



Alınış tarihi (Received): 16.10.2017
Kabul tarihi (Accepted): 26.12.2017

Baş editor/Editors-in-Chief: **Ebubekir ALTUNTAŞ**
Alan editörü/Area Editor: **Turgut ÖZSEVEN /**
Bülent TURAN

Grafen Takviyesi Miktarının Titanyum Matrisli Kompozitlerin Özelliklerine Etkisi

Tuğba MUTUK^{1*}, Mevlüt GÜRBÜZ²

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

* Sorumlu yazar, e-posta: tugba.isitan@omu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada titanyum matrisli grafen takviyeli kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. 5-8 nm çapında grafen nanotabakalar (GNT) ve titanyum (yaklaşık 45µm boyutunda) kompozit üretiminde kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda ısı işlem sıcaklığı 1000°C ve GNT katkı oranı % 0,0.15,0.30,0.45 ve 0.60 olarak belirlenmiştir. Kompozit numuneler üzerinde yapılan yoğunluk, sertlik ve mikroyapı analizleri sonuçlarına göre, en iyi yoğunluk değeri ağ. %0.15 grafen katkılı numunede (%91 yoğunluk) elde edilmiştir. Sertlik değerleri ise, saf titanyumun 304 HV iken ağ. %0.15 grafen katkılı kompozitte 410 HV değerine kadar ulaşmıştır. Mikroyapı analiz sonuçlarına göre, saf titanyum numunesinde gözenekler yer alırken, ağ. %0.15 grafen katkılı kompozitlerde daha iyi bağ oluşumu ve arayüz etkileşimleri nedeniyle yoğunluk artışı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Grafen, titanium, kompozit, sinterleme, mikroyapı, sertlik

The Effect of Graphene Reinforcement Content on the Properties of Titanium Matrix Composites

ABSTRACT: In this work, graphene reinforced composites with titanium matrix were produced via powder metallurgy. Graphene nanoplates which have 5-8 nm diameter and titanium (approximately size of 45 µm) were used in composite production. According to literature research, 1000°C thermal treatment temperature and % 0, 0.15, 0.30, 0.45 and 0.60 GNT additive rate has been identified. According to concentration, hardness and microstructure analysis which were done on composite samples, with 91 % density, the best concentration value was obtained from 0.15 % graphene added sample. For hardness values, pure titanium has 304 HV while 0.15 % graphene added composite reached 410 HV. Microstructure analysis shows that while pure titanium samples have pores, better bonding and concentration increasing due to interface interactions are observed at 0.15 % graphene added composites.

Keywords – Graphene, titanium, composite, sintering, microstructure, hardness

1. Giriş

21.yy'da metal malzemelerinin performansları gelişen teknolojinin ihtiyacına cevap verememeye başlamıştır. Bu durum daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretilme amacının temelini oluşturmaktadır ve günümüzde bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Kompozit malzemelerin geniş uygulama alanlarında kullanılabilmesi

nedeniyle özellikle son dönemlerde üretimi büyük önem kazanmıştır. Kompozit malzemeler, örneğin; alüminyum matrisli kompozitler bilinen malzemelere göre çok daha hafif olup aynı zamanda yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahiptirler Kimyasal bileşimi ve özellikleri farklı olan iki veya daha fazla sayıdaki malzemenin bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemelere kompozit malzeme adı verilir. Genel olarak kompozitler, yüksek dayanıklılık ve sertlik gösteren bir takviye malzemenin başka bir ana malzeme tarafından çevrelenmesi sonucu elde edilen malzemeler olarak ta tanımlanabilir. Kompoziti oluşturan malzemeler yapı içinde kendi özelliklerini korurlar ve ara yüzeylerle birbirlerinden ayrılırlar. Fakat kompozit malzemenin özellikleri kendisini oluşturan malzemelerin özelliklerinden üstündür (Çavuşoğlu, 2013).

