Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Kabul Edilmiş Makale/Accepted Manuscript



Başlık: Karbon nanotüp takviyeli Ti-6Al-4V/KNT kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi

Title: Investigation of wear behavior of Ti-6Al-4V/CNT composites reinforced with carbon nanotubes

Yazarlar/Authors: İsmail Topcu, Arif N. Güllüoğlu, M. Kemal Bilici, H. Özkan Gülsoy

ID: 5000215474
DOI: https://doi.or./10.17341/gazimmfd.460542

Dergi İsmi: *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*
Journal Name: *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*

Geliş Tarihi/Received Date: 31.03.2018
Kabul Tarihi/Accepted Date: 27.05.2018

Makale Atıf Formatı/Manuscript Citation Format:
İsmail Topcu, Arif N. Güllüoğlu, M. Kemal Bilici, H. Özkan Gülsoy, Investigation of wear behavior of Ti-6Al-4V/CNT composites reinforced with carbon nanotubes, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* (2018), https://doi.or./10.17341/gazimmfd.460542

Dergi Bilgi Notu:
Bu PDF belgesi, kabul edilmiş olan makalenin dizgi işlemi yapılmamış halidir. Kabul edilmiş makalelerin kullanılabilir olması amacıyla makalenin dizgisiz hali internet üzerinden yayımlanmıştır. Makale, nihai formunda yayımlanmadan önce yazım ve dilbilgisi olarak kontrol edilecek, daha sonra dizgilenecek ve yeniden gözden geçirilmesi işlemine tabi tutulacaktır. Bu dizgileme işlemleri esnasında içeriği etkileyebilecek hataların bulunabileceğini ve Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi için geçerli olan yasal sorumluluk reddi beyanlarının bulunduğunu lütfen unutmayın.
Journal Early View Note:
This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Karbon nanotüp takviyeli Ti-6Al-4V/KNT kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi

İsmail Topcu[2]*, Arif N. Güllüoğlu[1], M. Kemal Bilici[3], H. Özkan Gülsoy[4]

[1]Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy, İstanbul

[2]Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 07452, Alanya, Antalya

[3]Marmara Üniversitesi, Uygulamalı bilimler Yüksekokulu, Kuyumculuk ve Mücevherat Tasarımı Bölümü, 34722, Kadıköy, İstanbul

[4]Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy, İstanbul

Öne Çıkanlar

- En yüksek aşına direnci % 4 KNT takviyesi yapılan bileşimde ortaya çıkmıştır.
- Sonuçlar, % 4'e varan oranlarda karbon nanotüp aşınmasının yıpranma kaybını ve artan aşınma direncini gösterdi.
- KNT ve sinterleme sıcaklığının artan hacimce yüzdesi, kompozitin sertliğini artırdı. Ancak, sinterleme sıcaklığının 1275 □C'nin üzerindeki etkisi,% 4-5 KNT' den sonra kaybolmuştur

Özet

Bu çalışma da mekanik alaşımlama yöntemiyle Titanyum (Ti-6Al-4V) tozuna takviye edilen Karbon Nanotüplerin farklı üretim sinterleme koşullarının mikroyapı, yoğunluk ve aşınma direnci üzerine etkileri incelenmiştir. Mekanik alaşımlama ile üretilen tozlar, soğuk izostatik pres kalıbı ile 250 MPa basınç altında sıkıştırılarak silindirik kompozit numuneler elde edilmiştir. Üretilen ham numuneler, 1275°C'de 60 dakika süre ile yüksek saflıktaki argon ortamı ve yüksek vakum (1.2 10-5 mbar) altında sinterlenmiştir. Ti-6Al-4V/KNT metal matrisli kompozitin aşınma davranışı pin-on-disk aşınma test cihazı kullanılarak incelendi. Farklı sinterleme sıcaklıklarında elde edilen Ti-6Al-4V /KNT alaşımlarının aşınma davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygun koşullar altında takviyeli Karbon Nano Tüp 'ün aşınma oranını iki dereceden fazla azaltabileceği görülmüştür. Bu geliştirilmiş aşınma performansını takviye oranları ile ilişkilendiren çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ti-6Al-4V kompozitlerin aşınma deney sonuçları, karbon nano tüp oranlarının değişimi ile farklı aşınma türlerinin oluştuğu ve aşınma direncini arttırdığı gözlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda aşınma direnci doğrudan hacimce takviye edilen % v/v Karbon Nano Tüp oranları ile değiştiği ve artan takviye oranına bağlı olarak arttığı ancak %5 KNT oranı ile malzemede artan aglomerasyon sonucu bu özeliklerde azalış görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karbon nanotüp, aşınma, sinterleme

Investigation of wear behavior of Ti-6Al-4V/CNT composites reinforced with carbon nanotubes

Highlights

- The highest wear resistance has been obtained in the case of adhesive wear at Carbon Nanotube 4 % content.
- The results showed that addition of carbon nanotube up to 4wt% lowered wear loss and increased wear resistance.
- Increasing volume percent of CNT and sintering temperature increased the hardness of the composite. But, the effect of sintering temperature over 1275 o C is lost after 4-5 volume % of CNT

Abstract

In this study, the effects of different production conditions and different sintering conditions on microstructure, density and wear resistance of Multi-wall carbon nanotubes (CNTs) powders reinforced with Titanium (Ti-6Al-4V) powder by mechanical alloying were examined. The powders produced by mechanical alloying were compressed with a Cold Isostatic Press die under a pressure of 250 MPa in this molding machine to obtain cylindrical composite specimens. These raw specimens were extruded

Kabul Edilmiş Makale

at 1275 ° C for 60 minutes in a high purity argon atmosphere and high vacuum (1.2 10-5 mbar). The erosive wear behavior of the Ti-6Al-4V / CNTs metal matrix composite was studied using a pin-on-disc wear tester. The abrasion behavior of a Ti-6Al-4V / CNTs alloy after various heat treatments has been studied on abrasive wear. Under appropriate conditions it has been shown that reinforced CNTs can reduce the wear rate by more than two orders of magnitude. Various investigations have been carried out detailing the reinforcement rates of this improved wear performance. The friction and wear data show a clear surplus value added to the composite Ti-6Al-4V wear modes. As a result, in the experimental studies made, it is seen that the wear resistance increase according to the v/v % CNTs ratio which is directly supplemented to the volume. However, this properties had been decrease with the %5 CNTs ratio.

