



Makale / Research Paper

B₄C Takviyelendirilmiş Alüminyum Kompozit Malzemelerin TIG Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi

Halil KARAKOÇ^{a*}, Ramazan ÇITAK^b

^{a*}Hacettepe ASO 1.OSB Meslek Yüksek Okulu, Hacettepe Üniversitesi, Ankara/TÜRKİYE

^bMetalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar, 06503 Ankara/TÜRKİYE

^{a*}halil.karakoc@hacettepe.edu.tr, ^bcitak@gazi.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Al6061 esaslı B₄C parçacık takviyeli kompozit malzemelerin TIG kaynak tekniği ile kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. Ön alaşımılı Al6061 (<100 µm) tozları ile ağırlıkça %10 oranında B₄C (<10 µm) tozları üç boyutlu karıştırıcıda 45 dakika boyunca karıştırıldı. Karışım tozlar ilk olarak 300 MPa basınç altında soğuk olarak preslendi. Preslenen blok numuneler 550 °C sıcaklıkta 60 dakika Sinterleme işlemine tabi tutuldu. Sinterlenen blok numuneler yine aynı sıcaklıkta özel olarak tasarlanmış ekstrüzyon kalıbında 1/4 oranında ekstrüze edildi. Ekstrüze edilen kompozit malzemeler 550 °C sıcaklıkta haddelenerek 4 mm kalınlığında kompozit levhalar üretildi. Üretilen kompozit levhalara T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Üretilen kompozit levhaların TIG kaynak tekniği ile kaynaklanabilirliğini incelemek amacı ile dört farklı amper aralığında (100-130-160-190 A) kaynakları yapılmıştır. Kaynak sonrası kaynak bölgesinin mikroyapı, sertlik, kırılma enerjisi ve çekme gerilmesi değerleri analiz edilmiştir. Yüksek akım şiddetlerinde gözenekli bir kaynak bölgesi oluşmaktadır. 130 ve 160 A akım şiddetlerinde çekme dayanımı ve darbe dayanımı yüksek çıkarken düşük ve yüksek akım şiddetlerinde bu değerler düşmektedir.

Anahtar kelimeler: Toz metalurjisi; AA6061; B₄C; TIG welding

Study on Weldability of B₄C Reinforced Aluminium Composite Materials With TIG Welding

Abstract: In this study, weldability of B₄C particle reinforced Al6061 based composite materials produced by powder metallurgy method, with TIG welding technique has been investigated. Al6061 (< 100 µm) and 10% by weight of B₄C (< 10 µm) powders were mixed in a three-dimensional mixer for 45 minutes. Firstly, the powder mixture is cold pressed under a pressure of 300 MPa. The green blocks were sintered at 550 °C temperature for 60 minutes. Then sintered specimens were extruded in ¼ thickness rate in specially designed extrusion die at the same temperature. From extruded composite material, the sheets with 4 mm thickness were produced by rolling at 550 °C temperature. Finally, T6 aging heat treatment was applied on produced composite plates. Weldability of produced composite plates with TIG welding technique was investigated. Four different ampere ranges (100 130-160-190 A) were chosen for investigating weldability and effect of current on welding. Microstructure, hardness, fracture energy, and tensile strength of the welding were analyzed. A porous welding region has been occurred in high current intensity. While high tensile and impact strengths were obtained in 130 and 160 A current intensities, in lower and higher current intensities it was found that these values were decreased.

Keywords: Powder metallurgy; AA6061; B₄C; TIG welding

Bu makaleye atıf yapmak için

Karakoç, H., Çitak, R., "B₄C Takviyelendirilmiş Alüminyum Kompozit Malzemelerin TIG Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(3); 584-592.

How to cite this article

Karakoç, H., Çitak, R., "Study on Weldability of B₄C Reinforced Aluminium Composite Materials With TIG Welding" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(3); 584-592.

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin sürekli olarak gelişmesi ile beraber ihtiyacı karşılayabilecek ileri malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu ileri malzemeler arasında metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler sergilemiş olduğu üstün mekanik özelliklerden dolayı ayrı bir öneme sahiptir. MMK malzemeler ana malzeme ve ana malzemenin etrafını çevrelediği takviye malzemelerin makro düzeyde bir araya gelmesi ile oluşmaktadır [1,2]. MMK malzemelerde ana malzeme olarak Al, Mg, Co, Ti ve alaşımları gibi malzemeler kullanılmaktadır [3]. Bu matris malzemeleri arasında Al ve Al alaşımlarının hafif olmaları, kolay şekil almaları, korozyona karşı direnç göstermeleri ve ucuz olmaları onları daha cazip hale getirmiştir [4]. Takviye elemanı olarak ise SiC, Al₂O₃, WC, TiC ve B₄C gibi seramik parçacıklar kullanılmaktadır [5,6]. Parçacık takviyesi olarak Bor karbürün (B₄C) düşük yoğunluk, yüksek sertlik, yüksek dayanım, yüksek ısı dayanım ve iyi kimyasal kararlılığa sahip olması kompozit malzemelerde tercih hale gelmesinde önemli rol oynar [5,6]. MMK malzemeleri üretmedeki asıl amaç özellikleri birbirinden farklı olan malzemeleri bir araya getirmek kaydı ile üstün mekanik özelliklere sahip malzemeler oluşturmaktır [7]. Hafif olan Al alaşımı içerisine B₄C seramik parçacıklarını ilave ederek dayanımlarını, aşınma dirençlerini, darbe dirençlerini, balistik özellikleri vb. mekanik özellikleri artırabiliriz [8]. MMK malzemelerin üretilmesinde genel olarak katı üretim yöntemi ve sıvı üretim yöntemi olarak ikiye ayrılır [9,10]. Katı üretim yöntemleri arasında yer alan toz metalurjisi tekniği, parçacıkların hacimce istenilen oranlarda katılması, matris yapı içerisinde homojen olarak dağılması gibi özelliklerden dolayı MMK malzemelerin üretilmesinde daha tercih edilebilir hale gelmiştir [11,12].