Kompozit malzemelerin yapısı matris ve takviye fazlarından oluşmaktadır. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak fiber ya da partikül malzemeler kullanılmakta, bu takviye malzemesinin çevresinde de matris malzemesi bulunmaktadır. Kompozit malzemeler metal-metal, metal-seramik vb. olabilmektedir (Askeland,2010) Kompozitlerin özelliklerini iyileştirmek için metal matris içerisine güçlü seramik takviye elemanları (SiC,Si₃N₄ gibi.) eklenmektedir. Metallerin süneklik ve tokluğu, seramiklerin yüksek basma mukavemeti ve yüksek aşınma dayanımı gibi özellikleri ile birleştirilmeleri ile metal matrisli kompozitler (MMK) ortaya çıkmaktadır. MMK'ların yüksek elastisite modülü ve dayanıma sahip olması, deformasyon sırasında yükün matris tarafından takviye fazına transferi ve dağılımı ile mümkün olacağından takviye fazı ile matris arasında güçlü bir arayüzey etkileşimi olması bu anlamda çok önemlidir. Ayrıca, matris-takviye arayüzeyinde kimyasal reaksiyonların olmaması, fazlar arasında hiç difüzyon olmaması ve dolayısıyla takviye fazının bozunmaması çok önemlidir (Çavuşoğlu,2013, Bulut,2014). MMK üretiminde genel olarak Al, Fe, Cu, Mg, Pb, Ti, ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Takviye malzemesi seçimi uygulama ve üretim yöntemlerine ve malzemelerin fiyatına bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde partikül takviye malzemesi olarak karbon esaslı takviye malzemelerinden karbon nanotüp (CNT), grafit, grafen kullanılmaktadır. Grafen metal matris içerisinde kullanıldığında, sahip oldukları yağlayıcılık özelliği nedeniyle kompozit malzemeye düşük sürtünme ve yüksek aşınma dayanımı özellikleri kazandırmaktadır. Grafen bütün grafit esaslı formların kaynağıdır. Bu iki boyutlu malzeme altı adet karbon halkalarının biraraya gelmesiyle oluşan nanokarbon tabakalarıdır. Grafen karbon nanotüp ve fullerenden oldukça farklıdır. Grafen yapısında C-C bağ uzaklığı yaklaşık olarak 1.42 Å iken grafen tabakalarının üst üste gelmesi ile meydana gelen grafitte iki grafen tabakası arasındaki mesafe yaklaşık 3.35 Å dur. Grafendeki güçlü C bağları ona yeryüzündeki bilinen en sağlam malzemelerden biri olma özelliğini kazandırmıştır (Gürbüz ve ark. 2015). Grafen esnek, sağlam, süper ince ve hafif bir malzeme olup günümüzdeki bilimsel araştırmalarda önemli yer almaktadır. Grafen 2004 yılında sentezlenmesine rağmen 2008 yılından itibaren özellikle alüminyum matrisli kompozitlerde kullanılmaya başlanmıştır. 2010 yılından sonra ise Ti kompozitlere yönelik yeni eğilimler olmuştur. Son yıllarda Ti ve alaşımlarına karbon (C) esaslı malzeme takviyesiyle kompozit üretimi üzerine yapılan araştırmalara göre; Kondoh ve ark.(2009) tarafından yapılan çalışmada saf titanyuma karbon nanotüp (CNT) takviye edilip kompozit malzeme elde edilmiştir. Saf Ti akma dayanımı 400 MPa değerinde iken CNT takviyesi ile bu değer 690 MPa değerine kadar yükselmiştir. Song Y. ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada saf Ti metal matrise çok tabakalı grafen (MLG) katkılanarak kompozit oluşturulmaktadır. Sinterleme yöntemi olarak spark plazma sinterleme (SPS) kullanılmıştır. Numunelerin sertlik değerlerinde saf Ti metaline göre artış görülmektedir. Fakat

