Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi
Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences

ISSN: 2564-6605
Araştırma / Research

VAKUMLU İNFİLTRASYONYA ÜRETİLEN AA 1050 ESASLI GNP+TiB_2 TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ABRASİF AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Muharrem PUL[1,*]

**Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 41750 Kırıkkale, Türkiye*

ÖZET

Bu çalışmada vakumlu infiltrasyon yöntemi kullanılarak alüminyum matrisli, % 0.5 GNP (Nano Grafen Plaka) tozları ile %5-%10 - %20 TiB_2 (Titanyum diborid) tozları birlikte takviye edilerek hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Daha sonra, kompozit malzemelerin SEM ile mikroyapıları incelemeleri yapılmış ve porozite oranları belirlenmiştir. Son aşamada sertlik ölçümleri yapılarak abrasif aşınma deneylerine geçilmiştir. Aşınma deneyleri; 600 mesh zımpara üzerinde, 0.5 m/s kayma hızında, 10-20 ve 40 N yükler uygulanarak, 60-90 ve 120 saniye deney sürelerinde yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, TiB_2 takviye oranının artmasıyla, kompozitlerin porozite miktarı artmıştır. Sertlik değerlerinin ise %10 TiB_2 oranına kadar arttığı, daha sonra azaldığı görülmüştür. Aşınma kayıpları ise, %10 TiB_2 takviye oranına kadar azalırken, %20 takviye oranında tekrar artış göstermiştir. Hibrit kompozitler içerisindeki GNP, deney yükü ve süresinin artmasıyla, aşınma kayıplarının azalmasına sebep olmuştur. Bu durum grafenin yağlayıcı ve kaydırıcı özelliğiyle ilişkilendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hibrit kompozit, Vakumlu infiltrasyon, Al 1050, TiB_2, Aşınma

INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR BEHAVIOR OF AA 1050 BASED GNP + TiB_2 REINFORCED HYBRID COMPOSITES PRODUCED FOR VACUUM INFILTRATION

ABSTRACT

In this study, hybrid composite materials were produced by reinforcing aluminum matrix, 0.5% GNP (Nano Graphene Plate) powders together with 5-10% - 20% TiB_2 (Titanium diboride) powders together using vacuum infiltration method. Afterwards, microstructures of composite materials were examined by SEM and porosity ratios were determined. In the last stage, hardness measurements were made and abrasive wear tests were started. Wear tests; 600 mesh sanding, 0.5 m / s shear rate, 10-20 and 40 N loads were applied, 60-90 and 120 seconds were performed in the test period. According to the test results, the porosity of the composites increased with increasing TiB_2 reinforcement ratio. Hardness values increased up to 10% TiB_2 and then decreased. Wear losses decreased by up to 10% TiB_2 reinforcement ratio and increased again by 20% reinforcement ratio. GNP in the hybrid composites resulted in a decrease in wear losses with increasing test load and time. This is related to the lubricant and lubricant properties of graphene.

Keywords: Hybrid composite, Vacuum infiltration, Al 1050, TiB_2, Wear

1. GİRİŞ

Son yıllarda giderek yaygınlaşan kompozit malzeme kullanımı ile endüstrinin çeşitli alanlarındaki gelişmeler hız kazanmıştır. Özellikle savunma, otomotiv, havacılık, enerji ve ulaştırma gibi stratejik endüstri sahalarında hafif metal esaslı kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Bu tür metal esaslı (matrisli) kompozitlerin içerisine karılan takviye malzemeleri içerisinde toz parçacık şeklindeki seramik esaslı malzemeler çok geniş yer tutmaktadır. Bu malzemelerin başlıcaları, B_4C, SiC, Al_2O_3, MgO, TiB_2 olmakla birlikte son zamanlarda nano boyuttaki grafen ve karbon nano tüplerde rabet görmeye başlamıştır. Bu takviye malzemeleri arasında TiB_2, üstün özellikleri sayesinde ön plana çıkmaktadır. TiB_2 erime noktasının, sertliğinin, mukavemet/yoğunluk oranının ve aşınma direncinin nispeten yüksek değerleri ile karakterize edilen yüksek mukavemet ve

*Sorumlu yazar/ Corresponding author,e-posta / e-mail: *mpul@kku.edu.tr*
Geliş / Recieved: 01.01.2020 Kabul / Accepted: 16.06.2020 doi: 10.28948/ngmuh.669072

dayanıklılığa sahip bir seramik malzeme olarak bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı genellikle, darbelere dayanıklı zırhlar, kesici aletler, potalar ve aşınmaya dayanıklı kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır [1].

Grafen ise karbon esaslı bir malzeme olup bir atom kalınlığındadır. Grafen çok esnek, sağlam, hafif ve ince olup, bal peteği şeklindeki yapısı sayesinde çok kuvvetli bir malzemedir. Grafen elastik ve esnek olması yanında aynı zamanda çok serttir ve çelikten çok daha kuvvetlidir. Elektriği çok iyi iletir, erime noktası ise 3000°C civarındadır [2]. Literatürde alüminyum matrisli kompozitler üzerine yapılan çalışmalarda grafen ve seramik esaslı bir takviye elemanının birlikte yer aldığı çalışmalar nadiren yer almaktadır. Subramani ve ark. [3] yaptığı çalışmada Al 2024 matris içerisine B_4C ve grafen birlikte takviye edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir.

