



Ticari Bazalt Cam-Seramiklerin Katı Partikül Eroziyon Aşınma Sonrası Yüzey Karakterizasyonu

Muhammet ÖZTÜRK, Ediz ERCENK, Şenol YILMAZ

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Sakarya.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author

Şenol Yılmaz

symaz@sakarya.edu.tr

Makale Bilgisi / Article Info

Sunulma / Received: 09.08.2020

Düzeltilme / Revised: 29.12.2020

Kabul / Accepted: 29.12.2020

Anahtar Kelimeler

Bazalt

Cam-Seramik

Eroziyon Aşınma

Yüzey Karakterizasyonu

Keywords

Basalt

Glass-Ceramic

Erosive Wear

Surface Characterization

Özet

Bu çalışmada, ticari bazalt esaslı cam-seramik malzemelere katı partikül eroziyon aşınma deneyleri uygulanmış ve oluşan aşınma izleri incelenmiştir. Aşındırıcı toz olarak Na-feldspat (Albit) kullanılmış olup testler 1.5 ve 3.0 bar basınçlarda 30°-60°-90° çarpma açılarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrası aşınma yüzeyleri üç boyutlu optik profilometre ile karakterize edilmiştir. Elde edilen erozyon oranları ise partikül basıncı ve çarpma açıları ile birlikte kontur diyagramları çizilerek incelenmiştir. Test sonuçları partikül basıncı ve çarpma açısının aşınma üzerinde etkin parametreler olduğunu göstermiştir.

Surface Characterization of Commercial Basalt Glass-Ceramics after Solid Particle Erosive Wear

Abstract

In this study, solid particle erosive abrasion tests were applied to commercially available basalt based glass ceramic materials and the wear scar and debris were investigated. Na-feldspar (Albite) were used as erodent media and the tests were carried out at 30°-60°-90° impact angle at 1.5 and 3.0 bar pressures. After the wear tests, the wear surfaces were characterized by a 3D optical profilometer. The obtained erosion rates were examined by drawing contour diagrams with particle pressure and impact angles. The particle pressure and impact angle were found to be effective parameters on wear.

1. GİRİŞ

Bazaltlar, dünya genelinde bulunabilen ve yer kabuğunun 2,5 milyon km²'den fazla yüzeyini kaplayan doğal kayalardır. Bazalt, granit gibi birden fazla mineralin bir araya gelmesi ile oluşabileceği gibi, mermer, kuvarsit gibi tek bir mineralden de kayalar oluşabilmektedir. Bazalt, yüksek çekme mukavemetine, yüksek sertliğe ve yüksek kimyasal dirence sahiptir. Bu nedenle aşınmaya karşı etkili cam-seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır¹⁻³. Bazaltların oluşumu, akıcı ve bazaltik lavların bir volkan bacasından, çatlaklardan, ya da yarıklardan yeryüzüne çıkarak soğuması ve soğuma yüzeyine dik olarak beş ve altı kenarlı sütunlar şeklinde katılaşması şeklindedir. Bazalt lavlarının oluşum sıcaklıkları 1100-1200 °C civarındadır^{1,2,4}. Bazalt, koyu gri-siyah arasında renklere sahiptir ve ince tanelidir. Dünyada oldukça fazla bulunmasından dolayı ucuzdur ve temin edilmesi kolaydır^{4,5}.

Bazalt, % 40-55 oranında SiO₂ ve % 10-20 oranında Al₂O₃ içerir. Silika miktarı yüksek olduğu için cam-seramik yapımında kullanılabilir⁵.

Aşınma, malzemelerin temas eden yüzeylerinde mekanik bir etki ve bağlı hareket ile ortaya çıkan yüzey hasarı ve malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır^{3,6-8}. Malzemelerde meydana gelen aşınma, makine parçalarında, malzeme, enerji, zaman kayıplarına sebep olmakta ve ülke ekonomisini ciddi boyutlarda etkilemektedir. Aşınma esnasındaki malzeme kayıplarını, en aza indirmek için, aşınma mekanizmalarını ve aşınma çeşitlerini çok iyi bilinmesi gerekmektedir⁹.

