



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen farklı miktarlarda SiC takviyeli A356 matrisli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi

Investigation of wear performance of different amount SiC reinforcements A356 matrix composite materials produced by semi-solid process method

Yazar(lar) (Author(s)): İjlal ŞİMŞEK¹, Doğan ŞİMŞEK², Dursun ÖZYÜREK³

ORCID¹: 0000-0001-6542-8567

ORCID²: 0000-0001-8339-9704

ORCID³: 0000-0002-8326-9982

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şimşek İ., Şimşek D. ve Özyürek D., “Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen farklı miktarlarda SiC takviyeli A356 matrisli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1237-1243, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.642506

Yarı Katı Kalıplama Yöntemi İle Üretilen Farklı Miktarlarda SiC Takviyeli A356 Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi

Investigation of Wear Performance of Different Amount SiC Reinforcements A356 Matrix Composite Materials Produced by Semi-Solid Process Method

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Alüminyum matrisli kompozitlerde küresel yapıli mikroyapının aşınma davranışlarına etkisi / The effect on wear behavior of spherical microstructure in aluminum matrix composites
- ❖ Yarı katı kalıplama yöntemiyle üretilen AMK malzemelerde SiC miktarının küresellik oranı ve aşınma davranışlarına etkisi / The effect on the sphericity ratio and wear behavior of the amount SiC in AMC materials produced by the semi-solid molding method(SSM)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Yarı katı kalıplama yöntemiyle üretilen A356 matrisli AMK malzemelerde SiC miktarının artması küresellik oranı azalırken aşınma direncinde artış olduğu görülmüştür. / In AMC materials with A356 matrix produced by the SSM method, it was observed that the increase in the amount of SiC decreased while the sphericity ratio increased, while the wear resistance increased.



Şekil. Üretim sürecinin şematik gösterimi / **Figure.** Schematic illustration of production process

Amaç (Aim)

Yarı katı kalıplama üretim yöntemiyle üretilen AMK malzemelerde SiC miktarının sertlik ve aşınma davranışlarına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. / It was aimed to determine the effect of SiC amount on hardness and wear behavior in AMC materials produced by SSM production method.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

A356 alaşımına farklı miktarlarda SiC ilave edilerek yarı katı kalıplama yöntemiyle 550 °C kalıp sıcaklığı 600 °C fırın sıcaklığında 20 kN kuvvet ile preslenmiştir. / Different amounts of SiC were added to the A356 alloy, and it was pressed under force of 20 kN by the SSM method at mold temperature of 550 ° C and furnace temperature of 600 ° C.

Özgünlük (Originality)

Yapılan çalışmada yarı katı kalıplama yöntemiyle küresel formda mikroyapıya sahip SiC takviyeli AMK malzemelerin aşınma davranışları belirlenmiştir. / In this study, the was determined the effect to wear behavior of SiC reinforced AMC materials spherical microstructure produced by SSM method.

Bulgular (Findings)

Yarı katı kalıplama yöntemiyle küresel formda mikroyapıya sahip kompozit malzemeler üretilmiştir. SiC miktarının artmasıyla küresellik oranı azalırken sertlik ve aşınma direncinin arttığı görülmüştür. / Composite materials with a spherical microstructure were produced using the SSM method. It was seen that while the sphericity ratio decreased with the increase of SiC amount, hardness and wear resistance increased.

Sonuç (Conclusion)

Yapılan çalışmada yarı katı kalıplama yöntemiyle küresel formli mikroyapı elde edilmiştir. Matris içerisinde ilave edilen SiC miktarı arttıkça küresellik oranı azalırken sertlik ve aşınma direncinde artma elde edilmiştir. / In the study, a spherical shaped microstructure was obtained by semi-solid molding method. As the amount of SiC added in the matrix increased, the sphericity ratio decreased and the hardness and wear resistance increased.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Yarı Katı Kalıplama Yöntemi ile Üretilen Farklı Miktarlarda SiC Takviyeli A356 Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İjlal ŞİMŞEK^{1*}, Doğan ŞİMŞEK², Dursun ÖZYÜREK³

¹TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

²Kara Aastubay Meslek Yüksek Okulu, Otomotiv Teknolojisi Bölümü, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 04.11.2019 ; Kabul/Accepted : 20.12.2019)

ÖZ

Bu çalışmada, farklı miktarlarda SiC ilave edilerek yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen Al A356 matrisli kompozit malzemelerin aşınma davranışları incelenmiştir. Al A356 matrise, ağırlıkça 4 farklı oranda (%5, 10, 15 ve 20) SiC ilave edilmiştir. Titreşimli tip değirmende bilyesiz olarak (30 dakika) karıştırılan tozlar, soğuk preslenerek (800 MPa) ham numuneler üretilmiştir. Üretilen ham numuneler 550 °C kalıp sıcaklığı ve 600 °C fırın sıcaklığında 30 dakika ortam atmosferinde bekletilmiş ve 100 MPa basınç ile 1 dakika preslenmiştir. Üretilen numuneler mikroyapı, sertlik ve küresellik oranı ile karakterize edilmiştir. Aşınma testleri standart pin on-disk aşınma test cihazında 0,2 ms⁻¹ kayma hızı, iki farklı yük (30 ve 60 N) ve dört farklı aşınma mesafesi (500, 1000, 1500 ve 2000 m) kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kompozit malzeme içerisinde artan SiC miktarı ile sertlik artarken, küresellik oranları ise azalmaktadır. Aşınma testleri sonucunda en yüksek ağırlık kaybı %5 SiC içeren numunelerde elde edilirken, en düşük ağırlık kaybı ise %20 SiC ilave kompozit malzemelerde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: A356-SiC kompozit, aşınma, sürtünme katsayısı, yarı katı kalıplama.

