

Fonksiyonel Derecelendirilmiş Fleyk- Al_3Ti /Al Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması

*Ömer SAVAŞ¹ , Muhammed Soner BAŞER² 

*¹ Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

² Ambarlı Liman Başkanlığı, İstanbul, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 23.11.2019, Kabul / Accepted: 16.12.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

Anahtar Kelimeler

Metal Matris Kompozit,
 Al_3Ti ,
Alüminyum

Öz: Yapılan bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş fleyk- Al_3Ti takviyeli kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Ticari Al-Ti master alaşımları kullanılarak Fleyk Al_3Ti yapıları in-situ tekniği ile sıvı alüminyum içerisinde kendiliğinden oluşturulmuştur. Kompozitlerin fonksiyonel olarak derecelendirilmesi ve nihai şekillerin verilmesi için savurma döküm tekniğinden faydalanılmıştır. Sonuçlar üretilen kompozitlerin Al_3Ti partikülleri ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş iki farklı bölgeye sahip olduğu göstermiştir. Güçlendirilmiş bölgelerde takviye oranı yaklaşık ağırlıkça %19 iken, güçlenilmemiş bölgelerde neredeyse sıfır olduğu tespit edilmiştir. Matris içerisine ilave edilen Al_3Ti fazı ile kompozitlerin sertlik değerlerinde önemli bir artış gözlemlenmiştir.

Fabrication and Properties of functionally Rated Flake- Al_3Ti /Al Composites

Keywords

Metal Matrix Composites,
 Al_3Ti ,
Aluminum

Abstract: In this study, it was aimed to investigate the production and properties of functionally graded flake- Al_3Ti reinforced composites. Using commercial Al-Ti master alloys, flake- Al_3Ti structures were spontaneously formed in liquid aluminum by in-situ technique. Centrifugal casting technique was used for functional grading of composites and final shapes. The results showed that the composites produced had two different regions, which were the reinforced with Al_3Ti -particles and not-reinforced. While the reinforcement ratio in Al_3Ti -reinforced regions was about 19% by weight, it was found to be almost zero in the non-reinforced regions. A significant increase in the hardness values of the composites was observed with adding Al_3Ti phase into matrix.

1. Giriş

Kompozit malzemeler matriks ve takviye olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Kompozit malzemeler her iki bileşeninde üstün özelliklerini üzerlerinde taşırlar [1]. Kompozitler matris bileşenine göre üç kategoride sınıflandırılmaktadır: Polimer, Metal ve Seramik matriks kompozitler şeklinde.

Takviye malzemesine göre sınıflandırıldığında ise: fiber takviyeli kompozitler, partikül takviyeli ve yapısal kompozitler şeklinde isimlendirilmektedir [2-5]. Bununla birlikte kompozit ifade edilirken hem matris hem takviye içeriği ile sınıflandırma yapılabilmektedir. Örneğin: Al matrisi Al_3Ti Takviyeli Kompozitler (Al_3Ti/Al) gibi.

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM) seramik ve metal karışımından veya farklı metallerin karışımından elde edilen yeni nesil kompozitlerdir. FDM'lerin, kompozisyon ve yapısının dereceli (fonksiyonel) şekilde değişim gösterir ve buna bağlı olarak özelliklerin belirli bir yönde farklılık gösterir [6-8]. FDM'ler mikroskobik olarak heterojendirler ve malzemenin mekanik ve diğer özellikleri yüzeyden yüzeye sürekli olarak değişmektedir. FDM'ler, son 20 yıl boyunca, havacılık, makine, elektronik, optik, kimyasal, biyomedikal, nükleer ve inşaat endüstrilerinde başlıca uygulama malzemesi olmuşlardır. Örnek

verilecek olursa: Motorlarda sıcak bölgelerde çalışan malzemeler için soğutma gereksinimini azaltmak için, dizel motorlarda ısı kaybını engellemek için ısı bariyeri olarak, savunma sanayiinde zırh, insansız hava aracı ve nükleer kıyafetler gibi endüstrinin birçok farklı alanlarında kullanılmaktadır [9,10].

Yapılan çalışmalar savurma döküm yöntemi fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlerin üretiminde etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir [6,11].

Önceki çalışmalar Al₃Ti partiküllerinin yoğunluklarının düşük olması (3,4 g/cm³) ve oda sıcaklığında elastik modülünün yükselmesi nedeniyle alüminyum matrisli kompozitlerinin üretiminde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir [12,13]. Yapılan literatür çalışmalarında Al₃Ti takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin 1000 °C'nin altında sıvı alüminyuma doğrudan Ti, TiO₂ partikülleri, K₂TiF₆ tuzlarının ilavesiyle veya ticari Al-Ti mastır alaşımlarının kullanılarak üretilebildiği görülmektedir. [14–16].

Wang [17] ve arkadaşları 950 °C ve 1050 °C'de 30 dakika ve 3 saat K₂TiF₆ tuzlarının ilavesi ile Al₃Ti takviyeli alüminyum matrisli kompozitler ürettiklerini rapor etmişlerdir. Çalışmada Al₃Ti partiküllerinin boyutlarının ve morfolojisinin sıcaklık ve bekleme süresi ile değiştiğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, Al₃Ti partiküllerinin boyutlarının sıcaklık ve bekleme süresinin artması ile arttığı belirtilmiştir.