Son zamanlarda endüstrinin pek çok alanında kullanılan MMK malzemelerin balistik direncinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar artmıştır. Burada üretilen kompozit levhaların birleştirilmesi oldukça önemlidir.

Yapılan bu çalışmada, TM tekniği ile üretilen AA6061 matrisli %10 B₄C parçacık takviyeli kompozit malzemelerin TIG kaynak tekniği ile kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. TIG kaynak tekniği ile birleştirilen kompozit levhada farklı amperde kaynak akımları kullanılmıştır. Kaynak akım değerlerinin optik özelliklere, sertliğe, darbe direncine ve çekme gerilmesine olan etkileri incelenmiştir.

2. Deneysel Metod

Bu çalışmada, karışım oranları belirlenen ön alaşımlı AA6061 (<100µm) metalik tozu ile ağırlıkça %10 oranında B₄C (<10µm) seramik tozu Precisa marka hassas mikro terazide tartılarak karışım tozlar hazırlanmıştır. Ağırlıkça karışım oranları belirlenen tozlar Turbola marka üç boyutlu karıştırıcıda 45 dakika karıştırılmıştır. Karışım tozlar 300 MPa basınç altında soğuk presleme kalıbı ile preslenerek sıkıştırılmış toz metal blok haline getirilmiştir. Preslenen toz metal blok numuneler 550 oC sıcaklıkta 60 dakika süre boyunca sinterlenmiştir. Sinterlenmiş blok numuneler özel olarak tasarlanmış ekstrüzyon kalıbı ile yine aynı sıcaklıkta (550 °C) 1/4 oranında ekstrüze edilmiştir. Ekstrüzyon sonrası numuneler 550 °C sıcaklıkta haddelenerek 4 mm kalınlığında kompozit levhalar üretilmiştir. Elde edilen yaşlandırılabilir numunelere T6 yaşlandırma işlemi için numuneler ilk olarak dikey yaşlandırma fırını içerisinde 10 °C/dak. Isıtma hızında 530 °C sıcaklığa ısıtılarak 1 saat süreyle çözüldürme yapılmıştır. Çözüldürme sonrası numunelere su verilerek ani soğutma yapılmıştır. Daha sonra su verilerek soğutulan numuneler 10 °C/dakika ısıtma hızı ile 175 °C sıcaklığında 6 saat boyunca suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen kompozit levhalardan 50x100x4 mm ebatlarında numuneler haddelene yönünde kesilerek TIG kaynağı için hazır hale getirilmiştir (şekil 2). Kaynak öncesinde levhaların yüzeyindeki oksitler zımpara yardımı ile ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Kaynak test numuneleri tablo 1'de verilen değerlere göre TIG kaynak makinasında 2,4 mm çapında tungsten elektrot ile Ar gaz koruma atmosfer altında

kaynatılmıştır. Kaynatılan levhalarda küt alın birleştirme tekniği kullanılarak kök paso aralığı 2 mm bırakılmıştır.

Tablo 1. AA6061 tozunun ağırlıkça % kimyasal kompozisyonu.

Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Al
0,5	0,6-1,0	0,1	0,2-0,8	0,8-1,2	0,25	0,6-1,1	0,1	Kalan

