

Takviye Parçacık Boyutunun SiO₂ Takviyeli Al-Si Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Davranışı Üzerinde Etkisi

Ferhat GÜL*, Lokman ŞENEL

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Beşevler / ANKARA

Alınış tarihi:27.01.2010, Kabul tarihi:27.05.2010

Özet: Bu çalışmada, silika parçacık takviyeli Al matrisli kompozitlerin iki gövdeli abrasif aşınma davranışı incelenmiştir. Metal matris kompozitler vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmiştir. Takviye olarak ortalama 120 and 80 µm boyutlarına sahip SiO₂ parçacıklar kullanılmıştır. Metal matris ile takviye arasındaki ıslatabilirliği teşvik etmek için Al10Si alaşımına % 5 Mg ilave edilmiştir. Aşınma testleri pin on disk aşınma cihazında 10, 20, 30 N yük altında ve 60, 100, 220 ve 400 Mesh abrasif zımpara kâğıdında yapılmıştır. Kompozitlerin aşınma dayanımı artan takviye parçacık boyutu ile artmaktadır. Sonuçlar, aynı zamanda artan yük uygulaması ve abrasif parçacık boyutu ile abrasif aşınma dayanımının düştüğünü göstermiştir. Kompozitlerde baskın aşınma parametresi abrasif parçacık boyutu iken, matris malzemede bunun uygulanan yük olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Abrasif Aşınma, Metal Matris Kompozit, Takviye Parçacık Boyutu

Effect of Reinforcement Particle Size on the Abrasive Wear of Al-Si Composites Reinforced with SiO₂

Abstract:In this study, the two-body abrasive wear behavior of aluminum matrix composites reinforced with silica particles has been investigated. The metal matrix composites were fabricated by a vacuum infiltration route. SiO₂ particles with mean sizes of 120 and 80 µm are used as the reinforcement. 5 % magnesium was added into Al10Si alloys to promote wettability between metal matrix and reinforcement particles. Wear tests have been carried out on a pin on disc wear test apparatus under loads of 10, 20, 30 N, with 60, 100, 220 and 400 Mesh abrasive paper. Wear resistance of composites increased with increasing reinforcement particle size. Abrasion resistance decreased with increasing applied load and abrasive particle size. Dominant wear parameter is found to be the abrasive particle size in composites, whereas it is the applied load in matrix material.

Keywords: Abrasive Wear, Metal Matrix Composites, Reinforcement Particle Size

Giriş

Metal matrisli kompozitlerin, takviye edilmemiş alaşımlara göre mukavemette gösterdiği gelişim, sağlamlık ve aşınma dayanımında oluşturduğu artış nedeni ile, uzay ve otomotiv endüstrisinde kullanımı giderek artmaktadır. Yaygın olarak kullanılan metal matrisler alüminyum, magnezyum, titanyum ve diğer hafif metalleri kapsamaktadır. Takviye olarak fiber, whisker ve parçacık malzemeler kullanılmaktadır (Al-Rubaie vd, 1999). Yaygın olarak kullanılan takviyeler ise silisyum karbür, alüminyum oksit ve grafitir. Alüminyum alaşımlarının SiC ve Al₂O₃ ile takviye edilmesinin, alaşımların abrasif aşınma direncini geliştirdiği gözlenmiştir (Modi 2001-a, Tjong vd., 2000). Fiberlerin ve fiber takviyeli kompozit malzemelerin üretim maliyetinin yüksek olması nedeniyle, parçacık takviyeli kompozit malzemeler, fiber takviyeli kompozitlerden daha düşük maliyete sahiptir (Natarajan vd., 2006). Gelişmiş fiziksel ve mekanik özelliklerine ek olarak, partikül takviyeli kompozitler, genellikle izotropiktir ve metaller için kullanılan ticari metotlarla işlem yapılabilir. Bu nedenle, silisyum karbür takviyeli alüminyum kompozitlerin silindirik başı, motor gömleği, pistonlar, fren rotoru, baskı plakaları için alternatif malzeme olarak kullanımı artmaktadır. Metal matris kompozit malzemelerin abrasif aşınma direnci üzerine birçok araştırma çalışması gerçekleştirilmiştir.