Endüstri ortamında en sık karşılaşılan aşınma türlerinin başında erozif aşınma gelmektedir. Bu aşınma; katı partiküllerin, yoğun çalışma şartlarında, değişik açılarda ve farklı hızlarda tekrar ederek malzemeye çarpması ile bir aşınma meydana gelmesi şeklinde oluşur¹⁰. Erozyondaki ağırlık kaybı, etki açısının bir fonksiyonu olarak ölçüldüğünde, sünek ve kırılğan malzemelerin tepkisinde çarpıcı bir fark olduğu iyi bilinmektedir¹¹. Gevrek malzemelerde etkili olan aşınma mekanizması deformasyon aşınmasıdır. Bu da aşındırıcı parçacıkların malzemeye yüzeyine dik çarpmasına bağlıdır⁸.

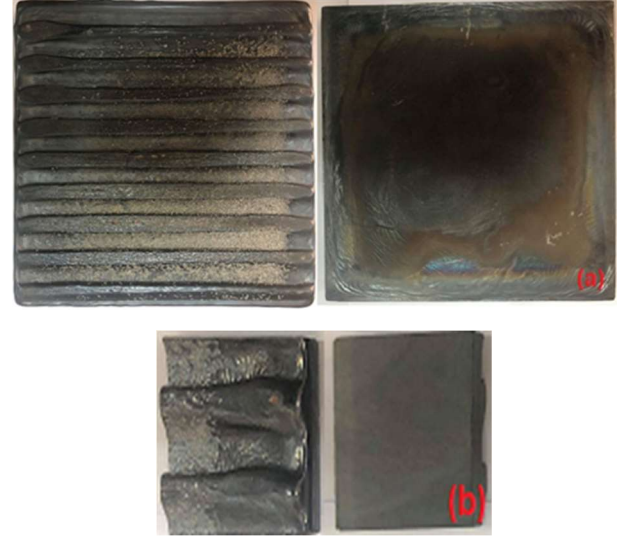
Bu çalışmada, ticari ürün olarak temin edilen bazalt cam-seramikler sodyum feldspat partikülleri ile katı partikül erozyonuna maruz bırakılmıştır. Deneyler 1.5 ve 3.0 bar partikül püskürtme basınçlarında ve 30–60–90° partikül çarpma açılarında gerçekleştirilmiştir. Eroziyon testleri sonucunda aşınma yüzeyleri optik profilometre ile incelenmiş, erozif aşınma oranları kontur diyagramları ile araştırılmıştır.

Bu çalışmada toz ve atık malzemelerin naklinde ve depolanmasında yaygın olarak kullanılan ve erozif aşınmaya maruz kalan bazalt cam-seramik malzemelerin aşınma yüzeyleri incelenmiştir.

2. YÖNTEM

DeneySEL çalışmalarda hedef malzeme olarak bazalt cam-seramikleri kullanılmıştır. Ticari ürün olarak temin edilen bazalt cam-seramikleri 200 x 200 x 30 mm boyutlarındadır. Laboratuvar ortamında katı partikül erozif aşınma işlemine tabi tutulabilmesi için

hedef malzeme, seramik kesiciler yardımı ile 50 x 50 x 12 mm boyutlarına indirilmiştir. Şekil 1'de bazalt cam-seramiklerinin ticari boyutlardaki ve deney numunesi boyutlarında ön ve arka yüzeyleri görülmektedir. Ticari bazalt cam-seramikleri Tablo 1'de belirtilen kimyasal kompozisyona sahiptir.



Şekil 1. Bazalt cam-seramiğin (a) ticari ürün boyutu, (b) deney numunesi boyutu ön ve arka yüzünün makro görüntüleri.

Tablo 1. Ticari bazalt cam-seramiğin kimyasal bileşimi¹²

Kimyasal Formül	Ağırlıkça (%)
SiO ₂	43.0 – 47.5
Al ₂ O ₃	11.0 – 13.5
Fe ₂ O ₃ -FeO	11.0 – 15.0
CaO	10.0 – 12.5
MgO	9.5 – 12.5
K ₂ O	0.5 – 2.0
Na ₂ O	1.5 – 3.5
TiO ₂	1.0 – 3.5
Diğer (MnO ve P ₂ O ₅)	0.5 – 1.5

Bazalt cam-seramik numuneleri, Sakarya üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan özel olarak tasarlanan erozif aşınma test düzeneğinde katı partikül erozyonuna tabi tutulmuştur. Katı partikül erozyon testlerinde aşındırıcı partikül olarak sodyum feldspat tercih edilmiştir. Ayrıca erozif aşınma testlerine ait diğer test parametreleri Tablo 2'de ifade edilmektedir.