Metal Matrisli Kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yapılan ve literatürde yer alan çalışmalarda, farklı alüminyum matris malzemeleri ve takviye elemanları kullanıldığı görülmüştür [4-11]. Bu çalışmalarda; takviye elemanının kompozit içerisindeki dağılımı, mikroyapı üzerindeki etkisi, kompozit yapının yoğunluğu (gözeneklilik), sertlik, abrasif aşınma davranışı, kopma ve çapraz kırılma dayanımı gibi mekanik özellikleri araştırılmıştır. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri içerisinde sıvı faz yöntemleri önemli yer tutmaktadır. Sıvı faz yöntemlerinden biri olan vakumlu infiltrasyon yöntemi ise diğer yöntemlere göre daha az uygulanan ve literatürde en az yer alan yöntem olma özelliğindedir. Yapılan çalışmaların çoğunluğunu karıştırmalı döküm, basınçlı döküm, basınçlı ve basınçsız infiltrasyon gibi teknikler oluşturmaktadır. Vakumlu infiltrasyon bu tekniklere göre daha yeni olup çok fazla çalışma yapılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, ticari saflıktaki Al 1050 matris malzemesi içerisine, grafen ve TiB_2 birlikte takviye edilerek bu iki takviye elemanının üstün özelliklerinden bir arada yararlanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, vakumlu infiltrasyon yöntemi kullanılarak, biri nano boyutta olmak üzere iki takviye elemanı kullanılan Al 1050+GNP+TiB_2 hibrit kompozitler üretilmiştir. %5, %10 ve %20 olmak üzere üç farklı TiB_2 oranında üretilmiş olan kompozit malzemelerin önemli mekanik kriterlerden birisi olan abrasif aşınma davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Hibrit kompozitlerin üretiminde kullanılan matris malzemesi AA1050, nano grafen plaka (GNP) ve TiB_2'ye ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir

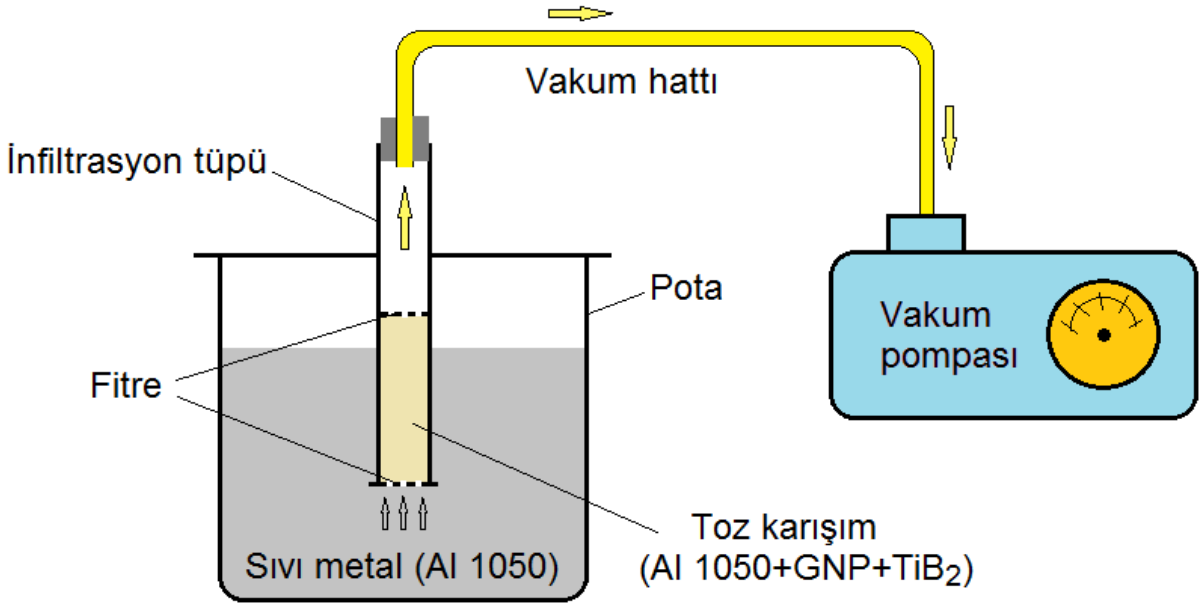
Tablo 1. Deney malzemelerinin teknik özellikleri

AA 1050							
Fe%	Si%	Cu%	Mn%	Mg%	Zn%	Ti%	Al
0.40	0.25	0.05	0.05	0.05	0.07	0.04	99.5
Erime noktası, °C		Sertlik, HB		Yoğunluk, g/cm^3		Çekme Dayanımı	Uzama %
650		34		2.71		105-145 Mpa	12

TiB_2				
Ti%			B%	
67-69			29-32	
Erime noktası, °C	Sertlik, knoop	Yoğunluk, g/cm^3	Parçacık Şekli	Tane Boyutu, µm
2980	1800	4.52	Köşeli	10-37

