PROCEEDING BOOK

MUNZUR 5. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

TUNCELİ
9 - 11 HAZİRAN 2023

MUNZUR 5. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



MUNZUR
5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JUNE 9-11, 2023 – TUNCELI

ISBN : 978-625-6393-79-0
Academy Global Publishing House

MUNZUR 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JUNE 9- 11, 2023
TUNCELI

Edited By
ASSOC. PROF. DR. YELİZ ÇAKIR SAHİLLİ

CONFERENCE ORGANIZING BOARD
Head of Organizing Board: *Dr Gültekin Gürçay*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Naile Bilgili*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Ali Bilgili*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Başak Hanedan*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Hülya Çiçek Kanbur*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Həcər Hüseynova*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Dwi Solisworo*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Dody Hartando*
Organizing Committee Member: *Prof. Dr. Raihan Yusoph*
Organizing Committee Member: *Assoc. Prof. Dr. Ivaylo Staykov*
Organizing Committee Member: *Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade*
Organizing Committee Member: *Dr. Mehdi Meskini Heydarlou*
Organizing Committee Member: *Assist. Prof. Dr. K. R. Padma*
Organizing Committee Member: *Aynurə Əliyeva*
Organizing Committee Member: *Amaneh Manafidizaji*

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House
Without permission can't be duplicate or copied.
Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.
Academy Global–2022 ©

Issued: 30.06.2023
ISBN: 978-625-6393-79-0

CONFERENCE ID

MUNZUR 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE

JUNE 9- 11, 2023
TUNCELI

ORGANIIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey –Azerbaijan –Tunisia - India. – Egypt – Romania - Iran. – Thailand - Czech Republic – Pakistan - China, - United Kingdom – Naples – Italy – Portugal – Italy – Japan - Spain. – Ireland – Belarus -

PRESENTATION

Oral presentation

PERCENTAGE OF PARTICIPATION

45 % from Turkey and 55 % from other Countries

LANGUAGES

Turkish, English, Russian, Persian, Arabic

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Ali BILGILI – Turkiye
Prof. Dr. Naile BİLGİLİ – Türkiye
Prof. Dr. Başak HANEDAN – Türkiye
Prof. Dr. Hülya Çiçek KANBUR – Turkiye
Prof. Dr. Emine KOCA – Turkiye
Prof. Dr. Fatma KOÇ – Turkiye
Prof Dr. Bülent KURTİŞOĞLU – Turkiye
Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan
Prof. Dr. Dwi SULISWORO – Indonesia
Prof. Dr. Natalia LATYGINA – Ukraina
Prof. Dr. Yunir ABDRAHIMOV – Russia
Prof. Muntazir MEHDI – Pakistan
Prof. Dr. Raihan YUSOPH – Philippines
Prof. Dr. Akbar VALADBIGI – Iran
Prof. Dr. F. Oben ÜRÜ – Turkiye
Prof. Dr. T.Venkat Narayana RAO – India
Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ – Turkiye
Prof. Dr. Mustafa BAYRAM – Turkiye
Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN – Turkiye
Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China
Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet AYDIN – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN - Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Dilorom HAMROEVA - Ozbekstan
Assoc. Prof. Dr. Abbas GHAFFARI – Iran
Assoc. Prof. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ - Turkiye
Assoc. Prof. Ivaylo STAYKOV - Bulgaria
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Ümit AYATA – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Okan SARIGÖZ – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Eda BOZKURT – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Ahmet TOPAL – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Sandeep GUPTA – India
Assoc. Prof. Dr. Veysel PARLAK – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU – Turkiye
Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan
Assoc. Prof. Dr. Erkan EFILTI - Kyrgyzstan
Assist. Prof. Dr. Göksel ULAY – Turkiye
Assist. Prof. K. R. PADMA – India
Assist. Prof. Dr. Omid AFGHAN - Afghanistan

Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan ALANAZİ - Saudi Arabia
Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich ALTAYEV - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Amina Salihi BAYERO – Nigeria
Assist. Prof. Dr. Baurcan BOTAKARAEV - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif FAKHEER - Jordania
Assist. Prof. Dr. Gültekin GÜRÇAY – Turkiye
Assist. Prof. Dr. Dody HARTANTO - Indonesia
Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini HEYDALOU – Iran
Assist. Prof. Dr. Bazarhan İMANGALİYEVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı JAYLIBAY - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Mamatkuli JURAYEV – Ozbekistan
Assist. Prof. Dr. Kalemkas KALIBAEVA – Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Bouaraour KAMEL – Algeria
Assist. Prof. Dr. Alia R. MASALİMOVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Amanbay MOLDIBAEV - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Ayslu B. SARSEKENOVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Bhumika SHARMA - India
Assist. Prof. Dr. Gulşat ŞUGAYEVA – Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. K.A. TLEUBERGENOVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Cholpon TOKTOSUNOVA – Kirgizia
Assist. Prof. Dr. Hoang Anh TUAN - Vietnam
Assist. Prof. Dr. Botagul TURGUNBAEVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Dinarakhan TURSUNALİEVA - Kirgizia
Assist. Prof. Dr. Yang ZİTONG – China
Assist. Prof. Dr. Gulmira ABDİRASULOVA – Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa
Assist. Prof. Dr. Zohaib Hassan Sain – Pakistan
Assist. Prof. Dr. Murat GENÇ – Turkiye
Assist. Prof. Dr. Monisa QADIRI – India
Assist. Prof. Dr. Vaiva BALCIUNIENE – Lithuania
Assist. Prof. Dr. Meltem AVAN – Turkiye
Assist. Prof. Dr. Hilal ARSLANOGLU ISIK - Turkiye
Assist. Prof. Dr. Özlem ERDEM - Turkiye
Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
Sonali MALHOTRA - India

MUNZUR
5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JUNE 9 - 11, 2023 - TUNCELI

Bildiri Sunumları / Presentation Session – 2
Meeting ID: 881 9370 7664 **Passcode: 192102523**