(Das vd., 2007, Kumar vd., 2007, Mondal vd., 1998, Singh vd., 1999, Sawla vd., 2004, Lee vd., 2002, Singh vd., 2002, Mondal vd., 2006, Das vd., 2008). Al- Rubaie ve arkadaşlarının (Al-Rubaie vd., 1999) Al-SiC kompozit malzemelerin aşınma davranışı üzerine yapmış olduğu çalışmada, SiC takviye boyutunun artması ile abrasif aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Das ve arkadaşlarının (Das vd., 2007), alümina ve zirkon takviye edilmiş Al-% 4,5 Cu kompozitlerin abrasif aşınma davranışı üzerine yapmış oldukları çalışmada, her iki kompozit malzemede takviye parçacık boyutundaki azalma ile aşınma direncinin arttığı ve ayrıca zirkon takviyeli kompozit ile kıyaslandığı zaman, alümina takviyeli kompozitin nispeten zayıf aşınma direnci sergilediği belirlenmiştir. Lee ve arkadaşlarının (Lee vd., 2002), yapmış olduğu teorik çalışmada ise, takviyenin rolünü tanımlayan kritik değişkenlerin takviyenin nispi boyutu, dalma derinliği ve matris takviye arayüzeyi ve takviyenin tokluğu olarak tanımlanmıştır. Mondal ve arkadaşlarının (Mondal vd., 2006), SiC takviyeli Al-12Si alaşımlarının abrasif aşınma davranışı üzerine yaptığı çalışmada, kompozitin aşınma direncinin takviye boyunun karesi ile ters orantılı olarak değiştiği, uygulanan yükün doğrusal bir fonksiyonu olduğu ve abrasif parçacık boyutu ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan yük ve aşındırıcı parçacık boyutunun artışı ile aşınma

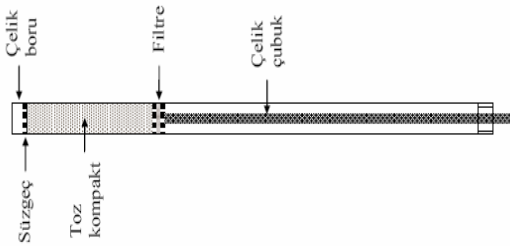
miktarının arttığı bir çok çalışmada ifade edilmiştir (Mondal vd.,1998, Singh vd., 1999, Singh 2002, Mondal 2006, Prasad vd. 1997, Prasad 2002, Modi 2001a, Singh vd. 2001, Modi vd. 2001b, Candan vd., 2001, Tjong vd., 2000, Kumar vd., 2010, Sharma vd., 1997). Bazı çalışmalarda takviye parçacık boyutunun artması ile aşınma direncinin arttığı (Prasad vd., 1997), bazı çalışmalarda ise azaldığı (Al-Rubaie vd., 1999, Das vd., 2007) belirtilmektedir. Bununla beraber, parçacık takviyeli kompozitlerin abrasif aşınma davranışı üzerine istatistiksel analiz kullanılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesini ele alan çalışma sınırlı sayıdadır (Kumar vd., 2010). Ayrıca takviye malzeme olarak SiO₂'in kullanıldığı kompozitin üretimi ve abrasif aşınması üzerine bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada SiO₂ takviye edilmiş Al-%10 Si alaşımlarının vakum infiltrasyon tekniği ile üretimi gerçekleştirilmiş, bu kompozitlerin abrasif aşınma davranışı incelenmiş, takviye ve aşındırıcı parçacık boyutunun abrasif aşınmaya etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Malzeme ve Yöntemler (Yordam)

Toz Kompaktların Hazırlanması

İnfiltrasyon işleminde, takviye malzeme olarak ortalama boyutları 120 ve 180 mesh olan SiO₂ tozlarının ıslatabilirliğini arttırmak için, tozlar 900°C'de 5 dakika bekletilerek SiO₂ (Tridimit) dönüşümü sağlanmıştır. Böylece Şekil 1'de şematik olarak gösterilen 10 mm dış çapında, 8 mm iç çapında ve 150 mm uzunluğunda uç kısmına paslanmaz süzgeç ve alüminyum folyo yerleştirilmiş çelik boruların içine elde edilen SiO₂ takviye tozlardan 5 g konulmuştur. Daha sonra takviye tozların üst kısmına hazırlanan filtre ve 35 g ağırlığında çelik çubuklar yerleştirilmiş ve 3 dakika sabit şiddette vibrasyon uygulanarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma sonrasında yaklaşık 50 mm uzunluğunda kompaktlar hazırlanmıştır.