maksimum artış ağ.%0.5 MLG katkılanmış kompozitte elde edilmiştir. Cao ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, bulk titanyum matrisine grafen nano tabaka katkılanarak toz metalürjisi yöntemiyle kompozit elde edilmiştir. %0.5 oranında grafen nanoflake (GNF) kompozite katılarak çeşitli sinterleme yöntemleri çalışılarak, mikroyapı ve mekanik testlerle yapıdaki değişimler gözlemlenmiştir. Titanyum ve grafen belirli sıcaklıktan (970°C) sonra kompozitte TiC yapıları oluşturmuştur. Bu da yapıda dayanımı daha da artırmıştır ve çekme dayanım testi sonuçlarına da yansımıştır. Liu ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada TiC (titanyum karbür) kompozite grafen nonaplaka (GNPs) eklenmiş olup mekanik özellik üzerinde değişimleri incelenmiştir. %1 oranında GNP kompozit numunelere eklenmiştir. Kompozit malzemede Vickers sertlik testlerinde artışlar elde edilmiştir. Grafen nano tabaka mikroyapıda tane büyümesini engellemektedir. Ayrıca çatlak ilerlemesini önleyici rol oynamaktadır.

Literatürde yapılan araştırmalara göre gerek saf Ti gerekse alaşımı için yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarda grafen takviyesinin diğer karbon türevi malzemelere göre çok daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada literatür araştırmalarına göre saf Ti matris malzemesine takviye olarak kompozitte mekanik ve mikroyapı özelliklerini iyileştirici rol oynaması nedeniyle grafen kullanılmaktadır. Toz metalürjisi yöntemiyle farklı oranlarda grafen takviyesiyle Ti matrisli kompozit malzeme üretimi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, 5-8 nm çapında grafen nanotabaka (GNT) takviyeli titanyum (yaklaşık 45µm boyutunda) metal matrisli kompozit malzeme üretilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem toz metalürjisi metodu ve vakumlu sinterleme yöntemidir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda ısıtma işlem sıcaklığı 1000°C ve GNT katkı oranı ağ. %0, 15,0.3, 0.45 ve 0.6 olarak belirlenmiştir. Kompozitler mikroskobik ve mikroskobik olmayan yöntemlerle karakterize edilerek mekanik özelliklerle mikroyapı arasında yapı-özellik ilişkisi değerlendirilmiştir. Bu yöntemle yüksek mekanik dayanımlı kompozitlerin üretimi amaçlanarak, elde edilen sonuçların ışığında çalışma genişletilerek literatürde bu konudaki açığın kapatılması amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada matris malzemesi olarak, -325 mesh ve saflığı %99.5 olan titanium tozu kullanılmıştır ve takviye malzemesi olarak ise grafen kullanılmıştır. Grafen İGP2 koduyla Graphene Chemical Industries tarafından tedarik edilmiştir. Deneysel hazırlanan kompozit numunelerdeki takviye edilen grafen kompozisyonları ağ. %0, %0.15, %0.3, %0.45, %0.6 şeklindedir. Çizelge 1’de deneysel çalışmada kullanılan grafen ve titanyumun özellikleri görülmektedir.

Çalışmada uygulanan yöntem Şekil 1’de kısaca özetlenmiştir. Grafen nano tabakaların iyi dağılması için hem öğütme hem de ultrasonik dağıtma işlemleri uygulanmıştır. Tozların birbirine sinterleme öncesi de iyi karışması amacıyla yeniden bir öğütme işlemi daha uygulanmıştır. Sonraki aşamada toz karışımlar el presi ile yaklaşık 1000 MPa’da şekillendirilmiştir.

