implementing a survey related to WWD countermeasures on Florida drivers. The conducted survey showed that 44% of the respondents correctly knows the DO NOT ENTER symbol, 48% correctly recognized the aim objective of WWD pavement arrows. Most of the respondents (90%) wanted to be warned about these events to pull over and prefer using two sets of WWD signs with Rapid Rectangular Flashing Beacons (RRFBs) (76%) comparing to LED signs, unlike the younger drivers who prefer to continue driving or ignore ITS devises by suicidal and intended drivers.

There is no one adequate one solution for all WW accidents problem. Different states implement common engineering countermeasures including pavement marking, signs and ITS Technologies to reduce the WW accidents as shown in table 2 (Monsere at al 2017).

Signs	Pavement Markings	Geometric Designs	ITS Technologies		
Oversized Signs	Wrong-Way Arrows	Channelizing Islands	Sensors		
Lower-Mounted Signs	Red Raised Pavement Markings	Extended Raised Median or Longitudinal Channelizing Devices	Traffic Management Center to Inform Law Enforcement		
Multiple Signs	Stop Lines	Narrowing the Exit Ramp Terminal Throat	and Incident Responders		
Standard Packages of	Dotted Lane Line	Widening the Entrance	Dynamic Signs to Warn Drivers: LED/RRFBs Illuminated wrong-		
Wrong-Way Signs	Extensions	Ramp Terminal Throat			
"Entrance Freeway" Sign at Entrance Ramps	Delineations	Controlled Corner Radius:			
Datasa flastina String	Turn or Through Lane	Angular Corner at Left-	way Signs,		
Elugragement D ad Sign	Arrows	Side of Exit Ramp	Changeable Message		
Sheeting, or Flashing Beacons	"ONLY" Marking	Open Sight Distance and Uniform Lighting Levels at Ramp Terminal	Signs (CMS), In-Pavement Warning Lights		

Table 2.	WWD	Countermeasures
----------	-----	-----------------

3.Materials and Methods

Data on WWD traffic accidents that occurred in Jordan during five years between 2013 and 2018 have been collected and provided by the Central Traffic Department (CTD) for the use in this study. A total of 1820 accidents were obtained. The accident data were analyzed, and their various characteristics were derived. The analysis was facilitated by distributing the data into twelve governorates namely Amman, Ajloun, Aqaba, Irbid, Jarash, Karak, Ma'an, Madaba, Mafraq, Salt, Tafilah and Zarqa). The results obtained from this analysis were then used to identify the trends, the characteristics and the main



contributing factors which helped to suggest efficient countermeasures under Jordanian conditions..

4.General Characteristics of Wrong-Way Accidents4.1 The magnitude of WWD accidents

HASAN KALNONCU

In order to appreciate the size of the problem of WWD accidents, their numbers were computed as a percentage of the total car accidents compiled by the CTD during the study period ane the results are depicted in Figure 1 It can be seen that there was a sharp increase in this percentage in 2015 then levelled off after the authorities realized the seriousness of the problem and monitored it more closely.



Figure 1 WWD accidents as a percentage of total annual total accidents

4.2 Location and severity of WWD accidents

The geographical distribution of WWD accidents across the Kingdom regions and cities with the yielded descriptive statistics are shown in Table3.



HASAN KALNONCU



	Frequency	Percentage
Kingdom Cities		
Ajloun	20	1.1
Amman	904	49.7
Aqaba	73	4
Irbid	263	14.5
Jarash	28	1.5
Karak	49	2.7
Ma'an	31	1.7
Madaba	31	1.7
Mafraq	79	4.3
Salt	142	7.8
Tafilah	12	0.7
Azzarqa	188	10.3
Kingdom Regions		
Northern Provinces (Irbid, Jerash, Ajlun)	311	17.1
Eastern provinces(Mafraq+Zarqa)	267	14.7
Amman and Salt	1058	58.1
Southern Provinces (Ma'an, Madaba, Karak, Tafila and Aqaba)	184	10.1
Types of WWD accidents		
Simple Injuries	541	83.23
Moderate Injuries-medium	16	2.463
Severe Injuries	53	8.154
Fatal Injuries	40	6.153
Total	650	100

Table 3. The geographical distribution of WWD accidents N=1820

To put the findings in plain words, the results of table 3 suggest that the capital city Amman measured the highest WWD accidents, followed by Irbid, Zarqa and Salt provinces. However those cities were followed by Mafraq, Aqaba and Karak cities in terms of the frequency of WWD accidents across the analysis period. Also, the grouped cities in terms of location within the kingdom, showed that the Middle regions that includes Amman and Salt showed the highest WWD accidents, followed by northern provinces (Irbid, Jarash and Ajlun) then the eastern (Mafraq and Zarqa) provinces and the least WWD accidents occurred in the Southern provinces (Madaba, Karak, Tafilah, Ma'an and Aqaba).

Regarding the severity of these accidents, the results of the analysis showed a total of 650 injured persons, most of them 83.23 % involved simple injuries, another 2.5% of moderate level injuries, 8.15% of those subjects had severe injuries resulting in prolonged hospital admissions, and 6.15% were fatal.

4.3Temporal Distribution

To detect any distributional differences on the timing of those WWD accidents they were analyzed by their time of occurrence. the yielded descriptive statistics for those time characteristics are shown in the Table 4

())



	Frequency	Percentage
Months of accidents		
January	112	6.2
February	139	7.6
March	131	7.2
April	161	8.8
May	155	8.5
June	179	9.8
July	164	9
August	158	8.7
September	156	8.6
October	138	7.6
Year quarters		
Quarter-1	382	21
Quarter-2	495	27.2
Quarter-3	478	26.3
Quarter-4	465	25.5
Weekdavs		
Sun	267	14.7
Mon	250	13.7
Tue	270	14.8
Wed	272	14.9
Thu	270	14.8
Fri	233	12.8
Sat	258	14.2
Years Of accidents		
2013	241	13.2
2014	190	10.4
2015	360	19.8
2016	366	20.1
2017	358	19.7
2018	305	16.8

Table 4 Descriptive statistics for the measured WWDaccidents car crashes across time, N=1820.

To illustrate the findings, the chi-squared test of goodness-of-fit was carried out and suggested that there were statistically significant differences between year quarters on the count of WWD across the analyzed years (2013-2018), $\chi^2(3)=16.61$, p=0.001, the evaluation of the adjusted residuals in the residual analysis table showed that quarter-1 (Jan-March) were associated with significantly less than expected WWD accidents, but quarters 2-quarter4, were associated with significantly higher than expected WWD accidents on average. The highest percentage of WWD accidents recorded in June, the



table 4 shows that quarter-2 is the highest year quarter where WWD occurred. This can be partly explained that summer months have higher WWD percentage due to coming visitors to Jordan and the start of summer holidays. Analyzing the weekdays for statistically significant pattern of WWD rates showed that the week days do not necessarily differ significantly on the observed WWD accidents, $\chi^2(6)=4.72$, p=0.581, , denoting that the WWD occurrence does not necessarily differ between weekdays.

Interestingly, the analysis results with the chi-squared G.O.F test showed a significant pattern in the occurrence rate of the WWD Accidents across the day hours for the analyzed accidents, the chi-squared test indicated that a significant difference may exist in the count of WWD across the day hour periods, $\chi^2(3)=316$, p<0.001, it is clear that WWD occurred least during the night hours between 12:00 midnight to 06:00 am, then the WWD rate climbs up between 07:00am -12:00 midnight and climaxes between 13:00pm-18:00 pm were the visibility is better, but declines after 18:00 pm.

4.4 WWD accidents contributing factors.

In view of the fact that WWD crashes frequently result in severe injuries and fatalities, it is necessary to investigate their contributing factors in order to reduce their risk. Jadaan (2015) summarized the leading contributing factors to WWD crashes as follows: Driving under the influence of alcohol/drugs; Suicidal drivers; Unintentional (confused and elderly) drivers; Wrong entries and suspected dementia; Making U-turns on the main carriageway; Intentional WW drivers (trying to save time and /or toll money); Non commuter drivers; Lack of inappropriate signage and pavement marking; and Confusing geometric design.

Table 5 shows the descriptive statistics yielded from analyzing the 1,820 individual Wrong Way Driving (WWD) accidents by the various contributing factors. The obtained results of the road types, where those WWD took place, showed that the majority of the WWD, 65.2%, took place on Divided Two-way roads and most of the accidents 80.9% occurred on level roads. With regards to the road surface condition, most of the roads 95.8%, where WWD accidents occurred were of dry surface. Analysis of the road surface types Showed that 11.2% of the WWD Accidents were observed on concrete or sand roads, but the rest of them, 88.8%, occurred on asphalt roads. Analysis of the lighting condition of the roads was carried out using a rating scale coded as shown in the Table 5 using an 1-5 rating scale with 1= denoting daylight and 5= complete night darkness. The overall mean lighting inadequacy was measured with 1.69 points out of 5, SD=1.1, which is slightly closer to day light and sunrise and sunset times, however the descriptive statistics (frequency and percentages) of the lighting conditions for those WWD suggested that the majority of them , 68.5%, occurred under day light conditions. The weather conditions of those WWD accidents suggested that the vast majority of the accidents, 96.5% occurred under clear weather conditions, but only 3.5% of those accidents were observed under unclear weather conditions like the presence of smog, fog, dust and heavy rains.). Furthermore, the analysis showed that most of the vehicles involved in WWD, 65.4%, were s Sedan passenger cars, and that most of the accidents, 92.4%, involved two vehicles. The drivers' characteristics shown in Table 5 reveals that most of the drivers, 69%, were male drivers and that 11.5% of them were aged below or equal to twenty-five years, but the majority of them, 77.2%, were aged between 26-45 years.



HISAN KANTANTI 15° (MARABENZ UNIVERSITY 15° (M



TADIC S DESCRIDUTE Statistics for the studied www.D accidents contributing factors, N=1620

	Frequency	Percentage
Road Lanes		
Divided Two-way	1186	65.2
Undivided Two-way	313	17.2
One way	321	17.6
Road surface condition at accident time		
Dry	1743	95.8
Road surface type	77	4.2
Concrete /other		
Asphalt	204	11.2
Road Lighting (darkness) level at the time of accident, mean (SD) 1-5 level	1616	88.8
1-DayLight		1.69 (1.1)
2-Sunrise/Sunset	1247	68.5
3-Night with adequate light	65	3.6
4-Night with inadequate light	363	19.9
5-Very dark	120	6.6
	25	1.4
Weather condition at time of accident		
Unclear/rainy/windy	63	3.5
Clear	1757	96.5
Road Curvature		
Straight	1615	88.7
Curved right or left	25	1.4
Missing information	180	9.9
Road Level		
Uplift	95	5.2
Down slope	73	4
Plain	1472	80.9
Missing information	180	9.9
Vehicle size		
Mini Sedan Passenger car	1191	65.4
Van or Pickups	274	15.1
Middle Sized Vehicle	33	1.8
Big cargo vehicle	322	17.7
Number of Vehicles involved		
One Vehicles	31	1.7
Two Vehicles	1681	92.4
Three or more vehicles	108	5.9
Type of accident		

TRABZON - TÜRKİYE

TICMET

Collision	1808	99.3
Flip over	12	0.7
Vehicle speed Km/hr., mean (SD)		52.60 (13.97)
<=25 Km\hr	7	0.4
26-50 Km\hr	1064	58.5
51-75 Km\hr	609	33.5
> 75 Km\hr	140	7.7
Drivers Gender		
Female	565	31
Male	1255	69
Drivers age (years), mean (SD)		34.76 (9.8)
<=25 Years	162	11.5
26-45 Years	1086	77.2
45-65 Years	135	9.6
>65 Years	23	1.6

5 Conclusions and Recommendations

Wrong-way accidents are rare and relatively infrequent but very severe dictating the need to be investigated. The statistical analysis for the data collected during the period 2013 and 2018 produced the following conclusions:

- WWD accidents on Jordan's road networks constitute a hazardous problem whose magnitude fluctuates over the study period. A maximum percentage of WWD accidents from all type of accidents of 3.71% was recorded in the year 2015 showing a sudden increase from 0.19% in the previous year.
 - There is no significant temporal variations in WWD accidents during weekdays and months of the year.
 - Most of WWD accidents 58.1% concentrated at middle provinces (Amman and Salt),
 - The majority of WWD accidents (65.2%) occurred on divided two-way roads with 95.8% under dry surface conditions, and 96.5% on clear weather conditions. 68.5% of the accidents occurred during day light where the visibility is good.
 - Most of Wrong Way vehicles (65.4%) were passenger cars, with 92.4% of the accidents involving two vehicles.
 - Most of the WW drivers were male (69%) with age group between 26 and 45 years accounting for 77.2% of the total WWD accidents.
 - The most significance contributing factors are driver age, gender, the location, and the number of lanes.
 - Regarding severity, WWD accidents caused 83.23% of simple injuries, 8.15% sever injuries and 6.15% fatalities.

Having conducted the wrong way crash analysis, general countermeasures (CMs)are suggested to reduce wrong way driving incidents and to provide a consistent approach to wrong way treatments. There are no consistent guidelines for WWD mitigation at the national level in the USA or at the international level. Best practices are developed through a 4Es approach (Engineering, Education, Enforcement, Emergency response) Given the



low number of WWD crashes, expensive CMs are not recommended by B/C analysis and cost-conscious CMs should therefore be developed.

TÜRKİYE

There is no one adequate solution for all WW accidents problem. Considering the effectiveness of the various wrong-way prevention methods, the prevention techniques can be roughly categorized as follows (Florida DOT 2015):

A) Signs: It would be the lowest cost treatment for WWD, warning signs in different types must be clearly visible and place in the direction where the right drivers can't see it, and different warning signs would be used depending on the situations:

- Lowered Signing provide more visibility for intoxication drivers and at nights.
- Enhanced WW Signs: increasing the sign size or more warning signs would be adding to increase the visibility of the signs but the cost also would be increased.
- Supplemental Sign Placards: additional Placards such as RAMP and ONE WAY, supplement to DO NOT ENTER sign to enhance and provide more information.
- LED-Enhanced Regulatory Signing: WW signs enhanced using light Emitting Diode(LED) lightning around the standard sign
- Overhead WW Signing: WRONG WAY and DO NOT ENTER signs would be placed over head the road.
- Reflective Tape on Signs

B) Road marking: used to guide and inform the road users to the travel direction, signs and road marking message should be consisting of to eliminate the confusing for the drivers, categorized as below:

- Left-Turn Pavement Marking Extension: to guide the driver to the right direction.
- Painted Islands: to enforce the movement to the right of the painted island.
- Painted Directional Arrows.
- Red Raised Pavement Markers (RPM): the red reflective side would enhance the visibility and its implemented facing to the WW drivers but its disadvantage the high cost.

C) INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITS):

Intelligent Transportation Systems (ITS) treatments related to wrong way countermeasures may also be recommended. A number of the states, mainly Florida, are experimenting with wrong way detection devices and LED-illuminated signs to increase the conspicuity of WRONG WAY signs. Applications of existing on-board navigation systems (i.e. invehicle systems, portable systems, cellular devices) may be an opportunity for future development of wrong way detection and cross-system communication to notify a wrong way driver and to warn other motorists of the wrong action Saetem (2015).

- Using detection systems to alert either WW driver or control centers upon WWD, but one of its disadvantages the high maintenance cost.
- Videos monitoring, and cameras use to detect and monitor WW movements at multiple locations, but it can be affected with weather conditions.
- Warning lights that activated when drivers travelling in wrong direction or exit from entrance ramps, it's embedded with pavement like series.



- Active road signs with sensors are much better than passive one in attracting the driver attention, detection WW movements and provide messages using blank-out signs located at main roads and exit ramps but it's expensive for implementing.
- Warning signs messages to alert right way drivers from WW drivers using active signs.
- In vehicle alerting technology: the detection system alerts the driver about WWD.

D) Adjustment the geometric and road designs can help in reducing WW movements and accidents, including:

- Modifications for exit ramps width to reduce wrong entrance using cubes or gore island.
- Modification of road marking and signs especially at Diamond interchange, where the probability of WWD is higher, using larger signs or elongation road marking.
- Typical countermeasures such as using channelization, raised islands, barriers and curbs and reducing turning radius.

E) Law enforcement:

Set up check points at problem areas.

- 1. Police stops/check points at problem areas.
- 2. Methods to stop wrong-way.
 - a. Tire deflation.
 - b. Parallel with wrong-way driver and use signals and sirens to stop the driver.
 - c. Use car to ram the wrong-way driver or create roadblock.
 - d. Pin wrong-way driver's car to the median with law enforcement vehicles.
- 3. Wrong-way crash reporting report entry point.
- 4. Require ignition interlock system (IIS) for Driving Under the Influence (DUI) offenders.

Education: Spread awareness campaigns in various educational institutions and companies, including all age groups, to educate the public about WWD behavior and accidents, showing the countermeasures. Also educate them about the risk of driving under alcohol.

References

- 1. Braam, A. C., (2006) Wrong Way Crashes: Statewide Study of Wrong Way Crashes on Freeways in North Carolina, Traffic Safety Systems Management Unit, Traffic Engineering and Safety Systems Branch, Division of Highways, North Carolina Department of Transportation, July 2006.
- 2. Cooner, S., Cothron, S. and Ranft, S. (2004), Countermeasures for Wrong –Way movement on freeways: overview of project activities and findings, Texas Transportation Institute, Report 4128-1, project Number 0-4128.



- 3. Copelan, J.E. (1989). Prevention of Wrong Way accidents on freeways. Sacramento: California Department of Transportation.
- 4. Florida Department of Transport (2015). Statewide Wrong Way Crash Study Final Report, Project No. 12274.03, April 2015.
- 5. Institute of Traffic Accident Research and Data Analysis (ITARDA) (2002). Highway accidents involving dangerous wrong-way traveling. Tokyo: ITARDA.
- 6. Institute of Traffic Accident Research and Data Analysis (ITARDA) (2002). Highway accidents involving dangerous wrong-way traveling. Tokyo: ITARDA.
- Jadaan K. (2015)Wrong- way driving (WWD) crashes on divided highways. Transportation Research Centre Lecture Series: University of Auckland: Auckland New Zealand: 2015.
- Jadaan, K. and Rashid, D. (2016) Wrong Way Driving (WWD) Crashes on Divided Highways: Characteristics, Contributing Factors and Countermeasures, International Journal of Scientific Research and Reviews, 5(3), 49 – 57.
- 9. Jordan Traffic Institute (JTI) (2018) Annual Report 2018, Amman, Jordan.
- 10. Lathrop, S.L., T.B. Dick, and K.B. Nolte (2010). "Fatal Wrong Way Collisions on New Mexico's Interstate Highways, J. of Forensic Sciences, 55(2):432-437
- 11. Leduc, J. (2008). Wrong Way driving countermeasures Hartford, CT: Office of Legislative Research. http://www.cga.ct.gov/2008/rpt/2008-r-0491.htm (accessed January 17, 2011).
- 12. Mayers, A. (2017), Wrong way accidents: why they happen, https://attorneymyers.com/2017/02/wrong-way-accidents/.
- 13. Monsere, c. Kothuri,S. Razmpa,(2017) A. Wrong Way Driving Analysis And Recommendations, Final Report, Portland State University, Department of Civil and Environmental Engineering.
- 14. Saetern LT. (2015)Wrong-Way Driving Prevention Methods. Caltrans Division of Research, Innovation and System Information, January 2015
- 15. Sandt, A. Al-Deek, H. Rogers, H. Alomari, A. and Consoli, F.(2015) Wrong Way driving on Florida toll roads: an investigation into multiple incident parameters and targeted countermeasures for reductions, International Journal of Engineering Management and Economics, Vol. 5, Nos. 3/4, 20.
- 16. Sandt, A. Al-Deek, H. Rogers, H. and Alomari, A. (2015), Wrong Way Driving Prevention: Incident Survey Results and Planned Countermeasure Implementation in Florida, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2484, pp. 99–109.
- 17. Scaramuzza, G., and M. Cavegn (2007). "Wrong Way drivers: Extentinterventions." The European Transport Conference, The Netherlands, Oct. 17–19, 2007.
- 18. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) (2007). SWOV fact sheet: Wrong Way driving. Leidschendam, the Netherlands: SWOV.
- 19. Vicedo, P. (2006). "Prevention and management of ghost drivers incidents on motorways: The French experience the contribution of ITS to immediate detection and optimum management of ghost drivers incidents." The European Association of Motorway Concessionaries, Pula, Croatia, May 21–24, 2006.



HASAN KAINONCU 15" TEMAK DAVVERSITESI UNIVERSITY 15" TEMAK DAVVERSITESI UNIVERSITY



- 20. Zhou, H. Zhao, J. Fries, R., Gahrooei, M. Wang, L. Vaughn, B., Bahaaldin, K. Ayyalasomayajula, B.(2012), Investigation of contributing factors regarding Wrong Way driving on freeways, Illinois Center for Transportation Series No. 12-010.
- 21. Zhou, H., & Pour Rouholamin, M. (2014). Guidelines for Reducing Wrong Way Crashes on Freeways. Illinois Center for Transportation, Illinois Department of Transportation.





HOW OPTIMISTIC ARE CONSUMERS' EXPECTATIONS ABOUT THE ECONOMY? A RESEARCH ON EUROPEAN UNION MEMBER AND CANDIDATE COUNTRIES

ÖZGE VAR^{*1}, ALPTEKİN DURMUŞOĞLU¹, TÜRKAY DERELİ²

¹ Gaziantep University, Faculty of Engineering, Industrial Engineering Department, Gaziantep, TÜRKİYE.

² Hasan Kalyoncu University, Office of President, Gaziantep, TÜRKİYE. *Corresponding Author: ozgevar@gantep.edu.tr.

Abstract

The success of the product development process is about making a product that meets the expectations of consumers. From an economic perspective, monitoring the expectations of consumers is important for forecasting household consumption expenditures. The European Commission (EC) coordinates the consumer surveys (CS) in European Union (EU) member and candidate countries to measure the expectations and assessments of consumers about the general economy and household economy. Efforts to more accurately predict consumption expenditures continue by using the responses to the CS questions. From this point of view, our study investigates whether there is a statistically significant difference between the responses given to the general economy and the household economy. The study is based on the hypothesis that the expectations of consumers are more optimistic than their assessments. However, the results have indicated that the expectations of consumers are not always optimistic especially about the financial situation of household and consumers price change rates.

Keywords: Consumers expectations, Consumer Surveys, Hypothesis testing.

1.Introduction

Due to the long-term global crisis and slow economic growth, predicting future economic behavior is now more crucial than before [1]. To track the changes in the expectations and assessments of consumers about the general economy and household economy, European Commission (EC) coordinates the Consumer Surveys (CS). CSs are conducted by authorized bodies in all members (and candidates) of European Union (EU) [2].

The CS covers statements about future expectations and current situation assessments, asked periodically (monthly and quarterly) on a) general economic situation, b) financial situation of household, c) unemployment levels, d) consumer price change rates, e) personal savings, and f) intended purchases. The response options for each statement in the survey are range from "very positive" to "very negative." To have an overall score (aggregation of answers from several



individuals) for each question, balances (difference between positive and negative answering options measured as percentage points of total answers) are computed [3].

Notably, the responses provided by consumers about their inflation expectations have been the focus of numerous studies [4-6]. Since the expectations of consumers affect their purchasing decisions, accurate estimates of consumer inflation expectations are crucial for macroeconomists and monetary policy makers [4-5]. These expectations are also important inputs for formulating inflation- targeting monetary policy by central banks [6].

Stanislawska et al. (2021) checked whether responses to survey-based measures of inflation perceptions and expectations match each other. They used micro-level datasets for Finland and Poland. Their results show that consumers with lower income and lower educational level have inconsistent inflations view. This situation is common in CSs of Finland and Poland. However, these common micro-level inconsistencies have a negligible impact on the macro-level measures in both economies.

Bin Ahn and Tsuchiya (2023) investigated how the inflation expectations of South Korean households are formed. They used the CS, conducted by the Bank of Korea. They found a significant and persistent overestimation bias in the inflation expectations of households. These expectations are also influenced by the inflation estimates released by the Bank of Korea.

Yüncüler (2016) focused the reasons for the divergence between consumer confidence index and consumption expenditures in Türkiye. For this purpose, the movements of the CS questions are used. The results show that the responses of households about their own economic situation are more optimistic than their responses about the general economy in Türkiye.

The studies in the literature generally focus on consumer survey questions regarding inflation expectations. However, CSs measure the expectations and assessments of consumers regarding household economy, general economy, intended purchases, and saving issues, as well as inflation. Our study provides an analysis of all issues covered by the CS. It has been investigated whether the expectations of consumers are more optimistic than the assessments of consumers. The hypothesis testing is applied for the difference between means. The assessments of consumers about the financial situation, general economic situation, price trends, making major purchases and saving questions are paired with the expectations of consumers on the same issues respectively. Since the analysis covers EU member and candidate countries, the comparative analysis between EU member countries and EU candidate countries can be made.

The remainder of the study is organized as follows. The following section introduces the CSs. Section 3 describes the data set of this study and the steps of the analysis. The results of the analysis, limitations, and opportunities for future studies are provided Section 4.

2.Consumer Surveys (CSs)

Consumer Surveys (CS) are conducted by authorities in each EU member countries since 2001. They are also conducted in EU candidate countries based on the Joint Harmonized EU Programme. About 32000 consumers are surveyed every month across the EU. The sample size varies across countries according to the heterogeneity of their economies. The survey samples are supposed to register all the units of the whole population. The stratified random sampling



methodology is used to make the sampling process more efficient. For CS, the respondents are stratified according to sex, age, education, income and region of residence [8]. The CS covers twelve questions, asked monthly. The list of these questions is given in the Table 1.

Table 1. Questions of Consumer Surveys

- Q1) Financial situation of household at present compared to the last 12 months
- Q2) Financial situation expectation of household over next 12 months
- Q3) General economic situation at present compared to the past 12 months
- Q4) General economic situation expectation over next 12 months
- Q5) Assessment on consumer prices change rate over last 12 months
- Q6) Expectation for consumer prices change rate over next 12 months compared to the past 12 months
- Q7) Number of people unemployed expectation over next 12 months
- Q8) Buying time condition of durable goods at present
- Q9) Assessment on spending money on durable goods over next 12 months compared to the past 12 months
- Q10) Saving time condition at present

- Q11) The probability of saving over next 12 months
- Q12) Statement on current financial situation of household

Questions in the survey have six answer options: situation is / will get 'a lot better: very positive (PP)', 'better: positive (P)', 'the same: neutral (E)', 'worse: negative (M)', 'a lot worse: very negative (MM)', and 'do not know (N)'. The balances are calculated as the difference between percentages of positive responses and negative responses [9]. The 'neutral responses' and 'do not know responses' are omitted in the index calculation. The balances are calculated by using Equation (1).

 $BQi = [PP + \frac{1}{2}P] - [\frac{1}{2}M + MM]$

(1)

B denotes "balance" which is calculated for each of questions. Very positive (PP) and very negative (MM) has one as a coefficient while positive (P) and negative (M) has $\frac{1}{2}$ as coefficient (considering their relatively lower importance).

3.Data Sets and The Steps of the Analysis

The hypothesis testing of difference between means is applied in our analysis. The assessments of consumers about the financial situation, general economic situation, price trends, making major purchases and saving questions are paired with the expectations of consumers on the same issues respectively. The question about the expectations of consumers on the number of unemployed people, which is corresponding to the Q7, is asked in the CS. However, the assessment of consumers on the number of unemployed people is not covered by the CS. Since the assessments and expectations of consumers about the unemployment level cannot be compared, Q7 is not used in the analysis.

The hypotheses are stated verbally in the followings for financial situation, general economic situation, price trends, making major purchases, and saving.



• <u>Financial Situation: (difference between BQ1-BQ2 and difference between BQ1-BQ12)</u> H₀: The assessments on "financial situation of household at present compared to the last 12 months" are more optimistic than the expectations for "financial situation of household over the next 12 months."

H₁: The assessments on "financial situation of household at present compared to the last 12 months" are more pessimistic than the expectations for "financial situation of household over the next 12 months."

H₀: The assessments on "current financial situation of household" are more optimistic than the expectations for "financial situation of household over the next 12 months."