Chen Tijun ve diğ. [15], in-situ Al₃Ti AMK'lerin üretimi ve aşınma davranışları üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, üretilen kompozitlerin sertlik ve aşınma direncinin Al₃Ti partiküllerinin oranının artması ile arttığını belirtmişlerdir.

Shimaa El-Hadad [18,19] ve arkadaşları, alüminyum matrisli in-situ Al₃Ti partikül takviyeli kompozitlerinin savurma döküm yöntemi ile üretimini ikiye kategoriye ayırmışlardır. Bu sınıflandırma savurma işleminin alaşımın liküdüs sıcaklığının altında ya da üstünden yapılmasına göredir. Alaşımın elementinin liküdüs sıcaklığının altında yapılan üretimde, Al₃Ti partikülleri sıvı alüminyum içerisinde oluşturulduktan sonra savurma işlemi yapılmaktadır. Alaşımın liküdüs sıcaklığının üstünde yapılan üretim yönteminde ise, Al₃Ti partikülleri savurma kuvveti altında alüminyum ve titanyumun ekzotermik reaksiyona girmesi sonucunda kendiliğinden oluşmaktadır.

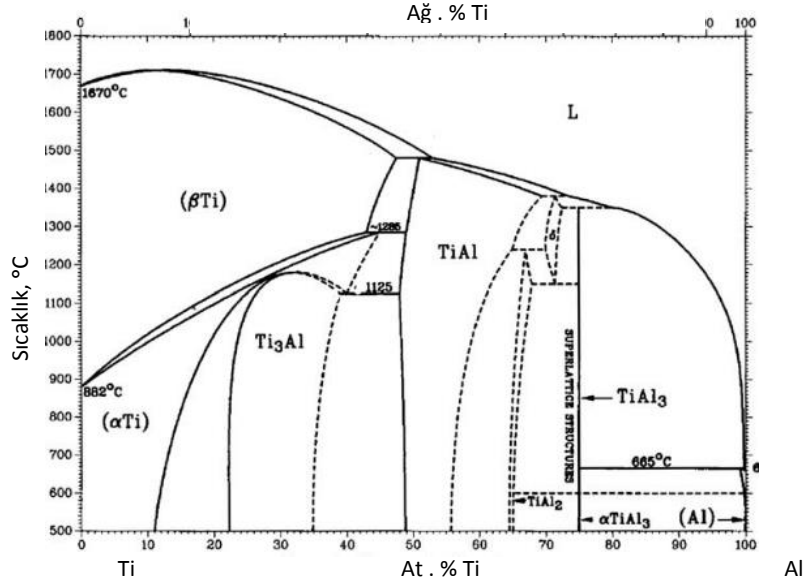
Yoshimi Watanabe [9] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 1000 ve 1200 °C'de Al-5Ti alımını ergittikleri çözeltileri 300 G ve 600 G savurma kuvveti altında katılaştırarak FGM'leri üretmişlerdir. 1000 °C'de 300 G savurma üretilen kompozitler, Al₃Ti partiküllerin, yaklaşık 20 µm'e kalınlıkta fleyk şeklinde olduğu ve savurma yönünde yönlendiği rapor edilmiştir. Buna karşın, 1200 °C'de 300 G savurma kuvveti altında üretilen kompozitlerde Al₃Ti partikülleri 100 µm'nin altında ince fleyk şeklinde olduğu ve rastgele bir dağılım sergilediği belirtilmiştir. Savurma kuvvetinin 600 G'ye yükseltildiğinde rastgele dağılım sergileyen Al₃Ti fleykleri savurma yönünde yönlendiği görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada savurma döküm tekniği ile Al₃Ti takviyeli kompozit üretimiyle ilgili çok az çalışma yapıldığı görülmektedir[9][18][19]. Bu nedenle bu çalışmada Al₃Ti partiküllerinin in-situ tekniği ile oluşturulması ve savurma döküm tekniği kullanılarak fonksiyonel kompozit malzemelerin üretilmesi ve özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kompozitlerin üretimi

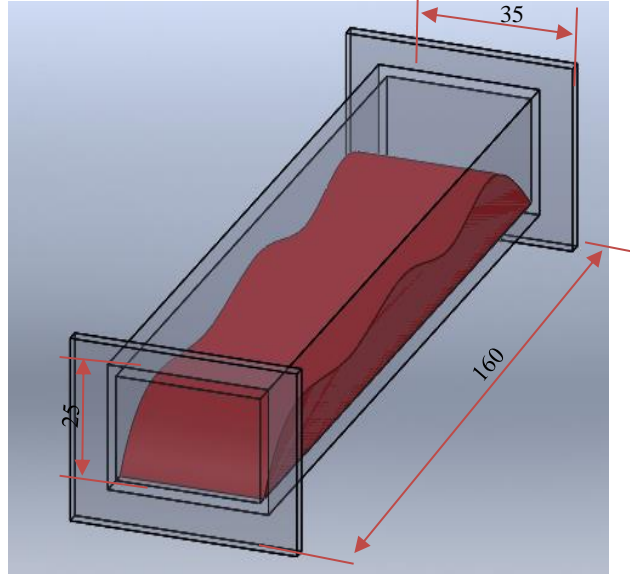
Yapılan önceki çalışmalarda yüksek sıcaklıkta hazırlanmış Al-Ti çözeltilerinin soğuma şartlarına bağlı olarak Al₃Ti yapılarının morfolojisinin değiştiği rapor edilmiştir. Al-Ti çözeltilerinin katılma sırasında soğuma hızının artması Al₃Ti yapılarının (110) yönünde büyümesine olanak sağlayarak yüksek aspekt oranlı (boy/kalınlık oranı) olmasına neden olmaktadır.