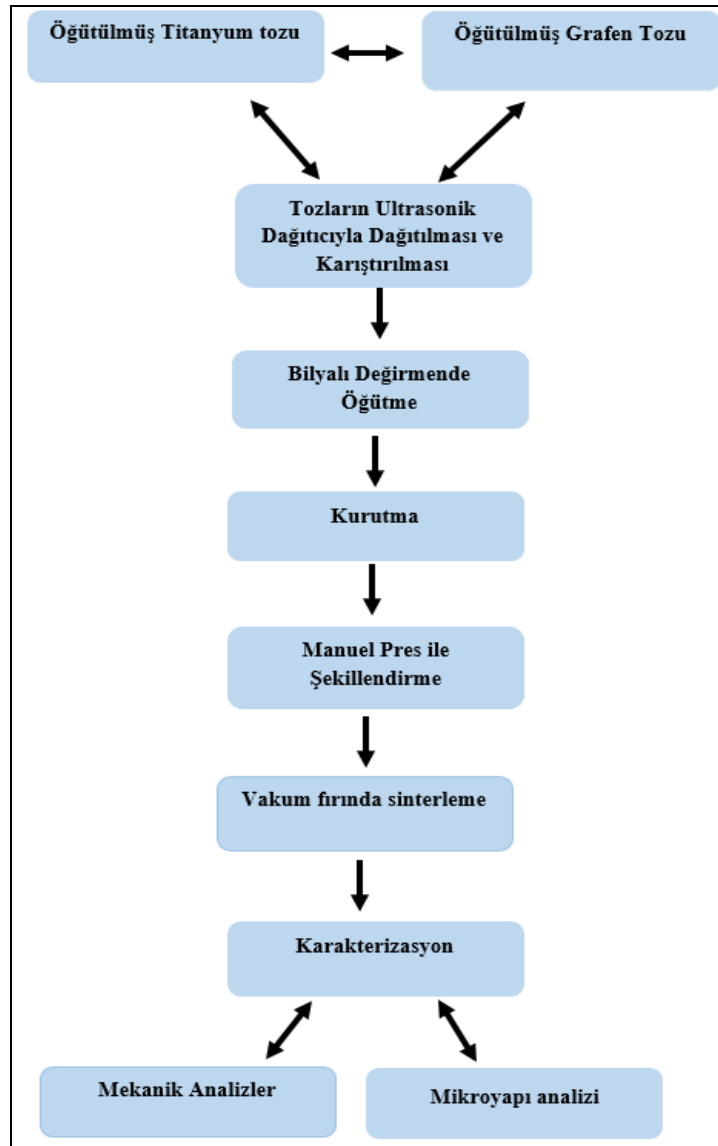
Çizelge1. (a) Deneysel olarak kullanılan grafen (b) titanyumun fiziksel ve kimyasal özellikler
Table.1. Physical and chemical properties of (a) graphene and (b) titanium used in experiment

Özellikler	Değer
Saflık	%99.5
Özkütle (g/cm ³)	0.2
Çap (µm)	5-10
Kalınlık (nm)	5-10
Yüzey alanı (m ² /g)	120-150

(a)

Özellikler	Değer
Saflık	%99
Partikül Boyutu (µm)	<45 -325mesh
Yoğunluk (g/cm ³)	4.5

(b)



Şekil 1. Çalışmada uygulanan deneysel yöntemin akış diyagramı
Figure.1. Flow diagram of the experimental method applied in the study

Çalışmada vakum altında sinterleme işlemi için uygulanan ısı işlem sıcaklığı 1000°C'dir. Şekil 1'deki yöntemle göre hazırlanan ağ. %0, %0.15, %0.3, %0.45, %0.6 kompozisyonlardaki kompozit numuneler 1000°C'de 60 dk. vakum altında sinterlenmiştir. Sinterleme aşamasından sonra kompozit numunelere yoğunluk, sertlik ve mikroyapı analizleri yapılmıştır.

