

Yarı-Katı İşlem Yöntemi ile Üretilen Al-SiC Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

İjlal Şimşek ¹⁺ Doğan Şimşek ², and Dursun Özyürek ^{3*},

¹TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

² Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye

³ Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

*Corresponding author: dozyurek@karabuk.edu.tr

+Speaker: ijlalispir@karabuk.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet – Bu çalışmada, yarı-katı işlem yöntemi ile Al-SiC kompozit malzemelerin sabit yük altında aşınma davranışları incelenmiştir. A356 matris, 4 farklı miktarda (%5, %10, %15 ve %20) SiC ilave edilmiştir. Titreşimli tip değirmende bilyesiz olarak (30 dakika) karıştırılan kompozit tozlar, soğuk preslenerek (800 MPa) green kompaktlar üretilmiştir. Üretilen green kompaktlar 550 °C kalıp sıcaklığı ve 590 °C fırın sıcaklığında 1 dakika preslenmiştir. Mikro yapı, sertlik ve küresellik oranı belirleme çalışmaları yapılmıştır. Aşınma testleri standart pin on disk aşınma test cihazında 15 N yük, 0,2 ms⁻¹ kayma hızı ve dört farklı (500 m, 1000 m, 1500 m ve 2000 m) kayma mesafesi kullanılmıştır. 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 elde edilirken, en düşük ağırlık kaybı ise %20 SiC ilave kompozit malzemelerde elde edilmiştir. Bununla birlikte en düşük sürtünme katsayısı ise %20 SiC ilave edilen kompozit malzemede olduğu görülmüştür.

Keywords – Yarı-katı şekillendirme, A356-SiC kompozit, aşınma, sürtünme katsayısı

Investigation of Wear Behaviors of Al-SiC Composite Materials Produced by Semi-Solid Process Method

Abstract – In this study, was investigated the wear behaviors under constant load of Al-SiC composite materials produced by semi-solid processing method. In the A356 matrix, was added four different amounts (5%, 10%, 15% and 20%) SiC. Composite powders mixed without ball (30 min) 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 590 °C furnace temperature 1 min were pressed. Microstructure, hardness and sphericity ratio were determined. The wear tests were used a pin on-disk type wear testing device, under 15 N loads and four different sliding distances (500m, 1000m, 1500m and 2000m). 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 was obtained from 5% SiC additional composite materials, the lowest weight loss was obtained from 20% SiC additional composite materials. In addition to , the lowest friction coefficient was obtained in the composite material added 20% SiC.

Keywords – Semi-solid forming, A356-SiC composite, wear, friction coefficient

I. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları endüstrinin birçok alanında demirden sonra en çok kullanılan metal ve alaşımlarıdır. Ancak alüminyum ve alaşımları endüstride bazı uygulamalarda beklentileri yeterince karşılayamamaktadır. Bu nedenle bu alaşımlarının bazı özelliklerinin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu durum Alüminyum matrisli kompozit (AMK) malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. AMK'ler hafif, yüksek mukavemetli, düşük ısıl genleşme katsayısına sahip ve iyi aşınma direnci sağlayan ve özellikleri geliştirilebilen bir malzeme grubu olarak kabul görmektedirler [1,2]. AMK'lerde yaygın olarak Al₂O₃ ve SiC gibi oksitler ve karbürler yaygın olarak kullanılan

takviyelerdir. Özellikle AMK'lerde aşınma direncini artırmak için monolitik matris alaşımlarına ilave edilir [3,4]. AMK üretiminde basınçlı döküm, püskürtme şekillendirme, infiltrasyon ve toz metalürjisi gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır [5,6]. Bu üretim yöntemlerine ilaveten yarı-katı kalıplama yöntemi diğer üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında bazı avantajlar sunmaktadır [7-9]. Bu avantajlardan bazıları, çok daha az gözeneklilik, düşük çalışma basınçlarında üretim yapabilmek, uzun kalıp ömrü ve düşük şekillendirme sıcaklıkları nedeniyle daha az enerji gereksinimi gibi sıralanabilir [10]. Ayrıca bu üretim yöntemi ile küresel yapılı (dentritik olmayan) malzemelerin üretimi de diğer bir avantajdır [11].

