

Production of Al-Si₃N₄ Powder Metal Composite Material and Investigation of Wear Behavior

Halil ARIK 

Gazi University Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article

Received: 17/09/2019

Revision: 01/10/2019

Accepted: 06/10/2019

Highlights

- Distribution of Si₃N₄ in matrix structure.
- Improving of wear performance of composite

Keywords

Powder Metallurgy,
Composite Material,
Al-Si₃N₄,
Wear Behaviors.

In this study, it is aimed to determine the effect of Si₃N₄ ratio on wear behavior of aluminum matrix composite material produced by powder metallurgy method. Mixed aluminum powders containing 5 %, 10% and 15% by weight α -Si₃N₄ were pressed in the die under 500 MPa pressure and 10 mm diameter and 15 mm length block samples were produced. Then pressed samples were sintered in an atmosphere controlled tube furnace for 2 hours at 650 °C. After the characterization study such as density and hardness measurements, dry sliding wear test all of the composite materials were performed by using pin-on-disk method. The tests were carried out on the TIRIBOMETER T10 / 20 abrasion tester according to ASTM G99-05. Dry sliding wear tests of composite were carried out under the different load (5-10-15 N) and at 1.41 m/s sliding speed for 2000 m wear distance. Wear test results showed that composite materials containing silicon nitride at different ratio have better wear resistance according to matrix powder metal parts produced under the same conditions.

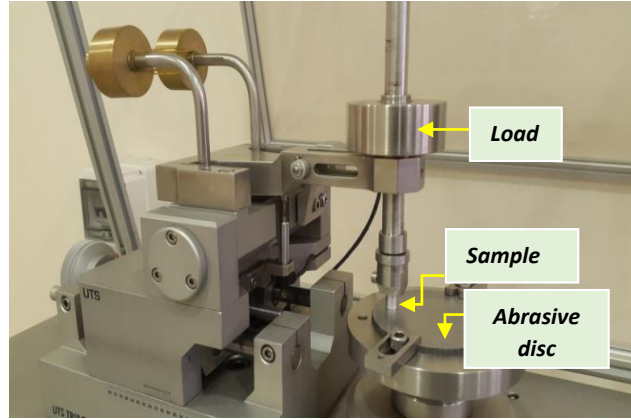


Figure A. Abrasion tester machine

Purpose: The main purpose of this study, investigation of the effects of α -Si₃N₄ as a reinforcing element on the wear performance of aluminum matrix composite materials.

Theory and Methods: In this study, for Al- α -Si₃N₄ composite materials, powder metallurgy as a production method and dry sliding pin-on disc method as wearing method were used

Results: The homogeneous distribution of Al- α -Si₃N₄ powders in each other has been accomplished successfully by mixing process in the adritor. The hardness values of all samples increased after the sintering process. when silicon nitride ratio used in matrix structure increased hardness of composite materials increased also. According to the abrasion test results, while the applied load increased, amount of wear losses increased in all samples. Wear losses decreased while reinforcing ratio increased in composite.

Conclusion: It was observed that density, hardness and abrasion performance of composite samples produced by powder metallurgy method improved considerably according to matrix material.

GU J Sci, Part C, 7(4): 776-787 (2019)



Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ


<http://dergipark.gov.tr/guisc>

Al-Si₃N₄Toz Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Davranışının Araştırılması

Halil ARIK 

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500,Yenimahalle/ANKARA

Öz

Alüminyum ve alaşımları başta otomotiv ve havacılık sektörü olmak üzere pek çok alanda tercih edilen metal ve alaşım grubunu oluşturmaktadır. Alüminyum alaşımlarının üstün özellikleri yanında sertlik ve aşınma direnci gibi özelliklerinin bazı uygulamalarda beklentilerin uzağında kalması alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi çalışmalarını daha değerli ve gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada toz metalürjisi metodu ile üretilen α -Si₃N₄ içeren alüminyum matrisli kompozit malzemelerde takviye elemanı oranının kompozitin aşınma davranışı üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında α -Si₃N₄ içeren karışım tozlar kalıp içerisinde 500 MPa basınç altında preslenerek 10 mm çapta ve 15 mm boyda blok numuneler üretilmiştir. Daha sonra preslenen numuneler atmosfer kontrollü tüp fırında 2 saat süreyle 650 °C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Toz metal kompozit parçaların yoğunluk ve sertlik ölçümleri sonrası pin-on-disk metoduyla kuru kayma aşınma testleri yapılmıştır. Testler TIRIBOMETER T10/20 aşındırma test cihazında ASTM G99-05' göre yapılmıştır. Aşındırma testleri 1,41 m/s kayma hızı ve 2000 m mesafede farklı yükler (5-10-15 N) altında tekrarlanmıştır. Alınan aşınma test sonuçları aynı şartlarda üretilen matris malzemeye göre değişik oranlarda α -Si₃N₄ takviyeli kompozitlerin daha iyi aşınma direncinde sahip olduğunu göstermektedir. En yüksek aşınma direnci ve sertlik değerleri ağırlıkça % 15 silisyum nitrür içeren kompozit malzemede görülmüştür.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 17/09/2019
Düzeltilme: 01/10/2019
Kabul: 06/10/2019

Anahtar Kelimeler

Toz Metalurjisi,
Kompozit Malzeme,
Al-Si₃N₄,
Aşınma Davranışı.

Keywords

Powder Metallurgy,
Composite Material,
Al-Si₃N₄,
Wear Behaviour.

Production of Al-Si₃N₄ Powder Metal Composite Material and Investigation of Wear Behavior

Abstract

Aluminum and its alloys as a structural materials are preferred in many fields, especially in the automotive and aerospace sectors. Conversely to many superior properties of aluminum and its alloys the fact that its properties such as hardness and wear resistance are far from the expectations in some applications makes the production of aluminum matrix composite materials more valuable and necessary. In this study, it is aimed to determine the effect of Si₃N₄ ratio on wear behavior of aluminum matrix composite material produced by powder metallurgy method. Mixed aluminum powders containing 5 %, 10% and 15% by weight α -Si₃N₄ were pressed in the die under 500 MPa pressure and 10 mm diameter and 15 mm length block samples were produced. Then pressed samples were sintered in an atmosphere controlled tube furnace for 2 hours at 650 °C. After the characterization study such as density and hardness measurements, dry sliding wear test all of the composite materials were performed by using pin-on-disk method. The tests were carried out on the TIRIBOMETER T10 / 20 abrasion tester according to ASTM G99-05. Dry sliding wear tests of composite were carried out under the different load (5-10-15 N) and at 1.41 m/s sliding speed for 2000 m wear distance. Wear test results showed that composite materials containing silicon nitride at different ratio have better wear resistance according to matrix powder metal parts produced under the same conditions. The highest wear resistance and hardness values were seen at composite materials.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum ve alaşımları hafif olmaları, ısı ve elektriği iyi iletmeleri, oksidasyon dirençlerinin ve özgül ağırlıklarına oranla yüksek mukavemete sahip olmalarından dolayı uzay ve havacılık başta olmak üzere

pek çok sektörde yoğun şekilde tüketilmektedir. Buna karşılık yüksek sıcaklık ve aşındırıcı ortamlardaki performansının beklentilerin gerisinde kalması alüminyum matrisli ve seramik parçacık takviyeli kompozit malzeme üretimi üzerine yapılan çalışmalara hız vermiştir. Alüminyum matrisli seramik takviyeli kompozit malzeme üretimi genel olarak ergiyik veya katı hal yöntemi şeklinde gerçekleştirilmektedir [1-5]. Ergiyik yöntemle kompozit üretiminde ergiyik metal içerisine değişen oranlarda bir veya daha fazla tür seramik esaslı SiC, Al₄C₃, B₄C, Al₂O₃, Si₃N₄ gibi karbür, oksit veya nitrür tipi katı parçacık şeklinde takviye elemanı ilavesi yapılarak kompozit üretimi gerçekleştirilmektedir. Katı hal yöntemi olarak ise yoğun şekilde toz metalürjisi metodu ile toz metal kompozit parça üretimi yapılmaktadır [6-11].