Investigation of Wear Performance of Different Amount SiC Reinforcements A356 Matrix Composite Materials Produced by Semi-Solid Process Method

ABSTRACT

In this study, the wear performance of A356 matrix composite materials produced by different amount SiC reinforcement semi-solid moulding method was investigated. In the A356 matrix, was added four different amounts (5%, 10, 15 and 20) SiC. Composite powders mixed without ball (30 minutes) in the vibrating type mill were cold pressed (800 MPa) and green compacts were produced. The produced green compacts, in 550 °C mold temperature and in 600 °C furnace temperature, 100 MPa pressing force was pressed for 1 minute. Produced samples were characterized with microstructure, hardness and sphericity ratio. The wear tests were performed using a pin on-disk type wear testing device with 0.2 ms⁻¹ sliding speed, under two different loads (30 and 60 N) and at four different sliding distances (500 m, 1000, 1500 and 2000). As a result of the studies, the hardness increases with increasing amount of SiC in the composite material, while the sphericity rates decrease. As a result of the wear tests, while the highest weight loss, 5% SiC was obtained, the lowest weight loss was obtained in 20% SiC additional composite materials.

Keywords: A356-SiC composite, wear, friction coefficient, semi-solid moulding.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metal matrisli kompozitler (MMK) düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek sertlik iyi yorulma direnci, yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılık iyi aşınma direnci gibi özellikleri nedeniyle yeni nesil mühendislik malzemeleri olarak kabul edilirler [1]. Bu özellikleri nedeniyle otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [2].

Alüminyum gibi nispeten yumuşak matrise yaygın olarak SiC (Silisyum Karbür), Al₂O₃ (Alüminyum Oksit) gibi sert parçacıklar ilave edilerek, malzemenin maruz kaldığı yüke karşı oldukça dirençli hale getirilebilmektedir. Bu nedenle alüminyum matrisli kompozit (AMK) malzemeler, alüminyum ve alaşımlarına göre mükemmel mekanik ve tribolojik özellikler sergilerler. Bu özellikleri nedeniyle, otomotiv sektörü başta olmak üzere havacılık ve savunma sanayi gibi birçok endüstride kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde içten yanmalı motorlarda pistonlar, biyel kolları, silindir gömlekleri ve fren diskleri gibi parçalar AMK malzemeler ile üretilmektedir [3,4].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ijalispir@karabuk.edu.tr

Alüminyum alaşımları içerisinde, Al-Si alaşımları (Al A356) yüksek döküm kabiliyeti ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle (pistonlar, biyel kolları, silindir gömlekleri ve fren diskleri) yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Özellikle içten yanmalı motorlarda pistonlar, yüksek hızlarda çalışırken yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve ağır aşınma koşullarında çalıştığından motorun anahtar parçasıdır. [6]. Özellikle hidrokarbon (HC) emisyonunu azaltmak için, piston tepesinin ince olması ve ağırlığının ise minimum olması gerekmektedir. Tüm bu ağır koşulların yerine getirilmesi için, piston malzemelerinin yüksek mukavemete, yüksek tokluğa ve iyi aşınma direncine sahip olması ve hafif olması istenmektedir [7]. Bu nedenle yapılan birçok çalışmada AMK (Alüminyum Matrisli Kompozit) malzemelerin iyi aşınma direnci sağladığı belirtilmektedir [8-10]. Bunun yanı sıra bu alaşımların mekanik özellikleri ve aşınma direnci, dentritik yapı, gözeneklilik, iğnemi şekilde homojen dağılmayan Si parçaları gibi kusurlar nedeniyle kullanımı sınırlı kalmaktadır [11,12]. Bu kusurların giderilmesi için, ısıl işlem ve karıştırma katılaştırma gibi bazı yöntemler geliştirilmiştir [13]. Bunların yanı sıra, yarı katı kalıplama yöntemi, diğer üretim yöntemlerine nazaran daha az mikro segregasyon ve katılama daralması, düşük şekillendirme sıcaklıkları, daha az gözeneklilik gibi birçok avantaj sunmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasının başka bir avantajı ise mikroyapısal üstünlükleridir [14,15]. Bilindiği gibi klasik döküm yöntemi ile üretilen malzemeler dentritik yapıya sahiptirler. Katılama sırasında dentritik kolları arasında oluşan mikro gözenekler malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca dentritik kollarının üst kısımlarında oluşan gerilme yığılması malzemenin özelliklerini etkilemektedir [16,17]. Yarı katı kalıplama yöntemi ile daha küresel yapı malzemelerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Aztekin vd. [18] yarı katı kalıplama yöntemi kullanarak ürettikleri Al A356/SiC kompozit malzemelerin mikroyapısında dentritik yapının tamamen küresel şekilli yapıya dönüştüğünü, artan SiC miktarı ile küresellik oranının azaldığını ve üretilen kompozit malzemelerin sertliğinin arttığı belirtmişlerdir.