Şekil 1. Ti-Al faz diyagramı[20]

Ticari master alaşımları düşük sıcaklıklarda üretildiği için Al₃Ti yapıları küresel formda olmaktadır. Şekil 1'de verilen Al-Ti faz diyagramına göre oda sıcaklığında Al-Ti alaşımı içerisindeki titanyumun neredeyse tamamı Al₃Ti bileşiği şeklinde bulunmaktadır. Al₃Ti yapılarının fleyk şeklinde sentezlenmesi için Al₃Ti bileşiklerinin sıvı alüminyum tarafından yüksek sıcaklıkta çözülmesi ve çözeltinin hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada fleyk Al₃Ti yapılarının oluşturulmasında ticari Al-10%Ti master alaşımı seçilmiştir. Şekil 1'de görülen Ti-Al faz diyagramına göre alüminyum 1200 °C'de ancak %3 oranında titanyum çözebilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada alaşım hazırlanırken 1200 °C'de ergitilmiş olan 175 gr ET1AL8E alaşımı içerisine alaşım elementi olarak 75 gr Al-10Ti alaşımı ilave edilmiştir (toplamda 250 gr). Ergitme işleminde elektrik direnç ergitme fırınında çelik pota içerisinde yapılmıştır. Al₃Ti bileşiklerinin olması için çözelti bu sıcaklık pota ile birlikte savurma döküm mekanizmasına konulmuş ve sıcaklık 900 °C'ye geldiğinde havada katılaşmaya kadar 1200 rpm dönme hızında savrulmuştur. Al₃Ti yapılarının fleyk formunda oluşması için hızlı soğumayı sağlamak için 1 mm kalınlığa sahip çelik pota kullanılmıştır. Potanın ergimiş alüminyum ile reaksiyona girmesini engellenmek için potanın iç yüzeyleri ısı iletkenliği daha yüksek olan bor nitrür boya ile kaplanmıştır. Ergitme işleminde kullanılan çelik potanın temsili görüntüsü Şekil 2'de görülmektedir. Kalıp ebatları 25 x 35 x 160 mm'dir. Ergitme işlemlerinde maksimum 1200 °C ergime sıcaklığına sahip MAGMA THERM marka ısıl işlem fırını kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, Al₃Ti/Al FDK'ler ilave olarak Al₃Ti/Al-Cu FDK'lerin de üretimi amacıyla, üretim sırasında 1200 °C'de hazırlanan Al-Ti çözeltisi içerisine %99,99 safiyete sahip bakır çubuk ilave ederek %5 oranında bakırla alaşımlanmıştır.



Şekil 2. Savurma döküm işleminde kullanılan çelik pota temsili görüntüsü

2.2. Kompozitlerin karakterizasyon

Optik analizler için üretilen kompozitler üzerinden alınan numuneler sırası ile 180, 320, 800, 1200 ve 1500 gritlik SiC zımparalaminin işleminin ardından 0,2 µm'lık elmas pasta süspansiyonu ile 20 dakika parlatılmıştır. Mikro yapısal analiz ve % takviye oranlarını belirlemek için Clemex Vision görüntü analiz sistemi ile donatılmış bir Olympus optik mikroskop kullanılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) ile kompozitlerin incelenmesi amacıyla aynı bölgelerden birbirine eş değer birer numuneler daha alınmıştır. Oluşan bileşiklerin belirlenmesi amacıyla ve detaylı incelenmesi için X-Ray Difraktometre (XRD, D8 ADVANCE Da Vinci) cihazı için de her iki kompozitten numuneler hazırlanmış ve analiz edilmiştir.

Üretilen kompozitlerin yoğunluklarının ölçümünde Arşimet yöntemi kullanılmıştır. Yoğunluk testleri için kesilen numunelerin her tarafı 1200 gritlik zımpara ile zımparalanmıştır. Test numunelerin kuru ve yaş ağırlıkları ölçülmüş ve Denklem 1'de verilen formül yardımı ile yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.

