



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Fonksiyonel Derecelendirilmiş TiB₂/Al Kompozitlerin Üretimi Üzerine Bir Çalışma

 Ömer SAVAŞ^{a,*}  Ömer Faruk DEMİROK^b

^{a,*} *Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, TÜRKİYE*

^b *Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Kocaali, Sakarya, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: osavas@yildiz.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.648333

ÖZET

Bu çalışmada, Fonksiyonel derecelendirilmiş TiB₂/Al kompozitlerin savurma döküm tekniği ile üretimi ve özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. TiB₂ takviye fazı, sıvı alüminyum içerisinde in-situ tekniği ile kendiliğinden oluşturulmuştur. Savurma döküm tekniğinden faydalanılarak kompozitler fonksiyonel olarak derecelendirilmiş ve son şekilleri verilmiştir. Üretilen kompozitlerin özellikleri, optik mikroskobu, SEM, XRD, yoğunluk ve sertlik analizleri kullanılarak detaylandırılmıştır. Çalışmada Al-Ti-B sistemi kullanılarak alüminyum matris içerisinde in-situ tekniği ile TiB₂ borür yapılarının sentezlene bildiğini görülmüştür. Aynı zamanda kompozit malzemelerin savurma kuvveti yönünden mikro yapı özelliklerinin değiştiği ve bu değişime bağlı olarak kompozitlerin yoğunluk ve sertlik değerlerinde önemli bir değişim tespit edilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda alüminyum matrise %19 TiB₂ ilavesi ile %83'lük, %12 TiB₂ ilavesi ile de %50'lik sertlik artışı sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme, in-situ TiB₂*

A Study on Production of Functionally Graded TiB₂/Al Composites

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate the production and properties of functional grade TiB₂/Al composites by centrifugal casting technique. TiB₂ particles were spontaneously formed in the aluminum matrix by in-situ technique. Centrifugal casting technique has been used in functional grading and final shapes of composites. The properties of the composites were detailed using optical microscopy, SEM, XRD, density and hardness analysis. It has been seen that TiB₂ boride structures can be synthesized by in-situ technique in aluminum matrix using a Al-Ti-B system. At the same time, it has been determined that the microstructure properties of composite materials change into the centrifugal force direction. In addition, a significant change in density and hardness values of composites has been determined. The results also showed that the hardness of aluminum matrix increased by 83% with the addition of 19wt. % TiB₂ and 50% with the addition of 12wt.% TiB₂.

Keywords: *Functionally graded material, in-situ TiB₂*

Geliş: 18/11/2019, Düzeltme: 01/04/2020, Kabul: 10/05/2020

I. GİRİŞ

Kompozit malzemeler birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin makro boyutta bir araya gelmesi ile oluşturulan malzemelerdir ve kendisini oluşturan malzemelerin en iyi özelliklerini üzerinde taşırlar. Kompozitler, matris fazına bağlı olarak metal, polimer ve seramik matrisli kompozitler şeklinde üç kategoride incelenir. Seramik matrisli kompozitler yoğunluklarının düşük olması ile birlikte aşınma dirençleri yüksektir. Ancak toklukları ve tekrarlı yükler altında mukavemetleri çok düşüktür, polimer matrisli kompozitlerin yoğunlukları çok düşük olmasına karşın mukavemet ve aşınma dirençleri çok düşüktür ve kullanım sıcaklığı 100 °C'nin altındadır. Buna karşın metal matrisli kompozitlerin yüksek mukavemet, tokluk, aşınma direnci, termal şok direnci, korozyon direnci ve düşük yoğunluk özelliklerini bir arada bulundura bilmektedir [1-3].

Metal Matrisli Kompozitlerin (MMK) üretimi üzerine yapılan çalışmalarda, takviye fazının matris içerisine ilavesi iki farklı şekilde yapıldığı görülmektedir. Bunlar Ex-situ ve İn-situ yöntemleridir. Ex-situ yönteminde tevkiye fazları, sıvı metal içesine vorteks, infiltrasyon, karıştırma gibi mekanik bir etki ile doğrudan ilavesi ile yapılmaktadır. İn-situ yönteminde ise takviye fazları matris içerisine ilave edilmesi, matris içerisinde yer alan element veya bileşiklerin reaksiyona girmesi ile kendiliğinden oluşturmaktadır. Bu şekilde takviye fazının matris içerisinde kendiliğinden oluşturulması ile Ex-situ üretim yönteminde karşılaşılan gözenek oluşumu, ıslatılabilirlik, homojen olmayan dağılım, ara bileşiklerin oluşması gibi problemlerin önüne geçilebilmektedir. Bununla birlikte oluşan partiküllerin termodinamik olarak kararlı olduğu, kompozitin geri dönüşüme olanak sağladığı, üretimin kolay ve ucuz olduğu görülmektedir [4].

MMK'lerde matris içerisinde artan takviye oranı, kompozitlerin çekme mukavemeti, elastik modülü ve aşınma direnci gibi bir takım özelliklerini iyileştirmelerine karşın, kırılma tokluğunu önemli ölçüden kötüleştirir. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozit malzemeler (FGKM) bu problemi önemli ölçüde ortadan kaldırdığı görülmektedir. FGKM'lerin mikro yapı özellikleri belirli bir yönde ya fonksiyonel ya da katmanlı olarak değişim göstermektedir. Fonksiyonele olarak değişim gösteren FGKM'ler hem termal hem de mekanik gerilmeleri önemli ölçüde elemine etmektedir [5-9].