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde parça üretimi için kullanılan yarı katı üretim yöntemi ile farklı miktarlarda SiC ilave edilerek, Al (Al A356)/SiC takviyeli kompozit malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Küresel tanecik yapısına sahip Al/SiC kompozit malzemelerin üretilmesi ve farklı miktarlarda SiC ilavesinin üretilen kompozit malzemenin mikroyapı, küresellik oranı, sertlik ve aşınma performansına etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneyel çalışmalarda matris malzemesi olarak Al-Si alaşımı (Al A356) kullanılmıştır. Kullanılan Al A356 alaşımı CMS Jant ve Makine Sanayi'nden külçe halinde temin edilmiştir. Külçeler Kütahya Dumlupınar

Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan toz metalürjisi laboratuvarlarındaki bulunan gaz atomizasyon ünitesinde argon altında atomize edilerek toz haline getirilmiştir. Toz üretimi sırasında nozullardan geçen gaz basıncı 32 atmosferdir. Üretilen tozların ortalama toz boyutu $\leq 50 \mu\text{m}$ civarındadır. Deneyel çalışmalarda kullanılan Al A356 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

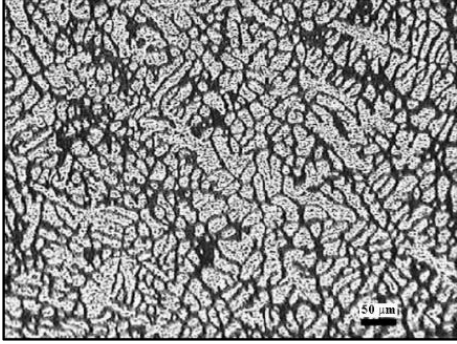
Çizelge 1. Deneyel çalışmalarda kullanılan Al A356 alaşımının kimyasal bileşimi (Chemical composition of Al A356 alloy used in experimental studies)

Element	Si	Mg	Ti	Fe	Mn	Cu	Pb	Al
%Oranı	6,5	0,4	0,2	0,15	0,03	0,03	0,03	Kalan

Matris içerisine dört farklı miktarda % ağırlık olarak (%5, 10, 15 ve 20) SiC ilave edilmiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC parçacıklarına ıslatmayı güçlendirici herhangi bir hazırlık işlemi yapılmamıştır. Kompozit tozların hazırlanmasında titreşimli tip değirmen kullanılmıştır. Hassas terazide tartılarak hazırlanan tozlar soğuk iş takım çeliği öğütme hücresinde bilyasız olarak 30 dakika karıştırılmıştır. Tozların öğütme hücresine koyulması ve öğütme hücresinden alınması havasız ortam kabini içerisinde argon atmosferinde yapılmıştır. Hazırlanan kompozit tozlar $\varnothing 12 \times 35$ mm boyutlarında 800 MPa [14,18] basınçla soğuk preslenmiştir. Preslenen numuneler yarı katı kalıplama ünitesinde grafit kalıp kullanılarak 550 °C kalıp sıcaklığı ve 600 °C fırın sıcaklığında 30 dakika bekletilmiş ve sonrasında 100 MPa basınç ile 1 dakika preslenmiştir. Bu sıcaklıklar A356 alaşımlarının yarı katı bölgesinin 577 °C ile 610 °C arasında olduğu göz önüne alınarak belirlenmiştir. Kalıp içerisinde presleme süresi ve basıncı daha önce yapılan bir çalışmada maksimum küresellik oranının elde edildiği çalışma parametrelerine göre belirlenmiştir [14]. Üretilen kompozit malzemeler, mikroyapı incelemeleri için standart metalografik işlemler uygulanarak hazırlanan numuneler, 2 ml HF, 3 ml HCl, 20 ml HNO₃, 175 ml H₂O (Keller's) solüsyonu kullanılarak 30 saniye süreyle dağlanmış. Dağlanan numunelerden mikroyapı incelemelerinde MEIJI ML 7100 marka optik mikroskop kullanılmıştır. Küresellik oranı ölçümü, MSQ PLUS 6.5 metalografik ölçüm ve analiz programında ASTM E112 standartlarına göre yapılmıştır. Sertlik ölçümleri, AFFRI VRSD251 markalı sertlik cihazında HV2.5 yük olarak 10 saniye süre ile ölçülmüştür. Her bir numuneden 5 noktadan sertlik ölçülerek ortalaması hesaplanmıştır. Aşınma testleri ASTM: G99-05 standardına göre standart pin on-disk tipi aşınma test cihazında 2 ms⁻¹ kayma hızı, iki farklı yük (30 N ve 60 N) yük ve 4 farklı (500, 1000, 1500 ve 2000 m) aşınma mesafesi kullanılarak yapılmıştır. Aşınma testleri sonrası aşınmış yüzeyler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. SEM incelemelerinde JEOL JSM-6060 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

