

Al 2024 Esaslı B₄C/SiC Parçacık Takviyeli Hibrit Kompozitlerin TIG Kaynağı ile Birleştirilmesi

Uğur GÖKMEN*¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 06.01.2016

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Yapılan çalışmada, toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yolu ile üretilmiş Al 2024 esaslı B₄C/SiC parçacık takviyeli hibrit kompozitlerin kaynaklanabilirliği incelenmiştir. Ön alaşımlı Al 2024 (Al-Cu-Mg) tozu içerisine B₄C ve SiC ilave edilmiştir. Matris malzeme ve takviye elemanları 3 boyutlu karıştırıcıda 45 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışım tozlar tek yönlü basınç altında preslenerek toz metal blok numuneler üretilmiştir. Elde edilen blok numuneler 600°C de sinterlenmiş ve akabinde 500°C sıcaklıkta ekstrüze edilmiştir. Ekstrüze edilmiş nihai ürünler Tungsten Inert Gas (TIG) yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak işlemi sonrası takviye elemanın türüne bağlı olarak makro ve mikro incelemeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Al 2024, Hibrit kompozit, TIG kaynağı

Joining of Al 2024 Based B₄C/SiC Particle-Reinforced Hybrid Composites with TIG Welding

Abstract

In the present study, weldability of Al 2024 based B₄C/SiC particle-reinforced hybrid composite materials produced by powder metallurgy and hot extrusion route is investigated. B₄C and SiC are added to the pre-alloyed Al 2024 (Al-Cu-Mg). Matrix material and reinforcing components are mixed in a three-dimensional mixer for 45 min. Powders are compacted with uniaxial compression and the samples of powder metal block are produced. Produced block samples are sintered at 600°C and then extruded at 500°C. Ultimate extruded products are joined by the Tungsten Inert Gas (TIG) welding. Macro and micro examination depending on the type of reinforcing component after welding operation are studied.

Keywords: Al 2024, Hybrid composites, TIG welding

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Uğur GÖKMEN, Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, ugurgokmen@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

Modern teknolojinin sunduğu kolaylıklar araştırmacıların farklı bilim alanlarına yönelmesine ve elde edilen verileri birleştirerek özgün tasarımların ortaya çıkmasına imkân sağlamaktadır. Malzeme bilimi alanında gelinen nokta teknolojik yeniliklere paralel olarak hızla gelişmeye devam etmektedir. Son yıllarda özellikle metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üstün mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı birçok mühendislik alanında yeni nesil mühendislik malzemeleri olarak sunulmaktadır [1,2]. Alüminyum matrisli kompozitler ise düşük ağırlıklarına karşılık mükemmel mekanik ve tribolojik özelliklerinden dolayı MMK kategorisinde en çok talep edilen mühendislik malzemelerinden birisini temsil etmektedir. Al matrisli kompozitler başta otomotiv ve havacılık endüstrisi olmak üzere çok geniş bir alanda yapısal ve fonksiyonel malzemeler olarak kullanılmaktadır [3-6].

Matris yapı içerisine kompozit malzeme elde etmek için ilave edilen seramik parçacıkların en çok tercih edilen türleri arasında B₄C, Al₂O₃ ve SiC gösterilmektedir ve alüminyumun içerisine takviye elemanı olarak ilave edilen bu seramik parçacıklar alüminyum matrisli kompozitlerin gelişmesinde etkili bir rol oynamaktadır [7-9]. Hibrit metal matrisli kompozitler birbirinden farklı takviye elemanının aynı matris içerisinde bir arada bulunduğu, kullanılan takviye elemanlarının üstün özelliklerinden yararlanmak için kombine edilmiş günümüz mühendislik malzemelerinin spesifik bir türünü temsil etmektedir. [10,11]. MMK'ler birçok farklı yöntemle üretilebilmektedirler. MMK malzemelerin üretiminde döküm, sıvı infiltrasyon ve toz metalurjisi yöntemleri günümüz teknolojisinde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Özellikle toz metalurjisi yöntemi farklı fiziksel ve kimyasal malzemelerin bir arada değerlendirildiği özel malzeme tasarımlarının elde edilmesine imkân sunmaktadır [12,13]. Alüminyum ve alaşımlarının geliştirilmeye başlandığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gaz altı kaynak yöntemleri olarak bilinen TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin bulunmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır [14].