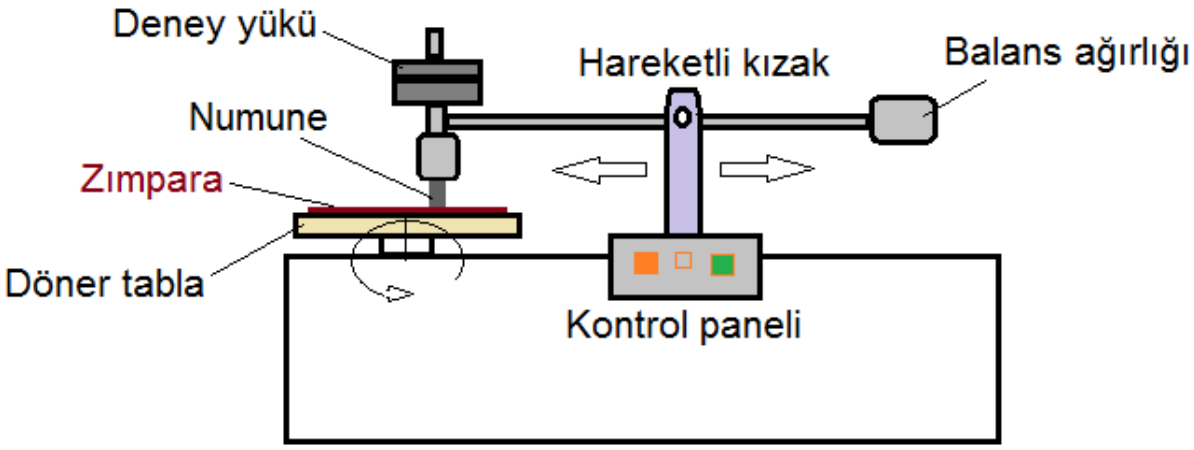
GNP				
Erime noktası, °C	Çekme Dayanımı	Spesifik Yüzey Alanı	Saflık	Tane Boyutu, nm
3000	130 GPa	260 m^2/g	% 99.5	6-16

Vakumlu infiltrasyon deneylerinde, sıvı matris malzemesi olarak % 99.5 saflığında Al 1050, takviye elemanı olarak %0.5 ağırlık oranında GNP ve %5, %10 ve %20 ağırlık oranlarında TiB_2 (titanyum diborid) kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında alüminyum matrisli kompozitlerde grafen katkısının %0.5 oranından fazla olmasının, kompozit yapının mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği yönünde sonuçlara rastlandığından, grafen takviye oranı ağırlıkça % 0.5 olarak belirlenmiştir [12]. Hibrit kompozitlerin üretiminde ilk aşamada kullanılacak olan Al 1050, TiB_2 ve GNP tozları belirlenen ağırlık oranlarında tartılıp hazırlandıktan sonra döner tamburlu karıştırıcıda 2 saat süreyle 300 dev/dak dönme hızında karıştırılmıştır. İkinci aşamada, takviye oranlarına göre karıştırılarak hazırlanmış olan toz karışımlar çelik infiltrasyon tüpleri içerisine doldurulmuştur. Alttan ve üstten paslanmaz filtre elemanı ile kapatılan deney tüpleri 750+/-10°C de erimiş sıvı Al1050 içerisine daldırılarak infiltrasyon işlemi başlatılmıştır. Her takviye oranındaki kompozit numune için 10 dakika boyunca 650 mmHg vakum ile infiltrasyon işlemi tekrar edilerek kompozitlerin üretimi tamamlanmıştır. Hibrit kompozitlerin üretildiği vakumlu infiltrasyon sistemine ait deney düzeneğinin şemetik gösterilişi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Vakumlu infiltrasyon deney düzeneği

Üretimi tamamlanarak deney tüpleri içerisinden çıkartılan hibrit kompozit malzemelerden numuneler hazırlanarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri çekilmiştir. SEM incelemesinden sonra, aşınma davranışını etkileyen teknik özelliklerden olan porozite ve sertlik değerlerinin belirleyecek deneylere geçilmiştir. Bu amaçla her takviye oranına ait numunelerin Arşimed prensibine göre yoğunlukları ölçülerek porozite (gözenek) oranları tespit edilmiştir. Daha sonra yoğunlukları belirlenen hibrit kompozit numunelerin sertlik ölçümleri Brinell yöntemine göre yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde her numune üzerinden 5 farklı noktada ölçümler yapılarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. Deneylerin son aşamasında abrasif aşınma deneylerine geçilmiştir. Aşınma deney parametreleri olarak; 10-20-40 N yükler, 600 mesh zımpara, 0.5 m/s hız, 30-60-120 saniye olarak üç farklı süre seçilmiş olup pin on disk yöntemi kullanılmıştır. Şekil 2'de pin on disk aşınma cihazının şematik gösterilişi verilmiştir.