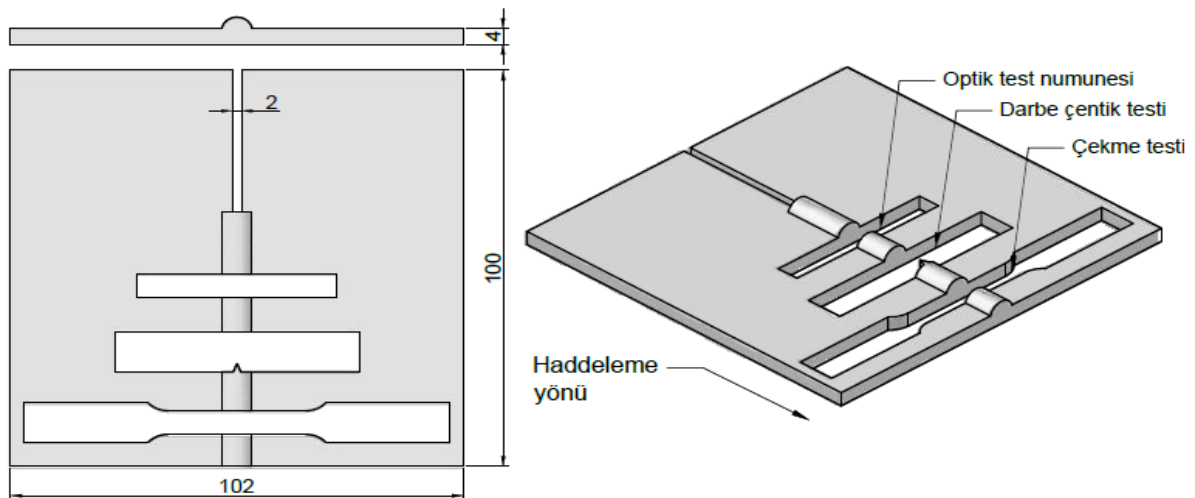
Tablo 2. Çalışmada kullanılan seramik ve metal tozların özellikleri

Malzeme	Üretim Metodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Toz Boyutu (µm)
AA6061	Gaz atomizasyon	2,70	582-652	<100
B4C	----	2,52	2350	<10

Tablo 3. Birleştirme işleminde kullanılan kaynak parametreleri

Malz. No	Akım Şiddeti (A)	Voltaj (V)	Akım Türü	İlave metal malzeme	İlave Metal çapı (mm)	Koruyucu Gaz	Gaz Akış Oranı (l/dak)	Kaynak Hızı (mm/dak)
N1	100	15	Alternatif akım	AlMg5	2	Argon	8	150
N2	130							
N3	160							
N4	190							

Kaynatılan kompozit levhaların optik ve mekanik özelliklerini analiz edebilmek için kaynak bölgesinden sırası ile optik, darbe ve çekme test numuneleri şekil 2’de gözüktüğü gibi su jeti kullanılarak kesilmiştir. Optik test numunelerinden optik görüntüler alabilmek için zımparalama ve parlatma yapıldıktan sonra 1ml HF + 200 ml H₂O keller çözeltisinde 15 saniye boyunca dağlanmıştır. Kompozit malzemelerin mikro yapı resimleri Leica DM4000M marka optik mikroskopta çekilmiştir. Kaynak bölgesinin sertliğini tayin edebilmek için sertlik testleri EMCO TEST Duravision 200 marka sertlik cihazında Hv3 olarak alınmıştır. Kaynak bölgesinin darbe enerjisini ölçebilmek için test numuneleri v-çentik olarak ASTM E23-04 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Darbe testlerin yapılmasında 150 Joule kapasiteli Instron Wolpert PW30 marka test cihazı kullanılmıştır. Darbe testleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Çekme test numuneleri ise ASTM E8M-04 standartlarına uygun hazırlanarak INSTRON 3363 marka test cihazında 1 mm/dak ilerleme hızında yapılmıştır.

