

Investigation of Wear Properties of Al-SiC Composite Materials Produced by Powder Metallurgy Method

Halil ARIK

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

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 05/07/2019

Revision 01/08/2019

Accepted: 29/08/2019

Highlights

- Mixing of powders in turbula device.
- Compaction of mixing powders and sintering of block samples
- Dry sliding wear tests of composite materials by pin-on-disc method

Keywords

Powder metallurgy,
Al-SiC composite,
Abrasive wear

In this study, SiC reinforced composite material was produced by applying powder metallurgy production technique as solid state method. Initially, mechanically grinding and mixing process of the aluminum and SiC powder was realized in turbula device containing steel ball. Then, mechanical tests and metallographic examinations of powder metal composite samples which were pressed at 500 MPa pressure and sintered for 2 hours at 650 °C were performed. 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-disc method. Wear tests of composite were carried out under the different load (3-6-9- and 12 N) and at 1,15 m/s sliding speed for 200 m wear distance using SiC emery paper. Wear test results showed that composite materials containing SiC have better wear resistance according to matrix powder metal parts produced under the same conditions.

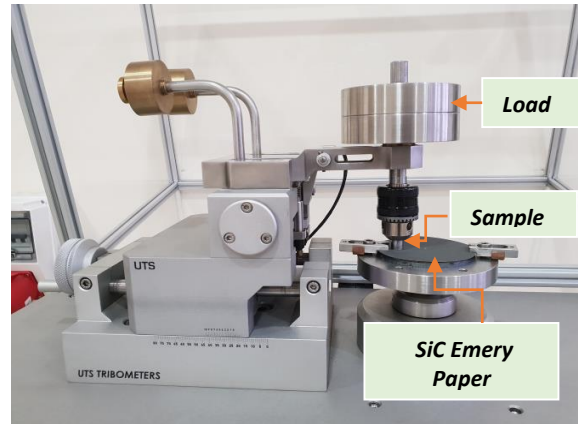


Figure 1. Abrasive test machine

Purpose: The main purpose of this study, investigation of the effects of SiC as a reinforcing element on the wear properties of aluminum matrix composite materials.

Theory and Methods: In this study, for Al-SiC 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 aluminum and SiC powders in each other has been accomplished successfully by mixing process in the turbula device. In the produced powder metal composite material, 30.9% hardness increase was obtained compared to the aluminum powder metal part which forms the matrix structure. According to the abrasive test results, adding to the matrix 10% by weight SiC caused a decrease in weight loss in the range of 48.4% to 79.6% in composite materials.

Conclusion: The mixing of aluminum and silicon carbide powders under the deformation effects of steel balls in the turbula device provided a homogeneous distribution of the powders within each other. This has resulted in significant improvements in the mechanical properties of the composite material, in particular the wear behavior.



Toz Metalurjisi Metoduyla Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması

Hali ARIK

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

Öz

Alüminyum matrisli seramik parçacık takviyeli kompozitler matris malzemeye göre daha yüksek aşınma ve ısı genleşme direnci gibi özelliklerinden dolayı özellikle uzay ve havacılık alanında tercih edilen malzemelerdir. Bu çalışmada katı hal yöntemi olan toz metalurjisi üretim metodu uygulanarak SiC takviyeli kompozit malzeme üretilmiştir. Başlangıçta matris yapıyı oluşturan atomize alüminyum tozu ve SiC tozu turbula cihazında mekanik olarak öğütme ve karıştırma işlemine tabi tutularak kompozit toz üretimi gerçekleştirilmiştir. 500 MPa basınçta preslenen ve 650 °C'de 2 saat süreyle sinterlenen toz metal kompozit numunelerin mekanik testleri ve metalografik incelemeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen uygulama ile takviye elemanının matris yapı içerisinde homojen dağılımı ve kompozitin aşınma direnci başta olmak üzere mekanik özelliklerinde iyileştirme hedeflenmiştir. Üretilen kompozit malzeme üzerinden gerçekleştirilen metalografik incelemeler mekanik karıştırma ile SiC'ün matris yapı içerisinde homojen dağılımının gerçekleştiğini gösterirken elde edilen sertlik, kırma testi ve aşındırma testi sonuçları alüminyuma SiC ilavesinin kompozit malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 05/07/2019

Düzeltilme: 01/08/2019

Kabul: 29/09/2019

Anahtar Kelimeler

Toz metalurjisi,
Al-SiC kompozit,
Abrasive aşınma

Keywords

Powder metallurgy,
Al-SiC composite,
Abrasive wear

Investigation of Wear Properties of Al-SiC Composite Materials Produced by Powder Metallurgy Method

Abstract

Aluminum matrix and ceramic particle reinforced composites are preferred materials especially in aerospace and aviation field due to their high abrasion and thermal expansion resistance compared to matrix material. In this study, SiC reinforced composite material was produced by applying powder metallurgy production technique as solid state method. Initially, to obtain composite powder, mechanically grinding and mixing process of the aluminum and SiC powder was realized in turbula device containing steel ball. Then, mechanical tests and metallographic examinations of powder metal composite samples which were pressed at 500 MPa pressure and sintered for 2 hours at 650 °C were performed. The aim of this study, by obtaining the homogeneous distribution of the SiC strengthening particles in the aluminum matrix structure was to improve the mechanical properties of the matrix structure, particularly the abrasive wear resistance. Tests results have shown that the composite has better wear resistance than aluminum powder metal part. It has been observed that by adding silicon carbide into the aluminum, abrasive wear resistance and other mechanical properties considerably improved.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda ortaya çıkan teknolojik gelişmeler özellikle mühendislik alanında tüketilmekte olan malzemelerden performans anlamında beklentileri daha da artırmıştır. İki veya daha fazla farkı malzemenin bir araya getirilerek üretilen kompozit malzemeler bu beklentilere önemli ölçüde cevap verebilen bir alternatif malzeme grubunu oluşturmaktadır. Başlangıçta daha çok uzay ve havacılık alanında kullanılan araçlar için yapı malzemesi olarak tasarlanan ve üretilen kompozit malzemeler ilerleyen süreçte özellikle otomotiv sektörü başta olmak üzere pek çok alanda yaygın şekilde tüketilir hale gelmiştir. Kompozit malzeme üretiminde matris yapıyı polimer, seramik veya metal oluşturabilir. Metal matrisli kompozitler (MMK) yüksek sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özellikler ile düşük termal genleşme özelliklerini bir arada verebilen ve bu sebeple yapı elmanı olarak tercih edilen malzemelerdir [1-4]. Üretilen metal matrisli