11 Haziran/ 11 June 2023 /11:00-13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon / Hall	Oturum Başkanı		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
SALON 8	Doç. Dr. Ali ARSLANTAŞ	1	THE INTERACTION ACTIVITY OF NICKEL (II) PHTHALOCYANINE COMPOUND HAVING PHENOXY-3-METHOXYBENZOIC ACID WITH DNA	Doç. Dr. Ali ARSLANTAŞ Prof. Dr. Mehmet Salih AĞIRTAŞ
		2	METOPROLOLUN GLUTARDIALDEHIT-DEMIR(III) OKSITLE MODIFIYE EDILMIŞ CAMSI KARBON ELEKTROTLA VOLTAMETRIK TAYINI	Dr.Öğr.Üyesi Berna KOÇAK
		3	BAZI TİYOBARBİTÜRİK ASİT LİGANDLARININ MOLEKÜLER VE KRİSTALOGRAFİK İNCELENMESİ	BÜŞRA EMEKTAR RESUL SEVİNÇEK
		4	MOLECULAR AND CRYSTAL STRUCTURE STUDIES OF A NEW VINYLALENE COMPOUND	Sibel Gökalp Doç. Dr. Muhittin Aygün
		5	FARKLI BİTKİ ÖZLERİYLE SENTEZLENEN GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN 316L YÜZEYİNDE KAPLAMA MORFOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ	Arş. Gör. Gizem KARABULUT Doç. Dr. Nuray BEKÖZ ÜLLEN
		6	BAKIR KATKISI İLE DEMİR ESASLI ÇELİK KÖPÜĞÜN YAPISININ VE BASMA DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ	Arş. Gör. Gizem KARABULUT Doç. Dr. Nuray BEKÖZ ÜLLEN

BAKIR KATKISI İLE DEMİR ESASLI ÇELİK KÖPÜĞÜN YAPISININ VE BASMA DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Araş. Gör. Gizem KARABULUT
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, -ORCID:0000-0003-0930-5380
Doç. Dr. Nuray BEKÖZ ÜLLEN
İstanbul Üniversitesi- -ORCID:0000-0003-2705-2559

ÖZET

Yeni nesil mühendislik malzemelerinden olan köpüksü metaller; düşük yoğunluk, yüksek enerji sönümleme, düşük elektrik ve ısıl iletkenlik, yüksek akustik özelliklere sahip olmalarından dolayı otomotiv, havacılık, uzay, inşaat ve medikal alanlarda kullanım olanağı bulmuştur. Metalik köpüklerin üretim yöntemleri ve karakterizasyon çalışmaları, özelliklerinin gelişmesine ve iyileşmesine katkı sağlayarak kullanım potansiyelini arttıracaktır. Bu çalışmada; demir esaslı köpüksü numuneler %1,5 Mo içeren ticari isimi Astaloy Mo olan ön alaşımlı demir tozuna ağ.%2 Cu katılarak ve katılmayarak toz metalurjisindeki boşluk yapıcı tekniği kullanılarak üretilmiştir. Boşluk yapıcı olarak, 0,71-1,00 mm partikül boyut aralığına sahip düzensiz şekilli karbamit kullanılmıştır. Köpüksü yapının üretim aşamaları; karbamitin ve tozun belli oranlarda karıştırılması, presleme, kompakt parçalardan karbamitin suda çözündürülerek uzaklaştırılması ve sinterleme kademelerinden oluşmaktadır. Sinterleme sonrası yaklaşık %53-73 arasında gözenek oranlarına sahip Cu katkılı ve katkısız köpüksü yapıların makro ve mikro yapısal karakterizasyonu ve basma testleri yapılmıştır. Sinterlenmiş numunelerin gözenek boyutu, şekli ve oranının ilave edilen boşluk yapıcının özellikleriyle benzer olduğu belirlenmiştir. Artan gözenek oranıyla gözenek duvarları incelmiş, basma dayanımı ve elastisite modülü azalmış ancak yoğunlaşmanın başladığı şekil değişimi artmıştır. Cu katkısı ile sıvı faz sinterlemesi oluşarak gözenek duvarlarındaki mikro gözenek oranı azalmış ve basma dayanımı artmıştır. Cu katkısının etkisi artan gözenek oranıyla azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Köpük metal, basma dayanımı, sıvı faz, mikro ve makro gözenek.

1. GİRİŞ

Yeni bir mühendislik malzeme sınıfı olan metalik köpük yapılar mühendislik uygulamaları açısından birçok üstün özelliklere sahiptir. Metal esaslı köpüksü yapılar; alüminyum ve alaşımları, paslanmaz çelik, demir esaslı alaşımlar, titanyum, bakır, kurşun, magnezyum, nikel, çinko gibi farklı metallerden oluşur [1,2]. Çelik köpükler; düşük yoğunluk, yüksek dayanım, yüksek enerji sönümleme, ses ve titreşim sönümleme, düşük elektrik ve ısı iletkenliği, yüksek ısıl absorpsiyonu, yüksek sıcaklıkta kararlı yapısı, toksit madde oluşturmaması, yüksek yanma direnci ve filtreleme gibi özellikler içerirler. Bu özellikleri sayesinde otomotiv, uzay, havacılık, deniz ve demir yolu ulaşım, inşaat, medikal ve kimya sanayi gibi birçok alanda kullanım potansiyeline sahip olmuştur [3,4]. Metalik köpüklerin

fonksiyonel ve yapısal kullanım alanlarını belirleyen temel özelliği gözenek yapısının açık, kapalı veya karmaşık formda olmasıdır. Köpüksü yapıların üretim yöntemleri arasında; gözenek özelliklerin, malzemenin mekanik ve yapısal özelliklerin kontrol edilebilirliği açısından boşluk yapıcı kullanılarak toz metalürji tekniği öne çıkmaktadır [5,6]. Literatürde demir esaslı çelik köpük yapıların boşluk yapıcı kullanılarak toz metalürji tekniği ile üretimi üzerine birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır [4-12]. Bu çalışmalar çelik köpüklerin makro gözenek yapısının şekli, dağılımı, oranı ve bunların mekanik özellikler üzerine etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Köpüksü yapıların mekanik davranışları yalnızca makro gözeneklerden değil sinterleme süreci veya alaşım element katkısı ile değişen mikro gözenek ve hücre duvar yapısından da etkilenmektedir [6]. Bu alanda literatürde kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Çelik köpük yapıların geniş ölçekte kullanımı ve başarılı uygulamaları için tüm faktörlerin özellikler üzerindeki etkisinin ayrıntılı olarak anlaşılması gerekmektedir.

