

Makale / Research Paper

**Alüminyum Köpük Üretiminde Alüminyum Döküm Cürufu İlavesinin
Mekanik Özelliklere ve Mikroyapıya Etkisi**

Pınar UYAN^{1,2a}, Neşe ÖZTÜRK KÖRPE^{3b}

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, MYO, Makine ve Metal Teknolojileri, Metalurji, Pelitözü Mah. Fatih Sultan Mehmet Bulvarı No:27, 11230 Merkez/Bilecik/Türkiye

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 11230 Bilecik, Türkiye

³Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, ESOĞÜ Meşelik Yerleşkesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, M3 Bina, 26480, Eskişehir/Türkiye

pinar.uyan@bilecik.edu.tr

Received/Geliş: 08.11.2021

Accepted/Kabul: 06.06.2022

Öz: Bu çalışmada, Al köpükler, 6063 Al alaşım döküm cürufu ve Borik asit kullanılarak üretilmiştir. Köpük malzemeler 130 °C'de 1 saat ve 550 °C'de 3 saat sinterlenmiştir. Mikroyapı optik ve taramalı elektron mikroskoplarla (SEM) analiz edilmiştir. Basma mukavemeti basma test cihazıyla ölçülmüştür. Cüruf miktarının artmasıyla gözeneklilik %34,8'den %37,8'e, basma dayanımı 12,43 MPa'dan 20,25 MPa'a ve sertlik 98 HV'dan 115 HV'a artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cüruf, alüminyum köpük, basma mukavemeti, karakterizasyon

**Effect of Aluminum Casting Dross Addition on Mechanical Properties
and Microstructure in Aluminum Foam Production**

Abstract: In the study, Al foams were produced using 6063 Al alloy casting dross and Boric acid. Foam materials were sintered at 130 °C for 1 hour and at 550 °C for 3 hours. The microstructure was analyzed with optical and scanning electron microscopes (SEM). Compression strength was measured with a compression tester. The porosity increased from 34.8% to 37.8%, the compressive strength increased from 12.43 MPa to 20.25 MPa, and the hardness increased from 98 HV to 115 HV with increasing dross amount.

Keywords: Dross, aluminum foam, compressive strength, characterization

1. Giriş

Alüminyum esaslı metalik köpükler uygun süneklik ve düşük özgül ağırlıkları nedeniyle en çok kullanılan köpük malzemelerdir. Alüminyum köpük ürünleri havacılık, yüksek hızlı trenler, şehir içi raylı trenler, gemi yapımı, inşaat, tüneller ve ses bariyerlerinde yaygın kullanılmaktadırlar. Yüksek darbe enerjisi emilimi, yüksek elektromanyetik kalkanlama performansı, mükemmel ısı yalıtımı, yüksek sıcaklık direnci, yangına dayanıklılık, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve yanmazlık önemli özellikleridir [1–18].

2. Literatür Özeti

Metalik köpük malzemelerin farklı üretimler ve farklı katkıları kullanılarak üretim maliyetleri azaltılmaya çalışılmakta olup, borik asitin alternatif boşluk oluşturucu olarak kullanımında başarılı

Bu makaleye atıf yapmak için

Uyan P., Körpe N.Ö., "Alüminyum Köpük Üretiminde Alüminyum Döküm Cürufu İlavesinin Mekanik Özelliklere ve Mikroyapıya Etkisi", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9 (3); 996-1004.

How to cite this article

Uyan P., Körpe N.Ö., "Effect of Aluminum Casting Dross Addition on Mechanical Properties and Microstructure in Aluminum Foam Production", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (3); 996-1004.