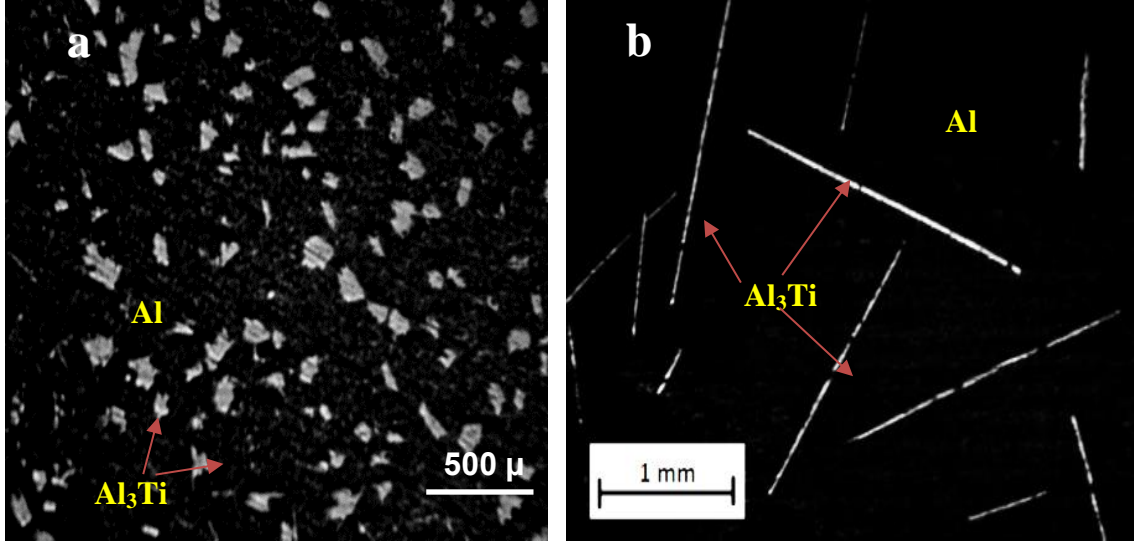
$$d(\text{numune}) = \frac{m(\text{kuru})}{m(\text{kuru}) - m(\text{yaş})} \times d(\text{su}) \quad (1)$$

Bu denklemde d; yoğunluk, g/cm³, mKuru; Kuru Ağırlık, mYaş; Yaş Ağırlık

Sertlik ölçümlerinde Brinell sertlik testi kullanılmıştır. Testler 62.5 kN'lık bir kuvvet ile 2.5 mm çaplı bir uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin sertlik değerleri, en dıştan içe doğru 2 mm aralıklarla ölçülmüştür. Testler en az üç kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

3. Bulgular

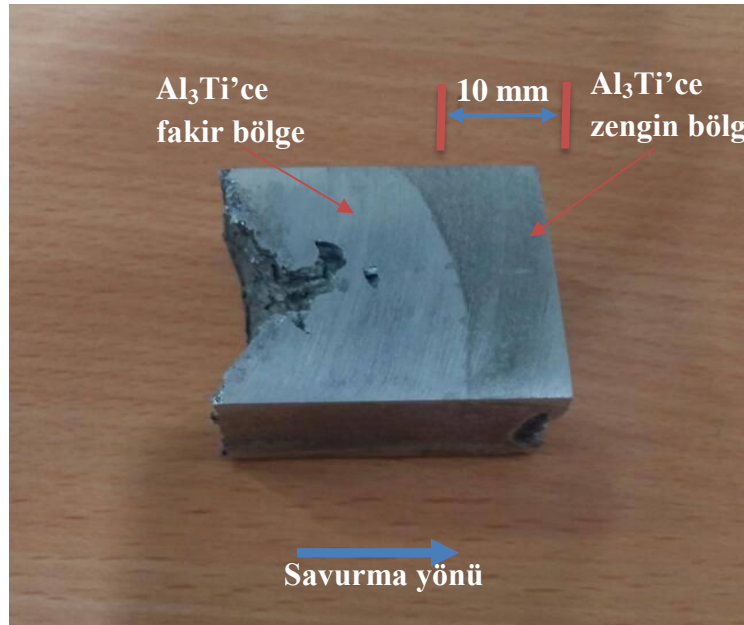
Şekil 3a-3b'de ergitme işlemine alınmadan ve 1200 °C ergitilerek havada soğutulan Al-Ti alaşımının mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. (a) Al-Ti alaşımlarının ısıtılma alınmadan önce, (b) 1200°C derecedeki Al-Ti çözeltisinin havada soğutulması sonucu Al₃Ti partiküllerinin görünümü