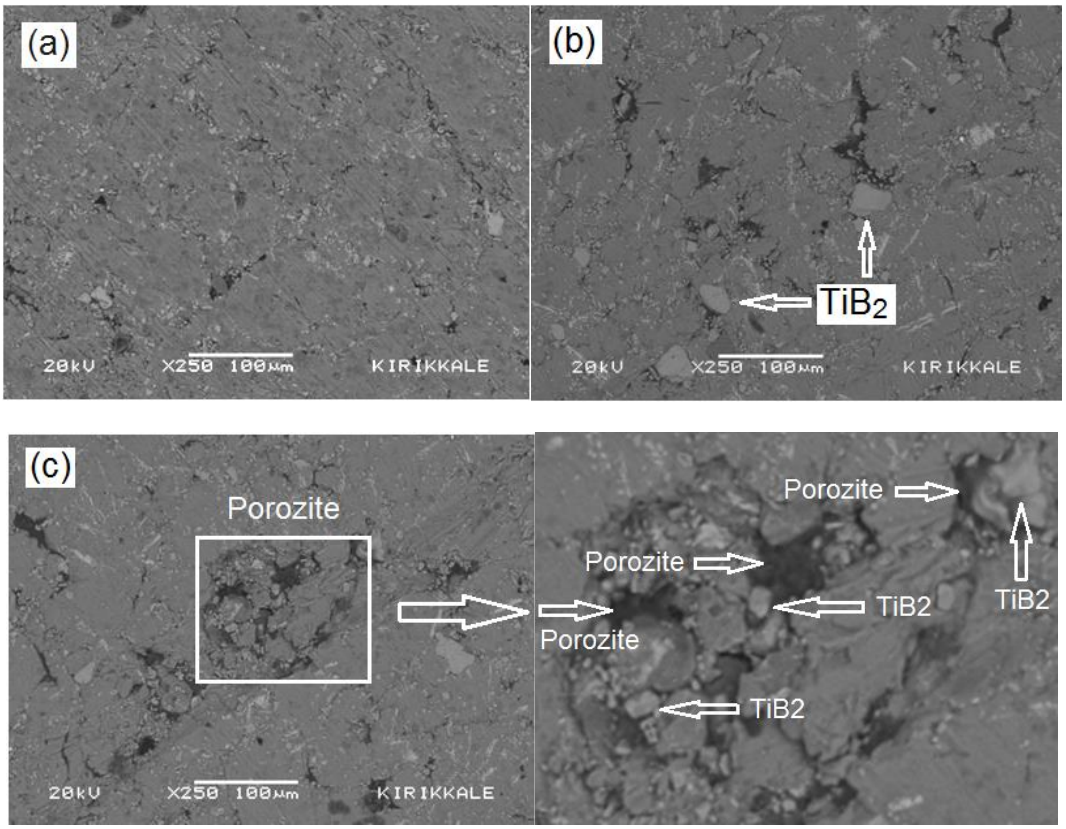


Şekil 2. Pin on disk aşınma deney düzeneği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1.Mikroyapıların İncelenmesi

Üretimi tamamlanan hibrit kompozit malzemelerin SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri çekilmiştir. Şekil 3'te %0.5 GNP ilave edilmiş, %5, %10 ve %20 TiB_2 takviyeli kompozitlerin ×250 büyütmede SEM görüntüleri verilmiştir.

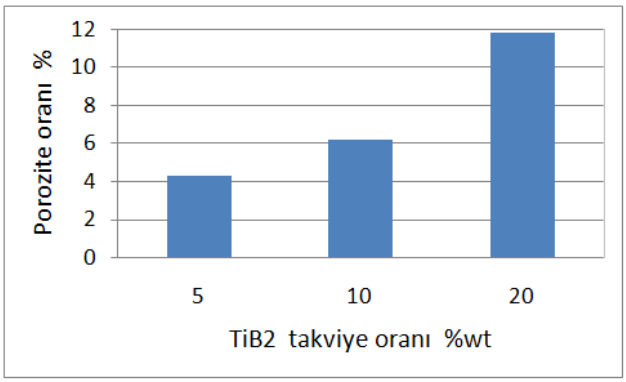


Şekil 3. (a) %5 TiB_2, (b) %10 TiB_2, (c) %20 TiB_2 takviyeli kompozitlerin SEM görüntüsü

Şekil 3'te yer alan SEM görüntüleri incelendiğinde, TiB_2 takviye oranının artmasıyla etkisini gösteren porozite (gözenekli yapı) dikkati çekmektedir. Aynı zamanda TiB_2 takviye parçacıklarının çok homojen dağılım sergileyemediği görünmektedir. Bu tür parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde, homojen takviye dağılımı elde etmek, kompozitlerin üretimindeki en önemli zorlukların başında gelmektedir. Porozitenin yoğun olduğu bölgelerde takviye ile matris arasındaki ıslatmanın çok zayıf meydana geldiği, hatta hiç olamadığı ifade edilebilir. Bu durum alüminyum matrisli ve seramik esaslı parçacık takviyeli kompozitlerin, infiltrasyon ve karıştırmalı döküm gibi sıvı faz üretim yöntemlerinde sıklıkla karşımıza çıkabilmektedir. Şekil 3 (c)'deki poroziteyi gösteren bölge incelendiğinde TiB_2 takviye parcacıklarının Al1050 matris fazıyla birleşemediği ve gözeneğin içerisinde serbest halde bulunduğu görünmektedir. Bir diğer husus ise kompozit yapı içerisinde bulunan GNP'nin etkisidir. Nano boyuttaki malzemeler ile matris elemanı arasındaki ıslatma problemiyle, mikron boyutundaki seramik parçacıklara göre daha fazla karşılaşılmaktadır. Özellikle grafen gibi yağlayıcı özelliği olan malzemelerde bu problem en üst deviyede kendini göstermektedir. Dolayısıyla, SEM görüntülerinde görünemese de GNP parçacıklarının TiB_2 takviye fazı üzerine yerleşerek ıslatmayı dahada zor hale getirdiği ifade edilebilir. Sonuç olarak vakumlu infiltrasyon deneylerinden elde edilen bu mikroyapının mekanik özellikler üzerinde bazı olumsuz etkiler yapabileceği düşünülmektedir.

3.2.Yoğunluk ve Porozite Miktarlarının Değerlendirilmesi

Hibrit kompozit numunelerin Arşimed prensibine göre belirlenen porozite değerlerini gösteren grafik Şekil 4'te verilmektedir.