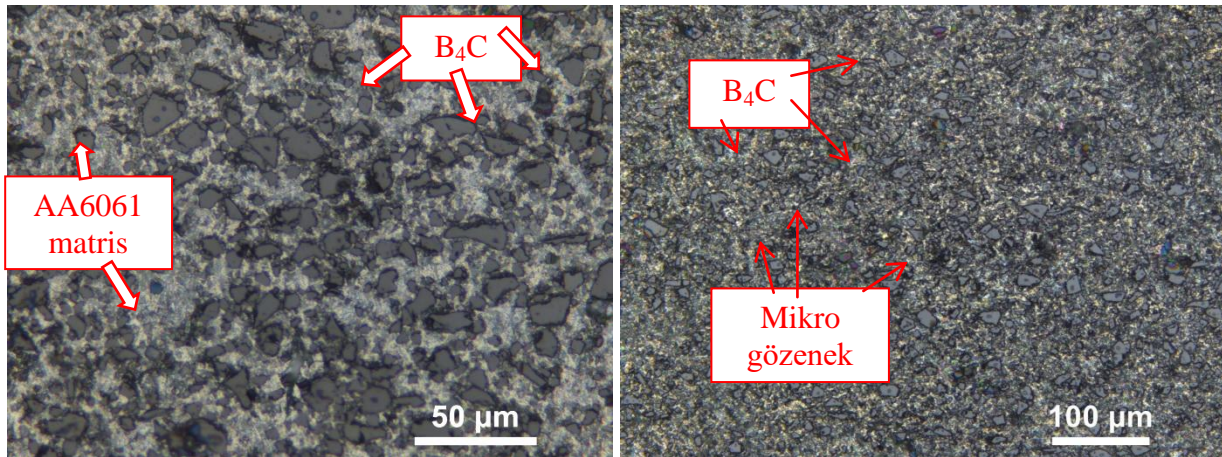


Şekil 1. Birleştirilen kompozit levhaların şematik görüntüsü

3. Deneysel Sonuç ve Tartışma

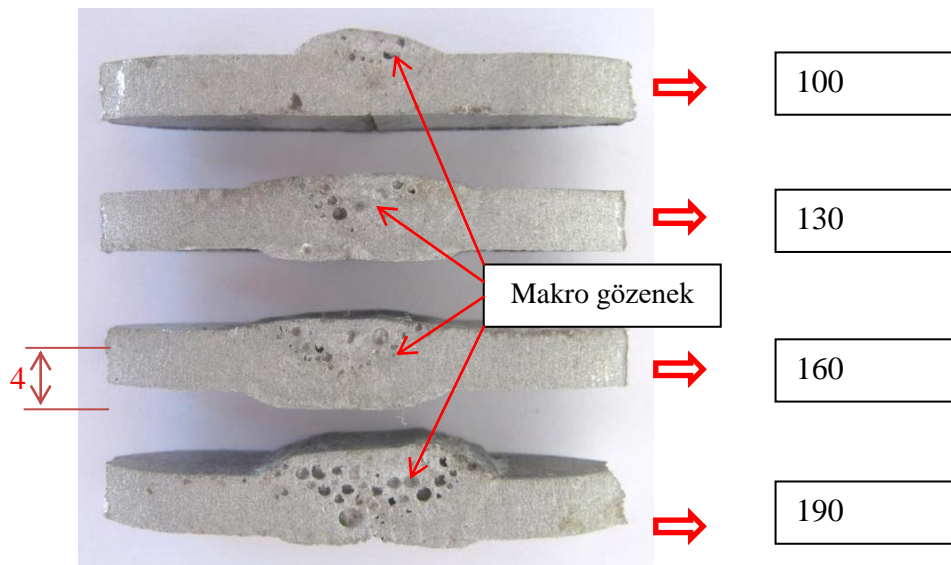
Yapılan bu çalışmada AA6061 matrisli %10 B₄C parçacık takviyeli kompozit levhalar TM yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen kompozit levhaların optik resimleri incelendiğinde B₄C parçacıklarının matris yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir (şekil 2). TM yöntemi ile üretilen kompozit levhaların yoğunluk ölçümleri eşitlik 1’de verilen Arşimet prensibine göre yapılmıştır. Bu eşitlikte ρ^* malzemenin yoğunluğunu, m_{hava} malzemenin havadaki ağırlığını, m_{su} malzemenin sudaki ağırlığını ifade etmektedir. Yapılan çalışmada TM yönteminde sırasıyla presleme, sinterleme, ekstrüzyon ve haddeleme işlemleri yapıldığı için %99,6 yoğunluğa sahip kompozit levhalar üretilmiştir (şekil 4).

$$\rho^* = \frac{m_{\text{hava}}}{m_{\text{hava}} - m_{\text{su}}} \quad (1)$$

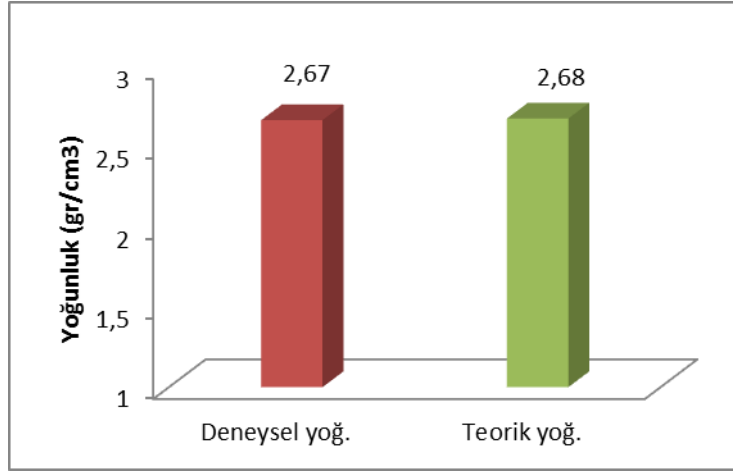


Şekil 2. AA6061 matrisli %10 B₄C parçacık takviyeli kompozit malzemelerin farklı büyütme oranlarında optik resimleri.

Üretilen kompozit levhaların farklı akım kullanılarak TIG kaynağı yapıldıktan sonra mekanik özelliklerini analiz etmek için kaynak bölgesi merkeze gelecek şekilde standart test numuneleri alınmıştır. Kaynak bölgesini gözle makro olarak incelediğimizde genel olarak kaynak bölgesinde gözeneklerin oluştuğunu ve gözenek miktarının akım şiddetine bağlı olarak arttığını görmekteyiz. En az gözenegin 100 A akım ile birleştirilen numunelerde oluştuğu gözlemlenirken en yüksek gözenegin 190 A akım ile oluştuğu gözlemlenmiştir (şekil 3).