Yapılan çalışmada toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemiyle ağırlıkça %10 oranında B₄C ve SiC içeren Al 2024 esaslı kompozit malzemeler üretilmiştir. Ağırlıkça %5 B₄C ve %5 SiC parçacıkları aynı matris içerisinde bir araya getirilerek hibrit kompozit yapılar oluşturulmuştur. Üretilen hibrit/kompozitler TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme öncesi ve sonrası kompozit numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve SEM yardımıyla karakterize edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme ve Metot

Bu çalışma kapsamında kompozitlerin üretiminde matris malzeme olarak ön alaşımlı Al 2024 tozu, parçacık takviyesi olarak B₄C ve SiC tozları kullanılmıştır. Toz metalurjisi yöntemi ve sıcak ekstrüzyon ile hibrit/kompozitler üretilmiştir. Al 2024 tozunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de sunulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozların fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Matris malzemesi ve takviye elemanı olarak kullanılan tozların ortalama parçacık boyutları Malvern Mastersizer marka toz boyut ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Al 2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu

Element	Cu	Mg	Mn	Fe	Al
Oran (% Ağırlıkça)	4,4	1,8	0,25	0,5	Kalan

Çizelge 2. Tozların fiziksel özellikleri

Malzeme	Fiziksel Özellikler		
	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime sıcaklığı (°C)	Toz boyutu (µm)
Al 2024	2,74	630	<160
B ₄ C	2,50	2350	<20
SiC	3,12	2820	<50



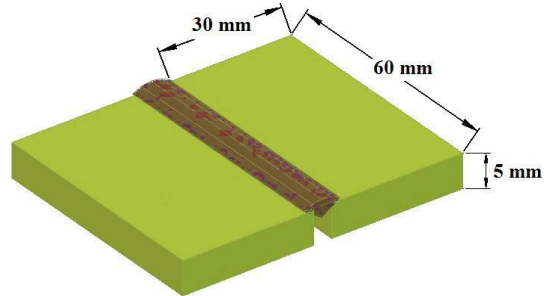
Şekil 1. a) Preslenmiş b) Ekstrüze edilmiş numune

Al 2024 tozu içerisine ağırlıkça %10 oranında B₄C ve SiC tozları ayrı ayrı ilave edilmiştir. Aynı matris içerisine ağırlıkça %5 B₄C ve %5 SiC tozları ilave edilerek hibrit kompozitler elde edilmiştir. Al 2024 tozu ile takviye elemanları 3 boyutlu karıştırıcı ile 45 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi ile elde edilen karışım tozlar çelik kalıplar içerisinde tek yönlü preslenerek silindirik toz metal blok numuneler üretilmiştir. Toz metal blok numuneler mufle tipi fırın içerisinde 600°C sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterlenmiştir. Akabinde numuneler ekstrüzyon kalıbı içerisine yerleştirilerek 500°C sıcaklıkta 1 saat bekletilmiş ve 1/4 oranında ekstrüze edilmiştir. Ekstrüze numuneler haddeleme işlemine tabi tutularak 5 mm kalınlığına getirilmiştir. Kalıplanmış ve ekstrüze edilmiş numune görüntüleri Şekil 1’de sergilenmiştir.

2.2. Birleştirme İşlemi

Presleme ve sıcak ekstrüzyon işlemlerinden geçilerek elde edilen toz metal numuneler haddeleme işlemine tabi tutularak yassı plakalar haline getirilmiştir. Elde edilen hibrit/kompozit numunelere V kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak işlemi için hazırlanan numuneler küt alın pozisyonunda tek pasoda Tungsten Inert Gaz (TIG) yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemi

sonrası numuneler herhangi bir işleme tabi tutulmadan atmosfer ortamında soğumaya bırakılmıştır. Kaynaklı birleşirmenin şematik çizimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Birleştirme işleminde kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 3’te verilmiştir.