ORCID: *0000-0003-0411-9773; *0000-0002-6868-8126

sonuçlar elde edilmiş ve elde edilen metalik köpüğün relatif yoğunluk, mikroyapı ve basma mukavemeti özelliklerine, borik asit miktarı, presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı gibi süreç parametrelerinin etkileri araştırılmıştır [19]. Al köpük malzemenin yanı sıra Al_2O_3 katkılı kompozitlerde [20] ve uçucu kül ilaveli kompozitlerde de [21] mukavemet değerlerinde önemli artış sağlanmıştır. Bu çalışmada ise tüm bunlardan farklı olarak, 6063 Al alaşımı döküm cürufunun değerlendirilmesi amacıyla üretimler gerçekleştirilmiştir. Al cüruflar kompleks yapıda olup, metal oksit, nitrür, karbür, sülfür, metal ve metal dışı safsızlıklar içermeleri [22] nedeniyle, döküm cürufunun değerlendirilerek ekonomiye kazandırılmasının önemi açıktır. Bu çalışmada cüruf kullanılarak köpük üretimi gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Cüruf miktarına bağlı olarak sertlik ve basma dayanımları test edilerek, gözenek boyutu, gözenek yapısı, gözenek duvarı gibi özelliklerin belirlenmesinde mikro yapı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

3. Materyal ve Metot

3.1. Materyal

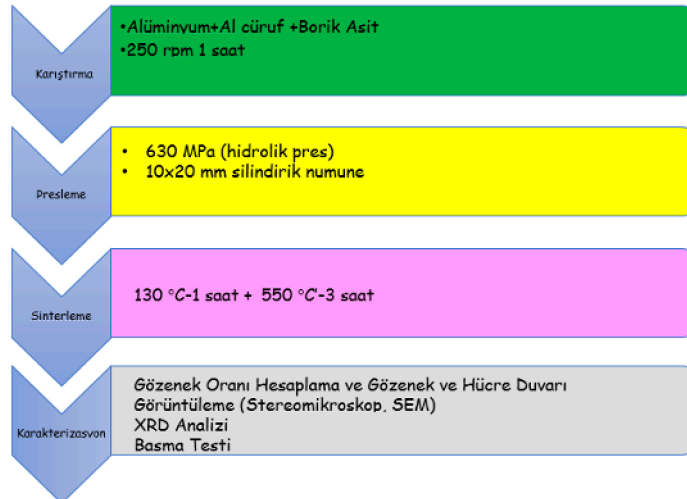
Çalışmada Al tozu (<45 μm boyutunda, %99.5 saflıkta) Alfa Aesar firmasından, boşluk oluşturuç olarak kullanılan Borik asit (~500 μm) Eti Maden Kırka Bor İşletmelerinden ve takviye elemanı olarak kullanılan 6063 Al cürufu Arslan Alüminyum (Bilecik) firmasından temin edilmiştir. Cüruf bileşimi analiz edilmiş (Rigaku ZSX Primus) ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Cüruf bileşimi

Oksit	MgO	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅
(% Ağ.)	7,14	3,30	1,770	0,0376	0,0395	0,131	0,196	0,104	0,0331	0,0185

3.2. Metot

Al köpük üretim proses akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Al tozu, Al cürufu (ağ.%20 ve %30) ve Borik Asit (Ağ.% 50) 250 rpm’de 1 saat karıştırılmış, hazırlanan toz karışım 630 MPa basınçta hidrolik preslenmiştir. 2080 çeliğinden kalıp kullanılarak ve preslemeyle elde edilen numuneler (10x20 mm), 130 °C’de 1 saat, ardından 550 °C’de 3 saat sinterlenmiştir. Ağ.%50 borik asit + ağ.%20-30 cüruf içeren numuneler 630 MPa presleme basıncı ile preslendikten sonra Şekil 2’de verilen fırın içerisinde sinterlenmiştir. Sinterleme, argon atmosferinde üç adımda gerçekleştirilmiştir. Numuneler önce 130°C’ye ısıtılmış ve borik asitten suyu uzaklaştırmak için bu sıcaklıkta 60 dakika tutulmuştur Daha sonra sıcaklık 550°C’ye yükseltilerek sinterleme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Üretim proses akış şeması.