Key Words: Carbon nanotubes, wear, sintering

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Titanyum alaşımlarının havacılık, otomotiv ve biyomedikal endüstrilerinde çok çeşitli uygulamaları vardır. Ağırlıkça % 6 Alüminyum ve % 4 Vanadyum içeren Ti-6Al-4V alaşımı, ısıl işlem kabiliyeti, yeterli mekanik dayanımı, iyi korozyon direnci ve biyouyumluluk nedeniyle uçak, türbin ve cerrahi implantlarda kullanılmıştır [1,2]. Titanyum alaşımları, mükemmel mekanik özelliklere, paslanmaz çelikten daha yüksek özgül mukavemete ve paslanmaz çelikten daha iyi korozyon direncine sahip oldukları için birçok endüstriyel alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır [3]. Bu malzemeler ve Metal Matriksli Kompozitlerin (MMK) üretiminde Toz metalurjisi (TM) tekniği kullanılmıştır [4,5]. Metal Matris Kompozitlerinde takviye edilen bu elementlerce, özelliklerinin iyi yönde değiştirebilir ve böylece bunların uygulamaları genişletilebilir. Kompozitlerin özelliklerinin değiştirilebilmesi için boyut ve takviye miktarının oranları iyi kontrol edilmesi çeşitli avantajlar sunar [6]. Hafif, yüksek dayanımlı malzemelere olan ihtiyaç, uçağın keşfedilmesinden beri bilinmektedir. Bir malzemenin mukavemeti ve sertliği arttıkça, belirli bir yük taşıyıcı uygulama için gerekli olan malzemenin boyutları ve bunun sonucunda kütle azalır. Bu, uçak ve otomobillerde, yük artışı ve yakıt verimliliğinin iyileştirilmesi gibi birçok avantaja yol açmaktadır [7,8]. Titanyum alaşımın matrislere uyumluluğundan dolayı titanyum karbür (TiC) ve karbür oluşturucu takviyeler kullanılmalıdır [9]. Titanyum alaşımlarına karbon eklenmesiyle, titanyum bileşimindeki aşırı karbon kırılgan titanyum karbit oluşturduğu için mekanik mukavemeti azaltmaktadır. Karbon nanotüp (KNT), bileşik olağanüstü termal iletkenlik, mekanik ve elektriksel özelliklerinden dolayı malzeme veya dolgu malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır [10-12]. Küresel petrol kaynakları düşüşle birlikte, motorların yakıt verimliliğinde artış çok arzu edilmektedir. Bir yapıya hem mukavemet hem de sertlik kazandırmada metallerin ve alaşımların yetersizliği Metal Matris Kompozitlerinin gelişimine yol açmıştır. Bundan dolayı mukavemet ve süneklik metal matris tarafından sağlanır; mukavemet ve/veya sertlik, takviye, ya seramik ya da yüksek sertlikte metal esaslı parçacık ya da fiberdir. Metal Matris Kompozitleri, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek termal iletkenlik özelliklerine sahip olacak şekilde tasarlanabilir ve bu da onları elektronik uygulamalarında kullanıma uygun hale getirir [13-15].

Bu çalışmanın amacı, % 0.5 -% 5 KNT ilavelerinin Ti6Al4V alaşımının aşınma özelliklerine etkisini araştırmaktır. Karakterizasyon işlemi için metalografik teknikler kullanılmıştır.KNT'li sinterlenmiş her örnekte, disk üzerinde ve diskle aşınma testleri yapıldı. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), optik mikroskopi, X-ray ile karakterize edildi. Sertlik ve yoğunluk testleri yapılarak bu numunelerin yıpranmış yüzeyleri tarama altında analiz edildi.

2. DENEYSEL METHOD (EXPERIMENTAL METHOD)

Kabul Edilmiş Makale

2.1 Malzemeler ve Hazırlama Teknikleri *(*Materials and Preparation Techniques*)*

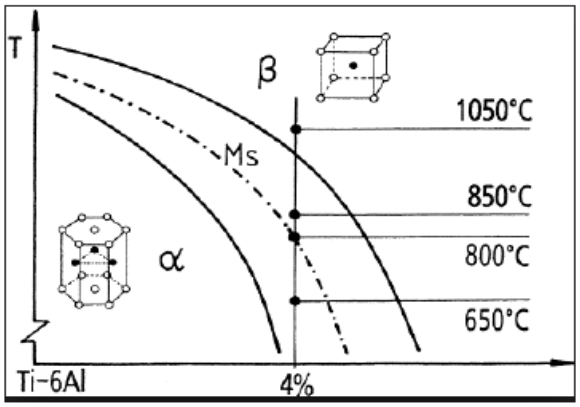
Bu çalışmada, Amerikan menşeli, Phelly Materials Company firması tarafından % 99,99 saflık, 4,43 g / cm^3 yoğunluk ve 45-180 µm nominal boyuta sahip atomize yöntemle üretilmiş Ti-6Al-4V tozları ana matris olarak kullanıldı. Takviye malzemesi olarak yine Amerikan menşeli Chep Tüpleri Şirketi ve Choggo Şirketi tarafından üretilen 2,31 g /cm^3 yoğunluk ve ortalama 10-30 nm boyutlarında KNT parçacıkları kullanıldı.

2.2 Karakterizasyon (Charecterization)

SEM, malzeme bilimi alanında mikroyapısal özelliklerin incelenmesi ve analizi için kullanılabilen en etkili görüntüleme yöntemlerinden biridir. SEM, yüksek enerjili bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntüler. Sinterlenmiş numunelerin toz morfolojileri ve mikroyapıları taramalı elektron mikroskopu (SEM, JEOL Ltd., JSM5910LV) kullanılarak incelendi. Saf Ti-6Al-4V tozu ve KNT tozuna sahip fazların tanımlanması Rigaku X Ray difraktometre kullanılarak gerçekleştirildi. Cu / Kα radyasyonu, 2° lik bir ışın açısı ile, kırınım açısı 5-120 ° arasında, adım artışı 0.02 ° ve sayma süresi 1 s şartlarında gerçekleştirildi. Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS, OXFORD Industries INCAx-sight 7274, (133-eV çözünürlük) ve analiz edildi.