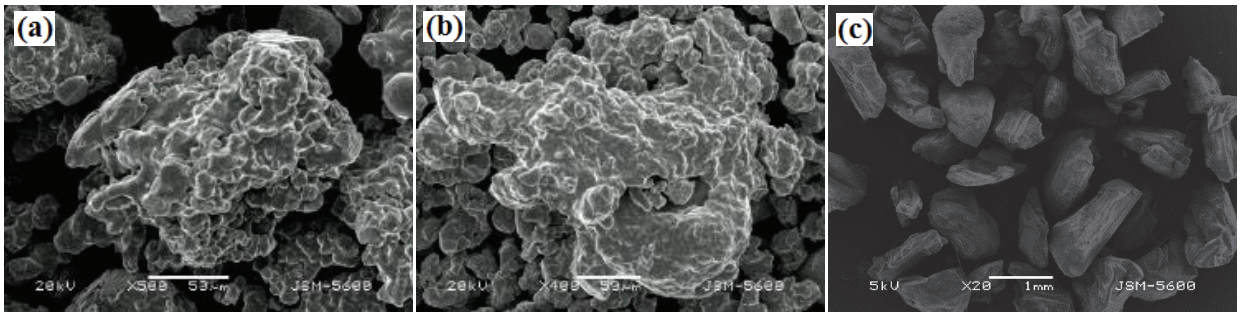
Toz metalurjisi tekniği ile parça üretiminde üstün mekanik özellikler elde etmek için ön alaşımlı demir tozu kullanımı oldukça yaygındır. Ticari olarak Astaloy Mo olarak bilinen düşük alaşımlı çelik tozu, %1,5 Mo içeren kısmen ön alaşımlı su atomizasyonu ile üretilmiş bir tozdur. Mo alaşımı sinter yapıya yüksek sıkıştırılabilirlik, sinterleme sonrası homojen bir mikroyapı ve yüksek sertleşebilirlik özellikleri katar [13]. Mo'in ısıl şoklara ve yüksek sıcaklığa karşı iyi bir dayanım sergilemesinden dolayı ısı kalkanı olarak yalıtım ve soğutma sistemlerinde, yanma motorlarının yüksek sıcaklığa maruz kalan çıkış yerlerinde köpüksü yapı olarak kullanımı mümkündür [2]. Alaşım elementi olarak Cu katkısı ile sinterleme sırasında sıvı faz oluşturarak mukavemet arttırılır. Cu alaşımı demir esaslı alaşımının sinterleme sıcaklığının altında, 1083 °C'de ergiyerek sıvı faz oluşturur. Aynı zamanda alaşım elementlerinin homojen dağılımına da katkıda bulunur ve korozyon direncini de iyileştirir [14,15]. Toz metalürjisi tekniği ile boşluk yapıcı kullanılarak çelik köpük üreten bazı çalışmalarda Cu varlığının gözenek duvarlarındaki mikro gözenek oranını azaltarak daha yoğun hücre duvarları oluşturduğunu rapor edilmiştir [6,8]. Son yıllarda, çelik köpüklerin üretim süreçleri geniş çapta araştırılmıştır. Ancak, gözenekli çelik yapıların mikroyapı ve mekanik özelliklerine çeşitli alaşım elementlerin eklenmesinin etkileri henüz yeteri kadar çalışılmamıştır. Literatürde Mo ön alaşımlı demir esaslı toz kullanılarak üretilen çelik köpüklerin özellikleri üzerine Cu katkısının etkisi ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada demir esaslı köpüksü numuneler; %1,5 Mo içeren ticari isimi Astaloy Mo olan ön alaşımlı demir tozuna ağ. %2 Cu katılarak toz metalurjisindeki boşluk yapıcı tekniği kullanılarak üretilmiştir. Farklı gözenek oranlarına sahip çelik köpük uyapılara Cu katkısının gözenek duvarlarındaki makro ve mikro gözenek oranına, mikroyapısal ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme ve Yöntem

Çelik köpüklerin üretiminde Höganäs firması tarafından atomizasyon yöntemi ile üretilmiş ticari ismi Astaloy Mo %1,5 Mo içeren demir esaslı toz ve %99,30 safiyette Cu tozu kullanılmıştır. Astaloy Mo ve Cu tozunun görünür yoğunluğu sırasıyla; 3,10 g/cm^3 ve 2,86 g/cm^3'dür. Ortalama tane boyutu 75 µm ve 109 µm olan sırasıyla Cu ve Astaloy Mo tozlarının içeriğinde yağlayıcı olarak %0,8 Zn-streat bulunmaktadır [13]. Ham köpüksü yapıların

mukavemetini arttırmak için bağlayıcı olarak Merck firmasından temin edilen parafin kullanılmıştır. Boşluk yapıcı olarak; Merck firmasından alınan 1,34 g/cm^3 yoğunluğa sahip, suda çözünürlüğü yüksek olan (1000 g/L), düzensiz şekilli, 710-1000 µm boyut aralıklarına sahip yüksek safiyette karbamit tozu kullanılmıştır. **Görsel 1'**de Astaloy Mo, Cu tozu ve karbamit parçacıklarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Görsel 1. a)Astaloy Mo tozu, b)Cu tozu ve c) karbamit parçacıklarının SEM görüntüsü