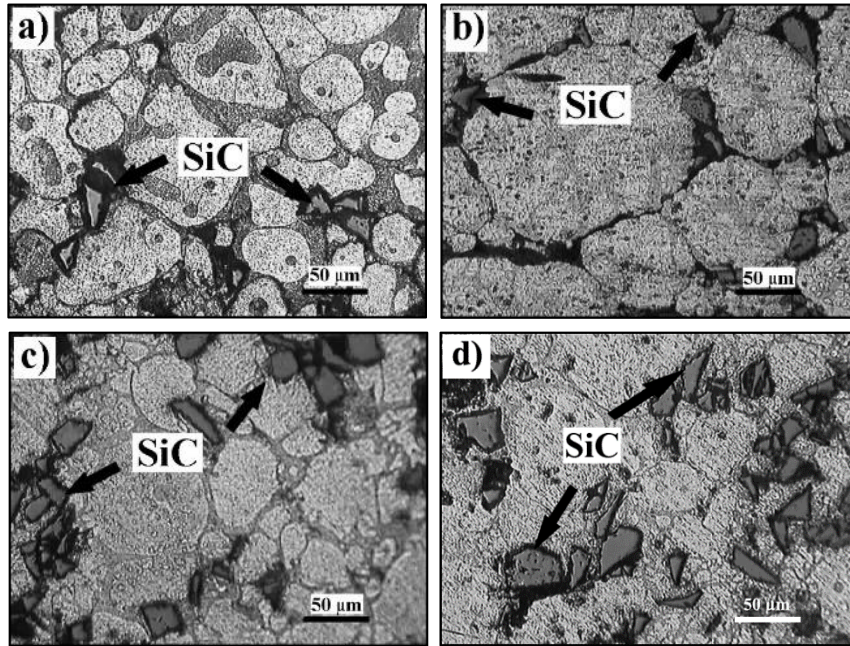
Başlangıç malzemesi olarak kullanılan külçe Al A356 (Al-Si) alaşımından alınan optik mikroskop görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Başlangıç malzemesi olarak kullanılan Al A356 alaşımı optik mikroskop görüntüsü (Optical microscope image of Al A356 alloy used as starting material)

Şekil 1’de verilen başlangıç malzemesi olarak kullanılan Al A356 alaşımının optik mikroskop görüntüsü incelendiğinde, mikroyapının standart döküm yöntemi ile üretilen klasik dentritik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bir alaşımın sahip olduğu mikroyapısı doğrudan alaşımın mekanik özelliklerini etkilemektedir. Alaşımın yapısındaki dentritik kollar ve dentritik kollar arasındaki mesafe doğrudan mekanik özellikler ile ilişkilidir [19]. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen ve yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2’de verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilen ve yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen AMK malzemelerin optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, oluşması beklenen küresel yapıli matris fazının elde edildiği net bir şekilde anlaşılmaktadır. Yarı katı kalıplama yöntemi ile dentritik yapının tamamen küresel yapıya dönüştüğü görülmektedir. Benzer sonuçlar daha önce yapılan bazı çalışmalarda da elde edilmiştir [18-20].



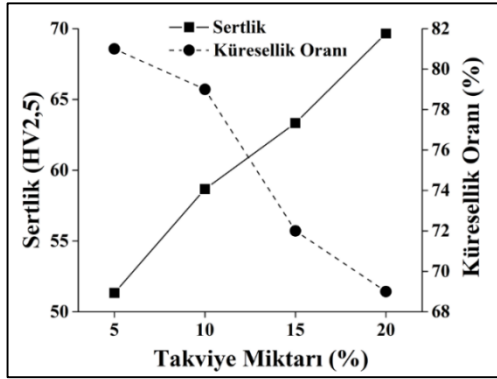
Şekil 2. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen AMK malzemelerin optik mikroskop görüntüleri a) %5 SiC, b) %10 SiC, c) %15 SiC ve d) %20 SiC (Optical microscope images of AMK materials with different amounts of SiC added a) 5% SiC, b) 10% SiC, c) 15% SiC ve d) 20% SiC)

Matrise ilave edilen SiC’lerin tane sınırlarında ve Al tanelerini çevreleyen Al-Si ötekliğine konumlandığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte matrise ilave edilen SiC miktarının artması ile matris tanelerinin küreselliklerinde değişme olduğu da görülmektedir. Farklı miktarlarda SiC ilave edilerek yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen AMK malzemelerin sertlik ve küresellik oranı sonuçları Şekil 3’de verilmiştir.