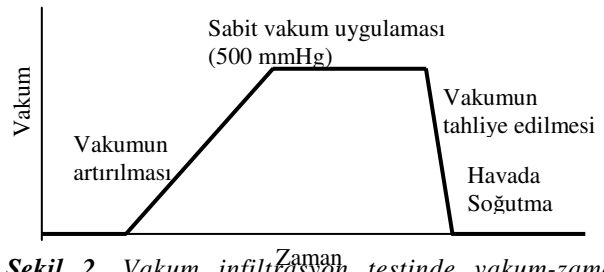
Şekil 1. İçerisine sıvı Al alaşımı infiltrate edilen toz kompakt

Vakum İnfiltrasyon İşlemi

Al-SiO₂ kompozitlerin üretimi için daha önceki çalışmalarda şematik olarak gösterilen (Gül, 2005a, Gül ve Şenel, 2005) vakum infiltrasyon cihazı tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Sistem, ergitme ünitesi, içerisinde toz kompakt bulunan bir çelik boru, vakum ve koruyucu gaz kontrolünün yapıldığı infiltrasyon kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

Tablo 1'de bileşimi verilen 3 Kg Etial 171 alaşımı ergitilmiştir. Sıvı metal 800 °C sıcaklığa ulaştığında, içerisinde toz kompakt bulunan çelik boru sıvı metale daldırılır ve aynı anda vakum pompası çalıştırılarak istenilen vakum değerine getirilmektedir.

Daldırmayı takiben vakum uygulaması ve aynı anda kronometre çalıştırılarak infiltrasyon süresi başlatılmakta ve infiltrasyon süresince kompaktlara sabit değerinde (500 mmHg) vakum uygulaması yapılmaktadır. İnfiltrasyon süresi sona erdiğinde, infiltre edilmiş çelik boru sıvı metalin içerisinden çıkartılarak vakum pompası kapatılmaktadır. İnfiltrate edilen kompozitler daha sonra oda sıcaklığına havada soğutulmaktadır. Ergitme ve infiltrasyon işlemi sırasında sıcaklık kontrolü sıvı metalin içerisine yerleştirilen K-tipi bir termokapl ile ±2°C hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Vakum infiltrasyon işlemindeki vakum-zaman değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Vakum infiltrasyon testinde vakum-zaman değişimi

Metaloğrafik İnceleme

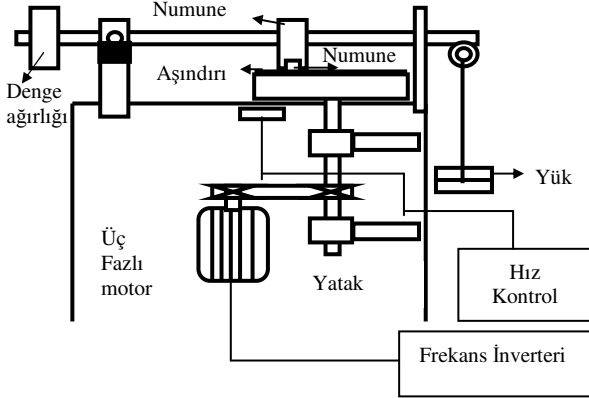
Vakum infiltrasyon yöntemi ile elde edilen SiO₂ takviyeli Al-10 Si döküm alaşımı kompozitler, standart metalografi işlemlerinden sonra Prior marka optik metal mikroskopunda incelenmiştir. Elde edilen mikroyapı görüntüleri 35 büyütmede bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Aşınma Testleri

Şekil 2'de şematik olarak verilen disk üzerinde pim aşınma test cihazında, disk üzerine 60, 100, 220 ve 400 Mesh Al₂O₃ zımpara kâğıtları yapıştırılarak abrasif aşınma testleri, gerçekleştirilmiştir. Aşınma numunesi olarak 6,25 mm çapında silindirik numuneler kullanılmış, deney öncesi bu numuneler 800 Mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Abrasif aşınma testinde 10N, 20N ve 30N yük 0,1 m/s kayma hızı ve 7,5 m kayma mesafesi uygulanmıştır. Abrasif aşınma miktarı, 0,1 mg hassasiyetine sahip dijital terazide deney öncesi ve sonrası tartılarak tespit edilmiştir. Aşınma deneyi sırasında numunenin sürekli yeni zımpara yüzeyi üzerinden geçmesini sağlamak için özel olarak tasarlanan ve hız kontrol imkânına sahip bir mekanizma ile diskin her dönüşünde 3 mm kaydırma meydana getirecek şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Her test numunesinden üç test yapılarak ağırlık kayıplarının ortalama değerleri alınmış ve aşınma miktarı belirlenmiştir. Aşınma deney sonuçları SPSS 15 programı kullanılarak istatistiki olarak analiz edilmiştir.