Toz metalurjisindeki boşluk yapıcı tekniği ile köpüksü metalik yapı üretmenin işlem süreçleri: Metalik toz ve Cu tozunun karıştırılması, karışımın ham mukavemet için bağlayıcı ile tekrar karıştırılması, boşluk yapıcı olarak kullanılan karbamit yüzeyinin toz ile karıştırılarak kaplanması, toz karışımların preslenmesi, karbamitin gözenekli yapı oluşturmak amacıyla yapıdan çözündürme yoluyla uzaklaştırılması ve sinterleme adımlarıdır. Astaloy Mo tozuna ağ. %2 oranında Cu tozu, homojen dağılması için Apex marka laboratuvar tipi bir karıştırıcıda 30 dev/dak hız ile 45 dak işlem görerek karıştırılmıştır. Ardından; ağ.%3 oranında parafin çözeltisinden hac.%2 oranında parafin, Cu katkılı ve katkısız tozlara ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlar gözenekli yapılar elde etmek için karbamit parçacıkları ile turbula tipi karıştırıcıda 60 dak boyunca karıştırılmış ve karbamit yüzeyi demir esaslı toz parçacıkları ile kaplanmıştır. Farklı gözenek oranlarında yapılar elde etmek amacıyla Cu katkılı ve katkısız tozlara hac.%60, %70 ve %80 oranlarında karbamit ilavesi yapılmıştır. Yüzeyi tozlarla kaplanmış karbamit parçacıkları tek yönlü hidrolik bir kalıp makinesi ile 200 MPa basınç altında çelik kalıplar kullanılarak 12 mm çapında yaklaşık 15 mm yüksekliğe sahip ham kompakt parçalar üretilmiştir. Karbamit parçalarının ham yapıdan uzaklaştırılması saf su banyosunda yapılmıştır. Karbamitin saf suda çözündürülerek uzaklaşması sinterleme ile uzaklaştırmasına göre oldukça ekonomik, kolay ve çevre dostu bir proses adımıdır [1,4]. Hac. %60, %70 ve %80 karbamit içeren numuneler için suda çözündürme süreci sırasıyla 12, 8 ve 5 saat olarak yapılmıştır. Parçalarda kalan az miktarda karbamitin giderilmesi ham numunelerin sinterleme işlemi ile alümina seramik boruya sahip Lenton marka fırında gerçekleştirilmiştir. İşlem; 5 ºC/dak ısıtma hızıyla 400 °C'ye kadar azot atmosferi altında, 10 ºC/dakika ısıtma hızıyla 1200 °C'ye kadar hidrojen atmosferi altında gerçekleşmiştir. Sinterleme sırasında; 400 °C'de 30 dak, 1200 °C'de 60 dak süre ile bekletilmiştir. Çalışmanın akışında sürekli tekrarları ortadan kaldırmak ve akıcılık açısından sinter numunelere **Çizelge 1'**de ki gibi kodlamalar yapılmıştır.

Çizelge 1. Sinter köpüksü çelik parçaların kodlaması

Toz Grubu	Sinter parçaların kodları
Astaloy Mo-hac.%60 karbamit	A-60
Astaloy Mo-hac.%70 karbamit	A-70
Astaloy Mo-hac.%80 karbamit	A-80
Astaloy Mo+ağ.%2 Cu-hac.%60 karbamit	ACu-60
Astaloy Mo+ağ.%2 Cu-hac.%70 karbamit	ACu-70
Astaloy Mo+ağ.%2 Cu-hac.%80 karbamit	ACu-80

2.2. Karakterizasyon Çalışmaları

Sinterlenmiş köpüksü çelik yapıların toplam, açık ve kapalı gözenek oranları Arşimed Prensibine göre belirlenmiştir. Gözeneklerin küresel çap ve küresellik değerleri Clemex Vision PE-4.0 görüntü analiz programı ile tespit edilmiştir. Görüntü analizleri Jeol marka JSM-5600 model SEM cihazı ile yapılmıştır. Metalografik incelemeler için yoğun gözenekli parçalar vakumlu kalıplama cihazında epoksi reçine ile kalıp içine alınmış ve ardından parlatma ve %2 Nital çözeltisinde dağlama işlemleri yapılmıştır. Metalografik incelemeler Olympus marka PME3 model mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Basma testleri; Xpert programının V11-02 sürümüne sahip Z050 PROLINE model ZWICK marka mekanik test cihazında 0,5 mm/dak basma hızıyla oda sıcaklığında yapılmıştır.