Ö. Savaş ve ark. [10] savurma döküm yöntemi kullanarak alüminyum matrisli Al_3Ti takviyeli fonksiyonele derecelendirilmiş kompozitleri ürettiklerini belirtmişlerdir. Çalışmada üretilen kompozitlerin mikro yapılarının savurma yönünde değiştiğini ve buna bağlı olarak kompozitin sertliğinin ve abrasif aşınma direncinin değiştiğini rapor etmişlerdir.

Elastik modülünün, aşınma dirençlerinin yüksek, ucuz olmasından dolayı, alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde takviye elemanı olarak SiC ve Al_2O_3 partikülleri yaygın olarak kullanılmaktadır. TiB_2 partiküllerinin yaygın olarak kullanılan SiC ve Al_2O_3 'e göre fiziksel özelliklerinin daha yüksek olması, metal matrisli kompozitlerin üretimi için çok yüksek potansiyele sahip olacağını göstermektedir [11].

M. Pul [12], Al 7075 matrisli SiC, B_4C ve TiB_2 takviyeli kompozit malzemelerin yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma ve aşınma gibi mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak yaptığı çalışmada toz metalürjisi tekniği kullanılarak farklı takviye oranlarda kompozit malzemeler üretmişlerdir. Çalışmada en yüksek kırılma dayanımı ile en düşük aşınma miktarı SiC takviyeli kompozitler de meydana geldiği belirtilmiş ve en yüksek sertlik ve en düşük yoğunluk değerlerinin ise TiB_2 takviyeli kompozitler de gözlemlendiği rapor edilmiştir.

L. Lu [13] ve arkadaşları TiB_2 partiküllerini sentezlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, sıvı alüminyum içerisine 850 °C K_2TiF_6 ve KBF_4 tuzlarının ilave edilmesinin ardından 5 ve 15 dakikalık iki farklı bekleme süresinin ardından katılaşmaya bırakmışlardır. Sıvı alüminyum içerisinde bulunan Ti ve B'un ekzotermik reaksiyona girmesinin sonucunda TiB_2 borür yapılarının kendiliğinden oluştuğunu rapor etmişlerdir. Oluşan partiküllerin altıgen bir yapı ve bekleme süresi ile boyunda ve şeklinde değişim olmadığını belirtmişlerdir. S. Suresh [14] ve arkadaşının yaptıkları çalışmada in-situ tekniği ile üretilen TiB_2/Al kompozitlerinin mekanik ve aşınma özelliklerinin daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir. K.L. Tee

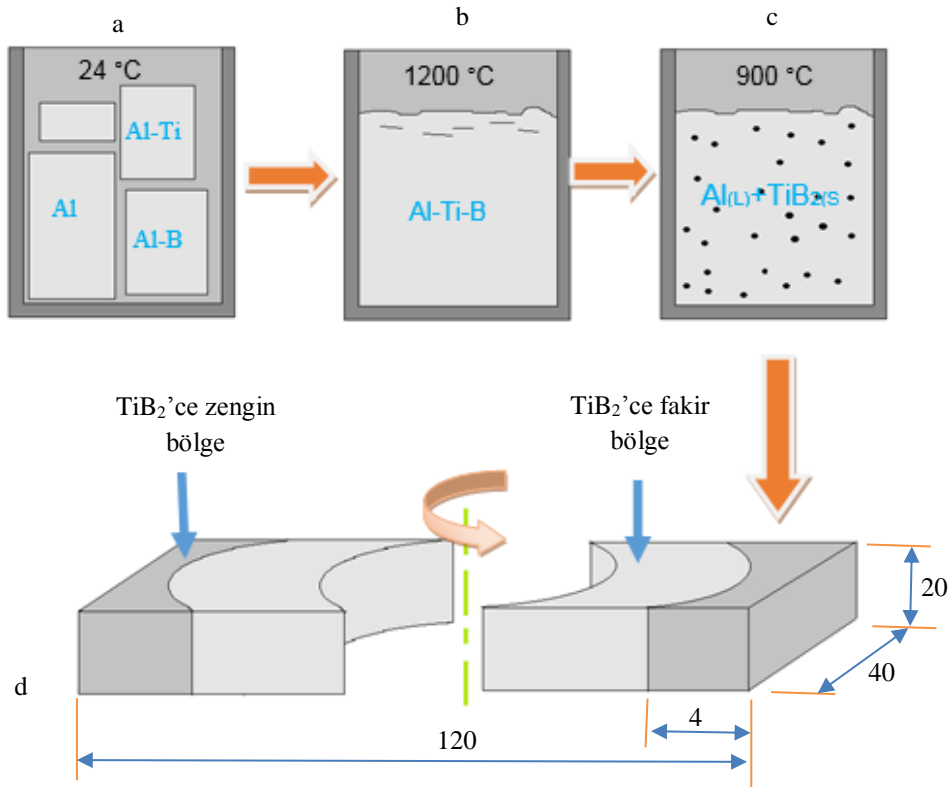
[15] ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada alüminyum alaşım içerisine titanyum ve bor tozları karıştırarak in-situ TiB_2 partiküllerini oluşturduklarını rapor etmişlerdir. Elde ettikleri kompozit malzemelerde TiB_2 partiküllerinin boyutunun 1-3 μm olduğu ve alüminyum içerisine %15 TiB_2 ilavesi ile mukavemet artışının %57, akma dayanımı %66 ve elastik modülünün %22 oranında olduğunu belirtmişlerdir.

Ö. Savaş ve ark.[16] alüminyum matrisli TiB_2 takviyeli fonksiyonele derecelendirilmiş kompozitleri savurma döküm yöntemi kullanarak ürettiklerini rapor etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada TiB_2/Al kompozitin sertlik ve aşınma direncinin savurma yönünde fonksiyonel bir şekilde değiştiğini belirtmişlerdir.