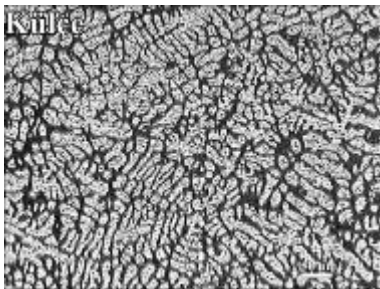
Yapılan bu çalışmada, farklı miktarlarda SiC ilave edilen A356 matrisli kompozit malzemeler yarı katı kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelere farklı miktarlarda SiC ilavesinin mikro yapı, küresellik oranı, sertlik ve aşınma davranışları üzerindeki etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

II. MALZEME VE METOT

Deneysel çalışmalarda matris malzemesi olarak Al-Si alaşımı (A356) kullanılmıştır. Kullanılan A356 alaşımı CMS Jant ve Makine Sanayinden külçe halinde temin edilmiştir. Külçe halinde temin edilen alaşımdan gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak toz haline getirilmiştir. Toz üretiminde argon gazı kullanılmıştır. Üretilen tozların ortalama toz boyutu $\leq 50 \mu\text{m}$ civarındadır. Matris içerisine dört farklı miktarda %5, %10, %15 ve %20 SiC ilave edilmiştir. Kompozit tozların hazırlanmasında titreşimli tip değirmen kullanılmıştır. Hassas terazide tartılarak hazırlanan tozlar SPK 80 çelik öğütme hücresinde bilyesiz olarak 30 dakika karıştırılmıştır. Tozların öğütme hücresine koyulması ve öğütme hücresinden alınması glow-box içerisinde argon ortamında yapılmıştır. Hazırlanan kompozit tozlar $\text{Ø}12 \times 35$ mm boyutlarında 800 MPa basınçla soğuk preslenmiştir. Preslenen numuneler yarı katı kalıplama ünitesinde grafit kalıp kullanılarak $550 \text{ }^\circ\text{C}$ kalıp sıcaklığı ve $590 \text{ }^\circ\text{C}$ fırın sıcaklığında 1 dakika süre ile preslenmiştir. Üretilen kompozit malzemeler, mikro yapı 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 dağlanmıştır. Dağlanan numunelerden mikro yapı görüntüleri 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. Aşınma testleri standart pin on disk tipi aşınma test cihazında 2 ms^{-1} kayma hızı, 15 N yük ve 4 farklı (500 m, 1000 m, 1500 m ve 2000 m) kayma mesafesi kullanılarak yapılmıştır. Aşınma testleri sonrası aşınmış yüzeyler Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir. SEM incelemelerinde JEOL JSM-6060 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

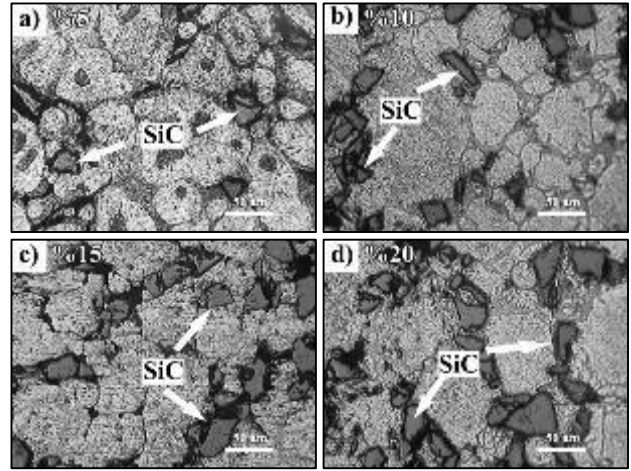
Şekil 1'de başlangıç malzemesi olarak kullanılan Al-Si alaşımının optik mikroskop görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Başlangıç malzemesi olarak kullanılan Al-Si alaşımı optik mikroskop görüntüsü.