2.3 Kompozitlerin Üretimi (Production of Composites)

Ti-6Al-4V ve farklı oranlarda (%0,5 - 5 v/v) KNT takviyesi ile Toz Metalürjisi (TM) yöntemi ile farklı içerikli kompozit numuneler imal edilmiştir. Kompozitlerin üretimi sırasında hacimce % 0,5 - 5 v/v KNT ile Ti6Al4V'e takviye edildi. Mekanik alaşımlama zamanı yaklaşık olarak beş saat öngörüldü. Ti-6Al-4V / KNT kompozit tozu ağırlığının ana kütleye oranı 1: 6 ve devir hızı 400 rpm, kullanılan alümina bilye çapı 10 mm. İşlem sırasında KNT' nin seramik davranışından dolayı toz parçaları, soğuk izostatik basma (SİP) 205 MPa ile kolaylıkla preslendi. Sinterleme atmosferi olarak yüksek vakum (1.2 10^{-5} mbar) ortam seçildi, Ti-6Al-4V alaşımı 845 ^{0}C de alfa (α) ve 950 ^{0}C de beta (β) fazına geçmektedir. Amaç yüksek mukavemet olduğu için sinterleme sıcaklığı 1275 ^{0}C seçilmiştir. Ti6Al4V alaşımının alfa ve beta faz geçiş sıcaklıkları Şekil'1 deki faz diyagramında görülmektedir [16].



Şekil 1. Ti-6Al-4V alaşımı alfa ve beta faz geçiş diyagramı (Ti6-Al-4V alloy alpha and beta phase transition diagram)

Kabul Edilmiş Makale

2.4. Sertlik ve Yoğunluk Deneyleri (Hardness and Density Experimantals)

Üretilmiş olan bütün kompozit numunelerin mekanik özellikleri sertlik ölçümleri ile belirlendi. Sertlik testleri, Mikro-sertlik Test Makinesi (FM-700, Future Tech Corp.) kullanılarak metalografik işlemler sonucu hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirildi. Kompozitlerin sertliği Vickers 136^{o} yöntemi kullanılarak 500 g yükte (HV (0.5) ölçülmüştür. Sinterlenmiş numunelerin yoğunlukları, Archimedes yöntemi ile ölçülmüştür (Switzerland- Presciva XB 320 M).

2.5. Metalografik İnceleme (Investigation of Metallography)

Metalografik muayene için kullanılan numunelerin her biri TM ile üretilerek sinterlenmiş numunelerindendir. Optik inceleme için numunelerin dağlanması için kroll reaktifi (3 mL HF, 100 mL H_2O içinde 6 mL HNO_3) kullanıldı. İncelenen kompozitlerin uzunlamasına kesitlerinden metalografik numuneler hazırlanmıştır. Tüm numuneler, 240, 500, 800 ve 1000 gözlü SiC zımpara kağıtları ile hafifçe zımparalanıp ardından kroll solüsyonları ile dağlandı. Kompozitlerin mikroyapıları Optimus Optik mikroskopu (OP) ile incelendi. Numune hazırlama işlemi sonrası (X50, X100 ve X200) her bir numune için metalografik farklı büyütmeler, görüntü yönündeki kesitlerden bakıldı.

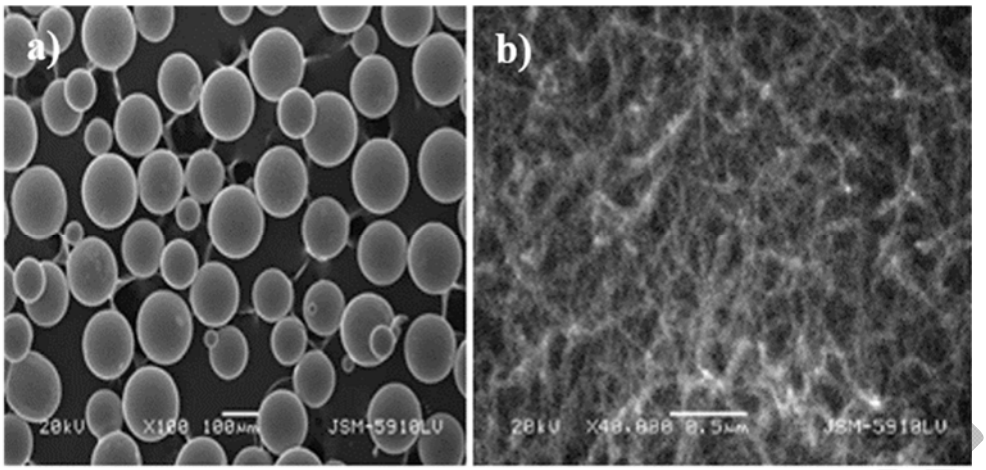
2.6. Aşınma Testi (Wear Test)

Aşınma testleri, oda sıcaklığında bir yağlayıcı olmadan, karşı yüzey olarak 62 HRC sertlik derecesinde sürekli olarak dönen bir D2 takım çeliği plakasına sahip standart bir pin-on-disk makinesi üzerinde gerçekleştirildi. Aşınma testi için numune pimi Ø10x10 mm boyutlarında ve aşınma yüzeyi 0.159 nm Ra'lık bir pürüzlüğe kadar parlatıldı. Test, her numune için tekrarlanabilirliği sağlamak için üç deneme ile gerçekleştirildi. Disk yüzeyi taşlanmış ve 0.830 um Ra'lık bir pürüzlülük elde edilmiştir. Tüm aşınma testleri için sırasıyla kayma hızı, kayma mesafesi ve yük, 1.04 m / s, 1000 m ve 9.8 N'da sabit tutulmuştur. Tüm aşınma numuneleri dikkatlice temizlenip ve kurutulmuştur. Numuneler, ± 0.0001 gram hassasiyette ağırlık kaybını ölçmek için testten önce ve sonra etanol ile temizlenmiştir. Aşınma sonuçlarında iyi tekrarlanabilirlik sağlamak için her test koşulunda en az üç test gerçekleştirilmiştir [17]. Aşınma yüzeyleri yüksek çözünürlüklü SEM kullanılarak yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