kompozitler içerisinde alüminyum matrisli malzemeler önemli bir yere sahiptir. Alüminyuma ve alaşımlarına göre alüminyum matrisli kompozitlerde elde edilen daha yüksek sertlik, mukavemet, tokluk ve aşınma direnci gibi potansiyel özellikler bu tür malzemeler üzerine olan çalışmaları artıran bir hızla devam ettirmektedir [5-9]. Seramik parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretiminde ergiyik yöntem ve katı hal yöntemi olarak iki farklı yoldan biri tercih edilmektedir [10]. Ergiyik yöntemde ergiyik alüminyum metaline katı parçacık olarak takviye elemanı ilave edilirken karşılaşılan en belirgin problem takviye elemanının matris yapı içerisinde dağılımındaki düzensizliklerdir. Katı hal yöntemi olan toz metalürjisi metodu ile üretilen kompozitlerde ise matris ve takviye elemanı konumundaki tozların katı halde birbiri içerisinde karıştırılması sonra karışım tozun preslenmesi ve sinterlenmesi şeklinde kompozit toz metal parça üretimi gerçekleştirilir. Üretilen kompozit malzemelerde başta mekanik özellikler olmak üzere hedeflenen özellikleri elde edebilmek için kullanılan tozların karışım oranları, birbiri içerisindeki dağılımı, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi parametrelerin çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir [10-14]. Parçacık takviyeli kompozit üretiminde toz metalürjisi ile üretimin tercih edilme sebeplerini; tüketilen tozun yüksek oranda ürüne dönüştürülebilmesi, ergitme kayıplarının olmaması, seri üretimle küçük ve karmaşık şekilli parçaların hızlı üretimi, pek çok ürünün bitirme işçiliğine gerek kalmadan istenen ölçülerde ve yüzey kalitesinde üretimi, ürün kompozisyonu ve yapısının kontrol edilebilir olması, ayrıca atık ve çevre kirliliği bakımında diğer üretim yöntemlerine göre sağladığı avantajları tercih sebepleri olarak sıralayabiliriz. Dezavantajı yanları ise; çok karmaşık parçaların üretim güçlüğü, az sayıda parça üretimi için maliyetin yüksek olması, çoğu zaman toz maliyetinin ingot malzemeye göre yüksek olması olarak sıralanabilir. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci için partikül takviyeli ve alüminyum matrisli kompozit üretiminde takviye elemanı olarak seramik esaslı SiC, B₄C, Al₂O₃, ZrO₂, TiC, Si₃N₄ ile birlikte ağırlıkça %1,5 değerini geçmeyecek oranlarda katı yağlayıcı tüketilmektedir. Matris içerisine ilave edilen takviye elemanının temel görevi kompozitteki matris yapının sertliğini ve ısı şok direncini iyileştirmektir. Parçacık takviyeli toz metal kompozit malzeme üretiminde takviye elemanının matris yapı içerisindeki dağılımı çok önemlidir. Toz metal parçanın bütün kesitinden aynı özellikleri elde etmek için takviye elemanının matris yapı içerisindeki dağılımının homojen olması büyük önem taşımaktadır [15-19].

Küresel enerji tüketiminin yaklaşık üçte biri değişik ortamlarda sürtünmeye karşı tüketilmektedir. Değişik makine elemanlarının çalışma sürecinde birbiri ile temasına bağlı olarak meydana gelen aşınmalar, parçalarda boyutsal değişimlere sebep olurken, bu parçaların çalışma ritminde bozulmalara, erken parça değişimlerine zaman ve ürün kayıplarına sebep olarak üretim ve hizmet maliyetlerini artıran neticeler doğurmaktadır. Bu sebeple, metallerin aşınmasının etkili bir şekilde azaltılması ve kontrolü her zaman istenen bir durumdur. Aşınma, “iki yüzey birbiriyle göreceli hareket halinde iken, bir veya iki yüzeyden malzemenin aşınarak eksilmesi olarak tanımlanabilir. Mevcut aşınma şekline göre aşınma mekanizmaları, abrasiv, adhesiv, eroziv, koroziv ve yüzey yorulma aşınması şeklinde isimlendirilirken bunlardan abrasiv aşınma görülme sıklığı ve neticeleri bakımından en önemli aşınma çeşitlerinden biridir [20-23].

Abrasiv aşınma, sert bir yüzeyin daha yumuşak bir yüzeye doğru kaydığı ve partikül koştugu zaman meydana gelen aşınma olarak tanımlanır. Sürtünme yüzeylerinden birindeki kesen veya oyan sert parçacıklar ya da pürüzler diğer yüzeyde aşındırıcı bir etki yapar. Bu sert malzeme, iki sürtünme yüzeyinden birinden kaynaklanabilir. Son tribolojik araştırmalara göre, aşınmaya bağlı yıpranma endüstriyel uygulamada en büyük maddi kayıptan sorumludur [15-24-25]. Al matrisli seramik partikül takviyeli ergiyik ve toz metalürjisi yöntemi olmak üzere her iki yolla yapılan pek çok kompozit üretimi ve başta mekanik özellikleri olmak üzere iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Toz metalürjisi yöntemiyle üretimde kullanılan seramik partikül boyutu küçülürken matris yapı içerisinde kümelenmeler şeklinde, partikül boyutu büyürken matris yapı içerisinde homojen olmayan dağılım sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Özellikle seramik karakterdeki takviye elemanlarının metal toz partikülleri arasında yer alması sinterleme sürecinde metal tozlar arası difüzyonla bağlanmayı engellerken seramik partiküllerin matris yapıya bağlanması da beklentilerin gerisinde kalmaktadır. Bu sebeple metal ve seramik tozların karıştırma işlemi çoğu zaman yüksek enerjili adritörlerde yapılmaktadır. Literatür taramasında görülen benzer çalışmalar incelendiğinde takviye elemanı oranı belli bir sınırın üstüne çıkarken kompozit malzemelerin aşınma dayanımlarının azaldığı görülmektedir [26]. Yapılan bu çalışmada alüminyum matrisli ve % 10 SiC parçacık takviyeli MMK üretimi yapılırken tozların birbiri içerisinde homojen dağılımını sağlamak ve tozlar arası mekanik bağlanmayı artırmak için karıştırma işlemi çelik bilye içeren silindirik plastik kapta turbula cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Turbula cihazında bilye içeren ortamda karıştırma yaparak yüksek enerjili

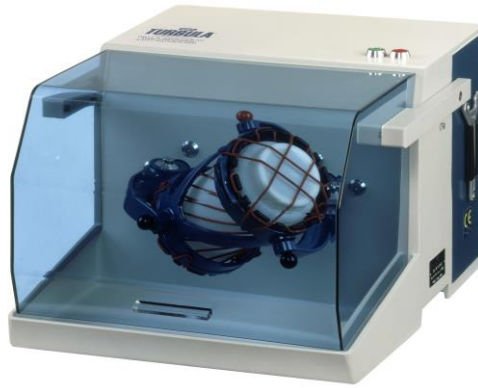
adritör etkisi elde edilmek istemiştir. Üretilen kompozit malzemenin yoğunluk, sertlik, kırılma mukavemeti ve mikroyapı bakımından karakterizasyonu sonrası abrasiv aşınma testleri yapılarak takviye elemanının matris yapının aşınma performansına olan etkileri ortaya konulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

Kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak ECKART Dorn firmasından temin edilen % 97,7 saflıkta ve 200 μm altı boyutta atomize alüminyum, takviye elemanı olarak 16 μm altı SiC toz kullanılmıştır. Tozların birbiri içerisinde karıştırılması şekil 1' verilen turbula (Type -T2F) cihazında gerçekleştirilmiş olup, işlem parametreleri tablo 1'de verilmiştir.