Yapılan önceki çalışmalarında fonksiyonel derecelendirilmiş in-situ TiB_2/Al kompozit malzemeleri ile ilgili olarak çok az sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir [17, 18] Bu nedenle bu çalışmada amacımız, in-situ tekniği ile TiB_2 partikülleri sıvı matris içinde kendiliğinden oluşturmak ve savurma döküm yöntemi kullanarak TiB_2/Al FGK malzemeleri üretmek ve özelliklerini araştırmaktır.

II. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada TiB_2/Al FDK malzemeler iki aşamada üretilmiştir. Bu aşamalar sırasıyla, in-situ TiB_2 partiküllerinin sıvı alüminyum içerisinde sentezlenmesi ve savurma döküm tekniği ile kompozitlere nihai şekillerinin verilmesidir.



Şekil 1. TiB_2/Al FGKM üretim şeması

TiB_2 partiküllerinin oluşturulmasında başlangıç malzemesi olarak alüminyum alaşımlarının dökümünde tane inceltici olarak kullanılan ticari Al-10Ti ve Al-2B alaşımları seçilmiştir [19,20]. Kompozit üretiminde kullanılan alaşımlar ve kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Kompozit üretiminde kullanılan külçeler ve onların kimyasal kompozisyonu

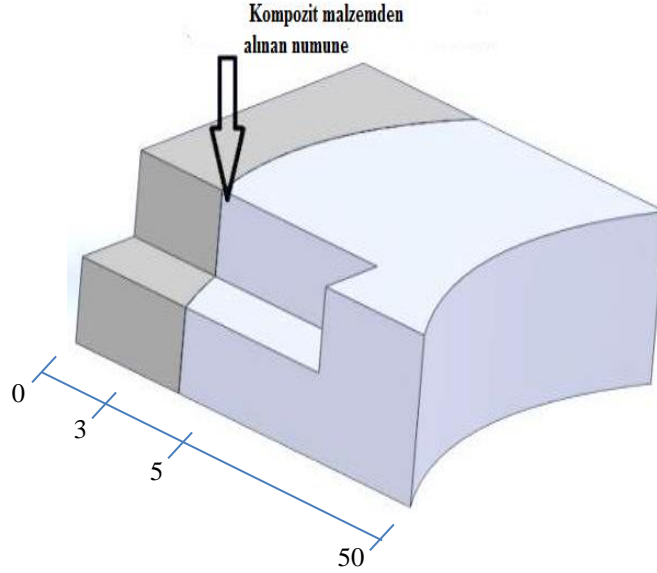
Alaşım	Element, Ağ. %								
	Ti	B	Fe	Si	Mn	Mg	Cr	Cu	Al
Saf Al	0,001	0.000	0.301	0.116	0.026	0.009	0.000	0.000	Kalan
Al-Ti	9.851	0.000	0.225	0,192	0.203	0.000	0.014	0.003	Kalan
Al-B	0.009	1.980	0.151	0.128	0.088	0.001	0.017	0.001	Kalan

Şekil 1’de TiB_2/Al FGKM üretim şeması görülmektedir. TiB_2 borür yapılarının sentezlenmesi aşamasında ilk olarak, %3 ve %1,3 oranında B ve Ti içerecek şekilde (Şekil 1a’da görülmektedir) ticari Al-10Ti ve Al-2B külçeleri saf alüminyum külçeleri ile çelik pota içerisine konulmuştur. Külçelerin eriyerek tamimiyle sıvı Al-Ti-B çözeltilisine dönüşmesi için külçeler bir direnç ertirme fırın içerisinde $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ’de 60 dakika bekletilmiştir. Yapıda oluşması istenmeyen Al_3Ti ve AlB_2 partikülleri yerine TiB_2 partiküllerinin oluşması için Şekil 1b ve 1c’de görüldüğü gibi $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ’de ki Al-Ti-B ergiyi $900\text{ }^\circ\text{C}$ ’ye alınmış ve bu sıcaklıkta 30 dakika beklenmiştir. Şekil 2’de çelik pota içerisinde $900\text{ }^\circ\text{C}$ ’de ki ‘ $Al_{(sıvı)} + TiB_{2(katı)}$ ’ yarı katı çözeltilisinin çelik pota içerisindeki görüntüsü verilmektedir. ‘ $Al_{(sıvı)} + TiB_{2(katı)}$ ’ yarı katı eriyiği savurma işlemi için bir çelik savurma kalıbına alınarak savurma döküm mekanizması içerisinde katılaşmaya kadar 2000 rpm dönme hızında savrulmuştur. Kompozit üretiminde kullanılan çelik potlar ve kalıpların sıvı alüminyum ile reaksiyona girmemesini engellemek amacı ile iç yüzeyleri bor nitrid (BN) ile kaplanmıştır.



Şekil 2. Çelik pota içerisinde $900\text{ }^\circ\text{C}$ ’de ki ‘ $Al_{(sıvı)} + TiB_{2(katı)}$ ’ yarı katı çözeltilisinin çelik pota içerisindeki görüntüsü

Nihai kompozitlerinin kalıp dış cidarından içeriye doğru TiB_2 ’ce zengin ve TiB_2 ’ce fakir bölgelerin yer alacağı varsayılarak Şekil 3’de temsili resimde gösterildiği gibi karakterizasyon çalışmaları için kompozit malzemelerin dış yüzeyinden içeriye doğru 0 mm, 3mm ve 5 mm mesafelerden numuneler alınmıştır. Bu bölgeler dış, orta ve iç bölgeler şeklinden isimlendirilmiştir.