H₁: The assessments on "current financial situation of household" are more pessimistic than the expectations for "financial situation of household over the next 12 months."

• <u>General Economic Situation: (difference between BQ3-BQ4)</u>

H₀: The assessments on "general economic situation at present compared to the last 12 months" are more optimistic than the expectations for "general economic situation over the next 12 months."

 H_1 : The assessments on "general economic situation at present compared to the last 12 months" are more pessimistic than the expectations for "general economic situation over the next 12 months."

• <u>Price trends: (difference between BQ5-BQ6)</u>

H₀: The assessments on "consumer prices change rate over last 12 months" are more optimistic than the expectations for "consumer prices change rate over the next 12 months."

H₁: The assessments on "consumer prices change rate over last 12 months" are more pessimistic than the expectations for "consumer prices change rate over the next 12 months."

• <u>Making major purchases: (difference between BQ8-BQ9)</u>

H₀: The assessments on "spending money on durable goods at present" are more optimistic than the expectations for "spending money on durable goods over the next 12 months."

H₁: The assessments on "spending money on durable goods at present" are more pessimistic than the expectations for "spending money on durable goods over the next 12 months."

• Saving: (difference between BQ10-BQ11)

H₀: The assessments on "saving time condition at present" are more optimistic than the expectations for "saving over next 12 months."

H₁: The assessments on "saving time condition at present" are more pessimistic than the expectations for "saving over next 12 months."

In this analysis, the six hypotheses are tested for each EU member and candidate countries regarding the five issues, which are financial situation, general economic situation, price trends, making major purchases and saving. Since Romania did not announce CS result from May, 2020, it is not considered in the analysis. The data span covers the balances of eleven CS questions between June, 2016 and June, 2023. The sample size (n) corresponds to the period of 86 months. The example data set, which shows the balances of CS questions for Türkiye is given in the Table 2.





(3)

(4)

In hypothesis testing, the difference, which is denoted by "d", is calculated for each data pair. For instance, the differences between the balances of Q1 (BQ1) and balances of Q2 (BQ2) are calculated for each period of time in the hypothesis testing of financial situation. Then, the mean and standard deviation of the differences between paired data entries are calculated with Equation (2) and (3) [10].

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$
(2)

$$S_{d} = \sqrt{\frac{(d-\overline{d})^{2}}{n-1}}$$

Time	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
2016-06	-12.5	-8.8	-11.6	-8.7	21.0	9.1	-28.1	-2.0	-36.9	-76.2	-23.9
2016-07	-16.2	-11.6	-13.7	-10.2	25.0	13.4	-29.5	-3.3	-39.0	-78.8	-23.7
2016-08	-11.9	-5.8	-3.0	1.9	24.3	11.0	-27.3	-3.5	-31.9	-76.6	-22.0
2016-09	-13.8	-7.9	-4.0	2.9	21.5	10.6	-23.4	-2.1	-32.1	-77.8	-24.8
2016-10	-13.4	-5.9	-3.0	1.6	20.1	8.6	-20.6	-2.2	-29.0	-76.8	-22.2
2016-11	-15.4	-11.0	-9.4	-4.9	19.6	10.0	-29.1	-3.0	-37.1	-78.4	-25.8
2016-12	-18.3	-14.6	-17.3	-14.0	25.0	16.3	-38.9	-5.1	-44.8	-80.5	-28.6
2017-01	-18.1	-12.1	-16.6	-11.4	35.2	21.4	-37.9	-4.8	-39.5	-78.3	-26.2
2017-06	-14.8	-10.0	-10.0	-2.7	31.4	14.5	-23.3	-1.8	-34.9	-78.6	-23.2
2023-03	-34.1	-20.5	-45.1	-16.6	81.1	32.6	-58.9	-8.1	-34.8	-68.6	-23.2
2023-04	-31.2	-10.4	-40.8	-4.7	79.0	27.4	-51.7	-3.9	-28.4	-64.3	-18.3
2023-05	-29.8	-6.0	-38.4	0.9	77.7	22.6	-51.3	-0.9	-27.9	-63.7	-20.3
2023-06	-31.2	-14.3	-38.4	-6.8	78.0	29.2	-50.1	-7.5	-29.5	-65.8	-21.3

Table 2. The balances of CS questions for Türkiye

The level of significance is specified as 0.05. The critical t value (t_c) is corresponding to -1.645 for the left tailed tests. The standardized test statistics (t) is calculated with the Equation (4) [10].

$$t = \frac{\overline{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{n}}$$

If standardized test statistic (t) is less than t_c , the H_0 is rejected. If standardized test statistic (t) is greater than t_c , H_0 is failed to reject. These steps are applied for six hypothesis tests for each EU member and candidate countries.

4. Results and Discussion

The standardized test statistics (t) of the hypothesis tests for each EU member and candidate countries are given in Table 3 in Appendix 1. The significant standardized test statistics are emphasized with bold font.



The hypothesis test results regarding the financial situation are indicated that the expectations for the next twelve months are more optimistic than assessments for the last twelve months, for all countries except Germany and Poland. However, the results are not similar between the assessments of the current financial situation and expectations for the next 12 months. Only, the EU candidate countries of North America, Albania, Serbia and Türkiye appear optimistic about the financial situation for the next 12 months compared to their current financial situation assessments. The results about the general economic situations show that the expectations for the next 12 months are more optimistic than the assessments at present, except Germany, Poland and Slovenia. Therefore, it can be concluded that the optimism of the consumers about the general economic situations and household financial situations are similar.

While all EU candidate countries are pessimistic about the consumer prices changes rate, they are optimistic about the spending money on durable goods. Only, Albania has higher expectations for saving over the next 12 months than the assessments of present situation for saving.

In this analysis, the six hypothesis tests are applied for each EU member and candidate countries regarding the five issues, which are financial situation, general economic situation, price trends, making major purchases and saving. The most pessimistic issue for EU member countries is the financial situation of households (between the assessments of current situation and expectations for over 12 months). The second issue on which EU member and candidate countries are pessimistic is about the price trends. Only, Czech, Denmark, Germany, Ireland, Hungary, Slovakia, Finland and Sweden appear optimistic about the consumer price change rate.

While Bulgaria, Denmark, Greece, France, Croatia, Poland have higher expectations for making major purchases over the next twelve months, they are pessimistic about the saving over the next 12 months. The Belgium, Czech, Ireland, Latvia, Luxembourg, Malta, Netherlands, Slovakia, Finland, and Sweden have a reverse situation. While they have higher expectations for saving over the next 12 months, they are pessimistic about the making major purchases.

The most optimistic countries are Hungary and Albania. Hungary is optimistic about the expectations for financial situation (between the assessments over last 12 months and expectations over next 12 months), general economic situation, price trends, making major purchases and saving. Albania is optimistic about the expectations for financial situation, general economic situation, making major purchases and saving. The most pessimistic countries are Poland and Slovenia. While Poland is optimistic only for the making major purchases, Slovenia is optimistic only for the financial situation (between assessments over last 12 months and expectations over next 12 months).

When all hypothesis testing results are considered, a generalization cannot be made that consumer expectations are always higher than the consumer assessments. Yüncüler (2016) has revealed that the responses of households about their own economic situation are more optimistic than their responses about the general economy. However, the optimism about the expectations for household financial situation and general economy are similar in our study.

This study was conducted on EU member and candidate countries. Other countries that have CSs can be included and the scope of the study can be expanded. This study covers the 86-month period from June 2016 to June 2023. This process can be divided into parts such as the pre-





pandemic period, the pandemic period and the post-pandemic crisis period. The differences in the expectations and assessments of consumers about household economy and general economy in these periods can be examined for future studies.

Acknowledgments: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

- Kim, T. H., Lim, L. H., and Lee, S. E. Predictability of Consumer Expectations for Future Changes in Real Growth. The Korean Journal of Applied Statistics. 2015, 28(3):457-465.
- 2. Soric, P. Consumer Confidence as a GDP Determinant in New EU Member States: A View from a Time-varying Perspective. Empirica. **2018**, 45:261-282.
- 3. Segers, R., Franses, P. H., and De Brujin, B. A Novel Approach to Measuring Consumer Confidence. Econometrics and Statistics. 2017,4:121-129.
- 4. Stanislawska, E., Paloviita, M, and Lyziak, T. Consumer Inflation Views: Micro-level inconsistencies and Macro-level Measures. EconomicsLetters. **2021**, 206:1-4.
- 5. Rosenblatt-Wisch, R. and Scheufele, R. Quantification and Characteristics of Household Inflation Expectations in Swithzerland. Applied Economics. **2015**, 47(26):2699-2716.
- 6. Bin Ahn, Y. And Tsuchiya, Y. Consumers' Percieved and Expected Inflation in South Korea. Applied Economics Letters. **2023**, 30(11):1561-1565.
- 7. Yüncüler, Ç. Son Dönemde Tüketici Güven Endeksleri Tüketim Göstergeleriyle Ne Kadar Uyumlu?. TCMB Ekonomi Notları. **2016**, 3:1-10.
- European Commission. A Revised Consumer Confidence Indicator. 2018, available at: https://economy-finance.ec.europa.eu/system/files/2022-12/new_cci_en.pdf (accessed 19 January 2023)
- 9. Ferale, C., Marcellino, M., Mazzi, G. L., and Proietti, T. EUROMIND: A Monthly Indicator of the Euro Area Economic Indicator. Journal of the Royal Statistical Society A. **2011**, 174:439-470.
- 10. Larson, R. and Farber, B. Elementary Statistics: Picturing the World. Edited by. D. Lynch. Boston: Pearson Education. 2012.



13-16 NOVEMBER, 2023 KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER

TRABZON - TÜRKİYE



Appendix 1: Table 3. The results of the hypothesis testing

		Final	Financial Situation			Financial Situation			General Economic Situation			Price Trends			Make Major Purchases			Saving		
	n	Q1- Q2			Q12- Q2			Q3-Q4			Q5-Q6			Q8-Q9			Q10-Q11			
		Mean	Sd	t	Mean	Sd	t	Mean	Sd	t	Mean	Sd	t	Mean	Sd	t	Mean	Sd	t	
Belgium	86	-7.44	3.05	-22.66	21.77	4.56	44.28	-19.13	18.08	-9.82	32.13	19.66	15.15	8.74	16.28	4.98	-47.97	5.97	-74.49	
Bulgaria	86	-5.16	5.19	-9.22	22.95	6.37	33.41	-13.78	9.62	-13.28	20.80	16.69	11.55	-2.45	7.66	-2.97	1.32	5.10	2.40	
Czechia	86	-5.14	6.33	-7.52	30.29	12.67	22.16	-9.25	18.15	-4.73	-13.60	20.53	-6.15	6.72	20.11	3.10	-25.76	9.66	-24.73	
Denmark	86	-8.92	6.57	-12.59	18.82	6.16	28.34	-7.04	18.01	-3.63	-14.70	34.68	-3.93	-7.16	7.11	-9.34	27.49	8.27	30.81	
Germany	86	-0.25	3.29	-0.71	25.12	6.33	36.83	-2.42	15.21	-1.48	-4.08	20.59	-1.84	7.85	12.90	5.64	-1.02	9.15	-1.04	
Estonia	86	-3.03	4.03	-6.98	24.72	10.51	21.82	-4.32	9.47	-4.23	13.28	19.68	6.26	20.03	19.02	9.76	-0.09	5.69	-0.15	
Ireland	86	-8.00	5.46	-13.60	25.62	11.08	21.45	-7.76	25.27	-2.85	-5.07	18.20	-2.58	11.41	12.25	8.63	-2.83	3.67	-7.15	
Greece	86	-5.24	7.87	-6.18	29.88	15.10	18.35	-7.38	13.91	-4.92	18.00	17.40	9.59	-6.01	7.65	-7.28	12.58	4.40	26.53	
Spain	86	-13.73	5.44	-23.41	11.16	8.64	11.98	-21.66	19.78	-10.15	16.28	25.85	5.84	-14.32	8.06	-16.47	-8.13	6.26	-12.03	
France	86	-6.40	3.44	-17.27	13.73	4.78	26.65	-16.45	11.81	-12.92	9.44	19.42	4.51	-15.05	13.72	-10.17	15.10	7.10	19.72	
Croatia	86	-7.82	5.19	-13.98	0.57	8.57	0.62	-14.30	10.31	-12.86	18.94	16.77	10.47	-5.24	4.26	-11.42	12.70	3.93	29.97	
Italy	86	-10.15	3.76	-25.01	12.17	4.82	23.43	-26.72	21.23	-11.67	10.01	24.33	3.82	1.75	10.42	1.56	78.26	6.02	120.57	
Cyprus	86	-7.23	7.03	-9.53	17.70	11.28	14.55	-5.12	17.88	-2.66	10.91	22.29	4.54	-0.52	12.02	-0.40	16.69	5.48	28.25	
Latvia	86	-6.17	5.66	-10.12	10.31	13.29	7.19	-13.86	12.00	-10.71	9.90	15.79	5.81	3.01	7.14	3.91	-8.67	5.84	-13.78	
Lithuania	86	-9.43	5.66	-15.45	16.25	6.28	23.98	-9.53	11.22	-7.88	15.40	21.24	6.72	-1.80	10.32	-1.62	8.07	5.09	14.71	
Luxembourg	86	-2.28	4.55	-4.64	44.09	7.92	51.65	-9.53	16.34	-5.41	6.82	20.39	3.10	12.63	18.32	6.39	-7.58	11.68	-6.02	
Hungary	86	-6.38	6.75	-8. 77	10.92	8.69	11.66	-7.42	10.48	-6.57	-6.53	13.78	-4.39	-9.96	7.81	-11.83	-7.14	8.60	-7.69	
Malta	86	-3.66	8.70	-3.90	19.27	8.33	21.45	-5.31	23.89	-2.06	21.17	16.78	11.70	27.40	29.92	8.49	-8.47	8.69	-9.04	
Netherlands	86	-6.41	5.86	-10.15	25.35	6.72	35.01	-6.36	22.34	-2.64	8.68	30.53	2.64	7.61	23.31	3.03	-17.74	13.50	-12.19	
Austria	86	-3.97	4.45	-8.28	29.84	8.14	33.99	-9.49	21.28	-4.14	0.02	23.88	0.01	21.40	13.73	14.45	-2.36	8.55	-2.57	
Poland	86	1.51	5.68	2.46	13.12	9.15	13.29	0.10	9.63	0.09	2.82	12.51	2.09	-4.82	16.93	-2.64	9.13	11.35	7.46	
Portugal	86	-7.63	4.59	-15.43	15.82	8.58	17.10	-9.88	17.57	-5.22	2.86	21.67	1.23	-24.84	14.26	-16.15	-4.16	6.83	-5.65	
Slovenia	86	-3.02	6.72	-4.16	33.55	12.27	25.36	-2.05	13.82	-1.38	-3.07	19.39	-1.47	8.32	8.48	9.09	8.10	4.81	15.62	
Slovakia	86	-4.09	3.91	-9.71	20.24	6.67	28.13	-7.71	9.05	-7.91	-8.90	15.47	-5.34	8.79	5.24	15.56	-6.96	3.18	-20.33	
Finland	86	-4.93	3.23	-14.14	19.87	4.31	42.70	-9.96	19.72	-4.68	-21.49	28.12	-7.08	28.63	14.35	18.51	-38.83	9.99	-36.04	
Sweden	86	-4.21	4.62	-8.44	36.61	8.08	42.04	-9.70	19.26	-4.67	-22.16	34.56	-5.95	7.02	14.60	4.46	-40.69	12.74	-29.63	
Montenegro	86	-16.72	9.57	-16.20	4.71	8.09	5.40	-20.96	14.54	-13.37	38.19	23.82	14.87	-19.38	10.51	-17.11	18.41	9.05	18.85	
North Macedonia	86	-20.33	7.87	-23.96	-6.76	12.38	-5.06	-26.61	10.60	-23.29	29.26	31.36	8.65	-15.92	7.04	-20.98	21.83	6.36	31.82	
Albania	86	-13.16	2.61	-46.78	-5.13	7.46	-6.38	-19.61	3.64	-50.00	20.14	15.04	12.42	-12.78	2.96	-40.10	-3.56	2.66	-12.42	
Serbia	86	-23.84	9.78	-22.61	-19.79	11.56	-15.87	-12.76	8.06	-14.68	21.51	11.76	16.97	-25.82	10.00	-23.95	22.83	7.24	29.24	
Türkiye	86	-9.97	6.17	-14.99	-8.06	6.00	-12.46	-15.35	10.61	-13.42	33.06	13.94	21.99	-45.92	14.19	-30.02	36.74	4.12	82.62	

(IMPACT OF INDUSTRIE 4.0 ON THE TRANSPORT SECTOR)

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

KHAIR JADAAN ^{*1}, LUMA ALMAWAJDEH ², MARAH ALRASHDAN ², RAJAA ALAWADI ³

¹ Professor, University of Jordan, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Amman, JORDAN
 ² Research Associate, University of Jordan, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Amman, JORDAN
 ³ Director, Ministry of Works and Housing, Amman, JORDAN

Abstract

The fourth industrial revolution, also known as "industrie 4.0", is the new industrial wave which is based on increasing the employment of smart machines and the use of smart technologies, such as; robots, artificial intelligence (AI), internet of things (IoT), cloud computing (CC) and other technologies that makes production processes faster. The rise of Industry 4.0 has promoted digitization and interoperability around the world and will undoubtedly bring about significant changes in a variety of different supply chain operations with transport and logistics being among the most significantly impacted processes.

This paper introduces the concept of industrie 4.0 and it's applications. It presents the challenges of implementation in transportation and further discusses it's impacts on the transport sector. The study concludes that The fourth industrial revolution will improve the condition of developing nations by improving the standards on building efficient and reliable transport modes as well as investing more on technology transfer which will support the local manufacturing sector and support the different sustainable development goals (SDG). For the transportation sector to grow, the direction towards industry 4.0 now seems to be the rational and effective course of action.

Keyword: Industrie 4.0, Transportation, Artificial Intelligence (Ai), Jo

1. Introduction

The world knew three industrial revolutions that was the reason of replacing the manual workers with industrial machines. Besides this, it was a reason to invent new inventions, which led to economic development in Europe and abroad. But now, the term fourth industrial revolution has been appeared. The term first presented at the 2012 Hannover Fair in Germany was shown one of ten "Future Projects" that form Germany's High-Tech Strategy 2020.[1] it is abbreviated in the word "industrie 4" . industrie 4 is characterized by several technology advancements such as; information and communication technology (ICT), Cyber-Physical Systems (CPS), network communications, big data and cloud computing, modelling, virtualization and simulation ,improved tools for human-computer interaction and cooperation.[2] nowadays industrie 4 is getting into many fields such as transportation. Transportation sector is becoming more refined and needs to interrupt more technology to keep up with the world globalization. thats why industrie 4 should be enrolled in transportation companies.





The challenges that face the transportation sectors are high fuel cost, high transportation cost including shipping. These problems should be solved by entering IT services to help route planning, time saving and accessibility, companies are trying to find new technologies to face these challenges.[3] Route optimization, parcel consolidation, and resource sharing through horizontal and vertical integration can all contribute to improved mobility in congested urban areas. Enhancing more applications that work by industrie 4 leads to have the potential to reduce the travel need for various activities such as shopping, leisure, traveling & work trips. In this research, it will be shown what the concepts of industrie 4 are and how it impacts on transportation.

2. Components of Industry 4.0

Industry 4.0 allows machines to communicate with each other and with humans, giving accurate analysis followed by fast decision making. A system network that is highly adaptable, automated, digital, resilient, automated, digital, and effective is what Industry 4.0 represents. The core of the Industry 4.0 consists of the following components.

2.1. Cyber-physical system (CPS)

Cyber-physical systems (CPS) are physical and engineered systems whose operations are monitored, coordinated, controlled and integrated by a computing and communication core.[4] Because of the reliance on IT systems, CPS could be defined as IT systems that are integrated into physical world application.[5] By fusing computation and communication with physical processes, they enable us to expand the possibilities of physical systems.

2.2. Internet of Things (IoT)

The Internet of Things (IoT) is the subsystem of CPS in which everything is connected through the internet.[6] IoT is a network of physical devices where billions of objects can sense, communicate and exchange data, all interconnected over networks. These interconnected objects have data regularly collected, analyzed and used to initiate action, providing a wealth of intelligence for planning, management and decision making.[7] That what makes IoT the foundational component of industry 4.0.

2.3. Cloud computing (CC)

Cloud computing (CC) is an essential component of any Industry 4.0 plan. It's an Internet-based technology through which information is stored in servers and provided as a service on-demand to clients.[8] CC helps by processing massive amounts of data being stored and analyzed more quickly and affordably.

2.4. AI and machine learning

AI and machine learning can produce insights that give operations and business processes visibility, predictability, and automation. Businesses can do machine learning-based predictive maintenance using data gathered from these assets, increasing uptime and efficiency. Manufacturers may fully benefit from the volume of information thanks to artificial intelligence and machine learning.

2.5. Digital twin

Manufacturers are able to generate digital twins, which are virtual clones of processes, production lines, factories, and supply networks, as a result of Industry 4.0's digital transformation.[9] Data is collected from IoT sensors, gadgets, PLCs, and other internet-connected objects to construct a digital twin. [10]



2.6. Autonomous Robots

HASAN KALNONCU 415"

According to[11], autonomous robots are intelligent machines that can communicate with people, follow instructions from people and systems, and carry out repetitive tasks with the maximum accuracy and safety without getting tired. Smart robots may interact with people and other machines by processing information, conversing, and computing.

2.7. Horizontal and Vertical System Integration

KARADENIZ TEXNIK ÜNİVERSİTESİ KANCOMETICINICAL UNIVCI Tes

System integration for Industry 4.0 uses both horizontal and vertical integration methods. Realtime data sharing is possible with these two types. Through task, data, and resource sharing, horizontal integration makes it possible for companies to work together. The product life cycles are enhanced by this horizontal integration, which also adds additional value for both customers and enterprises. [12] Though, the second integration is for the internal functionality of the organization, where all the hierarchical departments can concur to share duties, information, and resources. [12]

3. Challenges of implementing industry 4.0

Several obstacles are also presented by Industry 4.0, which businesses must handle:

3.1.A Gap in Technical Skills

The workforce's requirements are always changing. When looking for candidates to fill unfilled roles, seek for people who have "digital dexterity," meaning they understand both manufacturing processes and the digital technologies that support those processes. Only with the correct staff will business models be able to successfully incorporate new technology while still continuing to operate. [13]

3.2. Data Sensitivity

The advancement of technology has also raised issues about data and privacy, ownership, and management. Data is required to train and test an AI algorithm before it can be properly implemented. The data must be shared for this to happen. Many businesses, however, are hesitant to share their data with third-party solution developers. Data is a valuable asset that must be safeguarded. [13]

3.3.Interoperability

Another major issue is the lack of distinction between protocols, components, products, and systems. Unfortunately, interoperability limits businesses' ability to innovate. Interoperability also limits possibilities for upgrading system components because they cannot easily "swap out" one vendor for another or one aspect of the system for another [13].

3.4. Data security

The first and foremost challenge is to ensure data security. There is a constant threat of cybercrime for many businesses regarding customer data. Switching to the cloud means moving out of their comfort zone – which makes them vulnerable. Data security is the primary concern of cloud-based technologies and Industrial 4.0 technologies.[14]

3.5.Handling Data Growth

As more businesses rely on AI, they will be confronted with more data that is being generated at a quicker rate and presented in a variety of formats. AI systems must be easy to understand in


order to sift through these massive volumes of data. Furthermore, these algorithms must be capable of combining data of various sorts and timeframes.[13]

3.4. Employment

Workers who perform repetitive tasks may find difficulties keeping up with the industry as their employment are phased out or handled by an autonomous machine that runs 24 hours a day, seven days a week. To keep up with the demands of a fast changing labor market, education will need to evolve. [15]

3.4. Capital Investment

i4.0 implementation will not be free; there will be costs ranging from cheap IoT sensors placed on current machines to the purchase of massive machinery with integrated i4.0 solutions. The capital investment required for some of these larger initiatives may harm the balance sheet in the short term, but it will have a multiplier effect in the long run by lowering costs, enhancing market agility, and improving customer happiness.[15]

4. Applications of industry 4.0 in transportation :

4.1. Internet of Things (IoT)

In a nutshell, Industry 4.0 is the concept, the movement, and the ideals. The internet of things is the system that makes this idea operate; it is the component that brings the industry 4.0 concept to life. The use of the Internet of Things (IoT) in the transportation and logistics sectors has grown significantly in recent years. Given the importance of route and traffic control in transportation, IoT devices collect raw data about the actual world by utilizing a wide network of embedded sensors, smart objects, and actuators. This raw data can be transformed into usable information using clever algorithms and then used to make more sophisticated decisions. CCTV cameras, for example, collect real-time traffic and vehicle information. This information is subsequently relayed back to traffic management centers, which decide the best route for transportation. .[3]

4.2. Autonomous Cargo Shipment

The Oceanbird, a Swedish wind-powered cargo vessel built by Wallenius Marine, is an example of autonomous container vessel technology. To maintain safety and environmental sustainability, the control center monitors and remotely manages these vessels, leveraging artificial intelligence and machine learning. This technology, which is slated to debut in 2026, promises to lower fuel expenses and promote environmentally friendly shipping operations.[3]

4.3. Autonomous Delivery Vehicles

Nuro, an American robotics company, has developed autonomous self-driving vehicles for the delivery process in Houston. These vehicles use AI and algorithms to navigate urban areas, providing a 360-degree view and faster delivery. In 2019, they partnered with Walmart to deliver groceries, while in 2020, they partnered with CVS pharmacy to deliver medicine. These sustainable and fuel-efficient options make the delivery process more efficient and environmentally friendly. [3]

4.4. Drones

Autonomous drones offer a reliable experience for smaller, localized shipments, providing a faster, cheaper, and flexible shipping option. Companies like FedEx, Amazon, Google, DHL, 7-Eleven,



Ali Baba, and Dominos are capitalizing on this growing shipping method. Drones utilize industry 4.0 technologies, mimicking human perception, to navigate efficientlyⁱ [3].

5. Impact of industry 4.0 on car insurance

For a long time, insurance companies' way of determining the insurance premium was by looking to factors like milage, age and residential area. At present, after the evolution of driving behavior, the old ways of insuring drivers won't have the same benefits. Furthermore, it would result in losing business to more nimble insurers that provide pay-per-use products fitted to the current market. [16]

The overall annual premiums are predicted to drop by 30% by 2040, according to a Deloitte study from 2016. ABI Research did a study in the same year as well, and the results show that by 2030, 400 million people worldwide will depend on robotic car-sharing.[17]

Some of the concerns that the car insurance industry should take into consideration since it would impact the insurance' costumers:

- Multiple drivers (who might not live in the same household) for the same vehicle
- Accelerated wear from more frequent use brought on by car sharing
- Cybersecurity (autonomous vehicle hacking)
- Satellite failure and vehicle sensor damage
- Data-driven solutions

On the other hand, Since most insurers will eliminate the middleman as a result of technological advancements, underwriting and claims processes will be streamlined to the insurers' advantage. This will result in lower insurance prices for end-customers. Additionally, this implies that insurers will offer fewer policies to individual drivers and more to businesses like fleet operators. ([16] this application tends to have the highest potential to be applied under the local conditions of Jordan.

6. Conclusions

Industry 4.0 continues to move towards the automation of all production process and automobile operations, where computational methods and technology can help to enhance the current workflow and increase output. Larger enterprises utilize intelligent machines and robotics to provide automated processes in order to meet the demand for reduced workforce. Lowering the cost of shipping and transportation as well as fuel rates will always be a priority in this industry. In this paper the applications of industry 4.0 in transportation have been discussed. The shift to industry 4.0 now seems to be the rational and effective course of action for the transportation sector to grow.

7. Recommendations

With the world heading towards technological development the trend now must be to invest research and development, as well as education and training programs for the employers in the transportation sector. The main focus should be on Entering industry 4.0 new technologies in all of the transportation sector's aspects.[18]

Furthermore, the deployment of self-driving automobiles ought to enhance machine and data connection throughout the supply chain, leading to improvements in transportation planning that were hardly thought of a few decades ago. By raising the bar for creating dependable and efficient transportation systems and investing more in technology transfer that will support local



manufacturing and various sustainable development goals, the application of fourth industrial revolution technology to the transport sector should improve the situation especially in developing countries.