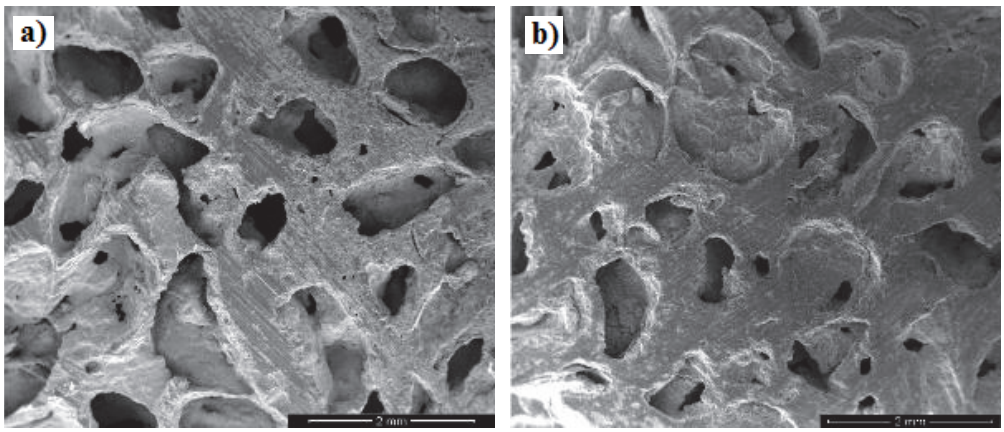
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Boşluk yapıcı olarak kullanılan karbamitin suda çözündürmesi ile numunelerden uzaklaştırılması ve sinterleme aşamaları kompakt parçalar üzerinde bir hasar oluşturmamıştır. Sinterleme sonrası çelik köpüklerin toplam, açık ve kapalı gözenek oranları **Çizelge 2**'de verilmiştir. Hac. %60, %70 ve %80 oranlarında karbamit ilave edilen numunelerin toplam gözenek oranları, suda çözündürme sonrası karbamitin yapıdan uzaklaşması ve ardından sinterleme sırasında çekme sonucu hem Cu içeren hem de içermeyen numunelerde azalmıştır. Bu azalma Cu içeren numunelerde daha belirgindir. Literatürde bu durum; Cu elementinin 1083 °C'de eriyerek sinterleme esnasında sıvı faz oluşturması ile kılcal kuvvetler yaratarak gözenekleri doldurması ile açıklanmaktadır [16]. Sazegaran ve Hojati [8] çelik köpük üretiminde Cu'ın mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisini incelediği çalışmada, artan Cu oranı ile gözenek oranının %77,2'den %71,9'a düştüğünü rapor etmişlerdir. Karbamit miktarı azaldıkça sinterleme sonrası numunelerin gözenek içerikleri de azalmıştır. Artan gözenek oranıyla açık gözenek oranı artmış kapalı gözenek oranı azalmıştır. Tüm numunelerde hem açık hem de kapalı gözenek olması yapının karma bir gözenek yapısında olduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılan üretim tekniği ile yapılan birçok çalışmada da benzer sonuçlar rapor edilmiştir [1,4-6].

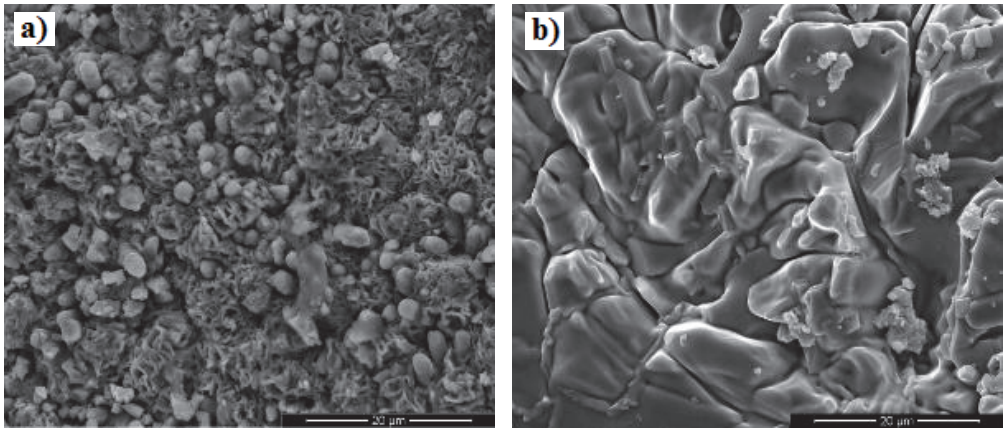
Çizelge 2. Sinter köpüksü çelik yapıların toplam, açık ve kapalı gözenek oranları

Numune kodları	Toplam gözenek, %	Açık gözenek, %	Kapalı gözenek, %
A-60	55,1 ±1,6	43,2	11,9
A-70	63,8 ±1,8	54,9	8,9
A-80	72,9±2,1	66,5	6,4
ACu-60	52,8 ±1,6	38,5	14,3
ACu-70	60,3 ±1,7	52,5	7,8
ACu-80	70,8 ±2,4	65,1	5,7