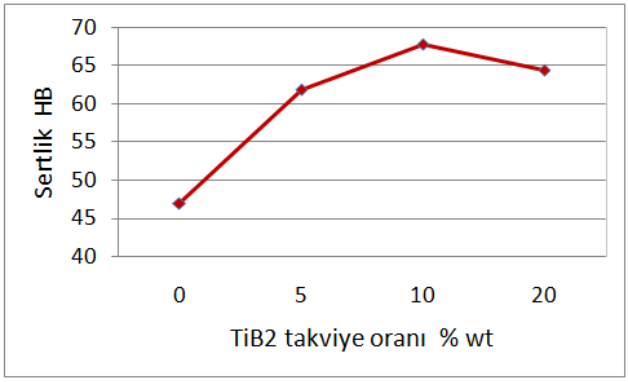


Şekil 4. TiB_2 takviye oranına göre hibrit kompozitlerin porozite miktarı

Şekil 4'teki grafiğe bakıldığında, ilk göze çarpan TiB_2 takviye oranının artışına bağlı olarak porozite (gözenek) miktarlarındaki artıştır. Sahin ve Acılar [11], vakumlu infiltrasyon ile kompozit üretimi çalışmalarında, SiC parçacık oranının artmasıyla kompozit yapı içerisindeki porozite miktarının arttığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Gomez ve ark. [4], çalışmalarında B_4C parçacık oranının artmasıyla porozite miktarının yükseldiği rapor edilmiştir. Bu tür parçacık takviyeli kompozitlerde genellikle takviye oranının artmasıyla yapı içerisindeki takviye topaklanmasına bağlı olarak porozite miktarları artmakta ve kompozitlerin yoğunluk değerleri azalmaktadır. Bu durum tüm metal matrisli ve parçacık takviyeli kompozit üretim tekniklerinde ortaya çıkabilmektedir. Poroziteye neden olan sebeplerden birisi takviye topaklanması ve buna bağlı olarak takviye parçacıkları arasında meydana gelen gözenekli yapıdır. Diğeri ise matris malzemesi ile takviye elemanı parçacıkları arasındaki zayıf ıslatmaya bağlı olarak oluşan ara yüzeylerdeki boşluklu yapıdır. Bu çalışmada üretilen hibrit kompozit malzemelerde en yüksek porozite oranı %11.8 ile %20 TiB_2 takviyeli numuneden elde edilmiştir. Porozite oranları, %5 TiB_2 takviyeli numunede %4.4 iken %10 TiB_2 takviyeli numunede %6.2 olarak gerçekleşmiştir. Kompozit yapı içerisindeki TiB_2 takviye oranı her defasında %100 artmasına karşın %5 ile %10 takviye arasındaki porozite artışı %40 civarında olmuştur. Ancak %10 ile %20 takviye arasındaki porozite artışı %90 olarak karşımıza çıkmaktadır. TiB_2 takviye oranının %10'un üzerine çıkmasıyla parçacıklı takviyenin olumsuz yönü daha fazla ön plana çıkarak, takviye topaklanması ve yetersiz ıslatma etkisini göstermeye başlamıştır. Bu tür parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit yapılarda yüksek takviye oranları ile olumlu sonuçların elde edilmesinin zor olacağı söylenebilir.

3.3.Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hibrit kompozit numunelerin Brinell yöntemine göre ölçülen sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Hibrit kompozitlerin TiB_2 takviye oranına göre sertlikleri

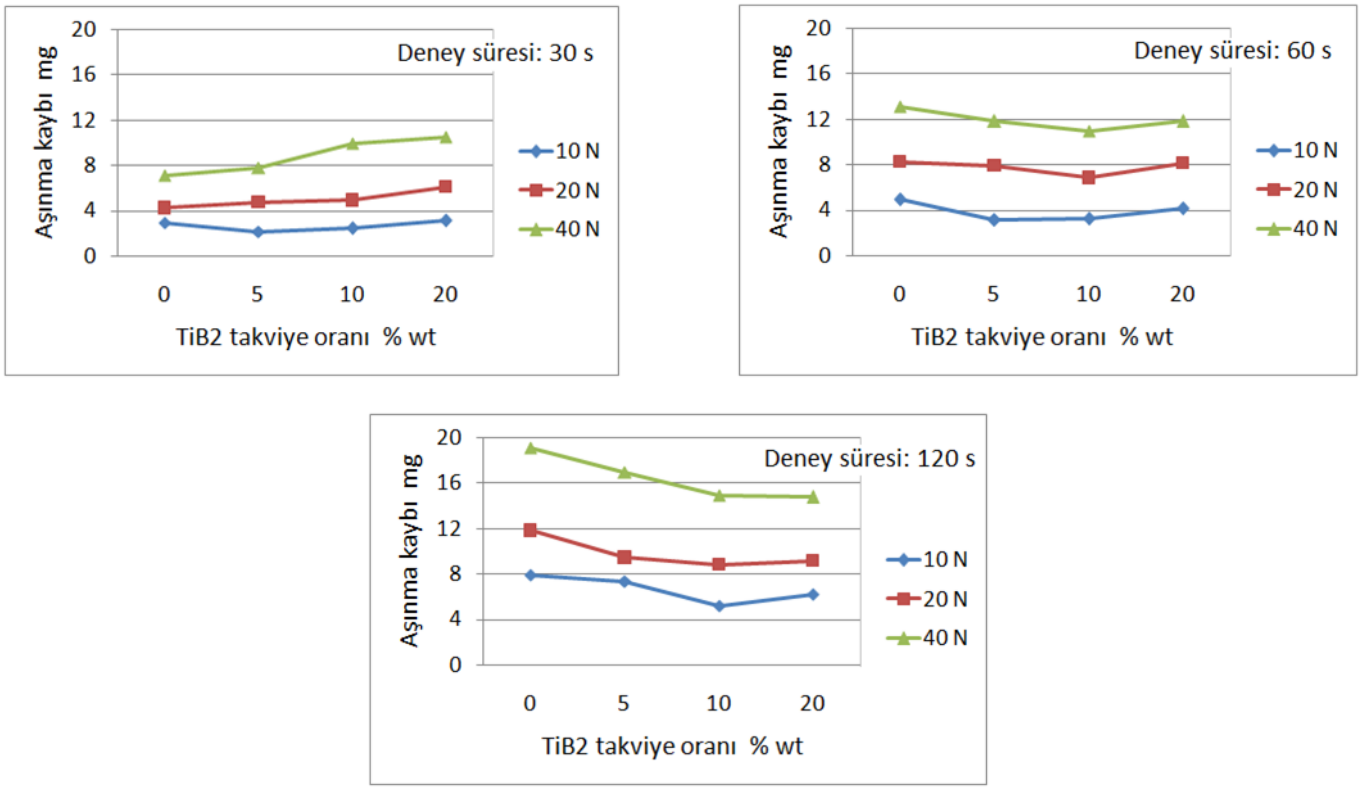
Şekil 5'teki grafik incelendiğinde, TiB_2 takviye oranının artmasıyla sertlik değerlerinin yükseldiği, ancak %10 TiB_2 takviye oranından sonra azalmaya başladığı görünmektedir. Benzer bir sonuç Subramani ve ark [3]; Rajesh ve Kaleemulla [13]; Ravindra Sagar ve Chandrashekar'ın [14] yaptığı çalışmalarda ifade edilmiştir. Gomez ve ark. [4] yaptığı başka bir çalışmada alüminyum matris içerisine ilave edilen B_4C ve SiC parçacık miktarlarının artmasıyla, kompozitlerin sertlik değerlerinde devamlı bir yükselme rapor edilmiştir. Benzer şekilde Hasırcı ve Gül'ün [5] çalışmalarında benzer sonuç yer almaktadır. Bu tür

