

**IJEASED****INTERNATIONAL JOURNAL OF EASTERN ANATOLIA
SCIENCE ENGINEERING AND DESIGN***Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*

ISSN: 2667-8764 , 4(2), 118-128, 2022

<https://dergipark.org.tr/pub/ijeased>Araştırma Makalesi / *Research Article*Doi: [10.47898/ijeased.1137236](https://doi.org/10.47898/ijeased.1137236)**TiB₂ Parçacık Takviyeli AlCuMg Kompozitlerin Üretilebilirliğinin Araştırılması**Mehmet AKKAŞ^{1*}, Abdelsalam Mohamed A. ELFGHI²¹ Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, 37150, Türkiye.¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34467, Türkiye.² Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu, 37150, Türkiye.

Yazar Kimliği / <i>Author ID (ORCID Number)</i>	Makale Süreci / <i>Article Process</i>
*Sorumlu Yazar / <i>Corresponding author</i> : mehmetakkas@kastamonu.edu.tr	Geliş Tarihi / <i>Received Date</i> : 28.06.2022
 https://orcid.org/0000-0002-0359-4743 , M. Akkaş	Revizyon Tarihi / <i>Revision Date</i> : 29.07.2022
 https://orcid.org/0000-0003-1932-3072 , A.M.A. Elfghi	Kabul Tarihi / <i>Accepted Date</i> : 21.09.2022
	Yayın Tarihi / <i>Published Date</i> : 15.12.2022
Alıntı / <i>Cite</i> : Akkaş, M., Elfghi, A.M.A. (2022). TiB ₂ Parçacık Takviyeli AlCuMg Kompozitlerin Üretilebilirliğinin Araştırılması, Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 4(2), 118-128.	

Özet

Al ve alaşımları otomotiv, havacılık, biyomedikal ve uzay gibi çeşitli endüstrilerde sahip oldukları özelliklerinden (yüksek korozyon direnci, ısı direnci, elektriksel özellikler, mukavemet ve tokluk gibi) dolayı çeşitli endüstrilerde kompozit malzemeler olarak kullanılmaktadır. Ancak, Al ve alaşımlarının sanayide kullanımında mekanik özellikleri bakımından problemlerle karşılaşmaktadır. AlCuMg ve alaşımlarının mekanik özelliklerini arttırmaya yönelik çalışmalara literatürde çok az bir çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada TiB₂ parçacıkları, AlCuMg matrisi içerisine farklı oranlarda ilave edilerek üç boyutlu turbula ile 1 saat süre ile karıştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda mikroyapı ve mekanik özellikleri bakımında AlCuMg matrisli kompozit malzemelerinin üretilebilirliği amaçlanmıştır. Numuneler üretim aşamasında Al, Cu, Mg ve TiB₂ tozları farklı kimyasal bileşim oranlarında karıştırılarak toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen numunelerin oksitlenmesini engellemek ve sinterleme esnasında sentezleme işlemi için erimiş tuz korumalı sinterleme işlemi tercih edilmiştir. Bu erimiş tuz korumalı yöntemde, tuz olarak KBr (potasyum bromür) tercih edilmiştir. Üretim sonrasında numunelerin karakterizasyon işlemleri için taramalı elektron mikroskopu (SEM), enerji dispersiv spektrum (EDS) ve X-Işını kırınım (XRD) analizleri uygulanmıştır. Üretilen numunelerin mukavemet ve mekanik karakterizasyonu için mikrosertlik ölçümleri uygulanmıştır. TiB₂ parçacıkları yüksek ergime sıcaklığı, yüksek mukavemet ve yüksek mekanik özellikleri gibi değerlere sahip oldukları için AlCuMg alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Kompozit Malzeme, TiB₂ Takviye, Erimiş Tuz Korumalı Sentez, AlCuMg.

Investigation of Manufacturability of TiB₂ Particle Reinforced AlCuMg Composites

Abstract

Al and its alloys are used as composite materials in various industries due to their properties (such as high corrosion resistance, heat resistance, electrical properties, strength and toughness) in various industries such as automotive, aerospace, biomedical and aerospace. However, in the industrial use of Al and its alloys, problems are encountered in terms of their mechanical properties. It has been determined that there are very few studies in the literature on studies to increase the mechanical properties of AlCuMg and its alloys. In this study, TiB₂ particles were added to the AlCuMg matrix at different rates and mixed with three-dimensional turbula for 1 hour. As a result of experimental studies, it was aimed to produce composite materials with AlCuMg matrix in terms of microstructure and mechanical properties. The samples were produced by powder metallurgy and molten salt protected synthesis method by mixing Al, Cu, Mg and TiB₂ powders at different chemical composition ratios during the production phase. The molten salt protected sintering process was preferred to prevent oxidation of the produced samples and for the synthesis process during sintering. In this molten salt protection method, KBr (potassium bromide) is preferred as the salt. Scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectrum (EDS) and X-Ray diffraction (XRD) analyzes were applied for the characterization processes of the samples after production. Microhardness measurements were applied for the strength and mechanical characterization of the produced samples. Since TiB₂ particles have high melting temperature, high strength and high mechanical properties, it has been determined that AlCuMg alloy increases the microstructure and mechanical properties.

Keywords: Powder Metallurgy, Composite Material, TiB₂ Reinforcement, Molten Salt Shielded Synthesis, AlCuMg.