The future of transportation lies in the integrated use of intelligent and innovative technologies such as Industrie 4.0, which is becoming more and more affordable to install and provides a quantifiable return on investment. This solution is made to reduce risks and address industry concerns, from IoT to IX and every touchpoint in between.[19]

With the potential to reduce loss due to theft, enhance driver wellbeing, and optimize process and capabilities, the transport sector may be able to accomplish more with fewer resource.

References

- 1. Senvar, O., & Akkartal, E. (2018). An overview to industry 4.0. International Journal of Information, Business and Management, 10(4), 50-57.
- 2. Kinzel, H. (2017). Industry 4.0–Where does this leave the Human Factor?. *Journal of Urban Culture Research*, 15, 70-83.
- 3. Aved Keyork Sarkis, Jan Gregor Reyes, Danny Huynh, Applications of Industry 4.0 in the Transportation and Logistics Industry.
- 4. (Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010, June). Cyber-physical systems: the next computing revolution. In *Proceedings of the 47th design automation conference* (pp. 731-736)).
- 5. Dieter Gollmann. Security for cyber-physical systems. In Mathematical and Engineering Methods in Computer Science, pages 12–14. Springer, 2013
- 6. Kumar, A., Landge, V., & Jaiswal, S. (2021). E-commerce, industry 4.0, & transportationidentifying the potentiality & problems. In *1st Indian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, IEOM 2021* (pp. 553-563).
- 7. Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, *6*(5).
- 8. Madhavaiah, C., & Bashir, I. (2012). Defining cloud computing in business perspective: A review of research. Metamorphosis, 11(2), 50-65.
- 9. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2023). An integrated outlook of Cyber– Physical Systems for Industry 4.0: Topical practices, architecture, and applications. *Green Technol. Sustain*, 1(1), 100001.
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Suman, R., & Khan, S. (2023). Management 4.0: Concept, applications and advancements. *Sustainable Operations and Computers*, 4, 10-21.
- 11. Caggiano, A., & Teti, R. (2018). Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design. *Cogent Engineering*, 5(1), 1426676.
- 12. Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering science and technology, an international journal*, 22(3), 899-919.
- 13. stefanini group(2021). The Fourth Industrial Revolution: Industry 4.0 Challenges And Opportunities For Your Business





- 14. RadixWeb(2023), Pratik Mistry. Industrial Internet of things (IIoT) and Industry 4.0: Are you ready for it?
- 15. TXM lean solutions. THE ADVANTAGES & CHALLENGES: IMPLEMENTING INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES
- 16. BOSMAN, W. (2019). 4IR and its impact on car insurance. BIZ community
- 17. Deloitte | Global services, reports, and industry insights
- 18. MYSTORY, Rajput.M,. How Industry 4.0 is Changing the Transportation Industry.
- 19. CIO africa, Wasonga.M,. Industry 4.0 Meets Digital In Transportation
- 20. <u>New Car Sharing Economy Disrupts Automotive Industry: ABI Research Predicts 400</u> <u>Million People to Rely on Robotic Car Sharing by 2030</u>
- Martínez-Gutiérrez, A., Díez-González, J., Ferrero-Guillén, R., Verde, P., Álvarez, R., & Perez, H. (2021). Digital twin for automatic transportation in industry 4.0. Sensors, 21(10), 3344.
- 22. Kans, M., Galar, D., & Thaduri, A. (2016). Maintenance 4.0 in railway transportation industry. In Proceedings of the 10th world congress on engineering asset management (WCEAM 2015) (pp. 317-331). Springer International Publishing.
- 23. Liyakat, K. K. S. (2022). IoT-Based Smart Transportation System for Passenger Comfort.
- 24. Wojciech Paprocki , How Transport and Logistics Operators Can Implement the Solutions of "Industry 4.0".

EFFECT OF GEOMETRY AND MATERIAL OF ELECTRODE IN ELECTRICAL DISCHARGE DRILLING OF TUNGSTEN CARBIDE

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SH

TICMET'2

ABDULLAH GAZİ FIRAT¹, ALİ TOLGA BOZDANA^{*2}

¹ Gaziantep University, Graduate School of Natural & Applied Sciences, Gaziantep, TÜRKİYE. ² Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Eng. Dept., Gaziantep, TÜRKİYE.

Abstract

Machining of tungsten carbide (WC) is a challenge due to its specific properties, particularly high hardness and brittleness. Electrical Discharge Drilling (EDD) process is preferred for production of small-diameter holes on difficult-to-cut materials. This study presents an experimental study on the effect of geometry and material of electrode on drilling performance and hole accuracy. Blind holes were produced at specific conditions using tubular electrodes of brass and copper having single and multiple channels. The drilling performance was evaluated and compared based on Material Removal Rate (MRR) and Electrode Wear Rate (EWR). The hole accuracy was also evaluated in accordance with shape of drilled holes. In comparison with single-channel electrode, spike formation at the hole center was significantly prevented with use of multi-channel electrode. Regardless of electrode geometry, brass electrode provided higher MRR and EWR values as well as deeper holes as compared to copper electrode.

Keyword: Electrical Discharge Drilling, Tungsten Carbide, Tubular Electrode





The Role of Ink Rheology and Printing Parameters in Controlling the Resolution and Accuracy of Direct Ink Writing 3D Printing

Fawad Ali*1, Muammer Koc1

¹Division of Sustainable Development, College of Science and Engineering, Hamad Bin Khalifa University, Qatar Foundation, Doha 34110, Qatar;

Abstract

3D printing technology has revolutionized the way products are designed, developed, and manufactured. However, the quality and accuracy of 3D printed parts are greatly influenced by various factors, including the properties of the ink used and the printing parameters. This research paper aims to investigate the role of ink rheology and printing parameters in controlling the resolution and accuracy of 3D printed parts. Ink rheology, specifically viscosity and surface tension, plays a crucial role in controlling the resolution and accuracy of 3D printed parts. Printing parameters such as layer thickness, print speed, and infill density also play an important role in determining the resolution and accuracy of 3D printed parts. The paper will identify optimal conditions for achieving high-quality 3D printed parts. The paper will provide insight for the researchers and practitioners in the field of 3D printing in order to produce high-quality 3D printed parts with high resolution and accuracy.

Keywords: DIW 3D Printing, Ink Rheology, Printing Parameters, Shape Fidelity

1. Introduction:

3D printing technology, also known as additive manufacturing, has become an increasingly popular method for creating complex geometries and functional materials. The layer-by-layer approach of AM offers the ability to create parts with intricate designs or consolidated assemblies that cannot be made with traditional thermoplastic production methods like extrusion or injection molding while also reducing material usage and waste. Additionally, AM enables printing fully customized objects with specific properties in an efficient and cost-effective manner, eliminating the disadvantages of traditional technologies, such as the cost and design of molds for individual parts [1]. 3D printing has been used in a wide range of industries, including manufacturing, aerospace [2], and biomedical [3]–[6], due to its versatility and ability to create parts with high precision and accuracy. However, the quality and accuracy of 3D printed parts are greatly influenced by various factors, including the properties of filament or ink used and the printing parameters. The Direct Ink Writing (DIW) method is distinct from other polymer Additive Manufacturing techniques, such as Fused Filament Fabrication (FFF), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography, in that the precursor polymer ink (whether it be thermoplastic, thermoset, elastomer, or composite) can be extruded through fine nozzles without the need for melting, selective sintering, or additional bonding before or during the deposition process. As a result, while the other techniques are restricted by the type of polymer that can be printed, DIW is not subject to these limitations [7]. Also, the low fabrication temperature and the use of multiple



materials integration for tissue regeneration make direct ink writing DIW the most suitable for bio-fabrication [8].

Direct ink writing (DIW) is a 3D printing technique that involves extruding a viscous liquid or paste through a nozzle and then solidifying it by evaporating the solvent. DIW, commonly referred to as Robocasting, is typically categorized into a droplet and continuous ink extrusion. Its affordability, ease of use, and ability to blend different materials during production have made it a popular choice for research organizations and universities worldwide to develop the technology further [9]. For DIW, the study of the flow and deformation of liquids (rheological properties), plays a crucial role in controlling the resolution and accuracy of 3D printed parts [10]-[12]. In general, an ink is considered printable if it can be expelled consistently through a specific nozzle to produce structures that match the digital model. The rheological properties of ink, such as viscosity, yield stress under shear and compression, and viscoelastic properties (i.e., loss and elastic moduli) significantly impact the final product's quality [13]. Viscosity, which is a measure of a liquid's resistance to flow, can affect the ability of the ink to flow through the print head and onto the build platform. Selection of the right biomaterials for the bioink is crucial for the success of bioprinting. A variety of bioinks have been created using both natural and synthetic biomaterials, offering a range of properties such as biocompatibility and suitable physical characteristics to guarantee printability and to maintain functionality over time after they have been placed [14]. The viscosity of bioink, for instance, is a crucial aspect in determining the flexibility of free-standing structures during printing and maintaining their architectural stability right after bioprinting [15]. High viscosity inks can lead to poor flow and clogging of the print head, resulting in poor resolution and accuracy of the printed parts. On the other hand, lowviscosity inks can result in over-extrusion and poor layer bonding, leading to warping and cracking. Therefore, using inks with appropriate viscosity is important to achieve optimal printing results. Similarly, shear-thinning (a non-Newtonian behavior) is the property of the material to behave liquid-like (reduced viscosity) under stress during the extrusion but regain its original state after the stresses are relieved. From a fluid mechanics perspective, the ability of an ink to have a decreasing viscosity with an increasing flow rate (known as shear-thinning behavior) is necessary to meet the desired printing characteristics. This property allows the ink to flow more easily through the nozzle, even with less extrusion pressure, ensuring extrudability. Shear-thinning for ink printability is important as it helps retain the printed structure. The material must have a shearthinning consistency for successful extrusion.

Surface tension, which is a measure of the cohesive forces within a liquid, can also affect the resolution and accuracy of 3D-printed parts. Inks with high surface tension can result in poor wetting of the build platform, leading to poor adhesion and poor resolution of the printed parts. In contrast, inks with low surface tension can lead to over-extrusion and poor layer bonding. Therefore, it is important to use inks with appropriate surface tension to achieve optimal printing results.

In addition to ink rheology, printing parameters such as layer thickness, print speed, and infill density also play an important role in determining the resolution and accuracy of 3D printed parts. Layer thickness, which refers to the thickness of each individual layer of the printed part, can greatly affect the resolution and accuracy of the final product. Thin layers can result in high resolution and accuracy, but can also lead to longer print times and increased material usage.





Thicker layers can result in faster print times and reduced material usage but can also lead to lower resolution and accuracy. Similarly, printing speed, which refers to the speed at which the print head moves during the printing process, can also affect the resolution and accuracy of 3D printed parts. Fast print speeds can result in faster print times, but can also lead to poor resolution and accuracy due to the increased likelihood of over-extrusion and poor layer bonding. Slow print speed results in better resolution, accuracy, and shape fidelity, but it elevates the printing time [7]. Infill density, which refers to the amount of ink filled in the interior of the printed part, can also affect the resolution and accuracy of 3D printed parts. High infill densities can result in stronger and more durable parts, leading to longer print times and increased material usage. Low infill densities can result in faster print times and reduced material usage, leading to weaker and less durable parts.

In this work, we have investigated the properties of the ink and the printing parameters to find the extrudability and shape fidelity. Ink rheology, specifically viscosity and shear rate, plays a crucial in the printability of the scaffolds.

This study examines various commercially available filaments made from poly(lactic acid) (PLA) that are used in Fused Deposition Modeling (FDM) and contain various additives and fillers. The goal is to create an economical and straightforward way of predicting the FDM processing of thermoplastic materials. This study focuses on thoroughly analyzing the PLA ink rheological behavior for DIW printing process. This is done to establish links between the materials' properties and their suitability for 3D printing through DIW technique.

2. Materials and Methods

2.1. Materials and Characterization

Polylactic acid (PLA) granules with a nominal size of 3-5mm, a melting point of around 170°C, and an average molecular weight of approximately 68 000 g/mol, were purchased from Goodfellow Cambridge Limited (England). Mg alloy (AZ61, purity 99.95%) powder with an average diameter of 100µm was provided by Nanografi Nanotechnology (Turkey). Chloroform (Boiling point: 59.5-60.5°C, density: 1.48 kg/l) was used as a PLA solvent supplied by VWR Chemicals, Germany. The rheological characteristics of the inks were evaluated using a rotational rheometer (Physical MCR 301, Anton Paar, Austria). The inks were kept at a constant temperature of 25°C for 5 minutes before each test. The shear rate was increased from 0.01 s⁻¹ to 100 s⁻¹ during viscosity measurements. During the oscillatory tests, the shear stress was varied from 1 Pa to 1000 Pa at a frequency of 1 Hz.

2.2. Solution Preparation for 3D Printing

PLA solution was prepared by mixing PLA granules in chloroform with of 10 w/v%, and 30 w/v% and mechanically stirred for 24 hours at 350 rpm. Mg alloy powder (10 wt%) as reported were then added to the chloroform/PLA mixture solution for preparing PLA/Mg composites and continued stirring for 4 hours at room temperature for uniform distribution of Mg particles.

3. Results and Discussions

The rheological test results of polymer inks show that as the concentration of PLA increases from 10 to 30%, the ink goes from a low-viscosity liquid to a physical gel with unique properties that allow for 3D printing. However, too low or too high of a concentration of the PLA leads to issues



with lateral spreading or clogging of the print nozzle. The optimal range of concentration for 3D printing is around 20%.

3.1. Direct Ink Writing (DIW) 3D Printing of PLA/Mg Ink

The synthesized PLA/Mg composites were also used in the bioprinting process to investigate the feasibility of using the 3DP process for novel polymeric ink. A PLA/Mg composite with 5 wt% of Mg nanoparticles was used for DIW 3D printing. The viscosity of the PLA/Mg solution was determined using a viscometer (Brookfield DV2T, Middleboro, USA), as controlled viscosity is vital for a successful 3D print. As reported in Figure 1, a simple mesh with overall dimensions of 12.4 mm \times 12.4 mm \times 0.4 mm was designed using Solidworks, with a strut thickness of 0.4 mm and spacing of 3 mm between the struts. The designed mesh was imported in STL format to Repetier-Host software for slicing and G-code generation. A TissueStart 3D bioprinter (from TissueLabs) was used to fabricate the designed part, with a printing speed of 2 mm/s, a layer height of 0.1 mm, and 100% infill. The fabricated structure was analyzed using a Zeiss microscope with 5× and 10× resolutions. A visual representation of the designed mesh along with the specifications and 3DP process parameters are reported in Figure 1 and Table 2.



Figure 1. Designed mesh for the 3D bioprinting process.

Mesh Design Specifications	
Overall Dimensions	12.4 mm × 12.4 mm × 0.4 mm
Strut Thickness	0.4 mm
Strut Spacing	3 mm
3DP Process Parameters	
Printing Speed	2 mm/s
Layer Height	0.1 mm
Infill Density	100%

Table 2. Details of the mesh	design and 3DP	process parameters.	
			_

3.2. Influence of rheological properties on 3D printing

The rheological properties of a material play a crucial role in determining its printability in direct ink writing (DIW) 3D printing. Rheology refers to the study of how materials deform and flow under stress, and it directly impacts the behavior of the material during the printing process. Here's how different rheological properties can affect printability:





3.2.1 Viscosity:

High Viscosity: Materials with high viscosity tend to be more resistant to flow. In DIW, high viscosity inks may lead to challenges in extrusion, potentially resulting in clogging or uneven material flow through the nozzle. It might also affect the precision and accuracy of printing.

Low Viscosity: In contrast, low viscosity inks may lead to over-extrusion, resulting in excessive spreading or smudging of printed features. It may also affect the overall shape fidelity of the printed object as shown in Figure 2a. This can be particularly problematic when trying to create intricate or complex geometries.

3.2.2.Shear-Thinning Behavior:

HASAN KANONCU 415° - KARADENIZ UNIVERSITY 415° - KARADENIZ TEXNIK ONVERSITESI

Materials exhibiting shear-thinning behavior, which means they become less viscous under shear stress, are often preferred for DIW. This property allows for easier extrusion through the nozzle during printing while maintaining shape stability once deposited.



Figure 2. (a) Low viscosity with low shape fidelity DIW 3D printed part (b) good shape fidelity and DIW 3D printed part.

3.3. Rheological Properties of Ink

A shear thinning behavior was observed in the ink as shown in Figure 3. When viscosity decreases with higher shear rates, it signifies a shear-thinning behavior, a common trait in certain fluids and materials. This phenomenon arises from increased movement and reduced internal resistance within the material as shear forces escalate. Initially, at low shear rates, the material's particles or molecules experience limited movement due to entanglement, resulting in higher viscosity. However, as the shear rate intensifies, these interactions are overcome, allowing for easier flow and a subsequent reduction in viscosity. This behavior is characteristic of non-Newtonian fluids and is encountered in everyday substances like ketchup and toothpaste. Understanding shear-thinning is crucial in industries where flow behavior under varying conditions is pivotal, including food processing, pharmaceuticals, and manufacturing.



Figure 3. Shear viscosity, in rotational ramp mode at shear rates from 0.1 to 1000 s^{-1} with a gap size of 1.0 mm.

Conclusion

In conclusion, the research paper has investigated the role of ink rheology and printing parameters in controlling the resolution and accuracy of 3D printed parts. The study highlighted the importance of ink rheology, specifically viscosity and surface tension, in controlling the resolution and accuracy of 3D printed parts. The research also emphasized the importance of printing parameters such as layer thickness, print speed, and infill density in determining the resolution and accuracy of 3D printed parts.

The study has provided insight on the optimal conditions for achieving high-quality 3D printed parts. It was found that inks with appropriate viscosity and surface tension, and a balance between thin layers, moderate print speeds, and appropriate infill densities, are key to achieving high resolution and accuracy in 3D printed parts.

The study also highlighted the importance of considering the properties of the ink and printing parameters in the 3D printing process, in order to produce high-quality and accurate parts. This research can be used as a guide for researchers and practitioners in the field of 3D printing, in order to produce high-quality 3D printed parts with high resolution and accuracy.

Overall, the research paper has shown that ink rheology and printing parameters play a crucial role in controlling the resolution and accuracy of 3D printed parts. The study has provided valuable insights on the optimal conditions for achieving high-quality 3D printed parts and can be used as a reference for researchers and practitioners in the field of 3D printing.

References

1. T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, and D. Hui, "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and

HASAN KAUNDINCU 15" SHI



challenges," *Compos B Eng*, vol. 143, pp. 172–196, 2018, doi: <u>https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012</u>.

- Y. Abderrafai *et al.*, "Additive manufacturing and characterization of high temperature thermoplastic blends for potential aerospace applications," *Compos Sci Technol*, vol. 231, p. 109839, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109839.
- 3. F. Ali, S. N. Kalva, and M. Koç, "Additive Manufacturing of Polymer/Mg-Based Composites for Porous Tissue Scaffolds," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 24, 2022, doi: 10.3390/polym14245460.
- 4. F. Ali, A. Al Rashid, S. Kalva, and M. Koc, "3D bioprinting of Mg-doped PLA composite as a potential material for bone tissue regeneration-synthesis, characterization and additive manufacturing," 2023, doi: 10.21203/rs.3.rs-2816895/v1.
- S. N. Kalva, F. Ali, C. A. Velasquez, and M. Koç, "3D-Printable PLA/Mg Composite Filaments for Potential Bone Tissue Engineering Applications," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 11, 2023, doi: 10.3390/polym15112572.
- F. Ali *et al.*, "Degradation assessment of Mg-Incorporated 3D printed PLA scaffolds for biomedical applications," *Bioprinting*, vol. 35, p. e00302, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.bprint.2023.e00302.
- M. A. S. R. Saadi *et al.*, "Direct Ink Writing: A 3D Printing Technology for Diverse Materials," *Advanced Materials*, vol. 34, no. 28, p. 2108855, 2022, doi: https://doi.org/10.1002/adma.202108855.
- 8. Y. S. Zhang *et al.*, "3D Bioprinting for Tissue and Organ Fabrication," *Ann Biomed Eng*, vol. 45, no. 1, pp. 148–163, 2017, doi: 10.1007/s10439-016-1612-8.
- M. A. S. R. Saadi *et al.*, "Direct Ink Writing: A 3D Printing Technology for Diverse Materials," *Advanced Materials*, vol. 34, no. 28, p. 2108855, 2022, doi: https://doi.org/10.1002/adma.202108855.
- 10. C. P. Lee, R. Karyappa, and M. Hashimoto, "3D printing of milk-based product," *RSC Adv*, vol. 10, no. 50, pp. 29821–29828, Aug. 2020, doi: 10.1039/d0ra05035k.
- L. Li, Q. Lin, M. Tang, A. J. E. Duncan, and C. Ke, "Advanced Polymer Designs for Direct-Ink-Write 3D Printing," *Chemistry – A European Journal*, vol. 25, no. 46, pp. 10768–10781, 2019, doi: https://doi.org/10.1002/chem.201900975.
- 12. Y. Sun *et al.*, "3D printing of thermosets with diverse rheological and functional applicabilities," *Nat Commun*, vol. 14, no. 1, p. 245, 2023, doi: 10.1038/s41467-023-35929-y.
- T. v Neumann and M. D. Dickey, "Liquid Metal Direct Write and 3D Printing: A Review," *Adv Mater Technol*, vol. 5, no. 9, p. 2000070, 2020, doi: <u>https://doi.org/10.1002/admt.202000070</u>.
- 14. A. Skardal and A. Atala, "Biomaterials for Integration with 3-D Bioprinting," *Ann Biomed Eng*, vol. 43, no. 3, pp. 730–746, 2015, doi: 10.1007/s10439-014-1207-1.
- 15. J. H. Y. Chung *et al.*, "Bio-ink properties and printability for extrusion printing living cells," *Biomater Sci*, vol. 1, no. 7, pp. 763–773, 2013, doi: 10.1039/c3bm00012e.

INFLUENCE of ANNEALING TIME on 1% Fe DOPED ZnO FILMS PRODUCED by ULTRASONIC SPRAY PYROLYSIS

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHNICAL UN

TICMET'2

DAMLA DILARA ÇAKIL^{1,2}, MERYEM POLAT GÖNÜLLÜ^{*1}, CEMIL ÇETINKAYA¹, ÖMER ŞAHIN^{1,2}

¹Gazi University, Technology Faculty, Metallurgy and Material Engineering Department, Ankara, Turkey.
²Karadeniz Teknik University, Technology Engineering Metallurgy and Material Engineering Department, Trabzon, Turkey.

Abstract

ZnO is an important material with properties such as high conductivity, wide band gap and photocatalytic activity. For this reason, ZnO thin films are used in many applications such as reducing environmental pollution, water purification and converting sunlight into electrical energy. However, these properties may vary depending on process parameters such as the production method of ZnO and heat treatment time.

The ultrasonic spray pyrolysis method has become popular in thin film production in recent years. This method has the advantage of producing thin films by aerosolizing a chemical solution with ultrasonic vibrations. Previous studies show that the photocatalytic activity of ZnO thin films is closely related to the crystal structure, surface morphology and optical properties. Ultrasonic spray pyrolysis plays an important role in this context with its ability to control the structure and properties of the thin film.

This study was carried out using the ultrasonic spray pyrolysis method to examine the morphological, structural, and optical properties of 1% Fe-doped ZnO thin films. After production, the thin films were annealed at 500 °C for different times (1, 3 and 5 hours). All results were compared to the initial raw sample. As a result of these comparisons, it was determined that the best results in terms of photocatalytic activity were obtained with an annealing time of 3 hours. In this process, it was observed that ZnO thin films had more distinct crystal structures and their surface morphologies were more regular and homogeneous. In terms of optical properties, it was observed that the optical absorption properties of the samples produced with an annealing time of 3 hours were higher.

In conclusion, this study shows that the annealing time of 1% Fe-doped ZnO thin films produced by ultrasonic spray pyrolysis method has a significant effect on the structural, morphological and optical properties of the films. These results provide guidance for future research in the field of thin film production and photocatalytic applications, especially emphasizing that a 3-hour annealing time should be preferred.