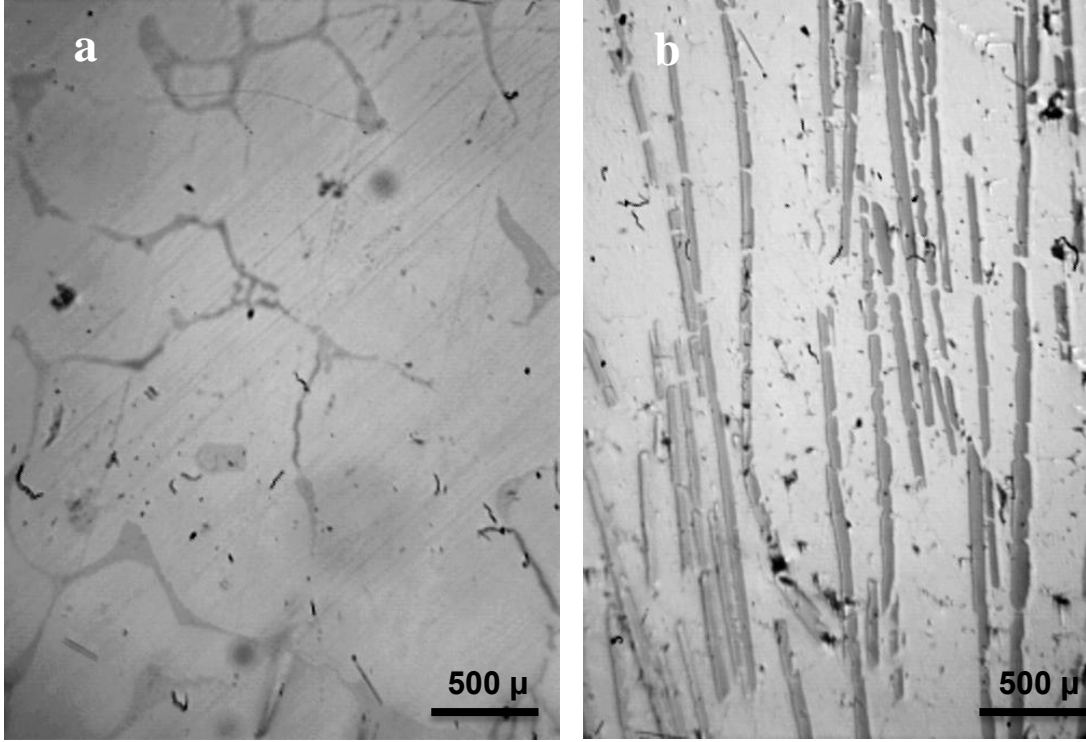
Al-Ti master alaşımlarının ergitme öncesindeki mikro yapı görüntüsü Şekil 3(a)'da verilmiştir. Şekilde ergitme işlemi öncesinden Al₃Ti alaşımlarının ortalama 50 μm çapında ve eş eksenli olduğu görülmektedir. Şekil 3(b)'de ise Al-Ti alaşımlarının ergitilip havada soğutulduktan sonra Al₃Ti partiküllerinin yaklaşık 1500 μm uzunluğunda ve 30 μm kalınlığında çubuk formuna dönüştüğü görülmektedir.

Şekil 4'de 900 °C'de "Al₃Ti_(k) + Al_(s)" eriyiğinin savurma kuvveti altında katılaştırılarak üretilen fonksiyonel derecelendirilmiş kompozite ait makro yapı görüntüsü verilmiştir. Görüntüde, siyah ve beyaz renkte iki bölgenin mevcut olduğu ve siyah renkli bölgenin 10 mm civarında olduğu görülmektedir. Savurma kuvvetinin etkisi ile yoğunluğu sıvı alüminyuma (2,41 gr/cm³) göre daha yüksek olan Al₃Ti (3,41 gr/cm³) partikülleri kompozitin dış bölgelerine doğru sürüklenmesi beklendiği için siyah renkteki bölgeler Al₃Ti'ce zengin, beyaz renkli bölgeler Al₃Ti'ce fakir bölgeler olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 4. Savurma işlemi sonrasında üretilen Al₃Ti takviyeli Al matris kompozite ait makro yapı görüntüsü

Şekil 5(a)'da üretilen kompozitin Al₃Ti'ce fakir bölgelerden ve Şekil 5(b) Al₃Ti'ce zengin bölgelerden alınan mikro yapı görüntüsü verilmiştir.

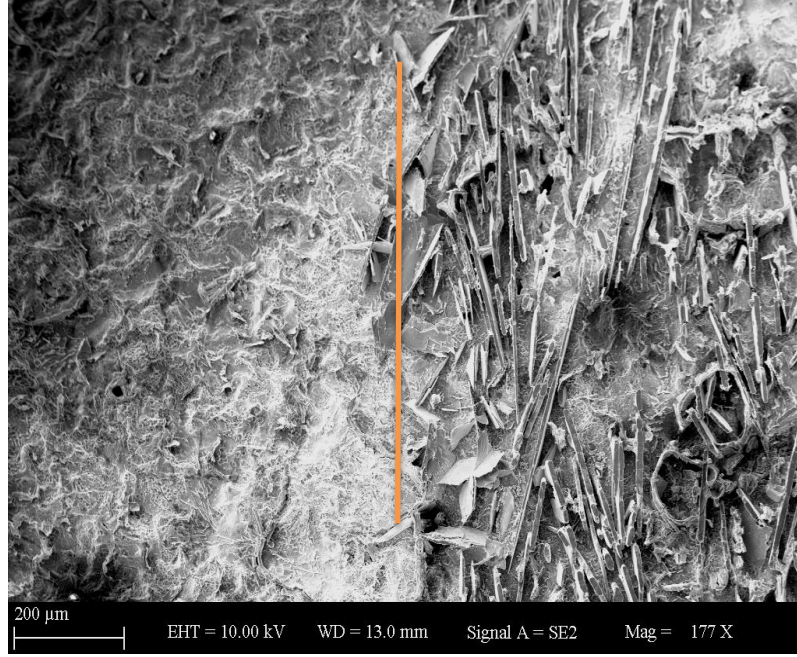


Şekil 5. (a) Üretilen kompozitin Al_3Ti 'ce fakir bölgesinden ve **(b)** Al_3Ti 'ze zengin bölgesinden alınan mikro yapı görüntüsü

Şekil 5(b)'de üretilen kompozitin Al_3Ti 'ce zengin bölgelerinde ince çubuk şeklinde Al_3Ti yapılarının bulunduğu görülmektedir. Şekilde ayrıca Al_3Ti yapılarının yaklaşık 1500 μm uzunluğunda olduğu ve savurma yönünde istiflendiği dikkati çekmektedir. Buna karşın Şekil 5(a)'da kompozitlerin Al_3Ti 'ce fakir bölgelerinde Al_3Ti yapılarının hiç yer almadığı görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda zengin bölgede takviye oranında önemli bir değişim olmadığı ve her yerde aynı oranda olduğu tespit edilmiştir.