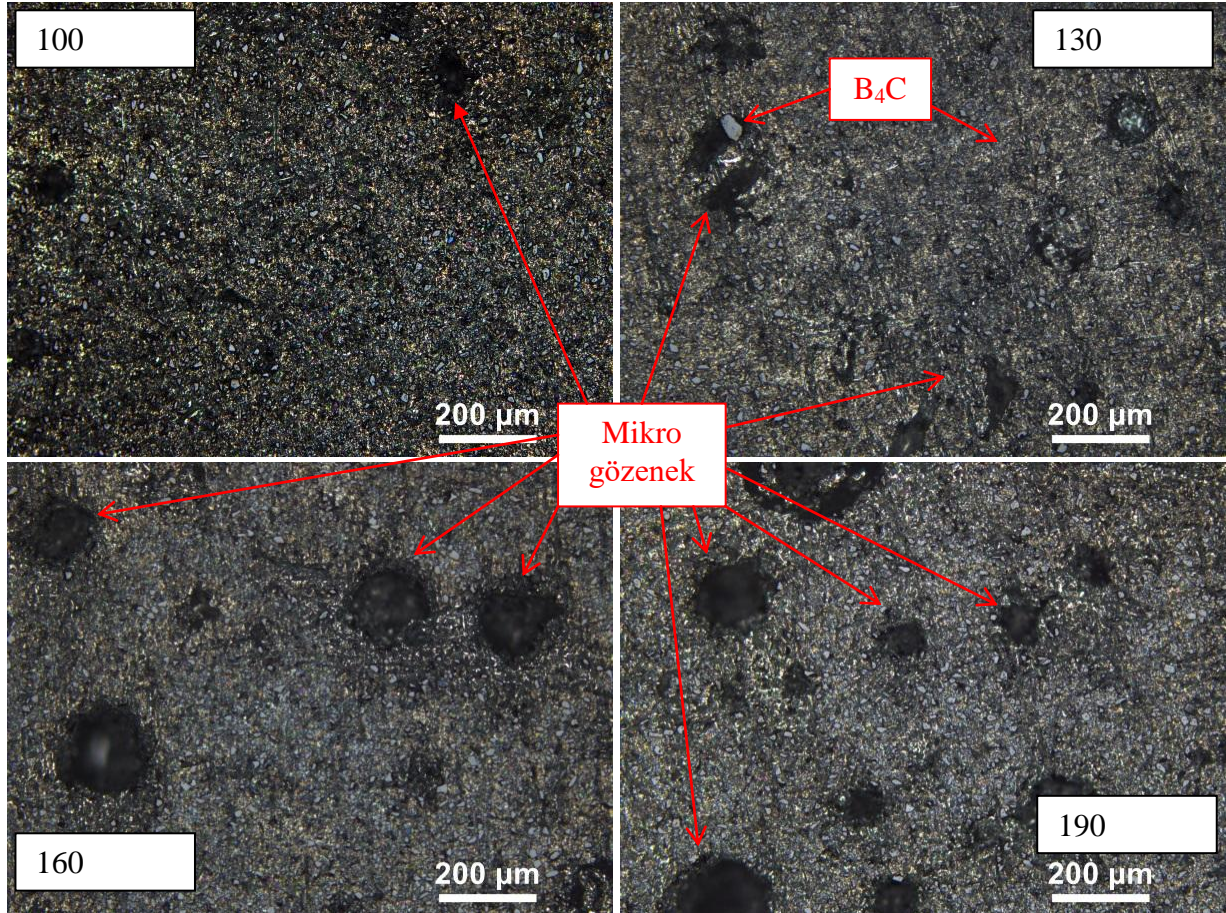


Şekil 3. kaynaklı birleştirme sonrası levhaların makro resmi.