Şekil 3’de verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilen AMK kompozit malzemelerin sertlik sonuçları incelendiğinde, artan SiC miktarı ile sertliğin arttığı

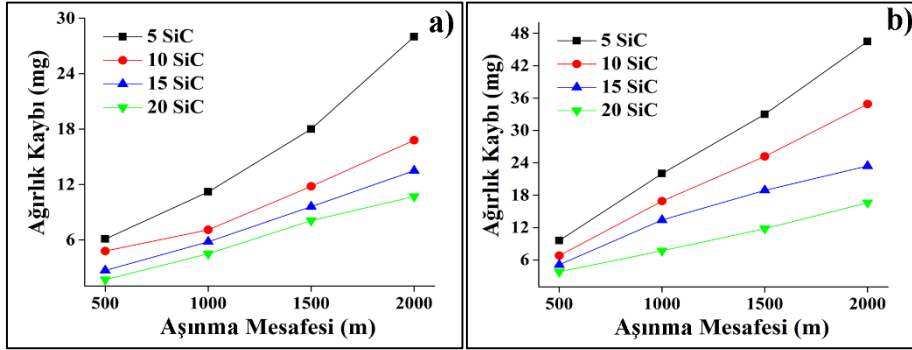
anlaşılmaktadır. En düşük sertlik %5 SiC ilave edilen AMK malzemede 54 HV elde edilirken, en yüksek sertlik %20 SiC ilave edilen AMK malzemede 73 HV olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karışım kanunu ile (matris içerisinde artan sert parçacıkların miktarına bağlı artış) açıklanabilir [21]. Şekil 2’de verilen mikroyapı resimlerinde de görüldüğü gibi tane sınırlarına konumlanan SiC parçacıklarının tane büyümesini engellemesinden dolayı sertliğin artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte matris içerisinde artan sert karbür (SiC) parçacıkları matrisin plastik deformasyona

karşı direncini artırarak üretilen kompozit malzemenin sertliğinin artmasına katkı sağlamaktadır [22]. Daha önce yapılan çalışmalarda da artan SiC miktarı ile sertliğin arttığı rapor edilmiştir [2,14].



Şekil 3. Farklı miktarlarda SiC ilave edilerek yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen AMK malzemelerin sertlik ve küresellik oranı (Hardness and sphericity ratio of AMK materials produced by semi-solid molding by adding different amounts of SiC)

Ayrıca yine Şekil 3’de verilen küresellik oranı sonuçları incelendiğinde, matris içerisinde SiC miktarı arttıkça küresellik oranı azalmaktadır. En yüksek küresellik oranı %5 SiC ilave edilen AMK malzemede %81, en düşük küresellik oranı %20 SiC ilave edilen AMK malzemede %69 olarak elde edilmiştir. Küresellik oranındaki azalmanın nedeni, yarı katı kalıplama yöntemi ile AMK üretiminde, takviye miktarı arttıkça viskozitenin artmasından kaynaklanmaktadır [18]. Ayrıca Özyürek vd. [14] yaptıkları bir çalışmada, matris içerisinde artan SiC miktarının ve artan kalıplama sıcaklığının küresellik oranını azalttığını belirtmişlerdir. Bunun nedenini ise, yarı katı kalıplama yönteminde sıvı katı faz dengesinin önemli bir parametre olması ve artan sıcaklık ile sıvı fazında artmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Farklı miktarlarda SiC ilave edilerek yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen AMK malzemelerin farklı yük altında aşınma kaybı sonuçları, Şekil 4’de verilmiştir.

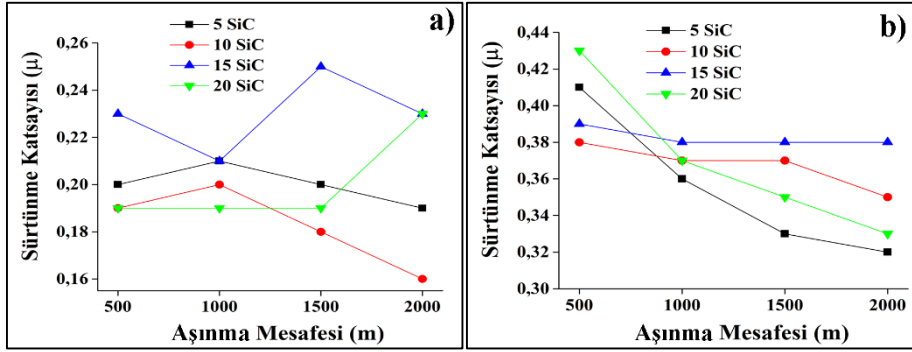


Şekil 4. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen AMK malzemelerin aşınma kaybı sonuçları a) 30 N, b) 60 N (Weight losses of AMK materials with different amounts of SiC added a) 30 N, b) 60 N)

Şekil 4’de verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilerek yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen AMK malzemelerin aşınma kaybı sonuçları incelendiğinde, matris içerisinde SiC miktarının arttıkça aşınma kaybının azaldığı görülmektedir. Bütün yüklerde (30 N ve 60 N) en yüksek aşınma kaybı %5 SiC ilave edilen AMK kompozit malzemede elde edilirken, en düşük aşınma kaybı %20 SiC ilave edilen kompozit malzemede elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar beklenen bir durumdur. Sertliği yüksek olan AMK malzemeden aşınma kaybının düşük olması beklenmektedir [14]. Aşınma kaybı sonuçları, Şekil 3’de verilen sertlik sonuçları ile karşılaştırıldığında, sonuçlar birbirini desteklemektedir. Ayrıca bütün AMK malzemelerde aşınma mesafesi arttıkça aşınma kaybı da artmaktadır. Artan aşınma mesafesi ile sürekli deformasyona uğrayan AMK malzemenin aşınma yüzeyinde kopan mikro/makro parçacıklar aşınma kaybını arttırmaktadır. Daha önce

yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir [23,24]. Farklı miktarlarda SiC ilave edilerek yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen AMK malzemelerin aşınma katsayıları Şekil 5’te verilmiştir.