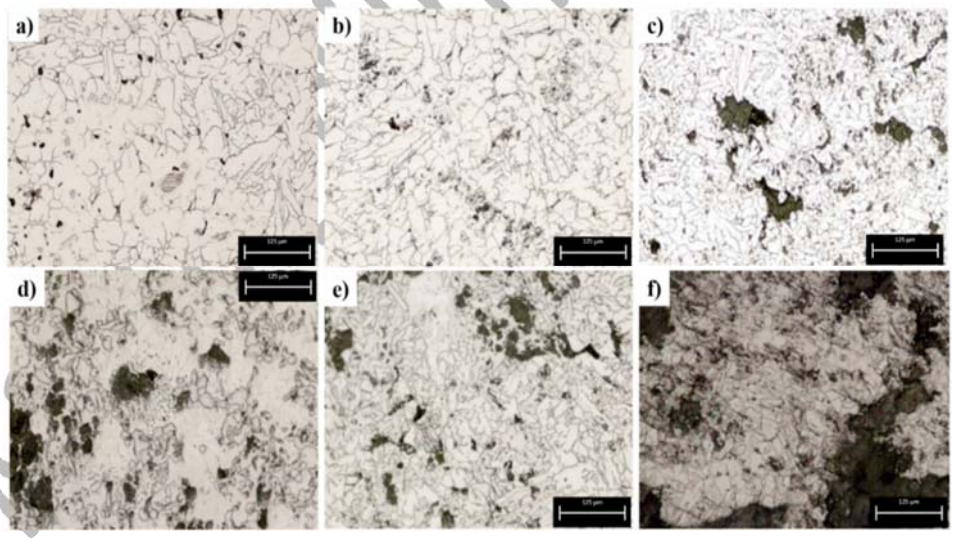
Farklı oranlarda takviyeli Ti-6Al-4V ve KNT tozlarına ait SEM de çekilmiş olan resim görüntüleri Şekil 2'de gösterilmektedir, Burada da görüleceği üzere kullanılmış olan Ti-6Al-4V alaşımı tozları düzgün şekilli olup tane boyut dağılımı ortalama 145 mikron civarındadır.

Kabul Makale



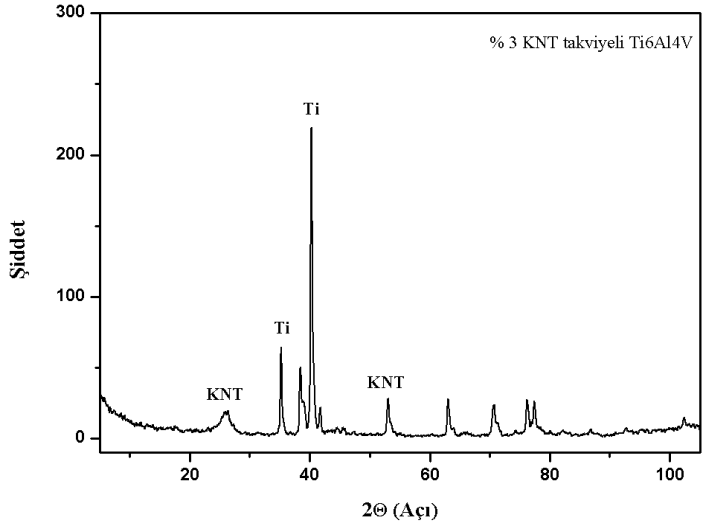
Şekil 2. Ti-6Al-4V ve KNT tozlarının SEM fotoğrafları a) Ti-6Al-4V ve b) KNT (SEM photos of Ti-6Al-4V and CNT powders a) Ti-6Al-4V and b) CNT)

Numune hazırlama işlemi sonrası üretilen her bir kompozit numune için ayrı ayrı farklı büyütmeler, görüntü yönündeki kesitlerden bakılıp elde edilen görüntüler Şekil 3'de görülebilir. Şekiller de takviye oranına bağlı olarak özellikle düşük takviye oranına sahip numunelerde Ti-6Al-4V'un Alfa ve Beta fazları net olaral görülmektedir. Ayrıca yapıda gri ve daha koyu alanlarda mevcuttur. Gri alanlar oluşan karbür yapılarını nispeten daha koyu bölgelerde artan KNT mikarı ile birlikte aglomerasyon ve porozitenin yoğun olduğu bölgeye tekabul etmektedir. Özellikle %5 KNT oranına sahip numunede yoğunluk ve sertlik değerlerinden de anlaşılacağı üzere artan KNT yüzdesi ile porozite miktarı artmıştır. Görüldüğü gibi sadece gri alanlarda TiC yapıları bulunmaktadır. Gri alan, artan KNT oranına bağlı olarak optimum olarak artmıştır.



Şekil 3. Ti-6Al-4V (a)%0,5 KNT takviyeli MMK, (b) % 1 KNT takviyeli MMK, (c) %2 KNT takviyeli MMK, (d) %3 KNT takviyeli MMK, (e) %4 KNT takviyeli MMK ve (f) %5 KNT takviyeli MMK farklı takviyeli malzemelerin optik mikroskobu fotoğrafları. (Ti-6Al-4V (a) 0.5% CNT reinforced MMC, (b) 1% CNT reinforced MMC (c) 2% CNT reinforced MMC, (d) 3% CNT reinforced MMC (e) 4% CNT reinforced MMC (f) 5% CNT reinforced MMC with optical microscopy photographs of different reinforced materials)

Farklı oranlarda takviyeli MMC numunlerden %3 v/v takviye edilmiş Ti-6Al-4V/KNT numunesi X-ışını kırınımları Şekil 4'de gösterilmektedir



Şekil 4. %3 v/v oranında KNT ile takviye edilmiş Ti-6Al-4V/KNT tozunun XRD analizi (XRD pattern of 3 % content CNTs particles in Ti–6Al–4V Matrix)

Şekil 4'te de görüleceği üzere % v/v hacimce artan KNT oranı ile yapılan mekanik alaşımlama sonucunda üretilen kompozit malzemenin yapılan incelemedesinde 36.4^0 ve 40.7^0 açılardaki piklerin Ti-6Al-4V'ye ve $25,42^0$ ve 53^0 açılardaki piklerin ise KNT'ye ait olduğu ve KNT ye ait piklere ait hem pik şidddeti hemde pik alanının oluştuğu açıkça görülmektedir.