Tijun Chen [21] ve arkadaşları ve Yoshimi Watanabe [9,22] ve arkadaşları çalışmasında savurma döküm yöntemi ile Al_3Ti partikül takviyeli FGM üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitler üzerinde yaptıkları analizlerde kompozitin dış bölgelerinden iç bölgelerine doğru Al_3Ti partiküllerin konsantrasyon ve boyut gradyanlarının azaldığını rapor etmişlerdir. Bu sonuca benzer şekilde bu çalışmada fakir bölgelere yaklaştıkça Al_3Ti partikül konsantrasyonunun önemsiz derecede azaldığı ve fakir bölge de ise partiküllerin tamamen yok olduğu görülmüştür.

Şekil 6' de %10 HCl çözeltisi ile 30 saniye derin dağlanması sonrasında Al_3Ti 'ce zengin ve fakir ara bölgeye ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Güçlendirilmiş bölgelerde partiküllerin çubuk şeklinde olmayıp fleyk şeklinde olduğu görülmektedir. Al_3Ti 'ce fakir bölgede mikro yapı görüntülerine benzer şekilde Al_3Ti takviye fazının yer almadığı görülmektedir. Bunun yanında %10 HCl çözeltisi içerisinde Al matris kolaylıkla çözünüş olduğu, Al_3Ti fleyklerinin ise hiç çözmediği görülmektedir. Şekil 6'da zengin ve fakir bölgeler arasında keskin bir geçiş bölgesinin olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni artan takviye oranı ile sıvı alüminyumun vizkozitesi artmış ve belirli bir değere ulaştıktan sonra uygulanan savurma kuvvetinin bu vizkoziteyi aşmadığından kaynaklandığı varsayılmaktadır.



Şekil 6. Al_3Ti 'ce zengin ve fakir bölgeye ait mikro yapı görüntüsü

Tijun Chen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada soğuma şekillerinin partikül boyutlarını etkilediğini rapor etmişlerdir [21]. Buna benzer şekilde yapılan bu çalışmada, mikro yapı ve SEM incelemelerinde Al-Ti mastır alaşımında 50μ boyutunda küresel olan Al_3Ti partikülleri, $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de çözeltiye alınıp havada soğutulmaya bırakılması sonucunda Al_3Ti fazının fleyk formunda kalmasına sebep olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Deneysel çalışma sonrasında ölçülen Al_3Ti / Al-Cu ve Al_3Ti / Al kompozitlerinin özellikleri

	Al_3Ti / Al-Cu Kompozit		Al_3Ti / Al Kompozit	
	Al_3Ti -zengin bölge	Al_3Ti -fakir bölge	Al_3Ti -zengin bölge	Al_3Ti -zayıf bölge
Sertlik, HB	115.3	70.3	45	29
Hacimsel Takviye oranı, %	16.25	0,00	15.90	0,00
Ağırlıkça Takviye oranı, %	18.97	0,00	19.12	0,00
Yoğunluk, gr/cm^3	2.93	2.82	2.85	2.72

Tablo 2'de üretilen kompozitlere ait zengin ve fakir bölgelerden alınan % takviye oranları, yoğunlukları ve ölçülen sertlik değerleri verilmiştir. Tabloda kompozitin Al_3Ti 'ce fakir olan bölgelerinde takviye oranının yaklaşık ağırlıkça %19 oranında olduğu, fakir bölgelerde %0 olduğu dikkati çekmektedir. Bunun muhtemele nedeni, yoğunluğu sıvı alüminyuma göre daha yüksek olan Al_3Ti partiküllerinin tamamının savurma kuvveti yönünde sürüklenerek dökümün dış bölgelerinde birikmesinden kaynaklanmaktadır. Tabloda Al_3Ti 'ce zengin bölgelerin yoğunluğunun fakir bölgelere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Al_3Ti 'ce zengin bölgelerde yoğunluğun daha yüksek olmasının nedeni matris içerisindeki yoğunluğu daha yüksek olan %19 oranındaki Al_3Ti partikülleridir. Tabloda Al-Cu matris içerisine ağırlıkça %18,97 Al_3Ti partiküllerinin ilavesi yoğunluk değerinin $2,82 \text{ gr/cm}^3$ 'den $2,93 \text{ gr/cm}^3$ 'e yükselmiş olduğu görülmektedir. Buna karşın Saf Al içerisine ağırlıkça % 19,12 Al_3Ti takviyesinin ilavesi ile de yoğunluk değeri $2,72 \text{ g/cm}^3$ 'den 2.85 g/cm^3 'e kadar yükseldiği görülmektedir.