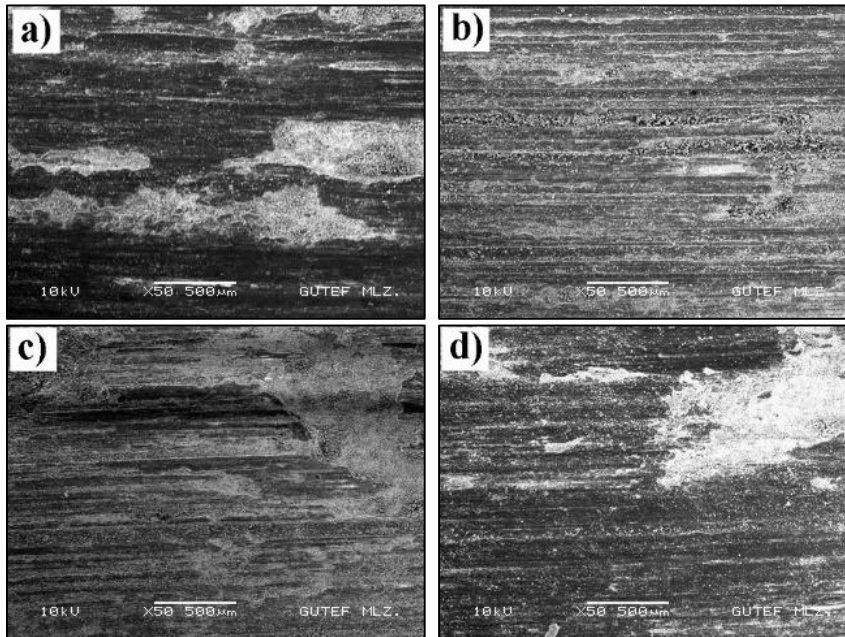
Şekil 5’te verilen yarı katı kalıplama yöntemi ile farklı miktarlarda SiC ilave edilerek üretilen AMK malzemelerin aşınma katsayıları incelendiğinde, 30 N yük altında yapılan aşınma testlerinde (Şekil 5.a) en yüksek aşınma katsayısı %15 SiC ilave edilen AMK malzemede elde edilmiştir. Bu malzemede 1000 m aşınma mesafesine kadar aşınma katsayısının azaldığı, 1500 m aşınma mesafesinde tekrardan arttığı görülmektedir. Bununla birlikte %20 SiC ilave edilen AMK malzemenin, 1500 m aşınma mesafesine kadar aşınma katsayısında herhangi bir değişiklik görülmezken artan aşınma mesafesi (2000



Şekil 5. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen AMK malzemelerin sürtünme katsayıları a) 30 N, b) 60 N (Friction coefficients of AMK materials with different amounts of SiC added a) 30 N, b) 60 N)

m) ile sürtünme katsayısında ani bir artış olduğu görülmektedir. Bu artışın nedeni, kuru kayma sırasında numuneden kopan mikro talaşların yüzeye tekrar saplanarak yüzey pürüzlülüğünü arttırmasıdır [25]. Bununla birlikte Yıldırım vd., [26] yaptıkları bir çalışmada sürtünme katsayılarında ani artışların olduğunu, bunun nedenin ise aşınma esnasında kopan mikro talaşların yüzeye tekrardan saplanarak kaymayı zorlaştırmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ayrıca sürtünme esnasında malzemeye uygulanan basınç ve sürtünmeden kaynaklanan ısı etkisi ile yüzeyde oluşan oksit tabakasının kırılması ani sürtünme katsayısı artışlarına neden olmaktadır. 60 N yük altında yapılan aşınma testleri sonuçlarında (Şekil 5.b) artan kayma mesafesi ile sürtünme katsayılarının azaldığı görülmektedir. Sürtünme katsayılarının azalmasının nedeni, yüzeyde oluşan oksit tabasıdır. Aşınma sırasında yüzeyde oluşan oksit bileşenleri katı yağlayıcı görevi