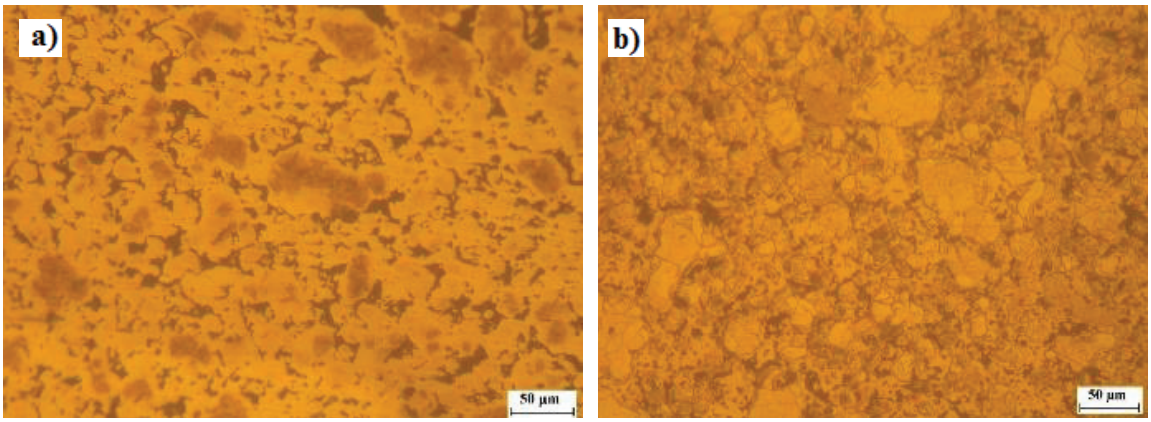
Görsel 2'de hac.%80 karbamit ilavesi yapılmış %72,9 gözenek içeren Cu ilavesiz ve %70,8 Cu ilaveli numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Gözenekli yapının oldukça belirgin olduğu, gözeneklerin hücre duvarları ile ayrıldığı, hücre duvarları üzerinde mikro gözeneklerin olduğu ve yapıda çatlak oluşmadığı görülmektedir. Makro gözenek morfolojisinin düzensiz bir formda olması kullanılan karbamit şekli ile açıklanmaktadır. Boşluk yapıcı kullanılarak toz metalurji ile yapılan birçok çalışmada, makro gözeneklerin boyut, şekil, oran ve dağılımlarının kullanılan boşluk yapıcının özellikleri ile belirlendiği rapor edilmiştir [2,4-6,11,12]. Bu durum kullandığımız üretim yönteminin kontrol edilebilirliğinin önemini de açıklamaktadır. **Görsel 3** ve **Görsel 4**'de Cu katkısız ve katkılı çelik köpüklerin gözenek duvarlarından daha büyük büyütme oranlarında alınan sırasıyla; SEM görüntüleri ve optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Her iki görselde incelendiğinde; Cu katkılı numunenin görüntüsünde Cu elementinin sıvı faz sinterlemesi ile tane sınırlarında yoğunluk oluşturduğu görülmektedir. Mikroyapı görüntüsünde Cu'ın demir matriks içinde homojen bir şekilde dağılım gösterdiği görülmektedir. Cu'ın tane sınırları boyunca daha koyu renkte olduğu ve tane sınırları boyunca dağıldığı da görülmektedir. Mikroyapıda gözlenen fazlar literatürde verilen TM ile üretilmiş Astaloy Mo esaslı yoğun kompakt yapıların mikroyapıları ile uyuşmaktadır [18]. Cu'ın ergime sıcaklığı sinterleme sıcaklığının altında olduğundan difüzyon yoluyla demir partiküllerinin temas noktalarına taşınır. Demir partikülleri arasındaki boşluklar sıvı faz sinterlemesi için oldukça idealdir [15,18]. Literatürde Cu elementinin azalan yüzey enerjisi ile sıvı Cu'ın demir partikül yüzeylerinden gözeneklere ve tane sınırlarına sızdığı ifade edilmiştir [16]. Yapılan birçok bilimsel çalışmada sinterleme esnasında alaşım elementi olarak ilave edilen Cu'ın gözenekleri doldurarak elde edilen malzemenin yoğunluğunu arttırmaya yardımcı olduğu rapor edilmiştir [8, 18-20]. Sazegaran ve Hojati [8] çelik köpüklere Cu elementinin etkilerini inceledikleri çalışmada, Cu parçacıklarının eriyerek demir parçacıklarının dış yüzeylerinde yoğunlaştığını ve mikro gözenekleri doldurduğunu rapor etmişlerdir. Bakan [11] 316L paslanmaz çelikten ürettiği %70 gözenek içeren çelik köpüklere B katkısı ile sıvı faz sinterlemesi gerçekleştirmiştir. Çalışmada, hücre duvarlarında var olan mikro gözeneklerin sıvı faz sinterlemesi ile elimine olduğunu, makro gözeneklerin yapısında ise herhangi bir değişim olmadığını rapor etmiştir.



Görsel 2. Köpüksü çelik yapıların SEM görüntüleri a)A-80 ve b)ACu-80



Görsel 3. a) Cu katkısız ve b)%2Cu katkılı köpüksü çelik yapıların tane sınırlarının SEM görüntüleri



Görsel 4. a) Cu katkısız ve b)%2Cu katkılı köpüksü çelik yapıların mikroyapı görüntüleri

Sinterleme sonrası Cu katkısız ve katkılı farklı gözenek oranlarında numunelerin küresel çap (gözenek boyutu) ve küresellik (gözenek şekli) değerleri **Çizelge 3**'de verilmiştir. Benzer gözenek oranlarında Cu katkısız ve katkılı parçaların küresel çap ve küresellik değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Cu katkılı parçaların ortalama küresel çap değerleri katkısızlara

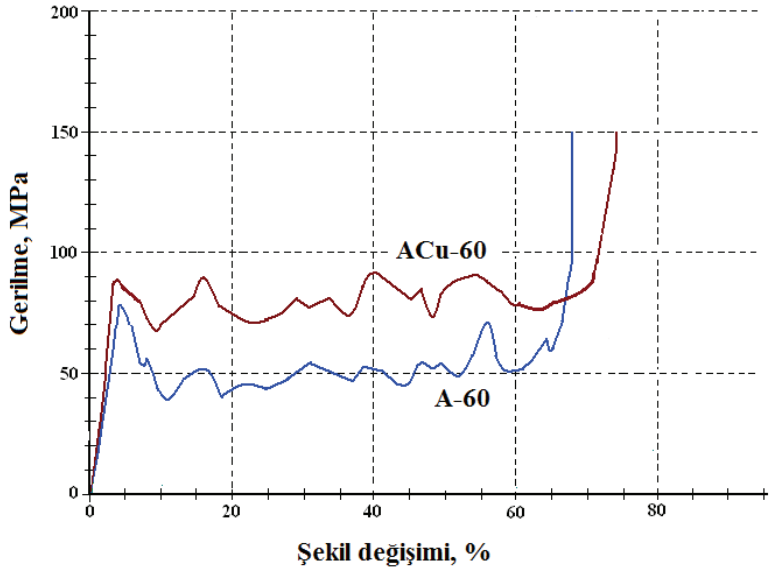
göre bir miktar az, küresellik değerleri ise bir miktar fazla tespit edilmiştir. Bu durum Cu elementinin tane sınırlarına difüzyonu ile oluşturduğu sıvı faz sinterlemesi ile açılanabilir. Yaşanan sıvı faz sinterlemesi ile ortalama gözenek boyutları azalmış ve gözeneklerin küreselliliği artmıştır. Makro gözenek oranındaki artış ile ortalama küresel çap değerleri azalmış ancak küresellik artmıştır. Düşük gözenek oranlarında, hücre duvarlarının daha kalın olmasından dolayı bu durum daha fazla kendini göstermektedir. Bunun temel nedeni sinterleme prosesinden kaynaklanan gözenek duvarlarında çekmenin baskın olmasıdır. Yüksek gözenek oranlarında ortalama küresel çap oranındaki artış ve maksimum gözenek boyutunun boşluk yapıcı boyutuyla yakın değerlerde olması, artan karbamit oranının birbiriyle bağlantı kuran gözeneklere sebep olmasından kaynaklanmaktadır. Beköz ve Oktay [6] Cu-Ni-Mo ve Mo ön alaşımlı çelik tozlar kullanarak ürettiği köpüksü yapılarda benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