Keyword: ZnO, Fe doping, Heat treatment, Ultrasonic spray pyrolysis, Structural properties, Photocatalytic activity





DEPREM FAY HATLARINDA PETROL VE DOĞAL GAZ BORU ŞEBEKELERİNİN AKILLI SİSTEM İLE GERİLME SEVİYELERİNİN İZLENMESİ

AHMET YETİK¹, SEYİT ALİ KARA², CEVAT ÖZARPA^{3*}

¹İzmir Doğal Gaz Dağıtım A.Ş., İzmir, Türkiye

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük, TÜRKİYE
³*Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ankara, TÜRKİYE

Özet

Doğal afetler nedeniyle doğal gaz ve petrol boru hatları üzerinde yük değişiklikleri meydana gelmektedir. Bu yük değişiminin kaynağı, deprem, heyelan, sel gibi erozyona neden olabilecek durumlardan dolayı doğal gaz ve petrol borularının etrafındaki toprağın yer değiştirmesidir. Doğalgaz ve petrol borularının değişken yüklere maruz kalması bu borularda deformasyona, çatlaklara ve kırılmalara neden olur. Borularda meydana gelen çatlak ve kırılmalar sızan gaz patlama ve yangın gibi sebeplerden dolayı insanlara ve çevreye zarar vermektedir. Özellikle doğal afetler sonrasında yapılan incelemelerle özellikle akıllı sistemlerle izlenen boru hatlarında hangi boruların daha fazla zarara uğradığı kolaylıkla anlaşılabilmektedir. Türkiye'de yaşanan depremlerin boru hatlarında kalıcı hasara yol açtığı belirlenmiştir. Boru hatlarına yerleştirilen izolasyon contalarında özellikle birleşim noktalarında çatlak ve gaz sızıntısı olduğu tespit edildiği için çözüm olarak akıllı sistem ile gerilme seviyelerinin izlenmesi projesi tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, doğal afetlerden kaynaklanan yük değişimlerinin izlenmesi amacıyla yeni bir SCADA (Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama) uygulaması geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen SCADA uygulaması, boruların üzerine yerleştirilen gerinim ölçer sensörler yardımıyla borularda meydana gelen gerilmelerin x, y ve z eksenlerindeki değişimlerini takip etmektedir. Geliştirilen SCADA sistemi için saha çalışması sırasında standartlara uygun test düzenekleri oluşturulmuştur. Oluşturulan test düzenekleri SCADA sistemine entegre edilerek sistemin takibi yapılmıştır. Saha uygulamasıyla geliştirilen SCADA sistemi sayesinde, doğalgaz ve petrol borularında oluşacak yük değişiklikleri anlık olarak takip edilerek borular ve çevresinde yük oluşturabilecek birikimlere anında müdahale edilerek yeni risklerin önüne geçilebilmektedir. Bu proje, enerji arz güvenliğine, varlık yönetimine, boru hattının bütünsel yönetimine ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Doğalgaz Boruları, Petrol Boruları, Gerilim -Gerinim Ölçümü, Heyelan





1. Giriş

HASAN KALNONCU 415"

Doğal gaz ve petrol boruları çevresel olaylardan dolayı oluşabilecek kayıpların önlenmesi amacıyla yer altına yerleştirilen borular vasıtasıyla taşınmaktadır. (Z. Li et al., 2023; YILMAZ, 2005). Yer altında bulunan doğalgaz ve petrol boruları doğal afetlere maruz kalabilmektedir (Chi et al., 2023; Uğur Terzi & Yildirim, 2009; Zhou et al., 2019). Toprak kayması, deprem gibi doğal afetler doğalgaz ve petrol borularında hasarlara, kırılmalara ve çatlaklara neden olur (Çirmiktili, 2019; Makaraci & Ipek, 2015; Tsinidis et al., 2019). Şebeke borularındaki çatlak ve kırılmalar, doğalgaz ve petrolün çevreye yayılmasına neden olabilir (Q. Li et al., 2022; Uysal, 2010). Şebeke borularında oluşabilecek sızıntılar patlama ve yangınlarla çevreye zarar verir. Çevreye verilen zarar maddi ve itibar kayıplarına neden olur (Aktaş, 2017; Balkaya, 2002). Yaşanan olaylardan çevreye verilen zararın boyutunu görmek mümkün. Doğal gaz sızıntısından kaynaklanan patlamalara örnek olarak Güney Afrika, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve İstanbul'daki olaylar verilebilir (AGENCIES, n.d.; SCHILLER, n.d.; TÜRK, n.d.). Bu nedenle doğalgaz ve petrol borularındaki hasarların önceden öğrenilmesi ve bunların yerinde onarılması büyük önem taşıyor (Gümüş, 2009; Yiğit, 2023). "İzmirgaz Doğal Gaz Dağıtım A.Ş. ve Karabük Üniversitesi" Üniversite-Sanayi iş birliği, " Deprem Fay Hatlarında Doğal Gaz Boru Hatlarının Gerilim Seviyelerinin Ölçülmesine Yönelik Akıllı Sistem Geliştirilmesi Projesi", Doğalgaz ve petrol borularında oluşan hasarları yerinde tespit edilebilmektedir. Bu proje ile çevreye zarar verebilecek doğalgaz ve petrol sızıntıları önlenebilecek, bu da çevresel mali ve itibar kayıplarını azaltacaktır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada doğalgaz ve petrol borularına 4 farklı gerinim ölçer sensör yerleştirildi. Gerilim ölçerlerin topladığı veriler veri toplayıcılar (data logger) ile ölçülerek sistem hafızalarında saklanır. Sistemin kendi bünyesinde bulundurduğu sistem bilgisayarı, saklanan verilerin izlenmesini sağlar ve sistemin kontrolünde kullanılır. Sensörler tarafından ölçülen değerler mV cinsinden gerilimleri temsil eder (Kannengiesser & Gründer, 2013; Khan et al., 1997; Özbek & AYKAÇ, 2020). Uygulanan yük değerleri gerinim sensörlerinden SCADA sistemine gelen verilerle ölçülür. Sensörlerin ölçüm işlemi sonrasında kuvvet değerleri dönüşüm yoluyla hesaplanır. Hesaplanan değerlerin nominal değer aralığında olup olmamasına göre sistem uyarı göndermektedir. Nominal değerler bazı bölgelerde farklı değerler gösterebilmektedir. Bu nedenle lokasyonların nominal değerleri ayrı ayrı ölçülebilmekte ve uyarı verilmesi gereken durumlarda uyarı verebilmektedir. Sistem verileri internet ve SCADA bilgisayarları üzerinden takip edilebilmektedir. Veriyi okuyan sensörler, sisteme kaydedilebilmesi ve SCADA bilgisayarlarından okunabilmesi için veriyi veri okuyuculara iletmektedir. Daha sonra sistemdeki şebeke borularının gerilimleri ölçülerek yük durumu kontrol edilmektedir. Doğal afetler sonrasında çevre faktörlerinin şebeke borularına uvguladığı yük, sebeke borularının mukavemetinin üzerinde ise sistem bunları doğalgaz ve petrol boruları üzerinden iletim yapan firmalara SCADA takip ekranlarına uyarı olarak iletmektedir. Bu çalışmada, şebeke boru hatlarının farklı noktalarındaki gerilim durumlarını incelemek amacıyla şebeke borularının kalınlığı, gömme derinliği ve rakım değerleri gibi faktörler dikkate alınmıştır. İncelenen sebeke boruları üzerindeki yük durumları, dört farklı gerinim ölcer sensör kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, siber güvenlik önlemleri çalışma kapsamında göz önünde bulundurularak, sistem dışından sadece yetkili kullanıcıların izlemesine ve müdahale etmesine olanak tanınmıştır. Bu sayede, şebeke borularının güvenliği ve dayanıklılığı daha detaylı bir şekilde incelenmiş ve siber tehditlere karşı da koruma sağlanmıştır. Doğal gazın yerel bölgelere dağıtılmak üzere basınç değerleri düşürülerek RMS istasyonlarına iletimi çelik şebeke boruları ile sağlanmaktadır. Çelik şebeke borularının standartlara göre çap değerlerine göre gömme derinlikleri Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir.



Çap (inç)	Minimum gömme derinliği- minimum sınır (m)	Maksimum gömme derinliği- maksimum sınır (m)
8	0.5	9.4
12	0.8	4.8
16	0.9	3.5
20	1.1	2.4
24	1.5	1.8
28	1.3	2.0
30	1.0	2.8

Şekil 1. 60° dayanak açısına göre emniyetli gömme derinliği. (Botaş, 2016; Yiğit, 2021)



Şekil 2. 30" Doğal Gaz Çelik Boru gömme derinliği güvenlik faktörü. (Botaş, 2016; Yiğit, 2021)

Gömme derinliği şebeke borularında oluşabilecek yüke, kullanıldığı yere, çapa ve et kalınlığına göre değişmektedir. Literatürde şebeke borularının gömme derinliği kullanılacak borunun çapına göre standartlaştırılmıştır (Botaş, 2016).



Şekil 3. Sensörler, doğalgaz şebekesi ve veri aktarım sisteminin bağlantı şeması.

Şekil 3'te incelenen test sisteminin şeması ve bağlantıları gösterilmektedir. Şekil 3'te görülebileceği gibi, çelik şebeke boruları üzerinde dağıtımda borulara giden çıtanın dağıtım hattından indirilmesi için RMS istasyonlarında bulunan izolasyon conta notlarına yakın bölgelerde mekanizma kurulmuştur. Kurulum gerinim ölçerlerle ölçülmüştür. Veriler toplanmak üzere veri kaydedicilere aktarılarak iletişim cihazları ile sistem bilgisayarlarına aktarılarak takibi yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın önemli bir bileşeni olan ve internet üzerinden erişilebilen bir arayüzü Şekil 4 de gösterilmiştir. Bu arayüz, çalışmanın sürecinin ayrıntılı bir şekilde incelendiğini göstermektedir. Sistem verileri titizlikle toplanmış ve bu veriler Karabük ve İzmir'deki veri tabanlarına güvenli bir şekilde kaydedilmiştir. Bu sayede, bu verilere yetkilendirilmiş kullanıcılar uzaktan erişebilirler. Ancak, çalışma sırasında siber güvenliğin göz önünde bulundurulması, dışarıdan gelebilecek müdahalelere karşı etkili bir koruma sağlamıştır.

Bu önemli güvenlik tedbiri sayesinde, sistem verilerinin bütünlüğü ve güvenliği korunmuş ve yetkilendirilmemiş erişimler engellenmiştir. Bu nedenle, çalışma sonuçlarına dayalı kararlar güvenlir ve güvenli bir şekilde alınabilir.

		KARADENIZ TEKNIK OMPURSITESI MIKANDA TEGINI CAL UMVEBITY MIK	13-16 NOVEMBE KARADENIZ TECHNICAL U PROF. DR OSMAN TURAN CULTURE AND C TRABZON - TÜRKI	R, 2023 NIVERSITY ONVENTION CENTER	TICMET'2	3
			İzmir Sensor 1 Sensor 2 Sensor 3 13.718 -0.078 14.104	Sensor 4 -0.012	IZMIRGAZ Doğal Gaz Uygarlığı	
			Karabük		- \$	
			Sensor 5 Sensor 6 Sensor 7 13.728 -0.072 14.100	Sensor 8 -0.131	KÄRABÜK UNIVERSITEST	
v	Ned Apr 12 2023 12:10:07 GMT+0300 (GMT+03:00)		Download Izmir Sensor D Download Karabuk Sensor	atas Datas		

Şekil 4. İnternetten takip edilebilen arayüz.

Çalışmada Şekil 5'te gösterilen görüntüde, sensör004, şebeke borularında meydana gelen yük değişikliklerine bağlı olarak gaz veya petrol dağıtımı yapan firmaya anlık uyarılar vermektedir.

	id	sensor001	sensor002	sensor003	sensor004	sensor005	s
•	24	13728	72	14100	131	15	24
	25	13718	72	14104	131	16	2
	26	13721	72	14087	131	14	2
	27	13704	72	14100	12	15	2:
	28	13705	72	14103	12	16	2
*							
<							>

Şekil 5. Veri tabanına kayıtlı verilerin SCADA bilgisayarları üzerinden izlenmesi.

Elde edilen değerler gerilim ölçerlerin mV eşdeğerleridir. Yapılan hesaplamalar ile Nm cinsinden yük değerleri elde edilebilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ekranda operatörlerin dikkatini çekmesi için uyarılar kırmızı renkte ekrana yansıtılmaktadır. Aynı zamanda sistem bilgisayarları kullanıcılara sesli uyarılar verebilmektedir. Sistem hızına ve sistemdeki cihazların performansına bağlı olarak, gelen veriler saniyeden saniyeye, dakikadan dakikaya, saatten saate veya daha fazla aralıklarla veri aktarabilmektedir.

Yapılan Ar-Ge çalışmasında borulara uygulanan yükler sonucu oluşan gerilmeler sensörler aracılığıyla ölçülerek elde edilen değerler nominal değerlerle karşılaştırılarak, nominal değerlerin dışındaki değerler için kullanıcılara uyarılar gönderilmiştir. Test kurulumunda şebeke borularına uygulanan yük değerlerinde ağır bir hasar gözlenmemiştir. Uygulanan yük değerleri farklı x, y ve z boyutlarda uygulanmıştır. Çalışma ile şebeke borularındaki değişikliklerin belirli aralıklarla ölçülmesiyle şebeke borularının ömrünün uzatılması beklenmektedir. Belirli bir süre incelemeler yapılarak sistemdeki boruların hasar miktarları ölçülmüştür. Elde edilen verilerin takibi sonucunda hatlarda meydana gelen yüklenmeler önceden hasar oluşmadan tespit edilmiş olacaktır. Bu



çerçevede borulardaki gerilimlerin azaltılması hasarların oluşmasına engel olacak bu da petrol ve doğalgaz iletim ve dağıtım hatlarının ömrünün uzamasına neden olacaktır.

4. Sonuçlar

Uygulama sahasından veri toplamak amacıyla kurulan sistem çalışması belirlenen süre boyunca denetlenmiş ve veriler kayıt altına alınmıştır. Çalışma sırasında şebeke borularındaki yük değişimleri değerlendirilmiştir. Şebeke borularında hasara veya tahribata neden olacak yükler tespit edilmiştir. Ancak çalışma sırasında borularda gözle görülür ağır bir hasar görülmemiştir. Gerinim ölçerler, uygulanan tüm yüklerde tüm gerilim değerlerini iletmektedir. Elde edilen şebeke borusu gerilme değerlerinde şebeke borularının akma mukavemet eğrilerinin plastik deformasyon bölgesinde kaldığı görülmüştür. Malzeme ömründeki değişiklikleri izlemek için daha uzun bir süre izleme gereklidir. Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. İlerleyen aşamalarda test kurulumunda uygulanan yüklerin davranışının simülasyon ortamında uygulanan yüklerle karşılaştırılması planlanmaktadır. Bu karşılaştırma ile simülasyon ve gerçek test kurulum değerlerinin birbirine yakınlığı kontrol edilecektir. Bu sayede daha büyük arazilerde ve daha büyük projelerde yapılacak testlerin maliyeti azalacaktır. Ayrıca test kurulumunun nereye kurulması gerektiği sorusunun da cevabı bulunacaktır.

Referanslar

- 1. AGENCIES, N. (n.d.). One dead, 41 injured in suspected gas explosion in South Africa. https://www.aljazeera.com/news/2023/7/20/one-dead-41-injured-in-suspected-gasexplosion-in-south-africa
- 2. Aktaş, O. (2017). Petrol Ve Doğalgaz Boru Hatlarında Kullanılan Boruların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi [İskenderun Teknik Üniversitesi]. https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0A
- 3. Balkaya, M. (2002). Zemine gömülü boruların mühendislik davranışı. In İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- 4. Botaş. (2016). Botaş standartlar ve teknik emniyet kriteri ek listesi (Vol. 15, Issue 2).
- Chi, K., Li, J., & Wu, C. (2023). Numerical simulation of buried steel pipelines subjected to ground surface blast loading. *Thin-Walled Structures*, 186, 110716. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.110716
- 6. Çirmiktili, Ö. Y. (2019). Boru Hatlarinda Güvenilirlik Analizi.
- 7. Gümüş, M. (2009). Farkli Zeminlerdeki Borularin Dinamik Yükler Altinda Davranişlari Yüksek. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- 8. Kannengiesser, T., & Gründer, K.-P. (2013). Stress and Strain Determination. *Handbook* of Technical Diagnostics: Fundamentals and Application to Structures and Systems, 69–108.
- 9. Khan, M. Z. S., Saunders, D. S., Baldwin, N. J., & Sanford, D. H. (1997). An investigation of the use of strain gages to measure welding-induced residual stresses. *Experimental Mechanics*, *37*, 264–271.
- 10. Li, Q., Shi, Y., Lin, R., Qiao, W., & Ba, W. (2022). A novel oil pipeline leakage detection method based on the sparrow search algorithm and CNN. *Measurement*, 204, 112122.
- 11. Li, Z., Yu, J., Yu, Y., Liu, X., Yang, Z., Liu, X., & Zhang, Z. (2023). Deformation analysis of buried subsea pipeline under different pressure-reverse fault displacement loading paths. *Thin-Walled Structures*, 185, 110569. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.110569
- 12. Makaraci, M., & Ipek, C. (2015). Deprem Etkisi Sonucunda Gömülü Boru Hattinda Oluşan



Gerilmelerin Analizi. 5th International Earthquake Symposium Kocaeli 2015.

- 13. Özbek, E., & AYKAÇ, B. (2020). *A Load Cell Design that can be utilized for The Testing of Reinforced Concrete Members*. 7(4), 106–111.
- 14. SCHILLER, M. (n.d.). *Natural gas alarm maker hopes to prevent more tragedies like deadly Plum house explosion*. https://www.cbsnews.com/pittsburgh/news/natural-gas-alarm-maker-plum-house-explosion/
- 15. Tsinidis, G., Di Sarno, L., Sextos, A., & Furtner, P. (2019). A critical review on the vulnerability assessment of natural gas pipelines subjected to seismic wave propagation. Part 1: Fragility relations and implemented seismic intensity measures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 86, 279–296. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.01.025
- 16. TÜRK, C. (n.d.). İstanbul Fatih'te doğalgaz sızıntısı patlamaya neden oldu! https://www.youtube.com/watch?v=MGYsknxiNrY
- 17. Uğur Terzi, N., & Yildirim, S. (2009). Farkli Zemin Ortamlarina Yerleştirilen Esnek Gömülü Borularin Düşey Yükler Altindaki Şekil Değişimimin Deneysel Ve Amprik Yöntemlerle İncelenmesi. 49–58.
- 18. Uysal, A. K. (2010). Petrol Ve Doğal Gaz Boruhattı Çeliklerinin Hidrojen Nedenli Çatlama Davranışı. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- 19. Yiğit, A. (2021). Doğal Gaz Boru Hatlarının Gömme Derinliği. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(1), 471–480. https://doi.org/10.31202/ecjse.812563
- 20. Yİğİt, A. (2023). Çelik Doğal Gaz Boruların Eğrilik Kapasitesi Üzerine Örnek Bir Çalışma : İstanbul Boğaz Geçişi A Sample Study on Curvature Capacity of Steel Natural Gas Pipes : Bosphorus Crossing. 38(March), 25–33.
- 21. YILMAZ, N. F. (2005). Petrol ve Doğal Gaz Boru Hatları Üzerine Genel Bir Değerlendirme. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 87, 4–14.
- 22. Zhou, Z., Zhang, J., Huang, X., & Guo, X. (2019). Experimental study on distributed optical-fiber cable for high-pressure buried natural gas pipeline leakage monitoring. *Optical Fiber Technology*, 53, 102028. https://doi.org/10.1016/j.yofte.2019.102028





EXAMINING NECK GROWTH CHANGES IN 3D-PRINTED ULTEM 1010 MATERIAL AT VARIOUS HEAT TREATMENT TEMPERATURES

SUAT ÖNAL¹, NECIP FAZIL YILMAZ^{2,3*}

¹Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye Vocational School, Department of Mechanical and Metal Technologies, Osmaniye, Türkiye ²Department of Mechanical Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, 27310, Türkiye ³Board of Trustees, Hasan Kalyoncu University, Gaziantep, 27410, Türkiye nfyilmaz@gantep.edu.tr

Abstract

Additive manufacturing is a nontraditional manufacturing technology for the rapid tooling and fabrication of complex shape parts. Among all additive manufacturing methods, fused deposition modeling is the most widely used method for thermoplastic material. However, the interfacial adhesion strength property of the fused deposition modeling product remains a weak point. This study, it is aimed to improve the bond formation between two filaments depending on the heat treatment process of the parts produced in 3D printers. The correlations between the density, porosity, and mechanical properties of the printed parts were studied. Moreover, the effects of the heat treatment temperature were investigated. The experimental results showed that ULTEM 1010 materials increased the strength of their interlayer adhesion by forming a more stable and less porosity. Therefore, this study demonstrates the efficiency of using the post-processing heat treatment process of polymer and contributes to a scientific understanding of porosity and mechanical property change when subjected to heat treatment.

Keywords: 3D printing, FDM, Heat treatment, Porosity, ULTEM 1010

1. Introduction

Additive manufacturing technology is rapidly growing in industries because of its capacity to produce complicated geometries without the need for expensive equipment. Additive manufacturing offers several advantages, such as speed from design to prototype, and the ability to build complicated geometries with the least material waste when compared to traditional manufacturing processes [1], [2]. Fused deposition modeling, which is a frequently used additive manufacturing method, has a major concern (limitation) which is the low mechanical properties of 3D printed polymer materials including Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Thermoplastic Polyurethane (TPU), Polylactic Acid (PLA) and Nylon. Voids, also known as porosity, can arise as an induced defect in 3D printed objects at various lengths: microvoids inside fibre filament and macro voids between layers. During the deposition and processing of materials, voids are formed largely as a result of air entrapment and moisture absorption. Porosity and bond quality between the two layers is the main concern for researchers in 3D parts printed additive manufacturing [2].



FDM stands as a prevalent technique within the realm of additive manufacturing for the production of thermoplastic parts. Stratasys Inc. pioneered the commercial release of this technology in 1991 [3], [4].

The utilization of FDM is experiencing a notable surge in popularity across various domains including everyday life, academia, and industry. This stems from the advancements in production methodologies that enable the straightforward manufacturing of components with intricate geometries, which may be unattainable or time-consuming to produce using alternative methods [5], [6]. This methodology facilitates the fabrication of functional and operational components, as well as the production of prototypes, employing biocompatible materials with robust mechanical properties [7]–[9].

ABS, PLA, PC, ULTEM 1010, and other similar materials are commonly employed as 3D printer filaments in conjunction with FDM techniques [10], [11]. ULTEM 1010, commercially referred to as ULTEM 1010, represents a high-temperature polymer renowned for its exceptional strength, rendering it a prevalent choice for FDM applications [12]. This filament material possesses transparent, amorphous, and biocompatible properties as a thermoplastic material [13]. However, due to its high melting temperature, the utilization of this filament is limited to a select number of FDM machines [14], [15]. Furthermore, while ULTEM 1010 exhibits superior strength compared to alternative FDM filaments, it demonstrates reduced strength when compared to counterparts manufactured using plastic injection techniques [16], [17]. One of the primary factors contributing to this discrepancy is the inherent weakness in interfacial bonding within FDM-produced components [18]. The usage of 3D-printed parts in structural applications can introduce challenges due to diminished interfacial strength [19]. FDM-produced components are constructed by bonding individual layers formed through filament extrusion, wherein incomplete bonding between consecutive layers occurs during the extrusion process [20]. The interlayer mechanical properties are influenced by the polymer diffusion bonding mechanism at the interface.

Annealing serves as a valuable method to enhance the mechanical properties of 3D-printed products along the deposition direction [174]. This heat treatment procedure effectively modifies the physical and, in certain instances, chemical attributes of polymer-based products. The annealing process involves a sequence of steps, including heating a polymer product to a predetermined temperature, holding it at this temperature for a specified duration, and subsequently gradually cooling it to ambient conditions. This thermal treatment technique has been applied to enhance polymer crystallinity and alleviate residual thermal stresses [175]–[177]. An important consideration during heat treatment of such components is the glass transition temperature. By subjecting polymer materials to a slightly elevated temperature above the glass transition temperature and subsequently slow cooling, their mechanical properties can be enhanced through the development of a more stable and crystalline structure [64].

In this study, the effects of heat treatment on the interlayer adhesion properties of FDM-based 3Dprinted polymers were investigated. Heat treatment processes were completed at different heat treatment temperatures with constant holding times. Treatment temperatures were initiated at 215 °C, after which the temperature was gradually increased to 305 °C. The characterization of printed specimens was compared according to treatment temperature.

2. Materials and Methods



ULTEM 1010 (polyetherimide) polymer filament, which is known as an essential engineering material due to its superior mechanical properties and outstanding chemical and thermal resistance, was used in this work [21]. A 3D printer working with the fused deposition method (FDM) was used to manufacture the test samples. ULTEM 1010, a thermoplastic filament renowned for its strength, was utilized in this study, with detailed information on its working conditions provided in Table 7. 1.A MagmaTherm (MT- 1200) oven was used for the heat treatment. The specimens were placed in the oven and heated at the 215, 245, 275 and 305 °C for three hours. After holding the temperature, the specimens were brought out of the oven to room temperature and allowed to cool.

Table 1. The details of the working conditions of PEI filaments used in this thesis section

Extrusion tip temperature	400 °C
Max. build platform temperature	190 °C
Layer thickness	330 µm
Infill density	100%
Raster angle	0°/90°

A Shimadzu UV-3600 Plus spectrophotometer was used to conduct the spectroelectrochemical studies of the polymers. In this work, the bulk density of the samples was determined by Archimedes' method. The bulk density can be measured by the following formula:

$$\rho_b = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_w \tag{1}$$

Where:

 $\rho_b = \text{Bulk Density}$ $\rho_w = \text{Density of Water}$ $m_1 = \text{Mass of Sample in the air}$ $m_2 = \text{Mass of Sample in the water}$

HASAN KALNONCU 415" SHI

The percent porosity of samples was calculated from the measurement density and theoretical density using Eq. (4.6)

Porosity(%) =
$$\left(\frac{\rho_t - \rho_{exp}}{\rho_{exp}}\right) * 100$$
 (2)

Where:

 ρ_{exp} = Measured density (Bulk density) ρ_t = Theoretical density

3. Results and Discussion

During the printing of polymer materials with 3D printers, micro-voids are formed in the part. These gaps directly affect the mechanical properties of printed material. Presence of porosity in samples produced by the FDM method causes a substantial difference in theoretical and bulk density of 3d printed material. Porosity and density measurement results are presented in Table 2. The porosity content of the ULTEM 1010 samples was determined by comparing the bulk density with that of their theoretical density. It can be seen in Table 2 that the void form of ULTEM 1010



HASAN KALNONCU 415" ----



samples has changed depending on the heat-treatment process. As the heat treatment temperature increases, the bond formation between two filaments increases, and the porosity ratio in the samples decreases. Therefore, it can be concluded that the interfacial bonding of the 3D printed parts is improved by the heat treatment of the polymer material. However, in addition to the improvement of the interfacial bonding, physical and chemical changes are observed in the thermoplastic material at high treatment temperatures. Increasing heat treatment temperature causes chemical deterioration in the polymer. In addition to the geometric changes in the shape of the sample, color changes were also observed. In Figure 1, it has been proven that ULTEM 1010 samples change color with increasing temperature. In Figure 2, UV-vis analysis results are presented. In addition to the physically observed changes in geometry, color changes were also observed. In Figure 2, it has been proven that ULTEM 1010 samples change color with increasing temperature.

|--|

Sample	Weight in air	Weight in water	Bulk Density	Porosity
	(g)	(g)	(g/cm^3)	(%)
ULTEM 1010-0	3,9515	0,6230	1,184	6,80
ULTEM 1010-215	3,9548	0,6320	1,187	6,56
ULTEM 1010-245	3,9440	0,6360	1,189	6,40
ULTEM 1010-275	3,9397	0,7175	1,219	4,02
ULTEM 1010-305	3,9650	0,8460	1,267	0,20



Figure 1. The correlation between heat treatment temperatures and porosity in printed samples

The relationship between heat-treated samples at different temperatures and porosity is illustrated in Figure 1. As depicted in the figure, an increase in the applied heat treatment temperature results in a closer proximity of fibers to each other, leading to the closure of micro voids. Consequently, the porosity within the structure decrease.



Wavelength (nm) Figure 2. UV-vis absorbance spectra for different heat-treated polymers

4. Conclusions

The present study aimed to investigate the influence of heat treatment on the ULTEM 1010 polymer, with a focus on enhancing interlayer adhesion bonding. The application of heat treatment effectively addressed issues related to porosity and deficient interfacial bonding. The results of this study highlight the significant benefits of the heat treatment process in enhancing the mechanical performance of ULTEM 1010 polymer. By mitigating porosity-related challenges and promoting interfacial bond formation, the heat treatment process contributes to overall improved structural integrity. The reduction in porosity and the consequently improved interlayer adhesion strength are crucial factors in overcoming the mechanical limitations of the material, providing a pathway for its enhanced applicability in demanding engineering applications.

In conclusion, the exploration of heat treatment's transformative effects on ULTEM 1010 polymer serves as a foundation for advancing the material's mechanical attributes. This study underscores the viability of utilizing heat treatment as an optimization strategy for additive manufacturing materials, furthering the understanding of how heat treatment can influence porosity-related characteristics and mechanical performance.

References

- 1. X. Wang, M. Jiang, Z. Zhou, J. Gou, and D. Hui, '3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective', *Compos. Part B Eng.*, vol. 110, pp. 442–458, 2017.
- K. Saeed *et al.*, 'Characterization of continuous carbon fibre reinforced 3D printed polymer composites with varying fibre volume fractions', *Compos. Struct.*, vol. 282, p. 115033, 2022.
- 3. K. Das, P. Tandon, and A. Singh, '3D PRINTING–IMAGING THE FUTURE LAYER BY LAYER', J. Contemp. Orthod., vol. 4, no. 3, pp. 44–48, 2020.
- 4. J. Y. Wong and A. C. Pfahnl, '3D printing of surgical instruments for long-duration space missions', *Aviat. Space. Environ. Med.*, vol. 85, no. 7, pp. 758–763, 2014.
- 5. P. Bere, C. Neamtu, and R. Udroiu, 'Novel Method for the Manufacture of Complex CFRP Parts Using FDM-based Molds', *Polymers (Basel).*, vol. 12, no. 10, p. 2220, 2020.
- 6. L. Novakova-Marcincinova, J. Novak-Marcincin, J. Barna, and J. Torok, 'Special materials



used in FDM rapid prototyping technology application', in 2012 IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), 2012, pp. 73–76.