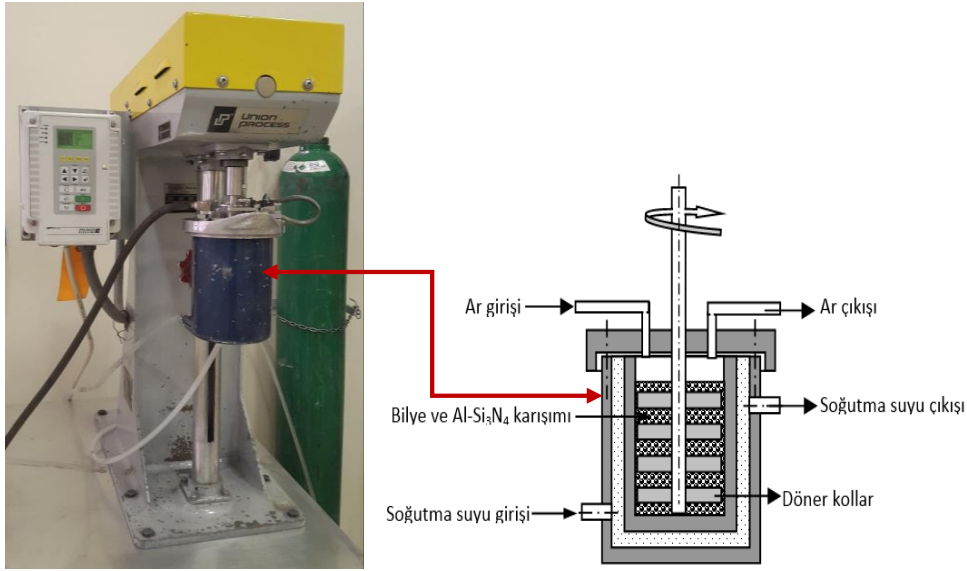
Bu yöntemle üretimde alüminyum-seramik karışım tozların kalıp içerisinde preslenmesi sonrası atmosfer kontrollü ortamlarda uygun sıcaklık ve sürede sinterlenmesi veya presleme ve sinterlemenin aynı anda gerçekleştirildiği sıcak presleme şeklinde üretim yapılabilmektedir [12-14]. Katı hal yöntemine göre ergiyik yöntemle daha yoğun ve mukavim kompozit malzeme üretimi yapılabilirken seramik partiküllerin matris yapı içindeki dağılımında görülen düzensizlikler ve ergiyik matris yapı tarafından katı seramik partiküllerin ıslatılabilirliğinin yeterli olmadığı durumlarda ara yüzeydeki bağlanmanın zayıf kalması sıkça karşılaşılan problemlerdir. Ayrıca ergiyik yöntemle üretilen kompozit malzemelerden parça imalatında talaşlı imalat şeklindeki bitirme işçiliklerinde kesici takım aşınmaları ve gerekli parça yüzey kalitesini elde etmedeki güçlükler bu uygulamanın dezavantajlı yanları olarak sıralanabilir. Toz metalürjisi metodu ile üretimde seri üretim şeklinde kısa sürede çok sayıda parça üretimi, çoğu durumda üretimi hedeflenen parçanın nihai ölçülerinde ve yüzey kalitesinde veya buna çok yakın parça üretimi yapılabilmektedir. Böylece sert ve talaşlı imalatı zor seramik takviye elemanı içeren toz metal parçalar üzerinden talaşlı işleme ile yapılan sonlandırma işçilikleri en aza ineabilmektedir. Üretilen toz metal kompozit parçalarda yüksek yoğunluk ve mukavemet hedeflendiği durumlarda sıcak presleme şeklinde üretim tercih edilebilir. Ancak sıcak presleme ile parça üretimi hızlı ve seri imalatı ortadan kaldıran bir handikapa sahiptir [15-18].

Bu çalışmada değişen molar oranlarda α -Si₃N₄ içeren alüminyum matrisli kompozit üretimi klasik toz metalürjisi üretim aşamaları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Literatür taramasında alüminyum matrisli partikül takviyeli kompozit üretiminde yoğun olarak SiC, B₄C veya Al₂O₃ gibi karbür yada oksit takviyeli kompozit üretimi üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir [19-22]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise birden fazla takviye elemanı içeren hibrit türü kompozit üretimi üzerine yapılan çalışmalarda bir artış görülmekte. Özellikle alüminyum matrisli seramik takviyeli üretilen kompozitlerin tribolojik özelliklerini iyileştirmek için değişen oranlarda grafit kullanıldığı görülmekte [23-26]. Alüminyum matrisli kompozit üretiminde α -Si₃N₄ takviyeli çalışmaların çok az olması SiC veya Al₂O₃' göre maliyetinin yüksek olmasından en önemli sebeptir [27-28]. Pek çok parçanın kullanım yerinde değişik etkenler tesiri altında aşınmasının parçanın kullanım ömrünü azalttığı, çalışma performansını düşürdüğü veya üretimde ürün ve hizmet kalitesini olumsuz etkilediği, bazı hallerde ciddi iş kazalarına sebep olduğu bilinmektedir. Aşınmaya maruz kalan bu tür parçaların aşınmaya karşı dayancını artırmaya yönelik çalışmalar her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Bu sebeple, metal esaslı parçaların aşınmaya karşı aşınma kayıplarının etkili bir şekilde azaltılması ve kontrolü her zaman istenen bir durumdur [29-30]. Bu çalışmada literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak ultra düşük partikül boyut aralığında (0,1-0,3 μ m) α -Si₃N₄ takviye elemanı kullanılırken her iki tozun birbiri içerisindeki karışımını daha homojen kılmak ve matrisle seramik partiküllerin bağlanmasını güçlendirmek için karıştırma işlemi çelik bilye içeren yüksek enerjili atritörde gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada üretilmek istenen Al metal matrisli ve α -Si₃N₄ parçacık takviyeli toz metal kompozit malzeme için matris malzemesi olarak ECKART Dorn firmasından temin edilen % 97,9 saflıkta ve toz tane boyutu 200 μ m altı ECKA AS 91/S serisi atomize alüminyum tozu kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak T&N TECHNOLOGY LTD firmasından temin edilen 0,1-0,3 μ m parçacık boyut aralığında α -Si₃N₄ tozu kullanılmıştır. Ağırlıkça % 5-10 ve 15 oranında α -Si₃N₄ içeren karışım tozların hassas tartımlar sonrası karıştırma işlemi şekil 1'de verilen yüksek enerjili atritörde yapılmıştır. Mekanik olarak tozların karıştırılması süresince alüminyum tozun birbirine kaynak olmasını ve ortamdaki bilye, karıştırıcı kollar ve

atritör tankı yüzeyine sıvanmasını önlemek amacıyla ortama ağırlıkça %1,5 oranında yağlayıcı olarak çinko streat (ZnSt) ilave edilmiştir (Tablo 1).