1. Giriş

Toz metalurjisi yöntemi ile üretim metodu güncel literatür çalışmalarında uygulanan metotlar içerisinde önem kazanmaya başlamıştır. Bu yöntem ile üretilen kompozit malzemeler endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Toz metalurjisi yönteminin en önemli avantajlarından biri üretilen kompozit malzemenin kimyasal bileşiminin kontrolünün yapılabilmesidir (Akçay ve ark., 2022; Sun ve ark., 2022). Toz metalurjisi yöntemi ile üretim metodu geleneksel üretim yöntemlerine (talaşlı imalat, döküm, sıcak ve soğuk şekillendirme gibi) alternatif olarak geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir (Gökçe ve ark., 2017; Varel ve Güral, 2016; Şap ve ark., 2021). Bu yöntem ile üretilen kompozit malzemelere kullanım alanlarına göre; korozyon direnci, aşınma mukavemeti, sürtünme direnci ve yüzey gerilmeleri gibi özelliklerin kazandırılması mümkündür. Kompozit malzemeler her geçen gün mühendislik malzemeleri içerisinde vazgeçilmez bir yere sahiptir. Buna ek olarak, kompozit malzemeler mukavemet özelliklerinin artması ile birlikte daha ince ve hafif olarak üretilirliği neticesinde üretim ve işletme giderleri maliyetinin düşürülmesini sağlamaktadır (Shakil ve ark., 2022; Özgün ve Erçetin, 2017). Yoğunluğu düşük ve mukavemeti yüksek olan AlCuMg alaşımları takviye parçacıkları ile üstün mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu alaşımlar, yüksek korozyon direnci, ısı direnci, elektriksel özellikler, mukavemet ve tokluk gibi üstün özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık, biyomedikal ve uzay endüstrisinde yüksek mühendislik malzemeleri olarak kullanılmaktadır (Shakil ve ark., 2022; Ma ve ark., 2020; Mısırlı, 2011). Bunun yanısıra, AlCuMg ve alaşımları yapı malzemeleri, makine parçaları,

teçhizat işleri, medikal aygıtlar ve araçlar gibi tıbbi ve endüstri uygulamalarına ek olarak uzay araçları ve elektronik aygıtlar gibi ileri düzey uygulamalarda kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ancak, AlCuMg ve alaşımlarının sanayide kullanımında mekanik özellikleri bakımından problemlerle karşılaşmaktadır. Karşılaşılan bu gibi mekanik sorunlardan dolayı bu alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla, bu alaşıma TiB₂ parçacıklarını takviye edilerek imal edilmiştir. İmal edilen kompozit malzemelerin iyileştirilmiş özelliklerinden dolayı sanayide arzu edilen bir ihtiyacın kapatılacağı düşünülmektedir (Kösedağ ve Ekici, 2019; Indriyati ve ark., 2014; Li ve ark., 2022).

Bu çalışmanın amacı, AlCuMg alaşımına farklı oranlarda TiB₂ takviyesinin, toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile üretilebilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada, üretilen kompozit malzemelerde artan TiB₂ parçacıklarına bağlı olarak mikroyapı karakterizasyonu ve mekanik özelliklerinin değişimi karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmak üzere 4 (dört) çeşit karışım, toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile üretilmiştir. Numunelerin üretim aşamasında kullanılan tozların özellikleri %99,9 saflıkta ve 325 mesh tane iriliğinde Al, Cu, Mg ve TiB₂ tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalarda % 5, 10 ve 15 oranlarında TiB₂ tozu AlCuMg matrisine ilave edilerek toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile imal edilmişlerdir. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozların kimyasal bileşimleri Tablo 1’de verilen değerlere göre hassas tartı ile tartılarak hazırlanmıştır.

Tablo 1. Üretilen deney numunelerinin kimyasal bileşimleri

Numune No	Al (%)	Cu (%)	Mg (%)	TiB ₂ (%)
1	85	5	5	5
2	80	5	5	10
3	75	5	5	15

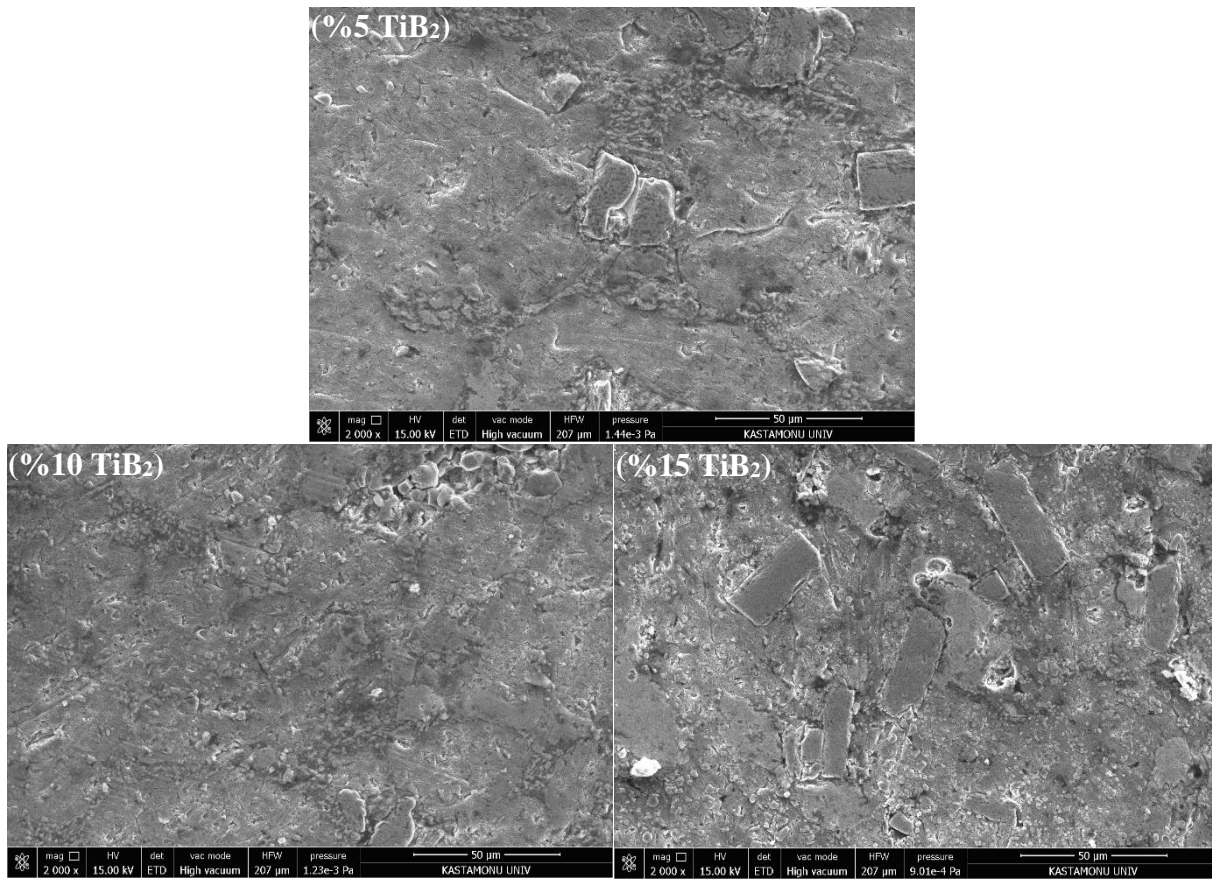
Yukarıda Tablo 1’de belirtilen kimyasal bileşim oranları verilen tozların homojen olarak karışabilmesi için üç boyutlu turbulada karışım işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında, kimyasal bileşimi ayarlanan numunelere presleme işlemi uygulanmıştır. Presleme basıncı olarak ise 600 MPa basınç altında yapılmıştır. Presleme yapılan numunelere sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sinterleme işlemi Argon atmosferi altında boru tipi fırında 60 dakika sürede ve 550 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Sinterleme işlemi sonrasında karakterizasyon işlemleri (SEM ve EDS) için numunelere zımpara,

parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Üretilen kompozit numunelerde artan TiB_2 oranına bağlı olarak mekanik özellikleri belirlemek için mikrosertlik ölçüm analizleri yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. SEM Analiz Sonuçları

Farklı oranlarda TiB_2 takviye edilerek toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile üretilmiş olan AlCuMg kompozit numunelerin taramalı elektron mikroskobu analizleri yapılmıştır (Şekil 1). Bu analiz sonucuna göre elde edilen verilerden değerlendirmeler yapılmıştır.



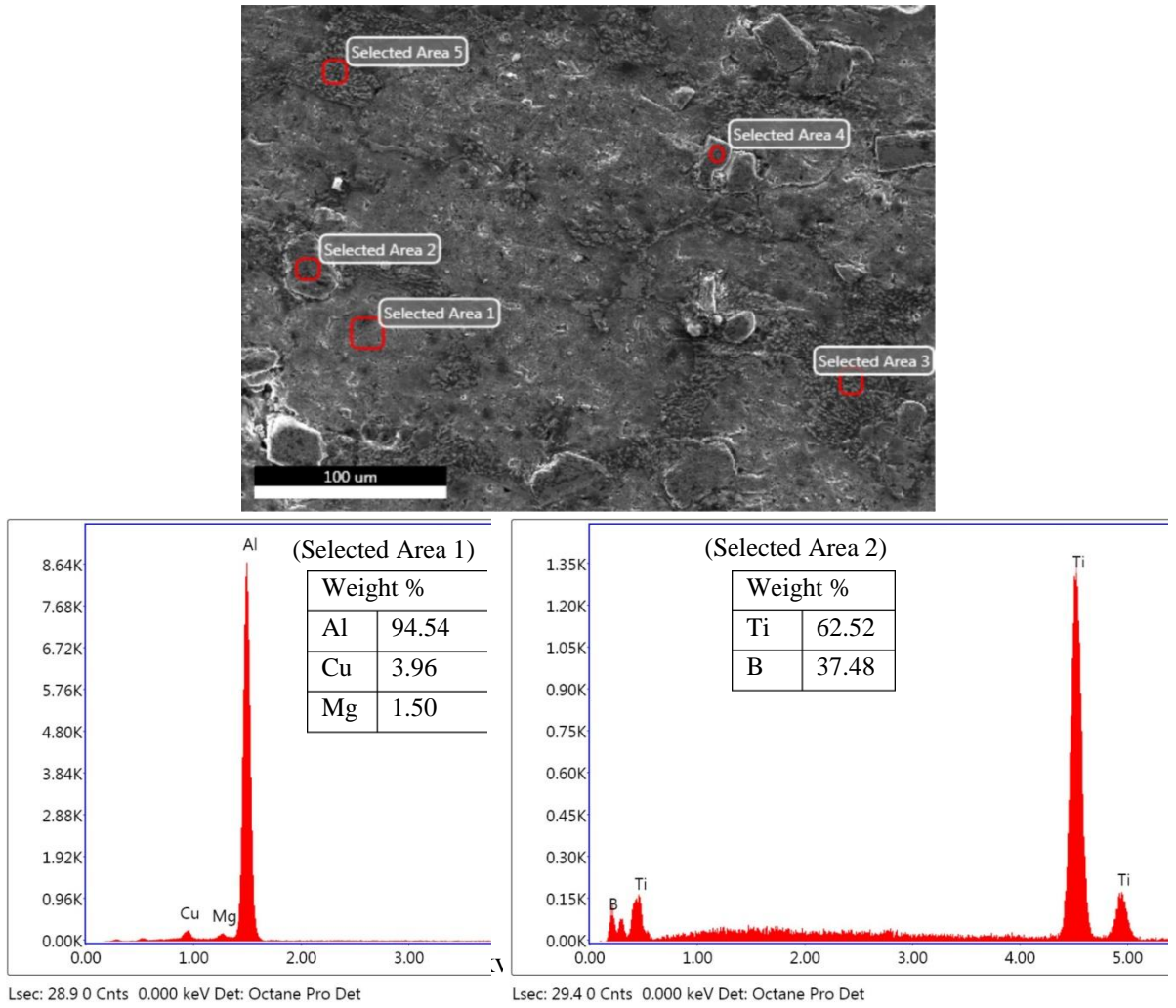
Şekil 1. Üretilen Kompozitlerin SEM görüntüleri.