Tablo 1. İnfiltrasyon işleminde kullanılan matris alaşımlarının kimyasal bileşimi ve kompozit kodlama sistemi

Kod	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb	Al
M1	9.42	0.38	0.05	0.43	0.36	0.015	0.04	0.06	0.10	0.011	kalan
M2	9,01	0,361	0,048	0,41	4,8	0,014	0,037	0,056	0,1	0,01	kalan
C3	M2 matris + 125 Mesh (120 µm) SiO ₂										
C4	M2 matris + 180 Mesh (80 µm) SiO ₂										

**Şekil 3.** Disk üzerinde pim aşınma test cihazı

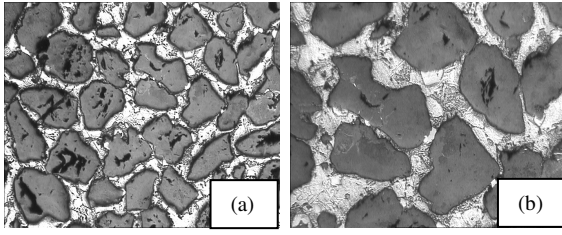
DeneySEL Bulgular ve Tartışma

Yapılan deneysel çalışmada, vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen farklı takviye boyutuna sahip Al-SiO₂ kompozitlerin mikroyapıları Şekil 4'de gösterilmiştir. Mikroyapı incelemeleri, SiO₂ partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığını göstermiştir. Sawla ve arkadaşlarının (Sawla vd., 2004) yapmış olduğu çalışmada, Al matris içerisinde SiC takviyenin homojen bir şekilde dağılım sergilediği ifade edilmektedir. Genel olarak yapılan literatür çalışmalarında da parçacık takviyeli kompozitlerde homojen bir dağılım gözlenmiştir (Al-Rubaie vd., 1999, Das vd., 2007, Sawla vd., 2004, Singh vd., 2001). Yapılan çalışmada Mg ilavesi ile matrisin ıslatabilirliğinin geliştirilmesi, matris ve kompozit sertliğinin artırılması amaçlanmıştır. Öte yandan 180 µm boyuta sahip SiO₂ takviyeli kompozitlerin üretimi için, alaşıma Mg ilavesi gerekli olmuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda da (Acılar, M., 2002, Gül, F., 2002) SiC/ Al kompozit üretimi için sıvıya Mg ilave edilmeden infiltrasyon sağlanamamıştır. Öte yandan birçok çalışmada seramik takviyeli Al kompozitlerde ıslatabilirliğin geliştirilmesi için sıvı alaşıma Mg ilavesi gerçekleştirilmiştir. (Mindivan vd. 2008, Valdez vd. 2008, Mahamood vd.2008, Ahlatci vd., 2006.). Mg gibi alaşım elementlerinin matris/takviye arayüzünde birikerek ıslatmayı geliştirdiği belirtilmektedir (S. Valdez vd. 2008). Bu çalışmada matris malzemeye yapılan % 5 Mg ilavesi ile sertlik 95 HV5 değerinden yaklaşık 112 HV5 değerine yükselmiştir. Matris alaşımına Mg ilavesi ile sertlik artışı daha önce yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir (^aGül 2005, ^bGül 2005, ^cGül vd., 2005). Öte yandan % 5 Mg içeren M2 matris kullanılarak hazırlanan 120 µm SiO₂ takviyeli kompozitte 137 HV5 ve 80 µm SiO₂ takviyeli kompozitte ise 148 HV5 sertlik değeri elde

edilmiş ve dolayısıyla takviye boyutunun azalması ile kompozit sertliğinde artma meydana gelmiştir. Mondal ve arkadaşları tarafından ADC-12 Al-SiC kompozit malzemede 65 µm SiC takviye kullanımı durumunda 119 Kg/mm² sertlik elde edilirken, 36 µm SiC takviye kullanımı durumunda 127 Kg/mm² değerine ulaşmıştır (Mondal ve Das, 2006). Buna karşılık Al-Rubaie ve arkadaşlarının SiC takviyeli Al alaşımlarının abrasif dayanımı konusunda yapmış oldukları çalışmada, küçük boyutlu Al₂O₃ takviyenin matris içine gömülerek sertliği düşürdüğü ifade edilmektedir (Al-Rubaie vd., 1999).