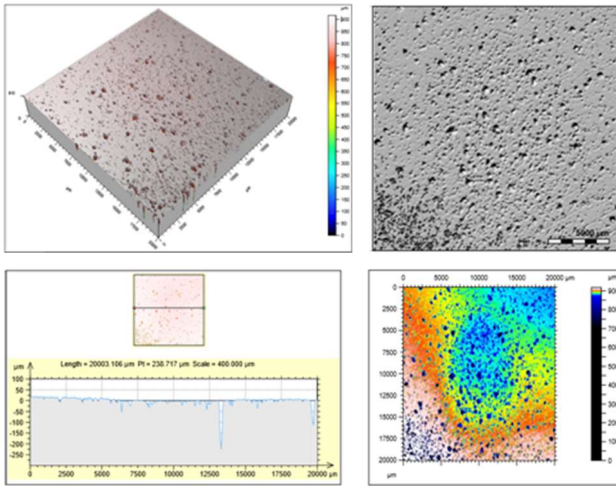
Belirlenen parametreler doğrultusunda bazalt cam-seramiklerinin aşındırıcı partikülleri ile temas eden yüzeylerinde farklı derinlik ve yüzey alanlarında aşınma izleri oluşmuştur. Aşınan yüzeyler optik profilometre ile incelenmiş ve aşınma yüzeyleri hakkında bilgi edinilmiştir. Eroziyon testlerine tabi tutulan bazalt cam-seramiklerinden elde edilen veriler kontur diyagramları üzerinde irdelenmiştir.

Tablo 2. Katı partikül eroziv aşınma deneylerinde kullanılan parametreler.

Aşındırma Türü	Sodyum Feldspat
Aşındırma Partikül Boyutları	Sodyum Feldspat, Öğütülmüş ESF 501 SG (-63 µm)
Partikül Püskürtme Basıncı	1.5 – 3.0 bar
Partikül Çarpma Açısı	30 – 60 – 90°
Partikül Püskürtme Süresi	20 saniye
Nozül İç Çapı	7.8 mm
Numune – Nozül Arasındaki Mesafe	20 mm
Deneysel Test Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı (25 °C)

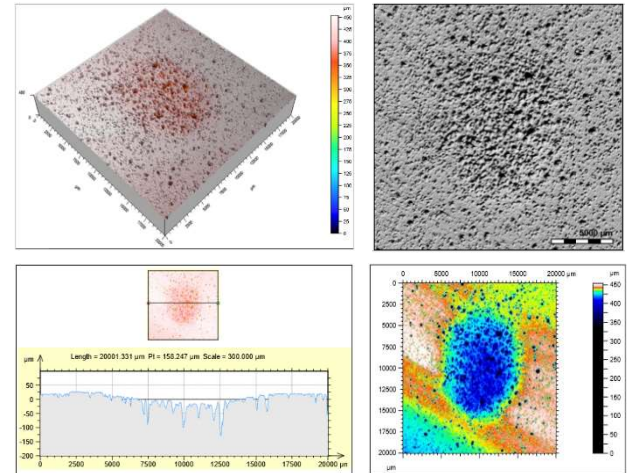
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bazalt cam-seramikleri üzerine sodyum feldspat ESF 501 SG –63 µm tane boyutundaki aşındırıcı partikülleri, 1.5 ve 3.0 bar partikül püskürtme basınçları ile 30 – 60 – 90° partikül çarpma açıları arasında püskürtülmesi sonucunda oluşan eroziv aşınma yüzeyleri üç boyutlu optik profilometre ile incelenmiştir. Bazalt cam-seramiklerinin 1.5 bar partikül püskürtme basıncı sonrasında yüzeylerinde oluşan aşınma izleri Şekil 2-4.'deki gibi görülmektedir.