AlCuMg bileşiğinin ana yapısı Şekil 1'de verilen SEM görüntülerinde açık bir şekilde görülmektedir. Bu ana yapı içerisinde farklı oranlarda takviye parçacığı olarak ilave edilen TiB_2 homojen olarak dağıldığı net bir şekilde gözlemlenmektedir (Çelik ve ark., 2018; Aksöz ve ark., 2013; Akkaş ve Boushiha, 2021). Yukarıda verilen SEM görüntüleri incelendiğinde üretilen numunelerde kısmen çatlaklar ve gözenekler tespit edilmiştir. Buna ek olarak, verilen SEM görüntüleri incelendiğinde gözenek miktarının azalması, TiB_2 ilave oranı bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Ana yapıda TiB_2 malzemesinin homojen olarak yayılması, üretim aşamasında tozların karıştırılmasına ve sinterleme işleminin doğru yapılmasına bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu belirlenen

durum, literatürde mevcut çalışmalar tarafından desteklenmektedir. Ayrıca, farklı oranlarda ilave edilen TiB₂ takviye parçacıklarının genel olarak düzensiz formda, keskin köşeli ve birbirine benzer formda olduğu tespit edilmiştir (Varma ve ark., 2001; Aslan ve ark., 2020; Shen ve ark., 2001; Tosun ve Kurt, 2020; Chawla, 2012).

3.2. SEM-EDS Analiz Sonuçları

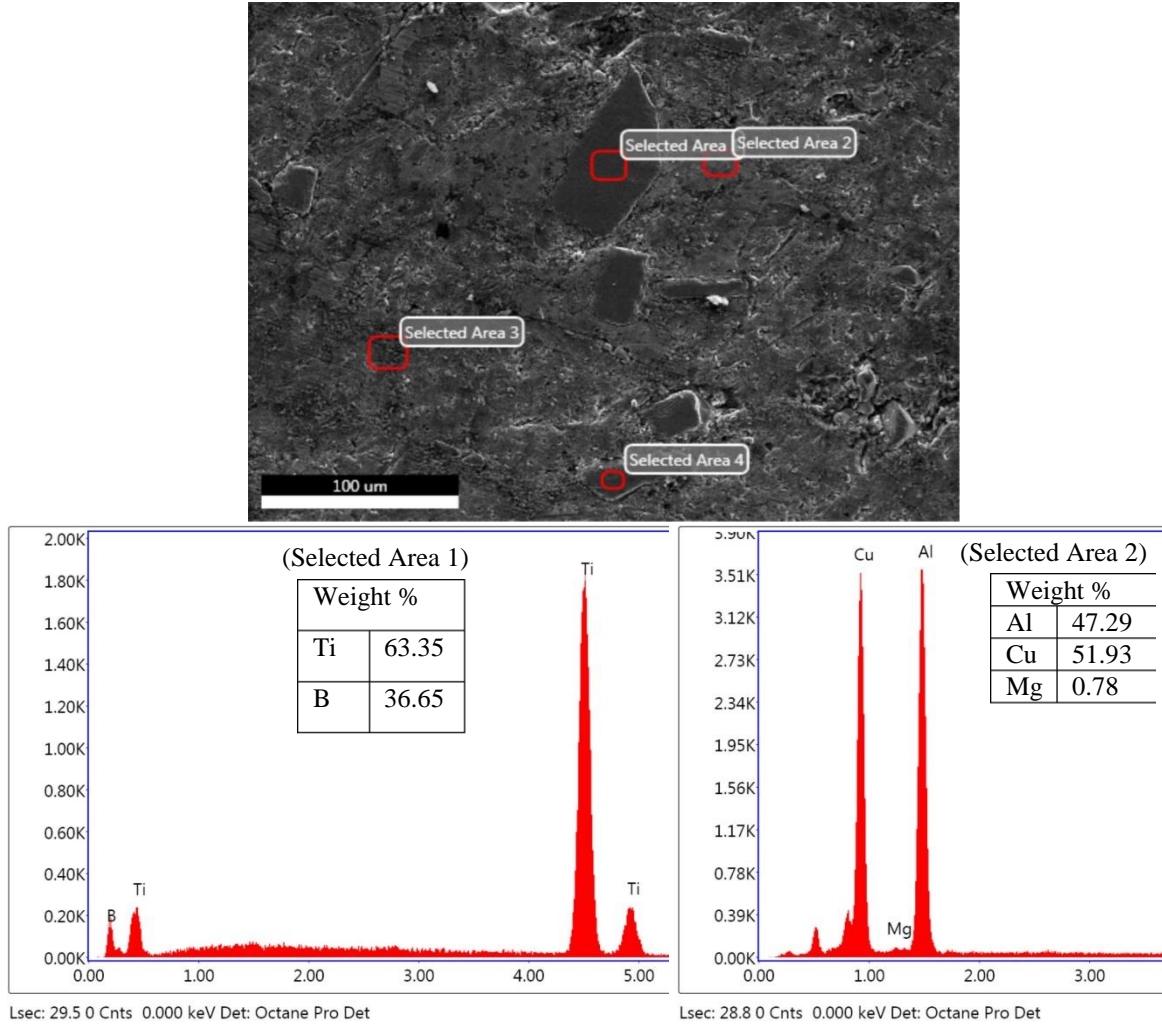
Toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile üretilen AlCuMg-TiB₂ kompozit numunelerinin SEM-EDS analizleri sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 2. Üretilen % 5 TiB₂ takviyeli numunenin SEM-EDS analiz sonucu.