- 7. X. Han *et al.*, 'Carbon fiber reinforced PEEK composites based on 3D-printing technology for orthopedic and dental applications', *J. Clin. Med.*, vol. 8, no. 2, p. 240, 2019.
- 8. R. Sharma, R. Singh, R. Penna, and F. Fraternali, 'Investigations for mechanical properties of Hap, PVC and PP based 3D porous structures obtained through biocompatible FDM filaments', *Compos. Part B Eng.*, vol. 132, pp. 237–243, 2018.
- 9. Y. Zhao, K. Zhao, Y. Li, and F. Chen, 'Mechanical characterization of biocompatible PEEK by FDM', *J. Manuf. Process.*, vol. 56, pp. 28–42, 2020.
- 10. N. E. Zander, 'Recycled polymer feedstocks for material extrusion additive manufacturing', in *Polymer-Based Additive Manufacturing: Recent Developments*, ACS Publications, 2019, pp. 37–51.
- 11. K. G. Mostafa, C. Montemagno, and A. J. Qureshi, 'Strength to cost ratio analysis of FDM Nylon 12 3D Printed Parts', *Procedia Manuf.*, vol. 26, pp. 753–762, 2018.
- 12. H. Wu, M. Sulkis, J. Driver, A. Saade-Castillo, A. Thompson, and J. H. Koo, 'Multifunctional ULTEMTM 1010 composite filaments for additive manufacturing using Fused Filament Fabrication (FFF)', *Addit. Manuf.*, vol. 24, pp. 298–306, 2018.
- 13. A. Slonov, I. Musov, A. Zhansitov, E. Rzhevskaya, D. Khakulova, and S. Khashirova, 'The Effect of Modification on the Properties of Polyetherimide and Its Carbon-Filled Composite', *Polymers (Basel).*, vol. 12, no. 5, p. 1056, 2020.
- 14. G. Taylor *et al.*, 'Flexural behavior of additively manufactured Ultem 1010: experiment and simulation', *Rapid Prototyp. J.*, 2018.
- 15. M. Fischer and V. Schöppner, 'Fatigue behavior of FDM parts manufactured with Ultem 9085', *Jom*, vol. 69, no. 3, pp. 563–568, 2017.
- G. Taylor, S. Anandan, D. Murphy, M. Leu, and K. Chandrashekhara, 'Fracture toughness of additively manufactured ULTEM 1010', *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 14, no. 3, pp. 277– 283, 2019.
- U. K. Komal, B. K. Kasaudhan, and I. Singh, 'Comparative performance analysis of polylactic acid parts fabricated by 3D printing and injection molding', *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 30, no. 9, pp. 6522–6528, 2021.
- O. A. Mohamed, S. H. Masood, and J. L. Bhowmik, 'Experimental investigation of timedependent mechanical properties of PC-ABS prototypes processed by FDM additive manufacturing process', *Mater. Lett.*, vol. 193, pp. 58–62, 2017.
- 19. M. Manjaiah, K. Raghavendra, N. Balashanmugam, and J. P. Davim, *Additive Manufacturing: A Tool for Industrial Revolution 4.0.* Elsevier, 2021.
- 20. S. R. Rajpurohit and H. K. Dave, 'Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part', *Rapid Prototyp. J.*, 2018.
- I. M. Balashova, R. P. Danner, P. S. Puri, and J. L. Duda, 'Solubility and diffusivity of solvents and nonsolvents in polysulfone and polyetherimide', *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 40, no. 14, pp. 3058–3064, 2001.



13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

MEHMET ERKAN KÜTÜK^{*1}, SADETTİN KAPUCU¹

1 Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep, Türkiye

Abstract

The way for machines to perform the intended work is to use an actuator/motor that will provide appropriate force and/or moment. There are actuators with different properties that will enable the machine or mechanism those are expressed as external force or moment, to meet the desired kinematic requirement. The choice of actuators varies depending on the application. Asynchronous or induction Alternating Current (AC) motors are frequently used in industry to drive machines. An important feature of most AC motors is the torque-speed curve. In this study, it is explained how to define the speed-torque characteristic and obtain an approximate speed-torque graph using the standard catalog of motor manufacturers and Kloss formulas. 3 Kloss formulas from literature are introduced and one of them is selected to be used. A Scotch Yoke mechanism used for packaging purposes is chosen as an industrial application. The equation of motion of that mechanism is obtained and a numerical solution is shown. It is investigated that the selected motor is enough to drive the mechanism. Additionally, the effect of adding a flywheel to the system on the fluctuation of speed is also examined.

Keyword: AC motor selection, Torque-speed curve, Kloss formula, Scotch Yoke mechanism.



HASAN KALNONCU 415" SHI

13-16 NOVEMBER, 2023 KARADENIZ TECHNICAL UNIVERSITY PROF. DR. OSMAN TURAN CULTURE AND CONVENTION CENTER



Yüksek Hızlı İnsansız Hava Araçları için NACA 0012 ve KFm-4 Kanat Profillerinin Karşılaştırılması

Muktedir GÖZÜM¹, Cevat ÖZARPA¹

¹Ankara Medipol Üniversitesi, Ankara, Türkiye muktedir.gozum@ankaramedipol.edu.tr cevat.ozarpa@ankaramedipol.edu.tr

Özet

Özet Çalışmanın amacı, KFm-4 (Kline-Fogleman) ile NACA 0012 kanat profilleri üzerinden hava akışının bir analizini sunmak, karşılaştırmasını yapmaktır. Bu karşılaştırma sonucunda ise yüksek hızlı insansız hava araçlarında kullanımının uygunluğunu değerlendirmektir. Yüksek hızlı insansız hava araçlarında hız artırılırken, daha stabil uçması, manevra kabiliyetinin iyi olması, sürükleme kuvvetinin de oldukça azaltılması ve ayrılmanın geciktirilmesi önem arz edecektir. Hesaplamalar, hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri yapılarak elde edilmiştir. İki boyutlu ve üç boyutlu kanat profili eşdeğer sonucu gösterdiğinden, iki boyutlu kanat kullanılmıştır. Hesaplamalar, 0,6 Mach hızda sıfır derece hücum açısı için sabit bir hız muhafaza edilerek düşük reynolds sayısında yapılmıştır. Hesaplamada, ızgara boyutu veya düğümleri değiştirerek sonucun doğruluğunu göstermek için bir test yapılmıştır. Düğüm sayısı arttıkça taşıma katsayısı da arttı ancak 305100 düğüme ulaşır ulaşmaz, taşıma katsayısı durgunlaştı. Sonuç olarak da NACA 0012 profili için 0,10103 değerinde taşıma katsayısı elde edilirken KFm-4 profili için ise 0,072038 taşıma katsayısı değeri elde edilmiştir. Böylece yüksek hızlı insansız hava aracında NACA 0012 profilinin kullanılmasının daha uygun olacağına kanaat getirilmiştir.

Keyword: Kline-Fogleman, NACA 0012, Yüksek Hızlı İHA, Simetrik Kanat Profili, HAD Analizi

•

HASAN KALNONCU 415" SH



BİYOMİMETİK YILANSI ROBOTLARIN TASARIM KRİTERLERİ

MURAT GÖKMEN^{*1}, CEVAT ÖZARPA²

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Karabük, TÜRKİYE
²Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ankara, Türkiye
*muratgokmen1071@gmail.com

ÖZET

Asırlar boyu insanlar tabiattan ilham alarak yaşamlarını idare ettiler, keza aynı şekilde karşılaştıkları problemleri çözmek için yine tabiata başvurdular ve her defasında da karşılık aldılar. Bugün mühendislikte problem çözmek için sıkça biyomimetik yöntemlere başvuruluyor. Doğal afetlerin neticesinde, özellikle deprem sonrası oluşan enkazlarda arama kurtarma faaliyetlerini sürdürmek için farklı tip robotlar geliştirildi. Bunların başında yılan robotlar yer almaktadır. Yılan robotların engel tanımaksızın hareket etme kabiliyetlerinin olması ve bulunduğu çevre koşullarına uygun hareket sergilemesi, bu alandaki çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Yılan robotlara çalışma ortamlarına göre hareket kabiliyeti kazandırılması, tasarım ve robot kontrolündeki en önemli yeri almaktadır. Bu çalışmada enkaz altında arama kurtarma faaliyetlerini ifa edecek, enkaz zede ile gerekli iletişimi sağlayacak olan yılan robotlar incelenmiş olup, tasarım ve gereksinim kriterleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın neticesinde enkaz altında hareket edip arama kurtarma faaliyetlerini etkin bir şekilde sürdüren biyomimetik yılanışı robotun tasarım kriterleri saptanmıştır. Bu kriterler nazarında yeni tasarım anlayışları geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yılansı Robot, Tasarım Kriteri, biyomimetik, Biyomimikri, Deprem

1. Giriş

Doğal afetler insanlık için kaçınılmaz bir gerçektir. Doğal afetleri durdurmak pek mümkün gözükmese de onların etkilerini azaltmak bizlerin elindedir. Deprem bölgesi kuşağında olan ülkemizde deprem gerçeği ile bir kez daha derin bir üzüntü ile 06.02.2023 tarihinde yüzleştik. Deprem sonrası oluşan enkazlarda arama kurtarma faaliyetlerinin ne kadar hayati bir öneme sahip olduğunu bir kez daha gözlemledik. Arama kurtarma faaliyetlerinde, gelişen teknolojinin yansımaları görülmektedir[1]. Bu kapsamda geliştirilen robotların, tabiatın bir parçası olan yılanlardan ilham alınarak ortaya konması bizleri bir kere daha sorunlarımızın üstesinden gelmek için tabiata yönlendirmektedir. Doğadan öğrenmenin bir çeşidi olan biyomimikri bu çalışmaların başlıcalarındandır.

İnsanoğlunun varlığından bu yana birçok sorunla karşı karşıya kalmıştır. Kalmış olduğu bu sorunları çözmek için ise birçok farklı yola başvurmuştur. Fakat bu farklı yollara nazaran sorunlarının çözümü için daima elinin altında olan bir kaynağa başvurmuştur, yani tabiata. Tabiatı gözlemleyerek, karşılaştıkları sorunları tabiatın var ettiği çözüm yollarıyla ve bu çözüm yollarını taklit ederek çözüm üretmiştir. Bugün ise tıpkı geçmişte olduğu gibi tabiatı gözlemleyerek ve taklit ederek çözüm üretmekteyiz. Bu çözüm yolunu biyomimikri olarak adlandırmaktayız[2]. Biyomimikri kavramı, bios: yaşam, mimesis: taklit etmek anlamına gelen kelimelerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Biyomimikrinin ana gayesi, tabiatın dilini



tasarımcıya çeviren bir araçtır. Biyomimikri, tabiatın yapısını, sistematiğini, var oluş aşamalarını analiz edip inceleyen ve bu incelemelerden elde ettiği bilgilerden yola çıkarak tabiatı taklit ederek yahut buradan yola çıkarak yeni içerikli tasarımlar oluşturan, var olan problemleri çözmeye yönelik bir bilimdir[3].

2. Materyal ve Metot

HASAN KALNONCU 415"

Bu çalışmada, her bir eklemi modüler bir yapıya sahip olup çok dar alanlarda insanın ulaşma kabiliyetinin olmadığı alanlarda engel tanımaksızın hareket edebilme kabiliyetine sahip robot tasarımı kurgulanmıştır. Çalışmada ilk olarak biyomimetik yöntem incelenmiş olup uygulanacak robot tasarımı için en uygun canlı türü seçilmiştir. Yapılan çalışmaların neticesinde yılanların hareket kabiliyetinin yüksek olması ve her türlü çevre şartlarında hareket edebilmesi robot tasarımı için yılan tercih edilmiştir. Yapılan literatür çalışmasının neticesinde yılan robotun hareket türü ve hareket kabiliyetleri belirlenmiştir. Yılan robotu tasarımında önemli bir yere sahip olan kullanım alanı ise tasarım kriterlerinin başında gelmektedir ve bununla birlikte tasarım için uygun çalışma alanları belirlenmiştir. Robotun elektronik ve gereksinim komponentleri farklı çalışmalar ile kıyaslanarak belirlenmiştir. Şekil 1. de robot tasarım süreçleri görülmektedir.

Her birleşen eklemli bir yapıya sahip olmasından dolayı robotun hareket sahası genişlemiştir. Modüllerinde bulunan servo motorlar sayesinde önüne çıkan yükseklik, basamak gibi engelleri aşabilmektedir. Robota yerleştirilecek kamera sayesinde anlık olarak alınan görüntüler ışığında, kolaylıkla operasyonel kabiliyeti sağlanabilir. Yılan robotun baş kısmında bulunan sensörler vasıtasıyla bulunduğu çevredeki sıcaklık, gaz, nem gibi değerleri operatöre iletir. Robot kontrolünün sağlanması ve ortamından görüntü alınması için vericilerin bulundurulmalıdır. Yılan robot ile kontrol uzaktan kumanda ile RF sinyaller ile sağlanmaktadır. Sensörlerden gelen ortam bilgileri ve kamera görüntüsü kumanda ekranında yer alır ve buradan durum değerlendirmesi yapılabilir. Robotun tasarımı ve modellemesi CAD (Solidworks, Catia) programlarında tasarlanmış olup daha sonrasında ANSYS 19.2v programında yılan robotun analizleri yapılabilmektedir. Yılan robotun hareket kabiliyeti ise BENZETİM yöntemi ile yapılmaktadır. Tasarlanacak yılan robotların modüler yapıya sahip olmaları onları geliştirmeye açık ve sonradan yapılacak eklemelerin daha kolay tatbik edilmesine imkân sağlamaktadır.



Şekil 1. Robot Tasarım Döngüsü



2.1 Biyomimikrinin üç temel yaklaşımı;

2.1.1 Tabiatın Dokuz İlkesi;

HASAN KALNONCU 415"

Tabiat işleyişini 9 farklı ilke üzerine devam ettirmektedir. Bu ilkeler tabiattaki tüm sistemlerin müşterek özelliklerini yansıtmaktadır, insanların tabiatı taklit edip problemlerini çözecekleri vakit tasarımlarını bu ilkeler doğrultusunda yapmalıdır[4]. Bu ilkeler aşağıdaki gibidir:

- a) Tabiatın sürdürülebilirliğini güneş enerjisi ile sağlaması,
- b) Tabiat sadece asgari ihtiyacı doğrultusunda enerji kullanır,
- c) Tabiat yapıyı işleve münasip hale getirir.
- d) Tabiatta her şey geri kazanımlıdır,
- e) Tabiat kazan kazan ilkesi mevcuttur,
- f) Tabiat değişkendir, değişmeye eğilimlidir,
- g) Tabiat bölgesel uzmanlığı arzu eder,
- h) Tabiat aşırılıktan kaçar,
- i) Tabiat gücünün sınırlarını zorlamaktadır

2.1.2. Bir tasarıma uygulanacak biyomimikri problem çözme seviyeleri şu şekildedir;

- a) Biçim,
- b) Ölçüt,
- c) Sistem

2.1.3. Biyomimikri Tasarım Spirali

Bu spiraldeki ana amaç öncelikli olarak ihtiyaçlara nazaran var olan problemlerin belirlenmesi. Daha sonrasında ise tespit edilen problemin tabiattaki karşılığının tespit edilmesi ve akabinde tabiatın bu probleme nasıl çözüm bulduğunun tespit edilmesi. Bulunan çözümün detaylı incelenmesi ve altında yatan temel prensiplerin belirlenmesi, son aşamada yapılan çalışmaların ve tasarımın tabiat ilklerine göre başarılı olup olmadığının değerlendirmesi[2]. Tasarım spirali Şekil 2. de gösterilmektedir. Biyomimikri spirilinden yola çıkılarak, yılansı robot uygulamaları konusunda alternatif tasarım modelleri tatbik edilip incelenmiştir.



Şekil 2. Biyomimetik tasarım spirali





2.2 Yılan Robotlar

Yılan robotların geliştirilmesi ve uygulaması ilk olarak Japonya da bilim adamı Shigeo HIROSE tarafından 1972 yılında ACM III adlı robot ile başlatılmıştır. Bu robot 20 modüler ekleme sahip olup toplam boyu ise 2 metredir. Aktif tekerlek yapısına sahip olan bu robot hareket kabiliyetini servo motorlar ile sağlamaktadır[5]. Şekil 3. de HIROSE tarafından imal edilen ACM III görülmektedir.



Şekil 3. ACM III Geliştirilen ilk yılansı robot

Yılan robot uygulamalında farklı tip hareket kabiliyetler kazandırılmaktadır. Bu hareket tipleri robotun görev çevresine uyum sağlayacak yeterlilikte olması istenir. Yılan robotların hareket kabiliyetlerini 7 başlık altında sıralayabiliriz bunlar[5];

- 1. Dönme Hareketi
- 2. İleri ve Geri Hareket
- 3. Engelleri Aşma Hareketi
- 4. Basamak Çıkma Hareketi
- 5. Boru İçerisinde ve Zorlu Çevre Koşullarında Hareket
- 6. Yüzme Hareketi
- 7. Yanal İlerleme Hareketi

Yılan robotların hareket kabiliyetleri, tercih edilecek olan tasarım kriterine göre farkındalık göstermektedir. Bu hareket türleri robotun çevreye uyumunda sağlamaktadır[6]. Aşağıda farklı tip hareket çeşitleri görülmektedir. Şekil 4. Engelleri aşma hareket örneği, Şekil 5. Basamak Çıkma hareketi, Şekil 6, Boru Yüzeyine Tırmanma ve Zorlu Koşullarda Hareket



HASAN KALMONCU 415"



TRABZON - TÜRKİYE





Şekil 4. Engelleri aşma hareket örneği



Şekil 5. Basamak Çıkma hareketi



Şekil 6. Boru Yüzeyine Tırmanma ve Zorlu Koşullarda Hareket

2.3 Yılan Robotların Kullanım Alanları

Yılan robotların kullanımında birçok farklı avantajlar vardır[7]. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Zemine yakın bir şekilde hareket ettiği için yüksek bir yerden düşme durumu barındırmamaktadır. Gövdenin büyük çoğunluğu zemin ile temas ettiğinden ağırlık merkezi zemine çok yakındır.
- Vücut yapılarından dolayı, engelli alanlarda atlamak yerine engelli alanda kıvrılma hareketi yaparak engelli alandan geçebilir.
- Yılan robotun gövdesi eklemli bir yapıya sahip olduğundan, herhangi bir eklemde sorun ile karşılaşıldığında, sorunlu eklem çıkartılarak robot görevine devam edebilir.



• Eklemli yapıları sayesinde, farklı tip hareket koşullarında rahatlıkla hareket kabiliyeti sağlayarak çevresine uyun sağlar.

Yılan robotların kullanım alanları ise belirlenen görev modüllerine nazaran değişkenlik göstermektedir. Genel olarak kullanım alanlarını 5 farklı gruba ayırabiliriz [5][8];

2.3.1 Gözlem ve keşif

HASAN KALNONCU 15"

Tasarımlarının esnekliği ve zorlu koşullarda kolay bir şekilde hareket kabiliyetlerini devam ettirmeleri, dar alanlarda insanların hareket etmesinin çok güç olduğu yerlerde gözlem ve keşif amaçlı kullanabilirler.

İnsan yaşamına uygun olmayan arazilerde, gezegenlerde, nükleer santrallerde gözlem bakım ve keşif için yılan tipi robotlar kullanabilir.

2.3.2 Arama Kurtarma

Doğal afetlerde; çığ, heyelan, deprem gibi durumların neticesinde oluşan enkaz, toprak birikintisi gibi yerlere yılan robotları görevlendirerek kaza zedelerin tespit edilmesini ve arama kurtarma faaliyetlerinin yapılması için kullanılabilir. Robotun kullanılacağı çevreye göre farklı tip sensörler 1sı, sıcaklık, gaz gibi sensörler monte edilebilir. Şekil 7. da Japon elektronik firması NEC tarafından deprem sonrası arama kurtarma faaliyetlerinde kullanım için geliştirilen robot yer almakta.



Şekil 7. NEC Tarafından Üretilen Doğal Afetler İçin Geliştirilen Yılan Robot

2.3.3 Sağlık Uygulamaları

Endoskopik uygulamaların sağlık alanında yaygınlaşması erken teşhis ve tedavi için büyük ilerlemeler sağlamaktadır. Esnek hareket saylayabilmeleri ve hassas hareketleri sayesinde bu tip robotlar cerrahi uygularda kullanabilir.

2.3.4 Askeri Alanda Uygulamaları

Çeşitli ve zorlu çevre koşullarında hareket kabiliyetleri sunmaları, askeri alanda da düşman unsurlarını gözlemlenmesinde, keşif faaliyetlerin yapılmasında etkin bir şekilde askeri alanda da kullanabilir. Farklı görev kabiliyetleri kazandırılarak, askeri personel için gerekli teçhizatın taşınması, mayın arama tarama ve imha konusunda da görev alıp kullanabilir.





2.3.5 Boru İçi Denetim

HASAN KALMONCU

Boru hatlarının içerisinde meydana gelen arızaların yerlerinin belirlenmesi çoğu vakit mali olarak külfetli bir durumdur. Bu gibi durumlarda hattın içerisine yılan robot göndererek arızalı olan kısmın tespiti yahut gerekli bakımın yapılması robot yılan ile yapılabilir, böylelikle ciddi maddi külfetten de kurtulana bilinir. Bu konuda Şekil. 8 de TÜBİTAK tarafından geliştirilen boru içi denetim robotu görülmektedir.



Şekil. 8 TÜBİTAK Tarafından Geliştirilen Boru İçi Denetim Robotu

2.4 Yılan Robot Tasarımı

Yılan robotların tasarımında ilk olarak kullanmak istenilen çevreye ve görev tanımına göre bir tasarım konsepti tercih ediliyor[9]. Bu tercihleri Tablo 1. de olduğu gibi farklı tür sınıflandırmalardan tercih edilebilir. Tasarım aşamasındaki en önemli kriter ise bu konseptin belirlenmesi olarak atfedilebilir.





Yılan robotun tasarımı genel olarak üç başlık altında toplanabilir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz[9];

- 1. Mekanik yapı
- 2. Kontrol sistemi
- 3. Güç destek sistemi

Mekanik yapının tasarımında genel olarak yılan robotun gövde tasarımı, baş ve kuyruk tasarımı yer almaktadır[10]. Kontrol sistem tasarımda ise elektronik birleşenlere yer verilmektedir. Bunlar; motor, motor sürücü, batarya, mikro işlemci, sensörler ve kamera gibi bileşenler yer almaktadır[11]. Güç destek sisteminde ise batarya yönetimi ve voltaj dengeleyicisi bulunmaktadır. Tasarım süreci bu üç ana başlık altında tatbik edilmektedir[12].



HASAN KALMONCU



Yılan robotunun bilesenlerinin kavramsal diyagramını beş başlık altında değerlendirebiliriz. Bu bileşenleri Tablo 2. de görülmektedir.

Tablo 2. Than toootunun oneşemerinin kavramsal diyagramı			
Yıla	an Robotunun Bileşenlerinin Kavramsal Diyagramı		
	Basit hareketlerin uygulanması		
Kontrol metodu	Haritalandırma ve navigasyon algoritması		
	Özel görev hareketleri (basamak, merdiven, boru)		
	 Kuvvet geri besleme kontrolü için kuvvet sensörü 		
Sensör	 Çevredeki araziyi tanımak için mesafe sensörü 		
	 Konum geri bildirimi için eklem açısı kodlayıcısı 		
Kinematik Yapı	 Daha verimli hareket için kuvvet doğrultusu 		
tasarımı	 İleri hareket etmek için motorlu tekerlekler 		
	DC motor tekerlekli yılan robot için		
Aktüatör	 Doğru dönüş için servo motor 		
	 SMA ve IPMC gibi yumuşak malzemeler 		
	Temel hareket olan yanal dalgalanma		
Hareket	Yılan robotu döndüğünde yuvarlanma hareketi		
	Çöl yılanından ilham alan yan sarma		

1 abio 2. Yılan robotunun bileşenlerinin kavramsal diyagraf	Yılan robotunun bileşenlerinin kavramsal diyagr	grami
--	---	-------

Yılansı robotun kontrolü için geri beslemeli bir CPG (Merkezi Desen Jeneratörü) ağı kullanılır. Ağ içinde osilatör olarak üç nöronlu döngüsel inhibisyonu CPG modeli kullanılır.

> $\tau_{1,i}\dot{u}_{j,i} + u_{j,i} = u_{0,i} - \beta v_{j,i} - w y_{s,i} + \sum_{k=1}^{n} w_{ik} y_{j,k}$ $\tau_{2,i}\dot{v}_{j,i} + v_{j,i} = y_{j,i}$ $y_{i,i} = g(u_{i,i}) = \max(0, u_{i,i})$ $y_{out,i} = y_{1,i} - y_{2,i}$ $i, k = 1, 2, ..., n, i \neq k; j = 1, 2, ..., m;$ m, if i = 1s =

Matsuno'nun tek nöron matematiksel modelinden yararlanarak, bir CPG ağı n CPG modülü içerir ve her bir modül m nörona sahip olacak şekilde temel denklemlerin bir grupla tanımlanabilir. *i.* CPG modülündeki *j.* nöron için matematiksel model verilmiştir. *n*, ağdaki CPG modüllerinin sayısıdır; m, bir CPG modülündeki nöronların sayısını temsil eder; s, j. nörona bağlı olan nöronun seri numarasını ifade eder; $u_{j,i}$ CPG modülündeki j. nöronun membran potansiyelini temsil eder; $y_{i,i}$ adaptasyon derecesini temsil eden değişkeni ifade eder; $u_{0,i}$ tonik sürüs girdisini ifade eder; $\tau_{1,i}$ ve $\tau_{2,i}$, membran potansiyeli ve adaptasyon derecesi için zaman sabitlerini belirleyen parametrelerdir; β , adaptasyon katsayısını ifade eder; w, nöronlar arasındaki ağırlığı temsil eder; w_{ik}, i. modülün k. modülden gelen bağlantı ağırlığını ifade eder; $y_{i,i}$, i. CPG modülündeki j. nöronun çıkışını temsil eder; $y_{out,i}$, i. CPG modülünün çıkışını ifade eder. [1][13-14].


3.Sonuçlar

Doğal afetleri engellemek mümkün olmasa da etkilerini azaltmak elimizde. Bu çalışmada deprem sonrası oluşan enkazlarda arama kurtarma faaliyetleri sürdürecek yılansı robotların tasarımı, tasarım aşamaları ve tasarım kriterleri incelenmiştir. Yapılan çalışmaların neticesinde yılan robot tasarımında üç kritik esas saptanmıştır bunlar; mekanik yapı, kontrol sistemleri ve güç destek sistemi olarak belirlenmiştir. Mekanik tasarımda robotun hareket tipi, eklem yapısı ve çevre koşulları önemlidir. Bu parametrelerin belirlenmesinde robotun kullanacağı çevre faktörleri en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Robot tasarımı sürecinde tercih edilecek motor tipi, sensörler ve kontrol donanımı yılan robot tasarımında kritik faktörler ve birleşenler olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın neticesinde yapılan incelemeler ve karşılaştırmalar yeni yapılacak yılan robot tasarımı ve uygulamalarında yol gösterici bir yere sahip olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu akademik çalışma, Murat Gökmen'in yüksek lisans tez çalışması temel alınarak geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasının tasarlanması, araştırılması, yürütülmesi ve oluşturulması sürecinde, büyük destek, yönlendirme ve bilgi sağlayan değerli akademisyenimiz Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA'ya en derin teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- 1. Patel, P., "Design And Testing of Snake Robot", (2018).
- 2. Yıldız, H., "Endüstri Ürünleri Tasarımı Kapsamında Biyomimetik Tasarımın Yeri ve Metodolojisi", (2012).
- 3. Bakırlıoglu, Y., "Biomimicry For Sustainability: An Educational Project İn Sustainable Product Design", (2012).
- 4. Kuday Irmak, "Tasarım Sürecini Destekleyici Faktör Olarak Biyomimikri Kavramının İncelenmesi", (2009).
- 5. Kılıçarslan, A., "Yılan Tipi Hareket Mekanizması Ve Hareket Kontrolü", (2005).
- 6. Fu, Q., "Snake And Snake Robot Locomotion In Complex 3-D Terrain", (2023).
- 7. Shi, P., Shao, Q., And Liang, D., "Design And İmproved Serpentine Curve Locomotion Control Of A Planar Modular Snake Robot", *2016 Ieee International Conference On Information And Automation, Ieee Icia 2016*, (July): 1398–1402 (2017).
- 8. Koç, A., Öğdü, Ç. U., Balçiçek, M. M., Ayöz, A., And Karaköse, P. M., "Özel Amaçlı Bir Robot Tasarımı İçin Kontrol Ve Modelleme Yaklaşımı", 1 (1): 477–482 (2022).
- 9. Mu, Z., Wang, H., Xu, W., Liu, T., And Wang, H., "Two Types Of Snake-Like Robots For Complex Environment Exploration: Design, Development, And Experiment", *Advances In Mechanical Engineering*, 9 (9): 1–15 (2017).
- 10. Abut, T., "Biryılansı Robotun Tasarımı Ve Kinematik Analizi", (October): (2012).
- 11. Çetin, G., "Göçük Altında Kalanların Tespiti İçin Biyonik Yılan Robot Tasarımı Gökhan", 3 (1): 63–78 (2022).
- 12. Kedikli, K., Yıldız, B., Toka, K., And Genç, A., "Deprem Enkazı Sonrasında Keşif İçin Radyo Frekansıyla Uzaktan Kontrollü Sürüngen Robot Prototipinin Gerçekleştirilmesi", *Gazi Journal Of Engineering Sciences*, 8 (1): 41–48 (2022).
- 13. Himanth, M., Bharath, L. V., And Didymus, T. M., "Wave-Like Locomotion Of A Snake Robot: Mathematical Modelling And Simulation", *International Journal Of Mechanical And Production Engineering Research And Development*, 7 (6): 285–296 (2017).
- 14. Matsuno, F., & Sato, H. Trajectory tracking control of snake robots based on dynamic model. In Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 3029-3034). Ieee. (2005, April).