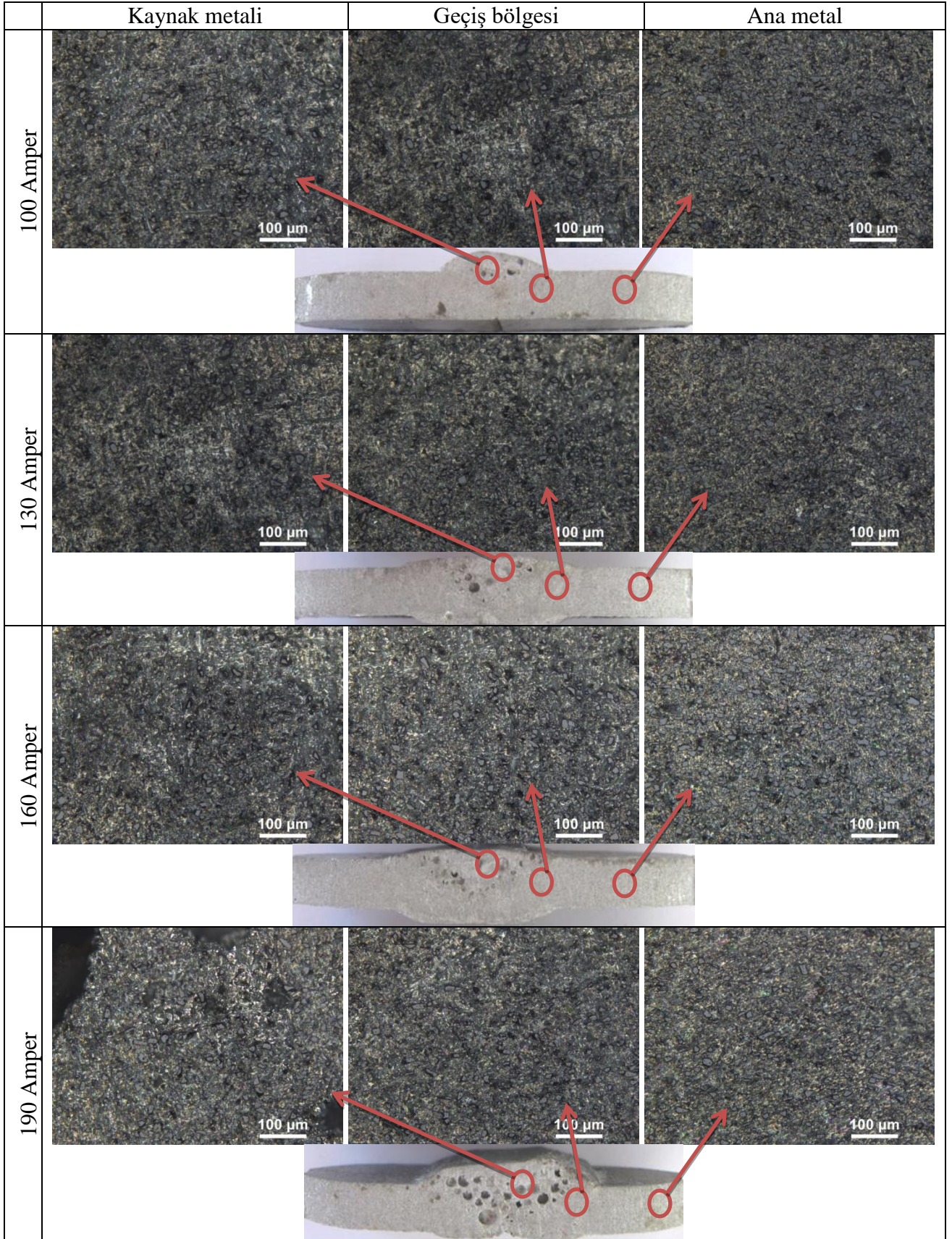


Şekil 4. Üretilen kompozit levhaların yoğunlukları

Hazırlanan optik test numunelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde akım şiddetinin artmasıyla beraber mikro gözeneklerin arttığı tespit edilmiştir. Mikro gözenekler 100 A ile kaynatılan parçalarda minimum miktarda iken bu oran 130 A ile kaynatılan numunelerde az miktarda artmış ve 190 amper akım ile kaynatılan parçalarda mikro gözenekler artarak maksimum sayıda oluşmuştur (şekil 5).



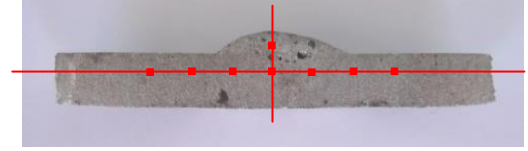
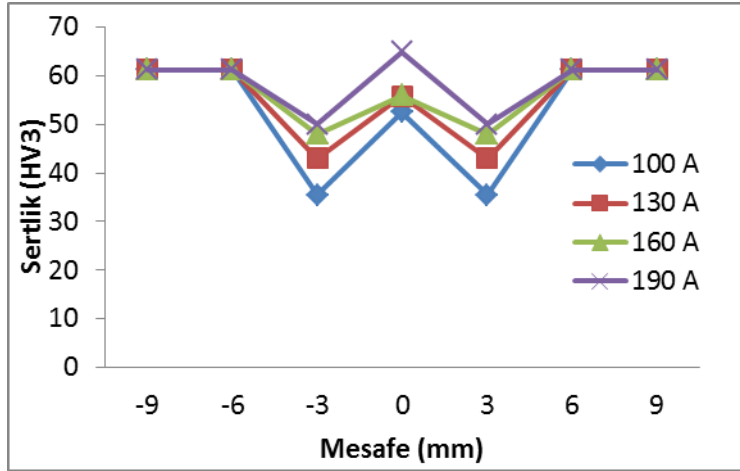
Şekil 5. Yapılan kaynak amperine göre kaynak bölgesinin mikro yapı resimleri.



Şekil 6. Farklı akımlarda birleştirilen numunelerin kaynak bölgesine ait mikro yapılar.