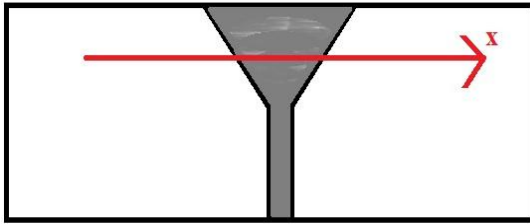
Şekil 2. Kaynaklı toz metal parçaların şematik gösterimi

Çizelge 3. Kaynaklı birleştirme işleminde kullanılan parametreler

Kaynak Parametreleri	
Kaynak akım türü	Alternatif
Kaynak Akımı (A)	75 Amper
Dolgu teli kalınlığı	2.4 mm
Gaz akış debisi	12/dak

2.3. Karakterizasyon

Sıcak ekstrüze edilmiş toz metal malzemelerin yoğunlukları Sartorius marka terazi ve yoğunluk kiti kullanılarak Arşimet prensibine göre belirlenmiştir. Hibrit/kompozitlerin içerisinde dağılmış B₄C/SiC parçacıkların matris malzeme ile ara yüzeyleri ve kaynak metali içerisindeki davranışları Leica marka optik mikroskop ve JEOL JSM 6060LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile incelenmiştir. Sertlik ölçümleri Emco test duravison 2000 marka sertlik ölçüm cihazı kullanılarak Brinell olarak ölçülmüştür. Şekil 3'te şematik olarak gösterildiği gibi sertlik değerleri her numune için ana metalden kaynak metaline ve tekrar ana metale doğru bir akış düzeninde farklı bölgeden alınan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.



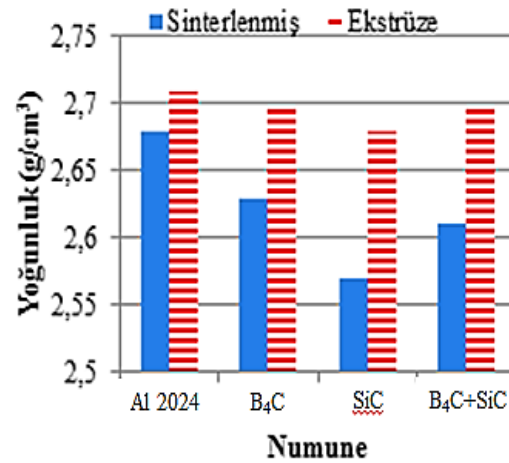
Şekil 3. Kaynaklı numunenin sertlik ölçüm yönü

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Yoğunluk

Çalışma kapsamında Al 2024 tozu içerisine ağırlıkça %10 B₄C ve SiC ilave edilerek kompozit numuneler, ağırlıkça %5 B₄C ve SiC aynı matris içerisine ilave edilerek hibrit kompozit numuneler üretilmiştir. Arşimet prensibi esas alınarak hesaplanan yoğunluk değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Kompozit numuneler takviye elemanı içermeyen Al 2024 numuneye kıyasla daha düşük yoğunluk sergilemişlerdir. Tüm numunelerde ekstrüzyon işlemi sonrası yoğunlukta artış tespit edilmiştir. B₄C ve SiC parçacıkların ilavesine bağlı olarak yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalmanın sebebinin matris malzeme ile parçacık ara yüzeyinde tespit edilen boşluklardan