Çizelge 3. Sinter köpük çelik yapıların ortalama küresel çap ve küresellik değerleri

Numune kodları	Küresel çap, µm				Küresellik			
	Min.	Maks.	Ortalama	Std.Sapma	Min.	Maks.	Ortalama	Std.Sapma
A-60	76,8	686,4	398,6	139,8	0,08	0,98	0,55	0,188
A-70	63,9	797,8	408,3	141,4	0,09	0,97	0,52	0,262
A-80	52,8	822,5	488,6	131,4	0,07	0,96	0,51	0,232
ACu-60	88,6	698,3	392,5	157,4	0,09	0,97	0,57	0,227
ACu-70	73,4	754,8	429,2	145,2	0,08	0,98	0,54	0,248
ACu-80	51,7	786,4	444,5	139,2	0,07	0,96	0,52	0,267

Hac.%60 karbamit ile üretilmiş %55,1 gözenek içeren Cu katkısız ve %52,8 gözenek içeren %2 Cu katkılı çelik köpük yapıların gerilme ve %şekil değişim eğrileri **Görsel 5**'de verilmiştir. Basma eğrileri köpüksü metal yapıların tipik basma davranışını ifade etmektedir [2]. Basma eğrileri elastik bir bölgeye, uzun bir plato bölgesine ve gerilmenin hızla arttığı yoğunlaşma bölgesine sahiptir. Elastik bölgeden sonra oluşan yoğun gözenek duvarı kırılması nedeniyle gerilmede ani düşüşler yaşanmıştır. Bu zig-zaglı görüntü aynı zamanda gevrek bir yapının olduğunun da göstergesidir [1, 21]. Cu katkısının akma dayanımını, plato bölgesinin uzunluğunu ve yoğunlaşmanın başladığı şekil değişimini arttıran yönde belirgin etkisi görülmektedir. Çalışmada kullanılan tüm Cu katkısız ve katkılı farklı gözenek oranlarına sahip numunelerin elastisite modülleri, basma mukavemeti ve yoğunlaşmanın başladığı şekil değişim değerleri **Çizelge 4**'de verilmiştir. Artan gözenek basma dayanımını ve elastik modülleri azaltmış, yoğunlaşmanın başladığı şekil değişimini arttırmıştır. Azalan gözenek oranıyla, artan hücre duvarı kalınlığından dolayı Cu katkısının mekanik özellikler üzerine olan etkisi daha da artmıştır. Literatürde birçok çalışmada demir esaslı ön alaşımlı tozlar ile toz metalürji yöntemiyle üretilen yoğun kompakt ürünlerde Cu tozu ilavesinin sinterleme sırasında sıvı faz oluşturarak mukavemeti iyileştirdiği rapor edilmiştir [22]. Bakan [11] ürettikleri paslanmaz çelik köpükte B elementinin sıvı faz sinterlemesi ile mikro gözenek oranını azaltarak daha iyi basma dayanımları elde ettiklerinin rapor etmişlerdir. Bazı çalışmalarda Cu alaşım elementi ile sıvı faz oluşturmanın sadece Fe-Cu-C için değil, aynı zamanda Mo, Cr ve W ile alaşımlı çelikler için de mekanik özellikleri iyileştiren bir mekanizma olduğu belirtilmiştir [8]. Michailidis ve

diğ. [23], toz metalürjisi ile ürettikleri %50-70 arasında gözenek içeren Al parçalarda, sıvı faz sinterlemesinin gerçekleşerek gözenek duvarlarındaki mikro gözenekleri azalttığını ve mekanik özellikleri iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Sazegaran ve Hojati [8] Cu elementinin katkısı ile çelik köpüklerin yapısında oluşturulan bakır adacıklarının demir tozları arasındaki bağlantıyı iyileştirerek mekanik özellikleri artırdığını rapor etmişlerdir. Elde ettiğimiz sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir.



Görsel 5. %2Cu katkılı ve katkısız köpüksü çelik yapıların basma eğrileri

Çizelge 4. %2Cu katkılı ve katkısız köpüksü çelik yapıların elastisite modülü, basma mukavemeti ve yoğunlaşmanın başladığı şekil değişimleri

Numune kodları	Elastisite Modül, GPa	Basma Mukavemeti, MPa	Yoğunlaşmanın başladığı şekil değişimi, %
A-60	2,07 ±0,12	78 ±5,6	69 ±2,6
A-70	1,66 ±0,09	46 ±4,9	71 ±4,2
A-80	0,68 ±0,10	22 ±3,8	75 ±1,5
ACu-60	2,11 ±0,21	86 ±9,1	74 ±2,9
ACu-70	1,82 ±0,15	54 ±6,4	79 ±3,9
ACu-80	0,71 ±0,09	28 ±4,6	81 ±4,8