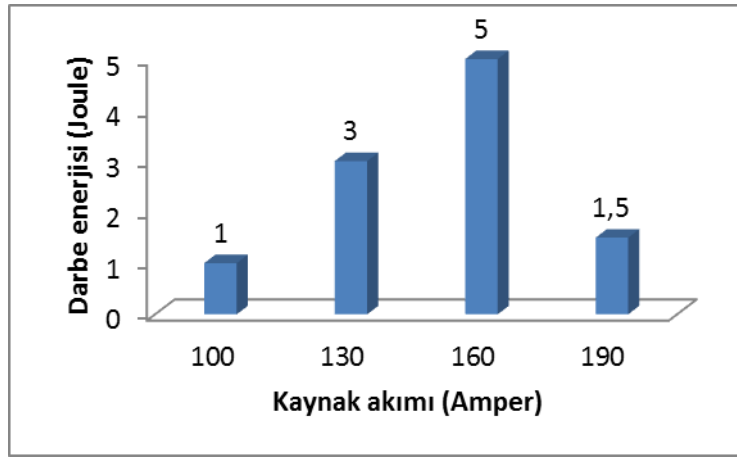
Birleştirilen parçaların kaynak bölgesindeki oluşumları inceleyebilmek için kaynak metali, geçiş bölgesi ve ana malzemeden ayrı ayrı mikro yapı resimleri alınmıştır. AlMg5 ilave tel ile birleştirilen parçalarda yüksek türbülans etkisinden dolayı ana metalde yer alan B₄C parçacıkların kaynak metalinde de olduğu gözlemlenmiştir. Geçiş bölgesine baktığımızda ise kaynak metalinde yer alan B₄C parçacık miktarının arttığını ana malzemede ise yoğun miktarlarda olduğu gözlemlenmiştir. Gökmen ve ark. Alumix 231 esaslı B₄C takviyeli kompozit malzemelerin TIG kaynağı ile birleştirdikten sonra yapılan EDX analizlerinde B₄C parçacıklarının kaynak geçiş bölgesinde olduklarını tespit etmişlerdir [13]. 100-130-160 A ile kaynatılan parçaların geçiş bölgelerinde gözeneklerin az miktarlarda olduğu gözlemlenirken 190 amperde kaynatılan numunelerde gözeneklerin çok miktarda olduğu gözlemlenmiştir (şekil 5).

Kaynak bölgesinden alınan sertlik değerlerini incelediğimizde en düşük sertlik değerinin 100 amper akım ile kaynatılan numunelerin kaynak geçiş bölgesinde 35,5 Hv₃ olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değerinin ise 190 Amper akım ile kaynatılan numunelerin kaynak bölgesinde 65,5 Hv₃ olduğu görülmüştür. Kaynak bölgesinin sertlik değerlerini incelediğimizde genel olarak en düşük sertlik değerlerinin 100 Amper ile kaynatılan numunelerde olduğu gözlemlenirken, 130 ve 160 Amper akım ile kaynatılan numunelerde birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. 190 Amper ile kaynatılan numunelerde ise sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Uluköy ve ark. yapmış oldukları çalışmada akım türü ne olursa olsun yüksek akım değerlerinde yüksek ısı girdisinin etkisi ile beraber ana metalde yer alan SiC seramik parçacıklarının kaynak metali içerisine difüzyon ettiklerini ve özellikle kaynak geçiş bölgesinde sertlik artmasına sebep olduğunu tespit etmişlerdir [14].



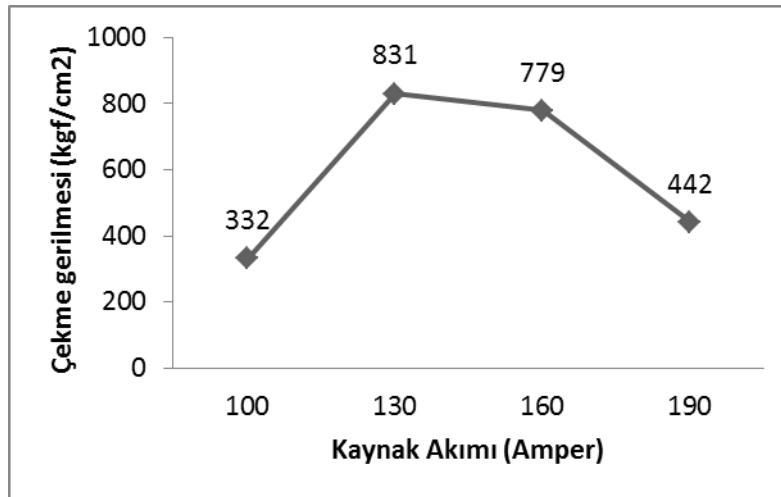
Şekil 7. Kaynatılan kompozit levhaların sertlik dağılımları.

Şekil 8'de verilen çentik darbe test sonuçlarına göre, 100 A akım ile kaynatılan numunelerin ortalama darbe dayanımı 1 J, 130 A akım ile kaynatılan numunelerde 3 J, 160 A akım ile kaynatılan numunelerde 5 J olduğu gözlemlenirken 190 A akım ile kaynatılan numunelerde ise darbe enerjisinin düşerek 1,5 J olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısı ile en düşük darbe dayanımının 100 A ile kaynatılan numunelerde olduğu, en yüksek darbe dayanımının ise 160 A akım ile kaynatılan numunelerde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Çentik darbe test sonuçları