Sinterlenmiş numunelerin gözenek oranları hesaplanmış ve gözenek ve hücre duvarı görüntüleme optik (Jenoptic Progres CF Scan) ve elektron mikroskopları (JEOL JSM 5600LV) kullanılarak yapılmıştır. XRD analizi ile (Panalytical-Empyrean) faz analizi yapılmıştır. Malzemenin mekanik özelliklerinin tayini için sertlik ölçümleri 50 kN yük altında 15 sn bekletme sürelerinde FM800 marka sertlik cihazında Vickers mikro sertlik metodu ile gerçekleştirilmiştir. Basma testi, oda sıcaklığında dairesel kesitli (L/D = 1.2) numunelere 0,5 mm/dk hızında Shimadzu AG-IS cihazı kullanılarak uygulanmıştır.



Şekil 2. Proses için ısıl işlem fırını.

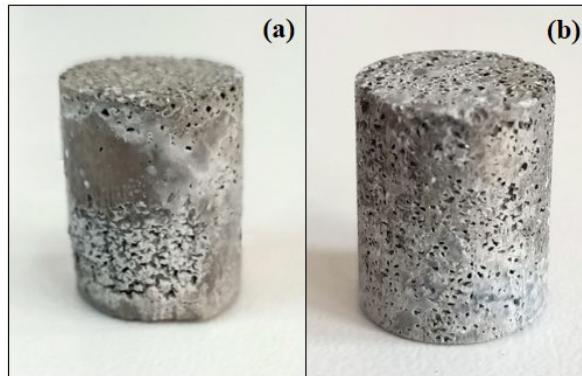
4. Bulgular ve Tartışma

Ağ.%20 ve 30 oranında alüminyum cürufu içeren köpük malzemelerin prototip makro görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Sinterlenmiş numunelerin nihai görünüşleri stereomikroskop görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. Köpük malzemelerde ölçülen gözenek boyutlarında önemli fark olmayıp, ~0,6 mm ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre (1) formülü kullanarak gözeneklilik oranı hesaplanmış ve artan cüruf miktarına bağlı olarak, gözeneklilik oranının % 34,8'den % 37,8'e arttığı görülmüştür (Tablo 2).

$$\text{Gözeneklilik}(\%) = \left(\frac{1-\rho^*}{\rho_c} \right) \times 100 \quad (1)$$

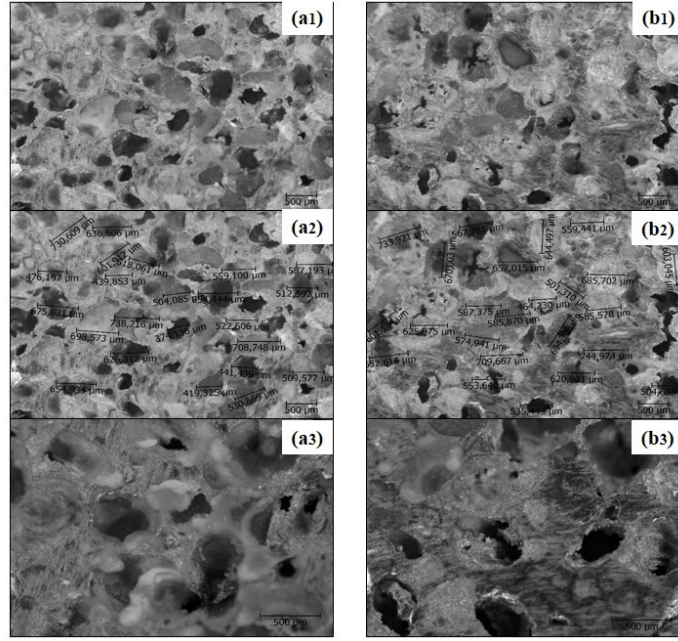
Tablo 2. Alüminyum cüruf miktarı ile gözenekliliğin değişimi