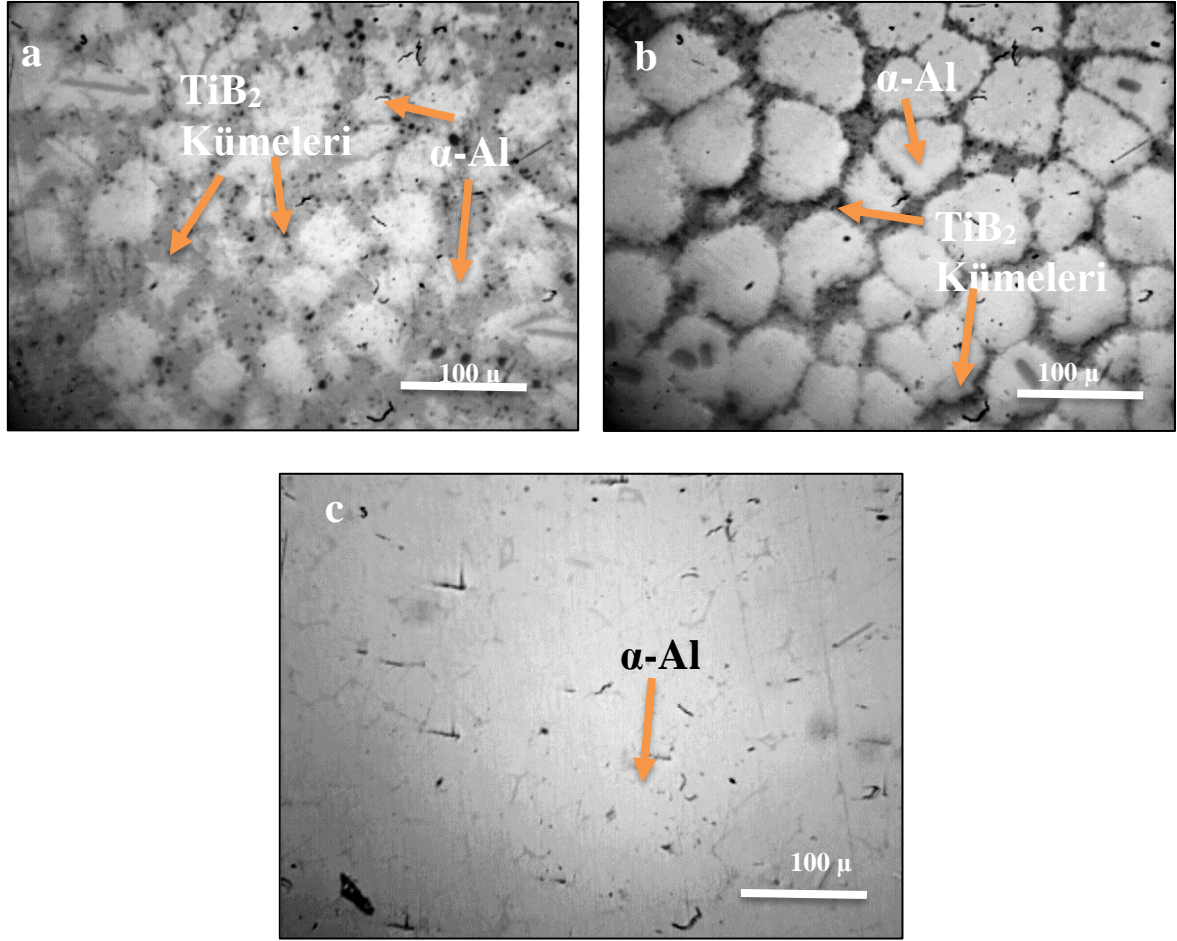
Şekil 3. Üretilen kompozit malzemeden alınan numunenin temsili görüntüsü

Optik analizler için üretilen kompozitler üzerinden alınan numuneler sırası ile 150, 400, 600, 1000 ve 1200 mesh SiC zımparalama işlemi sonrasında 0,2 μm 'luk elmas pasta süspansiyonu ile 15 dakika parlatılmıştır. Mikro yapısal analiz için Clemex Vision görüntü analiz sistemi ile donatılmış bir Olympus optik mikroskop kullanılmıştır. Ayrıca aynı bölgelerde birbirine eş değer birer numuneler daha alınarak taramalı elektron mikroskopu(SEM) ile incelenmiştir. TiB_2 yapısının detaylı olarak değerlendirilmesi amacıyla, hazırlanan numuneler % 10 HCl solüsyonu kullanılarak derin dağlama yapılmış ve sonrasında JEOL JSM 6060LV taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü alınmıştır. Oluşan bileşiklerin belirlenmesi amacıyla ve detaylı incelenmesi için X-Ray difraktometre (XRD, D8 ADVANCE Da Vinci) cihazı kullanılmıştır.

Sertlik analizi yapılmadan önce deney yapılacak bölge bu deney için uygun hâle getirilmiştir. Sertlik testleri için en kaba zımparadan başlanarak 1200 mesh zımparaya kadar yüzeyleri temizlenmiş ardından parlatılmıştır. Sertlik değerleri Brinell sertlik ölçme tekniği kullanılarak yapıldı. Bu çalışmada 62,5 kN'lik bir kuvvet uygulanarak 2,5 mm çaplı bir bilye yardımıyla malzemelerin sertlik değerleri alınmıştır.