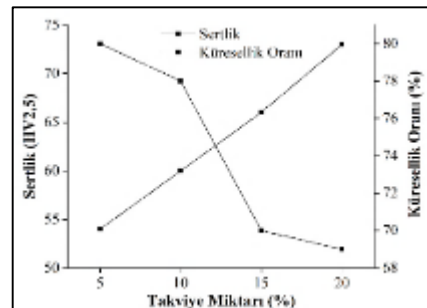
Şekil 1'de verilen başlangıç malzemesi olarak kullanılan Al-Si (A356) alaşımının mikro yapısı incelendiğinde, klasik döküm yöntemi ile elde edilen standart dentritik bir mikro yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi bir

malzemenin mikro yapısı mekanik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir [10]. Özellikle dentritik yapılarda dentritik kolları ve bu kollar arasındaki mikro boşluklar arasındaki mesafe alaşımın mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Şekil 2'de farklı miktarlarda SiC ilave edilen ve yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Farklı miktarlarda SiC ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerin optik mikroskop görüntüleri a) %5 SiC, b) %10 SiC, c) %15 SiC ve d) %20 SiC

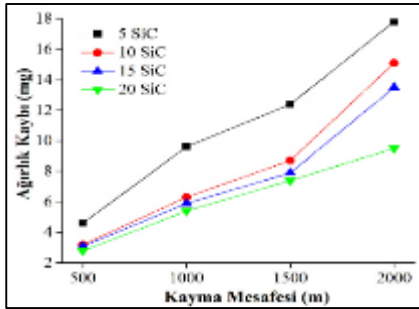
Şekil 2'de verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilen ve yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, uygulanan yarı katı kalıplama işlemi ile matris yapısının dentritik yapının tamamen dönüştüğü daha küresel bir formda olduğu görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [10,12]. Bununla birlikte artan SiC miktarı ile matris tanelerin küresel yapısında da değişme olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3'te verilen küreselleşme oranı bu durumu desteklemektedir. Ayrıca matrise ilave edilen SiC parçacıklarının yapıda homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Bununla birlikte SiC parçacıklarının özellikle tane sınırları ve Al tanelerini çevreleyen Al-Si ötektiline konumlandığı görülmektedir. Şekil 3'te farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin sertlik ve küreselleşme oranı verilmiştir.



Şekil 3. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin sertlik ve küreselleşme oranı.

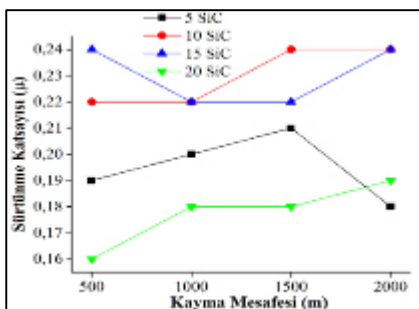
Şekil 3'te verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilen ve yarı katı üretim yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin sertlik sonuçları incelendiğine artan takviye miktarı sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek sertlik değeri %20 SiC içeren kompozit malzemede 73 HV ölçülürken, en düşük sertlik değeri %5 SiC ilave edilen kompozit

malzemede 54 HV olarak ölçülmüştür. Matris içerisinde sert parçacık takviyesinin artması, tane sınırları ve tane içerisine yerleşen parçacıklar malzemenin mukavemetini ve sertliğini artırmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [13, 14]. Ayrıca Aztekin vd. [10] yaptıkları benzer bir çalışmada yarı katı üretim yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin sertliklerinin arttığını belirtmişlerdir. Yine Şekil 3'te verilen küreselleşme oranı değişimi incelendiğinde artan SiC miktarı ile küreselleşme oranının azaldığı görülmektedir. %5 SiC ilave edilen kompozit malzemede yaklaşık %80 küreselleşme oranı görülürken %10 SiC ilave edilen kompozit malzemede yaklaşık %78, %15 SiC ilave edilen kompozit malzemede %70 ve %20 oranında SiC ilave edilen kompozitler malzemelerde ise %69 oranında bir küreselleşme oranı elde edilmiştir. Daha önce yapılan benzer bir çalışmada da küresellik oranında azalmanın olduğu ve SiC miktarındaki artışı ile, artan viskozitenin Al tanelerinin küreselliğinde azalmaya neden olduğu belirtilmiştir [11]. Şekil 4'te farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin 15 N yük altında aşınma sonrası ağırlık kaybı verilmiştir.



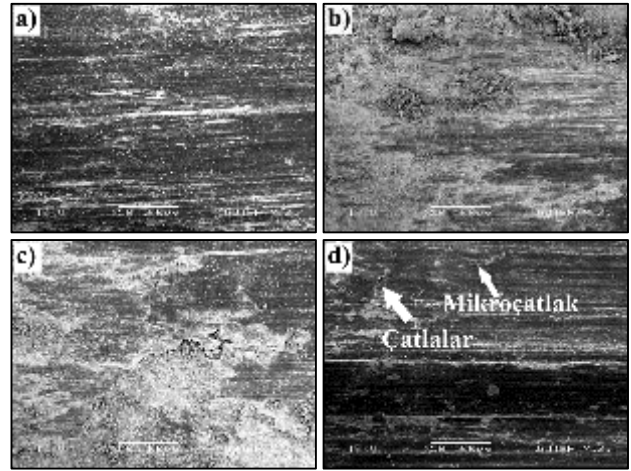
Şekil 4. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin ağırlık kaybı.