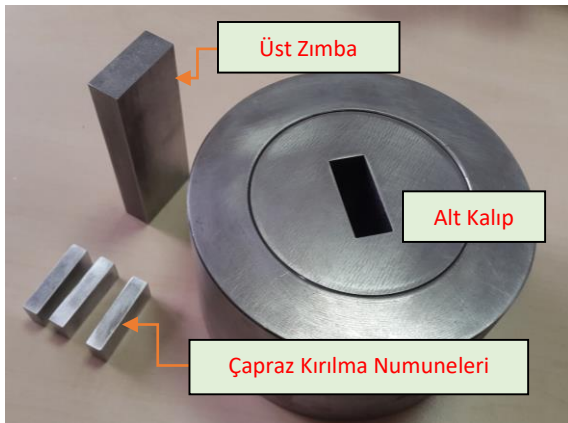
Tablo 1. Mekanik Karıştırma Parametreleri

Malzeme	Al (gr)	SiC (gr)	10 mm çapta çelik bilye (g)	Kar. süresi (Saat)
Al+SiC	225	25	200	2

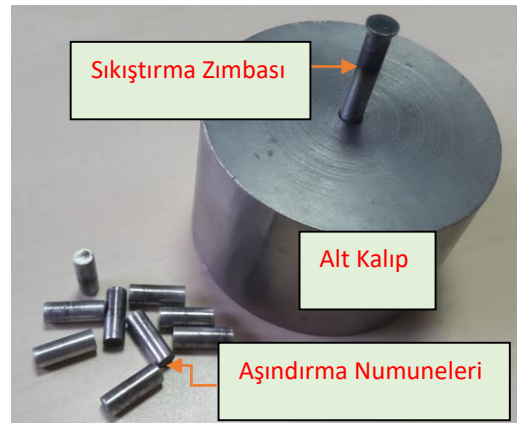


Şekil 1. Turbula karıştırma cihazı

Karıştırma sonrası kompozit tozun toz parçacık boyutu ve dağılımı **Malvern Mastersizer E. ver. 1.2b** cihazında ölçülmüştür. Kompozit tozdan ve matris malzemesinden 500 MPa basınç altında tek yönlü aksenal preste kalıp içerisinde iki farklı geometride numune preslenmiştir. İlk olarak ASTM B-312'ye göre 6,35x12,7x31,7 mm boyutlarında çapraz kırılma numuneleri (Şekil 2), daha sonra silindirik kalıpta çapı 6 mm ve boyu 12 mm olan silindirik pin-on-disk aşındırma testi numuneleri üretilmiştir (Şekil 3).



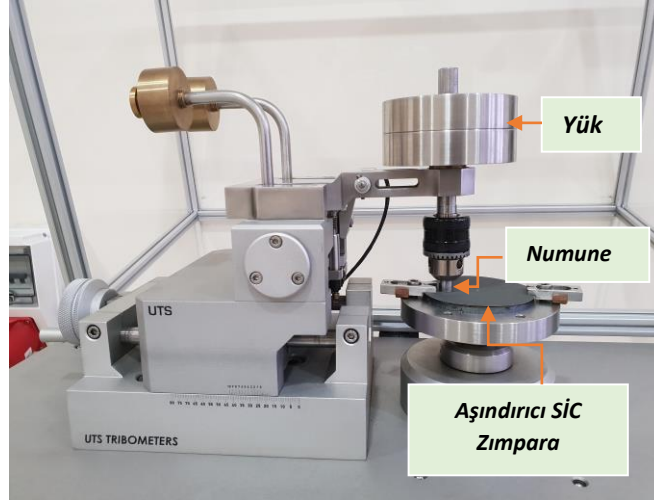
Şekil 2. Çapraz kırılma numunesi kalıbı



Şekil 3. Silindirik numune kalıbı

Her iki kalıpta matris malzemesinden ve kompozit tozdan preslenerek üretilen numuneler 650 °C sıcaklıkta ve 2 saat süreyle korucu Ar gazı ortamında tüp fırında sinterlendi. Toz metal numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunluk ölçümleri 0,1 mg hassasiyette SARTORIUS marka terazide yoğunluk kiti yardımıyla arşiment prensibine göre yapıldı. Numunelerin sertlik ölçümleri Brinell cinsinden 31,25 kgf yük altında 2,5 mm çapta standart tungsten karbür bilye kullanılarak gerçekleştirildi. Çapraz kırılma testleri INSTRON

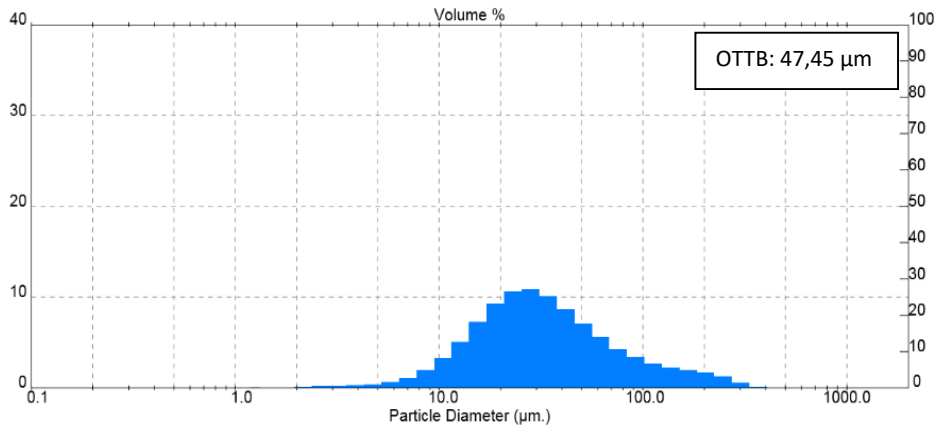
Cat. # 2716-020 çekme test cihazında yapıldı. Numuneler üzerinden metalografik inceleme için sırayla bakalite gömme, 320-1200 mesh aralığında zımparalama ve son olarak sırayla 6-3-1 mikron elmas solüsyonla parlatma işlemleri gerçekleştirildi. Metalografik yapı ve mekanik özellikler bakımından karakterize edilen toz metal numunelerin aşınma testleri Şekil 4'te verilen aşınma test cihazı kullanılarak 200 m mesafede farklı yükler (3-6-9-12 N) altında ve farklı SiC zımpara aşındırıcılar (320-400 ve 600 Mesh) üzerinde gerçekleştirildi (Şekil 4).



Şekil 4. Aşındırma test cihazı

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSION)

Mekanik karıştırma sonrası karışım toz üzerinden yapılan toz tane boyut ölçümünde karışım tozun önemli ölçüde deforme olarak şeklinin ve boyutunun değiştiği görülmektedir. Mekanik karıştırma sürecinde öncelikle alüminyum toz parçacıkları bilyelerin çarpma tesiri altında deforme olarak pekleşmekte ve devamında kırılarak daha küçük parçalara bölünmektedir. Yapılan ölçüm sonrası karışım tozun ortalama toz parçacık boyutunun (OTPB) $47,45 \mu\text{m}$ ' ye düştüğü görülmektedir (Şekil 5). Yine karışım tozun mikroskop incelemelerindeki görüntüleri alüminyum tozun başlangıçtaki küresele yakın parçacık morfolojisinin önemli ölçüde bozulduğunu göstermektedir. Elde edilen neticeler literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olup, karıştırma süresi veya karışım toza karşılık bilye miktarı artarken karışım tozun deformasyonu ve boyuttaki küçülme daha da artmaktadır. Ancak karıştırma sürecinde tozların birbirine kaynaklanması ve topaklanması karıştırma süresince toz parçacık boyutundaki küçülmeyi kısmen engelleyebilir. Bu durumu önlemek için karışım toza başlangıçta ağırlıkça % 1,5 değerini geçmeyen miktarlarda yağlayıcı ilavesi yapılabilir. Yapılan uygulamada alüminyum toz parçacıklarının birbirine kaynaklanması ciddi anlamda ortama ilave edilen SiC tarafından engellenmiştir [27-28].



Şekil 5. Kompozit tozun toz tane boyut dağılımı

Turbula cihazında yapılan mekanik karıştırma işleminde çelik bilyelerin kullanım amacı alüminyum ve SiC tozların birbiri içerisinde dağılımını daha homojen kılmak ve matris yapı ile takviye elemanı arasındaki mekanik bağlanmanın daha iyi olması sağlamaktır. Toz metalürjisi metodu ile parçacık takviyeli ve alüminyum matrisli kompozit malzeme üretiminde gerekli tedbirler alınmadığı takdirde takviye elemanı olarak ortama ilave edilen seramik tozun yer yer topaklandığı yada daha çok alüminyum toz parçacıkları ara yüzeyinde bulunarak matris yapının kendi içerisinde difüzyonla sinterleşmesini önemli ölçüde engellemektedir [28].