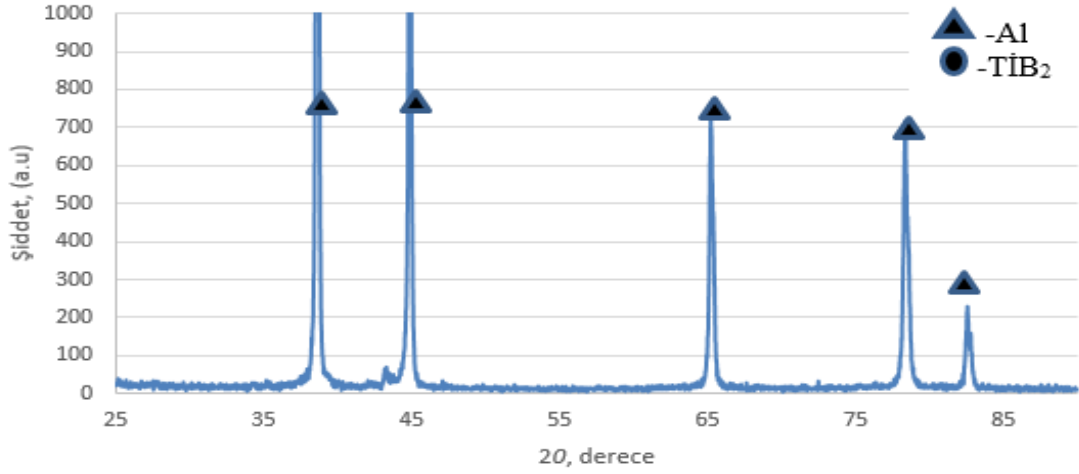
III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Savurma işlemi neticesinde üretilen kompozitlerin TiB_2 'ce fakir ve zengin iki farklı alana sahip olduğu görülmüştür. Kompozitlerin karakterizasyonu için TiB_2 'ce zengin alan iki farklı bölgeye ayrılmıştır (dış ve orta bölge şeklinde). TiB_2 'ce fakir alan ise bir bölgeye ayrılmıştır (iç bölge). Şekil 4'de üretilen kompozitlerin dış, orta ve iç bölgelerinden alınan numunelere ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Şekil 4 TiB_2 partiküllerinin yoğunluğunun orta bölgeye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4c'de iç bölgede ise hiç TiB_2 partikülünün olmadığı dikkate çelmektedir. Bunun muhtemel nedeni savurma kuvvetinin etkisi ile yoğunluğu sıvı alüminyuma (2,37 g/cm^3) göre saha yüksek olan TiB_2 partiküllerinin (4,5 g/cm^3) kompozitin dış bölgelere doğru sürüklenmesinden kaynaklandığı varsayılmaktadır. Şekil 4 a ve b'de, TiB_2 partiküllerinin homojen bir dağılım yerine tane sınırları boyunca ağ şeklinde kümelenmiş olduğu görülmektedir. Bu durumun muhtemel nedeni katılaşma sırasında katı α - Al'nin boyutları çok küçük olduğu için katı TiB_2 partiküllerini sıvı bölgeye itmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [18,21].

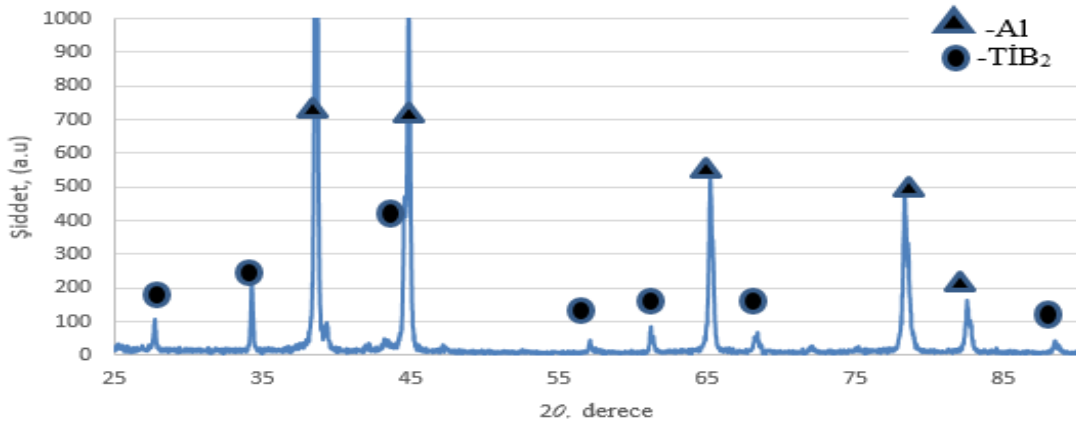


Şekil 4. Üretilen kompozitlerin dış yüzeyinden içeriye doğru **a)** 0 mm (dış bölgeden), **b)** 3mm (orta bölgeden) ve **c)** 5 mm (iç bölgeden) mesafeden alınan mikro yapı görüntüsü

Şekil 5 ve Şekil 6'de döküm numunesi üzerinden alınan TiB_2 'ce fakir ve zengin bölgelere ait XRD analiz sonuçları verilmiştir. Alınan XRD analizlerinde kompozitin iç kısımlarında sadece alüminyum piklerinin mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 5). Kompozitin TiB_2 'ce zengin dış bölgelerinden alınan XRD sonucuna göre alüminyum piklerinin yanında TiB_2 piklerinin yer aldığı görülmektedir (Şekil 6). Bu sonuca göre sıvı alüminyum içerisinde oluşan katı TiB_2 borür yapıların savurma kuvvetinin etkisi ile kalıp iç kısmından dışarıya doğru savrulduğunu görülmektedir. Siyah bölgeden alınan XRD sonucunda ise yapıda yalnız Al ve TiB_2 pikinin görülmesi sistemde mevcut olan titanyum ve borun tamamının ekzotermik reaksiyona girerek TiB_2 bileşimini oluşturduğunu göstermektedir ve üretim aşamasında belirlenen Ti/B oranının uygun olduğunu göstermiştir. Alınan XRD analizleri sonucuna göre fakir bölgelerde TiB_2 oranının sıfıra yakın olduğu, TiB_2 'ce zengin bölgelerde ise %14 civarında olduğu tespit edilmiştir.