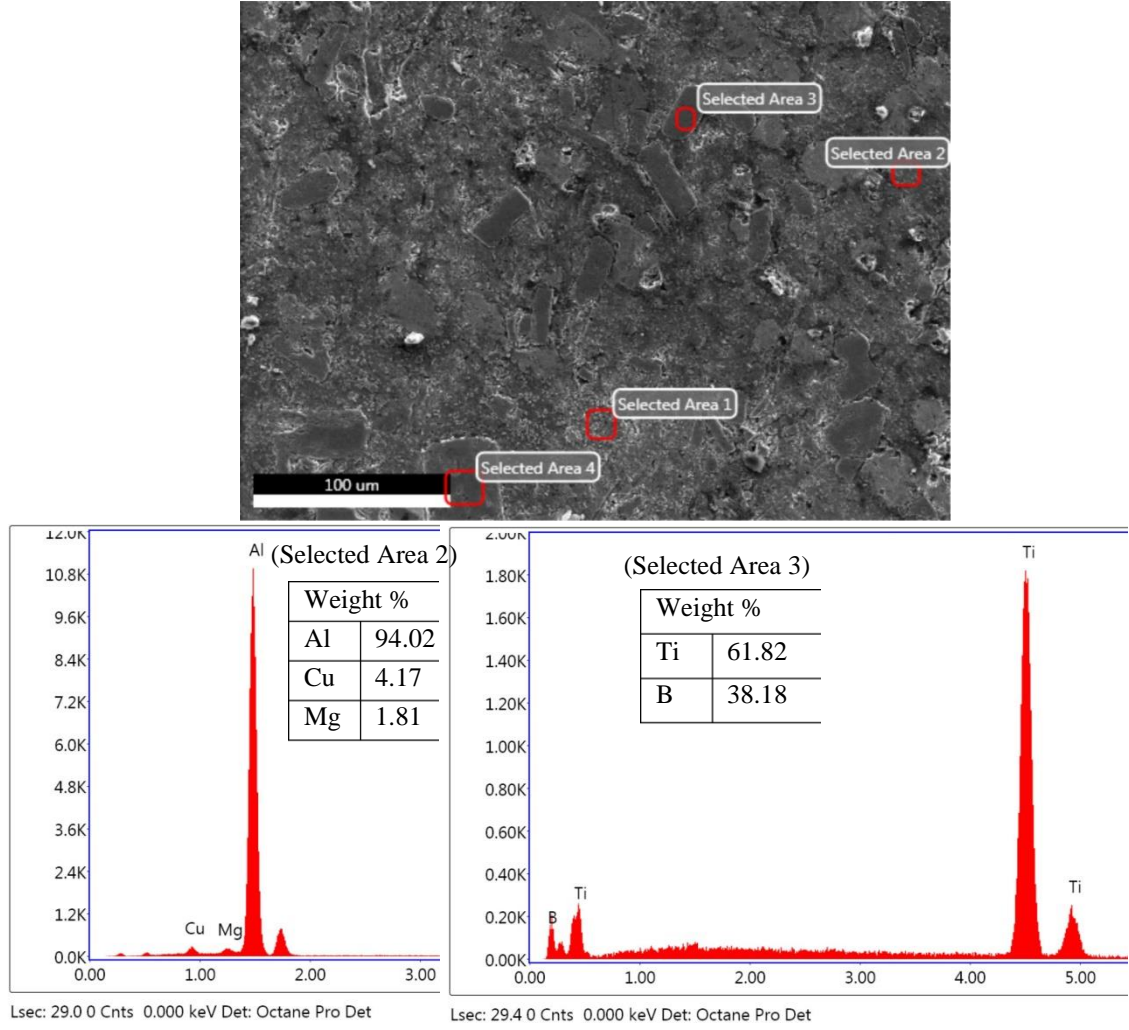
Yukarıda verilen % 5 TiB₂ takviyeli numunenin analiz sonucu incelendiğinde, üretilen kompozit numunenin üretim esnasında verilen kimyasal oranları desteklediği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, % 5 TiB₂ takviyeli numunenin karakterizasyonu sonucunda, seçili alan 1 olarak belirtilen bölgeden alınmış EDS analiz sonucuna göre % 94.54 Al, % 3.96 Cu ve % 1.50 Mg olduğu tespit edilmiştir. Buna ek

olarak seçili alan 2 olarak belirtilen bölgeden alınmış EDS analiz sonucuna göre % 62.52 Ti ve % 37.48 B olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Üretilen % 10 TiB₂ takviyeli numunenin SEM-EDS analiz sonucu.

Yukarıda verilen % 10 TiB₂ takviyeli numunenin analiz sonucu incelendiğinde, üretilen kompozit numunenin üretim esnasında verilen kimyasal oranları desteklediği belirlenmiştir. Bunun yanısıra, % 10 TiB₂ takviyeli numunenin karakterizasyonu sonucunda, seçili alan 1 olarak belirtilen bölgeden alınmış EDS analiz sonucuna göre % 63.35 Ti ve % 36.65 B olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak seçili alan 2 olarak belirtilen bölgeden alınmış EDS analiz sonucuna göre % 47.29 Al, % 51.93 Cu ve % 0.78 Mg olduğu tespit edilmiştir.