Çekme test sonuçlarına bakıldığında, 100 A ile 130 A akım değerini kıyasladığımızda çekme gerilmesi değerinin arttığını daha sonra ise 160 A ve 190 A akım ile kaynatılan numunelerde çekme gerilmesi değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. En düşük çekme dayanım değerinin 100 A akım ile kaynatılan numunelerde 332 kgf/cm^2 değerle olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek çekme dayanım değerinin ise 831 kgf/cm^2 lık değerle 130 A akım ile kaynatılan numunelerde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Çekme testi sonuçları

4. Sonuçlar

Al6061 matrisle %10 B₄C parçacık takviyeli kompozitör levhalar 4 mm kalınlığında üretilmiştir. Üretilen kompozitör levhalarda parçacıkların yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Kompozit levhaların farklı kaynak akım değerlerinde TIG kaynak tekniği ile birleştirilebilirliği incelenmiştir. Farklı akım değerlerinde kaynatılan numuneleri analiz ettiğimizde; akım değerinin artması ile beraber kaynak bölgesinde oluşan mikro ve makro gözeneklerin arttığını görmekteyiz. Mekanik özelliklere baktığımızda ise uygun değer özelliklerin 130 A ile kaynatılan numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Kaynak akım miktarının artması ile beraber kaynak bölgesinde makro gözeneklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapılan optik testlerde ana metalde bulunan B₄C parçacıklarının kaynak metaline geçtiği gözlemlenmiştir. Aynı zaman da akım miktarının artması ile beraber kaynak bölgesinde mikro gözeneklerin arttığı anlaşılmıştır. Yapılan sertlik testlerinde akım miktarının artması ile beraber kaynak bölgesinin sertliğinin 100 A değerinde en düşük olduğunu, 130 ve 160 A değerlerinde eşit ve 100 A göre arttığını, 190 A ise sertliğin en

yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı numunelerin darbe dayanımlarına bakıldığında en yüksek darbe dayanımının 160 A ile kaynatılan numunelerde olduğu görülmüştür. Çekme dayanımlarını kıyasladığımızda en yüksek çekme dayanımının 130 A ile kaynatılan numunelerde olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Yazarlar olarak, **07/2015-09** proje kodu ile deneylerin yapılmasında bize sağlamış olduğu mali destekten dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimine (BAP) teşekkür ederiz. Aynı zamanda kompozit levhaların birleştirilmesinde bize sağlamış olduğu destekten ötürü Armatek Makinaya ve Sayın Yücel Ersoy'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Hull, D. ve Clyne, T.W.: An Introduction to Composite Materials, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge (2007).
- [2] Toptan, F. ve Kerti, I.: B4C ile takviye edilen Alüminyum matrisli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi, 12. Uluslar arası Metalurji-Malzeme Kongresi, 808-812, İstanbul, Kasım- (2006).
- [3] Uygur, I, Saruhan, H, Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Sakarya Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1) (2004).
- [4] Ansary Yara A, M. Montazerianb, H. Abdizadehb, H.R. Baharvandic.. “Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloy Matrix Composite Reinforced with Nano-particle MgO”, Journal of Alloys and Compounds. 484: 400-404. (2009).
- [5] Topcu I, Gulsoy HO, Kadioglu N, Gulluoglu AN. Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites. J Alloys Compd 2009;482:516–21.
- [6] Baradeswaran A, Elayaperumal A. Influence of B₄C on the tribological and mechanical properties of Al 7075–B₄C composites. Composites: Part B 2013;54:146–52.
- [7] Shorowordi K.M., Laoui T., Haseeb A.S.M.A., Celis J.P., Froyen L. “Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study” Journal of Materials Processing Technology 142 738–743, (2003).
- [8] Zhou, Z., Wu, G., Jiang, L., Li, R., Xu, Z., 2014, “Analysis of morphology and microstructure of B₄C/2024Al composites after 7.62 mm ballistic impact”. Materials and Design 63, 658–663.
- [9] Abenojar, J., Velasco, F. and Martinez, MA., “Optimization of processing parameters for the Al + 10 % B₄C system obtained by mechanical alloying”, Journal of Materials Processing Technology, 18, 441-446, (2007).
- [10] Kennedy, A. R. and Brampton, B., “The reactive wetting and incorporation of B₄C particles into molten aluminum”, Scripta Materialia, 44, 1077-1082, (2001).
- [11] G. B. Veeresh Kumar, C. S. P. Rao, N. Selvaraj “Mechanical and Tribological Behavior of Particulate Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites – a review”, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No.1, pp.59-91, (2011).
- [12] Song, S.G., “Reinforcement shape effects on the fracture behavior and ductility of particulate-reinforced 6061 Al matrix composites”, Met. And Mat. Trans., 27A: 3307, (1996).
- [13] Gokmen, U., Ates, H., Karakoc, H., Cinici, H., “Investigation of the Joinability of B₄C Reinforced Alumix 231 Based Composite by Using TIG Welding Techniques”, Euro PM2012 - PM Secondary and Finishing, İsviçre, (2012).
- [14] Uluköy, A., Onar, V., Kaplan, Y., “SiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemenin Farklı Kaynak Akımları Ve Türlerinde Oluşan Mikroyapı Ve Sertlik Özelliklerinin Analizi” Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21(8), 365-370, (2015).