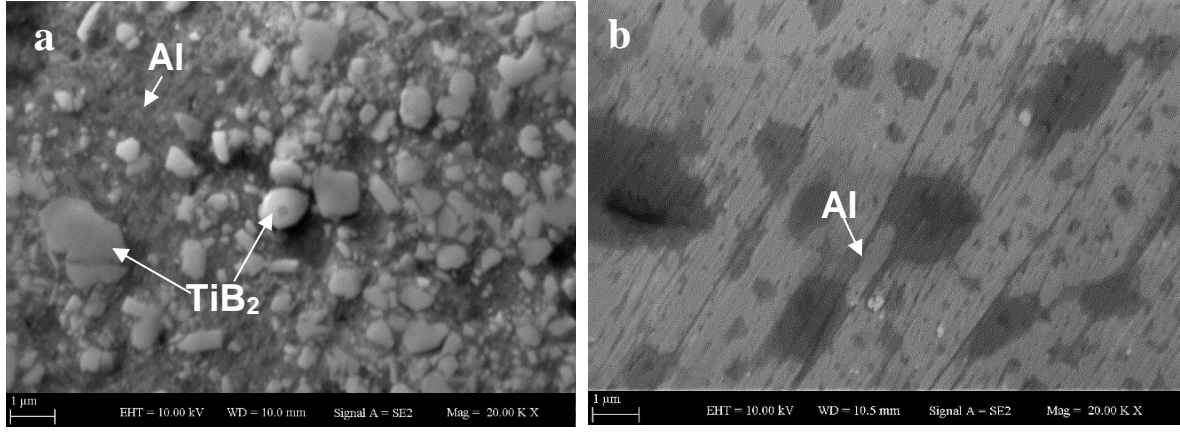
Şekil 5. TiB₂'ce fakir bölgeye ait XRD analiz sonuçları



Şekil 6. TiB₂'ce zengin bölgeye ait XRD analiz sonuçları

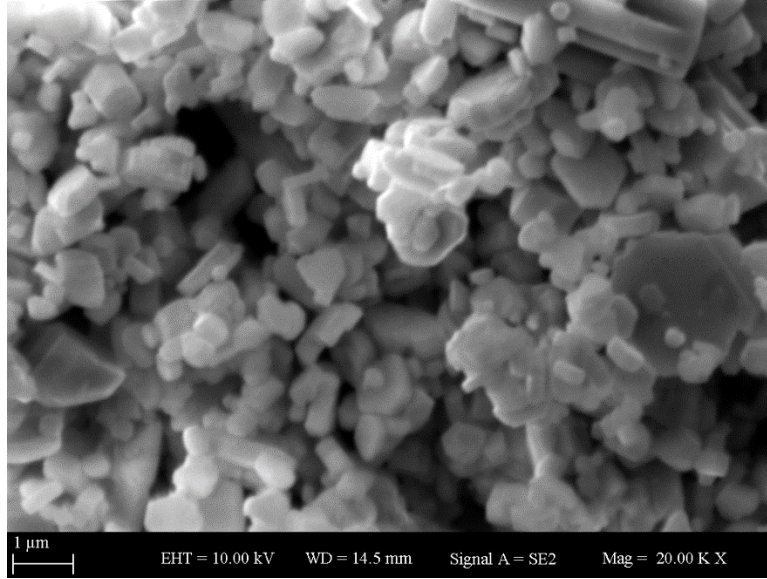
Şekil 7'de TiB₂'ce zengin ve TiB₂'ce fakir bölgelerden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Şekilde TiB₂'ce zengin bölgede alüminyum matris içerisinde gömülmüş TiB₂ partikülleri görülmektedir. Şekil 7b'de ise TiB₂'ce fakir olarak atfedilen bölgede neredeyse hiç TiB₂ yapısının yer almadığı dikkati çekmektedir. Şekil 7a'da ayrıca TiB₂ partiküllerinin boyutunun 1 mikronun altında olduğu ve TiB₂ partikülleri ile alüminyum matris arasında ara bileşiklerinin yer almadığı görülmektedir. Aynı zamanda yapıda muhtemel olması beklenen kolonsal Al₃Ti ve AlB₂ yapılarının hiç bulunmadığını dikkati çekmektedir. Bu sonuçlar birçok çalışmada rapor edildiği gibi aşağıdaki reaksiyonların gerçekleştiğini göstermektedir [22-24].





Şekil 7. a) TiB_2 'ce zengin ve b) fakir bölgelere ait SEM görüntüsü

Şekil 8'de TiB_2 'ce zengin bölgenin %10 HCl çözeltisi ile 30 sn. dağlaması sonrasında alınan bir SEM görüntüsü verilmiştir. Dağlama sonrasında matris alaşımı olan alüminyumun tamamı HCl çözeltisi tarafından çözülmüş olduğu ve TiB_2 partiküllerinin ise çözünmediği ve hatta dejenerasyona uğramadığı görülmektedir. Partiküllerin şeklinin yuvarlak olmayıp pul şeklinde olduğu dikkati çekmektedir. Ayrıca partiküllerin genişlikleri ve kalınlıkları birbirinden farklı olup genişlik ve kalınlık arasında yaklaşık 3 katlık bir farkın söz konusu olduğu görülmektedir.