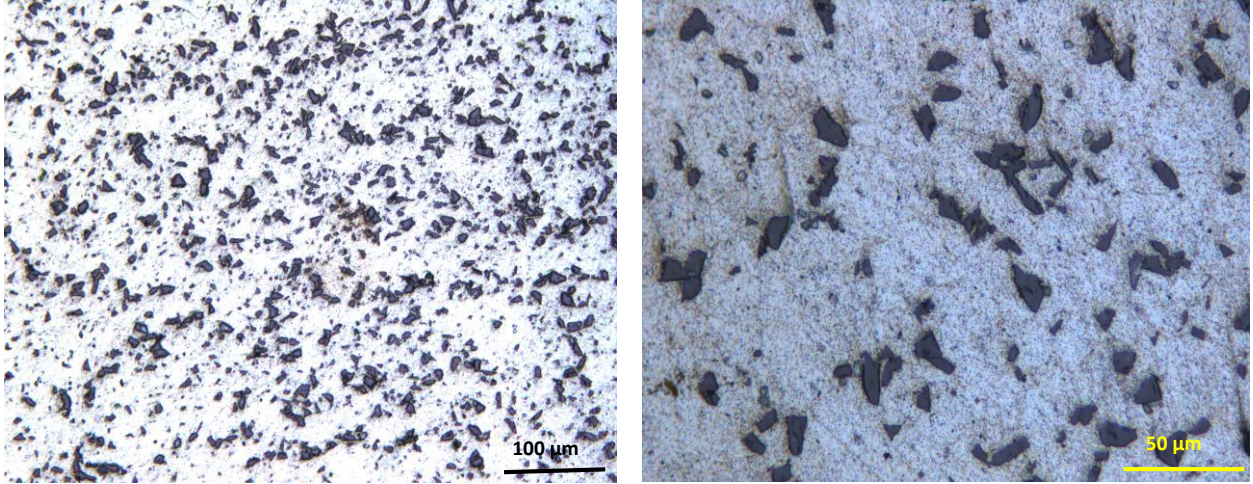
Presleme sonrası toz metal parçalar üzerinden yapılan ham yoğunluk ölçümlerinde matris yapıyı oluşturan alüminyuma göre kompozitin yoğunluğunun bir miktar azaldığı görülmektedir. Bunun en önemli sebebi kompozit tozun karıştırmaya bağlı pekleşmeden ve içerdiği SiC den dolayı kalıp içerisinde sıkıştırılabilirliğinin ve her bir toz partikülün birine mekanik olarak bağlanabilirliğinin bir miktar azalmasından kaynaklanmaktadır. Sinterleme sonrasında beklendiği gibi hem matris hem de kompozit toz metal parçaların yoğunluk değerlerinin artmış olduğu görülmektedir (Tablo 2). Aynı şartlarda sinterlenmiş olmalarına rağmen kompozit numunede matris malzemeye karşılık sinterlemeye bağlı yoğunluk artışının daha fazla olmasının sebebi mekanik karıştırma ile deforme edilen alüminyum parçacıklarındaki iç enerji artışının sinterleme sürecinde difüzyonla bağlanma mekanizmasının gerçekleşmesine pozitif katkı vermesindedir. Kompozit malzemedeki takviye elemanı konumundaki SiC'ün sinterleşmedeki engelleyici etkisine rağmen yoğunlukta bu artışın ortaya çıkması tozların karıştırılması sürecinde bilye tesiri altında şiddetli bir şekilde deforme edilmiş olmasının olumlu bir neticesi olarak değerlendirilebilir.

Tablo 2. Sertlik ve Yoğunlukta Değişim

Malzeme	Al	Al+SiC
Ham yoğunluk (%)	94,6	92,8
Sin. Sonrası yoğunluk (%)	95,3	94,8
Sin. Sonrası Sertlik (HBw)	22,3	30,9

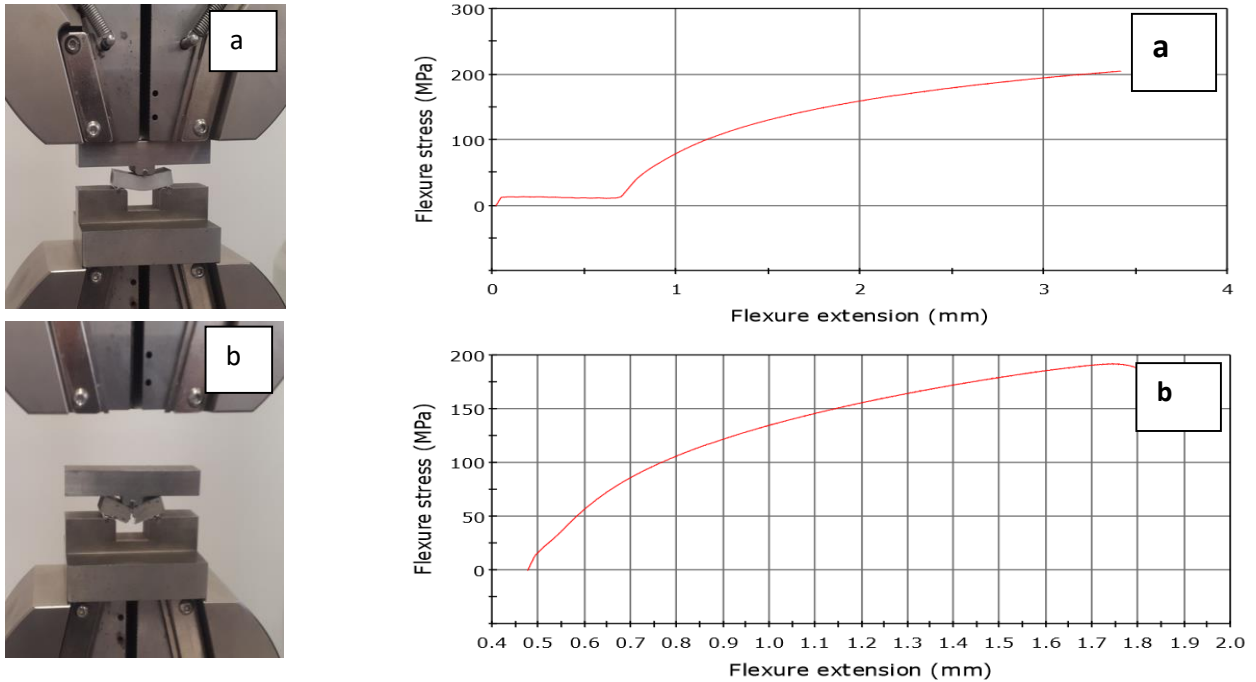
Normal olarak uygulanan presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı dikkate alındığında özellikle matris yapıyı oluşturan alüminyum tozdan elde edilen toz metal parçaların ham ve sinterleme sonrası yoğunluk değerlerinde bir miktar daha yüksek değerler beklenebilirdi. Ancak bunu engelleyen temel sebep toz metal parça üretim sürecinde özellikle alüminyum tozun kısmi oksidasyonudur. Alüminyum tozların partikül yüzeyindeki oksitlenmenin derecesi ne olursa olsun sinterleme sürecinde partiküller arası difüzyonu yani toz metal parçanın sinterlenebilirliğini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için preslene basıncını bir miktar olması gerekenden daha yüksek tutularak yüzeydeki oksit filmini kırarak oksit tabakanın toz parçacıkları arası difüzyonla bağlanmasına olan olumsuz engelleyici tesiri bir miktar düşürülebilir.