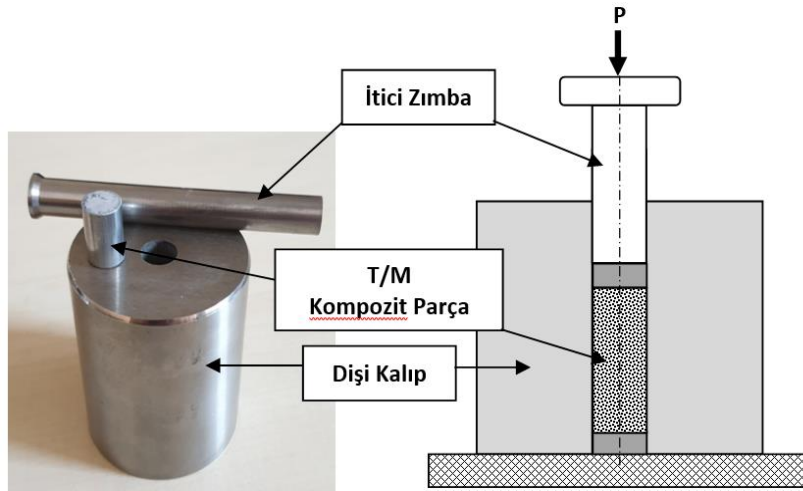


Şekil 1. Yüksek enerjili atritör

Tablo 1. Mekanik karıştırma parametreleri.

Numune	Karışım malzeme	ZnSt. (% ağırlık olarak)	Ağırlık olarak çelik bilye/ Toz oranı	Karıştırma süresi (saat)	Karıştırma atmosferi	Karıştırma (dev/dak.)
1	Al+ % 5 α -Si ₃ N ₄	1,5	10:1	2	Ar	450
2	Al+ % 10 α -Si ₃ N ₄	1,5	10:1	2	Ar	450
3	Al+ % 15 α -Si ₃ N ₄	1,5	10:1	2	Ar	450

Karıştırma sırasında karıştırma ortamına oksitlenmeyi önlemek için koruyucu argon gazı beslenirken uygulamaya bağlı açığa çıkacak ısınmayı önlemek için de sürekli olarak suyla soğutma sağlanmıştır. Karıştırma sonrası elde edilen tozlardan 500 MPa basınç altında tek yönlü aksel kalıpta 10 mm çapta ve 15 mm boyda silindirik blok numuneler preslendi (Şekil 2). Presleme sonrası ham yoğunluk ölçümleri yapılan numuneler atmosfer kontrollü tüp fırında sinterlendi. Numuneler grafit kayık içerisinde tüp fırın merkezine yerleştirildikten sonra fırın sinterleme sıcaklığına (650 °C) kadar 5 °C/dak. hızla yükseltildi ve bu sıcaklıkta 2 saat bekletildi. Sinterleme süresi bitiminde fırın kontrollü olarak oda sıcaklığına soğutuldu.



Şekil 2. Toz metal kompozit numunelerin preslenmesi

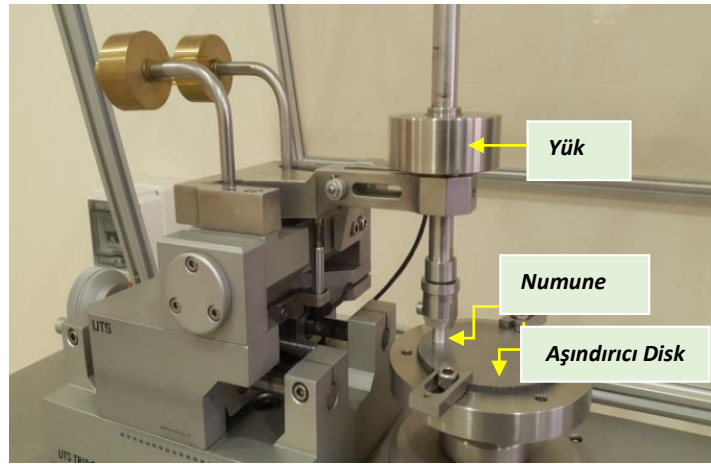
Sinterlenen numunelerin yoğunluk ölçümleri 0,1 mg hassasiyette tartım yapabilen hassas terazide yoğunluk kiti kullanılarak arşiment prensibine göre yapıldı. Numunelerin brinell cinsinden sertlik ölçümleri 31,25 kgf yük altında ve 2,5 mm çapta tungsten karbür standart bilye kullanılarak gerçekleştirildi. Her numune üzerinden 5 farklı ölçüm yapıldı ve ortalaması toz metal kompozit numunelerin sertlik değeri olarak alındı. Metalografik inceleme için sıcak bakalite alma işlemi sonrası numune yüzeyleri sırayla 320-1200 μm aralığında SiC zımpara kağıdında zımparalama ve devamında 6-3 ve 1 μm elmas solüsyon kullanılarak parlatılmıştır. Numune yüzeyinden optik ve SEM-EDX görüntüleri alınarak kompozit numuneler sinterleşme ve faz dağılımı bakımından incelenmiştir.

2.1. Aşınma Testi (Wear Test)

Üretilen toz metal parçaların karakterizasyon çalışmaları sonrası farklı oranlarda takviye elemanı içeren kompozit numunelerin **Pin-on-disk** metodu ile kuru kayma aşınma testleri yapıldı. Testler Şekil 3'te verilen **UST TIRIBOMETER T10/20** cihazı kullanılarak yapıldı. Aşındırma test değişkenleri tablo 2' verilmiştir. Aşındırma testi öncesi her numunenin yüzeyleri hassas olarak temizlenmiş ve daha sonra 0,1 mg ölçüm hassasiyetinde hassas terazide ağırlık tartımları yapılmıştır. Aşındırma testi öncesi ve sonrası ölçülen ağırlık değerlerinden hareketle toz metal numunelerdeki aşınmaya bağlı ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

Tablo 2. Malzeme ve **pin-on-disk** aşındırma test değişkenleri

Numune	Karışım malzeme	Kayma hızı (m/s)	Kayma mesafesi (m)	Uygulanan yük (N)	Aşındırıcı çelik disk	Aşındırma standardı
1	Al	1,41	2000	5-10-15	Hardox-500 (52 HRC)	ASTM G99-05
2	Al+ % 5 α -Si ₃ N ₄					
3	Al+ % 10 α -Si ₃ N ₄					
4	Al+ % 15 α -Si ₃ N ₄					



Şekil 3. Pin-on-disk aşındırma test cihazı

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSION)