Şekil 8. TiB_2 'ce zengin bölgenin %10 HCl çözeltisi ile derin dağlama sonrasında alınan SEM görüntüsü

Tablo 2. Üretilen kompozitlerin dış, orta ve iç bölgelerine ait yoğunluk, takviye oranı ve sertlik değerleri

Bölgeler	Yoğunluk	Takviye oranı	Sertlik
	g/cm^3	Ağ. %	HB
Dış Bölge	3,07	19,00	62,4
Orta Bölge	2,98	12,00	51,3
İç Bölge	2,70	0,00	34,0

Tablo 2'de üretilen kompozitlerin dış, orta ve iç bölgelerine ait yoğunluk, takviye oranı ve sertlik değerleri verilmiştir. Üretilen kompozitlerin yoğunluklarının iç bölgelerden dış bölgelere doğru arttığı Şekil 3'de görülmektedir. Dış bölgelerde $3,07 g/cm^3$ olan yoğunluk değerleri, orta bölgede $2,98 g/cm^3$ 'e

ve iç bölgede ise 2,70 g/cm³'e düşmüştür. Tabloda yoğunluk değerlerinin artmasına bağlı olarak kompozitlerin takviye oranlarının arttığı görülmektedir. En yüksek takviye oranı ağırlıkça dış bölgelerde % 19 iken en düşük takviye oranı iç bölgede yaklaşık sıfır olarak ölçülmüştür. Karşılımlar kuralına göre matris içeride artan yüksek yoğunluklu takviye oranına bağlı olarak kompozitlerin yoğunluğunun arttığı rapor edilmektedir [25]. Yoğunluk değerlerindeki bu artışın muhtemel nedeni olarak alüminyuma göre yoğunluğu daha yüksek olan TiB₂ partiküllerinden kaynaklanmıştır.

Tabloda ayrıca kompozitlerin sertlik değerlerinin iç bölgelerden dış bölgelere doğru arttığı görülmektedir. En yüksek sertlik değeri %19 TiB₂ partikülleri ile güçlendirilmiş bölgelerde yaklaşık 62,40 HB olarak ölçülmüş, onu %12 TiB₂ ile güçlendirilmiş bölgelerde 51,3 HB olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise TiB₂ partiküllerinin içermeyen iç bölgelerde 34,00 HB olarak ölçülmüştür. Bu sertlik artışının muhtemel nedeni alüminyum matris içerisine ilave edilen TiB₂ partiküllerinin dislokasyon yoğunluğunu artırarak sertlik değerini artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [26]. Sonuçlar alüminyum matrise % 19 TiB₂ ilavesi ile %83 oranında, % 12 TiB₂ ilavesi ile de %50 oranında sertlik artış sağladığını göstermektedir. Buna benzer şekilde Kumar ve ark [27], yaptıkları çalışmada Al-7Si matris içinde %5 ve %10 oranında TiB₂ partiküllerinin ilavesi ile sırası ile %49 ve %108'lik sertlik artışı sağladıkları rapor etmişlerdir. Kumar ve ark. [28] başka bir çalışmalarında AA7075 alüminyum alaşımı sertlik değerini %5 TiB₂ ilavesi ile 55Hv'de 74 Hv'ye çıkardıklarını rapor etmişlerdir.

IV. GENEL SONUÇLAR

Fonksiyonel derecelendirilmiş TiB₂ takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin deneysel araştırılmasına yönelik olarak yapılan bu çalışmada araştırma sonuçları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

- 1- Sonuçlar yapılan çalışmada in-situ tekniği TiB₂ partiküllerinin başarılı bir şekilde matris içerisinde kendiliğinin sentezlene bildiğini göstermiştir. Sentezlenen TiB₂ partiküllerinin boyutunun 1 mikronun altında ve pul şeklinde olduğu tespit edilmiştir.
- 2- Üretilen Kompozitlerin TiB₂'ce zengin ve fakir iki bölgeye sahip oldukları tespit edilmiştir. TiB₂'ce zengin bölgelerde takviye oranı dış bölgelerde %19, orta bölgelerde %12 civarında olduğu görülmüştür. TiB₂'ce fakir bölgelerde ise TiB₂ partiküllerinin ise yok denecek kadar az olduğu tespit edilmiştir.
- 3- Kompozitlerin yoğunluklarının ve sertliklerinin kompozitin iç bölgelerinden dış bölgelerine doğru arttığı tespit edilmiştir. Yaklaşık 34 HB olan saf alüminyumun sertlik değerinin % 19 TiB₂ ilavesi 62,4 HB'ye ve %12 TiB₂ ilavesi ile de 51,3 HB'ye yükseldiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma TÜBİTAK 1919B011702249 numaralı 2209 – A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] D. B. Miracle, "Metal Matrix Composites – From Science to Technological Significance," *Composites Sci. and Tec.*, vol. 65, pp. 2526–2540, 2005.
- [2] M. Rosso, "Ceramic and Metal Matrix Composites: Routes and Properties," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 175, no. 1–3, pp. 364–375, 2006.
- [3] F. Aydın ve M. A. Erden, "Fe Matrisli Kompozitlerin Oda ve Yüksek Sıcaklıklardaki