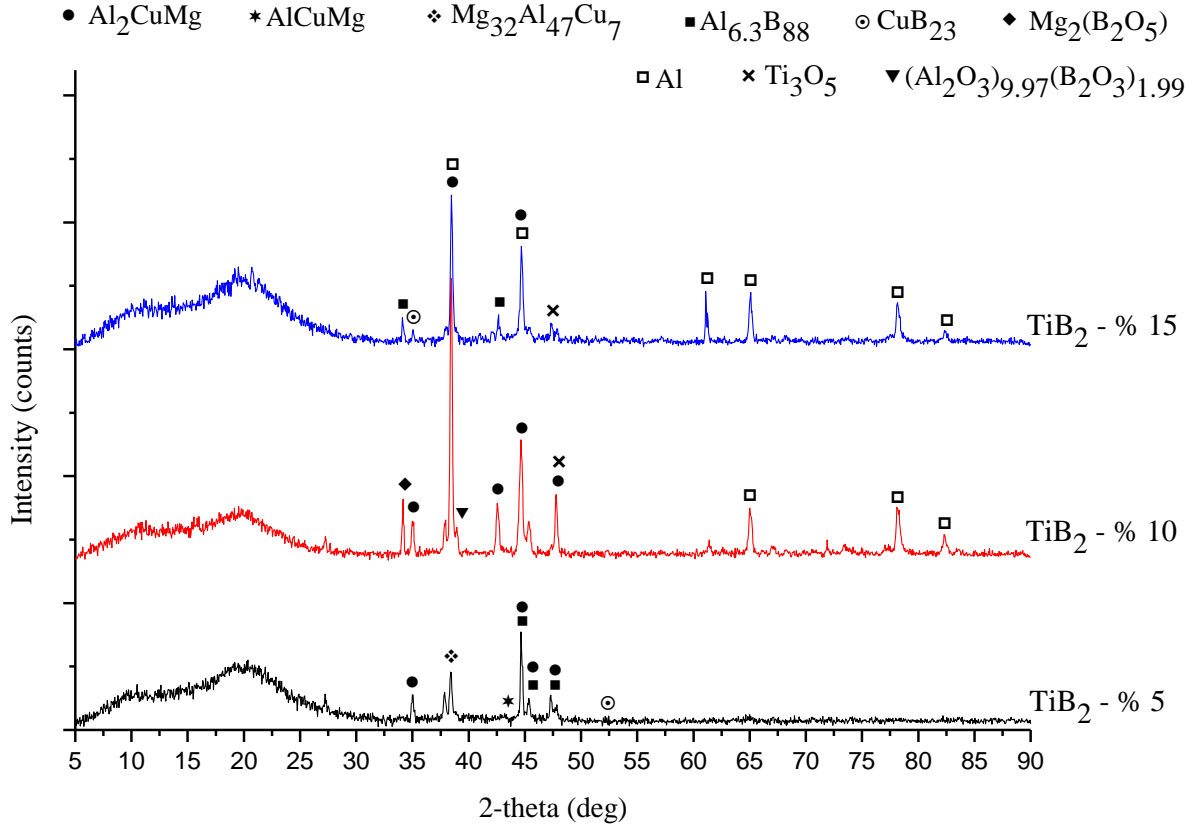
Şekil 4. Üretilen % 15 TiB₂ takviyeli numunenin SEM-EDS analiz sonucu.

Yukarıda verilen % 15 TiB₂ takviyeli numunenin analiz sonucu incelendiğinde, üretilen kompozit numunenin üretim esnasında verilen kimyasal oranları desteklediği belirlenmiştir. Bunun yanısıra, % 15 TiB₂ takviyeli numunenin karakterizasyonu sonucunda, seçili alan 2 olarak belirtilen bölgeden alınmış EDS analiz sonucuna göre % 94.02 Al, % 4.17 Cu ve % 1.81 Mg olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak seçili alan 3 olarak belirtilen bölgeden alınmış EDS analiz sonucuna göre % 61.82 Ti ve % 38.18 B olduğu tespit edilmiştir.

3.3. XRD Analiz Sonuçları

Toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile üretilen AlCuMg-TiB₂ kompozit numunelerin XRD grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Verilen XRD grafiği incelendiğinde Al₂CuMg, AlCuMg, Mg₃₂Al₄₇Cu₇, Al_{6.3}B₈₈, CuB₂₃, Mg₂(B₂O₅), Al, Ti₃O₅ ve (Al₂O₃)_{9.97}(B₂O₃)_{1.99} fazlarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, baskın fazlar olarak Al₂CuMg ve AlCuMg bileşiklerinin

varlığı olmuştur. Bu çalışmamızda tespit ettiğimiz fazları güncel literatür çalışmalarında da olduğu belirlenmiştir (Kumar ve ark., 2021; Feng ve ark., 2022; Farajollahi ve ark., 2022; Liu ve ark., 2021).