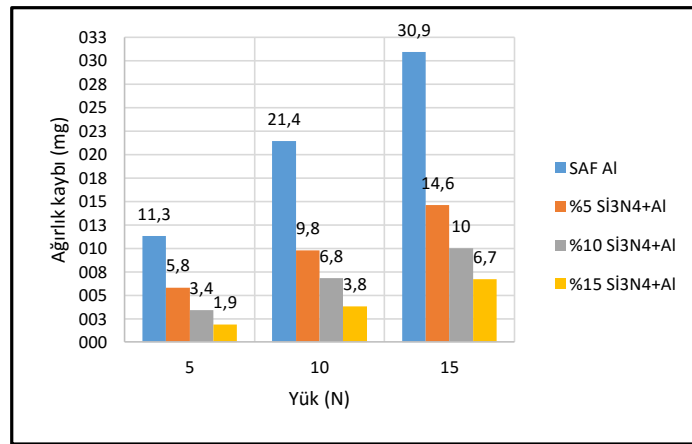
Atritörde karıştırma sonrası % 5 α -Si₃N₄ içeren karışım tozun şeklinde ve ortalama toz tane boyutunda önemli bir değişme görülmezken, % 10 α -Si₃N₄ içeren karışım tozda toz tane boyutu ortalama değeri 42,23 μm ' ye kadar düşmüştür. Burada takviye elemanı kompozit tozun sertliğini artırıp, deforme olarak şekil değişimini önemli ölçüde sınırlandırmakta ve kompozit toz partiküllerinde parçalanarak boyutta küçülme daha etkili şekilde ortaya çıkmaktadır. % 15 α -Si₃N₄ içeren karışım tozda ise matris yapıyı oluşturan alüminyum toz partiküllerinin kısmen birbirine kaynaklanarak aglomera olduğu görülmekte. Bu durum karışım tozun ortalama toz tane boyutunun %10 α -Si₃N₄ içeren karışım toza göre bir miktar artmasına neden olmuştur. Bu durum özellikle ortama yağlayıcı katılmadığı veya yağlayıcının yetersiz kaldığı durumlarda ortaya çıkan bir problemdir [31].

Bütün numunelerde sinterleme öncesi ham yoğunluk değerlerine göre sinterleme sonrası yoğunluk değerlerinin arttığı görülmekte. % 15 α -Si₃N₄ içeren numunede takviye elemanı oranındaki artış kompozitte sinterleşmeyi kısmen engelleyip % 10 α -Si₃N₄ içeren numuneye göre bir miktar yoğunluğun düşmesine sebep olmuştur. Metal matrisli kompozit malzemelerde seramik partikül takviye oranı artarken toz metal blok malzemelerde sinterleşme ve yoğunluk artışı azalmaktadır. Sertlik ölçüm sonuçları matris yapıya göre bütün kompozit numunelerde daha yüksek sertlik değerleri elde edildiğini gösterirken aynı zamanda takviye oranı artışının kompozit malzemelerin sertlik değerlerini de aynı şekilde artırdığını göstermektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Numunelerin yoğunluk, sertlik ve ortalama toz parçacık boyutundaki değişim

Karışım toz	Ortalama toz tane boyutu (μ m)	Ham yoğunluk (%)	Sinterleme sonrası yoğunluk (%)	Sertlik (HBw)
Saf Al	104,86	97,6	97,8	46,1
Al+5 % α -Si ₃ N ₄	97,87	91,5	94,5	65,9
Al+10 % α -Si ₃ N ₄	42,23	94	97,1	70,0
Al+15 % α -Si ₃ N ₄	61,02	92	94,6	76,1

Aşınma testleri sonrası numune kompozisyonuna ve uygulanan yüke bağlı ağırlık kayıplarındaki değişim Şekil 4'te görülmekte. 5 N yük altında gerçekleştirilen aşındırma testleri sonrası sırayla matris malzemede 11,3 mg, % 5 α -Si₃N₄ içeren kompozitte 5,8 mg, % 10 α -Si₃N₄ içeren kompozitte 3,4 mg ve % 15 α -Si₃N₄ içeren numunede 1,9 mg ağırlık kaybı olduğu görülmekte. Elde edilen sonuçlar matris malzemeye göre α -Si₃N₄ içeren kompozit malzemelerin aşınma kayıplarında ciddi bir azalma olduğunu göstermektedir. Aşındırmaya bağlı ağırlık kayıplarında matris malzemeye göre sırayla % 5 α -Si₃N₄ içeren kompozitte % 48,67, % 10 α -Si₃N₄ içeren kompozitte % 69,91 ve % 15 α -Si₃N₄ içeren kompozitte % 83,18; nispetinde azalma görülmüştür (Şekil 4). Uygulanan 5 N yük altında ortaya çıkan ağırlık kayıplarına göre takviye elemanı ilavesinin matris malzemenin aşınma direncinde ciddi bir iyileşme sağladığı görülmekte. Takviye elemanı oranı artarken aşınma kayıplarının da hızla düştüğü görülmektedir.



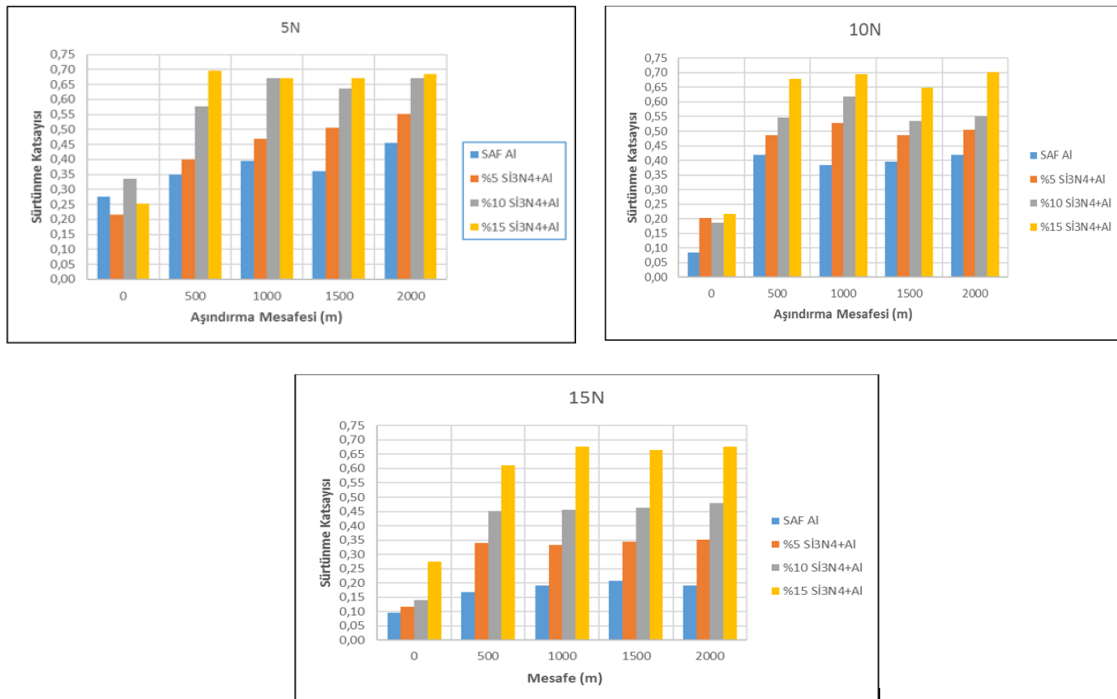
Şekil 4. Yüke ve malzeme kompozisyonuna bağlı aşınma kaybı değerlerindeki değişim

Test sonuçlarına göre uygulanan yük artarken bütün numunelerde aşınma değerleri artmıştır. 5 N yük altında matris malzemede ağırlık kaybı 11,3 mg iken aynı şartlarda 10 N yük altında % 89,38 artarak, 21,4 mg'a, 15 N yük altında % 173,4 artarak 30,9 mg değerine yükselmiştir. Bu sonuçlar literatür taramasında görülen benzer çalışmalarla da uyumludur. Aşınmaya etkiyen diğer parametreler değişmediği sürece uygulanan yük artarken aşınma değerleri artmaktadır [32-34].