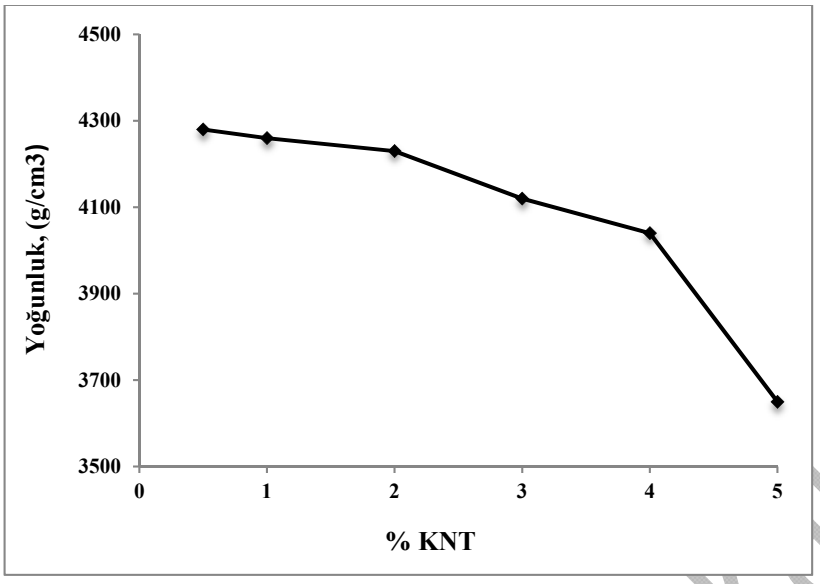
Üretilmiş olan Ti-6Al-4V/KNT numunelerinin yoğunlukları ölçülüp literatürle uyumlu olarak % 94 ile % 98,5 oranları arasında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu oran farkının başlıca nedeni hem KNT nin yoğunluğunun düşük olması hem de KNT'nin oran olarak artmasındandır. Yoğunluk hesaplamaları 1 no'lu eşitlikte sunulmuştur.

$$C_R = V_L / V_C = \rho_G / \rho_A \quad (1)$$

Eş. 1 ifadelerinde; V_L=gevşek tozun hacmi, V_C=sıkıştırılmış tozun hacmi, ρ_G=ham yoğunluk ve ρ_A=görünür yoğunluktur.

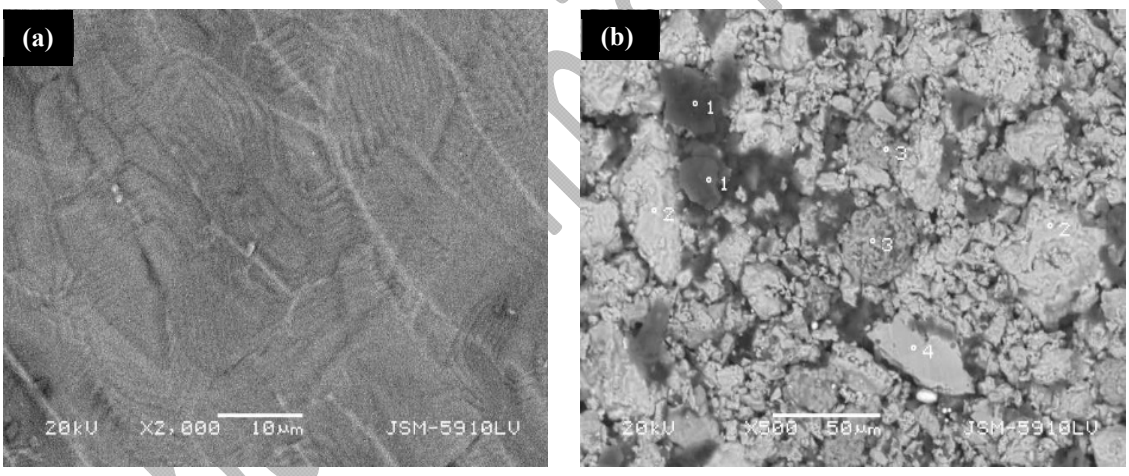
Ti-6Al-4V/KNT kompozit numunelerinin en düşük yoğunluğu hacimce en yüksek KNT oranına sahip olan %5 içerikli numunedir. Farklı oranlarla takviye edilerek üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir.

Kabul Edilmiş Makale



Şekil 5. % 0,5-5 v/v oranlarında KNT ile takviye edilerek üretlen numunelerin yoğunluk değerleri. (CNT % reinforced by the density of different exchange rates)

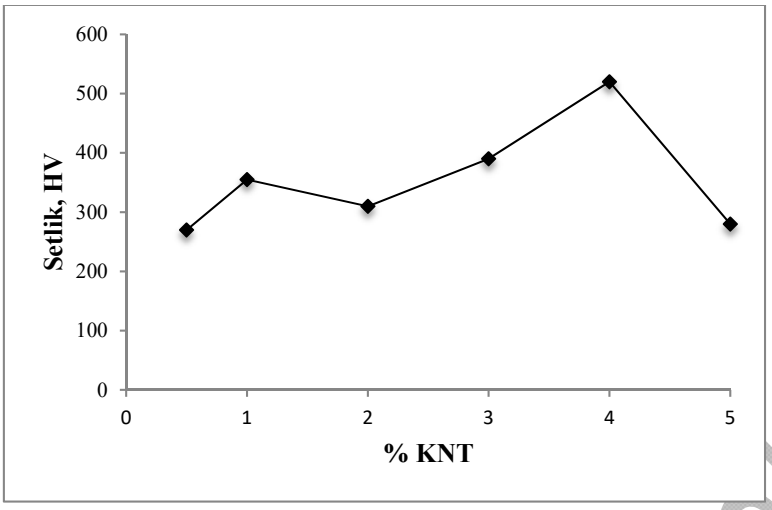
Üretilen numunelerin yoğunluğunun, % 0,5-5 v/v farklı KNT içerikli üretilem kompozit numunelerin artan % KNT oranları ve sinterleme sıcaklığının da etkisiyle düştüğü görülmektedir. Farklı % KNT bileşime sahip yapılardaki TiC Şekil 6 (a) ve Aglomerasyon görüntüleri Şekil 6 (b) de görülmektedir.



Şekil 6. Farklı oranlardaki % KNT Kompozit numunesindeki TiC (a) ve aglomerasyon (b) görüntüsü (% In different ratios TiC (a) and agglomeration (b) image in composite specimen)

Teste tabii bu numeneler TM ile Ti-6Al-4V ve KNT'ün farklı oranlar ile takviye edilerek üretilmiş olan Ti-6Al-4V/KNT metal matrisli kompozit numunelerdir. Deney sonucunda üretilen numunelerden beklenti uygulanan yüksek sinterleme sıcaklığı ve artan KNT oranı ile yoğunluğun literatürle parelel bir şekilde (% 97,5) istenilen seviyeye ulaşmasıdır.