Şekil 4'te verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin 15 N yük altında aşınma sonrası ağırlık kaybı sonuçları incelendiğinde, artan takviye miktarı ile ağırlık kaybında azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum beklenen bir durumdur. Şekil 3'de verilen sertlik sonuçları ile karşılaştırıldığında sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde yapılan birçok çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir [11,15-17]. Yine sonuçlardan anlaşılacağı gibi %10 ve %15 SiC içeren kompozit malzemelerin özellikle 1500 m kayma mesafesinden sonra ağırlık kaybının ani bir artış olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum aşınma testi süresince numune yüzeyinden kopan iri bir parçaların ağırlık kaybını ani olarak artırdığı düşünülmektedir. Şekil 5'te farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin 15 N yük altında sürtünme katsayısı verilmiştir.



Şekil 5. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı.

Şekil 5'te verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin 15 N yük altında sürtünme katsayıları incelendiğinde, sonuçlarda belirli bir düzen olmadığı görülmektedir. Sürtünme katsayılarının Şekil 3'te verilen sertlik sonuçları ile herhangi bir uyum olmadığı anlaşılmaktadır. En yüksek sürtünme katsayısının %5 SiC ilave edilen kompozit malzemede olması beklenirken en yüksek sürtünme katsayısının %10 ve %15 SiC içeren kompozit malzemelerde elde edilmiştir. Ayrıca bütün kompozit malzemelerde sürtünme katsayısının artış yönünde olduğu görülmektedir. Bu durum aşınma esnasında numune disk kontak yüzeyinde oluşan hasardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kayma esnasında artan deformasyonla birlikte yüzeyde ve yüzeyin hemen altında oluşan mikro çatlakların büyümesiyle meydana gelen dökümler yüzey pürüzlülüğünü artırmakta ve bu durum sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Şekil 6'da verilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri bu durumu açık bir şekilde göstermektedir.



Şekil 6. Farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin aşınmış yüzey SEM görüntüleri a) %5 SiC, b) %10 SiC, c) %15 SiC ve d) %20 SiC

Şekil 6'da verilen farklı miktarlarda SiC ilave edilen kompozit malzemelerin 15 N yük altında aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde, bütün numunelerde yüzeyinde deformasyon izleri açık bir şekilde görülmektedir. Bütün numunelerin yüzeyinde oksit tabakasının oluştuğu da (beyaz bölgeler) anlaşılmaktadır. Bununla birlikte yine aşınma esnasında yüzeyden kopan aşınma parçalarının yüzeye tekrardan yapıştığı görülmektedir. Ayrıca %10 SiC ve %15 SiC ilave edilen kompozit malzeme yüzeyinde dökümlerin olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 5'te verilen sürtünme katsayısı sonuçlarını desteklemektedir. Bununla birlikte %5 SiC ve %20 SiC ilave edilen kompozit malzemelerin yüzeyinde ise oluşan mikro çatlaklar görülebilmektedir. Ayrıca numunelerde adhesiv aşınma mekanizmasının baskın olduğu anlaşılmaktadır.

IV. SONUÇLAR

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

- Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerde, homojen bir SiC parçacık dağılımı ve küresel taneli yapı elde edilmiştir.

- Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerde, en yüksek küresellik oranı %5 SiC ilave edilen kompozit malzemede %80 oranında elde edilmiştir. Artan SiC miktarı ile küresellik oranında azalma olduğu görülmüştür.
- Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerde, artan SiC miktarı ile sertliğin arttığı görülmüştür. En yüksek sertlik %20 SiC ilave edilen kompozit malzemede görülmüştür.
- Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerde, artan SiC miktarı ile ağırlık kaybı azaldığı görülmüştür. En yüksek ağırlık kaybı %5 SiC ilave edilen kompozit malzemede elde edilirken, en düşük ağırlık kaybı %20 SiC içeren kompozit malzemelerde görülmüştür.