Kompozit numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibinden yararlanılarak yapılmıştır. Numunelerin suya doymuş kütleleri (W_D) ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin su ya da sıvı emdirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı için su emdirilmiş numunelerin su içinde asılı ağırlıkları (W_A) Arşimet kiti ile ölçülmektedir. Son aşamada ise numunelerin kuru kütlelerinin (W_K) ölçülmesidir. Eşitlik 1'deki formüle göre yoğunluklar hesaplanmıştır.

$$\rho_k = [W_K / (W_D - W_A)] \rho_{su} \quad (1)$$

Kompozit malzemeler 1000 °C'de 60 dk sinterlendikten sonra mikro vickers yüzey sertlik ölçümü yapılmıştır. Kompozit numunelere 4.903N (500gf)'luk yük uygulanarak numune üzerinde oluşan iz çapları ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde 6 adet farklı ölçüm alınıp ortalama sertlik değeri verilmiştir.

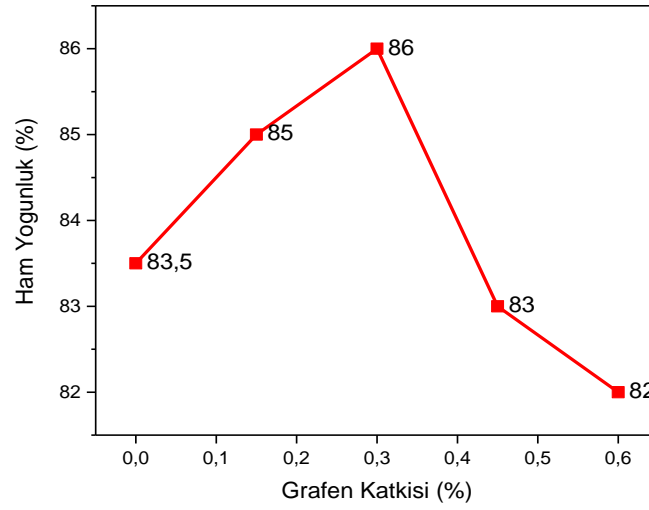
3. Bulgular ve Tartışma

Deneyel çalışmalarda ağ. %0, %0.15, %0.3, %0,45, %0,6 grafen kompozisyonlarında kompozit numuneler 1000°C'de 60dk. vakum altında sinterlenmiştir. Daha sonraki aşamada kompozit numuneler zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin ısı işlem sonrası yoğunlukları hesaplanmıştır. Çizelge 2'de kompozit numunelerin yoğunluğunun saf titanyuma göre artışı görülmektedir. Şekil 2 ve 3'te ham numunelerin ısı işlem öncesi ham yoğunluğu ve ısı işlem sonrası deneyel yoğunlukları görülmektedir. Aralarındaki farklar şekillerde oldukça net görülmektedir. %90'lara varan yoğun yapıda kompozit numuneler elde edilmiştir. Bu sonuçlar bize göstermektedir ki ısı işlem esnasında grafen titanyum partikülleri ile arayüz etkisi oluşturup, tanelerin birbirleriyle oldukça iyi şekilde boyun vererek daha yoğun bir yapı elde edileceğini desteklemektedir.

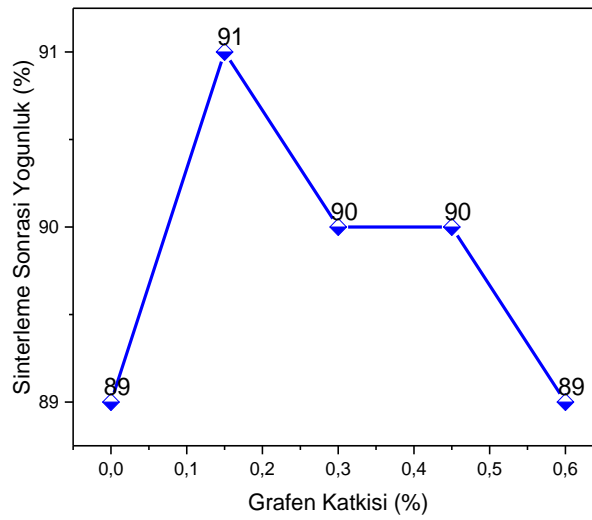
Çizelge2. Numunelerin Arşimet deneyel yöntemine göre elde edilen yoğunlukları (1000 °C'de 60 dk sinterleme)