Kompozit numunelerde de aynı şekilde yük artışına bağlı aşınma değerleri artmıştır. Örneğin % 15 α -Si₃N₄ içeren kompozitte 5 N yük altında 1,9 mg ağırlık kaybı olurken, 10 N yük altında % 100 artarak 3,8 mg, 15 N yük altında % 252,6 artarak 6,7 mg ağırlık kaybı ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar yük artışına bağlı olarak matris malzemeye göre kompozit malzemelerdeki ağırlık kaybı oranlarının bir miktar yüksek olduğu

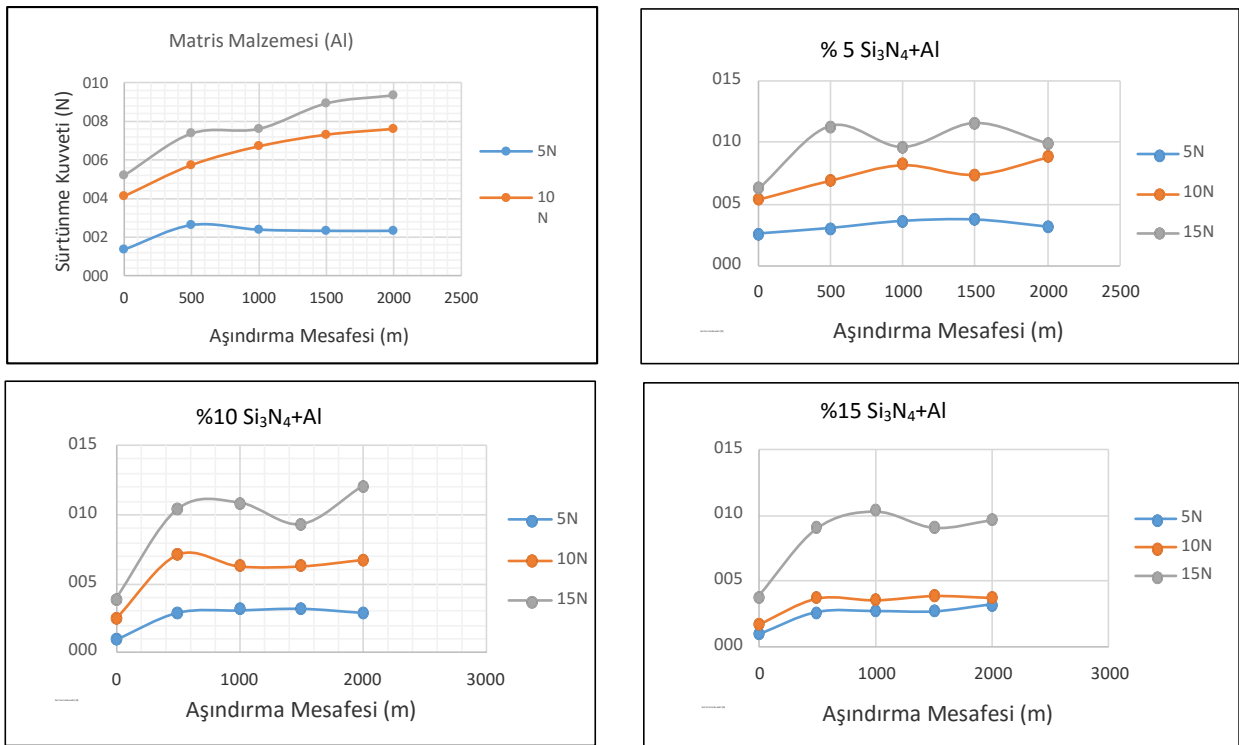
görülmekte. Bunun temel sebebi matris malzemeden üretilen numuneler aşındırılırken karşı aşındırıcı disk yüzeyinde ciddi bir bozulma oluşturmazken, kompozit numunelerde durum farklıdır. Kompozit numuneler kendileri aşınırken içerdiği seramik takviye elemanının tesiriyle karşı disk yüzeyini de çizerek ve yüzey pürüzlülüğünü bozarak çelik diskin aşındırma etkisini artırmaktadır. Numunelerin aynı iz üzerinde dairesel dönme hareketi yaparak aşındığını düşünürsek aşındırıcı yüzeydeki her tür bozulma test numunesinin aşınma değerlerini doğrudan etkilemektedir.

Burada görülen etki aşındırıcı disk yüzeyinin bozulmaya bağlı olarak test numunesini aşındırma etkisinin daha da artmış olacağı şeklindedir. Buna göre mevcut elde edilen aşınma değerlerinin disk yüzeyindeki bozulma ve artan aşındırma etkisinden dolayı olması gerekenden bir miktar daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Yani kompozit malzemeler mevcut disk üzerinde aşındırılırken disk yüzeyinde herhangi bir bozulma olmasaydı kompozit numunelerin matris malzemeye göre aşınma kaybı değerleri çok daha düşük olacaktı. Seramik parçacık takviyeli kompozit malzemelerin pin-on-disk metodu ile çelik disk üzerinde aşınma testlerinde pratik olarak bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak kolay değildir. Bu çalışmada olduğu gibi takviye elemanı partikül boyutu ne kadar küçük olursa aşındırıcı karşı diskin aşındırılan numuneden etkilemesi o derece düşük olacaktır. Seramik partikül boyutu büyük olan kompozit malzemelerde seramik parçacıkların çizerek çelik diski aşındırma etkisi daha yüksek olacaktır. Aşındırılan numunelerin α - Si_3N_4 içeriğine ve uygulanan yüke bağlı olarak belirli mesafelerdeki (500-1000-1500-2000 m) sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde genel olarak matris malzemeye göre kompozit malzemedeki sürtünme katsayısı değerlerinin arttığı görülmektedir. Örneğin 5 N yük altında 500 m mesafede sürtünme katsayısı matris malzemesi için 0,34, % 5 α - Si_3N_4 içeren kompozitte 0,40, % 10 α - Si_3N_4 içeren kompozitte 0,57 ve % 15 α - Si_3N_4 içeren kompozitte 0,70 olarak ölçülmüştür. Sonuçlar takviye elemanı oranı artarken sürtünme katsayısının da arttığını göstermektedir [35]. Genel olarak yük artışına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerlerinde ciddi bir değişim görülmemektedir. Bütün kompozit numuneler için sürtünme katsayısı değerleri 0,20 ile 0,70 arası değişim göstermektedir (Şekil 5). Mesafe artarken aşınma katsayısı değerlerinde küçüğe olsa artma görülürken zaman zaman tersi sonuçlarda ortaya çıkmıştır. Aşındırılan malzemenin toz metal parça olması sinterleşme ve takviye elemanı partiküllerin matris yapı içerisindeki dağılımında yer yer görülen farklılıklardan dolayı farklı sonuçların ortaya çıkması beklenebilir. Genel olarak matris malzemeye göre kompozit malzemelerde sürtünme katsayısı değerinin takviye oranı artışına paralel olarak artıyor olması disk yüzeyindeki bozulmaya bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.