Sertlik sonuçları matris yapıya göre % 10 SiC takviye elemanı bulunduran toz metal kompozit parçada % 38,5'lik bir artış meydana geldiğini göstermektedir. Kompozit numune yüzeyinden yapılan pek çok sertlik ölçümü sonuçları birbirine çok yakın olup, bu durum takviye elemanının matris yapı içerisinde yüksek oranda homojen şekilde dağılmış olmasının bir sonucudur. Aynı zamanda toz metal parçanın bütün kesitinde gözenek dağılımı ve sinterleşmenin homojen şekilde olmasında kompozit üzerinden alınan pek çok sertlik ölçüm değerinin birbirine çok yakın olmasına sebeptir. Üretilen kompozit üzerinden yapılan mikroyapı incelemeleri bilyeli ortamda gerçekleştirilen mekanik karıştırmayla her iki tozun birbiri içerisinde ideale yakın derecede homojen şekilde karışmış olduğunu göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Takviye elemanınin matris yapı içerisindeki dağılımı

Alüminyum tozundan ve % 10 SiC içeren karışım tozdan aynı şartlarda üretilen toz metal numunelerin yapılan kırma testi sonuçları Şekil 7' ve 8'de görülmekte. Yapılan çapraz kırma testinde alüminyum toz metal parça uygulanan yük altında kırılmaktan çok eğilme davranışı göstererek deforme olmuştur. Numunenin alt destek ve üst yük uygulayıcı elemanlar harici kalıba temasına yakın konumda test sonlandırılmıştır (Şekil 7-a). Bu aşamada numunenin eğilme mukavemeti 204 MPa olarak ölçülmüştür. Alüminyum toz metal parçanın kırılma yerine sünek davranış göstererek eğilmesi kendi içinde sinterleşmenin iyi olduğunu göstermektedir. Kompozit numunede ise uygulanan yüke bağlı deformasyon miktarı azalırken 175 MPa değerinde numune kırılmıştır (Şekil 7-b). Elde edilen sonuçlar matris yapıya göre kompozit yapının eğilmeye karşı daha mukavim olduğunu göstermektedir. 175 MPa mukavemet gösterirken alüminyum toz metal parçadaki eğilme deformasyonu 2,37 mm iken bu değer kompozit numune için 1,83 mm olup, matris yapıya göre % 22,8 daha düşüktür. Elde edilen sertlik ve kırma testi sonuçları matris yapıyı oluşturan alüminyum toz metal parçaya göre % 10 SiC takviyeli kompozit numunenin mekanik özelliklerinde ciddi bir iyileşme olduğunu göstermektedir.



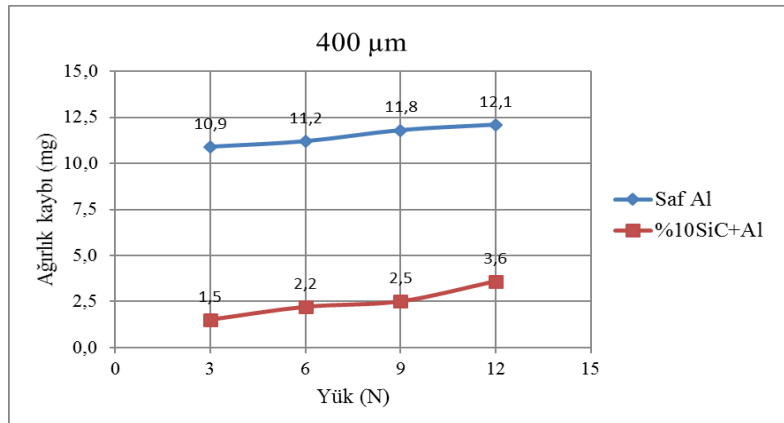
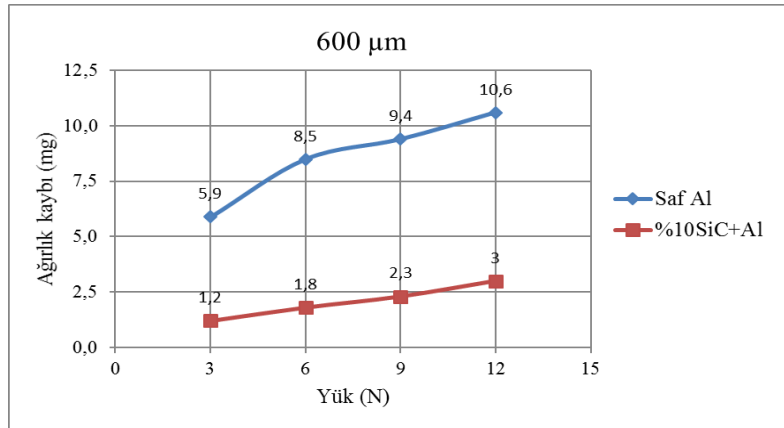
Şekil 7. Çapraz kırma testi sonuçları, a) Matris malzemesi, b) Kompozit malzeme (Al-SiC).

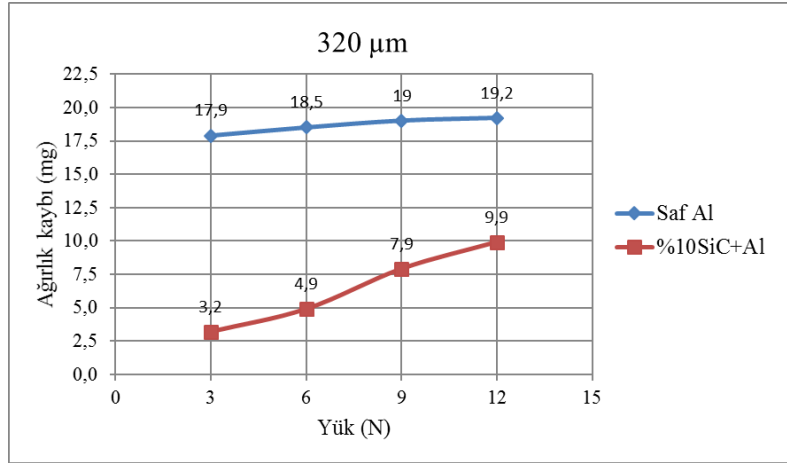
Aşınma testlerinde ilk olarak kompozitte matris yapıyı oluşturan alüminyumdan elde edilen toz metal parçanın abrasiv aşınma testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yükteki artışa paralel olarak numunelerin tamamında ağırlık kayıplarının arttığını göstermektedir (Şekil 8). Elde edilen sonuçlar yapılan benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumludur [29].

600 mesh zımpara kağıdı üzerinde yapılan aşınma testi sonunda 3 N yük altındaki aşınmaya bağlı ağırlık kaybı 5,9 mg iken bu değer 6 N için % 44 artarak 8,5 mg, 9 N için % 59,3 artarak 9,4 mg, 12 N için % 79,6 artarak 10,6 mg değerine yükselmiştir (Şekil 7-a). 400 ve 320 mesh zımpara üzerinde yapılan aşındırma testlerinde de aynı şekilde yük artışına paralel olarak aşınma değerlerinin artmış olduğu görülmekte (Şekil 8-b-c).

Uygulanan bütün yükler için elde edilen ağırlık kayıplarında aşındırıcı zımparadaki değişimin çok etkili olduğu görülmektedir. Zımpara da aşındırıcı partikül boyutu inceden kabaya giderken aşınma değerlerinde ciddi artışlar meydana gelmiştir. Örneğin, 600 mesh zımparada 12 N yük altında 10,6 mg aşınma olurken, aynı yük altında 400 mesh zımparada % 14,1 artarak 12,1 mg, 320 mesh zımparada % 81,1 artarak 19,2 mg değerine yükselmiştir.