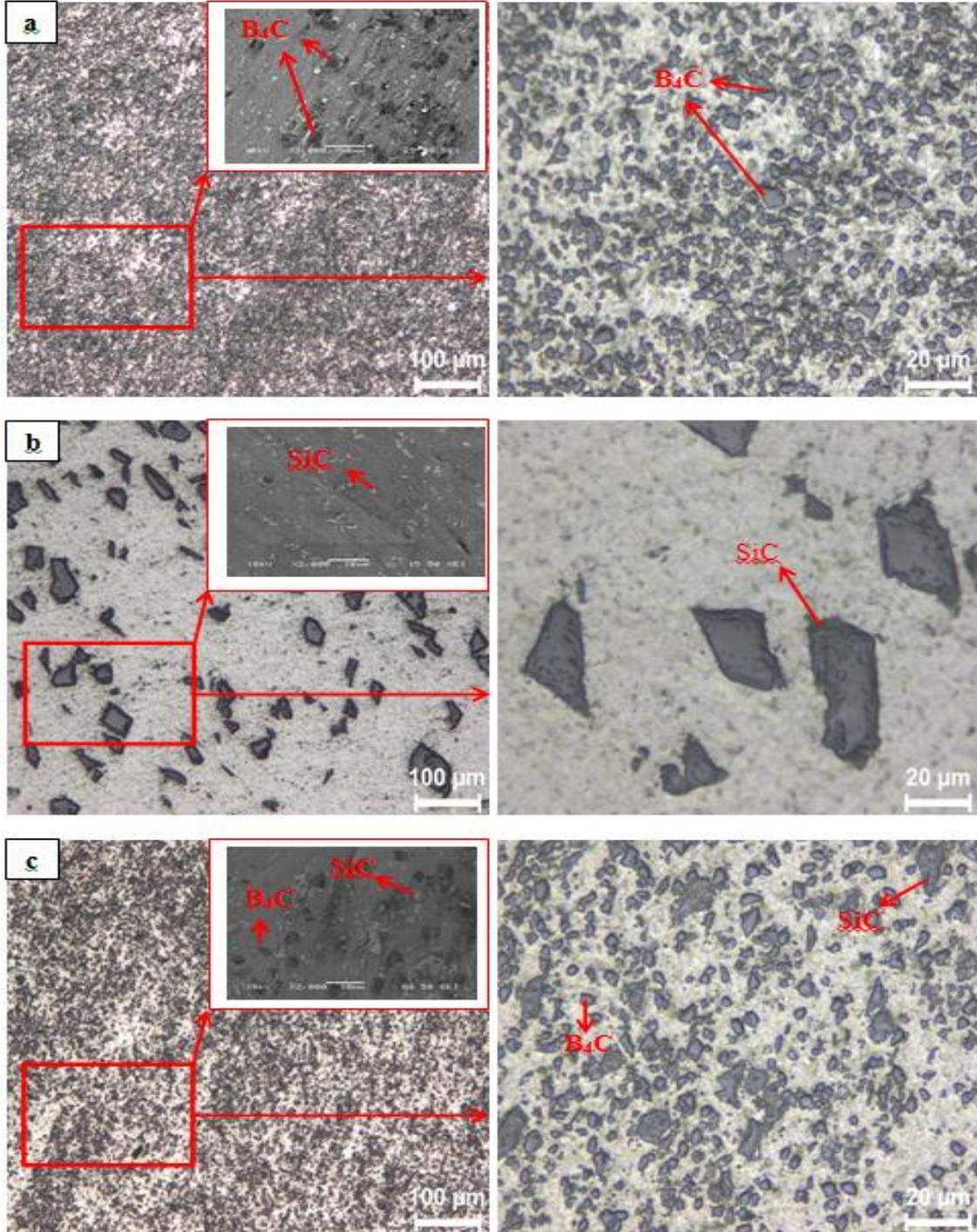
kaynaklandığı düşünülmektedir. Ekstrüzyon işlemi ile meydana gelen kısmi yoğunluk artışının uygulanan basınç ve sıcaklıkla birlikte parçacık/matris arayüzeyinde bulunan boşlukların kapanmasından kaynaklı olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen hibrit kompozitin yoğunluğunun ağırlıkça %10 SiC içeren numunelerden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Eşit miktarda takviye elemanı içeren numunelerde farklı yoğunluk değerlerinin elde edilmesinin parçacık boyutundaki değişimden kaynaklandığı söylenebilir. Toz metal malzemelerde parçacık boyutundaki değişime bağlı olarak yoğunlukta azalma gözlenebilir [15].