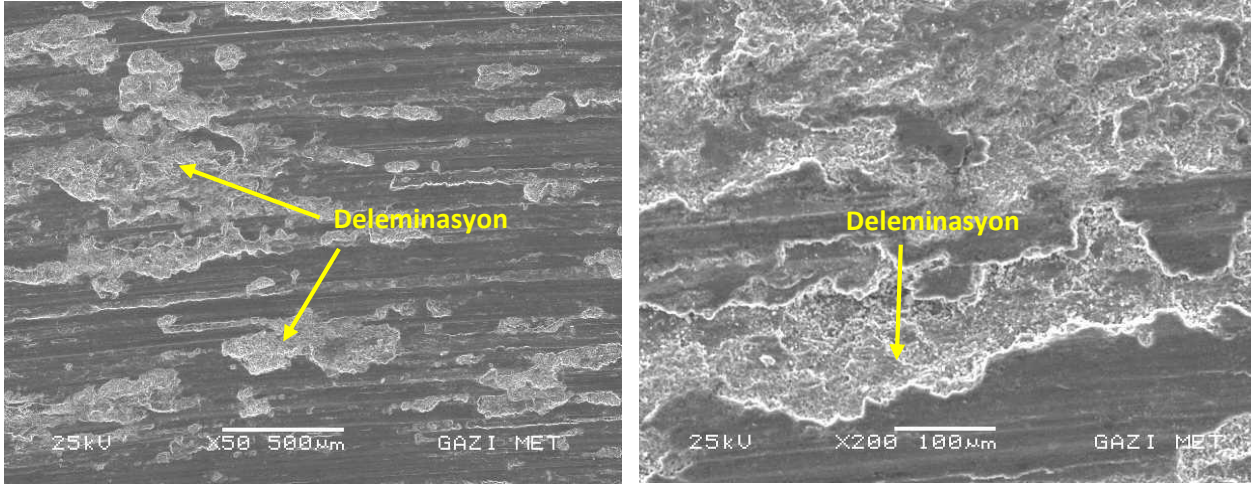
Şekil 5. Değişen yükler altında malzeme kompozisyonuna ve aşındırma mesafesine bağlı sürtünme katsayısındaki değişim

Matris malzemesi ve değişen oranlarda α - Si_3N_4 takviye elemanı içeren kompozit toz metal numuneler için değişen yükler altında ve belirli aşındırma mesafelerindeki sürtünme kuvveti değerleri şekil 6'de verilmektedir. Matris malzeme üzerinden alınan değerler uygulanan yük artışına paralel olarak sürtünme kuvveti değerlerinin arttığını göstermekte. Sürtünme mesafesi artarken bütün yüklerde sürtünme kuvvetlerinin bir miktar arttığı görülmekte bunun nedeni sürtünmeye bağlı aşındırıcı çelik yüzeyin ve aşınan numunenin yüzey kalitesinin bozulmasından kaynaklandığı söylenebilir. Kompozit numunelerde de benzer şekilde yükteki artışa paralel sürtünme kuvvetlerinin arttığı görülürken, bütün kompozit numunelerde aşındırma mesafesi artarken kısmi artış görülmektedir. Numunelerdeki takviye oranı artarken kısmen sürtünme kuvvetlerinde bir düşüş görülsede bu durum bütün yükler ve mesafeler için çok uyumlu görünmemektedir. Bunun sebebi çok dar aralıklardan cihaz veri kaydederken malzemenin kompozit ve toz metal parça olmasından kaynaklı olarak alınan verilerde hem sürtünme katsayısı değerlerinde hem de sürtünme kuvveti değerlerinde ciddi dalgalanmalar olmasındandır.

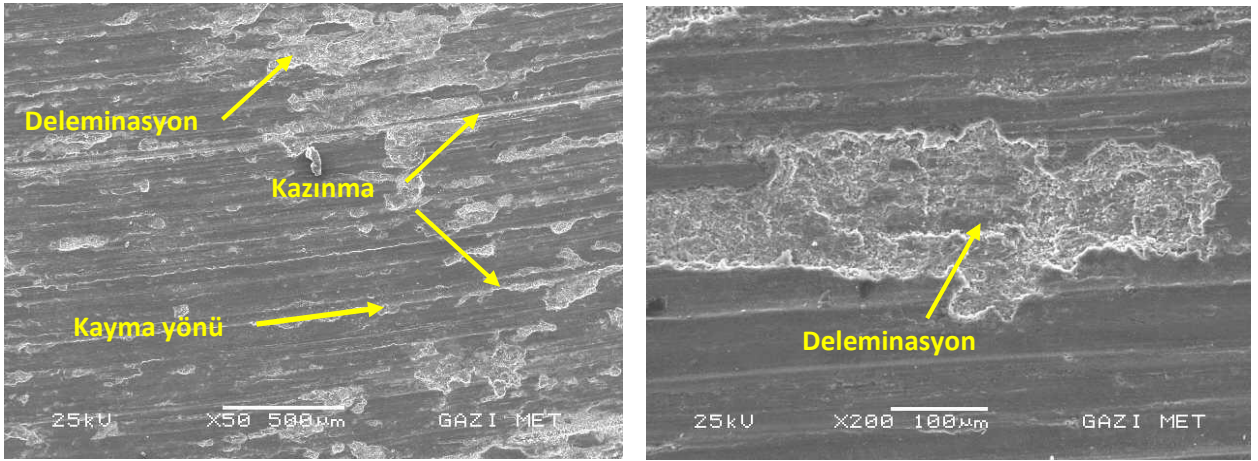


Şekil 6. Matris ve kompozit malzemelerde değişen yükler ve aşındırma mesafelerine bağlı sürtünme kuvvetlerindeki değişim.