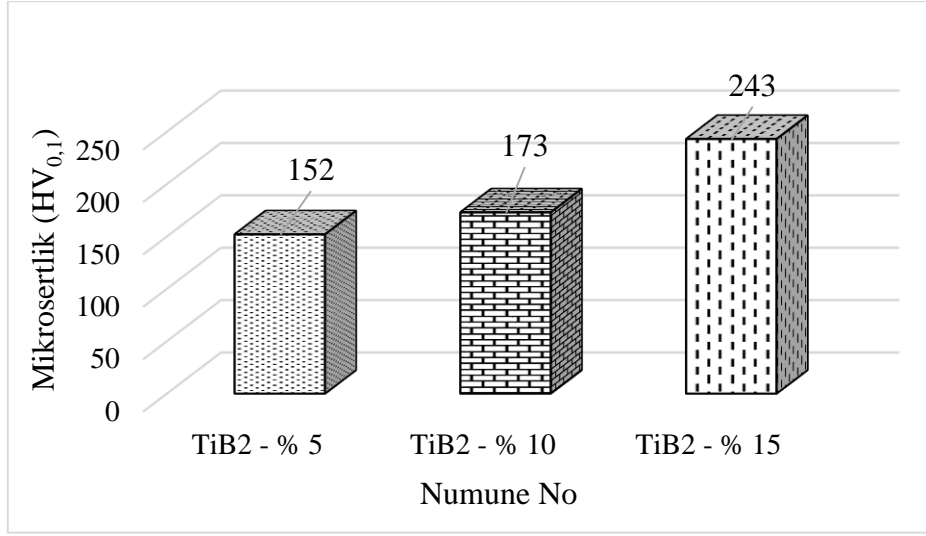


Şekil 5. Üretilen Kompozitlerin XRD grafikleri.

Şekil 5’te verilen grafikler incelendiğinde, sinterleme prosesi süresince Al, Cu, Mg, Ti ve B elementleri ile kimyasal bir etkileşim sonucunda tespit ettiğimiz fazların oluştuğu XRD analizleri sonucunda tespit edilmiştir. Farklı oranlarda TiB₂ ilave edilerek üretilen kompozit numunelerin, TiB₂ oranlarının artması ile birlikte Ti ve B ile etkileşime giren bileşiklerin fazlarının pik şiddetlerinin yükseldiği belirlenmiştir. Bu çalışmamızda tespit ettiğimiz fazların pikleri güncel literatür çalışmalarında da olduğu belirlenmiştir ve literatür ile desteklenmiştir.

3.4. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Üretilen kompozit numunelerin mikrosertlik grafiği Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Üretilen kompozitlerin mikrosertlik değerleri.

Üretilen numunelerin mikrosertlik ölçümleri 100 µm aralıklarla bir çizgi hat boyunca numune yüzeyinden alınmıştır. Yukarıda verilen mikrosertlik grafiği incelendiğinde % 5, 10 ve 15 TiB₂ takviyesine göre numunelerin sertliği sırasıyla 152, 173 ve 243 HV_{0,1} olduğu tespit edilmiştir. Üretilen numunelerin sinterleme esnasında oluşan karbür ve sert fazların varlığı bu sertlik artışını ortaya çıkarmıştır (Hassan ve Aigbodion, 2015; Aigbodion ve ark., 2010; Duan ve ark., 2020).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı oranlarda TiB₂ ilave edilerek toz metalurjisi ve erimiş tuz korumalı sentez yöntemi ile üretilen AlCuMg matrisli kompozitler imal edilmiştir. Deneysel parametreler olarak; 600 MPa presleme basıncı, 550 °C sinterleme sıcaklığı ve 1 saat sinterleme süresi uygulanmıştır. Kompozit olarak üretilen bu numunelere, analiz olarak SEM, SEM-EDS, XRD ve mikrosertlik testleri yapılmıştır.

- ✓ SEM görüntülerinde üretilen numunelerde kısmen çatlaklar ve gözenekler tespit edilmiştir. Buna ek olarak, verilen SEM görüntülerinde gözenek miktarının azalması, TiB₂ ilave oranı bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Ana yapıda TiB₂ malzemesinin homojen olarak yayılması, üretim aşamasında tozların karıştırılmasına ve sinterleme işleminin doğru yapılmasına bağlı olduğu belirlenmiştir.
- ✓ Farklı oranlarda TiB₂ takviye edilen numunelerin SEM-EDS analiz sonucunda, üretilen kompozit numunelerin üretim esnasında verilen kimyasal oranları desteklediği belirlenmiştir.

- ✓ XRD sonucunda Al_2CuMg , $AlCuMg$, $Mg_{32}Al_{47}Cu_7$, $Al_{6.3}B_{88}$, CuB_{23} , $Mg_2(B_2O_5)$, Al , Ti_3O_5 ve $(Al_2O_3)_{9.97}(B_2O_3)_{1.99}$ fazlarının olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, baskın fazlar olarak Al_2CuMg ve $AlCuMg$ bileşiklerinin varlığı olmuştur.
- ✓ % 5, 10 ve 15 TiB_2 takviyesine göre numunelerin sertliği sırasıyla 152, 173 ve 243 $HV_{0.1}$ olduğu tespit edilmiştir. Üretilen numunelerin sinterleme esnasında oluşan karbür ve sert fazların varlığı bu sertlik artışını ortaya çıkarmıştır.

Yazarların Katkısı

Çalışmada her iki yazar da eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen KÜ-BAP01/2020-8 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Aigbodion, V. S., Hassan, S. B., and Oghenevweta, J. E. (2010). Microstructural analysis and properties of Al–Cu–Mg/bagasse ash particulate composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 497(1-2), 188-194.
- Akçay, S. B., Varol, T., Güler, O., ve Aksa, H. C., (2022). Bor Karbür Takviyeli Al Esaslı Kompozitlerin Özellikleri Üzerine Bor Karbür Takviye Miktarının Etkisi. *El-Cezeri*, 9(2), 869-881.
- Akkaş M, Boushiha, K. F. I., (2021). Investigation of WC Reinforced CuNiSi Composites Produced by Mechanical Alloying Method. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(2), 592-603.
- Aksoz, S., Ozdemir, A. T., Çalm, R., Altinok, Z., and Bostan, B. (2013). Effects of sintering, ageing and cryogenic treatments on structural and mechanical properties of AA2014-B4C composite.
- Aslan, M., Ergül, E., Kaya, A., Kurt, H. İ., ve Yılmaz, N. F. (2020). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al-MgO Kompozitlerin Özelliklerine Sinterleme Sıcaklığının Etkisi. *El-Cezeri*, 7(3), 1131-1139.
- Chawla, K. K. (2012). Metal matrix composites. In *Composite materials* (pp. 197-248). Springer, New York, NY.
- Çelik, Y. H., Kılıçkap, E., ve Yenigün, B. (2018). TM yöntemi ile üretilmiş Al matrisli kompozitlerde presleme basıncının ve B4C oranının sertlik ve aşınma davranışı üzerine etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 33-40.
- Duan, X. Z., Xin, B. D., Miao, T. J., Xie, J. F., Yang, H. Y., Han, X., and Li, X. J. (2020). Microstructural and performance characterization of in-situ biphasic micro-nano scale (TiB_2 - $TiCx$)/Al-Cu-Mg composites

