

Bazalt Esaslı Cam ve Cam-Seramik Kaplamaların Mekanik Özellikleri

Ediz ERCENK¹, Günhan BAYRAK², Uğur ŞEN¹, Şenol YILMAZ¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, 54187 Sakarya

²Sakarya Üniversitesi, Arifiye Meslek Yüksekokulu, Motorlu Taşıtlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 54580 Arifiye, Sakarya

e-posta: ercenk@sakarya.edu.tr, gunhanb@sakarya.edu.tr, ugursen@sakarya.edu.tr, symaz@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi:22.11.2012; Kabul Tarihi:01.01.2014

Özet

Bu çalışmada, plazma sprey kaplama yöntemi için farklı şekilde hazırlanan bazalt esaslı tozlardan üretilen cam ve cam-seramik kaplamaların mekanik özellikleri incelenmiştir. Volkanik bazalt kayaları kırma, öğütme ve eleme (- 53 + 45 µm) işlemlerinden sonra plazma sprey kaplamada kullanılmıştır. Bundan farklı olarak diğer kaplama tozu ise -100 +53 µm boyutundaki bazalt tozlarının platin potada 1500 °C'de ergitilerek su içine dökülmesi ile elde edilen amorf cam granüllerinden hazırlanmıştır. Bu granüller benzer şekilde kırma, öğütme ve eleme (- 53 + 45 µm) işlemlerinden geçirilerek kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Farklı yöntemlerle hazırlanan bu tozlar AISI 1040 çelik altlıklar üzerine atmosferik plazma sprey (APS) kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Kaplama sonrası amorf camsı yapıda elde edilen cam kaplamalar, cam-seramik dönüşümünün sağlanması için diferansiyel termal analiz (DTA) ile tespit edilen cam geçiş ve kristallenme sıcaklıklarına göre ısıtılma tabi tutularak kristallendirilmiştir. Kaplama işlemi sonrası kaplamaların yapısını ve ısıtılma sonrası da oluşan kristal fazları belirlemek için x-ışınları difraksiyon analizi (XRD) uygulanmıştır. Kaplama sonrası amorf camsı yapıda kaplamaların elde edildiği, ısıtılma sonrasında ise ojit, Fe-diopsit, anorthit, albit ve Ca-albit fazlarının kristallendiği tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapısı incelenen kaplamaların mekanik özelliklerini belirlemek için sertlik, kırılma tokluğu ve ball on disk aşınma testleri uygulanmıştır. Başlangıç tozlarının mekanik özelliklere etki ettiği, özellikle ergitme döküm yöntemiyle elde edilen camsı kaplama tozlarından yapılan kaplamaların aşınma direncinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

“Bazalt”, “Plazma Sprey Kaplama”, “Cam-Seramik”

The Mechanical Properties of Basalt Based Glass and Glass-ceramic Coatings

Abstract

In this study, the mechanical properties of the glass and glass-ceramic coatings obtained from the basalt powders prepared in different ways were investigated. Volcanic basalt rocks were subjected to crushing, grinding and sieving processes (- 53 + 45 µm). An amount of basalt powder was melted in Platinum crucible and cast into water to obtain basalt glass granules. These granules were powdered to the size of - 53 + 45 µm. Thus, two different basalt based coating powders were prepared for the plasma spray process. These powders were coated on the AISI 1040 substrate by using atmospheric plasma spray (APS) coating process. After the coating operation, glass coatings were exposed to controlled crystallization heat treatment to provide glass-ceramic transformation by using differential thermal analysis (DTA) results. X-ray diffraction analysis (XRD) was used for phase analysis. The results showed that the coatings were amorphous (glass) after the coating process and augite, Fe-diopside, anorthite, albite, and Ca-albite phases were detected in glass-ceramic coatings. Scanning electron microscopy (SEM) was performed for micro-structural analysis. In addition, the mechanical tests such as hardness, fracture toughness and wear (ball on disc) were realized. The mechanical tests results showed that initial powders have effective roles on mechanical properties. Especially, the coatings obtained from melting and casting basaltic glass powders are more resistant than other coating group.