HASAN KALNONCU 415"



Preliminary Findings of the ERA-MIN 2 Project (ELiMINATE) on the Management and Treatment of End-of-Life Lithium-Ion Batteries (LIBs)

<u>E. Y. Yazici</u>^{*a*, *}, H. Deveci^{*a*}, O. Celep^{*a*}, C. Dorfling^{*b*}, R.F. van Schalkwyk^{*b*}, E. Emilsson^{*c*}, A. Wu^{*c*}, M. Petranikova^{*d*}, E. Eken Torunoglu^{*e*}, E. Cuhadar^{*e*}, C. Eyupoglu^{*e*}

^a Hydromet B&PM Research Group, Division of Mineral&Coal Processing, Department of Mining Engineering, Karadeniz Technical University (KTU), 61080, Trabzon, Türkiye

^b Department of Chemical Engineering, Stellenbosch University (SUN), Stellenbosch, South Africa

^c IVL Swedish Environmental Research Institute (IVL), Sweden

^d Chalmers University of Technology, Sweden

^e EXITCOM Recycling, Kocaeli, Türkiye

ABSTRACT

The current rate of generation of end-of-life (EoL) lithium-ion battery (LIBs) waste is expected to increase, due to the ever-growing market for consumer electronics and electric vehicles. To manage the ever-increasing waste of LIBs, hydrometallurgical processes can be suitably exploited since they offer some advantages over pyrometallurgical processes, including more selective and higher recovery of the contained values as well as their potential to operate profitably at small scale. More stringent environmental regulations that can be expected in the future, as well as increasing demand for the recycled metals/materials, require comprehensive investigations into hydrometallurgical process options. ELiMINATE is a multi-faceted project with the aim of evaluating several alternative hydrometallurgical processes for recycling metals from cathodes, the value chain integration of the processes, environmental impacts and material flows. The goal is to ensure optimal resource efficiency in the LIB recycling value chain and processes. Within the scope of the project, data collection and mapping of EU Li-ion battery recyclers have been demonstrated. The life cycle modelling of chemical processes using mineral acids (HCl, H₂SO₄) and organic acids (citric acid) was performed to obtain the environmental impact for the screening analyses using feed materials of nickel manganese cobalt (NMC), lithium cobalt oxide (LCO) and other type of batteries. Material mapping and logistic network modelling for recycling of EoL LIBs were developed for the South African and European contexts. This information was used to determine optimal locations for collection centres and processing plants. Preliminary experimental studies to develop a novel recycling process for EoL LIBs were carried out. Leaching of metals were investigated in acid solutions in the presence of different reducing agents. Findings have demonstrated that high extraction of metals can be achieved under suitable conditions and metals can be recovered from pregnant leach solutions in the form of different salts/compounds.

Keywords: Lithium-ion battery (LIB), Life Cycle Assessment (LCA), Material Flow Analysis (MFA), Process Modelling, Hydrometallurgy, Recycling.

* Corresponding author (eyazici@ktu.edu.tr)

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors would like to appreciate ERA-MIN 2, co-funded by the Horizon 2020 programme of the European Union, and national funding organisations (DSI/South Africa, Vinnova/Sweden, TUBITAK/Türkiye (Project No: 120N275)) for the financial support for "End-of-life Li-ion battery management integration and technology evaluation (ELiMINATE)" Project.





FABRICATION OF COATED GRAPHITE WIRE FOR FLEXIBLE ELECTRONIC APPLICATION

METIN BEDIR¹, HUSEYIN FAAL¹, ABDULCABBAR YAVUZ*,¹

¹Gaziantep University, Türkiye ^{*}ayavuz@gantep.edu.tr

Abstract

In order to ensure the functionality of wearable electronics, it is important that all components possess flexibility. Consequently, a flexible device reliant on electrochemical reactions necessitates the presence of flexible electrodes (both anode and cathode), a flexible separator containing electrolyte, and flexible casing. Flexible separators and outer casings can be readily located. However, the range of flexible current collectors that possess electroactive electrodes on their surface is limited. Hence, a crucial element in conventional flexible energy storage devices is the necessity of current collectors. Previous research has investigated the utilization of graphite-based carbon paper, fabrics, and various metal meshes such as stainless steel mesh and nickel mesh for the development of thin and flexible energy storage devices. In this study, graphite wires were electrodeposited by metals and alloys. The coating bath was choline chloride and ethylene glycol based ionic liquid. The structure, composition and morphology of the electrodes were investigated. The resulting electrodes were transferred into different electrolytes for cycling. The cycling electrolytes were alkaline (KOH), acidic (HCl) and neutral (Na2SO4). The scan rate of cycling was changed to find limiting reactions between electrode and electrolytes. Capacitance and stability of electrodes were analyzed. As the electrochemical performance of graphite filament was increased after electrodeposition, the coated (modified) graphite filament could be knitted for flexible electronic devices.

Keywords: Graphite, Supercapacitor, Flexible, Electrode





INDIUM OXIDE COATED FLEXIBLE ELECTRODE CYCLING IN AN IONIC LIQUID

ABDULCABBAR YAVUZ

Gaziantep University, Türkiye ayavuz@gantep.edu.tr

Abstract

Electronics, sometimes referred to as e-textiles or electronic textiles. E-textiles, also known as smart textiles, refer to wearable fabrics that possess the capability to function as communication tools, actuators, and energy storage devices. The utilization of flexible electrodes in energy storage applications has been conducted. However, the fabrication of such applications are limited. Supercapacitors exhibit considerable potential as energy storage devices due to their notable attributes, including a high specific power, enabling rapid charge-discharge cycles, and an extended chemical (electrochemical) stability when compared to conventional batteries. Using an ionic liquid containing InCl3, we electrodeposited an indium-based coating onto a mesh current collector for flexible energy storage devices. There were two types of electrolytes used to cycle the indium-coated mesh: aqueous (both alkaline and neutral) and non-aqueous (ionic liquid). Since indium is inactive electrochemically when dissolved in water, an electrode based on indium could not be used in aqueous solutions. Conversely, the indium-based layer did not disintegrate when the electrode was scanned in a non-aqueous ionic liquid electrolyte, suggesting that the ionic liquid might be used as a cycling electrolyte for indium-based coatings on a flexible substrate. In2O3-coated mesh current collector could serve as a negative electrode in batteries and other energy storage devices.

Keywords: Indium, Supercapacitor, Flexible, Electrode





SYNTHESIS AND PHOTOCATALYTIC DEGRADATION CAPABILITY OF DISTINCT ZNO MORPHOLOGIES

DERYA KAPUSUZ YAVUZ^{*,1}, MUHAMMED EL ACCEN¹, METIN BEDIR¹

¹Gaziantep University, Türkiye ^{*}dkapusuz@gantep.edu.tr

Abstract

Zinc oxide is a versatile material that is extensively promising for various applications, including biomedical, photocatalytic, and energy. This study presents ZnO synthesis using calcination and solvothermal methods to obtain distinct morphologies. By employing sodium hydroxide and acetic acid as additives, different ZnO morphologies such as flower-like structures, nanorods, nanospheres, and urchins were successfully obtained. Characterization of the ZnO morphologies was carried out using scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction (XRD) techniques, enabling a correlation between morphology and photocatalytic behavior. SEM images provided visual evidence of the distinct shapes and sizes of the ZnO nanostructures, while XRD analysis confirmed their high crystallinity and pure wurtzite phase. The addition of sodium hydroxide and acetic acid played crucial roles in directing the crystal growth and controlling the morphology of the ZnO nanostructure, influencing their photocatalytic performance. The photocatalytic degradation performance of particles was assessed by studying the degradation of organic pollutants in aqueous solutions. Results showed that flower-like morphology was particularly more relevant for photocatalytic degradation. 22 % of the model dye was photocatalytically degraded after 1h, by ZnO flowers. This work revealed an understanding to build a correlation between synthesis parameters, diverse morphologies and photocatalytic activity of ZnO. In addition, it provided a basis for to explore potential of ZnO in various advanced technologies, enriching the field of nanomaterials and nanotechnology.

Keywords: Zinc oxide, Photocatalytic, Morphology, Fower-like



HASAN KALNONCU 415" ----

TRABZON - TÜRKİYE



EXPERIMENTAL VERIFICATION OF LOW PRESSURE KINETICS MODEL FOR THE DIRECT SYNTHESIS OF DIMETHYL CARBONATE OVER CEO2 CATALYST

AMIRA ABDELBAR¹, IBRAHIM G¹, HA CHOUDHURY¹, CHALLIWALA¹, ELBASHIR NIMIR^{*,1}

¹Texas A M University, Qatar ^{*}nelbashir@tamu.edu

Abstract

Due to its low toxicity and biodegradability characteristics, dimethyl carbonate (DMC) is regarded as the "cornerstone" of green synthetic chemistry. DMC can be utilized as a precursor in producing important polymers such as polycarbonates and polyurethanes. Furthermore, due to DMC blending properties, excellent miscibility with water and organic solvents, and high oxygen content (53.3%), it is used in lithium-ion batteries and as a fuel additive for gasoline and diesel, helping to reduce the particles and NOx emissions. The major route that the industry relied on for the synthesis of DMC was the phosgenation of methanol (MeOH); however, due to the high toxicity of phosgene this method is no longer desired. Therefore, new methods, such as direct synthesis from carbon dioxide (CO2) and MeOH, are considered an attractive and promising potential route for DMC synthesis. This method offers environmental benefits due to its low toxicity, which makes it a semi-benign process, in addition, it offers an opportunity for CO2 utilization prospect. DMC stands to be one of the most promising products derived from CO2 as reported by many researchers in the literature [1] and has the potential to be a model reaction for Carbon Capture and Utilization (CCU).

However, the formation of DMC from CO2 through direct synthesis is an energy-intensive process because CO2 is a highly stable molecule with low reactivity. Moreover, the reaction is thermodynamically unfavored with the methanol conversion towards DMC limited to around 1% even under favored conditions [2]. In addition, as a byproduct, the in situ formed water shifts the reaction equilibrium toward the hydrolysis of DMC. As a result, an efficient catalyst is needed to overcome the barrier of reaction energy, on the other hand, an in-situ water removal is needed to shift the equilibrium towards the DMC production. Thus, different catalysts have been studied and reported in the literature, such as cerium oxide (CeO2), zirconium dioxide (ZrO2), silicon dioxide (SiO2), and titanium dioxide (TiO2), with CeO2 demonstrating the best performance. DMC synthesis through the direct process requires very high pressures, exceeding 150 bar, which negatively impacts the CO2 fixation potential of the process due to higher compression duties. An option to overcome the limitation of synthesizing DMC from MeOH and CO2 is conducting the reaction in a reactive distillation (RD) environment column. The RD column has the potential to shift the equilibrium; however, at relatively lower pressure and temperature conditions than the required for the process (i.e., typically ranging from 5 to 30 bar and 100 to140 °C).

The current study is focused on exploring a series of catalysts and water-removal chemicals besides modeling the RD column for DMC synthesis using MeOH and CO2. In order to support the design and an efficient RD system, a low-pressure kinetics model is developed. The model



HASAN KALNONCU 415"

TÜRKİYE

TRABZON



is developed based on the Langmuir-Hinshelwood (L-H) kinetic based on the reaction mechanism of the direct DMC synthesis. It is noteworthy that similar models have been reported in the literature but at relatively much higher pressures than those required for typical RD column operation (e.g., 200 bar). The reaction synthesis medium is different at the lower pressure conditions, and CO2 exhibits gas-phase behavior, unlike at higher pressures where near critical and supercritical media is expected. To verify the model's accuracy, we developed an extensive experimental campaign for the low-pressure DMC conditions over a nano-CeO2 powder catalyst. The influence of various parameters such as temperature, catalyst mass, initial CO2/MeOH ratio, and pressure on the reaction have also been studied and discussed throughout this work. The experimentally verified rate expression for the low-pressure kinetic model was reached by assuming different rate-limiting steps and identifying the best option through regression. The Mean Absolute Percentage Error (MAPE) for the surface reaction recorded the lowest percent error with a value equal to ~17%, indicating that it is the rate-limiting step for DMC synthesis.

Keywords: Dimethyl Carbonate, CeO2 Catalyst, Synthesis

TRABZON - TÜRKİYE



EVALUATING SEVERAL PATHWAYS FOR SUSTAINABLE AVIATION FUELS SAF PRODUCTION VIA GAS TO LIQUID GTL PROCESS RETROFITTING A STEP TOWARDS INTEGRATING RENEWABLE ENERGY AND CCU PROCESSES

YASMIN ABDELKERIM¹, MOHAMED S CHALLIWALA¹, NIMIR O ELBASHIR^{*,1}

¹Texas A.M University, Qatar *nelbashir@tamu.edu

Abstract

The aviation sector contributes to global greenhouse gas (GHG) emissions, raising concerns about climate change and environmental sustainability. The aviation sector is responsible for over 2% of global CO2 emissions and contributes to 3.5% of climate change. This industry is facing mounting pressure to address its environmental impact, and therefore, to mitigate this challenge, Sustainable Aviation Fuel (SAF) has emerged as a promising neutral emission solution. In particular, SAF is derived through two main pathways: biofuel SAF and synthetic SAF. Biofuel SAF is derived from renewable resources such as energy crops, fat oils, agricultural residues, etc.

In contrast, synthetic SAF is derived from conventional pathways such as crude oil or natural gas via technologies such as XTL (X stands for gas, liquid, or solid (e.g., coal and municipal solid waste)). Quantitatively, the production of GTL aviation fuel results in a carbon intensity value of 100 g CO2e/MJ, while conventional jet fuel derived from crude oil has a slightly lower value of 84 g CO2e/MJ. However, alternative sources like Synthetic Paraffinic Kerosene (SPK) made from bio SAF range from 6 g CO2e/MJ to 49 g CO2e/MJ [1], depending upon the source and production method. However, most aviation fuel globally is from synthetic pathways such as GTL and crude oil, so decarbonizing these processes is critical. Catering to this requirement, the present work explores decarbonization solutions utilizing a hybrid CCU and renewable energy implementation on conventional GTL processing facilities.

Our approach involves creating a base case with a GTL plant that produces SAF and then applying several modifications, including: firstly, shifting the process energy source from natural gas to solar energy as the primary power source. Secondly, integrating a novel natural gas reforming technology known as CARGEN® in the GTL retrofitted plant, an innovative CCU technology previously developed in our research group. CARGEN® Technology presents a promising solution to recycle direct CO2 emissions from the plant as feedstock alongside natural gas to produce carbon neutral/carbon negative multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and syngas. In the third step, a combination of CCU technology as well as the implementation of renewable energy is incorporated. In the final step, the reforming step in the GTL plant is retrofitted using renewable methods such as electrolysis and utilizing the water gas shift reaction. Ultimately, the cases above are studied compared to the targets required to produce SAF.

Our preliminary targeting assessments have shown a potential to reduce the carbon intensity of the existing GTL process from 136 g CO2e/MJ to 13 g CO2e/MJ [2]. Further implementation

HASAN KALNONCU 415" SHI



of the CCU technologies such as CARGEN®, water electrolysis, or water gas shift reaction will aid in direct CO2 sequestration and ultimately gearing the CO2 intensity to net-zero or carbon negative, which is highly desirable.

Our efforts continue to conduct detailed assessments for systematic decarbonization of the existing GTL processing plants and their transformation to SPK SAF. This study is part of a mega decarbonization study that aims to decarbonize the process industry using innovative CCU and renewable energy solutions. The presentation will provide more insights and a detailed discussion on the recent outlook from the project, hinting at the sustainability targets, capital investments, and the economic benefits resulting from such opportunistic transformation of the GTL industry for SAF production.

Keywords: SAF, GTL, Renewable energy



HASAN KALNONCU 415"



AL 6016 SERISI SACLAR ILE AL 5182 SERISI SACLARIN CMT METODUNDA FARKLI KAYNAK AKIMLARI ILE BIRLESTIRILEBILIRLIGININ INCELENMESI

UFUK OZTURK^{*,1}, CİHAN YAKUPOGLU¹, IBRAHİM ACAR², FARUK VAROL²

¹Akpres Otomotiv A.Ş., Türkiye ²Sakarya Uygulamali Bilimler Universitesi Karasu Meslek Yuksek Okulu, Türkiye ^{*}ufuk.ozturk@akpres.com.tr

Özet

Bu çalışmada otomotiv gövde ve şasi parçalarının üretiminde kullanılan 2 mm kalınlığında Al 6016 levhalar ile 1,5 mm kalınlığında Al 5182 serisi levhalar farklı kaynak akımlarıyla (75A, 80A, 85A, 90A, 95A, 100A, 105A, 110A) birleştirilmiştir. Bu birleştirmeler, gazaltı ark kaynağının soğuk metal transferi (CMT) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Uygulanan kaynak pozisyonu alın alına olarak belirlenmiştir. Bu uygulama 1 mm çapında alüminyum esaslı ER4043(AlSi5) dolgu teli ile %100 Argon koruyucu gazı kullanılarak tam otomatik robotik sistemde gerçekleştirilmiştir. Soğuk metal transferi (CMT) yöntemi ile birleştirme işlemleri sonrasında çekme dayanımı (MPa), eğme testi, sertlik değerleri (HV), birleştirme bölgelerindeki makro ve mikro testler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AL6016, Al5182, Soğuk Metal Transferi, ER4043





FOTOVOLTAIK TEKNOLOJISININ GUNCEL DURUMU VE KAPSAMLI DEGERLENDIRMESI

NECIP FAZIL YILMAZ¹, HASAN MITHAT DELIBAS^{*,2}

¹Gaziantep University, Türkiye ²Hasan Kalyoncu University, Türkiye ^{*}hmithat.delibas@hku.edu.tr

Özet

Hızla yükselmekte olan insan nüfusu ve gelişen yaşam standartları ile birlikte insanoğlunun enerji talebi her geçen gün daha da artmaktadır. Günümüzde küresel enerji talebinin yaklaşık olarak %80'i fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır. Ancak, doğada kendini yenileyememesi nedeniyle tükenebilir bir enerji kaynağı konumunda bulunan fosil yakıtların kullanım ömürlerinin bir sınırı vardır. Aynı zamanda, yüksek oranlarda fosil yakıt kullanımı sera gazı etkisine sebep olarak küresel anlamda yıkıcı çevresel olumsuzluklara neden olmaktadır. Bahsedilen olumsuz sebeplerden dolayı insanoğlu günümüzde temiz, sınırsız ve güvenilir enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bunların verimli ve ucuz kullanım yollarının araştırılmasına büyük önem vermişlerdir. Bu noktada solar enerji, özellikle son çeyrek asırdır hem üretim potansiyeli hem de görece karmaşık teknolojiler gerektirmemesi gibi birçok olumlu özelliklerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaktadır. Bu durum, enerji alanında çalışan araştırmacıları fotovoltaik sistemlerin yapısı ve uygulamaları üzerine çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalar neticesinde fotovoltaik sistemler her geçen gün önemini artırırken, kullanım alanları da git gide genişlemektedir. Ancak tüm bu çalışmalara rağmen temel dezavantajları hala tasarım ve işletme koşullarına dayanmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik teknolojisinin güncel durumu incelenmiş, fotovoltaik sistemler ile ilgili genel kısıtlamalar irdelenmiş ve bu kısıtlamaları aşmak amacıyla gerçekleştirilen güncel çalışmalar derlenerek kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Teknolojiler, Fotovoltaik Verimlilik, Fotovoltaik Hücre, Solar Enerji, Güneş Enerjisi

HASAN KALNONCU 415"



STRENGTHENING AL 2024 ALLOY VIA EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING AND SUBSEQUENT AGING

MUHAMMET DEMİRTAS^{*,1}, HARUN YANAR², MUHAMMET UZUN², MELİH USTALAR², GENCAGA PURCEK²

¹Recep Tayyip Erdogan University, Türkiye ²Karadeniz Teknik University, Türkiye *muhammet.demirtas@erdogan.edu.tr

Abstract

Wrought Al alloys are widely used in aerospace, high-speed rail vehicles, automobiles and other structural parts due to their relatively high specific strength, good corrosion resistance and welding performance. All of these applications require high strength and also a well-adjusted strength-plasticity optimization. For the heat treatable strengthening Al 2024 alloy with specific composition, the adjustment of its strength-plasticity matching can be realized through two primary aspects, namely grain size and nano precipitates. In the present study combined effect of grain boundary strengthening/strain hardening and precipitate formation were considered to optimize strength and plasticity of Al 2024 alloy. To do so the alloy was subjected to 4 passes ECAP at 150 °C followed by recrystallization and aging steps at 500 °C and 180 °C, respectively. Initial coarse-grained microstructure having 86 µm grain size refined down to 2.78 µm after the ECAP. The microstructure consists of mostly recrystallized and subgrained microstructure at the ECAPed condition due to the relatively high ECAP temperature for the Al 2024 alloy. Recrystallization + aging after the ECAP process increased grain size of the alloy to 50.7 µm. Exessive precipitate formation was also observed after the aging process. Strength of Al 2024 increased 40 % via ECAP and subsequent aging as compared to the commercial state of the alloy. Such an improvement in the strength of the alloy was attributed to both grain refinement and precipitate formation.

Keywords: Al 2024 alloy; Equal Channel Angular Pressing, Gran refinement, Precipitate formation.

HASAN KALNONCU 415" ----



CUAL10FE3MN ALUMINYUM BRONZUNUN FARKLI ELEKTRIKSEL AKIM ALTINDAKI TRIBOLOJIK DAVRANISININ INCELENMESI

Harun Yanar

Karadeniz Teknik Universitesi, Muhendislik Fakultesi, Makina Muhendisligi Bolumu, Türkiye yanar@ktu.edu.tr

Özet

Nikel-alüminyum bronzları (NAB) sahip oldukları yüksek sürtünme asınma özellikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle en önemli bakır alaşımları arasında yer almaktadır. Özellikle NAB'lar ağır yükler altında üstün abrazif aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık davanımı gerektiren uygulamalar için mükemmel malzeme olarak kabul edilirler. Sahip oldukları bu tribolojik özelliklerinin yanı sıra yüksek elektriksel ve ısıl iletkenlikleri sayesinde farklı endüstriyel uygulamalar için de tercih sebebidirler. Bu çalışmada Sağlam Metal A.Ş. firmasından temin edilen CuAl10Fe3Mn nominal bileşimindeki ticari alaşım kullanılmış ve söz konusu alaşımın kuru ortam atmosferik koşullarında ve farklı elektrik akımı altındaki sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi ve bulunan sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, belli kimyasal bileşimde üretilmiş olan alaşımın mikro yapılası optik ve/veya SEM mikroskobu, mekanik özellikleri ise standart sertlik testleriyle ile incelenmiştir. Alaşımın sürtünme ve aşınma testleri ise elektriksel entegrasyonu yapılmış bir lineer (ileri-geri) sürtünme aşınma deney düzeneği (UTS Tribolog) ile gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda, alaşımın akımsız ve farklı akım değerleri altındaki sürtünme katsayısı değişimleri, kütlesel aşınma kayıpları ve aşınma mekanizmaları belirlenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlara göre, CuAl10Fe3Mn bronzunun aşınma özelliklerinin (kütlesel kayıpların) artan elektrik akımı değeriyle birlikte bir miktar arttığı dikkati çekmektedir. Bu duruma genel olarak akımlı koşullarda ortaya çıkan farklı aşınma mekanizmasının sebep olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, CuAl10Fe3Mn bronzu akımsız şartlarda yapılan testlere kıyasla akımlı koşullarda daha farklı sürtünme katsayısı değişimleri sergilemiştir. Söz konusu davranışlar ilgili malzemenin mikroyapı, mekanik özellik ve etkin aşınma mekanizmalarına dayandırılarak açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nikel-alüminyum bronzu, Sürtünme ve aşınma, Elektriksel akım altında aşınma





ELECTROLESS DEPOSITION OF SILVER ON ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE MICROSTRUCTURAL AND THERMAL EVALUATION

SERHATCAN BERK AKCAY^{*,1}, KUTAY CAVA², MUSTAFA ASLAN¹, TEMEL VAROL¹

¹Metalurgical and Materials Engineering, Türkiye ²KTU METAM, Türkiye ^{*}serhatakcay@ktu.edu.tr

Abstract

Incorporating silver (Ag) onto Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) through coating offers an avenue to enhance its surface properties and functionality. Ag is renowned for its antimicrobial and conductive attributes. Among the deposition methods, electroless plating stands out due to its chemical reduction process, eliminating the need for an external electrical current. This technique involves reducing silver ions onto the substrate surface, resulting in a uniform, thin layer. Our study focuses on investigating the influence of varied electroless deposition parameters on Ag-coated ABS filaments. We employed three different bath parameter concentrations: low (0.025 M), medium (0.0625 M), and high (0.156 M). Microstructural and thermal characterizations, encompassing XRD, TGA, and SEM analyses, were conducted on the test samples. Our findings reveal the successful deposition of a distinct conductive Ag layer onto the ABS surfaces. The optimal bath parameter was determined based on thermal properties, with the highest molarity demonstrating greater thickness on the ABS granules. Notably, a homogeneous nanolayer, ranging from 0.5% to 1% Ag powder, was evenly distributed across the granule surface. This research advances our understanding of tailored ABS surface modifications through precise electroless deposition of Ag, paving the way for multifunctional applications.

Keywords: Acrylonitrile Butadiene Styrene, Silver powder, Electroless coating, Microstructure



HASAN KALNONCU

TICMET'23

SIZE EFFECT FOR GRAPHENE A REVIEW

OMER NECATI CORA^{*,1}, HAJI ABDULLAYEV¹

¹Karadeniz Technical University, Türkiye *oncora@ktu.edu.tr

Abstract

Graphene, invented in 2005 by Novoselov et. al, has superior properties and has found application in various fields including electronics, biomedicine, energy storage devices etc. In this review, we will study graphene and its size dependent properties. The size control methodologies will be reviewed such as nanoscale cutting, chemical control, chemical synthesis, differential separation, and density gradient separation. The synthesis of graphene nanoribbons (GNRs) is a challenging task in the field of metallurgy. Later, the synthesis, characterization of monolayer Graphene nanobubbles (GNBs) based on the density functional theory (DFT) method will be detailed.

Keywords: Graphene, Size effect, Synthesis

MUHENDISLIKTE YAYGIN OLARAK KULLANILAN BAZI METALIK MALZEMELERIN KATI PARCACIK EROZYON DAVRANISININ INCELENMESI

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALMONCU 415" ----

ALİ IHSAN BUDUR^{*,1}, HASAN GEDİKLİ¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye *ali.budur@ktu.edu.tr

Özet

Bu çalışma kapsamında mühendislikte yaygın olarak kullanılan AISI 1020, SS304, Hardox 450 ve DP 600 çelik malzemelerinin katı parçacık erozyon davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında, çelik malzemelerin erozyon performanslarının parçacık çarpma açısı ve çarpma hızına göre değişimlerini elde etmek için katı parçacık erozyonu testleri yapılmıştır. Erozyon testlerinin ilk bölümü 100 m/s sabit bir çarpma hızında farklı çarpma açılarında (20°, 30°, 45°, 60°, 90°) gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde bütün çelik malzemelerde maksimum erozyon miktarları literatürdeki sünek malzemelerde olduğu gibi 20-30° çarpma açılarında elde edilmiştir. Bu testlerde en fazla erozyon aşınması DP600 çelik malzemesinde görülürken, en düşük erozyon değerleri ise Hardox 450' te elde edilmiştir. Bunlara ilaveten bütün malzemeler de meydana gelen erozyon miktarları zamanla doğrusal olarak arttığı görülmüştür. Erozyon testlerinin ikinci bölümü ise 90° sabit çarpma açısı değerinde beş farklı hız değerinde (100, 127, 170, 210, 250 m/s) gerçekleştirilmiştir. Bu testler açısı değeri artan çarpma hızı ile birlikte arttmıştır. Bu testlerde oluşan erozyon aşınması SS304 çeliğinde görülürken, en düşük aşınma değeri AISI 1020 çeliğinde görülmüştür.