Cürufu oranı (% ağı.)	Gözeneklilik (%)
20	34,8
30	37,8

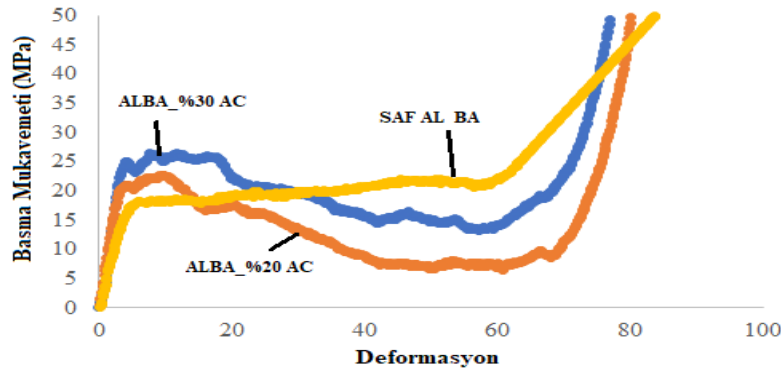


Şekil 3. (a) ağ.%20 (b) ağ. %30 cüruf ilave edilmiş köpük malzemeler

0,5 mm/dk hızında uygulanan basma testi sonucunda 5'er numuneden alınan değerlerin ortalaması alınarak elde edilen köpük gerilme-deformasyon sonuçları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. (a:1-2-3) ağ.%20 (b:1-2-3) ağ. %30 cüruf ilaveli köpüklerin ölçüm ve stereomikroskop görüntüleri.



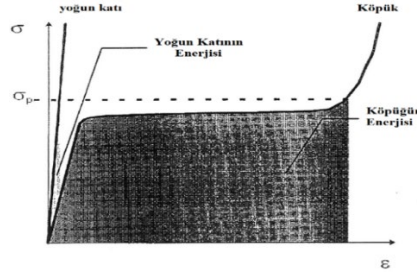
Şekil 5. Üretilen köpüklerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Bütün köpük malzemeler düşük deformasyon yüzdelerinde, lineer elastik davranırlar. Artan deformasyonla gerilme-deformasyon eğrisinde uzun bir “yıkılma platosu” görülür, bu bölgeyi, sabit deformasyonda gerilmenin dik bir biçimde arttığı “yoğunlaşma” bölgesi takip eder. Hüresel yapıya ve ana metalin özelliklerine bağlı olarak, gerilme-deformasyon eğrisinin plato bölgesi düz olmayabilir. Malzeme gevrekliğinin sonucu olarak eğrinin bu bölümü dalgalı bir durum sergileyebilir [23]. Bu çalışmada elde edilen köpük malzemenin basma mukavemeti-deformasyon eğrisi Şekil 5’de verilmiş olup, basma davranışı incelendiğinde, elastik bölge, yıkılma platosu ve yoğunlaşma bölgesi görülmüştür.

Gözenekli metaller, geniş plato bölgesi nedeniyle iyi bir enerji emme verimliliği ile iyi bir enerji emme kapasitesine sahiptir. Bir çarpma durumunda, kuvvetler, kinetik enerjinin emildiği gerilim seviyesi tarafından kontrol edilir. Bir paketin zarar görmemesi için darbe kuvvetleri belirli bir değeri geçmemelidir. Bu nedenle, sadece enerji soğurma kapasitesi değil, aynı zamanda malzemenin gerilme tepkisi de önemli bir rol oynar. Belirli bir gerinim aralığında (ϵ_1 , ϵ_2) birim hacim başına emilen enerji, gerilim-gerinim eğrisinin altındaki alana eşittir ve (2) formülü ifade edilebilir [23].

$$E_v = \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (2)$$

Tamamen yoğun bir elastik katının tipik bir enerji absorpsiyonu ile köpüklü malzemenin bir karşılaştırması Şekil 6'daki diyagramda görülmektedir. Köpük, belirli bir plato gerilim seviyesinde yoğun katıdan çok daha fazla enerji emebilir. Kinetik enerjiyi emerken plato gerilimini belirli bir oranda tutma yetenekleri nedeniyle, köpükler genel olarak mükemmel enerji emicilerdir [24].



Şekil 6. Yoğun elastik bir katının ve köpüklü malzemenin bir enerji absorpsiyonu [24].