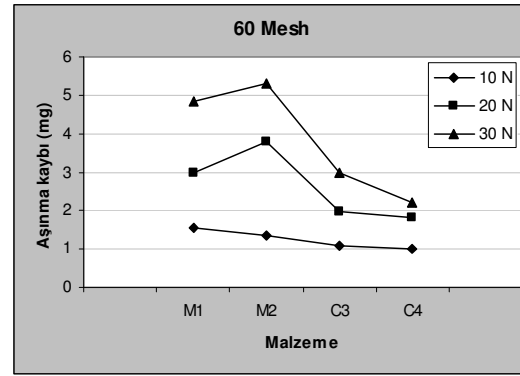
Şekil 5'de abrasif aşınma deneylerinde meydana gelen aşınma miktarları gösterilmektedir. Yapılan çalışmada Mg ilavesi ile matrisin sertliğinde artış meydana geldiği ve ancak 250 µm gibi iri aşındırıcı kullanımı durumunda düşük abrasif aşınma direnci sergilediği görülmektedir. Genel olarak Mg ilaveli matrisin ve azalan zımpara boyutu ile Mg ilavesiz matrise göre daha az aşındığı görülmektedir (Şekil 5). Mg ilavesi ile oluşumu sağlanan Mg₂Si çökeltilerinin (Ye, 2003), iri aşındırıcı parçacıklar tarafından kazanıp gitmesi ve yüksek sertliğinden kaynaklanan gevrekliği nedeniyle kolay kırılabilirdiğinden, Mg ilavesi ile artan sertliğe rağmen kalın aşındırıcı parçacık kullanımı ile abrasif aşınma direncinde azalma, daha önce yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir (Gül, 2005b).

Tüm deney numunelerinde, aşındırıcı parçacık boyutu ve yükte meydana gelen artış ile aşınma miktarında önemli oranda artış meydana geldiği açık bir şekilde görülmektedir. Das ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise artan yük ve zımpara boyutu ile, aşınma miktarında artış olduğu ve artan takviye hacim oranı ile aşınma direncinin arttığı belirtilmektedir. Das ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, kompozitin aşınma oranının, alaşımdan düşük olduğu ve artan SiC oranı ile azaldığı belirtilmektedir. Öte yandan LM13-% 10 ağ. SiC kompozitin aşınma oranı 1N yük altında LM13-15 wt% SiC kompozitin aşınma oranına yakın iken, 7 N yük altında LM13-15 wt% SiC kompozit % 10 SiC takviyeli kompozite göre aşınma oranında önemli derecede azalma gözlenmiştir (Das vd., 2008). Böylece takviyenin malzemenin belirli bir değere kadar yüksek yük uygulamalarında, aşınma oranının azaltılmasında daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışma sonuçlarına göre alaşıma ilave edilen takviye malzemenin abrasif aşınma direncini arttığı, takviye parçacık büyüklüğü artarken ve aşındırıcı parçacıkların büyüklüğü azalırken, aşınma direncinde artış meydana gelmektedir.

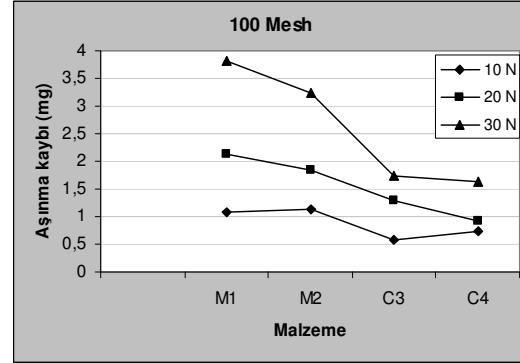


Şekil 4. SiO₂ takviyeli kompozit numunelerin mikroyapıları; (a) 125 mesh X35, (b) 180 mesh X35