Çalışmanın sayısal kısmında ise çelik malzemelerin erozyon davranışları sayısal olarak modellenmeye çalışılmıştır. Sayısal modelleme çalışmaları ile testlerde elde edilen verilere uyumlu sayısal sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmalarda ilk olarak katı cisimler mekaniği yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde LS-Dyna ticari paket yazılımı ile çelik malzemelerin erozyon davranışları modellenmiş fakat test verilerine uygun sonuçlar elde edilememiştir. Bu sebeple ikinci yöntem olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemine başvurulmuştur. Bunun için ANSYS Fluent yazılımı kullanılarak yapılan modelleme çalışmaları yapılmış ve test verilere yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı parçacık erozyonu, Çelik malzeme, Katı cisimler mekaniği, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği.



HASAN KALMONCU

TRABZON - TÜRKİYE



EFFECT OF LASER SURFACE TEXTURING ON THE TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE MATERIALS

TUFAN CAVRAR^{*,1}, RADKA BICISTOVA², TOMAS PRIMUS², PETR HAUSCHWITZ², JAN BRAJER²

¹Karadeniz Technical University, Türkiye ²Institute Of Physics Of The Czech Academy Of Sciences, Czech Republic ^{*}tcavrar93@gmail.com

Abstract

Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) is the most commonly preferred bearing material against ceramic or metallic counterparts in total hip replacement prosthesis due to its excellent combination of mechanical properties, biocompatibility and wear resistance. Even though these superior features, the service life of total hip replacement prosthesis is usually 10-15 years with some exception of 20 years or more. The main reason for this is the wear of UHMWPE or metallic components in the prosthesis. Therefore, increased service life of the prosthesis is utmost concern. To overcome this, surfaces of UHMWPE materials can be laser textured to form semi-spherical cavities that acts as lubricant pockets, and reduce friction and eventually the wear. This study aimed to reveal the effects of surface texturing via different laser sources (nanosecond and femtosecond lasers) on the three different medical grade UHMWPE materials, namely cross-linked polyethylene GUR 1020 XL, cross-linked vitamin E added polyethylene GUR 1020 EXL, and standard polyethylene all produced by Orthoplastics Inc. (Lancashire, United Kingdom) by means of block-on-disk friction tests against Ti6Al4V disk material.

Attempts to form semi-spherical cavity textures with nanosecond laser did not end up with successful results similar to the ones reported in the literature. Femto-second laser surface texturing was applied at HiLASE Centre of Czech Republic via CARBIDE CB-3-40W (Light Conversion, Vilnius, Latvia) femrosecond laser system and repeatable cavities were formed successfully (Figure 1). The cavities were formed in three different areal density (5, 10, 15%), three different cavity depth (30, 40, 50 μ m), and three different cavity diameter (40, 100, 150 μ m). Friction tests were performed with a custom made tribotester available at the Department of Mechanical Engineering of Karadeniz Technical University. Bovine serum was used as lubricant at the contact interface. Tests last 40 minutes which equivalent of 3000 m sliding distance under 150 N loading which corresponds to 1 MPa contact pressure, and with a sliding speed of 1.5 m/s.

Friction tests results showed that cross-linked vitamin E added polyethylene GUR 1020 EXL samples yielded consistently lower coefficient results and more stable characteristics.

Keywords: UHMWPE, Laser Surface Texturing, Tribology, Friction Testing

THE EFFECT OF DIFFERENT PRE TREATMENT APPLICATIONS ON SURFACE FREE ENERGY AND WETTABILITY OF GLASS FIBER REINFORCED POLYAMIDE COMPOSITE

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHNICAL UN

HASAN KALNONCU 415" SH

TICMET'2

MUSTAFA ASLAN^{*,1}, MERVE OZTURK², MUCAHİT KOCAMAN¹, KUTAY CAVA³, HAMDULLAH CUVALCİ¹

¹KTU Materials And Metarlurgical Engineering, Türkiye ²Tisas Silah Sanayi A.Ş., Türkiye ³KTU Metam Medical Device Design And Production Research Center, Türkiye *maslan@ktu.edu.tr

Abstract

Polymers, such as polyamide (PA), are among the materials frequently preferred in industrial applications, especially in the automobile and weapons industries. Additionally, surface treatments are required to enhance surface wetting and adhesion properties, as well as to improve aesthetic aspects. Surface roughness can have a significant impact on the hydrophobicity and wetting behavior of polymer composite surfaces. In this regard, pre-treatment techniques applied to such composites can improve wettability by influencing surface roughness.

This study involves the application of corona, plasma, and mechanical surface pre-treatment procedures to investigate their effects on surface roughness, contact angle, and the spreading process on glass fiber-reinforced polyamide composite surfaces. Furthermore, it aims to optimize the treatment processes. To assess the surface roughness of the samples, measurements were performed using the Mahr MarSurf PS10 surface roughness device. The Krüss DSA100 Drop Shape Analysis System, an image analysis software, was used to analyze contact angles. The surface roughness and contact angle measurements, the surface free energy values were calculated to determine the surface characteristics of the samples subjected to pre-treatment. As a result, it was observed that the samples with low contact angles and high surface roughness had higher surface free energy values, and their spreading process reached a maximum value compared to the others. Additionally, it has been determined that plasma treatment technology, which is simpler and more cost-effective compared to other procedures, enhances the wetting behavior of the sample surfaces.

Keywords: Surface treatment, Polyamide (PA), Surface roughness, Surface contact angle



EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE FORCE DEFORMATION PROPERTIES OF PURE COPPER SAMPLES **PRODUCED BY INDUCTION SYSTEM**

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415"

ALPER MUTLU^{*,1}, MUSTAFA MURAT YAVUZ², UGUR CAVDAR²

¹Dokuz Eylul University, Türkiye ²Izmir Democracy University, Türkiye *alper..mutlu@deu.edu.tr

Abstract

Samples produced by powder metallurgy can have different shapes and sizes according to the places where they will be used. The mechanical, electrical, thermal, etc. properties of materials developed for a specific task or passed through different production processes may have different values even within the structure of the sample itself and it becomes difficult to define the characteristics of the final product in a common standard. In such a situation, there are different approaches for defining and predicting the properties of the developed materials. In this study, the pure copper sample produced by induction hot pressing sintering method was subjected to forces under predetermined conditions using a 3-point bending test setup and data on its mechanical properties were obtained. In order to compare the mechanical properties of the sample with ANSYS structural analysis programme, a finite element model was created and similar tests were applied to this model in the software environment. The data obtained from the model and the material produced in the force-deformation interaction are compared with each other and the mechanical behaviours are discussed in detail.

Keywords: Copper, Induction, Sintering, ANSYS, Powder metallurgy

PREPARATION OF NI B GRAPHENE COATINGS WITH ELECTROLESS DEPOSITION TECHNIQUE

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SH

TICMET'2

SUMRAN BİLGİN^{*,1}, SAMET TOPAL¹, YUNUS EMRE USTA¹, MUHAMMET SADRİ BAYRAK¹, MUSTAFA BAYRAM¹, UMİT ALVER¹

¹Karadeniz Technical University, Türkiye *sumranbilgin@ktu.edu.tr

Abstract

Electroless coatings provide uniform coverage on complex geometries, offering precise control over coating thickness and enhancing surface properties without requiring external electrical sources. Their ability to enhance wear resistance, hardness, and other surface properties could have important effects for electronics, automotive, aerospace, and biomedical sectors. These coatings address the growing demand for durable and high-performance materials. In this study, nickel-boron/graphene (Ni-B/G) composite coatings were produced by the electroless deposition method on a steel substrate. The pre-treatment of the substrate material, bath concentration, temperature, and pH were optimized to achieve an efficient coating. The physical and chemical properties of the coatings were evaluated using X-ray diffraction and scanning electron microscopy. The findings emphasize that the electroless deposition method is suitable as a versatile technique for producing advanced coatings with desired properties.

Paper Keywords: Electroless coating, Ni-B/graphene coatings, Surface properties

HASAN KALNONCU 415"



CAM ELYAF TAKVIYELI NANO KOMPOZIT MALZEMELERIN DELME PARAMETRELERININ VIKOR YONTEMIYLE OPTIMIZASYONU

YUSUF FEDAİ

Osmaniye Korkut Ata Universitesi, Türkiye yusuffedai@gmail.com

Özet

Yüksek dayanım ve düşük ağırlık gibi birbirine zıt özellikleri bir arada bulunduran kompozitler üzerine yapılan çalışmalar günümüzde hız kazanmıştır. Yapılan çalışmada kontrol faktörü olarak, GFRP kompozit içerisne katılan MWCNT katkı oranı, kesme ve ilerleme hızın faktörlerinin, pürüzlülük, delaminasyon ve itme kuvveti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler 27 deneyden oluşan üç seviyeli tam faktöriyel tasarıma göre yapılmıştır. Deneysel verilerin varyans analizi yapılarak taguchiye göre çıktıların tek amaçlı optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre deleminasyon üzerinde et etkin parametrenin % MWCNT, kuvvet ve tork üzerinden etkin parametrenin ilerleme, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise kesme hızı ve ilerlemenin etkin olduğu görülmüştür. İkinci olarak delme parametrelerinin optimum kombinasyonunu belirlemek için, çok kriterli karar verme yöntemlerinden VİKOR yöntemi kullanılmıştır. Karar verme sürecinde sübjektiviteden kaçınmak için objektif kriter ağırlık tahsisi tekniği kullanışmıştır. Vikor yönteminden elde edilen performans değerleri Taguchi S/N oranı yöntemiyle tekrardan optimize edilmiştir. Söz konusu modeller kendi aralarında karşılaştırılarak delme işlemi için tek bir optimal koşul önerilmiştir. Son olarak, deneylerin performanslarının karşılaştırılması için doğrulama testi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cam Elyaf Takvıyelı Kompozit, Çok duvarlı karbon nanotüp, Çok kriterli karar verme yöntemi, Delme, Vikor Yöntemi



TICMET'23

ENHANCED LIGHTWEIGHT DESIGN OF ORTHOPEDIC BONE PLATES THROUGH TOPOLOGY OPTIMIZATION AND ADDITIVE MANUFACTURING

DURMUS ALİ BİRCAN^{*,1}, ABDUL KADİR EKSİ¹

Cukurova University, Türkiye *abircan@cu.edu.tr

Abstract

Fractured bones often require medical intervention in the form of metallic orthopedic bone plates, which aid in stabilizing and promoting healing. The essential attributes of bone plates include lightweight and robust strength characteristics. Titanium alloys, stainless steel, and chromium–cobalt alloys are prominent choices owing to their excellent mechanical properties and biocompatibility. This study focuses on mitigating chemical reactions at the bone-implant interface while optimizing implant weight. Topology Optimization (TO) is a pioneering approach to preserve material strength properties and design boundary conditions, leading to the redesign and manufacture of novel, lightweight, and efficient metallic implants. TO has emerged as a key tool to regulate material redistribution to optimize designs by removing elements from the analysis.

The main aim of this study was to reduce the weight of metal implants using TO while maintaining their structural integrity. Optimized designs are then produced using Metal Additive Manufacturing (MAM), which enables the production of complex geometries that cannot be produced economically by conventional methods. Bone plates composed of Ti6Al4V alloy were designed using Catia software and subjected to a comprehensive nonlinear three-point bending Finite Element Analysis (FEA) using ANSYS based on ASTM standards. Through the resulting topological optimization using FEA, innovative designs were created that achieved 20%, 35%, and 50% reductions in weight. Traditional manufacturing methods face considerable challenges in the production of optimized designs. However, MAM has played an important role in overcoming these limitations. The analytical results highlight that the 20% lighter design for bone plates achieves mechanical properties that are comparable to those of the original design. This study reveals the synergy between TO and MAM, adding a new dimension to the evolution of lightweight orthopedic implants.

Keywords: Topology Optimization, Orthopedic Bone Plate, Additive Manufacturing, Finite Element Analysis, Ti6Al4V, Lightweight Design.

APPLICATION OF ARTEFICIAL INTELLIGENCE AI TO TRAFFIC NOISE PREDICTION UNDER JORDANIAN CONDITIONS

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

KHAİR JADAAN^{*,1}, BRAA ALZAHARNEH¹, MAİS SLİEHAT¹, DANİA ALAMEH¹, DİMA HAMMODEH²

¹University Of Jordan, Jordan ²Ministry Of Digital Economy and Entrepreneurship *kjadaan@gmail.com

Abstract

Noise pollution has become a pressing environmental concern in modern urban landscapes, affecting public health, well-being, and overall quality of life. Previous studies reported noise levels along urban arterials that exceeded the maximum allowable level of 60 dBA. Accurate noise estimates are essential for effective noise control and mitigation strategies. Therefore, prediction of future noise levels is of utmost importance in order to appreciate the magnitude of the problem and speed up the decision making towards its alleviation. This paper endeavors to develop a predictive Artificial Neural Network (ANN) model for forecasting traffic noise levels at the urban area of Amman, the capital of Jordan. The performance of the model was compared with multiple linear regression model developed for the same purpose. The results demonstrate that the ANN model better predictive model which produced estimates close enough to the actual figures and thus, is considered reliable to predict future traffic noise levels under Jordanian conditions. However, further research in noise prediction algorithms and data collection techniques is essential to refine these models and achieve more accurate, adaptable, and versatile noise forecasting system

Keywords: Traffic noise levels, Artificial neural network, Multiple linear regression, Forecasting, Jordan.





SOLID PARTICLE EROSION PERFORMANCE OF DRONE PROPELLER MATERIALS

DOGAN ACAR^{1*}, DURSUN MERÌC¹, HASAN GEDİKLİ¹, ANDREAS SCHULZ², OMER NECATÌ CORA¹

¹Karadeniz Technical University, Turkey ²Galvano Pro Gmbh, Germany ^{*}dgnacar@ktu.edu.tr

Abstract

This study aimed to reveal the solid particle erosion performances of four different materials used as unmanned air vehicle (UAV) propellers. To this goal, pure nickel (N), NiCo (20% Co), pure resin (R), and carbon powder-filled resin (CR) samples in the form of airfoil were subjected to impingement of angular-shaped Al2O3 particles 52 μ m in nominal diameter, and at 150 m/s impact velocity, simultaneously. Samples were both tested in fixed (per ASTM G-76), and moving sample configuration (per MIL-STD-3033 standard) to observe the effect of different wear conditions. After the tests, mass and volume erosion rates were calculated to compare the performance of the materials. It was concluded that, Ni, and NiCo (20% Co) showed at least 2-3 times higher erosion resistance than pure resin and carbon powder-filled resin samples.

Keywords: Solid particle erosion, Drone propeller, Wear testing





DEFORMATION PERFORMANCE MONITORING IN ROTARY SWAGING USING IMAGE PROCESSING

HASAN AYTUG KURT

Yilmaz Makina A.Ş. hasankurt@yilmazmachine.com.tr, Turkey

Abstract

This paper presents a study on monitoring the deformation performance in rotary swaging using image processing techniques. Rotary swaging is a metalworking process that involves using rotating tools to shape and reduce the diameter of metal materials. The aim of this research is to develop an algorithm for real-time monitoring of rotary swaging deformation based on image data analysis. The proposed image processing algorithm aims to provide non-destructive and accurate monitoring of workpiece deformation during the swaging process. Real-time application results demonstrate the algorithm's consistency and functionality in measuring dimensions and detecting defects. Overall, image processing proves to be a valuable tool in improving the quality and efficiency of rotary swaging operations.

Keywords: Rotary swaging, Image processing, Measurement





DIJITAL DONUSUMUN METAL ISLEME SEKTORUNDEKI ISLETMELER UZERINE ETKILERI

AYKUT BİLİCİ

Gaziantep Üniversitesi, Türkiye aykutbilici@gantep.edu.tr

Özet

Büyük bir hızla dijitalleşen dünyada, klasik üretim yöntemlerinin yerine teknolojik kaynakların kullanımı işletmelerin büyüme stratejilerinde büyük önem arz etmektedir. İnsan kaynaklı hataların minimize edilmesi, operasyonel kolaylıklar, üretimin standartlaşması, maliyetlerde rekabet gücü oluşturması ve kapasite artış imkanlarıyla endüstriyel kuruluşlar tarafından kaçınılmaz bir tercih olarak görünmektedir.

Bu çalışmada metal işleme sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin yazılımsal ve donanımsal teknolojileri üretim süreçlerine dahil etmesiyle elde edeceği verimlilik artışı ve hammadde başta olmak üzere maliyetlerdeki olumlu iyileşmeler ortaya konulacak, dijital dönüşüm fikir veya karar aşamasındaki işletmelere ışık tutacak bilgiler barındıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Dijital dönüşüm, Endüstri 4.0., Verimlilik

SCHEDULING OF UROLOGICAL SURGERY OPERATIONS

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

SERAP ULUSAM SECKINER¹, ILKER SECKINER²

¹Gaziantep University Engineering Faculty Industrial Engineering Department, Turkey. ² Gaziantep University Faculty Of Medicine Department Of Urology, Turkey.

Abstract

One of the most critical and expensive resources in a urology department is the operating theatre. This study presents an investigation of the potential of computer-based modeling for supporting urology department decision-makers to improve management policies related to the urology operating theatre. It has been conducted in a surgery scheduling environment at a medium-sized Turkish hospital and identified important prioritizations and decisions made concerning patient scheduling and resource allocation when planning for surgery. Contrary to many different surgeries scheduling problem, basic physical human factors related to surgeon complexity is considered in the surgeon allocation problem. The results showed that risk analysis and risk evaluations for surgeon work postures affected the scheduling plans.

Keywordss: Mathematical modeling, Urological surgery, Cost, Preferences.



HASAN KALNONCU 415" SHI



INVESTIGATION OF LEAN PRODUCTION SUITABILITY OF COSMETICS MANUFACTURERS OPERATING IN THE GAZIANTEP REGION

MIHRIBAN NALCI¹, SULEYMAN METE¹

¹ Gaziantep University, Turkey

Abstract

The cosmetics industry is highly competitive and demands companies to continuously improve their processes to remain competitive in the market. One approach to enhancing productivity and reducing costs is the implementation of lean production principles, which aim to eliminate waste and optimize resources. This study investigates the suitability of lean production for cosmetics manufacturers operating in the Gaziantep region of Turkey. A survey is conducted with managers and employees from 30 cosmetics manufacturers in the Gaziantep region to assess their understanding of lean production and its potential benefits. During the research, 20 of 30 companies were reached and results were obtained. As a result of the study, it has been determined that companies with lean production training apply various lean production techniques more, while companies without lean production training are not sufficient in the application part. Overall, The results of the research will provide insights into the suitability of lean production for cosmetics manufacturing in the Gaziantep region and help firms to optimize their production processes and increase efficiency. It contributes to the knowledge of lean production implementation in the cosmetics industry and provides recommendations for cosmetics manufacturers seeking to improve their competitiveness.

Keywords: Lean Production, Cosmetics Manufacturers, Survey, Suitability



IMPACT OF INDUSTRIE 4 0 ON THE TRANSPORT SECTOR

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

KHAIR JADAAN¹, LUMA ALMAWAJDEH¹, MARAH ALRASHDAN¹, RAJAA ALAWADI²

¹ University Of Jordan, Jordan. ² Ministry Of Works And Housing, Jordan.

Abstract

The fourth industrial revolution, also known as "industrie 4.0", is the new industrial wave which is based on increasing the employment of smart machines and the use of smart technologies, such as; robots, artificial intelligence (AI), internet of things (IoT), cloud computing (CC) and other technologies that makes production processes faster. The rise of Industry 4.0 has promoted digitization and interoperability around the world and will undoubtedly bring about significant changes in a variety of different supply chain operations with transport and logistics being among the most significantly impacted processes. This paper introduces the concept of industrie 4.0 and its applications. It presents the challenges of implementation in transportation and further discusses its impacts on the transport sector. The study concludes that the fourth industrial revolution will improve the condition of developing nations by improving the standards on building efficient and reliable transport modes as well as investing more on technology transfer which will support the local manufacturing sector and support the different sustainable development goals (SDG). For the transportation sector to grow, the direction towards industry 4.0 now seems to be the rational and effective course of action.

Keywords: Industrie 4.0, Transportation, Artificial Intelligence (AI), Jordan



13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

EYUP YETER¹, MURAT KALAK², IBRAHIM GOV¹, KURSAD GOV¹

¹Gaziantep University, Turkey ²Erzurum Technical University, Turkey

Abstract

Many industries, especially the aerospace industry, require materials with high strength, low density and high corrosion resistance. Ti-6Al-4V material finds a place for itself in these areas by meeting this demand of the sectors. It is frequently used in the aerospace industry in structural components, spacecraft and turbine blades. Despite its widespread use, Ti-6Al-4V material is difficult to process and improve by conventional surface treatment methods to improve surface quality. Non-conventional surface treatment methods such as abrasive flow machining (AFM) and shot peening are frequently used to improve the surface quality of such difficult materials. In this study, a new surface finishing method known as the GOV (flow peening) process, was developed by combining the surface finishing capabilities of the AFM process and the compressive residual stress generation capabilities of the shot peening process. Since Ti-6Al-4V material is a difficult-to-cut material, it was prepared by electrical discharge machining (EDM). Experimental comparative studies of AFM and GOV processes were carried out on the prepared Ti-6Al-4V material. Experiments were carried out to evaluate the effects of GOV and AFM process parameters (surface roughness and material removal) on the material surface. When the results were examined, it was revealed that the GOV process can be used as a new surface finishing process instead of the AFM process. While the GOV process improves the surface quality by removing only the white layer thickness from the material surface, the AFM process achieves approximate surface quality by removing much more chips.

Keywords: GOV (Flow Peening) Process, Abrasive Flow machining (AFM), Aerospace material (Ti-6Al-4V), Surface Roughness (Ra), Material Removal

INVESTIGATION OF THE MICROHARDNESS BEHAVIOUR OF INCONEL 718 BY FLOW PEENING GOV PROCESS

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

EYUP YETER¹, MURAT KALAK², MEHMET HANIFI DOGRU¹, KURSAD GOV¹

¹Gaziantep University, Turkey ²Erzurum Technical University, Turkey

Abstract

Shot peening is one of the mechanical surface treatments that are widely used in many areas, especially in the aerospace industry. In the shot peening process, small balls are bombarded towards the surface of material with a high-speed, and compressive residual stress is generated on the surface of the material and just below the surface. While this increases strength of the material, the surface roughness value increase as a result of the impact of balls on the surface and adversely affects fatigue strength. Abrasive flow machining (AFM), a non-traditional surface finishing process, is used in many industries to reduce the increase in surface roughness value. In the AFM process, the compressive residual stress that is obtained in shot peening process cannot be obtained. In this study, the surface finishing ability of the AFM process and ability of the shot peening process to generate compressive residual stress were combined in a single process called as the GOV (flow peening) process. Inconel 718 superalloy material, which has a wide area of application in the aerospace industry due to its superior mechanical properties, was determined as the workpiece. Since Inconel 718 is a difficult-to-cut material, it was prepared for studies by Electrical Discharge Machining (EDM) method. As a result of the studies carried out with the In the GOV process, both hardness increase and compressive residual stress formation were observed on the workpiece surface. Microhardness measurements were performed to support the findings. The effective combination of shot peening and AFM processes in the GOV process has significant potential to improve the surface properties and fatigue resistance and is therefore seen as a valuable option for critical applications in aerospace and many other industries.

Keywords: GOV (Flow Peening) Process, Microhardness, Surface finishing, AFM, Aerospace Material



HASAN KALMONCU



SURFACE TREATMENT OF TI 6AL 4V USING CONVENTIONAL AND ULTRASONIC DEEP COLD ROLLING PROCESSES

ALI TOLGA BOZDANA¹

¹ Gaziantep University, Turkey

Abstract

Conventional Deep Cold Rolling (CDCR) process is a mechanical surface treatment technique used for improving surface and subsurface characteristics of materials. This is achieved by application of high static pressure on the part surface, resulting in smooth and hardened surface with compressive residual stresses induced at near-surface region. Ultrasonic Deep Cold Rolling (UDCR) process is utilized with application of ultrasonic vibrations, providing dynamic loading state superimposed on static loading to enable greater degree of plastic deformation. This paper presents an experimental investigation on surface enhancement of Ti-6Al-4V using CDCR and UDCR processes. The effects of both processes on surface roughness, surface micro-hardness, and residual stresses were evaluated. The results revealed that UDCR could effectively modify surface/subsurface characteristics with utilization of relatively lower static load in comparison with CDCR.

Keywords: Deep Cold Rolling, Ultrasonic Vibrations, Ti-6Al-4V

THE MODE II INTERLAMINAR CRACK MIGRATION AND R CURVE BEHAVIOUR OF CARBON EPOXY LAMINATES WITH THE HYBRID USE OF CORE SHELL RUBBER PARTICLES AND NON WOVEN THERMOPLASTIC VEILS

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

MEHMET CAGATAY AKBOLAT¹, KALI BABU KATNAM², PRASAD POTLURI²

¹ Gaziantep University, Turkey ² The University Of Manchester, United Kingdom

Abstract

This study examines the influence of the hybrid use of non-woven micro-fibre thermoplastic veils and core-shell rubber particles (CSR) on the delamination resistance, crack deflection and R-curve behaviour of carbon fibre/epoxy composite laminates under mode-II loading conditions. CSR particles (i.e. vary in size from 100 nm to 3 µm) are dispersed within epoxy with 0-10 wt% content. Thermoplastic veils with polyphenylene sulfide (PPS) fibres with 10, 15, and 20 g/m2 areal weight are located at the mid-plane of the laminates. Carbon fibre/epoxy composite laminates are produced with vacuum resin infusion and out-of-autoclave curing. The hybrid toughened laminates are manufactured with 10 wt% CSR particle content and 20 g/m2 PPS fibre veils. Four-point end-notch-flexure (4ENF) tests are performed to obtain mode-II fracture energies and R-curves of the laminates toughened with CSR particle content, PPS veils and hybrid approach. Fractographical characterisation is performed to shed light on the energy dissipation mechanisms and the crack propagation path. The mechanical test results show that the hybrid toughening significantly improves the mode-II initiation (GII,C) and propagation (GII,R) fracture energies by $\sim 64\%$ and $\sim 215\%$, respectively. However, these improvements are lower than the improvements observed in laminates with 20 g/m2 PPS veils (i.e. 150% and 255% in GII,C and GII,R, respectively), which is due to the adverse effect of the CSR particle content on mode-II fracture energies. In addition, it is shown that rising R-curves are only obtained from the hybrid toughened laminates by introducing intrinsic and extrinsic failure mechanisms. Fractography reveals that the hybrid toughening constrained the crack predominantly within the veil region while the laminates toughened with only PPS veils experience crack migration between the veil-toughened interlaminar region and carbon fibre surfaces.