Üretilen köpüklerin (2) formülü kullanılarak elde edilen enerji emme kapasiteleri Tablo 3'de verilmiştir. Bu değerlere göre yüksek cüruf içeriğine sahip olan (%30) köpük numunede en iyi adsorbsiyon sağlanmıştır. En iyi sonuçların elde edildiği bu %30 cüruf katkılı köpük malzemenin elektron mikroyapı görüntüsü Şekil 7'de, numunenin farklı yerlerinden elde edilen EDX spektrumları Şekil 8'de ve XRD patterni Şekil 9'da verilmiştir.

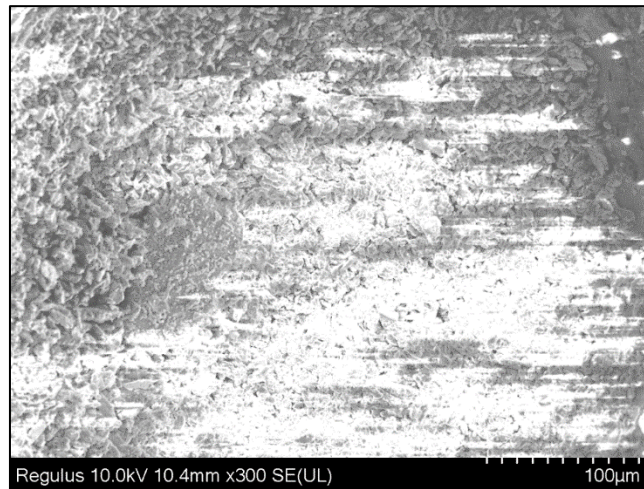
Tablo 3. Alüminyum köpük gerilme-deformasyon sonuçları

Numune	Elastik Modül (GPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Ortalama Plato Gerilimi (MPa)	Sertlik (HV)	Spesifik Enerji Emilimi (MJ/m ³)
SAF AL	47*	17,7*	19,6*	36.6**	11,7*
ALBA_%20 ^(a)	69	22	12,43	98	8,65
ALBA_%30 ^(b)	71	25,2	20,25	115	12,53

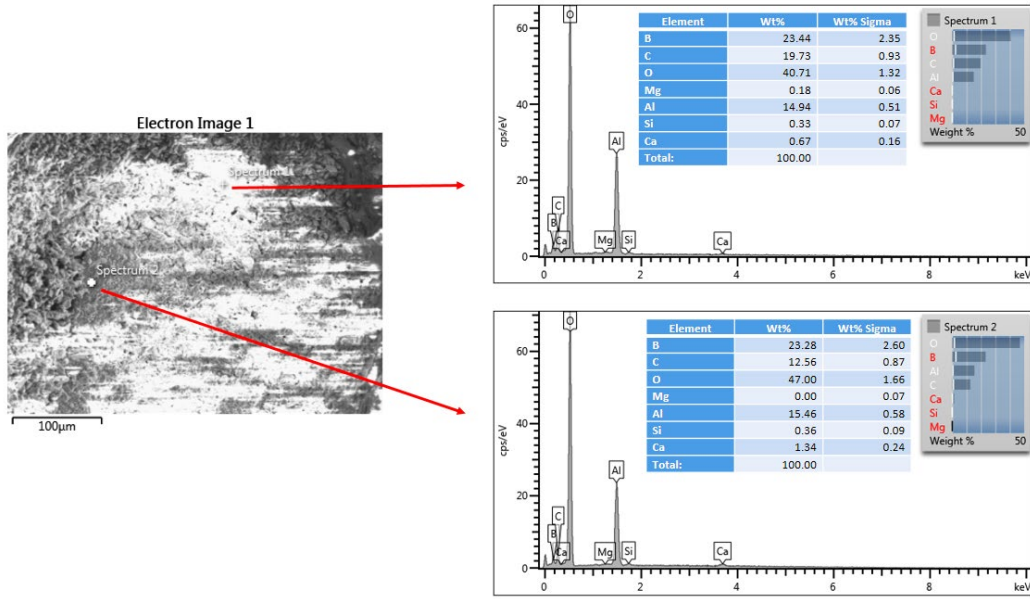
*Benzer sinterleme koşullarında önceki çalışmada saf Al matristen elde edilen sonuçlar [19].