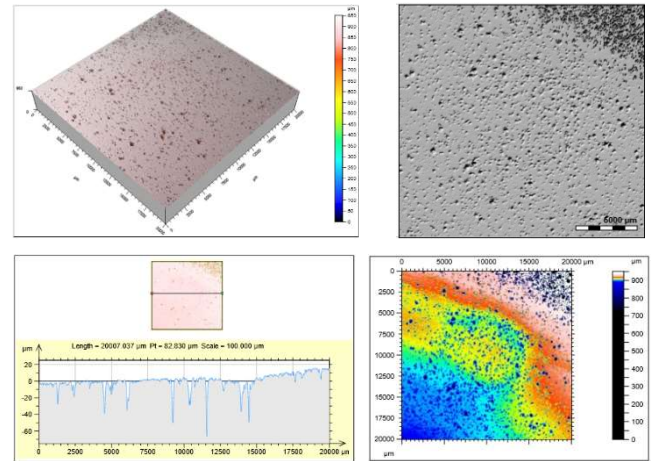


Şekil 2. Na-Feldspat ESF 501 SG -63 µm aşındırma partikülleri ile, 1.5 bar partikül püskürtme basıncı ve 30° partikül çarpma açısında aşındırılmış bazalt cam-seramiklerinin 3D optik profilometre görüntüleri.

Na-Feldspat ESF 501 SG -63 µm aşındırma partikülleri, 1.5 bar partikül püskürtme basıncı ve 30 – 60 – 90° partikül çarpma açıları arasında bazalt cam-seramiklerinin yüzeyine temas ettirilmesi sonucunda farklı geometrik şekillerde ve topografyada aşınma yüzeyleri elde edilmiştir. 30° partikül çarpma açısında aşındırma partiküllerinin 1.5 bar püskürtülmesi sonucunda oluşan aşınma yüzeyi elipsoit bir şekilde iken 60 ve 90° çarpma açıları dairesele yakın durumda olduğu gözlenmiştir.



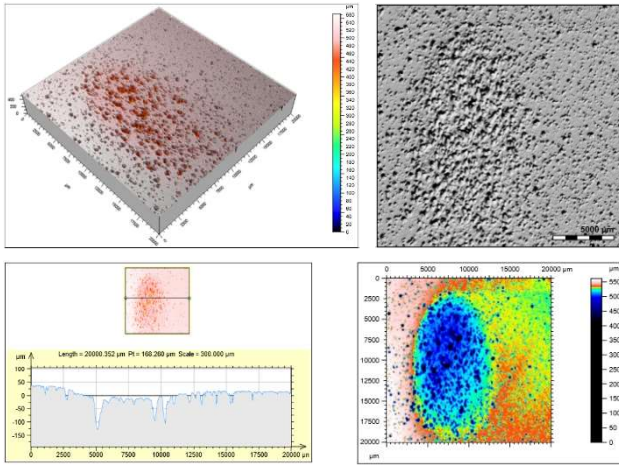
Şekil 3. Na-Feldspat ESF 501 SG -63 µm aşındırma partikülleri ile, 1.5 bar partikül püskürtme basıncı ve 60° partikül çarpma açısında aşındırılmış bazalt cam-seramiklerinin 3D optik profilometre görüntüleri.



Şekil 4. Na-Feldspat ESF 501 SG -63 µm aşındırma partikülleri ile, 1.5 bar partikül püskürtme basıncı ve 90° partikül çarpma açısında aşındırılmış bazalt cam-seramiklerinin 3D optik profilometre görüntüleri.

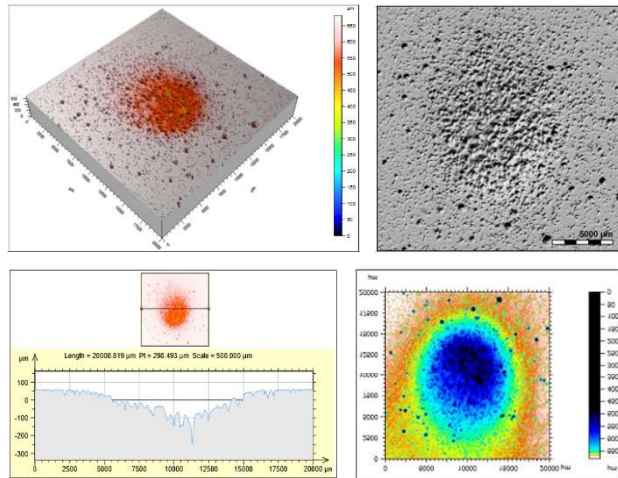
1.5 bar basınç ve 30° çarpma açısında derinlik skalasına bakıldığında renklerden görülebileceği gibi bazalt cam-seramiklerinin yüzeyinden 850 – 950 µm civarlarında derinliğe inilmektedir. Fakat profilometrenin numune yüzeyindeki poroziteleri de aşınma derinliği olarak belirttiğini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Şekil 2’de aşınma yüzeyindeki belirlenen iki nokta arasındaki çizgisel aşınma derinliği yaklaşık 238.717 µm’dir. Şekil 3’te 1.5 bar partikül püskürtme basıncında 60° partikül çarpma açısında 450 µm derinliğe inildiği görülürken, çizgisel doğrultuda aşınma yüzeyine bakıldığında 158.247 µm seviyelerindedir. Şekil 4’te 1.5 bar partikül püskürtme basıncında 90° çarpma açısı ve 1.5 bar püskürtme basıncında 900-950 µm civarlarında derinliğe inildiği görülebilmektedir. Çizgisel doğrultudaki aşınma yüzeyi ise 82.830 µm’dir.