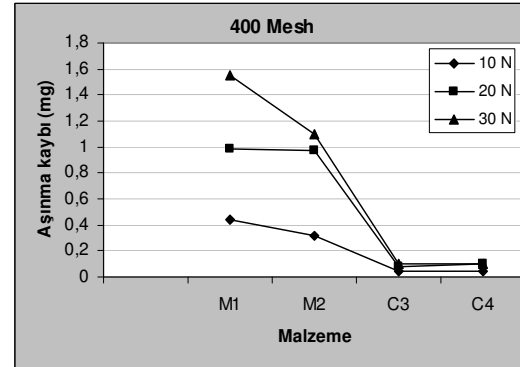
Ancak kompozit ile matris arasındaki en yüksek aşınma farkı, en düşük zımpara boyutlarında gerçekleşmektedir (Şekil 5 c ve d). 50- 80 µm SiC takviye malzemenin kullanıldığı Das ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, abrasive parçacık boyutunun 60 µm'dan küçük olduğu durumda aşındırıcı boyutunun etkisinin önemli olmadığı, 60 µm'dan büyük abrasive parçacık kullanımı ile aşınma oranında ani bir artışın meydana geldiği belirlenmiştir (Das vd., 2008). Literatürde de görüldüğü gibi takviye boyutu üzerine çıkan aşındırıcı boyutunun abrasif aşınma direncini düşürdüğü görülmektedir. Bu çalışmada da 120 µm (125 Mesh) ve 80 µm (180 Mesh) takviye boyutuna karşılık 250 µm (60 Mesh), 150 µm (100 Mesh), 70 µm (220 Mesh), 38 µm (400 Mesh) aşındırıcı zımparalar kullanılmıştır. Dolayısıyla 250 µm, boyuta sahip iri aşındırıcı malzeme, iri takviye malzemenin 120 µm yaklaşık iki katı boyuta sahip bulunmaktadır. Özellikle ince takviye malzemelerin ve büyük aşındırıcı partiküllerin kullanıldığı deneylerde takviyenin kazınıp kaldırılması (sabanlama), zaman zaman da meydana gelen takviye kırılması ve sökülmesi nedeniyle aşınma miktarında artış meydana getirdiği görülmektedir. Dolayısıyla abrasif aşınma testi sonuçlarından, nispeten daha küçük aşındırıcı zımpara boyutu kullanımı durumunda kompozitin matrise göre mükemmel abrasif aşınma direnci sergilediği görülmektedir. Lee ve arkadaşlarının kompozit malzemeler için fiziksel bazlı abrasif aşınma modeli hakkında yapmış olduğu teorik çalışmada, farklı şartlar altında, aşındırıcı parçacıkların farklı aşındırma mekanizmalarına neden olduğu ifade edilmiştir. Aşındırıcı boyutunun, takviye boyutundan çok fazla olduğu durumda, takviye malzeme aşındırıcıya karşı direnç gösterememekte ve pulluk ile tarlanın sürülmesi sırasında küçük taş parçalarının toprak ile kolay sürülmesi gibi, takviyenin alttan dalarak, takviye parçacıkları matris içerisinde yerinden kaldırarak çıkartması mümkün olabilmektedir. Diğer taraftan takviyenin küçük olmadığı durumda ise, takviye/matris arayüzeyinin ayrılması nedeniyle takviyenin kopması veya sert takviyelerin üzerinden atlayarak veya takviyeleri kırarak aşındırdığı ifade edilmektedir (Lee vd., 2002). Örneğin Candan ve arkadaşlarının (Candan vd., 2001) basınçlı infiltrasyon tekniği ile SiC takviyeli Al kompozitlerin aşınma davranışı hakkında yapılan çalışmada, aşınan yüzeylerin incelenmesinde SiC takviye parçacıklarının 60 mesh Al₂O₃ aşındırıcı parçacıklar tarafından kırılarak aşındırıldığı ifade edilmiştir. Modi tarafından yapılan 75–150 mm boyutuna sahip Al₂O₃ takviyeli AA2014 Al-Cu



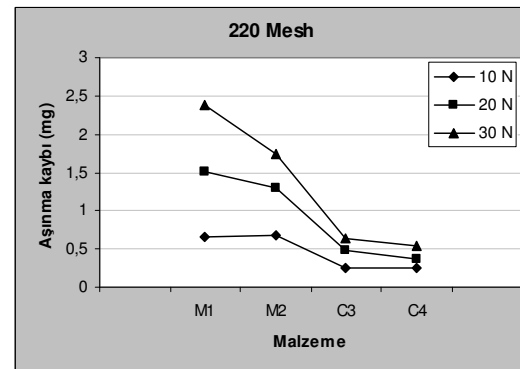
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5. 10 N, 20 N, 30 N yükler altında aşındırılan numunelerin aşınma miktarında SiO₂ partikül takviye boyutunun etkisi (M1: Etial 171, M2: Etial 171+%5 Mg, C3: Etial 171+%5 Mg +125 mesh takviye ve C4: Etial 171+%5 Mg +180 mesh takviye)

alaşımı kompozitin aşınma testlerinde tüm yükler altında 20, 35 and 60 µm boyuta sahip aşındırıcı boyutu için matris malzemeden çok yüksek dirence sahip iken, 100 µm aşındırıcı kullanıldığında trendin tersine döndüğü belirlenmiştir (Modi, 2001). Sonuç olarak kompozit malzemelerin abrasiv aşınmasında takviye matris arayüzey bağı, takviye malzemeye göre aşındırıcı boyutu ve sertliğinin ve uygulanan yükün önemli parametreler olduğu görülmektedir.