**Benzer sinterleme koşullarında saf Al matrisin sertliği ~36.6 HV'dir [25].

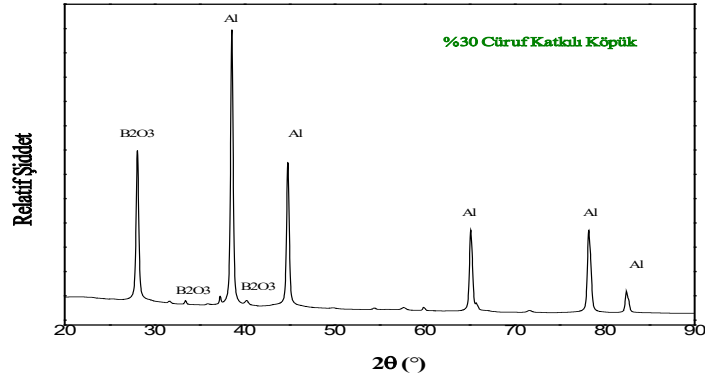
^(a): ALBA_%20 ağırlık %20, ^(b) ALBA_%30 ağırlık %30 cüruf ilave edilmiş köpük malzemelerin kodları



Şekil 7 %30 cüruf katkılı köpüğün ikincil elektron mikroyapı görüntüsü (300x)



Şekil 8. %30 cüruf katlı köpüğün farklı bölgelerinden alınan EDX spektrumları



Şekil 9. %30 cüruf katlı köpüğün XRD paterni

Yapılan bu çalışmada sonuçlardan görüldüğü üzere ise ~%38 gözenekli yapı elde edilmiştir. Yüksek mukavemet ağırlık oranına sahip olmaları, yüksek enerji absorbe kapasiteleri özellikleri, alüminyum köpükleri farklı teknoloji ve mühendislik alanlarında kullanılabilir aday malzemeler yapar. Basma gerilmesi altında ve elastik deformasyon, çökme veya plato gerilmeleri ve enerji absorbe özellikleri de en önemli özellikler olduğundan, üretilen köpüklerin basma davranışları incelenmiştir. Sonuçlar literatürle kıyaslandığında [26-28], köpük malzeme olarak yüksek enerji emilimine sahip, mukavemetli bir köpük Al malzeme elde edilmiştir. Ayrıca enerji emilim değerleri, borik asit kullanılarak üretilen Zn metalik köpüklerden de yüksek elde edilmiştir [29]. Bu sonuçlar, ileri araştırma ve incelemelerle tasarım ve kullanım için zemin oluşturabilecek önemli bir sonuçtur. Mevcut çalışmanın geliştirilmesi durumunda hem bor ürünlerinin hem de alüminyum cürufunun değerlendirilmesi ile daha ekonomik olarak mukavemetli yapıların elde edilmesi çevre dostu üretimle mümkün olacaktır.

5. Sonuç ve Öneriler

Alüminyum döküm cürufu ve borik asitin değerlendirilerek, alüminyum köpüklerin üretildiği bu çalışmada,

- 6063 Al döküm cüruf katlı alüminyum köpükler, borik asit kullanılarak başarılı bir şekilde üretilmiştir.