Bazalt cam-seramiklerinin 3.0 bar partikül püskürtme basıncı sonrasında yüzeylerinde oluşan aşınma izleri Şekil 5-7’deki gibi görülmektedir.



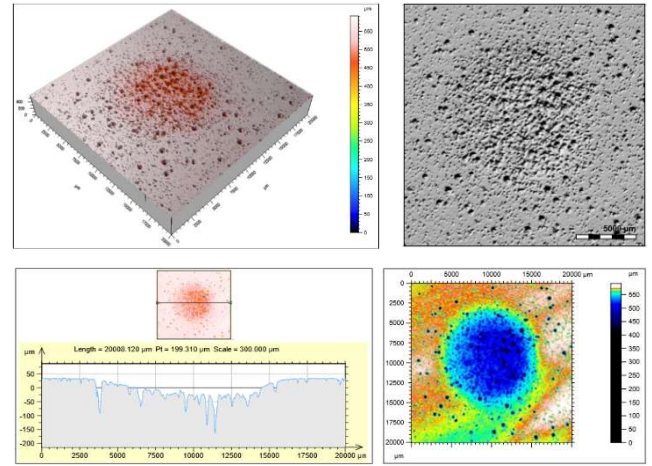
Şekil 5. Na-Feldspat ESF 501 SG -63 μm aşındırma partikülleri ile, 3.0 bar partikül püskürtme basıncı ve 30° partikül çarpma açısında aşındırılmış bazalt cam-seramiklerinin 3D optik profilometre görüntüleri.

30 derece partikül çarpma açısında aşınma yüzey alanının diğer partikül çarpma açılara oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 5'te verilen renk skalasına bakıldığında yüzeyden 550 μm civarında derinliğe inildiği anlaşılmaktadır. Çizgisel doğrultuda aşınma izine bakıldığında ise 168.260 μm olduğu görülmektedir.



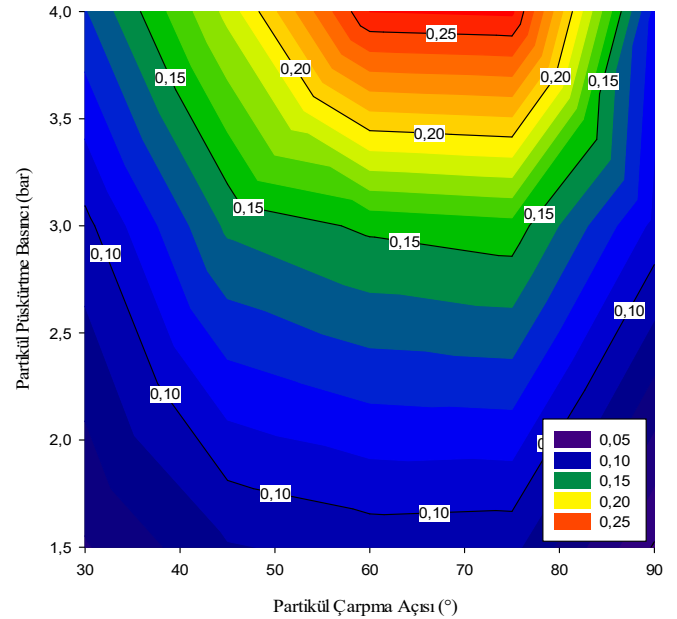
Şekil 6. Na-Feldspat ESF 501 SG -63 μm aşındırma partikülleri ile, 3.0 bar partikül püskürtme basıncı ve 60° partikül çarpma açısında aşındırılmış bazalt cam-seramiklerinin 3D optik profilometre görüntüleri.