Table.2. Density of the samples obtained according to the Archimedes experimental method

Numune Adı	Yoğunluk (g/cm ³)	Deneyel Yoğunluk (%)
Saf Ti	4,00	89
TiG15	4,08	91
TiG30	4,05	90
TiG45	4,06	90
TiG60	3,98	89

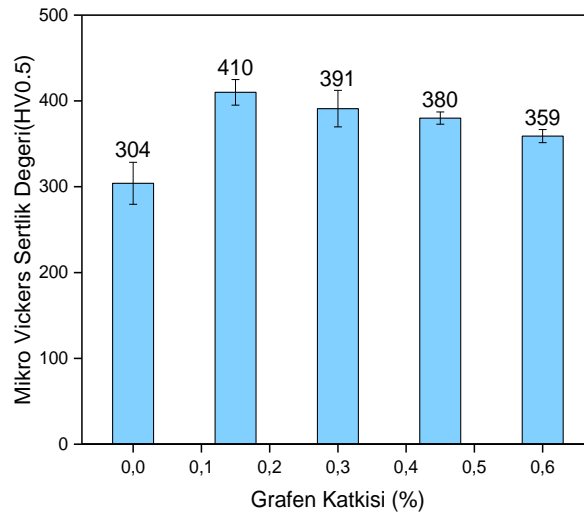


Şekil 2. Grafen katkısına göre numunelerin ham yoğunlukları
Figure.2. Raw densities of samples according to graphene ratios



Şekil 3. Grafen katkısına göre numunelerin sinterleme sonrası yoğunlukları (1000 °C’de 60 dk)
Figure.3. Densities of samples according to graphene contribution after sintering

Kompozit numunelere yoğunluk ölçümlerinin yapılmasından sonra mekanik test olarak micro vickers yüzey sertlik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4’te vickers sertlik ölçümleri grafiği görülmektedir.



Şekil 4. 1000 °C’de 60 dk. ısıtılmış numunelerin mikro vickers sertlik test sonuçları
Figure.4. 60 min at 1000 °C. micro vickers hardness test results of heat treated specimens

Sertlik test sonuçlarına göre bu işlem sıcaklığında elde edilen kompozit numunelerde grafen takviyesi olmayan numunede 304HV değeri elde edilirken ağ. %0.15 grafen takviyesi bulunan numunede en yüksek değer olan 410 HV elde edilmiştir. Grafen takviye oranı arttıkça sertlik değerinde düşüş görülmektedir. Fakat bu değerler saf titanyumun sertlik değerinden yine de yüksektir.

Takviye fazı olarak grafen tane sınırlarına yerleştiğinde ısıtılma sırasında matris tane büyümesinin önüne geçilmekte böylece hem dislokasyon yoğunluğu artmakta hem de takviye elemanı tane sınırında bariyer gibi davranarak dislokasyon hareketini engellemektedir. Ayrıca tane boyutunun azalmasıyla dislokasyona karşı daha çok tane sınırı oluşmakta, bu tane sınırları dislokasyonu durdurarak mukavemeti artırmaktadır [Hu ve ark.2010, Mu ve ark.2017, Zhen ve ark. 2017).