görmektedir. Bu nedenle sürtünme katsayıları azalmaktadır [27]. Ayrıca, her iki yükte de (30 N ve 60 N) AMK malzemelerin sürtünme katsayılarında belirli bir düzen olmadığı görülmektedir. Sertliği yüksek olan AMK malzemeden daha düşük sürtünme katsayısı beklenmektedir. Sertlik, metal ve alaşımlarının aşınma direncini etkileyen önemli bir parametredir. Bu bilinen metalürjik bir kuraldır. Şekil 4'de verilen ağırlık kaybı sonuçları bu metalürjik kurala uyumlu iken sürtünme katsayılarının bu kurala uyumlu olmadığı görülmektedir. Bu nedenle sürtünme katsayılarının belirlenmesinde sürtünmeden kaynaklanan sıcaklığın, sertlikten daha önemli bir parametre olduğu düşünülmektedir. Yarı katı kalıplama yöntemi ile farklı miktarlarda SiC ilave edilerek üretilen AMK malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen AMK malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri a) %5 SiC, b) %10 SiC, c) %15 SiC ve d) %20 SiC (Worn surface SEM images of AMK materials with different amounts of SiC added a) 5% SiC, b) 10% SiC, c) 15% SiC ve d) 20% SiC)

Şekil 6'da verilen yarı katı kalıplama yöntemi ile farklı miktarlarda SiC ilave edilerek üretilen AMK

malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde, yüzeyde oluşan deformasyon izleri ve

kısmen dökülmelerin olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bunun nedeni ise, kayma sırasında numune yüzeyinde ve/veya yüzeyin hemen altında yorulma sonucu çatlakların oluşması ve testin ilerleyen aşamalarında bu çatlak çevresinden kopan parçacıklardır [26]. Ayrıca yüzeyde oluşan oksit tabakaları (beyaz bölgeler) ve yüzeye batan mikro talaşlar (Şekil 6.b) açık bir şekilde görülmektedir. Yüzeyde oluşan oksit tabakaları sürtünme katsayısının azalmasına önemli katkı sağlamaktadır [27]. Elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri, Şekil 5.b'de verilen sürtünme katsayısı sonuçlarını desteklemektedir. En yüksek sürtünme katsayısının elde edildiği %15 SiC ilave edilen AMK malzemenin aşınma yüzeyinde dökülmeler net bir şekilde görülmektedir. Benzer şekilde en düşük sürtünme katsayısının elde edildiği %5 SiC ilave edilen AMK malzemenin aşınma yüzeyinde görülen oksit tabakası (beyaz bölgeler) bu durumu açık bir şekilde desteklemektedir. Özyürek vd. [14], tarafından yapılan benzer çalışmada aşınma esnasında ağır plastik deformasyon ve yüzeyde oluşan ısı etkisi ile oksitlenme eğiliminin arttığını belirtmişlerdir. Aşınma yüzeyi SEM görüntülerinde abrasif aşınma mekanizmasının baskın aşınma mekanizması olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Yarı katı kalıplama yöntemi ile farklı miktarlarda SiC ilave edilerek üretilen AMK malzemelerin aşınma performansının incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Matris malzemesi olarak kullanılan Al-Si (Al A356) alaşımının yarı katı kalıplama yöntemi ile denritik yapının yüksek oranda (%80) küresel taneli yapıya dönüştüğü görülmüştür.
- Matrise ilave edilen SiC tanelerinin yapıda homojen bir şekilde dağıldığı, özellikle tane sınırlarında konumlandığı görülmüştür.
- AMK malzemelerde artan takviye miktarı ile sertliğin arttığı, en yüksek sertliğin %20 SiC ilave edilen AMK malzemede 73 HV olduğu belirlenmiştir.
- Küresellik oranı sonuçlarında matris içerisinde artan SiC takviyesi ile azaldığı, en yüksek küresellik oranının %5 SiC ilave edilen AMK malzemede %80 olduğu belirlenmiştir.
- Aşınma testleri sonucunda matris içerisinde ilave edilen SiC ile ağırlık kaybının azaldığı, en düşük ağırlık kaybının bütün yükler altında %20 SiC ilave edilen AMK malzemede %5 SiC ilave edilen kompozit malzemeye göre %46 oranında bir iyileşme elde edilmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ghandvar H., Farahany S., and Idris M. H., "Effect of wettability enhancement of SiC particles on impact toughness and dry sliding wear behavior of compocasted A356/20SiCp composites", *Tribology Transactions*, 61(1): 88-99, (2018).
- [2] Yagci T., Ertugrul O. and Onel K., "Effect of heat treatment on the wear behavior of AlSi5Mg alloy matrix composites reinforced with SiCp particles", *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4(4): 61-73, (2018).
- [3] Hirata Y., Suzue N., Matsunaga N., and Sameshima S., "Particle size effect of starting SiC on processing, microstructures and mechanical properties of liquid phase-sintered SiC", *Journal of the European Ceramic Society*, 30(9): 1945-1954, (2010).
- [4] Hamid A. A., Ghosh P. K., Jain S. C. and Ray S., "The influence of porosity and particles content on dry sliding wear of cast in situ Al (Ti)-Al₂O₃ (TiO₂) composite", *Wear*, 265(1-2): 14-26, (2008).
- [5] Akbari M., Shojaeefard M. H., Asadi P., and Khalkhali A., "Wear performance of A356 matrix composites reinforced with different types of reinforcing particles", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 26(9): 4297-4310, (2017).
- [6] Wu S. and Li J., "Application of ceramic short fiber reinforced Al alloy matrix composite on piston for internal combustion engines", *China Foundry*, 7: 408-412, (2010).
- [7] Tash M., and Mahmoud E., "Development of in-Situ Al-Si/CuAl₂ metal matrix composites: microstructure, hardness, and wear behavior", *Materials*, 9(6): 442-257, 2016.
- [8] Simsek I., Yildirim M., Ozyurek D., and Simsek, D., "Investigation of wear behaviors of SiO₂ reinforced aluminium composites produced by pressureless infiltration method", *Journal of Polytechnic*, 22(1): 81-85, (2019).
- [9] Şimşek İ., "Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen farklı miktarlarda ZrO₂ takviyeli Al-2Gr matrisli kompozit malzemelerin aşınma performanslarının incelenmesi", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3): 594-605, (2019).
- [10] Vijeesh V., and Prabhu K.N., "Review of microstructure evolution in hypereutectic Al-Si alloys and its effect on wear properties", *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 67(1): 1-18, (2014).
- [11] Shamsipour M., Pahlevani Z., Shabani M. O., and Mazahery A., "Optimization of the EMS process parameters in compocasting of high-wear-resistant Al-nano-TiC composites", *Applied Physics A*, 122(4): 457-465, (2016).