Şekil 6 ve Şekil 7'de bazalt cam-seramikleri 3.0 bar partikül püskürtme basıncında ve 60 – 90° çarpma açılarında aşınma yüzeyleri incelendiğinde, aşınma yüzey alanı küçülürken, aşınma derinliğinin arttığı söylenebilir. Şekil 6'da 3.0 bar partikül püskürtme basıncında ve 60° partikül çarpma açısında renk skalasına bakıldığında 650 μm civarında aşınma derinliği, 298.493 μm çizgisel doğrultuda aşınma izi mevcuttur. Şekil 7'de 3.0 bar partikül püskürtme basıncında ve 90° partikül çarpma açısında renk skalasındaki değer 550 μm, çizgisel doğrultuda aşınma izi ise 199.310 μm'dir. Bazalt cam-seramiklerinin eroziv aşınmanın yüzeyden oluşturduğu aşınma derinliği 60° partikül çarpma açısında diğer partikül çarpma açılarından daha fazladır.



Şekil 7. Na-Feldspat ESF 501 SG -63 μm aşındırma partikülleri ile, 3.0 bar partikül püskürtme basıncı ve 90° partikül çarpma açısında aşındırılmış bazalt cam-seramiklerinin 3D optik profilometre görüntüleri.

Bazalt cam-seramikleri Tablo 2'de belirtilen parametreler ile katı partikül eroziv aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Şekil 8'de ögütülmüş Na-feldspat ESF 501 SG, (-63 μm) aşındırıcı partikülleri ile yapılan eroziv aşınma testleri sonucunda elde edilen erozyon oranları ile oluşturulan kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 8. Na-feldspat ESF 501 SG, (-63 μm) aşındırıcı partikülleri ile elde edilen erozyon oranlarının kontur diyagramları.

Kontur diyagramı genel olarak değerlendirildiğinde; tüm şartlar için artan püskürtme basıncı ile eroziv aşınma oranlarının net şekilde arttığı görülmektedir. Çarpma açısının değişiminin eroziv aşınma oranları üzerindeki etkisine bakıldığında sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte kısmi değişiklikler gözlenmiştir. Bu durum aşındırıcı tozun çarpma açısının değişimine bağlı olarak aşınma mekanizmalarında değişiklikler olduğunu göstermektedir. Aşındırıcı tozların debilerindeki artışın aşınma üzerindeki etkisinin artan partikül hızı (püskürtme basıncı) ile arttığı literatürde rapor edilmektedir¹³.

4. SONUÇ

3D profilometre ile aşınma izleri üzerinden yapılan incelemelerde artan aşınma partikül basınçları ile izlerin daha belirgin ve daha derin hale geldiği, aynı zamanda farklı aşınma açılarından izlerin görüntülerini net şekilde etkileyerek aşınma partiküllerinin etkileşim alanlarının açısı ile değiştiği gözlenmektedir.

Kontur diyagramları incelendiğinde; öğütülmüş Na-Feldspat (ESF 501 SG, -63 µm) ile bazalt cam-seramiklerinin aşındırılmasında 30° çarpma açısından 60°'ye çıkılırken 1.5 bar püskürtme basıncında erozyon oranlarında artış görülmektedir. 90° partikül çarpma açısında erozyon oranı en düşüktür. 3.0 bar püskürtme basınçlarında ise 30°'den 90°'ye doğru erozyon oranlarında artış görülürken 90°de tekrar düşme vardır. 1.5 bar için en düşük aşınma 90° partikül çarpma açısındadır. 3.0 bar püskürtme basıncında ise en düşük aşınmaya 30° partikül çarpma açısında karşılaşılmıştır. Belirli bir basınçta malzemeye püskürtülen tozlar aerodinamik etki adı verilen basınçlı hava etkisindedir. Numune ile nozül arasında oluşan bu hava akımı aşındırıcı partiküllerin yönlerini saptırarak farklı açılarda numune yüzeyine çarpmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Bazalt cam-seramikleri gibi malzemelerde genellikle artan çarpma açısı ile aşınma oranları artar. Bu malzemelerde, düşük partikül çarpma açılarından sürtünme gibi kayıplar sonucunda aşınma miktarı düşer.