Şekil 4. Kompozitlerin yoğunluk değişimi

3.2. Mikroyapısal Karakterizasyon

B₄C ve SiC takviyeli hibrit/kompozitlerin kaynak öncesine ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 üzerinde kutucuklar içerisinde SEM resimleri gösterilmiş ve matris içerisinde bulunan parçacıklar oklar yardımıyla işaretlenmiştir. Şekil 5'te sergilenen optik mikroskop görüntülerine göre Al 2024 matris içerisinde bulunan parçacıkların homojen olarak dağıldığı söylenebilir. Al 2024 matris yapı üzerinde bulunan gözeneklerin ise birbirinden bağımsız olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. Hibrit/kompozit numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri a) B₄C b) SiC c) B₄C+SiC

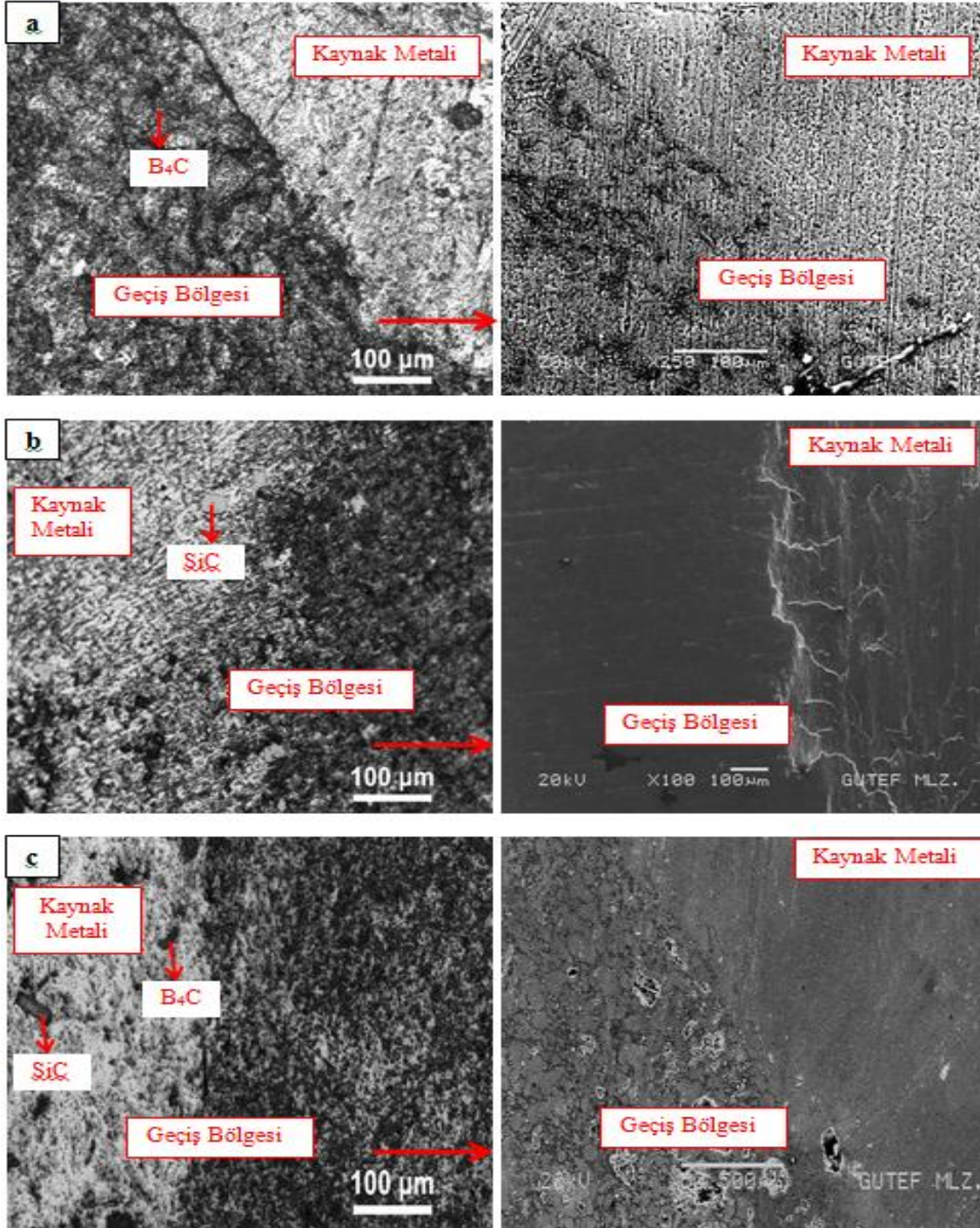
Matris malzeme yüzeyinde B₄C ve SiC ilavesi ile birlikte gözenek miktarının artışı belirlenmiştir. Al 2024 matris ile B₄C ve SiC parçacıklar arasında gözlenen boşluklar saf Al 2024 numunelere kıyasla parçacık takviyeli kompozitlerde tespit edilen yoğunluk azalmasını destekler niteliktedir. Ekstrüzyon işlemi öncesi yapılan incelemelerde matris yapı içerisinde bulunan parçacıkların kısmen topaklanma sergiledikleri tespit edilmiştir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş metal matrisli kompozit malzemelerde parçacıkların topaklanmaya, gözeneklere sebep olduğu ve bu durumun malzemenin özelliklerini etkilediği rapor edilmiştir [16]. Toz metal kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılan yöntemlerden birisinin ekstrüzyon işlemi olduğu bilinmektedir [17]. Yaygın tercih edilen ekstrüzyon yöntemlerinden birisi olan sıcak ekstrüzyon işlemi ile Al esaslı kompozit malzemelerin yüzeyinde bulunan oksit filminin ortadan kaldırılabilmesi ve bu durum neticesinde parçacıklar arası uyumun geliştirileceği ayrıca matris yapı içerisindeki takviye elemanı topaklanmasının giderilebileceği ve böylece daha homojen dağılmış parçacıklar içeren bir yapı elde edilebileceği rapor edilmiştir [18]. Şekil 5'te verilen optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde parçacıklarda ekstrüzyon öncesi gözlenen topaklanmaların dağıtıldığı tespit edilmiştir.