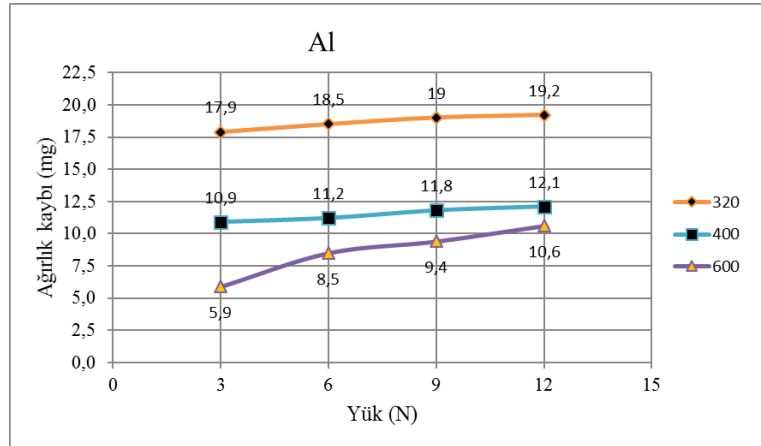
%10 SiC takviyeli kompozit malzemede aynı şartlar altında gerçekleştirilen testler sonucu elde edilen ağırlık kayıpları uygulanan yük artarken veya aşındırıcı zımpara inceden kabaya giderken aşınma kayıplarının ciddi olarak arttığı görülmektedir. Ancak matris yapıyı oluşturan alüminyum tozdan elde edilen toz metal parçanın ve %10 SiC içeren toz metal kompozit parçanın ağırlık kayıpları karşılaştırıldığında kompozit malzemenin aşınma değerlerinde ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Örneğin 12 N yük altında yapılan aşınma testleri sonrası alüminyuma göre kompozit malzemenin aşınma kaybı değerlerinde 600 mesh zımparada %71, 400 mesh zımparada % 70 ve 320 mesh zımparada % 48,4 azalma görülmüştür (Şekil 8).





Şekil 8. Yükteki artışa ve aşındırıcıya bağlı aşınma kayıplarındaki değişim

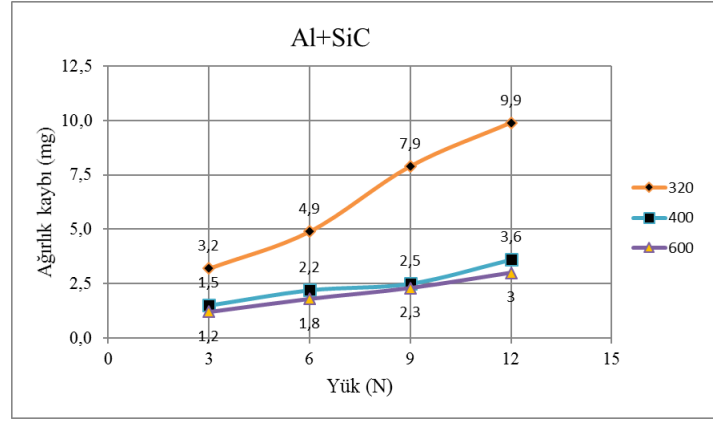
Yükteki artışa veya zımpara kağıdındaki aşındırıcı partikül boyut değişimine göre alüminyum ve kompozit numunelerin aşınma değerlerindeki değişim Şekil 9 ve 10'da görülmektedir. Elde edilen sonuçlar matris yapıyı oluşturan alüminyumdan elde edilen toz metal parçaya göre % 10 SiC takviyeli kompozit numunelerde abrasiv aşınma direnci bakımından ciddi bir iyileşme olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Matris malzemedeki yüke bağlı aşınma kayıplarındaki değişim

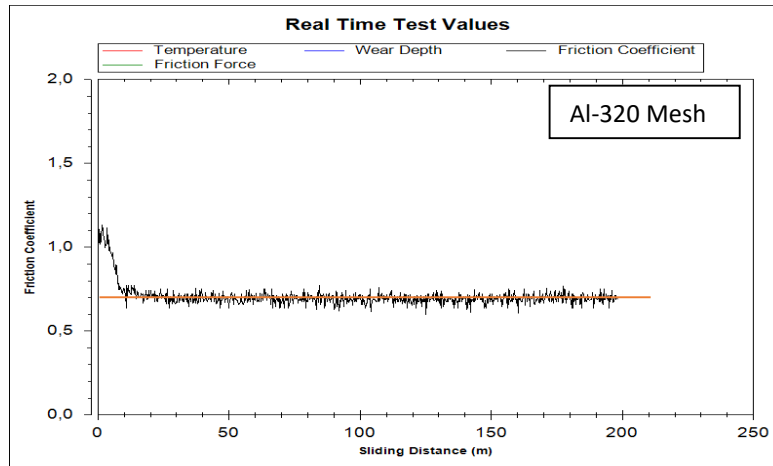
Kompozit malzemedeki yükteki artışa bağlı ağırlık kayıplarındaki değişimin aynı zamanda aşındırıcı ortama göre de farklılık gösterdiğini söyleyebiliriz. 320 mesh zımparada yük artarken aşınma değerleri yüksek oranda artış göstermektedir. Fakat 400 ve 600 mesh zımpara kağıtlarında yükteki artışa karşılık aşınma kayıplarındaki artışın daha düşük oranlarda olduğu görülmektedir. Bunun sebebi aşınma ile açığa çıkan atıkların aşındırma yolundaki aşındırıcının performansına olan etkisiyle açıklanabilir. Kaba zımpara yüzeyleri yüksek aşındırma etkisini yükteki artışa bağlı olarak devam ettirirken ince zımpara yüzeylerinde aşınmanın başlangıcında atıkların aşındırıcının yüzey pürüzlülüğünü azaltma etkisinden dolayı yükteki artışa rağmen beklenen ölçüde aşınma kayıpları ortaya çıkmamıştır (Şekil 10).

320 mesh zımparaya göre 400 ve 600 mesh zımpara yüzeylerinin testin başlangıcına oranla testinde ilerleyen aşamalarında aşındırma etkisinin kademeli olarak azaldığını söyleyebiliriz. Özellikle kompozit numunelerde SiC takviye elemanı aşındırıcı yüzeyi tahrip ederken matris yapı ise aşındırma yüzeyine dolarak veya sıvanarak aşındırıcı yüzeyin aşındırma etkinliğini azaltmaktadır.

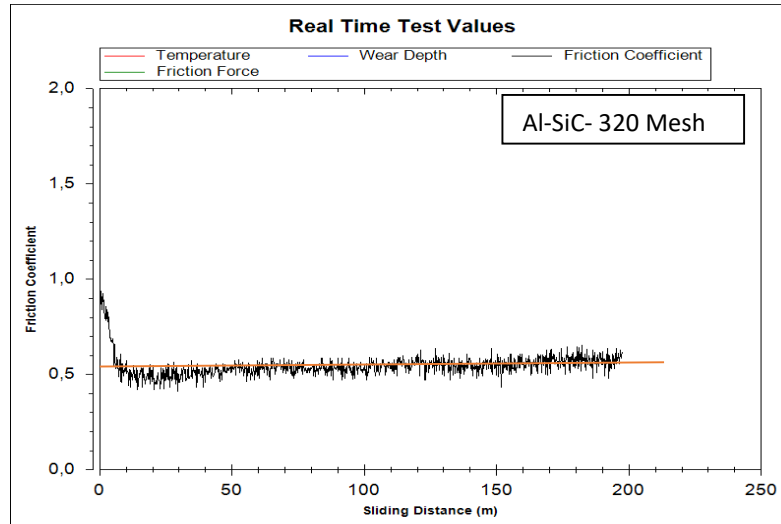


Şekil 10. Kompozit (Al-SiC) malzemede yüke bağlı aşınma kayıplarındaki değişim

Alüminyum toz metal parçanın aşınma testlerinde elde edilen sürtünme katsayısı değerleri 320; 400 ve 600 mesh zımparalar için sırayla 0,70; 0,65 ve 0,50 olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşındırıcı zımpara yüzeyi kabalaşırken aşınma katsayısı değerinin arttığını göstermektedir (Şekil 11). Kompozit numune üzerinden aynı şartlarda elde edilen aşınma katsayısı değerini 320; 400 ve 600 mesh zımparalar için sırayla 0,52; 0,52 ve 0,50 olarak ölçülmüştür. Elde edilen aşınma katsayısı değerleri alüminyum toz metal parçaya göre %10 SiC takviyeli toz metal kompozit parçanın aşındırılması sırasında sürtünme katsayısı değerlerinin ciddi olarak düştüğünü göstermektedir. Bu sonuçlar alüminyum ve kompozitin aşınma ağırlık kayıplarıyla da uyumludur (Şekil 12).