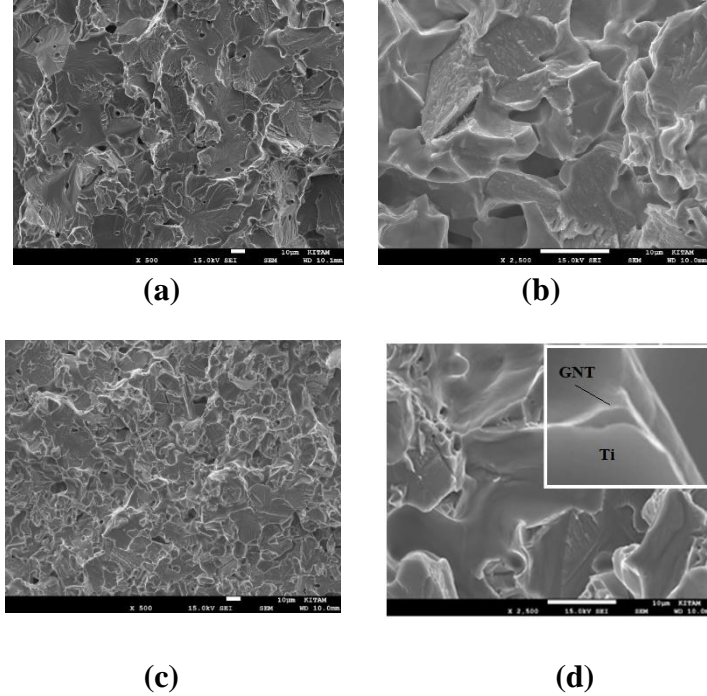
$$\Delta\sigma_{H-P} = k_y / \sqrt{d} \quad (2)$$

Eşitlik 2’deki Hall-Petch eşitiğine göre tane sınırı sayısı ne kadar fazla ise ve tane küçüldükçe mekanik özellikler iyileşmektedir. Dolayısıyla sinterleme sonrası tane büyümesinin önüne geçilmelidir. Başka bir deyişle sinterleme sırasında tane büyümesinin kontrolü oldukça önemlidir.

Yük transferinde ise plastik deformasyon altında yükün önemli bir kısmı takviye fazına aktarılmaktadır. Özellikle grafenin mukavemetinin daha yüksek olması nedeniyle plastik deformasyona maruz bırakıldığında Ti kompoziti deforme etmek için daha fazla yük ihtiyacı vardır. Grafenin mekanik özelliği çok yüksek olduğu için çatlak ilerleme enerjisi grafeni deforme edemeyeceğinden çatlak sapma eğilimine girerek ilerlemesi durdurulmaktadır. Bu da kompozitin mekanik özelliklerini artırmaktadır.

Çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile elde edilen Ti-Gr kompozitlerin karakterizasyon analizleri (taramalı elektron mikroskobu) SEM yapılmıştır.

SEM görüntülerinde ilk olarak en iyi sonuç vermiş olan %0.15 ağ. Gr katkılı Ti-Gr kompozit malzemesinde sinterleme sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Şekil 5'te görüldüğü üzere saf Ti ve 1000°C 60dk sinterlenmiş numunelerin 500 ve 2500 büyütme mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 5. Ti-Gr kompoziti (a) 1000°C sinterlenmiş Saf Ti 500 büyütme (b) Saf Ti 2500 büyütme (c) %0.15 Gr katkılı numunelerin 1000°C x500 (d) 1000°Cx2500 büyüme SEM görüntüleri

Figure.5. Ti-Gr composites (a) sintered at 1000 ° C pure Ti 500 magnification (b) pure Ti 2500 magnification (c) 0.15% Gr added samples at 1000°C x500 (d) at 1000°Cx2500 SEM images

SEM analizinde görüntüler kırık yüzeyden alınmıştır. Görüntülerde x500 büyütme olan numunelerde özellikle 1000°C'de sinterlenmiş saf titanyum numunesinde gözenek sayısı fazla iken, 1000°C'de 0.15 Gr katkılı kompozit numunelerde gözenekler azalmaktadır. Bu da yapıda x2500 büyütme daha iyi görülmektedir. Sinterleme sırasında birbirine temas eden parçalar arasında önce bir boyun oluşumu (Şekil 5d), grafen ve titanyum arayüz etkileşimi ile gözeneklerde küçülme meydana gelerek yoğunlukta artma meydana gelir.