- Elektrokimyasal Korozyon Davranışının İncelenmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 8, ss. 418–427, 2020.
- [4] S. C. Tjong ve Z. Y. Ma, “Microstructural and Mechanical Characteristics of In-Situ Metal Matrix Composites,” *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 29, no. 3, pp. 49–113, 2000.
- [5] M. Naebe ve K. Shirvanimoghaddam, “Functionally Graded Materials: A Review of Fabrication and Properties,” *Appl. Mater. Today*, vol. 5, pp. 223–245, 2016.
- [6] R. Singh, V. Bhavar, P. Kattire, S. Thakare, S. Patil, ve R. K. P. Singh, “A Review on Functionally Gradient Materials (FGMs) and Their Applications,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 229, no. 1, pp. 0–9, 2017.
- [7] T. P. D. Rajan ve B. C. Pai, “Processing of Functionally Graded Aluminium Matrix Composites by Centrifugal Casting Technique,” *Mater. Sci. Forum*, vol. 690, pp. 157–161, 2011.
- [8] Y. Watanabe, Q. Zhou, H. Sato, T. Fujii ve T. Inamura, “Microstructures of Al-Al₃Ti Functionally Graded Materials Fabricated by Centrifugal Solid-Particle Method and Centrifugal In-Situ method,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 56, no. 1, pp. 0–11, 2017.
- [9] L. Bin Niu, J. M. Zhang ve X. L. Yang, “In-situ Synthesis of Al₃Ti Particles Reinforced Al-Based Composite Coating,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 22, no. 6, pp. 1387–1392, 2012.
- [10] Ö. Savaş ve M. S. Başer, “Investigation of Abrasive Wear Behaviour of Functional Grade Al₃Ti Reinforced Aluminium Matrix Composites by Taguchi Approach” *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 2, 2019.
- [11] X. Wang, R. Brydson, A. Jha ve J. Ellis, “Microstructural Analysis of Al Alloys Dispersed with TiB₂ Particulate For MMC Applications,” *J. Microsc.*, vol. 196, no. 2, pp. 137–145, 1999.
- [12] N. Engin ve Z. Erman, “Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları ve Optimizasyon Algoritmalarının Optimizasyonu,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 4, ss. 293–304, 2016.
- [13] L. Lu, M. O. Lai ve F. L. Chen, “Al-4 wt% Cu Composite Reinforced with In-situ TiB₂ Particles,” *Acta Mater.*, vol. 45, no. 10, pp. 4297–4309, 1997.
- [14] S. Suresh ve N. S. V. Moorthi, “Aluminium-Titanium Diboride (Al-TiB₂) Metal Matrix Composites: Challenges and Opportunities,” *Procedia Eng.*, vol. 38, pp. 89–97, 2012.
- [15] K. L. Tee, L. Lu ve M. O. Lai, “In situ Stir Cast Al-TiB₂ Composite: Processing and Mechanical Properties,” *Mater. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 201–206, 2010.
- [16] Ö. Savaş ve Ö. Demirok, “Fonksiyonel Derecelendirilmiş TiB₂/Al Kompozitlerin Abrasif Aşınma Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma,” *Eur. J. Sci. Technol.*, s. 17, ss. 972–981, 2019.
- [17] S. Kumar, V. Subramaniya Sarma ve B. S. Murty, “Functionally Graded Al Alloy Matrix In-Situ Composites,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 41, no. 1, pp. 242–254, 2010.
- [18] M. F. Forster, R. W. Hamilton, R. J. Dashwood ve P. D. Lee, “Centrifugal Casting of Aluminium Containing In-Situ Formed TiB₂,” *Mater. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 9, pp. 1215–1219, 2003.
- [19] İ. Arslan, E. Gavgalı ve M. Çolak, “Kum Kalıba Dökülen Farklı Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Al₅Ti₁B ve Al₁₀Sr İlavasının Mikroyapı Özelliklere Etkisinin İncelenmesi,” *Acad. Platf. J. Eng. Sci.*, c. 7, s. 2, ss. 237–244, 2019.
- [20] M. Çolak ve R. Kayıkcı, “Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme,” *SAÜ Fen Bilim. Enstitüsü Derg. Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, c. 13, s. 1, ss. 11–17, 2009.
- [21] J. Hashim, L. Looney ve M. S. J. Hashmi, “Particle Distribution in Cast Metal Matrix Composites - Part I,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 123, no. 2, pp. 251–257, 2002.

- [22] C. S. Ramesh, S. Pramod ve R. Keshavamurthy, "A study on Microstructure and Mechanical Properties of Al 6061-TiB₂ In-situ Composites," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 528, no. 12, pp. 4125–4132, 2011.
- [23] S. Lakshmi, L. Lu ve M. Gupta, "In-situ Preparation of TiB₂ Reinforced Al Based Composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 73, no. 1–3, pp. 160–166, 1998.
- [24] M. Emamy, M. Mahta ve J. Rasizadeh, "Formation of TiB₂ Particles During Dissolution of TiAl₃ in Al-TiB₂ Metal Matrix Composite using an In-Situ Technique," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 66, no. 7–8, pp. 1063–1066, 2006.
- [25] S. J. Zhu ve T. Iizuka, "Fabrication and Mechanical Behavior of Al Matrix Composites Reinforced with Porous Ceramic of In-Situ Grown Whisker Framework," vol. 354, pp. 306–314, 2003.
- [26] S. Chatterjee, A. Ghosh ve A. Basu Mallick, "Understanding the Evolution of Microstructural Features in the In-Situ Intermetallic Phase Reinforced Al/Al₃Ti Nanocomposite," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 3, pp. 10118–10130, 2018.
- [27] S. Kumar, M. Chakraborty, V. Subramanya Sarma ve B. S. Murty, "Tensile and Wear Behaviour of In-Situ Al-7Si/TiB₂ Particulate Composites," *Wear*, vol. 265, no. 1–2, pp. 134–142, 2008.
- [28] V. K. V. Meti, S. Shirur, J. Nampoothiri, K. R. Ravi, ve I. G. Siddhalingeswar, "Synthesis, Characterization and Mechanical Properties of AA7075 Based MMCs Reinforced with TiB₂ Particles Processed Through Ultrasound Assisted In-Situ Casting Technique," *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 71, no. 4, pp. 841–848, 2018.