Al_3Ti 'ce zengin olan bölgelerin sertlik değerinin fakir bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni matris içerisindeki Al_3Ti partikülleridir. Subhranshu Chatterjee ve diğ. [23] yaptıkları çalışmalarında alüminyum matrise hacimce %3,3 Al_3Ti ilave edilmesi ile dislokasyon yoğunluğunun 5,1'den 94,2 ($10^{13}/m^2$) 'ye yükseldiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde, Al_3Ti ilavesi ile sertliğin artmasının nedeni, dislokasyon artışına neden olarak sertlik artışına neden olduğu düşünülmektedir [24][25]. Tabloda ayrıca sertlik değerlerinin Al matrisli kompozit için %19 Al_3Ti ilavesi

ile 29'dan 45 HB'ye yükselmiş olduğu görülmektedir. Al-Cu matris kompozit için ise bu değer 70,3'den 115,3 HB'ye yükselmiştir. Tabloda Al-Cu matrisli kompozitlerin sertlik değerinin saf alüminyum matrisli kompozitlere göre daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Bunun muhtemel nedeni matris içerişe ilave edilen %5 oranındaki bakırın matrisin disloasyon yoğunluğunu artırması ve bunun sonucu olarak matrisin sertliğini artırmasıdır. Bu çalışmaya benzer şekilde, Tijun ve arkadaşları [21] yaptıkları çalışmada alüminyum matris içerisine ilave edilen Al₃Ti partiküllerinin oranının artması ile arttığını rapor etmişlerdir. Çalışmada, sertlik değeri 28 HB olan saf alüminyum matrise %5,5 Al₃Ti ilavesi ile 35 HB'ye, %8,2 Al₃Ti ilavesi ile 45 HB'ye ve 9,7 Al₃Ti ilavesi ile %52 HB'ye yükseldiği görülmüştür. Saf alüminyum matrisli kompozitlerin sertlik değeri ortalama 48 HB, Al-Si matrisli kompozitlerin 62HB ve Al-Cu matrisli kompozitlerin 85 HB olduğu rapor etmişlerdir. .

Buna benzer şekilde Ömer savaşı[26] yapmış olduğu bir diğer çalışmada, savurma döküm yöntemi ile Al₃Ti/Al, Al₃Ti/Al-Cu ve Al₃Ti/Al-Cu fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemeleri savurma döküm yöntemi ile üretmiştir. Çalışmada artan takviye oranı ile kompozitin yoğunluk değerlerinin ve sertliklerinin arttığı ve alüminyum matrisli kompozitlere nazaran Al-Cu ve Al-Si matrisli kompozitlerin sertliğinin daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Çalışmada matris içerisine yaklaşık %40 oranında Al₃Ti ilavesi ile saf alüminyum matris kompozit için sertlik değerlerinin 27 HB'den 77 HB'ye, Al-Si matrisli kompozit için 83 HB'dan 130 HB'ye, Al-Cu matrisli kompozit için ise 90HB'den 156 HB'ye yükseldiği görülmüştür. Bununla birlikte Bu sonuçlar Watanabe ve ark.[22] [9] yaptıkları çalışmaları ile de paralellik göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Savurma döküm metodu ile Al ve Al-Cu matrisli In-Situ Al₃Ti takviyeli fonksiyonel derecelendirilmiş Kompozit malzemelerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılmış bu çalışmada alınan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- 1- Al-Ti mastır alaşımı Saf Al ve Al-Cu içinde 1200°C' de çözeltiye alınmış ve sonra soğuma sırasında çözelti içerisindeki alüminyum ve titanyumun ekzotermik reaksiyon girerek Al₃Ti yapıları matris içerinden kendiliğinden sentezlenmiştir. Oluşan Al₃Ti fazının fleyk şeklinde olduğu, uzunluklarının ortalama 1500 µm, kalınlıklarının ise ortalama 20 µ olduğu tespit edilmiştir.
- 2- 900 °C'de hazırlanan "Al_(s)+ Al₃Ti_(k)" eriyik 1200 d/d dönme hızında savrulularak hem alüminyum hemde Al-Cu matrisli fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemeler başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin takviye oranlarının iç bölgelerde %0, dış bölgelerinde yaklaşık %19 olduğu tespit edilmiştir.
- 3- Al matris kompozitinde % 19 Al₃Ti takviyesinin ilavesi kompozitin yoğunluğun 2,72 gr/cm³'den 2.85 gr/cm³'e kadar yükseldiği görülmüştür. Al-Cu matris kompozitinde % 19 Al₃Ti takviyesi ile yoğunluk değerinin 2.82 gr/cm³'den 2.93 gr/cm³'e yükseldiği.
- 4- Alüminyum matris içerisine ilave edilen % 19 Al₃Ti partiküllerin ve % 5 bakır ilavesinin kompozitlerinin sertliğini artırdığı tespit edilmiştir. Saf alüminyum içerisine %5 bakır eklenmesiyle sertlik değeri 29'dan 70,3 HB'ye yükselmiştir. Saf alüminyum, % 19 oranında Al₃Ti takviyesi ile de sertlik 45 HB'ye yükselmiştir olduğu rapor edilmiştir. % 5 cu ve %19 Al₃Ti ilavesi ile sertliğin 115,3 HB değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Kaynakça

- [1] Rosso, M. 2006. Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties. Journal of Materials Processing Technology, 175(1-3), 364-375.
- [2] Sharma, P., Khanduja, D., Sharma, S. 2014. Tribological and mechanical behavior of particulate aluminum matrix composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(23),2192-2202.
- [3] Prasad, S. V., Asthana, R., 2004. Aluminum metal-matrix composites for automotive applications: Tribological considerations. Tribology Letters, 17(3),445-453.
- [4] Kale, V. C. 2015. Aluminum Based Metal Matrix Composites for Aerospace Application: A Literature Review. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 12(6), 2278-1684.