alüminyum matrisli ve seramik esaslı parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini inceleyen çalışmalarda, genel olarak parçacık takviye oranının artmasıyla kompozit yapının sertlik değerinin artmakta olduğu başka çalışmalarda da rapor edilmektedir [15, 16].

Bu deneysel çalışmada da TiB_2 takviye malzemesinin çok sert fazda olması sebebiyle hibrit kompozit numunelerin sertlik değerleri artma eğilimi sergilemiştir. %20 TiB_2 takviye oranındaki sertlik değerinin de bu durumda %10 TiB_2 takviyeli numuneye göre artış göstermesi beklenirken böyle olmamıştır. Bu duruma kompozit yapı içerisindeki porozitenin etki ettiği ve sertlik değerini düşürdüğü değerlendirilmektedir. Benzer şekilde Xiaozhou ve ark. [7] yaptıkları vakumlu infiltrasyon çalışmasında en düşük porozite oranında, en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. En yüksek porozite oranı %20 TiB_2 takviyeli numunede meydana gelmiştir. Porozite oranı ile sertlik değeri arasında bir ilişki kurulsa da, bu tür parçacık takviyeli kompozitlerdeki homojen olamayan takviye dağılımlarının sertlik sonuçları üzerinde karasızlıklar meydana getirdiği de bilinmektedir. Üretilen hibrit kompozitlerde en yüksek sertlik değeri %10 TiB_2 takviyeli numunede 67.7 HB olarak ölçülürken, en düşük sertlik değeri %5 TiB_2 takviyeli numunede 61.8 HB olarak ölçülmüştür. TiB_2 takviye edilmemiş Al 1050 matris malzemesinin sertlik değerinin 46,9 HB olarak ölçüldüğü dikkate alınırsa, TiB_2 takviyesi ile %20 TiB_2 takviyeli hibrit kompozit numunenin sertlik değeri %45 oranında artmıştır. Sertlik değerinin yükselmiş olmasının, mekanik özelliğin geliştirilmesi olarak değerlendirildiği durumda, sertlik yönünden olumlu sonuç alındığı ifade edilebilir.

3.4.Abrasif Aşınma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hibrit kompozit numunelerin pin on disk yöntemine göre yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma kayıplarını gösteren grafikler Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Hibrit kompozitlerin TiB_2 takviye oranı, deney yükü ve deney süresine göre aşınma kayıpları

Şekil 6'daki grafiklere bakıldığında, kompozit yapı içerisindeki TiB_2 takviye oranındaki değişimin aşınma kayıplarını aşırı miktarda etkilemediği göze çarpmaktadır. Benzer bir sonuç Şahin ve Acılar'ın [11] yaptıkları çalışmada görülmüştür. Bununla birlikte, TiB_2 takviye oranına bağlı olarak ilk etapta aşınma kayıpları azalmış, daha sonra artmaya başlamıştır. Hasırcı ve Gül'ün [5] yaptığı çalışmada benzer sonuçlar çıkmış olup, kompozit yapı içerisindeki %10 B_4C takviye miktarına kadar aşınma kayıpları azalırken, %20 B_4C takviyeli kompozitte tekrar artış göstermiştir. Literatürde yer alan başka bir çalışmada Özyürek ve Çiftçi [15], TiB_2 takviye miktarının artmasıyla kompozit yapının aşınma direncinin arttığı yer almaktadır.

Bu deneysel çalışmada ise literatüre uygun sonuçlar elde edilmekle beraber, deney süresindeki artışlar, TiB_2 takviye oranı açısından farklı aşınma kaybı davranışlarına neden olmuştur. Özellikle 30 ve 60 s sürede yapılan aşınma deneylerinde bu husus daha belirgin olarak görünmektedir. 30 s'lik deneyde, 40 N deney yükü dikkate alındığında %5 TiB_2 takviyeli numunede aşınma kaybı 7,8 mg iken, %20 TiB_2 takviyeli numunede 8.8 mg olarak kaydedilmiştir. TiB_2 takviye oranı % 400 artmasına rağmen aşınma kaybındaki değişim % 13 civarında olmuştur. Aynı şekilde, 120 s'lik deneyde, 40 N deney yükü dikkate alındığında %5 TiB_2 takviyeli numunede aşınma kaybı 16,9 mg iken, %20 TiB_2 takviyeli numunede 14,7 mg olarak meydana gelmiştir. Burada da aşınma kaybındaki değişim % 15 civarında gerçekleşmiştir. Yukarıda verilen örneklere bakıldığında TiB_2 takviye oranının 4 kat artması, aşınma kayıpları üzerinde çok önemli farklara sebep olmamıştır. Genel olarak sert fazdaki takviye elemanı ilavesinin metal matrisli kompozitlerdeki aşınma kayıplarını azalttığı literatürdeki bazı çalışmalarda yer almaktadır [17, 18].