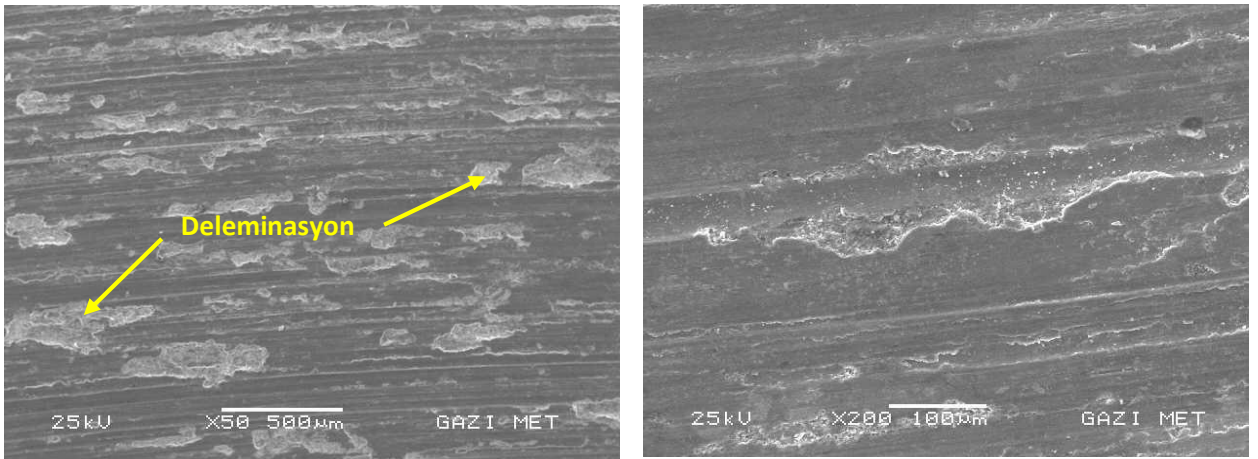
20 N yük altında yapılan aşındırma testleri sonrası numune yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri bütün numunelerde yoğun şekilde delemantasyon türü aşınma mekanizmasının gerçekleştiğini göstermektedir. Bu tür yüzeyden aşınarak kopan kitlenin takviye elemanının kompozit içerisindeki oranı artarken azalma eğilimine girdiği görülmekte (Şekil 7-9). Elde edilen görüntüler aşınmaya bağlı ortaya çıkan ağırlık kaybı değerleriyle de uyumludur. Aşınan yüzeylerde yer yer kazınma şeklinde abrasiv aşınma mekanizmasının da meydana geldiği bu durum kompozitteki takviye elemanının tesiriyle bozulmuş olan aşındırıcı disk yüzeyinin sebep olduğu şeklinde yorumlanmıştır. % 15 α - Si_3N_4 içeren kompozitte numune yüzeylerinde kazınarak abrasiv aşınmanın ve delemantasyon türü aşınarak kopan parçacıkların boyutunun küçüldüğü görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 7. % 5 α -Si₃N₄ içeren kompozit numunenin 20 N yük altında aşınma yüzey desenleri



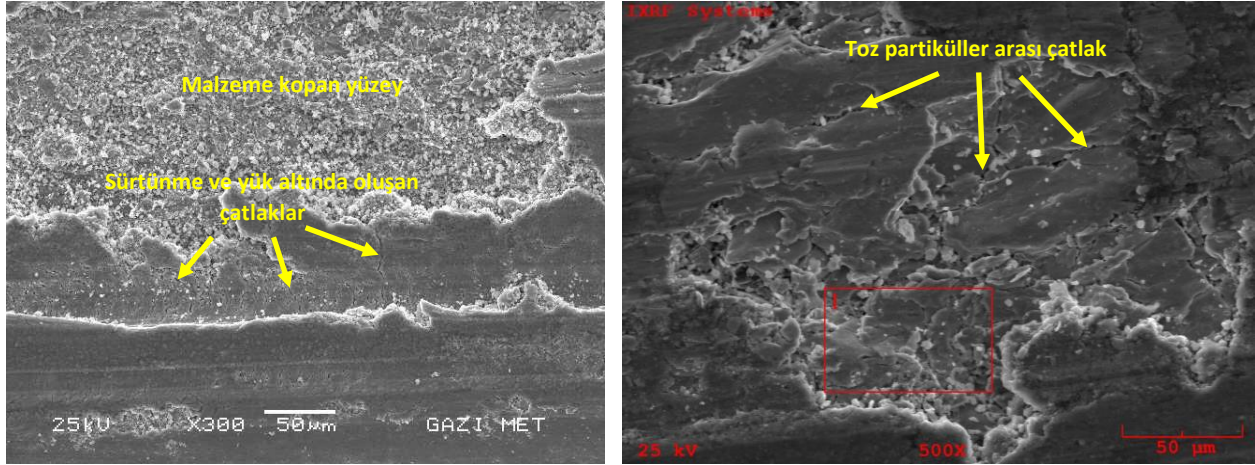
Şekil 8. % 10 α -Si₃N₄ içeren kompozit numunenin 20 N yük altında aşınma yüzey desenleri



Şekil 9. % 15 α -Si₃N₄ içeren kompozit numunenin 20 N yük altında aşınma yüzey desenleri

Aşınma sürecinde sürtünme ve basma kuvvetleri tesiri altında deleminasyon (kavkıma) şeklinde kopan veya kopmaya yakın parçaların tabaka halinde yüzeyden ayrıldığı görülmekte. Bu durumda kompozit toz metal parçanın kendi içerisinde sinterleşme derecesi çok büyük öneme sahiptir. Toz metal parçada yeterince sinterleşme olmadığı veya toz partiküllerin ara yüzeylerinde kalan atık ve gözenekler çatlak oluşumuna ve büyümesine sebep olabilir. Aşınmaya maruz kalacak parçalarda bu tip sorunları aşabilmek için yüksek yoğunluk ve sinterleşme ile bağlanmayı mümkün kılan sıcak presleme ile parça üretimi tercih edilebilir. Literatür taramasında karşılaşılan sıvı metal yöntemiyle üretilen benzer kompozisyonda toz metal kompozit

malzeme üretiminde kısmen daha yüksek yoğunluk ve mukavemet değerleri elde edildiği görülmektedir [36-37] . Şekil 10’da aşınmaya bağlı numune yüzeyinden malzeme kopmuş bir yüzey ve kenar bölgelerden kopmaya yakın parçalar ve buna sebep olan çatlak oluşumu görülmektedir.



Şekil 10. % 5 α -Si₃N₄ içeren kompozit numunenin 20 N yük altında aşınan yüzeyinde deleminasyon türü aşınma

Yüzeyden kopan kompozit parçanın oluşturduğu boşluktan alınan SEM görüntüleri kompozit yapıdaki toz partiküllerin birbirlerine sinterlenerek bağlanmalarının kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Kopan parçanın gerisinde kalan ve aşındırıcı diskle teması kesilen bölgeden alınan SEM-EDX analiz sonuçları kompozit malzemenin içerdiği takviye elemanlarının tesiri altında aşındırıcı diskin çizilmesi sonucu açığa çıkan atıkların kompozit yüzeyini ciddi olarak kirlettiği görülmektedir. Bu bölgeden alınan analiz sonucu kompozit malzeme kompozisyonunda olmayan demiri % 81,14 mertebesinde göstermektedir (Şekil 10).

Genel sonuçlar (General results)

1. Toz metalurjisi metodu ile değişen molar oranlarında α -Si₃N₄ içeren alüminyum matrisli toz metal kompozit malzemeler başarıyla üretilmiştir.
2. Matris malzemeye göre kompozit malzemelerde % 65' kadar sertlik artışı sağlanmıştır.
3. Aynı şartlarda üretilen matris malzemeye göre kompozit malzemelerin tümünde aşınma davranışında iyileşmeler görülürken, en yüksek aşınma dayancı % 15 α -Si₃N₄ içeren numunede ortaya çıkmıştır.
4. Aşınan numune yüzeylerinden alınan SEM-EDX görüntü ve sonuçları numunelerde deleminasyon tipi aşınma mekanizmasının yoğun olarak ortaya çıktığını göstermektedir.
5. Kompozit numunelerin aşındırılmasında aşındırıcı disk yüzeyi kompozitteki takviye elemanı tarafından çizilerek abrasiv aşınma meydana geldiği bunun sonucu olarak aşınan kompozit numune yüzeylerini kısmen abrasiv aşınma gerçekleştiği görülmekte.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Rosso M. 2006, Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties. Journal of Materials Processing Technology, 175 (364-375), (2006).
- [2] Sahu P.S., Banchhor R. Effect of different reinforcement on mechanical properties of aluminium metal matrix composites, Res. J. Engineering Sci., 6 (39-45), (2017).
- [3] Matli M.R., Matli R.R et all. Structural and mechanical properties of amorphous Si₃N₄ nanoparticles reinforced Al matrix composites prepared by microwave sintering. Ceramics, 2 (126-134), (2019).
- [4] Mahajan G.V., Aher V.S. Composite material: A review over current development and automotive application, International Journal of Scientific and Research Publications, 2 (1-5), (2012).