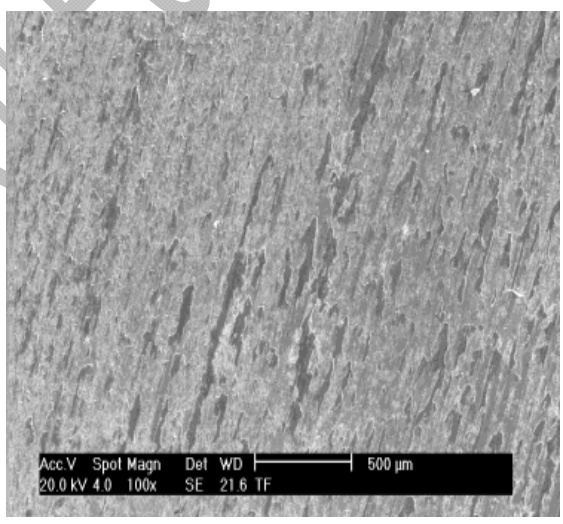
Üretilmiş ve metalografik olarak hazırlanmış olan kompozit numuneler sertlik testinde baskılayıcı izi hem matris hem de takviye malzemesini kapsadığından emin olmak için çok yoğun ve sık aralıklarla 10 ardışık ölçüm yapılıp bunların ortalaması alınarak değerlendirildi. Elde edilmiş olan sertlik değeri kompozitin bütününün ortalama sertliğini belirtmektedir. Sertlik ölçümleri Şekil 7'te verilmiştir.



Şekil 7. % 0,5-5 v/v oranlarında KNT ile takviye edilerek üretlen Ti-6Al-4V/KNT kompozit numunelerinin sertlik değerleri (The hardness versus different CNTs content (0.5- 5 %)

KNT'nin hacimce yüzdesinin artması, bileşiğin sertliğini arttırmıştır. Ancak numunlerin sertlik değeri KNT'nin % 5 oranlarından sonra düşmüştür. Farklı takviye oranlarına sahip numunelerin ölçülen sertlik ölçümlerinde farklılık gözlemlenmiştir. Kompozit sertliği takviye KNT'lerin titanyum ile oluşturmuş oldukları karbür (TiC) fazları sertlik değerini atırmış, buna karşılık nispeten daha düşük sertlik değerleri de ana matriste artan KNT miktarı ile birlikte aşırı doymuş, aglomerasyona uğramış aşırı porpziteli faz farklılığının KNT materyalinin oluşturduğu matris materyalinden kaynaklandığı öngörülmektedir [17].

Liu ve Dupont gibi araştırmacılar artan % KNT içeriğiyle sertlik değerinin arttığını ve bu parametrenin karbürün karbon içeriğiyle doğrusal olarak değiştiğini varsaymışlardır. Aynı varsayımı kullanarak, bu çalışmada, karbür tabakasında oluşan Titanium Karbür (TiC) mevcuttur. Karbürize edilmiş tabaka, diğer numunelere kıyasla daha fazla yüzey gerilimlerine sahip olmuş ve sertlik artışı sağlamıştır [18]. Şekil 8'da Sertlik artışına sebep olan TiC yüzey tabakası görülmektedir.



Şekil. 8. Titanyum matris kompozitin TiC yüzeyi (TiC surface of titanium matrix composit)

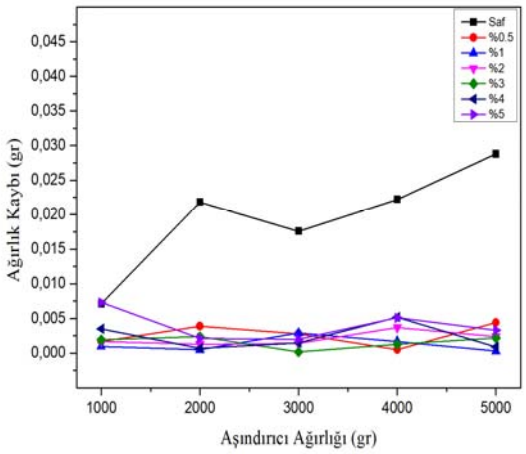
Aynı şekilde üretilmiş ve yüzeyleri metalografik olarak hazırlanmış olan kompozit numuneler aşınma testine tabi tutuldu. Farklı aşınma hem katedilen yol hemde ağırlığı kaybı olarak hesaplandı. Aşınma oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

Kabul Edilmiş Makale

$$W_S = \frac{\Delta m}{\varrho.L.F_N} 10^9 \qquad (2)$$

Eş. 2 ifadelerinde, Ws: Aşınma oranı, mm3 / Nm, Dm: N devirlerinin aşınma testi sırasında test örneklerinin kütle kaybı, g, q: Test materyallerinin yoğunluğu, g / cm3. L: Toplam kayma mesafesi, m ve F: Pimin üzerindeki normal kuvvet, N.

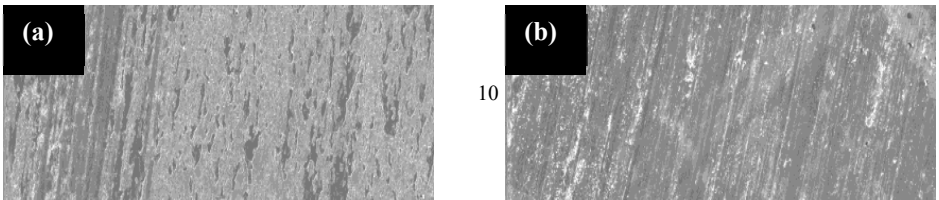
Toplam kayma mesafesi otomatik kayıt cihazında izlenmiştir. Tüm örneklerin aşınmış yüzeyleri SEM kullanılarak incelendi ve aşınma testinde farklı ağırlıklar kullanıldı. Şekil 9'da gösterildiği gibi, aşınma miktarı %4 KNT oranına kadar artmış fakat %5 Knt oranı ile de azlmıştır.