- Metalik köpük malzemede bor oksidin yanı sıra, diğer oksitlerin varlığı ile mukavemet artışı elde edilmiştir.
- Üretilen köpüklerin basma dayanımının artan cüruf miktarı ile arttığı tespit edilmiştir. Yüksek plato geriliminin yanı sıra yüksek enerji emilimi değerlerinin elde edilmesiyle Al köpük malzeme takviyeli çarpma kutusu üretiminde değerlendirilebilme imkânı oluşmuştur.
- Taramalı elektron mikroskobu analizlerinden, artan cüruf miktarına bağlı olarak hücreleri oluşturan tanelerin yüksek yoğunlukta bağlandığı görülmüştür.
- Üretilen köpüklerin otomotivin yanı sıra gerek biyomedikal alanda, gerekse filtrasyon sistemlerinde de kullanılabilmesi öngörülmektedir. İleriki çalışmalarda üretilen köpüklerin mevcut parametrelerin (presleme basıncı ve süresi, sinterleme proses parametreleri vd.) optimizasyonu ile kullanım alanlarının artırılmasına yönelik çalışmalara devam edilecektir.
- Tüm sonuçlardan; mevcut çalışmanın geliştirilmesi durumunda hem dünya bor rezervlerinin %72 sine sahip ülkemizde bor ürünlerinin değerlendirilmesi hem de çevre için önemli atıklardan olan Al cürufu değerlendirilebilecek ve bu durum, daha ekonomik olarak mukavemetli yapıların elde edilmesine imkân verecektir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan cürufun temini için Arslan Alüminyum A.Ş. ve Hasan Hüseyin Kurtut'a, numunelerin SEM analizleri için ESOGÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarına ve XRD analizleri için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezine teşekkürü borç biliriz.

Yazar(lar)ın Katkıları

Pınar Uyan, döküm cürufunun değerlendirilmesiyle malzeme üretmeyi tasarladı. Neşe Öztürk ve Pınar Uyan üretim, hesaplama, test ve analiz çalışmalarını beraber yaptılar. Pınar Uyan makaleyi yazdı. Pınar Uyan çalışma orijinal ilk fikrini ortaya atan kişi olup çalışmanın genel yürütücüsüdür.

Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Zhou J., Gao Z., Cuitino A.M., and Soboyejo W.O., "Effects of heat treatment on the compressive deformation behavior of open cell aluminum foams," *Mater. Sci. Eng. A*, 2004, 386 (1-2): 118-128.
- [2]. Mahadev C., Sreenivasa G, and Shivakumar K.M., "A Review on Production of Aluminium Metal Foams," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.
- [3]. Luo Y., Yu S., Liu J., Zhu X, and Luo Y., "Compressive property and energy absorption characteristic of open-cell SiCp/AlSi9Mg composite foams," *J. Alloys Compd.*, 2010, 499, (2): 227-230.
- [4]. Roy S., Gibmeier J., Schell K.G., Bucharsky E.C., Weidenmann K.A., Wanner A., and Hoffmann M.J., "Internal load transfer in an interpenetrating metal/ceramic composite material studied using energy dispersive synchrotron X-ray diffraction," *Mater. Sci. Eng A*, 2019, 753, 247-252.
- [5]. Bălătescu O., Florea R.M, Roman C., Rusu I., and Carcea I., "Stabilized aluminum foams, unique material for industrial applications," *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 2013, 15, (7-8): 823-832.