- [12] Akbari M., Aliha M. R. M., Keshavarz S. M. E., and Bonyadi A., "Effect of tool parameters on mechanical properties, temperature, and force generation during FSW", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233(6): 1033-1043, (2019).
- [13] Tutunchilar S., Givi M. B., Haghpanahi M., and Asadi P., "Eutectic Al-Si piston alloy surface transformed to modified hypereutectic alloy via FSP", *Materials Science and Engineering: A*, 534: 557-567, (2012).
- [14] Özyürek D., Yıldırım M., and Çiftçi İ., "The tribological properties of A356-SiCp metal-matrix composites fabricated by thixomoulding technique", *Science and Engineering of Composite Materials*, 19(4): 351-356, (2012).
- [15] Atkinson H. V., "Alloys for semi-solid processing", *In Solid State Phenomena, Trans Tech Publications*, 192: 16-27, (2013).
- [16] Zhang Q. Q., Cao Z. Y., Zhang Y. F., Su G. H., and Liu Y. B., "Effect of compression ratio on the microstructure evolution of semisolid AZ91D alloy", *Journal of Materials Processing Technology*, 184(1-3): 195-200, 2007.
- [17] Seo P. K., Kim D. U., and Kang C. G., "The effect of the gate shape on the microstructural characteristic of the grain size of Al-Si alloy in the semi-solid die casting process", *Materials Science and Engineering: A*, 445: 20-30, (2007).
- [18] Aztekin H., Özyürek D., and Çetinkaya K., "Production of hypo-eutectic Al-Si alloy based metal matrix composite with thixomoulding processing", *High Temperature Materials and Processes*, 29(3): 169-178, (2010).
- [19] Şimşek İ., Şimşek D., Özyürek D., "Yarı-katı işlem yöntemi ile üretilen Al-SiC kompozit malzemelerin aşınma davranışlarının incelenmesi", *3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, Ankara/Turkey, 4(1): 545-548, (2019).
- [20] Alhawari K. S., Omar M. Z., Ghazali M. J., Salleh M. S., and Mohammed M. N., "Microstructural evolution during semi solid processing of Al-Si-Cu alloy with different Mg contents", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(7): 1483-1497, (2017).
- [21] Abdizadeh H., Ashuri M., Moghadam P.T. and Nouribahadory A.R.H., "Improvement in physical and mechanical properties of aluminum/zircon composites fabricated by powder metallurgy method", *Materials and Design*, 32: (2011), 4417-4423,
- [22] Bharath, V., Nagaral, M. and Auradi, V.A.S. "Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by stir casting and evaluation of mechanical and wear properties", *Procedia Materials Science*, 6: 1658-1667, (2014).
- [23] Özyürek, D., Tekeli, S., "An investigation on wear resistance of SiCp-reinforced aluminium composites produced by mechanical alloying method", *Science and Engineering of Composite Materials*, 17(1): 31-38 (2010)
- [24] Özyürek D., Kalyon A., Yıldırım M., Tunçay T. and Çiftçi İ., "Experimental investigation and prediction of wear properties of Al/SiC metal matrix composites produced by thixomoulding method using Artificial Neural Networks", *Materials & Design*, 63: 270-277, (2014)
- [25] Simsek I., "The effect of B₄C amount on wear behaviors of Al-Graphite/B₄C hybrid composites produced by mechanical alloying", *Journal of Boron*, 4(2): 100-106, (2019).
- [26] Yıldırım M., Şimşek İ., Özyürek D., "Yaşlandırılmış AA7075 alaşımında solüsyona alma sıcaklığının aşınma performansına etkisinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1): 233-239, (2018).
- [27] Çam S., Demir V., Özyürek D., "Wear behaviour of A356/TiAl₃ in situ composites produced by mechanical alloying", *Metals*, 6: 34-42, (2016)