Şekil 6'da kaynaklı birleştirme sonrası kompozit numunelerin farklı bölgelerinden alınan optik mikroskop ve SEM görüntüleri sergilenmiştir. Kompozit numunelerin tümünde birleştirme parametreleri sabit tutulmuştur. Şekil 6'da verilen optik mikroskop ve SEM görüntüleri incelendiğinde kaynaklı birleştirmelere ait geçiş bölgeleri ve kaynak metali arasında düzgün bir kesit boyunca birleşme olmadığı söylenebilir. Hibrit/kompozitlerin matris yapısı içerisinde gözlenen boşlukların numunelerin birleşme kesitleri boyunca varlığını sürdürdüğü ve kısmen gözeneklerde birleşme olduğu tespit edilmiştir. Matris malzemede gözlenen gözenekler kaynaklı parçaların geçiş bölgelerinde yoğun bir şekilde tespit edilirken kaynak metali içerisinde kısmen

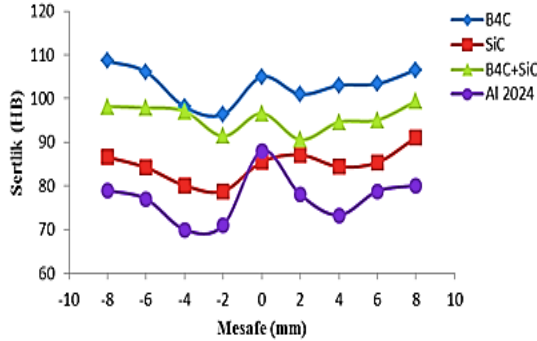
gözlenmektedir. Birleştirme işlemi esnasında kullanılan ilave telin kaynak metali içerisinde bulunan gözeneklerin kapanmasına etki ettiği düşünülmektedir. Gökmen ve arkadaşları toz metalurjisi yöntemiyle ürettikleri Al matrisli SiC takviyeli kompozit numuneleri TIG kaynak yöntemiyle kaynatmışlar ve mikroyapıyı karakterize etmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada kaynak işlemi esnasında kullanılan kaynak telinin ergiyerek kaynak metalini oluşturduğunu ve sinterlenmiş ana malzemeye nazaran bu bölgenin daha yoğun olduğunu bildirmişlerdir [19]. Şekil 6'da verilen kaynaklı bölgelere ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde görülmektedir ki ağırlıkça %10 B₄C içeren numunelerin birleşme bölgelerinde gözlenen boşlukların B₄C ve SiC takviyeli hibrit kompozitlere kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin geçiş bölgesinde tespit edilen gözenek yoğunluğunun artışına paralel olarak kaynak kesiti boyunca gözenek birleşmeleri tespit edilmiştir. Şekil 6'da verilen SEM görüntülerine göre hibrit kompozit numunede geçiş bölgesi boyunca uyumlu bir birleşme olduğu söylenebilir.