- with different ceramic and metal ratios designed for compact integration. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 3418-3429.
- Farajollahi, R., Aval, H. J., and Jamaati, R. (2022). Effect of friction surfacing on the microstructural and wear characteristics of Al-Cu-Mg alloy coating reinforced by nickel aluminide. *Intermetallics*, 142, 107440.
- Feng, Y., Chen, X., Hao, Y., and Chen, B. (2022). Characterization and energy calculation of the S/Al interface of Al-Cu-Mg alloys: Experimental and first-principles calculations. *Vacuum*, 202, 111131.
- Gökçe, A., FINDIK, F., ve Kurt, A. O., (2017). Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri. *Mühendis ve Makina*, 58(686), 21-47.
- Hassan, S. B., and Aigbodion, V. S. (2015). Effects of eggshell on the microstructures and properties of Al-Cu-Mg/eggshell particulate composites. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 27(1), 49-56.
- Indriyati, M., Janik, V., and Dashwood, R. J. (2014). Elevated Temperature Deformation Behavior of High Strength Al-Cu-Mg-Ag Based Alloy Reinforced By TiB₂ Particles. In *Light Metals 2014* (pp. 1353-1358). Springer, Cham.
- Kumar, K. C. K., Kumar, B. R., and Rao, N. M. (2021). Fabrication and Corrosion Characterization of AZ31 Mg Alloy SiC Reinforced Composites. *Design Engineering*, 2556-2570.
- Kösedağ, E., ve Ekici, R. (2019). Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Darbe Davranışları Üzerine Bir Derleme. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 384-393.
- Li, N., Zhang, F., Yang, Q., Wu, Y., Wang, M., Liu, J., and Wang, H. (2022). Microstructure and Mechanical Properties of In Situ TiB₂/2024 Composites Fabricated by Powder Metallurgy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1-9.
- Liu, Z., Yu, J., Wang, X., Zhang, X., Wang, J., Jia, D., and Ma, B. (2021). Molten-salt assisted synthesis and characterization of Mg₂B₂O₅ and Al₁₈B₄O₃₃ whiskers. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 9(3), 1298-1309.
- Ma, S., Wang, Y., and Wang, X. (2020). Microstructures and mechanical properties of an Al-Cu-Mg-Sc alloy reinforced with in-situ TiB₂ particulates. *Materials Science and Engineering: A*, 788, 139603.
- Mısırlı, C. (2011). *5083 kalite alüminyum alaşımının homojenize edilerek sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının incelenmesi* (Master's thesis, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Özgün, Ö., ve Erçetin, A. (2017). Toz metalurjisi yoluyla üretilen Cr-C takviyeli Cu matrisli kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6(2), 1-6.
- Shakil, S. I., Zoeram, A. S., Pirgazi, H., Shalchi-Amirkhiz, B., Poorganji, B., Mohammadi, M., and Haghshenas, M., (2022). Microstructural-micromechanical correlation in an Al-Cu-Mg-Ag-TiB₂ (A205) alloy: additively manufactured and cast. *Materials Science and Engineering: A*, 832, 142453.
- Shakil, S. I., Zoeram, A. S., Avateffazeli, M., Roscher, M., Pirgazi, H., Shalchi-Amirkhiz, B., and Haghshenas, M. (2022). Ambient-temperature time-dependent deformation of cast and additive manufactured Al-Cu-Mg-Ag-TiB₂ (A205). *Micron*, 156, 103246.
- Shen, Y. L., Williams, J. J., Piotrowski, G., Chawla, N., and Guo, Y. L. (2001). Correlation between tensile and indentation behavior of particle-reinforced metal matrix composites: an experimental and numerical study. *Acta Materialia*, 49(16), 3219-3229.
- Sun, T., Wang, H., Chen, J., Wu, Y., Wang, M., Fu, Y., and Wang, H. W., (2022). Achieving Excellent Strength of the Lpbf Additively Manufactured Al-Cu-Mg Composite Via In-Situ Mixing Tib₂ and Solution Treatment. *Available at SSRN 4100288*.
- Şap, S., Değirmenci, Ü., Usca, Ü. A., ve Uzun M., (2021). Hibrit Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Derleme. *Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 2(2), 35-46.
- Tosun, G., ve Kurt, M., (2020). SiC Takviyeli Al-Mg Kompozitlerin Yoğunluğunun ve Mikroyapısının İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 589-597.
- Varel, G., ve Güral, A. (2016). Eş Kanallı Açısız Presleme ve Toz Metalurjisi Yöntemiyle İşlenmiş Elementel Tozlardan Yaşlandırılabilir Al-% 4Cu Alaşımların Üretimi Üzerine Bir Çalışma. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 333-341.
- Varma, V. K., Kamat, S. V., Mahajan, Y. R., and Kutumbarao, V. V. (2001). Effect of reinforcement size on low strain yielding behaviour in Al-Cu-Mg/SiCP composites. *Materials Science and Engineering: A*, 318(1-2), 57-64.