4. Sonuç

GNT katkılı Ti kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle hazırlanmıştır. İlk aşamada tozlar ağ. %0, %0.15, %0.3, %0.45, %0.6 GNT içeren tozlar şekillendirildikten sonra 1000°C'de 60dk. ısı işleme tabi tutulmuştur. Yapılan yoğunluk, sertlik ve mikroyapı analizleri sonuçlarına göre, ağ. %0.15 grafen katkılı numunede %91'e kadar yoğunluk elde edilmiştir. Sertlik için ise, saf titanyumun sertliği 304 HV iken ağ. %0.15 grafen katkılı kompozit numunesinin 410 HV olarak ölçülmüştür. Artan GNT ile sertlik değerinde düşüş meydana gelmiştir. Bunun nedeni grafenin artık kompozit numune içinde iyi dağılamaması ve topaklanmasıdır. Yapılan SEM analiz sonuçlarına göre, saf titanium numunesinde gözenekler yer alırken, ağ. %0.15 grafen katkılı kompozit numunede yapıda grafen ve titanyum arasında gerçekleşen iyi bağ ve arayüz etkileşimleri nedeniyle yapıda gözenekler

azalmıştır. Sonuç olarak grafen ilavesi titanyum kompozitin mekanik ve Mikroyapı özelliklerine olumlu katkı yapmıştır. Bundan sonraki çalışmada farklı ısıl işlem sıcaklık ve zamanın etkisi çalışılacaktır.

Teşekkür

TÜBİTAK'a 217M154 numaralı proje ile bu çalışmayı desteklemesinden dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca karakterizasyon çalışmalarının yapılması konusunda destek veren Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne (KİTAM) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Askeland D.R., 2010. The science and engineering of materials, Sixth Edition
- Bulut M., 2014. Türkiye'de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Cao Z., Wang X., Li J., Wu Y., Zhang H., Guo J., Wang S., 2017. Reinforcement with graphene nanoflakes in titanium matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 696, 498-502.
- Çavuşoğlu Ü., 2013. Magnezyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hu Z., Tong G., Nian Q., Xu R., Saei M., Chen F., Chen C., Zhang M., Guo H., Xu J., 2016. "Laser Sintered Single Layer Graphene Oxide Reinforced Titanium Matrix Nanocomposites", *Composites Part B*, 93, 352-359.
- Kotan G., 2006. "Production and Characterization of Porous Titanium and Ti-6Al-4V Alloy", Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Kondoh K., Threrujirapong T., Imai H., Umeda J., Fugetsu B., 2009. "Characteristic of Powder Metallurgy Pure Titanium Matrix Composite Reinforced With Multi-Wall Carbon Nanotubes", *Composites Science and Technology* 69, 1077-1081.
- Liu X., Lib J., Yua X., Fana H., Wanga Q., Yana S., Wang L., 2016. Graphene nanosheet/titanium carbide composites of a fine-grained structure and improved mechanical properties, *Ceramics International*, 42, 165-172.
- Mu X.N., Zhang H.M., Cai H.N., Fan Q.B., Zhang Z.H., Wu Y., Fu Z.J., Yu D.H., 2017. "Microstructure Evolution and Superior Tensile Properties of Low Content Graphene Nanoplatelets Reinforced Pure Ti Matrix Composites", *Materials Science & Engineering A*, 697, 164-174.
- Song Y., Chen Y., Liu W., Li W.L., Wang Y.G., Zhao D., Liu X., Song Y., Chen Y., 2016. "Microscopic Mechanical Properties of Titanium Composites Containing Multi-Layer Graphene Nanofillers", *Materials and Design*, 109, 256-263.
- Gürbüz M., Şenel M., Koç E., 2015. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler, *Mühendis ve Makine*, 669, 36-47.
- Zhen C., Wang X., Li J., Wu Y., Zhang H., Guo J., Wang S., 2017. "Reinforcement with Graphene Nanoflakes in Titanium Matrix Composites", *Journal of Alloys And Compounds*, 696, 498-502.