Şekil 9. Ti-6Al-4V ve Farklı % (%0,5-5 v/v) KNT takviyesi ile değişik aşınma ağırlıkları ile ölçülen aşınma kaybı (Variation of wear loss with sliding distance for samples)

Uygulanan yük 10 N'ye sabit olduğu için, gözlemlenen malzeme kayıplarında, kompozitlerdeki KNT'lerin % hacimce oranı, sırasıyla, 0.51,2,3,4 ve 5 v / v'a arttırılmıştır. Şekil 9'da görüldüğü gibi, alaşımdaki KNT % oranının artmasıyla numunelerin aşınma oranı azalmaktadır. Kayma mesafesi arttıkça yıpranma kaybı artmış ve kayma mesafesi arttıkça aşınma oranı azaltılmıştır. Özellikle, saf Ti6Al4V ve % 0,5 v/v KNT takviyeli kompozit malzemenin aşınma performansı pekiyi olmamamsına ragmen, artan % 4'e kadar artan KNT miktarı ile aşınma kaybının gözle görülür biçimde azaltıldığı tespit edilmiştir. En az malzeme kaybı, % 4 v / v KNT içeren kompozitte gözlenmiştir. Geliştirilmiş aşınma direnci, sert TiC fazının ve kompozit içindeki tutulmuş KNT'lerin varlığına bağlanabilir. KNTs hacimce oranının % 5 olması, gözlemlenen aşınma hacmi kaybını artırmıştır. Bu, kompozitin aşınma direncinin, içinde daha fazla TiC fazının varlığına rağmen, % 2,3 ve 4 KNT ihitva eden kompozitlerden daha kötü olduğunu göstermektedir. Daha yüksek yollarda, aşınma direncinin, muhtemelen Ti-6Al-4V matrisinin yükün KNT takviyesine etkili bir şekilde aktarılması için azaltılmış kapasitesine bağlı olarak düştüğü görülmüştür. Aşınma testleri sırasında sert TiC arayüz fazları kırıldığında, yük taşıma kapasiteleri azalır. Bu nedenle, takviye ve matris arasındaki bağlanma olumsuz etkilenirve malzemenin aşınma direncini azaltır. Bununla birlikte, genellikle kompozit numunelerdeki geliştirilmiş aşınma direnci, KNT'lerin ve sert TiC arayüzey ürününün benzersiz özelliklerinin sinerjik etkisine bağlanmıştır [19].

Kuru sürtünme koşullarında 10 N uygulanan yük altında test edilen yıpranmış numune yüzeylerinin SEM görüntüleri sırasıyla şekil 10 (a) % 4 KNT ve 10 (b)% 5 KNT içeriği ile üretimiş malzeme yüzeylerini 'de göstermektedir.



Şekil. 10. Titanyum matris kompozitlerin aşınmış yüzeyleri; (a) %4 KNT, (b) %5 KNT (Worn surfaces of titanium matrix composites; (a) 4% CNT and 5% CNT content)

Daha büyük ortalama pürüzlülük karbürize tabakanın (TiC) düzensizliğini gösterir ve tabakanın yüzeyinde stres konsantrasyonlarının varlığına katkıda bulunabilir. Uygulanan yük, sırasıyla farklı oranlardaki KNT içeren kompozitlerin (Şekil 10 (a) ve (b)), kendilerinde KNT'lerin hacim oranı arttıkça, yapışkanlı aşınmanın ilerleyici şiddetini göstermiştir. Bu, matriks ile matriks arasındaki KNT'lerin daha yüksek takviye hacimce oranına sahip olan takviye ile matriks arasındaki zayıf arayüzey ve metalurjik bağlanmanın daha önceki önermesini desteklemektedir.

Revankar ve ark. [20] yakın tarihli bir çalışmada, aşınma davranışlarının genellikle Ti6Al4V alaşımının kayması sırasında üretilen ve / veya aktarılan metal kalıntıları tarafından oluşturulduğunu ileri sürdüler. Bunlar sırasıyla topraklanmış, karıştırılmış, sıkıştırılmış ve bazen yıpranmış yüzeylerde sinterlenmiştir. Metal döküntüleri, bu aktiviteler sırasında oksijenle reaksiyona girer; bu, aşınmış numune yüzeylerinde gözlenen oksit tabakalarının nedeni olabilir. Bununla birlikte, bu çalışmanın sonuçları, Chauhan ve Dass tarafından [21] bildirilenin aksine, düşük uygulanan normal yüklerde Ti6Al4V alaşımının kuru kayma aşınması sırasında oksidatif aşınmanın meydana geldiği belirtilmiştir. KNT % 4'ten sonra aşınma mekanizması değişti ve saf, 0.5, 1 ve 5 % KNT takviyeli malzemelerde yapışkanlı aşınma elde edildi. Diğer kompozitlerde takviye KNT, Aşınma mekanizması aşınmayapışkanlı aşınma değilde aşınma olarak değişmiştir. Bu nedenle, en yüksek sertliğe sahip olan CNT% 5, en yüksek aşınma direncine ulaşılamamıştır. Bu, katkı maddelerinin eklenmesinin belirli bir konumda olması gerektiğini göstermektedir.

Beklendiği gibi, güçlendirmelerin KNT eklenmesi titanyumun aşınma direncini ve sürtünme özelliklerini iyileştirmede etkili olmuştur. Literatür taramasında düşük katkılı kompozitlerin neden daha düşük aşınma direncine sahip olduğu artan katkı ile neden arttığı ve belli bir orandan sonra da neden tekrar azalma eğilimine girdiği çok net açıklanmıştır.

4.SİMGELER (SYMBOLS)

EDS: Enerji Dağılımlı Spektrometre

HV: Vickers sertlik ölçüm yöntemi

KNT: Karbon Nanotüp

MMK: Metal Matris kompozit

Op: Optik Mikroskop

SEM: Taramalı Elektron mikroskobu

SİP: Soğuk İzostatik Pres

TM: Toz metalurjisi

XRD: X ışınları Difraktometresi

V_L=Gevşek tozun hacmi,

V_C=Sıkıştırılmış tozun hacmi,

ρ_G=Ham yoğunluk

ρ_A=Görünür yoğunluktur.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

"Bu çalışmada, farklı Çok duvarlı karbon nanotüp oranlarıyla takviye edilerek üretilmiş kompozit (Ti-6Al-4V/KNT) numunelerin yoğunluğu, sertliği, mikroyapı ve aşınma davranışları araştırılmıştır. Bu çalışmanın bulguları; numunelerin yoğunluğu teorik yoğunluğa, tüm farklı çok duvarlı karbon nanotüp içerikleri için artan % KNT oranı ile istenen seviyelere (% 94 – 98,5) yaklaşmıştır".