Grafiklerde göze çarpan diğer önemli husus ise deney süresinin artmasıyla, grafiklerdeki eğilimin yön değiştirmesidir. 30 s süreyle yapılan deneylerde genel eğilim, tüm deney yüklerinde, TiB_2 takviye oranının armasına bağlı olarak aşınma kayıplarının da artış göstermesi yönündedir. Ancak, deney süresinin artmasıyla bu durum terse dönmeye başlamış ve 120 s deney süresinde ise genel olarak aşınma kayıplarında azalma meydana gelmiştir. Benzer bir sonuç Rajesh ve Kaleemulla'nın [13] yaptığı çalışmada yer almıştır. Özellikle 120 s süreli deneydeki 40 N deney yükü ile yapılan abrasif aşınma deneyinde bu durum göze çarpmaktadır. Deney süresinin artmasıyla kompozit yapı içerisindeki grafenin yağlayıcı ve kayganlaştırıcı özelliğinin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Deney süresi uzadıkça ve deney yükü arttıkça kompozit yapı içerisindeki TiB_2 parçacıklarının daha fazla miktarda aşınma yüzeyinden uzaklaştığı ve bu boşluklara yağlayıcı özelliği olan GNP partiküllerinin yerleştiği, dolayısıyla GNP'nin aşınma yüzeyine sıvanarak kaygan bölgeleri meydana getirdiği varsayılmaktadır. Literatürde yer alan başka bir çalışmada ise kayma hızındaki artışın aşınma kayıpları üzerinde azaltıcı tesir yaptığı ifade edilmiştir [19].

Bir başka husus ise deney yüklerindeki değişim ile aşınma kayıpları arasındaki ilişkidir. Deney yükleri her defasında % 100 artmasına rağmen aşınma kayıpları aynı oranda değişim göstermemiştir. Örneğin 120 s sürede yapılan aşınma deneyindeki %10 TiB_2 takviyeli numuneyi dikkate alırsak; 10 N yükte 5.2 mg, 20 N yükte 8.8 mg, 40 N yükte 14.9 mg aşınma kaybı meydana gelmiştir. Bu örnekte aşınma kayıplarındaki değişim % 70 civarındadır. İkinci bir örnekte 30 s sürede yapılan aşınma deneyindeki %10 TiB_2 takviyeli numuneyi dikkate alırsak; 10 N yükte 2.4 mg, 20 N yükte 4.9 mg, 40 N yükte 9.9 mg aşınma kaybı meydana gelmiştir. Bu örnekte ise aşınma kayıplarındaki değişim % 100 civarındadır. Yukarıda verilen iki örnek birlikte ele alındığında ortaya çıkan karasız durumu öncelikle deney süresindeki artışa dayandırmak mümkündür. Zira daha öncede belirtildiği gibi deney süresinin artmasıyla kompozit yapı içerisindeki nano grafenin yağlayıcı ve kaymaya yardımcı özelliği burada da ortaya çıkmıştır. Ayrıca abrasif aşınma deneylerinde kullanılan 600 mesh tane boyutundaki zımparanın üzerindeki aşındırıcı Al_2O_3 tanecikleri, deney süresi uzadıkça keskin köşeli özelliğini giderek yitirmekte, hatta bir kısmı zımpara üzerinden koparak uzaklaşmaktadır. Bu dudumda aşınma kayıpları, deney süresindeki artmaya bağlı olarak kendi içerisinde giderek azalma eğilimi sergilemektedir. Bu durumda GNP takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin daha fazla süre ve aşınma yükleri altında çalışmasının daha uygun olabileceği değerlendirilmiştir.

Hibrit kompozitlerin aşınma davranışlarının sertlik değerleri ve porozite oranlarıyla ilişkisine bakıldığında çok net bir sonuç görülmemektedir. Ancak en yüksek sertlik değerine sahip %10 TiB_2 takviyeli hibtit kompozit, genel olarak en az aşınma kayıplarını sergilemiştir. Benzer bir sonuç Mondal ve Das'ın [17], yaptığı çalışmada ifade edilmektedir. Aşınma ile porozite arasındaki ilişki yönünden bakıldığında ise, %10 TiB_2 takviyeli kompozit numune en az porozite oranı olarak ta ikici sırada yer almıştır.

4. SONUÇLAR

Al 1050 matrisli ve GNP+TiB_2 hibrit kompozitler vakumlu infiltrasyon tekniği kullanılarak, % 0.5 sabit oranda GNP ve %5- %10 - %20 olmak üzere üç farklı oranda TiB_2 birlikte takviye edilerek başarıyla üretilmiştir. Üretilen hibrit kompozit malzemeler üzerinde yapılan sertlik ölçümleri ve aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

TiB_2 takviye oranı arttıkça kompozit yapı içerisindeki porozite oranı artış göstermiştir. En yüksek porozite oranı %20 TiB_2 takviyeli kompozitte %11.8 olarak kaydedilmiştir.