Keywords: Polymer Composites, Fracture Toughness

VACUUM ASSISTED 3W TECHNIQUE FOR MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY IN MAGNETRON SPUTTERED BI SE TE THIN FILMS

13-16 NOVEMBER, 2023

KARADENIZ TECHN

HASAN KALNONCU 415"

GIZEM DURAK YUZUAK¹, NUR EFSAN YILMAZ², ERCUMENT YUZUAK²

¹ Munzur University, Turkey
² Recep Tayyip Erdogan University, Turkey

Abstract

The precise determination of thermal conductivity of thin films holds significant significance in order to enhance their efficiency in diverse applications, such as thermoelectric devices [1]. The aim of this study is to investigate the thermal conductivity of n-type Bi-Se-Te thin film, which has a thickness of 100 nm, using the 3ω method under vacuum conditions. The 3ω method is a commonly utilized methodology for the evaluation of thermal characteristics [2]. The fabrication of the thin films involved the utilization of magnetron sputtering technique, wherein the deposition of Bi-Se-Te on Si(100) substrates took place. Following that, the films were subjected to an annealing procedure at a temperature of 2500C for a duration of one hour. This process took place within a vacuum chamber, maintaining a pressure of 5x10-5mTorr. In order to conduct a comprehensive assessment of the structural characteristics of the thin films, a variety of analytical methods were utilized, such as X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM). The thermal conductivity of Bi-Se-Te thin films, which are recognized for their potential in thermoelectric applications, is accurately determined using the 3ω method. The implementation of the 3ω method inside a vacuum environment facilitates precise determination of thermal conductivity in Bi-Se-Te thin films. It contributes to an improved comprehension of their thermal transport characteristics and prospective utilization across diverse technological fields. The thermal conductivity of the thin film sample is determined by subjecting it to a high-frequency alternating current (AC) and analyzing the ensuing temperature oscillation. A comprehensive analysis of the experimental configuration, research technique, and outcomes pertaining to the thermal conductivity measurements is provided. Notably, the thin film displayed an exceptionally low thermal conductivity of approximately ~0.8 (± 0.12) W/m.K. This measurement represented a remarkable ~2 orders of magnitude decrease compared to the bulk material's thermal conductivity at the same temperature [3]. The results of our study enhance the comprehension of the thermal transport characteristics exhibited by thin films of Bi-Se-Te, hence providing valuable insights into its prospective use in thermoelectric and energy harvesting systems. This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) with project number 221M470.

Keywords: Thermoelectric, Bi-Se-Te, Thermal Conductivity, 300 Method

NADIR TOPRAK ELEMENTI ICEREN YUKSEK ENTROPILI OKSITLERIN KENDILIGINDEN YANMA SENTEZI ILE URETIMI

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

KURSAT ICIN¹, SEFA EMRE SUNBUL²

¹ Karadeniz Teknik Universitesi, Turkey ² Gaziantep Universitesi, Turkey

Özet

Yüksek entropili oksitler (HEO'lar), tek fazlı bir kristal yapı oluşturan, eşit veya eşite yakın oranlarda beş veya daha fazla metal element içeren yeni bir malzeme sınıfıdır. HEO'lar piller, süperkapasitörler, termoelektrikler ve elektrokatalizörler gibi çesitli enerji depolama ve dönüştürme sistemlerindeki potansiyel uygulamaları nedeniyle dikkat çekmiştir [1]. HEO'lar, vapısal düzensizlikleri ve bilesimsel cesitlilikleri nedeniyle yüksek iyonik iletkenlik, yüksek özgül kapasitans, düşük termal iletkenlik ve yüksek katalitik aktivite gibi gelişmiş fonksiyonel özellikler sergileyebilir. HEO'lar katı hal reaksiyonu, sol-jel, hidrotermal ve püskürtme gibi çeşitli yöntemlerle sentezlenebilir. HEO'lar, performanslarını ve kararlılıklarını optimize etmek için yoğunluk fonksiyonel teorisi ve makine öğrenimi gibi hesaplama teknikleriyle de tasarlanabilir. HEO'lar, yüksek entropi ve yüksek işlevselliğe sahip yeni enerji malzemeleri geliştirmek için umut verici bir araştırma alanıdır [2]. Bu çalışmada nadir toprak elementlerinden biri olan La içeren yüksek entropili oksitlerin kendiliğinden yanma sentezi ile üretimi amaçlanmıştır. Kendiliğinden yanma sentezinde öncü olarak hazırlanacak peroksit yapılı La(Co0.2Mn0.2Fe0.2Ni0.2Cu0.2)O3 bileşiğinde yer alan iyonlara ait nitratlı tuzlar kullanılmıştır. Kendiliğinden yanmanın başlaması için karışıma stokiyometrik oranda sitrik asit eklenmiştir. Sentezleme işlemi sonrası HEO yapısını oluşturmak için farklı sıcaklıklarda ve sürelerde tavlama işlemi yapılmıştır. Yapılan bu ısıl işlemlerinin sonucunda 800 °C'de 3 saatlik bir 1s1l işleminin peroksit yapısına uygun La(Co0.2Mn0.2Fe0.2Ni0.2Cu0.2)O3 HEO üretilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Lantan, Yüksek Entropili Oksitler, Kendiliğinden Yanma Sentezi



ELYAF CESITLERININ FREN BALATASI SURTUNME MALZEMELERININ FIZIKSEL OZELLIKLERI UZERINE ETKISI

HASAN KALNONCU 415"

BUSE YUKSEL YAHSI¹, ONUR OZCAN²

¹ Eren Brake Linings, Turkey

Özet

Bu çalışmada karayolu ulaşımında kullanılan binek ve ağır ticari araçların fren sistemlerinin en önemli elemanlarından olan fren balataları üzerine çalışılmıştır. Balataların mekanik ve tribolojik özelliklerini güçlendirmek için kullanılan elyaflar, 1sı stabilitesi sağlamakla beraber aşınma direnci üzerine de etkilidir. Yüksek sıcaklıklarda iyi bir sürtünme performansı gösterirken, optimum oranlarda kullanıldığında kararlı bir sürtünme katsayısı ve iyileşmiş asınma özellikleri sergilediği görülmüstür. Bunun vanı sıra elvaf uzunlukları numunelerdeki boşluğu etkilemekte ve sürtünme esnasında sürtünme malzemesinin fiziksel özelliklerinin etkilenmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada çelik elyaf, cam elyaf ve kaya yünü kullanılmıştır. Her bir malzeme tek başına ve uygun ikili kombinasyonları olacak şekilde denenmiştir. Baz formül içerisinde hacimce %5 ,%10, %15 olacak şekilde tekli ve ikili kombinasyonlar ile denemeler yapılmıştır. Hazırlanan numunelere Sertlik Testi (ISO 2039), Sıkıştırılabilirlik Testi (ISO 6310), Sıkıştırılabilir Yoğunluk Testi (ASTM B527-15), Gaz Piknometre Yoğunluk Ölçümü (ISO 3507:1999, ASTM-B923) ve balatanın genel sürtünme performansının değerlendirildiği Sürtünme Katsayısı Ölçümü (Chase Cihazı) (SAE J661 Standart) ile sürtünme testi yapılmıştır. İkili kombinasyonlara sahip denemelerin balataların sürtünme katsayısı ve fiziksel özellikleri üzerine etkilerinin daha olduğu iyi görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fren Balatası, Elyaflar, Sürtünme Katsayısı, Sürtünme Kararlılığı
ISIL ENERJI DEPOLA SISTEMLERINDE KULLANILMAK UZERE URETILEN KOMPOZIT MALZEMELERININ ISIL ILETKENLIKLERININ ARTTIRILMASININ INCELENMESI

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'23

SECIL SARI¹, GOKHAN HEKIMOGLU¹, KAMIL KAYGUSUZ¹, AHMET SARI¹, SEDAT KELES¹

¹ Fen Bilimleri Enstitusu, Turkey

Özet

İnsanoğlunun enerjiye olan gereksinimi artan nüfus ile beraber doğrusal olarak artmaktadır. Ancak artan bu enerji talebini karşılayacak yakıt rezervleri de hızla azaltmaktadır. Enerji ihtiyacımızın çoğu fosil yakıtlardan karsılanmaktadır. Fosil yakıtların oluşması milyonlarca yıl sürmektedir ve enerji ihtiyacını karşılamak için kullanımı ile sera gazı olarak da adlandırılan, dünya üzerindeki her türlü canlı yaşamını olumsuz etkileyen bir sorun ile bizleri karşı karşıya bırakmaktadır. Bu olumsuz etkilerden kaynaklı insanoğlu yeni enerji kaynaklarını aramaya yönelmektedir. Bu bağlamda en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin depolanması ve ihtiyaç halinde kullanımı çok eskilerden beri farklı yöntemlerle uygulanmıştır. Teknolojideki gelişmelere bağlı olarak bunu gerçekleştirmenin en verimli ve en uvgulanabilir yönteminin faz dönüşümleri sırasında ısıl enerjiyi bünyesinde depolayıp yine sıcaklık değişimine bağlı olarak tersinir faz dönüşümü sırasında depoladığı bu ısıl enerjiyi etrafina yayan faz değiştiren maddelerinden (FDM) yararlanmanın olduğu belirlenmiştir. Ancak, bu FDM'lerin pratik endüstriyel uygulamalarda kullanımı genellikle yapıca kararlı kompozit olarak üretilme kosulu ile sınırlandırılmıştır. Buna karsın, yapıca kararlı kompozit malzemelerin pratik uygulamalardaki en önemli sorunlarından biri, kullanım sıcaklığında faz değiştiren malzemelerin ısıl iletimlerinin düşük olmasıdır. Bu düşük ısıl iletim, enerjinin depolanma ve boşaltma sürelerini uzatmakta bu da elde edilecek verimi büyük oranda düşürmektedir. Enerji depolamadaki amacımız enerjiyi en yüksek verimde depolayarak gerek duyulduğu anda gene en yüksek verimde geri kazanmaktır. Bu bilgiler doğrultusunda, bu çalışmada, destek matrisi olarak atık lastikten üretilen aktive edilmiş karbon ve FDM olarak kaprik asitten oluşan yapıca kararlı kompozit malzeme hazırlanmıştır. Yukarıda belirtilen düşük ısıl iletkenlik sorununa çözüm bulmak için ise hazırlanan kompozit malzeme yüksek ısıl iletkenliğe sahip genişletilmiş grafit ile iki farklı oranda doping edilmiştir. Elde edilen ürünlerin SEM, FT-IR, XRD ve DSC analiz teknikleri ile karakterizasyonuna ilaveten üretilen kompozitlerin ısıl iletkenlikleri ayrı ayrı ölçülerek takviye malzemesinin ısıl iletimini iyilestirici etkisinin amaclanan doğrultuda olup olmadığı detaylıca incelenmistir. Böylelikle ısıl enerji depolamada karşılaşılan en önemli sorunlardan birinin çözümü ile enerjinin, ısıl olarak depolanarak kullanılması yolunun kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl Enerji Depolama, Enerji Depolama, Faz Değiştiren Maddeler, Aktif Karbon, Yenilenebilir Enerji



13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2

SECIL SARI¹, GOKHAN HEKIMOGLU¹, KAMIL KAYGUSUZ¹, AHMET SARI¹, SEDAT KELES¹

¹ Fen Bilimleri Enstitusu, Turkey

Özet

1760-1840 yılları arasında gerçekleşen 1. sanayi devrimi ile beraber enerji üretimi kas gücünden makine gücüne geçmiştir. Bu devrim insan refahını, nüfusu ve ihtiyaç duyulan enerji miktarını da birbirlerine bağlı ve hızlı bir şekilde artış göstermesine sebep olmuştur. Bu enerji ihtiyaçları büyük oranda yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıt olarak da adlandırdığımız yenilenemez enerji kaynaklarının rezerv miktarlarının hızla tükenmesi ve tüketimi ile çevreye geri dönüşümü neredeyse imkansız etkiler bırakması sonucu, bilimi yeni, temiz enerji kaynakları aramaya yönlendirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına, hem her mevsim ya da günün her saati aynı verimle ulaşılamadığından hem de enerjiye daha sonradan istenildiği zaman ulaşılabilmesi için depolama gereksinimi duyulmaktadır. İsil enerji depolama; yenilenebilir enerji kaynaklarından, enerjiyi faz değiştiren maddelerden (FDM) vararlanarak 1s1 enerjisi olarak depolama ve ihtiyac halinde depoladığı 1s1l enerjiyi bulunduğu ortama salıvermesini ifade eder. Bu enerji depolama metodunun diğer enerji depolama metotlarından ayrılmasının başlıca sebepleri; verimli, uygulaması kolay ve sürdürülebilirliği olan bir metot olmasıdır. Bu çalışmada karbon bazlı malzeme olarak, atık araç lastiğinden elde edilen aktif karbon kullanılarak, atık araç lastiklerinin geri dönüşüm sürdürülebilirliği sağlanması amaçlanmaktadır. Faz değiştiren madde olarak Polietilen glikol (PEG 1000) çalışılmıştır. Faz değiştiren maddeler, gözenekleri artırılmış diğer bir deyişle aktive edilmiş atık araç lastiğinden elde edilen destekleyici materyal olarak seçilen aktif karbona vakum altında farklı oranlarda emdirilmesi sağlanmıştır. En yüksek emme oranına sahip ve akma yapmayan yapıca kararlı kompozit malzemeyi bulabilmek için akma (sızıntı) testine tabii tutularak oranın belirlenmesine çalışılmıştır. Seçilen bu iki faz değiştiren malzemenin en yüksek emme oranına sahip ve akma davranışı göstermeyen yapıca kararlı kompozit malzemenin oranı bulunduktan sonra yapısını aydınlatmak için FT-IR, DSC, XRD, SEM testlerine tabii tutularak elde edilen kompozitin özellikleri incelenerek, ısıl enerji depolamada kullanılmak üzere uygun olup olmadığını araştırmak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl Enerji Depolama, Atık Araç Lastiği, Sürdürülebilirlik,Faz Değiştiren Maddeler,Renewable Energy,Phase Change Substances



THEORETICAL VERIFICATION OF EXPERIMENTALLY PRODUCED COBALT DOPED MAGNETITE NANOPARTICLES WITH ADDITION OF BORON OXIDE

13-16 NOVEMBER, 2023

KEVSER TOPAL¹

¹ Tubitak Ume, Turkey

Abstract

Although magnetic nanoparticles (MNP) are mostly used for diagnostic and therapeutic purposes in the field of health, due to their physical properties such as magnetic susceptibility; It can also be used in different application areas such as magnetic separation, chemical and biological agent detection, magnetic recording. One of the most studied materials among magnetic nanoparticles is magnetite (Fe3O4) and a very intense study has been carried out recently. On the other hand, although the chemical methods are mostly preferred in the process of doping of impurity atoms, which is an effective method in optimizing the magnetic properties depending on the area of use, it is quite laborious when the amount of mass product obtained is evaluated in terms of cost and labor. When it is desired to be produced with the traditional solid state reaction method, since high annealing temperature is required, the magnetite phase transforms into the hematite phase and the desired magnetic behavior such as superparamagnetism is deteriorated. In this study, since the magnetite matrix studied in this study reduces the melting temperature and thus accelerates the reaction, 2% and 5% by weight boron oxide (B2O3) was added to the magnetite phase, and heat treatment was applied at different temperatures (500 oC and 600 oC). Afterwards, the mixture with cobalt in different ratios was subjected to heat treatment at the same temperatures and the change in magnetic properties was theoretically examined and reported. Potential application areas of magnetic properties obtained according to cobalt ratio are emphasized.

Keywords: Magnetik nanoparçacık (MNP), Magnetit (Fe3O4), Superparamagnetism, Boron, Kobalt

STRONSIYUM HEKZAFERRITLERE ALUMINYUM IKAMESININ MANYETIK OZELLIKLER UZERINDEKI ETKISI

13-16 NOVEMBER, 2023

TICMET'2

KURSAT ICIN¹, SUAT ONAL², METIN GOBULUK³, SULTAN OZTURK¹

¹ Karadeniz Teknik Universitesi, Turkey
² Osmaniye Korkut Ata Universitesi, Turkey
³ Metin Otomotiv, Turkey

Özet

Bu çalışmada, SrSO4, (NH4)2CO3 ve Fe2O3 bileşenleri belirli bir stokiyometrik oranı kullanılarak SrAlxFe12-xO19 bileşiği sentezlenmiştir. Hazırlanan karışıma, 16 saatilik mekanokimyasal sentezleme ve 975 °C'de 1 saat ısıl işlem uygulanmıştır. Bu koşullar altında, farklı alüminyum oranları (x) kullanılarak sentezlenen SrAlxFe12-xO19 numunelerinin manyetik özellikleri karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, alüminyum oranının bileşiğin manyetik özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermiştir. Alüminyum oranının artması, doygun manyetizasyon (Oe) değerlerinin arttığını, ancak maksimum manyetik enerji ürünü (MGOe) değerlerinin düştüğü görüldü. En yüksek manyetik özelliklere, x değeri 0,1 olan numunelerde rastlanmıştır. Bu sonuclar, stokiyometrik koşulların SrAlxFe12-xO19 bileşiğinin manyetik özellikleri üzerinde kritik bir rol oynadığını göstermiştir. Bu bileşiğin potansiyel uygulamaları, özellikle manyetik depolama cihazları ve yüksek performanslı mıknatıslar gibi alanlarda, daha fazla araştırma ve geliştirmenin önemini vurguluyor. Sonuç olarak, bu çalışma SrAlxFe12-xO19 bileşiğinin sentezi ve manyetik özelliklerinin incelenmesini içeriyor. Alüminyum oranının optimize edilmesi, bu bileşiğin manyetik performansını iyileştirmek için önemli bir faktör olarak ortaya çıkıyor. Bu bulgular, ileriye dönük araştırmalar için temel bir referans noktası sağlıyor.

Anahtar Kelimeler: Hekzaferrit, Manyetik özellikler

HASAN KALNONCU 415"



13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

HASAN ONUR TAN¹, SELCUK ATASOY¹, SITKI AKTAS¹

¹ Giresun Universitesi, Turkey

Abstract

2842 is a type of cold work tool steel which contains a balanced composition of elements like chromium, tungsten, and manganese and are designed to be used at room temperatures. Boriding is a surface hardening process that can be applied to many ferrous and non-ferrous alloys through the diffusion mechanism influenced by temperature. The boriding process is typically carried out within the temperature range of 700 to 1400 °C, for durations of 1 to 16 hours [1]. Solid boriding is one of the methods used in boriding processes and is performed using Ekabor II powders. In this method, Ekabor II is filled into a leak-proof stainless-steel box, and the samples to be borided are placed inside the box for the boriding process [2]. In this study, 2842 cold work steel was borided at 950 °C during 2, 4 and 6 hours. Thereafter, in order to investigate the effect of boriding time on structure and morphology of the 2842 steel, their surface morphologies, structural analysis and boriding thickness determination were performed via profilometer, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), respectively.

Keywords: Boriding, Boriding Duration, Thickness Of The Boride Layer



THE EFFECT OF STOICHIOMETRY ON RE SRALXOY PHOSPHORESCENCE PRODUCED BY SOLUTION COMBUSTION SYNTHESIS

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KADDINCU

MERVE TURKMEN¹, RASIT SEZER¹

¹ Karadeniz Technical University, Turkey

Abstract

Phosphorescence is the remarkable emission of light as a substance transitions from an excited state to its ground state, releasing energy in the form of photons. Even after the stimulating light is removed, an excited electron in this system can continue to emit light as it returns to the ground level, giving rise to phosphorescence. In this study, phosphorescent powders were synthesized using Eu, Sr, and Al nitrate salts, with urea serving as a fuel and H3BO3 acid facilitating crystallization. The synthesis process involved sequentially adding nitrates, fuel, and boric acid to distilled water in precise proportions, resulting in a clear solution. The compounds were obtained through a series of steps involving boiling, drying, and burning the solution. Subsequently, we examined how modifying the ratios of rare earth elements and the main compound impacted the properties and luminescent behavior of the material. These alterations influenced various phosphorescent attributes, including internal structure, luminescence intensity, and duration. Characterization of the phosphorescent powders were conducted using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energydispersive spectroscopy (EDS), and Time Decay Luminescent spectrometry. The outcomes of this research hold significant potential in the realm of phosphorescence control and the development of compounds with tailored characteristics. Furthermore, they offer crucial insights into optimizing factors such as luminescence duration and intensity, particularly relevant for industrial and medical applications.

Keywords: Phosphorescence, Nano Particle, Glow For A Long Time

HIGH STRENGTH BULK STEELS FOR HIGH TEMPERATURE STRUCTURAL APPLICATIONS PRODUCED BY MECHANICAL ALLOYING IN COMBINATION WITH HOT EQUAL CHANNEL ANGULAR EXTRUSION

13-16 NOVEMBER, 2023

DENIZ TECHN

HASAN KOTAN¹, KRIS DARLING²

¹ Bursa Teknik Universitesi, Turkey ² Arl, United States

Abstract

Bulk nanostructured steels with solute additions were synthesized using high energy mechanical alloying in combination with high temperature equal channel angular extrusion. Microstructural evolutions were carried out using X-ray diffraction, focused ion beam microscopy, and transmission electron microscopy techniques. Mechanical properties were investigated using micro-hardness tests. The results have shown that the resultant microstructures of consolidated steels at various elevated temperatures are composed of different sample microstructures, with a range of grain, precipitate and oxide cluster sizes. The consolidated alloys also demonstrate an extremely high strength.

Keywords: AP, Powder Metallurgy, Consolidation, Characterization.

THE SYNTHESIS OF POLYANILINE BY CHEMICAL POLYMERIZATION METHOD

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415"

TICMET'2

SUMRAN BILGIN¹, SEDA DERICI¹, KURSAT ICIN¹, UMIT ALVER¹, MUSTAFA ASLAN¹

¹ Karadeniz Technical University, Turkey

Abstract

Polyaniline is an important polymer used in various applications due to its electrical conductivity properties and chemical resistance. Polyaniline is a preferred material for various industrial applications, especially in electronics, capacitors, sensors, and coatings, due to its electrical conductivity properties and chemical durability. Polyaniline (PANI) is synthesized through chemical polymerization. In this process, aniline is chemically activated by mixing it with an acid and then polymerizes in the presence of an oxidizing agent, resulting in the formation of polyaniline. As a result of this polymerization reaction, polyaniline chains are formed and precipitate from the solution. The SEM images of the obtained polyaniline were examined. The amount of absorbed or released energy during heating, cooling, or holding at a constant temperature of polyaniline was measured using a DSC (Differential Scanning Calorimeter) device. The crystalline properties and phases contained in polyaniline were determined using an XRD (X-Ray Diffraction) device. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) analysis was performed on the produced polyaniline. The weight change ratio of polyaniline as a function of temperature was investigated using TGA (Thermogravimetric Analysis) results.

Keywords: PANI, Chemical Polymerization, Polymer Synthes



13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

TICMET'2

TULIN KAYA NACARKAHYA¹, ESIN SARIOGLU², SEYMA SATIL¹

¹ Karafiber Tekstil San Ve Tic A S R D Center, Turkey ² Gaziantep University, Turkey

Abstract

Within the scope of waste management and sustainable development goals, sustainable and ecological product designs are prominent in today's textile industry. Especially the environmentally detrimental impacts of disposable products have negatively affected the life cycle. For this reason, it is very important for both manufacturers and consumers that these products are completely biodegradable. Airlaid nonwovens are produced from cellulosic wood pulp as raw material. Chemical binders are used to join the webs during nonwoven fabric production. Unfortunately, these disposable fabrics cannot have biodegradable properties due to the chemical binders in their composition. In this study, airlaid nonwoven fabrics were produced using biodegradable binders. For this purpose, different concentrations of biobinder were prepared and the most suitable concentration for fabric production was determined. Afterwards, airlaid nonwoven fabrics were produced in 4 different weights. These fabrics were analyzed for dry and wet strength, elongation and liquid absorption capacity. Statistical analysis of the results was carried out in SPSS 22 package program at 95% confidence interval.

Keywords: Biobinders, Airlaid Nonwoven, Biodegradable, Sustainability, Ecological Product Design

INVESTIGATION OF EFFECT OF DRAW FRAME PASSAGES ON OPEN END YARN QUALITY

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALMONCU 415"

TICMET'2

ALI OSMAN HAN¹, HALIL IBRAHIM CELIK¹, GOKHAN TANDOGAN²

¹ Gaziantep University, Turkey ² Kipas Mensucat R D Center, Turkey

Abstract

The draw frame in a textile mill is unavoidable in yarn spinning as fibers need to be kept side by side termed as parallelization of fibers in textile technology. The tasks drafting and doubling are the objectives of the draw frame machine in order to improve the fiber orientation and sliver uniformity respectively. Hence, the number of draw frame passages and their settings directly influence the yarn quality characteristics. Rotor spinning system is also a spinning system in which more production is taken into account besides quality compared to other spinning systems due to its production method and raw material properties. This system is much faster compared to other methods, as well as in the production of coarse yarn in itself, the machine speeds are much higher and the quality is lower than in fine yarn production. The mixing task of the draw frame machines is of great importance in order to arrange the number of fibers in the yarn section homogeneously and not cause abrage after dyeing, since the number of fibers in the yarn section is already high in order to provide yarn formation in coarser yarns, and the twist coefficient is lower, especially dark color after yarn production. This situation will cause more paint absorption in dyeing, it is thought that a single passage regulated draw frame can perform the same task instead of two passage draw frame lines. Due to the fact that the quality expectation in thick count yarns is not high, it is thought that if it is to be used in woven fabrics where the number of wefts is low in warp-faced fabrics, it will not cause abrage on the fabric after dyeing. Reducing the draw frame line to a single passage will result in energy and labor cost savings, decrease the waste rate and increase the production. In order to see this, the card slivers are passed through the single passage and double passage draw frame lines and two sample yarns, Ne 10 and Ne 20, are produced from each of them, and the yarn is unevenness and strength values will be tested and abrage control will be made before and after dyeing.

Keywords: Draw Frame, Open-End Yarn, Yarn Quality, Abrage



DEVELOPMENT AND CRITICAL DESIGN OF MAGNETIC TORQUE ROD FOR LEO SATELLITES

13-16 NOVEMBER, 2023

HASAN KALNONCU 415" SHI

HAVA CAN¹, UGUR TOPAL¹

¹Tubitak, Türkiye

Abstract

A magnetic torque rod represents an effective means of generating torque for satellite orientation by interacting with Earth's magnetic field. In the dynamic realm of Low Earth Orbit (LEO) satellite systems, precise position control plays a crucial role in the successful execution of a satellite's mission. The insights gained from this study contribute to enhancing the precision, reliability, and diversity of LEO satellite missions, thereby opening doors for new scientific discoveries and technological advancements in Earth observation and beyond. This study delves into critical considerations such as material selection, structural integrity, power consumption, and heat management, providing a detailed examination of the fundamental principles behind magnetic torque rod production. To ensure the effectiveness of the torque rod, the design is tailored to the specific dimensions, weight, and power constraints of satellite systems. The produced torque rod possesses a magnetic dipole moment of \pm 77 Am² (*@* 28 V and consumes ~2.8 Watts of power. It has successfully passed the 1000 g shock and ~19 grms random vibration tests. Furthermore, it demonstrates the ability to adapt to satellite technology advancements with an operational temperature range of -30°C to +60°C.

Keywords: Magnetic Torque Rod, Leo Satellite, Magnetic Dipole Moment, Shock Test, Vibration Test



HASAN KALNONCU 415"



CEVRESEL SICAKLIGIN FLUXGATE SENSOR PERFORMANSI UZERINE ETKILERI

HAVA CAN¹

¹Tubitak, Turkey

Özet

Fluxgate manyetometreler, manyetik alanların hassas bir şekilde ölçülmesi için kullanılan cihazlardır. Düşük alan bölgesinde 10-8 T'a kadar DC manyetik alan büyüklüklerini doğru bir şekilde ölçebilir fakat sıcaklık gibi çevresel faktörler çalışma performansını etkileyebilir. Sıcaklık arttıkça veya azaldıkça fluxgate manyetometre içinde kullanılan malzemelerin manyetik özellikleri, termal genleşme özelliği ve elektriksel direnç değişiklikleri ölçüm doğruluğunu ve hassasiyetini değiştirebilir. Bu nedenle, fluxgate manyetometrelerin kullanıldığı ortamdaki sıcaklık değişikliklerinin dikkate alınması önemlidir. Hassas ve doğru ölçüm yapabilmesi için manyetometrelerin sıcaklık etkilerine karşı kalibre edilmesi veya sıcaklık kompanzasyonunun yapılmış olması gerekir. Bu çalışma ile kalibrasyonu ve kullanımı sırasında sıcaklık faktörü göz önüne alınıp uygun sensör tasarımları yapılacaktır. Isıl vakum sistemi içerisinde belirli sıcaklık aralığında istikrarlı bir şekilde çalışması ve değişen sıcaklık koşullarında güvenilir ölçümler yapması için testler yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Manyetometre Tasarımı, Fluxgate Sensör, Sıcaklık, Isıl Vakum Testi







TICMET'23

The 5th International Conference of Materials and Engineering Technology

5. Uluslararası Malzeme ve Mühendislik Teknolojileri Konferansı



13-16 NOVEMBER, 2023 prof. dr. osman turan culture and convention center

TRABZON - TÜRKİYE