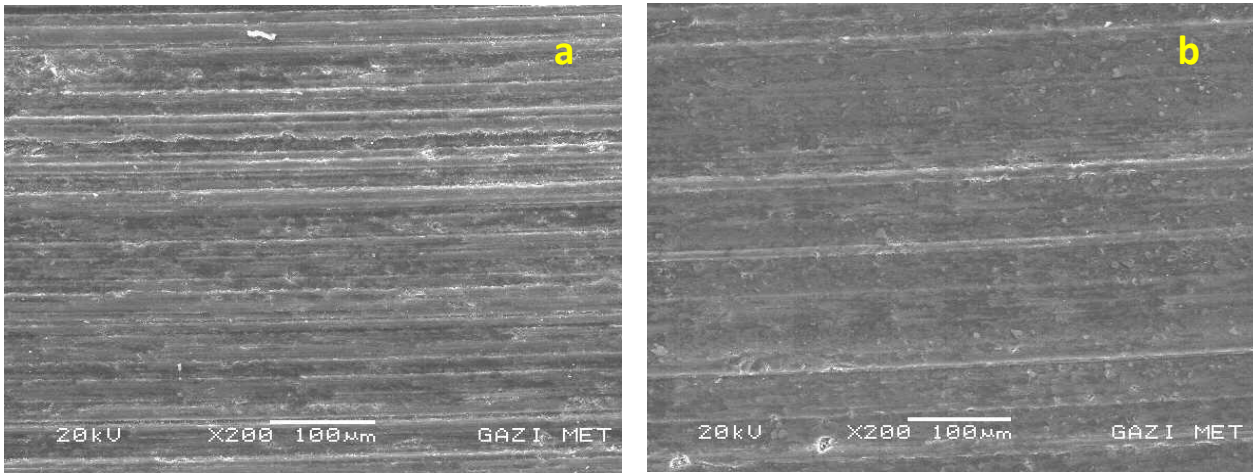


Şekil 11. 12 N Yük altında matris malzemenin aşınmasında sürtünme katsayısındaki değişim.

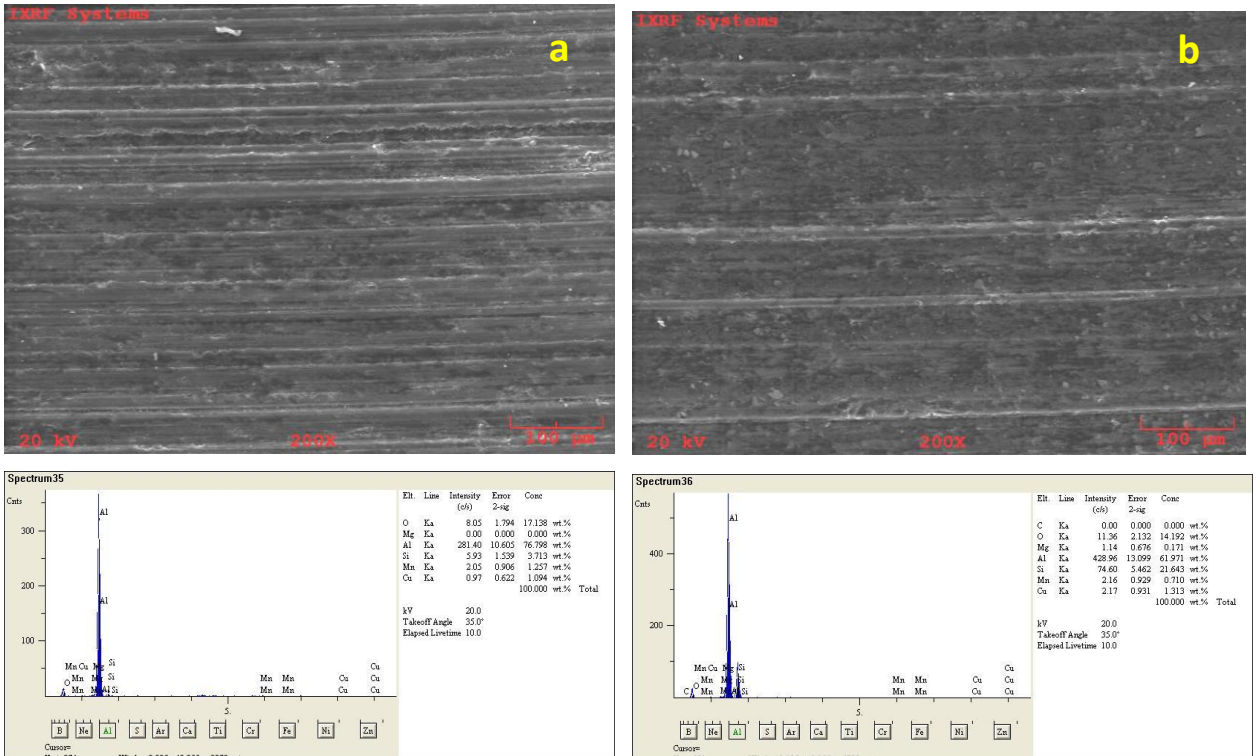


Şekil 12. 12 N Yük altında kolpozitin sürtünme katsayısı

Aşınan matris malzeme yüzeyinden alınan SEM görüntüleri abrasif aşınma mekanizmasının gerçekleştiğini göstermektedir. Aşındırma izlerinin sürekliliği ve genişliği yoğun bir aşınmanın ve malzeme kaybının olduğunu göstermektedir (Şekil 13-a). Yük artarken ve aşındırıcı zımpara 600 den 320 mesh'e giderken aşınma kayıpları artmaktadır. Kompozit malzemede ise aşınan yüzeydeki aşınma çizgileri homojen ve iz derinlikleri ve genişlikleri daha düşüktür. Ayrıca iz sürekliliği de sıklıkla kesintiye uğrayarak malzemenin yüzeyinde aşınma izlerinin matris malzemede olduğu gibi sürekli olmadığı görülmektedir (Şekil 13-b). Bu görüntü abrasif aşınmaya karşı takviye elemanının engel oluşturarak kompozit malzemede aşınmaya bağlı ağırlık kayıplarının düştüğü anlamına gelmektedir. Kompozit malzemede bütün yükler altında ve farklı aşındırıcı zımparalarda alüminyum toz metal parçaya göre aşınma kayıplarında çok ciddi azalmalar görülmüştür. Elde edilen sonuçlar SiC takviyesi ile alüminyum malzemenin sertlik, kırılma mukavemeti ve abrasif aşınma direncinde önemli iyileşmeler gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 13. 12 N yük altında ve 320 Mesh zımpara üzerinde matris ve kompozit parçaların aşınan yüzey görünümü.