Aşındırıcı tozun çarpma açısının değişmesi ile aşınma izinin şeklindeki değişim aşınma mekanizmasının farklı çarpma açılarından farklı olduğunu göstermektedir. Çarpma açısı 30° olduğunda eliptik olan aşınma izi, 60° çarpma açısından ovale, 90°lik çarpma açısında ise daireye yakın bir görünüme sahiptir. Bu durum aşındırıcı partiküllerin değişen açılarda yüzeye farklı şekilde çarpması ile ilgilidir. Düşük çarpma açısında (30°) partiküller yüzeyde kazıma etkisi yapmakta, bazı partiküller yüzeyden sekerek aşınma etkisini kaybetmektedir. Buda aşınma izinin hem eliptik olmasına hem de iz derinliğinin düşük kalmasına sebep olmuştur. Eroziyon aşınmada çarpma açısı önemli olup açı hem partikülün geometrik çarpma etkisini hem de sahip olduğu kinetik enerjiyi aşınma yüzeyine iletmesinin bir ölçüsüdür. Çarpma açısı 60°'ye çıktığında partiküllerin enerji transferi artmaktadır. Bu durum iz şeklinin genişlemesi ve iz derinliğinin artması ile gözlenmiştir. Çarpma açısı 90°'ye geldiğinde ise artık partikülün kinetik enerjisinin tamamı aşınma yüzeyine iletilmekte ve sekme etkisi minimuma inerek en yüksek aşınma ortamı ortaya çıkmaktadır. Bu açıda elde edilen aşınma iz derinliğinin diğer şartlara göre en yüksek değerlerde olması bu görüşü desteklemektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar; bazalt cam-seramiklerin eroziyon aşınmaya karşı genel olarak dayanıklı bir malzeme olduğunu göstermektedir. Yüksek partikül basıncı ve çarpma açılarından kaçınıldığı takdirde bazalt cam-seramikleri eroziyon ortamlarında uzun süre kullanılabilir.

Teşekkür

Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi laboratuvarında aşınma yüzeyleri optik profilometre ile görüntülenmiştir. Bu imkân ve olanakları bize sunan sayın Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK'e ve Doç. Dr. Sinan FİDAN'a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- [1] Bayrak G., "Yerli Bazaltlardan Üretilen Cam-Seramik Esaslı Tozların Plazma Sprey Kaplamalarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması", *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Doktora Tezi, Sakarya, (2009).
- [2] Okrusch M., Matthes S., *Mineralogie, Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde*, Springer, (2010).
- [3] Ercenk E.; "Bazalt Esaslı Sic Takviyeli Cam Ve Cam-Seramik Kaplamaların Özellikleri", *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü*, Doktora Tezi, Sakarya, (2011).
- [4] Kahveci A. E., Kadayıfçı A., "Diyarbakır Yöresi Bazalt Taşının Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi", *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 5 (3) 56-69 (2013).
- [5] Ercenk E., Güven B., Yılmaz Ş., "Crystallization kinetics of machinable glass ceramics produced from volcanic basalt rock", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 498 262–271 (2018).
- [6] Soydan Y., Ulukan L.; "Temel Triboloji Sürtünme-Aşınma-Yağlanma Bilim ve Teknolojisi", *Tagem Kopisan*, 107-134 (2013).
- [7] Yıldırım Y., Şahin A. E., Avcu E., Fidan S., Sınmazçelik T., "Aşındırıcı Partikül Boyutu Ve Püskürtme Basıncının Ti₆Al₄V Alaşımının Katı Partikül Erozyonu Davranışına Etkileri", *14. International Materials Symposium (IMSP'2012)*, Pamukkale University, Denizli – Turkey, 10-12 October (2012).
- [8] Kosa E., "Çeliklerin Eroziyon-Abrazif Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Doktora Tezi, Haziran, (2016).
- [9] Kılıç C., "Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilmiş Ve Soğuk Haddelenmiş AlMg/SiCp Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi", *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, (2008).
- [10] Kaplan M., Karaoğlanlı A.C., Uyaner M.; "Katı Partikül Erozyonu ve Mühendislik Malzemeleri Üzerindeki Önemi", *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4 (1) 31-34 (2016).
- [11] Finnie I., "Some reflections on the past and future of erosion, Wear", 186-187 1-10 (1995).
- [12] <http://www.matasmaden.com/Urun.aspx?id=25&gid=3> (erişim tarihi : 11.05.2019).
- [13] Shrivastava A., Suhane A., "Effect of Particle and Target Material Characteristics on Erosion Wear by Solid Particles", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 06 (03) 301-306 (2019).