4. GENEL SONUÇLAR

Toz metalürjisi tekniği ile boşluk yapıcı-suda çözündürme yöntemi kullanılarak %1,5 Mo içeren ön alaşımlı demir tozlarına %2 Cu tozu katılarak faklı gözenek oranlarında çelik köpükler elde edilmiştir. Artan gözenek oranıyla açık gözenek oranı artmış kapalı gözenek oranı azalmıştır, küresel çap artmış, küresellik azalmıştır. Benzer gözenek oranları kıyaslandığında Cu katkısı ile gözenek oranı ve küresel çap değerleri azalmış, küresellik ise çok az artmıştır. SEM analizlerinde, elde edilen gözeneklerin kullanılan karbamitin şeklinde düzensiz morfolojiye sahip olduğu ve makro gözeneklerin yanı sıra hücre duvarlarında mikro

gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde, Cu katkılı numunelerde Cu fazının sıvı faz sinterlemesi sonucu demir matris fazı içerisinde tane sınırlarında birikerek yoğunlaştığı görülmüştür. Mekanik imcelemeler sonucunda; artan gözenek oranıyla basma dayanımı ve elastisite modülü azalmış ancak yoğunlaşmanın başladığı şekil değişimi artmıştır. Cu katkısı ile mekanik özellikler iyileşmiştir. Bu artış gözenek oranının düşmesiyle daha belirgin hale gelmiştir. Bu çalışmada hedefimiz çelik köpük yapıların özelliklerinin iyileştirilmesi ile kullanım potansiyelinin arttırılmasıdır. Literatürde köpüksü metalik yapılarla ilgili çalışmaların kısıtlı sayıda olması, bu konuyu bilimsel alanda çalışmak için cazip kılmaktadır. Bu çalışmanın konuyla ilgili çalışma yapacak araştırmacılara yardımcı bir kaynak olmasını ümit ediyoruz.

KAYNAKÇA

[1] Smith, B. H., Szyniszewski, S., Hajjar, J. F., Schafer, B. W., Arwade, S. R., Steel foam for structures: A review of applications, manufacturing and material properties. Journal of Constructional Steel Research, 71, 1, 2012.

[2] Bekoz, N., Oktay, E., Effects of carbamide shape and content on processing and properties of steel foams. Journal of Materials Processing Technology, 212(10), 2109-2116, 2012.

[3] Kremer, K., Liszkiewicz, A., Adkins, J., Development of steel foam materials and structures. American Iron and Steel Institute, Fraunhofer, USA (US), 2004.

[4] Üllen, N. B., Characterization of Cr-Mo Alloyed Steel Foams Produced by Evaporative and Leachable Space Holder Techniques. Kocaeli Journal of Science and Engineering, 5(2), 126-134, 2022.

[5] Bekoz, N., Oktay, E. Mechanical properties of low alloy steel foams: Dependency on porosity and pore size. Materials Science and Engineering: A, 576, 82-90, 2023.

[6] Bekoz, N., Oktay, E., The role of pore wall microstructure and micropores on the mechanical properties of Cu–Ni–Mo based steel foams. Materials Science and Engineering: A, 612, 387-397, 2014.

[7] Hu, G., Xu, G., Gao, Q., Feng, Z., Huang, P., Zu, G., Compressive Properties and Energy Absorption Behavior of 316L Steel Foam Prepared by Space Holder Technique. Materials, 16(4), 1419, 2023.

[8] Sazegaran, H., Hojati, M. Effects of copper content on microstructure and mechanical properties of open-cell steel foams. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 26(5), 588-596, 2019.

[9] Sazegaran, H., Nezhad, S. M. M. Cell morphology, porosity, microstructure and mechanical properties of porous Fe-CP alloys. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 28, 257-265, 2021.

[10] Sazegaran, H., Fazeli, M., Ganjeh, M., Nasiri, H., Effect of Molybdenum Addition on Microstructural and Mechanical Characterization of Highly Porous Steels. Metals and Materials International, 27, 5228-5238, 2021.

[11] Bakan, H. I., A novel water leaching and sintering process for manufacturing highly porous stainless steel. Scripta materialia, 55(2), 203-206, 2006.

[12] Gülsoy, H.Ö., German, R.M., Sintered foams from precipitation hardened stainless steel powder, Powder Metall., 51, 4, 350, 2008.

[13] Höganäs Handbook for Sintered Components, Höganäs Iron and Steel Powder for

Sintered Components. Höganäs AB, Sweden, 2004.

[14] Günen, M., Bakkaloğlu, A., Influence of sinter-hardening on microstructures and mechanical properties of Astaloy Mo-based steels. Materials Letters, 251, 201-205, 2019.

[15] German, R.M., Suri, P., Park, S.J., Review: liquid phase sintering, J. Mater. Sci., 44, 1, 1, 2009.

[16] Abdou, S., Elkaseer, A., Kouta, H., Abu Qudeiri, J., Wear behaviour of grey cast iron with the presence of copper addition, Advances In Mechanical Engineering, 10 (10): 1687814018804741, 2018.

[17] Höganäs handbook for sintered components: metallography. Sweden: Höganäs AB; 2004.

[18] Wong-Ángel, W. D., Téllez-Jurado, L., Chávez-Alcalá, J. F., Chavira-Martínez, E., Verduzco-Cedeño, V. F., Effect of copper on the mechanical properties of alloys formed by powder metallurgy, Materials & Design, 58: 12–18, 2014.

[19] Simchi, A., Effect of C and Cu addition on the densification and microstructure of iron powder in direct laser sintering process, Mater. Lett., 62, 17-18, 2840, 2008.

[20] Metinöz, I., Cristofolini, I., Pahl, I., DeNicolo, A., Marconi, P., Molinari, A., Theoretical and experimental study of the contact fatigue behavior of a Mo–Cu steel produced by powder metallurgy, Mater. Sci. Eng. A, 614, 81, 2014.

[21] Banhart, J., Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams, Prog. Mater. Sci., 46, 6, 559, 2001.

[22] Beköz N, Toz Metalurjisi Yöntemiyle Elde Edilen Demir Esaslı Köpüksü Metallerin Mikroyapısı ve Mekanik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

[23] Michailidis, N., Stergioudi, F., Tsouknidas, A., Pavlidou, E., Compressive response of Al foams produced via a powder sintering process based on a leachable space-holder material, Mater. Sci. Eng. A, 528, 3, 1662, 2011.