Şekil 14. Matris ve kompozit numunelerin aşınan yüzeylerinin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları

Matris malzemesinin 2 N yük altında 320 mesh SiC zımpara üzerinde yapılan aşındırma testi sonrası numune yüzeyinden alınan XRF sonuçları şekil 14-a'da görülmektedir. Sonuçlar matris malzemesinde bulunan alaşım elementleri yanında sürtünmeye bağlı numune yüzeyinde oksitlenme olduğunu göstermekte. Kompozit numunede kompozitte bulunan SiC etkisiyle silisyum değeri % 21, 64 olarak görülmektedir. Silisyumun miktarı SiC'ün matris yapı içerisindeki dağılımına bağlı olarak değişim gösterebilmekte.

4. GENEL SONUÇLAR (CONCLUSION)

1. Bilyeli ortamda turbula cihazında yapılan karıştırma ve öğütme işlemiyle alüminyum ve SiC tozların birbiri içerisinde homojen dağılımı başarıyla gerçekleştirilmiştir.
2. Üretilen toz metal kompozit malzemede matris yapıyı oluşturan alüminyum toz metal parçaya göre % 30,9 sertlik artışı elde edilmiştir.
3. Çapraz kırılma testlerinde kompozit malzeme kırılma, alüminyum toz metal parça eğilme davranışı gösterirken, kompozit malzemede deformasyona karşı mukavemet artışı görülmektedir.
4. Aşınma test sonuçlarına göre matris yapıya ilave edilen ağırlıkça % 10 SiC kompozit malzemenin matris yapıya göre bütün yükler altında ve farklı aşındırıcılarda % 48,4 ile % 79,6 aralığındaki oranlarda aşınmaya bağlı ağırlık kayıplarında azalmaya sebep olmuştur.
5. Sıcak presleme ile üretilen kompozit malzemeler kadar olmasa da mevcut uygulama ile matris malzemeye göre kompozit malzemede hedeflenen yoğunluk, sertlik ve abrasiv aşınma mukavemeti değerlerine önemli ölçüde iyileştirmeler sağlanabilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] William, C., Harrigan, Jr., "Commercial processing of metal matrix composites", *Materials Science and Engineering*, A244: 75 - 79, 1998.
- [2] Rosso M. "Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties", *Journal of Materials Processing Technology*, 175: 364 - 375, 2006.
- [3] 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.
- [4] Deuis, R.L., Subramanian, C., Yellup, J.M., "Abrasive wear of aluminium composites - a review", *Wear*, 201: 132 - 134, 1996.
- [5] YU, P., Mei, Z., Tjong, S.C., "Structure, thermal and mechanical properties of in situ Al-based metal matrix composite reinforced with Al₂O₃ and TiC submicron particles", *Materials Chemistry and Physics*, 93: 109-116, 2005.
- [6] Miracle, D.B., "Metal matrix composites - from science to technological significance", *Composites Science and Technology*, 65: 2526 - 2540, 2005.
- [7] Smagorinski, M.E., Tsantrizos, P.G., Grenier, S., et all., "The properties and microstructure of Al - based composites reinforced with ceramic particles", *Materials Science and Engineering*, A244: 86 - 90, 1998.
- [8] Kaczmar, J.W., Pietrzak, K. W., Wlosinski, W., "The production and application of metal matrix composite materials", *Journal of Materials Processing Technology*, 106: 58 - 67, 2000.
- [9] Donnell, G.O., Looney, L., "Production of aluminium matrix composite components using conventional PM technology", *Materials Science and Engineering*, A303: 292 - 301, 2001.

- [10] Kök, M., "Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle - reinforced 2024 aluminium alloy composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 161: 381 - 387, 2005.
- [11] Şahin, Y., "Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites", *Materials and Design*, 24: 671 - 679, 2003.
- [12] Bedir, F., "Alüminyum kompozitlerin üretimi, karakteristik özellikleri ve endüstriyel uygulamaları", *Mühendis ve Makine*, 47: 554, 28 - 35 2006.
- [13] Ekinci, V.Ş., Bağcı, C., Arık, H., "Effect of Al₂O₃ content and milling time on microstructure and mechanical properties of aluminum metal matrix composites", *Experimental Techniques*, 38: 66 - 73, 2011.
- [14] Kurt, H., Arık, H., Bağcı, C., "Abrasive wear, structure, and mechanical aspects of Al-Al₂O₃ composites fabricated using various mixing media during P/M routes", *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 55: 3 - 4, 141-151, 2016.
- [15] Singh, R.K., Telang, A., Das, S., "High stress abrasive wear behaviour of aluminium ally and composite: A Review", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10: (18), 8025 - 8037, 2015.
- [16] Vencl, A., Rac, A., Bobic, I., Miskovič, Z., "Tribological properties of Al-Si alloy A356 reinforced with Al₂O₃ particles", *Tribology in industry*, 28: (1&2), 27 - 31, 2006.
- [17] Londhe, V.D., Mhaske, M.S., Kapgate, R.A., "Evaluation of tribological behaviour of LM13 – silicon carbide composite under ambient & elevated temperature", *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 3: (3), 334 - 340, 2014.
- [18] Naveen Kumar, G., Mahidhar Reddy, V., et all. "Study of abrasive wear behavior of AA 6063/TiCp in-situ composites", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8: (5), 42 - 52, 2017.
- [19] Rao, Ch.M. Rao, K.M., "Abrasive wear behavior of TiB₂ fabricated aluminum 6061", *materials today: proceedings*, 5: 268 - 275, 2018.
- [20] Samarai, R. A. A., Ahmad, K. R., Douri, Y.A., "Effect of load and sliding speed on wear and friction of aluminum-silicon casting alloy", *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2: (3), 1 - 4, 2012.
- [21] Şahin, Y., "Abrasive wear behaviour of SiC/2014 aluminium composite", *Tribology International*, 43: 939-943, 2010.
- [22] Kumar, G.B.V., Rao, C.S.P. Selvaraj, N., "Studies on mechanical and dry sliding wear of Al6061–SiC composites", *Composites: Part B*, 43: 1185-1191, 2012.
- [23] Ahemad, J, Bhaskar, S.V., et all. "Development of Al/SiC 5%, Al/SiC 10%, Al/SiC 15%, metal matrix composite and its comparision with aluminium alloy – LM25 on tribological parameters", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3: (9), 545-549, 2013.
- [24] Arık, H., Orhun, D.Z., "Investigation of dry sliding wear beaviour of powder metal (P/M) materials produced from mixture of Fe-Cu-C powders", *G.Ü. J. Sci, Part A*, 5(1): 37-48, 2018.
- [25] Yıldız, T., Gür, A.K., "Wear mechanism" *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 86-91, 2006.

- [26] Abhik, R., V, U., Xaviora, M. A., “Evaluation of properties for Al-SiC reinforced metal matrix composite for brake pads”, *Procedia Engineering*, 97: 941 - 950, 2014.
- [27] Arik, H., “Production and characterization of in situ Al_4C_3 reinforced aluminumbased composite produced by mechanical alloying technique”, *Materials and Design*, 25: 31- 40, 2004.
- [28] Özeker, M.B., Arik, H., Özçatalbaş, Y., “Investigation of wear behaviour of aluminium matrix and B_4C reinforced composite powder metal parts produced by hot pressing method”, *The Internatinonal Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia/Turkey*, June 21-23 2019.
- [29] Dixit, G., Khan, M.M., “Sliding Wear Response of an Aluminium Metal Matrix Composite: Effect of Solid Lubricant Particle Size”, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 8: 351-358, 2014.