- [5] Babalola P.O., Bolu C.A., et al. Development of aluminium matrix composites: A review, *Journal of Engineering and Technology Research*, 1(1-11), (2014).
- [6] Ervina Efzan M.N., Siti Syazwani N., and Abdullah M.M.A.B. Fabrication method of aluminum matrix composite (Amcs): A review, *Key Engineering Materials*, 700(02-110), (2016).
- [7] Ramnath B.V., Elanchezian C. Aluminium metal matrix composites - A review, *Advanced Materials Science*, 38(55-60), (2014).
- [8] Manohar G., Dey A., Pandey K.M. and Maity S.R. Fabrication of metal matrix composites by powder metallurgy: A review, *International Conference on Electrical, Electronics, Materials and Applied Science*, 020041(1-8), (2019).
- [9] Thirumoorthy A, Arjunan T.V., Senthil Kumar K.L. Latest research development in aluminum matrix with particulate reinforcement composites – A review, *Materials Today: Proceedings* 5(1657–1665), (2018).
- [10] Attar S., Nagaral M., et al. A review on particulate reinforced aluminum metal matrix composites, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 2(225-229), (2015).
- [11] Bedir F. Characteristic properties of Al-Cu-SiCp and Al-Cu-B₄Cp composites produced by hot pressing method under nitrogen atmosphere, *Materials and Design*, 28(1238-1244), (2007).
- [12] Kırmızı G., Arık H., Çinici H. Experimental study on mechanical and ballistic behaviours of silicon carbide reinforced functionally graded aluminum foam composites. *Composites Part B*, 164(345-357), (2019).
- [13] O'Donnell G., Looney L. Production of aluminium matrix composite components using conventional PM technology, *Materials Science and Engineering A*. 303(292-301), (2001).
- [14] Kaczmar J.W., Pietrzak K., Włosinski W. The production and application of metal matrix composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 106(58-67), (2000).
- [15] Mahdavi S., Akhlaghi FR. Effect of the SiC particle size on the dry sliding wear behavior of sic and sic-gr-reinforced Al6061 composites, *J Mater Sci*, 46(7883-7894), (2011).
- [16] Sureshkumar P., Uvaraja V. Effect of ceramic and metallic reinforcement on mechanical, corrosion, and tribological behavior of aluminum composite by adopting design of experiment through taguchi technique. *Journal of Tribology*, 140(1-11), (2018).
- [17] Kumar M., Gupta R.K., Pandey A. A review on fabrication and characteristics of metal matrix composites fabricated by stir casting. *Conference Series: Materials Science and Engineering*, 377(1-9), (2018).
- [18] Saravanan R., Vinod K., Tamilarasan T. Investigation of wear behaviour of al 6061 alloy reinforced with sic, Al₂O₃ and e glass fiber. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, 1(430-434), (2015).
- [19] Imran M., Anwar Khan A.R. Characterization of Al-7075 metal matrix composites: A review. *J. Materials Research and Technology*, 8(3347–3356), (2019).
- [20] Ramesh B.T. Characterization of Al based nano composites using powder metallurgy technique. *International Journal of Research In Aeronautical and Mechanical Engineering*, 2(131-147), (2014).
- [21] William C., Harrigan Jr. Commercial processing of metal matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 244(75-79), (1998).

- [22] Ambigai R., Prabhu S. Optimization of friction and wear behaviour of Al-Si₃N₄ nano composite and Al-Gr-Si₃N₄ hybrid composite under dry sliding conditions. *Trans. Nonferrous Met*, 27(986-997), (2017).
- [23] Ul Haq M.I., Anand A. Dry sliding friction and wear behaviour of hybrid AA7075/Si₃N₄/Gr self lubricating composites. *Mater. Res. Express*, 5(1-12), (2018).
- [24] Sharma P., Sharma S., and Khanduja D. Production and characterization of AA6082-(Si₃N₄+Gr) stir cast hybrid composites. *Particulate Science and Technology*, 35(158-165), (2017).
- [25] Monikandan V.V., Joseph M.A., Rajendrakumar P.K. Dry sliding wear studies of aluminum matrix hybrid composites. *Resource-Efficient Technologies*, 2(12-24), (2016).
- [26] Ambigai R., Prabhu S. Fuzzy logic algorithm based optimization of the tribological behavior of Al-Gr-Si₃N₄ hybrid composite. *Measurement*, 146(736–748), (2019).
- [27] Tyagi A., Sharma D. Characterization of AA6082/Si₃N₄ composites, 1st International conference on new frontiers in engineering. *Science & Technology*, New Delhi, India, January 8-12, (2018).
- [28] Sharma P., Sharma S., Khanduja D. Production and some properties of Si₃N₄ reinforced aluminium alloy composites. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 3(352-359), (2015).
- [29] Arik H., Semerci P., Kırmızı G. Sıcak presleme ile alüminyum matrisli ve Al₂O₃ takviyeli toz metal kompozit malzeme üretimi ve aşınma davranışının araştırılması. *GU J Sci, Part C*, 5(87-97), (2017).
- [30] Arik H., Orhun D.Z., Investigation of dry sliding wear behavior of powder metal (p/m) materials produced from mixture of Fe-Cu-C powders. *GU J Sci, Part A*, 5 (37-48), (2018).
- [31] Arik H. Effect of mechanical alloying process on mechanical properties of α -Si₃N₄ reinforced aluminum-based composite materials. *Materials & Design*, 29(1865-1861), (2008).
- [32] Ramesh B. T., Arun Kumar M. B., Swamy R.P. Dry sliding wear test conducted on pin-on-disk testing setup for Al6061-sic metal matrix composites fabricated by powder metallurgy. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(264-270), (2015).
- [33] Lawrence O.O., Oluwaseyi O. T., and Samson O. A. The dry sliding wear behaviour of aluminum composites: A review. *The West Indian Journal of Engineering*, 40(17-23), (2017).
- [34] Veeresh Kumar G.B., Rao C.S.P., Selvaraj N. Studies on mechanical and dry sliding wear of Al6061–Sic composites. *Composites: Part B*, 43(1185–1191), (2012).
- [35] Rao R.N., Das S. Effect of matrix alloy and influence of sic particle on the sliding wear characteristics of aluminium alloy composites. *Materials and Design*, 31(1200-1207), (2010).
- [36] Ul Haq M.I., Anand A. Dry sliding friction and wear behavior of AA7075-Si₃N₄ composite. *Silicon*, 10(1819-1829), (2018).
- [37] Radhika N., Raghu R. Parametric study of dry sliding wear behaviour of functionally graded Al LM25/Si₃N₄ composite by response surface methodology. *Advanced Composites Letter*, 24(130-136), (2015).