SEM resimleri, çok duvarlı karbon nanotüpo tozlarının ana matriste belli oranlarda iken (% 4 e kadar) homojen olarak dağıldığını ve belirli bir bölgede ayrışma olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, % 4 ten sonra da karbon nanotüpo tozlarının sebep olduğu gözenekli yapı varlığı görülmüştür. XRD, artan KNT içeriğinin, bu takviyenin ana pik alanında artış olduğunu göstermektedir. KNT'ün hacimce yüzdesinin (%4 e kadar) artması ve yüksek sinterleme sıcaklığının etkisi ile metal matriksli kompozitin sertliğini ve aşınma direncini artmıştır. Ancak, sinterleme sıcaklığının 1275 °C' de etkisi ile, KNT'nin hacimce % 5'te oranına sahip kompozit numunede aşırı doymuş bir yapıdan dolayı oluşan gözenekli yapı ile sertlik ve aşınma direnci artışı kaybolmaktadır. KNT eklenerek sertliğin artması dispersiyon güçlendirme etkisine bağlanabilir. Literatürde yapılmış çalışmalara da refere edilerek yapılan aşınma testinde, takviye edilen KNT'lerin aşınma direnci üzerinde olumlu bir etkiye neden olduğu ve aşınma direncini iyileştirdiği düşünülmektedir.

Kabul Edilmiş Makale

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Programı (FEN-K-070317-0107) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Jackson A G., Moteff J., Froes F H., Advanced titanium-alloy department via powder metallurgy, J. Met. 31, 145-145, 1979.

[2] Alman D E., Hawk J A., The abrasive wear of sintered titanium matrix–ceramic particle reinforced composites, Albany Research Center, USA, 21, 225–229,1999.

[3] Chuvildeev V., Panov D., Boldin M., Nokhrin A., Blagoveshchensky Y V., Sakharov V., Shotin S., Kotkov D., Structure and properties of advanced materials obtained by Spark Plasma Sintering, Acta Astronautica, 109 ,172-176, 2015.

[4] Budinski K G., Tribological properties of titanium alloys, in: K.C, Wear of Materials, Am. Soc. Mech. Eng., New York, 11,289–299,1991.

[5] Anzawa S., Takizawa H., Tanimoto T., Ogawa A., Development of high strength MWCNT reinforced titanium alloy matrix composites, The 11th world conference on titanium program -149, 2007.

[6] Wang L., Lang Z B., Shi H P., Properties and forming process of prealloyed powder metallurgy Ti-6Al4V alloy, Trans. Nonferr. Met. Soc. China. 17, 639-643, 2007.

[7] Hagiwara M., Kaieda Y., Kawabe Y., Miura S., Fatigue property enhancement of alpha-beta titanium alloys by blended elemental P/M approach, ISIJ Int. 31, 922-930,1991.

[8] Yamada M., An overview on the development of titanium alloys for non-aerospace applications in Japan, Mater. Sci. Eng. A 213, 8–15,1996.

[9] Waterhouse R B., Iwabuchi A, High temperature fretting wear of four titanium alloys, Wear 106, 303–313,1985.

[10] Ranganath S., A review on particulate-reinforced titanium matrix composites, J. Mater. Sci.32 1–16,1997.

[11] Cai A W., Feng X., Sui J., Preparation of multi-walled carbon nanotube-reinforced TiNi matrix composites from elemental powders by spark plasma sintering, Rare Metals, 31, 48-50, 2012.

[12] Gülsoy H Ö., Gülsoy N., Calışıcı R., Particle morphology influence on mechanical and biocompatibility properties of injection molded Ti alloy powder, Bio-medical materials and engineering, 24,1861-1873, 2014.

[13] Akbulut H.,Kara Y.,Karbon takviyeli karbon nanotüp katkılı epoksi kompozit helisel yayların mekanik davranışları, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University Cilt 32, 2, 2017

[14] Fırat, F. K, and Eren A. Investıgatıon of FRP Effects on Damaged Arches in Hıstorıcal Masonry Structures. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, Vol. 30. (4) ,2015.

[15] Nutt S R., Ruff A W., A study of the friction and wear behavior of titanium under dry sliding conditions, Wear of Materials, Am. Soc. Mech. Eng. New York, 426–433,1983.

[16] Kayacan M C., Delikanlı Y E., Duman B., Özsoy K., Ti6Al4v toz alaşımı kullanılarak SLS ile üretilen geçişli (değişken) gözenekli numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33:1 127-143, 2018.

[17] Soorya P K., Gopala P M., Anburoseb D., Kavimania V., Mechanical, corrosion and wear characteristics of powder metallurgy processed Ti-6Al-4V/B4C metal matrix composites, Ain Shams Engineering Journal, https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.003,2016.

[18] Munir K S., Oldfield D T., Wen C., Role of Process Control Agent in the Synthesis of Multi-Walled Carbon Nanotubes Reinforced Titanium Metal Matrix Powder Mixtures, Advanced Engineering Materials, 18, 294-303, 2016.

Kabul Edilmiş Makale

[19] Munir K S., Qian M., Li Y., Oldfield D T., Kingshott P., Zhu D M., Wen C., Quantitative Analyses of MWCNT-Ti Powder Mixtures using Raman Spectroscopy: The Influence of Milling Parameters on Nanostructural Evolution, Advanced Engineering Materials, 17,1660-1669, 2015.

[20] Gülsoy H.Ö., Bilici M K., Bozkurt Y., Salman S., Enhancing the wear properties of iron based powder metallurgy alloys by boron additions, Materials and Design 28, 2255–2259, 2007.

[21] Revankar G.D., Shetty R., Rao S.S., Gaitonde V.N., Wear resistance enhancement of titanium alloy (Ti–6Al–4V) by ball burnishing process, Journal of Materials Research and Technology, 6 (2017) 13-32.

[22] Dass K., Chauhan S.R., Gaur B.,Evaluation of Mechanical, Friction, and Wear Characteristics of Nano-Ti6Al4V Filled Ortho Cresol Novalac Epoxy Composites under Dry Sliding Condition, https://doi.org/10.1002/adv.p.21491,2014

Kabul Edilmiş Makale