3.3. Sertlik Değişimi

Sıcak ekstrüze edilmiş ve TIG yöntemi ile birleştirilmiş kompozit numunelerde esas metalden başlayarak kaynak metalinin merkezine kadar ve devamında tekrar esas metale kadar 2 mm aralıklarla sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sertlik değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde B₄C ve SiC içeren numunelerin sertlik değerlerinin takviye elemanı içermeyen numunelere kıyasla daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Esas metalde ve kaynaklı bölgede en yüksek sertlik değeri ağırlıkça %10 B₄C içeren numunelerde tespit edilmiştir. B₄C ve SiC takviyeli hibrit kompozitlerin sertlik değerleri takviye elemanı içermeyen Al 2024 ve %10 SiC içeren kompozitlere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Hibrit kompozit içerisinde bulunan B₄C sertlik değerinin artışında etkili bir rol üstlenmiştir.



Şekil 6. Birleştirme işlemi sonrası hibrit/kompozit numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri
a) B₄C, b) SiC, c) B₄C+SiC



Şekil 7. Birleştirme işlemi sonrası kompozit numunelere ait sertlik grafiği

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada B₄C ve SiC parçacık takviyeli Al 2024 esaslı hibrit/kompozit numuneler toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Al 2024 matris içerisine ağırlıkça %10 oranında B₄C ve SiC seramik parçacıklar ilave edilerek kompozit numuneler ağırlıkça %5 B₄C ve %5 SiC tek bir matris içerisine ilave edilerek hibrit kompozit numuneler üretilmiştir. Elde edilen hibrit/kompozit numuneler TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirme öncesi ve sonrası elde edilen mikroyapılar karakterize edilmiş, ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

- Hibrit/kompozit numunelerin tamamında sinterleme işleminden sonra yapılan sıcak ekstrüzyon işlemi ile yoğunlukta artış tespit edilmiştir.
- Al 2024 esaslı numunelerde en yüksek sertlik değeri ağırlıkça %10 B₄C içeren kompozitlerde elde edilmiştir. En düşük sertliği takviye elemanı içermeyen numuneler sergilemiştir. Hibrit kompozit numunelerde SiC içeren kompozitlerden daha yüksek sertlik değeri tespit edilmiştir.
- Kaynaklı birleştirmelerde sertlik değeri esas metalden geçiş bölgesine doğru azalma sergilerken kaynak metalinde artış göstermiştir. Hibrit kompozit