Hibrit kompozitler içerisindeki TiB_2 takviye oranının artmasıyla sertlik değeri önce yükselmiş daha sonra bir miktar düşmüştür. En yüksek sertlik değeri %10 TiB_2 takviyeli kompozitte 67.7 HB olarak ölçülmüştür. Bu sertlik değeri takviyesiz Al 1050 malzemenin sertliğini %45 oranında arttırmıştır.

Hibrit kompozitlerin aşınma davranışları deney süresi ve TiB_2 takviye oranına göre değişim göstermiştir. 30 s deney süresinde TiB_2 takviye aranı arttıkça aşınma kayıpları artış gösterirken, deney süresi arttırılıp 120 s'ye çıktığında TiB_2 takviye oranının artmasıyla aşınma kayıpları azalma eğilimi göstermiştir.

Aşınma deney süresinin ve deney yükünün artışı ile hibrit kompozit yapı içerisindeki nano grafen takviye elemanının yağlayıcı ve kaydırıcı özelliği ön plana çıkmaya başlamış ve aşınma kayıpları üzerinde bir miktar azaltıcı etki yapmıştır.

Bu tür grafen ve parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde uzun çalışma sürelerinin aşınma kaybının azalması yönünden daha olumlu olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Ronald G. Munro, "Material properties of Titanium Diboride," *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, vol. 105, no. 5, pp. 709-720, 2000.

[2] K. Dharsan and S. Santhosh Kumar, "An exploration of the ınfluence in aluminium metal matrix composite reinforced with graphene," 5thNational Conference on Trends in Automotive Parts Systems and Applications (TAPSA-2017), International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 6, Special Issue 7, pp.141-142, 2017.

[3] N.Subramani, K.Vijayaraghavan, V.V.Arunsankar and K.Sudha, "Analysis and investigation on A2024 metal matrix composites with B4C and Graphite," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 9, pp. 4636-4642, 2013

[4] L. Gomez, D. Busquets-Mataix, V. Amigo and M.D. Salvador, "Analysis of boron carbide aluminium matrix composites", *Journal of Composite Materials*, vol.43, no. 9, pp. 987-995, 2009.

[5] H. Hasırcı ve F. Gül, "B4C /Al kompozitlerin takviye hacim oranına bağlı olarak abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi," *SDU International Journal of Technologic Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 15-21, 2010.

[6] K. Gündoğan ve A. R. B. Özsarı, "Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilen AA2024 ve AA6061 matrisli, B4C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin mikroyapı, mekanik ve ısıl iletkenlik özelliklerine basıncın etkisi," *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, cilt. 11, sayı. 2, ss. 657-669, 2019.

[7] C. Xiaozhou, W. Chao, X. Xiangxin and C. Gongjin, "Effect of Ti addition on the residual aluminium content and mechanical properties of the B4C-Al composites produced by vacuum infiltration," *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 60, no. 4, pp. 2493-2497, 2015.

[8] P. Kulkarni, "Evaluation of mechanical properties of AL 2024 based hybrid metal composites," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, vol. 12, no. 5, ver. IV, pp. 108-122, 2015.

[9] M. C. Şenel ve M. Gürbüz, "Fabrication and mechanical behavior of aluminum matrix composites reinforced with nano alumina particles," *Düzce University Journal of Science & Technology*, vol. 7, pp. 1341-1350, 2019.

[10] Sheng-ming Zhou, Xiao-bin Zhang, Zhi-peng Ding, Chun-yan Min, Guo-liang Xu and Wen-ming Zhu, "Fabrication and tribological properties of carbon nanotubes reinforced Al composites prepared by pressureless infiltration technique," *Composites: Part A*, vol.38, pp. 301–306, 2007.

[11] Y. Sahin ve M. Acılar, "Production and properties of SiCp-reinforced aluminium alloy composites", *Composites: Part A*, vol.34, pp. 709–718, 2003.

[12] S. Korucu ve G. Soy, "Alüminyum matrisli kompozitlerde tungsten karbür ve grafen takviyelerinin mekanik özelliklere etkileri üzerine bir araştırma," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, cilt.7, sayı 3, ss.1466-1487, 2019.

[13] A. M, Rajesh and M. Kaleemulla, "Experimental investigations on mechanical behavior of aluminium metal matrix composites," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol.149, no.012121, 2016.

[14] C. S. Ravindra Sagar and T. K Chandrashekar, "Effect of heat treatment on mechanical properties of aluminum LM13-MgOp metal matrix composites," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 8, no. 2, pp. 284-288, 2018.

[15] D. Özyürek and İ. Çiftçi, "An investigation into the wear behaviour of TiB2 particle reinforced aluminium composites produced by mechanical alloying," *Sci. Eng. Compos. Mater*., vol. 18, pp. 5-12, 2011.

[16] T. Raviteja, N. Radhika and R. Raghu, "Fabrication and mechanical properties of stir cast Al-Si12Cu/B4C composites," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 03 no 7, pp 343-346, 2014.

[17] D.P. Mondal and S. Das, "High stress abrasive wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction," *Tribology International*, vol. 39, pp. 470–478, 2006.

[18] S. Gargatte, R. R. Upadhye, V. S. Dandagi, S. R. Desai and B. S. Waghamode, "Preparation & characterization of Al-5083 alloy composites," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol.1, pp. 8-14, 2013.

[19] M. Uthayakumar, S. Aravindan and K. Rajkumar, "Wear performance of Al–SiC–B4C hybrid composites under dry sliding conditions", *Materials and Design*, vol. 47, pp. 456–464, 2013.