Aşınma testi sonuçlarının istatistiksel analizi için SPSS 15 programında regresyon ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre Etial 171 alaşımında, aşınma üzerinde zımpara boyutu ve yükün %87,1 oranında etkiye sahip olduğu ve bunun oranın %51,1'inin yükün, %36'sının ise zımpara boyutunun etkisi olduğu görülmektedir. Etial 171 alaşımına Mg ilavesi ile aşınma üzerinde yük ve zımpara boyutunun etkisi %73,2 olarak bulunurken, bu etkinin %32,7'sinin yükten, %40,5'inin ise zımpara boyutundan kaynaklandığı belirlenmiştir. Böylece matrise Mg ilavesi ile zımpara ve yükün etkisinin azaldığı belirlenmiştir. 125 mesh SiO₂ takviyeli kompozit malzemede meydana gelen aşınmanın %77,3 zımpara boyutu ve yükün etkisi ile meydana geldiği, bunun %16,3'ü yükün, %61'i ise zımpara boyutunun etkisi olduğu tespit edilmiştir. 180 mesh takviyeli kompozit malzemede meydana gelen aşınmanın %80,2'si yük ve zımpara boyutunun etkisi ile meydana gelmektedir. Bu oranın %12,5'i yükün etkisi, %67,7'si zımpara boyutunun etkisi olarak ifade edilmektedir. Sonuç olarak matris malzemenin aşınmasında yük etkili faktör iken, kompozit malzemede aşındırıcı parçacık boyutu etkili faktör haline gelmektedir. Öte yandan takviye boyutu artarken zımparanın etkisi azalmakta, yükün etkisi ise artmaktadır. Yukarıda belirtilen etkenler dışındaki faktörler, takviye ve matris arayüzünün bağ mukavemeti, dalma ile sert fazların sabanlanması ve kırılması olarak düşünülmektedir.

Sonuçlar

SiO₂ takviyeli Al-%10 Si alaşımı kompozit malzeme, vakum infiltrasyon yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiştir.

Kompozit malzemelerde SiO₂ takviye parçacıkların homojen bir dağılım sergilediği gözlenmiştir.

Yapılan abrasif aşınma testlerinde, matrisin sertliği, aşındırıcı zımpara boyutu ve yükün aşınmada etkili faktörler olduğu belirlenmiştir.

SPSS analizlerinde, matris yapının aşınmasında yükün baskın olduğu, sert fazların ve parçacık takviyeli kompozitlerin aşınmasında ise zımpara boyutunun etkin olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

Acılar, M., 2002. Al-SiC Kompozitlerinin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışının Araştırılması, Doktora Tezi.

Al-Rubaie K. S., Yoshimura H. N., Mello J. D. B., 1999. "Two-Body Abrasive Wear of Al-SiC Composites" *Wear* 233–235, 444–454

Ahlatcı, H. Koçer, T. Candan, E. Çimenoglu, H., 2006. "Wear Behaviour of Al/(Al₂O₃+SiCp) Hybrid Composites" *Tribology International* 39, 213–220

Candan E., Ahlatcı H., Çimenoglu H., 2001. "Abrasive Wear Behaviour of Al-SiC Composites Produced by Pressure Infiltration Technique" *Wear* 247, 133–138

Das S., Das, S., Das K., 2007. "Abrasive wear of zircon sand and Alumina Reinforced Al-4.5 wt%Cu Alloy Matrix Composites – A Comparative Study" *Composites Science and Technology* 67, 746–751

Das S., Mondal D.P., Sawla S., Ramakrishnan N., 2008. "Synergic Effect of Reinforcement and Heat Treatment On the Two Body Abrasive Wear of An Al-Si Alloy Under Varying Loads and Abrasive Sizes" *Wear* 264, 47–59.

Gül, F., Acılar, M., 2002. "Al-SiCp Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretiminde Yöntem Değişkenlerinin İncelenmesi" *Politeknik Dergisi*, Cilt: 4 Özel Sayı 21-27.

^aGül, F., 2005. "Fused Silika Takviye Edilmiş Al Alaşımı Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Davranışı Üzerine Mg'un Etkisi" 4th International Powder Metallurgy Conference, May 18-22.

^bGül, F., "Al-Si/ZrSiO₄ Parçacık Kompozitlerin Abrasif Aşınma Davranışı Üzerine Takviye Parçacık Büyüklüğünün Etkisi", 4. İleri Teknolojiler Sempozyumu, 28-30 Eylül 2005

Gül, F., ŞENEL, L., 2005. "Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilen MgO Parçacık Takviye Edilmiş Al-10 Si Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Davranışı Üzerine Mg'un Etkisi", 4th International Powder Metallurgy Conference, May 18-22.