- [16] S. Mosleh-Shirazi, F. Akhlaghi, & D. Y. Li, "Effect of SiC content on dry sliding wear, corrosion and corrosive wear of Al/SiC nanocomposites," Transactions of Nonferrous Metals Society of China, vol. 26(7), pp. 1801-1808, 2016.
- [17] A. Karthikeyan, & S. Nallusamy, "Experimental analysis on sliding wear behaviour of aluminium-6063 with SiC particulate composites," In International Journal of Engineering Research in Africa, Trans Tech Publications, vol. 31, pp. 36-43, 2017.

REFERENCES

- [1] J. W. Kaczmar, K. Pietrzak, & W. Włosiński, "The production and application of metal matrix composite materials," Journal of Materials Processing Technology, vol. 106(1-3), pp. 58-67, 2000.
- [2] M. Alizadeh, M. H. Paydar, & F. S. Jazi, "Structural evaluation and mechanical properties of nanostructured Al/B4C composite fabricated by ARB process." Composites Part B: Engineering, 44(1), 339-343, 2013.
- [3] I. Mutlu, O. Eldogan, & F. Findik, "Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes," Tribology International, vol. 39(4), pp. 317-325, 2006.
- [4] U. Soy, A. Demir, & F. Findik, Friction and wear behaviors of Al-SiC-B4C composites produced by pressure infiltration method. Industrial Lubrication and Tribology, vol. 63(5), pp. 387-393, 2011.
- [5] T. S. Srivatsan, I. A. Ibrahim, F. A. Mohamed, & E. J. Lavernia, "Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminium matrix composites," Journal of Materials Science, vol. 26(22), pp. 5965-5978, 1991.
- [6] H. S. Lee, J. S. Yeo, S. H. Hong, D. J. Yoon, & K. H. Na, "The fabrication process and mechanical properties of SiCp/Al-Si metal matrix composites for automobile air-conditioner compressor pistons," Journal of Materials Processing Technology, vol. 113(1-3), pp. 202-208, 2001.
- [7] E. J. Zoqui, M. Paes, & M. H. Robert, "Effect of macrostructure and microstructure on the viscosity of the A356 alloy in the semi-solid state," Journal of Materials Processing Technology, vol. 153, pp. 300-306, 2004.
- [8] H. V. Atkinson, & D. Liu, "Microstructural coarsening of semi-solid aluminium alloys," Materials Science and Engineering: A, vol. 496(1-2), pp. 439-446, 2008.
- [9] M. Paes, & E. J. Zoqui, "Semi-solid behavior of new Al-Si-Mg alloys for thixoforining," Materials Science and Engineering: A, vol. 406(1-2), pp. 63-73, 2005.
- [10] H. Aztekin, D. Özyürek, & K. Çetinkaya, "Production of hypoeutectic Al-Si alloy based metal matrix composite with thixomoulding processing," High Temperature Materials and Processes, vol. 29(3), pp. 169-178, 2010.
- [11] D. Özyürek, M. Yıldırım, & İ. Çiftçi, "The tribological properties of A356-SiCp metal-matrix composites fabricated by thixomoulding technique," Science and Engineering of Composite Materials, vol. 19(4), pp. 351-356, 2012.
- [12] K. S. Alhawari, M. Z. Omar, M. J. Ghazali, M. S. Salleh, & M. N. Mohammed, "Microstructural evolution during semi solid processing of Al-Si-Cu alloy with different Mg contents," Transactions of Nonferrous Metals Society of China, vol. 27(7), pp. 1483-1497, 2017.
- [13] İ. Şimşek, M. Yıldırım, T. Tunçay, D. Özyürek, & D. Şimşek, "Mekanik alaşımlama/öğütme yöntemi ile üretilen Al-SiC kompozitlerin incelenmesi," Technological Applied Sciences, vol. 13(2), pp. 165-171, 2018.
- [14] İ. Şimşek, D. Şimşek, & D. Özyürek, "Production and characterization of Al-SiC composites prepared by mechanical milling and pressureless sintering," BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, vol. 8(1), pp. 227-233, 2019.
- [15] M. Moazami-Goudarzi, & F. Akhlaghi, "Wear behavior of Al 5252 alloy reinforced with micrometric and nanometric SiC particles," Tribology International, vol. 102, pp. 28-37, 2016.