numunelerin kaynak bölgesinden ölçülen sertlik değerlerinin takviye elemanı içermeyen Al 2024 numunelerden ve %10 SiC içeren numunelerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Karabulut, Ş., 2015. Optimization of surface roughness and cutting force during AA7039/Al₂O₃ metal matrix composites milling using neural networks and Taguchi method, Measurement 66: 139–149.
2. Kok, M., 2005. Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites, Journal of Materials Processing Technology 161(3): 381–387.
3. Fathy, A., El-Kady, O., Mohammed, M.M.M., 2015. Effect of iron addition on microstructure, mechanical and magnetic properties of Al-matrix composite produced by powder metallurgy route, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 25: 46–53.
4. Padmavathi, K. R., Ramakrishnan, R., 2014. Tribological behaviour of Aluminium Hybrid Metal Matrix Composite, Procedia Engineering 97: 660–667.
5. Topcu, I., Gulsoy, H.O., Kadioglu, N., Gulluoglu, A.N., 2009. Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites”, Journal of Alloys and Compounds 482: 516–521.
6. Emamy, M., Oliayee, M., Tavighi, K., 2015. Microstructures and tensile properties of Al/2024–Al4Sr composite after hot extrusion and T6 heat treatment”, Materials Science & Engineering A 625: 303–310.
7. Venkatesh, B., Harish., 2015. Mechanical Properties of Metal Matrix Composites (Al/SiCp) Particles Produced by Powder Metallurgy, International Journal of Engineering Research and General Science 3(1): 1277–1284.
8. Garreno-Gallardo, C., Mendoza-Duarte, J.M., Lopez-Melendez, C., Estrada-Guel, I., Martinez-Sanchez, R., 2015. Evaluation of Mechanical Properties of Aluminum Alloy (Al-

- 2024) Reinforced with Carbon-Coated Silver Nanoparticles (AgCNP) Metal Matrix Composites, *Microscopy and Microanalysis* 21, 3: 1041-1042.
9. Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., 2003. Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study”, *Journal of Materials Processing Technology* 142: 738–743.
 10. Ahamed, A.R., Asokan, P., Aravindan, S., Prakash., M.K., 2010. Drilling of hybrid Al-5%SiC_p-5%B₄C_p metal matrix composites, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 49(9): 871-877.
 11. Ahmadi, A., Toroghinejad, M.R., Najafizadeh, A., 2014. Evaluation of microstructure and mechanical properties of Al/Al₂O₃/SiC hybrid composite fabricated by accumulative roll bonding process”, *Materials and Design* 53: 13-19.
 12. Xiao, Z., Li, Z., Fang, M., Xiong, S., Sheng, X., Zhou, M., 2008. Effect of processing of mechanical alloying and powder metallurgy on microstructure and properties of Cu–Al–Ni–Mn alloy, *Materials Science and Engineering: A*, 488, 266-272.
 13. Jang, G.B., Kang, S.S., 2000. A study on the development of a substitution process by powder metallurgy in automobile parts, *Journal of Materials Processing Technology*, 100, 110-115.
 14. Karadağ, A., Özaraç, U., Aslanlar, S., Ekici, M., Varol, F., 2012. Alüminyum alaşımlarının TIG kaynağında mekanik özelliklere kaynak parametrelerinin etkisi, 2th International Conference on Welding Technologies and Exhibition, ICWET’12, 23-25 May Ankara/Turkey, pp.438-446.
 15. Rahimian, M., Ehsani, N., Parvin, N., Baharvandi, H.R., 2009. The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al–Al₂O₃ composites, made by powder metallurgy, *Journal of Materials Processing Technology* 209: 5387–5393.
 16. Dobrzanski, L.A., Wlodarczyk, A., Adamiak, M., 2005. Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al₂O₃ ceramic particles, *Journal of Materials Processing Technology* 162–163 27–32.
 17. Rahmani Fard, R., Akhlaghi, F., 2007. Effect of extrusion temperature on the microstructure and porosity of A356–SiC_p composites, *Journal of Materials Processing Technology* (187) 188: 433–436.
 18. Zheng, R., Hao., Xiaoning, Yuan, Y., Wang, Z., Ameyama, K., Ma., Chaoli, 2013. Effect of high volume fraction of B4C particles on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloy based composites, *Journal of Alloys and Compounds* 576: 291–298.
 19. Gökmen, U., Karakoç, H., Uzun, A., Çinici, H., Ateş, H. 2012. Alumix 231 esaslı SiC takviyeli kompozit malzemelerin TIG kaynağı ile kaynaklanabilirliği, 2th International Conference on Welding Technologies and Exhibition, ICWET’12, 23-25 May Ankara/Turkey, pp.558-563.