Kumar S., Sarma V. S., Murty B.S., 2007. "Influence of in Situ Formed TiB₂ particles On the Abrasive Wear Behaviour of Al-4Cu Alloy" *Materials Science and Engineering A* 465 , 160–164

Kumar S., Balasubramanian V., 2010. "Effect of Reinforcement Size and Volume Fraction On the Abrasive Wear Behaviour of AA7075Al/SiCp P/M Composites A Statistical Analysis" *Tribology International* 43, 414–422

Lee G. Y., Dharan C.K.H., Ritchie R.O., 2002. "A Physically-Based Abrasive Wear Model For Composite Materials" *Wear* 252, 322–331

- Mahamood Hassan, A. Alrashdan, A. Hayajneh, M. T. Turki Mayyas, A., 2009. "Wear Behavior of Al-Mg-Cu-Based Composites Containing SiC Particles" *Tribology International* 42, 1230–1238
- Mindivan, H. Kayali, E. S. Çimenoglu H., 2008. "Tribological Behavior of Squeeze Cast Aluminum Matrix Composites" *Wear* 265, 645–654.
- ^aModi O.P., 2001. "Two-Body Abrasion of a Cast Al-Cu (2014 Al) Alloy-Al₂O₃ Particle Composite: Influence of Heat Treatment and Abrasion Test Parameters" *Wear* 248, 100–111.
- ^bModi O.P., Yadav R.P., Prasad B.K., Jha A.K., Das S., Yegneswaran A.H., 2001. "Three-Body Abrasion of A Cast Zinc-Aluminium Alloy: Influence of Al₂O₃ Dispersoid and Abrasive Medium" *Wear* 249, 792–799
- Mondal D.P., Das S., Jha A.K., Yegneswaran A.H., 1998. "Abrasive Wear of Al Alloy-Al₂O₃ Particle Composite: A Study On the Combined Effect of Load and Size of Abrasive" *Wear* 223, 131–138
- Mondal D.P., Das S., 2006. "High Stress Abrasive Wear Behaviour of Aluminium Hard Particle Composites: Effect of Experimental Parameters, Particle Size and Volume Fraction" *Tribology International* 39, 470–478
- Natarajan N., Vijayarangan S., Rajendran I., 2006. "Wear Behaviour of A356/25SiCp Aluminium Matrix Composites Sliding Against Automobile Friction Material" *Wear* 261, 812–822
- Prasad B. K., Das S., Jha A. K., Modi O. P., Dasgupta R. and Yegneswaran A. H., 1997. "Factors Controlling The Abrasive Wear Response of A Zinc-Based Alloy Silicon Carbide Particle Composite" *Composites Part A* 28A, 301–308
- Prasad B.K., 2002. "Abrasive Wear Characteristics of A Zinc-Based Alloy And Zinc-Alloy/SiC Composite" *Wear* 252, 250–263
- Sawla S., Das S., 2004. "Combined Effect of Reinforcement and Heat Treatment On the Two Body Abrasive Wear of Aluminum Alloy And Aluminum Particle Composites" *Wear* 257, 555–561.
- Sharma S.C., Girish B.M., Kamath R., Satish B.M., 1997. "Effect of SiC Particle Reinforcement On the Unlubricated Sliding Wear Behavior of ZA-27 Alloy Composites" *Wear* 213, 33–40
- Singh M., Modi O.P., Dasgupta R., Jha A.K., 1999. "High Stress Abrasive Wear Behaviour of Aluminium Alloy-Granite Particle Composite" *Wear* 233–235, 455–461
- Singh M., Mondal D.P., Modi O.P., Jha A.K., 2002. "Two-Body Abrasive Wear Behaviour of Aluminium Alloy-Sillimanite Particle Reinforced Composite" *Wear* 253, 357–368
- Singh M., Mondal D.P., Jha A.K., Das S., Yegneswaran A.H., 2001. "Preparation and Properties of Cast Aluminium Alloy-Sillimanite Particle Composite" *Composites: Part A* 32, 787–795
- Tjong S.C., Lau K.C. 2000. "Tribological Behaviour of SiC Particle-Reinforced Copper Matrix Composites" *Materials Letters* 43, 274–280
- Valdez, S. Campillo, B. Pérez, R. Martínez, L. García H., A., 2008. "Synthesis and Microstructural Characterization of Al-Mg Alloy-SiC Particle Composite" *Materials Letters* 62, 2623–2625
- Ye, H., 2003. "An Overview of the Development of Al-Si-Alloy Based Material For Engine" *Applications Journal of Materials Engineering and Performance* Volume 12(3) June, 288–297