- [6]. Hipke T., Hohlfeld J., and Rybandt S., "Functionally Aluminum Foam Composites for Building Industry," *Procedia Mater. Sci.*, 2014, 4, 133-138.
- [7]. Bienvenu Y., "Application and future of solid foams," *Comptes Rendus Phys.*, 2014, 15, (8-9): 719-730.
- [8]. Ramachandra S., Sudheer Kumar P., and Ramamurty U., "Impact energy absorption in an Al foam at low velocities," *Scr. Mater.*, 2003, 49, (8): 741-745.
- [9]. Li Y.G., Wei Y.H., Hou L.F., Guo C.L., and Yang S.Q., "Fabrication and compressive behaviour of an aluminium foam composite," *J. Alloys Compd.*, 2015, 649, 76-81.
- [10]. Jeon I., and Asahina T., "The effect of structural defects on the compressive behavior of closed-cell Al foam," *Acta Mater.*, 2005, 53, (12): 3415-3423.
- [11]. Lamanna E., Gupta N., Cappa P., Strbik O.M., and Cho K., "Evaluation of the dynamic properties of an aluminum syntactic foam core sandwich," *J. Alloys Compd.*, 2017, 695, 2987-2994.
- [12]. Lin Y., Zhang Q., Chang J., Wang H., Feng X., and Wang J., "Microstructural characterization and compression mechanical response of glass hollow spheres/Al syntactic foams with different Mg additions," *Mater. Sci. Eng. A*, 2019, 766.
- [13]. Yao R., Zhang B., Yin G., and Zhao Z., "Energy absorption behaviors of foam-filled holed tube subjected to axial crushing: Experimental and theoretical investigations," *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2021, 28, (24): 2501-2514.
- [14]. Katona B., Szlancsik A., Tábi T., and Orbulov I.N., "Compressive characteristics and low frequency damping of aluminium matrix syntactic foams," *Mater. Sci. Eng. A*, 2019, 739, 140-148.
- [15]. He S., Lv Y., Chen S., Dai G., Liu J., and Huo M., "Gradient regulation and compressive properties of density-graded aluminum foam", *Materials Science and Engineering A*, 2020, 772, 138658.
- [16]. Ragani J., Donnadiou P., Tassin C., and Blandin J.J., "High-temperature deformation of the γ -Mg17Al12 complex metallic alloy," *Scr. Mater.*, 2011, 3, (65):253-256.
- [17]. Singh R, Arora R, and Sharma J.D., "Effect of viscosity enhancing agents on quasi-static compression behavior of aluminum foams," *Mater. Today Proc.*, 2021, 39, 1661-1666.
- [18]. Tripathi O., Singh D.P., Dwivedi V.K., and Agarwal M., "A focused review on aluminum metallic foam: Processing, properties, and applications," *Mater. Today Proc.*, 2020, 47, 6622-6627.
- [19]. Korpe N.O., Dürger N.B., Dur D., and Celikyürek I., "Effects of Compacting Pressure and Sintering Temperature on the Properties of Highly Porous Pure Aluminum Produced with Boric Acid (H3BO3)," *Powder Metall. Met. Ceram.* 2021, 59, (11): 661-671.
- [20]. Yaman B., Onuklu E., and Korpe N.O., "The Usability of Boric Acid as an Alternative Foaming Agent on the Fabrication of Al/Al2O3 Composite Foams," *J. Mater. Eng. Perform.*, 2017, 26, (9): 4319-4328.
- [21]. Korpe N.O., Ozkan E., and Tasci U., "Production of aluminium-fly ash particulate composite by powder metallurgy technique using boric acid as foaming agent," *Advances in Materials and Processing Technologies* 2017, 3, (1):145-154.
- [22]. Yücel O., Car E., "Alüminyum curuflarının değerlendirilmesi ve kalsiyum alüminat sentetik curuf yapıcı üretimi" "36 Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Metalurji Sayı:175 Ağustos 2015, 35-43.
- [23]. Degischer, H.P., Kriszt, B. (EDX.). (2002). *Handbook of cellular metals: production, processing, applications.* Wiley-vch. ISBN 3-527-29320-5.
- [24]. J.Yu C., Eifert H. H., Banhart J, and. Baumeister J, "Metal foaming by a powder metallurgy method: Production, properties and applications," *Materials Research Innovations*, 1998, 2, (3):181-188.
- [25]. Topcu I, Gulsoy H.O., Kadioglu N., and Gulluoglu A.N., "Processing and mechanical properties of B4C reinforced Al matrix composites," *J. Alloys Compd.*, 2009, 482, (1-2): 516-521.

- [26]. Ryan G., Pandit A., and Apatsidis D.P., “Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications,” *Biomaterials*, 2006, 27, (13): 2651-2670.
- [27]. Jiang B., Zhao N.Q., Shi C. S., Du X.W., Li J.J., and Man H.C.H.C., “A novel method for making open cell aluminum foams by powder sintering process,” *Mater. Lett.*, 2005, 59, (26): 3333-3336.
- [28]. Yang Y.J., Han F.S., Yang D.K., and Zheng K., “Compressive behaviour of open cell Al–Al₂O₃ composite foams fabricated by sintering and dissolution process,” 2013, 23, (4): 502-504.
- [29]. Körpe N.Ö. and Kiremitci S., “Borik Asit (H₃BO₃) Kullanılarak Üretilen Saf Çinko ve Çinko Alaşımı (ZA27) Köpük Malzemelerin Basma Davranışlarının İncelenmesi,” *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2022, 9, (2): 656-668.