- [5] Toozandehjani, M. 2019. Conventional and Advanced Composites in Aerospace Industry: Technologies Revisited. *American Journal of Aerospace Engineering*, 5(1), 9.
- [6] Naebe, M., Shirvanimoghaddam, K. 2015. Functionally graded materials: A review of fabrication and properties. *Applied Materials Today*, 5, 223-245.
- [7] Singh, R., Bhavar, V., Kattire, P., Thakare, S., Patil, S., Singh, R. K. P. 2017. A Review on Functionally Graded Materials (FGMs) and Their Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 229(1), 0-9.
- [8] Rajan, T. P. D., Pai, B. C. 2011. Processing of Functionally Graded Aluminum Matrix Composites by Centrifugal Casting Technique. *Materials Science Forum*, 690, 157-161.
- [9] Watanabe, Y., Zhou, Q., Sato, H., Fujii, T., Inamura, T. 2017. Microstructures of Al-Al₃Ti functionally graded materials fabricated by centrifugal solid-particle method and centrifugal in situ method. *Japanese Journal of Applied Physics*, 56(1), 0-11.
- [10] Niu, L. B., Zhang, J. M., Yang, X. L. 2012. In-situ synthesis of Al₃Ti particles reinforced Al-based composite coating. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22(6), 1387-1392.
- [11] Radhika, N., Raghu, R. 2018. Effect of Centrifugal Speed in Abrasive Wear Behavior of Al-Si₅Cu₃/SiC Functionally Graded Composite Fabricated by Centrifugal Casting. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71(3), 715-726.
- [12] Wei, N., Han, X., Zhang, X., et al. 2016. Characterization and properties of intermetallic Al₃Ti alloy synthesized by reactive foil sintering in vacuum. *Journal of Materials Research*. 31(17), 2706-2713.
- [13] Lu, Z., Wei, N., Li, P., Guo, C., Jiang, F. 2016. Microstructure and mechanical properties of intermetallic Al₃Ti alloy with residual aluminum. *Materials and Design*, 110, 466-474.
- [14] Auradi, V., Kori, S. A. 2008. Influence of reaction temperature for the manufacturing of Al-3Ti and Al-3B master alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 453(1-2), 147-156.
- [15] Yamauchi, K., Kunimine, T., Sato, H., Watanabe, Y. 2014. Grain Refinement of Al₃Ti Dispersed Aluminum Matrix Composites by Reaction Centrifugal Mixed-Powder Method. *Materials Transactions*, 56(1), 99-107.
- [16] Hosseinpouri, M., Mirmonsef, S.A., Soltanieh, M. 2014. Production of Al-Ti Master Alloy by Aluminothermic Reduction Technique. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 46(2), 139-143.
- [17] Wang, X., Jha, A., Brydson, R. 2004. In situ fabrication of Al₃Ti particle reinforced aluminium alloy metal-matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 364(1-2), 339-345.
- [18] Hisashi, S. E, Eri, S., Watanabe, M. Y. 2011. Fabrication of Al / Al₃Ti Functionally Graded Materials by Reaction Centrifugal Mixed-Powder Method, 0-7. doi:10.1143/JJAP.50.01A)02
- [19] El-Hadad, S., Sato, H., Miura-Fujiwara, E., Watanabe, Y. 2010. Fabrication of Al-Al₃Ti/Ti₃Al functionally graded materials under a centrifugal force. *Materials*. 3(9), 4639-4656.
- [20] Schuster, J. C., Palm, M. 2006. Reassessment of the Binary Aluminum-Titanium Phase Diagram, 27(3), 255-277.
- [21] Tijun, C., Jian, L., Yuan, H. 2009. Casting fabrication of in Al₃Ti-Al composites and Their wear behaviors. *China Foundry*. 6(4), 319-327.
- [22] Watanabe, Y., Yamanaka, N., Fukui, Y. 1999. Wear Behavior of Al-Al₃Ti Composite Manufactured by a Centrifugal Method. 30, 3253-3261.
- [23] Rzychoń, T., Dybowski, B. 2016. The Influence of Aluminum on the Microstructure and Hardness of Mg-5Si-7Sn Alloy. *Archives of Metallurgy and Materials*, 61(1), 425-432.
- [24] Richert, M. 2007. 2007. Aluminum alloy matrix - Al₃Ti particles reinforced composite extruded in semi-solid state, 7, 224-227.
- [25] Savaş, Ö. 2019. The Production And Properties of Al₃Ti Reinforced Functionally Graded Aluminum Matrix Composites Produced by The Centrifugal Casting Method. *Materials Research Express*, 6(12), 10-12.