Key words

“Basalt”, “Plasma Spray Coating”, “Glass-ceramic”

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Bazaltlar, bileşiminde % 45-52 arasında SiO₂ ihtiva eden volkanik lavlar ve bazı volkanik oluşumların çatlaklar, yarıklar veya bir volkan bacası aracılığıyla yeryüzüne çıkarak yayılması ile oluşan magmatik

kayaçlardır. Yeryüzünün 2,5 milyon km²'den fazla yüzeyini bazaltlar örter. Bu yönden bazalt bol bulunan ucuz bir hammaddedir. Doğal kayaçların içerisinde cam-seramik elde edilmesine en elverişli olanların kayaçların başında bazalt gelmektedir.

Doğal volkanik kayaç bazaltlar, koyu renkli (gri-siyah) ve ince tanelidir; Beall ve Rittler (1976), UZ (1991), Kalenborn. Kimyasal bileşimleri esas olarak SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO ve demir oksitler (FeO ve Fe_2O_3)'den meydana gelmektedir. Bu oksitlerden başka, daha az miktarlarda Na_2O , K_2O , P_2O_5 , MnO ve TiO_2 de bazaltlarda bulunan kimyasal bileşiklerdir; Yılmaz (1997), Yılmaz ve ark. (2006), Beall ve Rittler (1976), Kalenborn. Bazalt cam-seramikleri, bazalt kayaçlarının 1300-1500 °C 'de ergitilip kalıplara dökülmesi ve ısıl işleme kristallendirilmesi ile elde edilir. Yüksek mukavemeti, termal kararlılığı ile iyi aşınma direnci ve özellikle alkali ortamlardaki kimyasal dayanıklılığı bazalt esaslı cam-seramikleri endüstriyel bir malzeme haline getirmiştir. Sertlik değerleri de birçok cam ve ticari cam-seramikler ile karşılaştırıldığında daha yüksektir; Beall (1976).

Plazma sprej kaplama yöntemi malzemenin plazma haline getirilmesi ve altlık malzeme üzerinde biriktirilmesi esasına dayanan bir yüksek sıcaklık kaplama işlemidir. Güç ünitesi tarafından sağlanan doğru akımla elektrik arkı, nozul ve elektrot arasında oluşur. Burada katot volfram, anot ise bakırdır. Anot ve katot arasında oluşturulacak olan elektrik arkı sisteme girecek olan plazma gazlarını 6000 – 16000 °C sıcaklık aralığına kadar ısıtarak iyonize hale (plazma) getirir. Böylece yüksek sıcaklıktaki plazma huzmesi tabancanın nozulundan çıkar. Buradaki plazma gazları olarak hidrojen, azot, argon veya helyum kullanılabilir. Bu yöntem çalışma sıcaklıklarının yüksek olması bakımından hemen her türlü malzemenin plazma haline getirilip kaplanabildiği, metalik ve seramik esaslı farklı kaplamaların elde edilebildiği geniş uygulama alanına sahip bir yöntemdir; Davis (2004).

Bu çalışmada, bazalt kayacından elde edilen kristalin ve amorf (bazalt camı) esaslı tozların atmosferik plazma sprej kaplama yöntemi için kaplama tozu olarak kullanılabilirliği ve başlangıç toz karakteristiğinin kaplama özelliklerine etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalarda kullanılan bazalt kayaçları Konya yöresinden temin edilmiş olup kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan bazalt kayacının kimyasal analizi

Oksitler	% Ağırlıkça
SiO_2	51,47
Al_2O_3	17,00
Fe_2O_3	9,21
CaO	9,00
MgO	4,57
K_2O	1,61
Na_2O	2,03
P_2O_5	0,45
Cl	0,30
TiO_2	1,28
MnO	0,15
SO_3	0,30
H_2O	2,63

iki farklı kaplama tozu kullanılarak yapılan kaplamaların birincisinde bazalt kırma işlemi takiben bilyeli ve halkalı değirmenlerde öğütüp -53+45 μm boyutunda elenmiştir. İkinci kaplama tozları ise, -100+53 μm boyutlarına öğütülmüş olan bazalt tozlarının Heraeus marka elektrik ısıtmalı fırında platin pota içerisinde ergitilip suya dökülmesi ile oluşan amorf granüllerden elde edilmiştir. Bu granüller bilyalı ve halkalı değirmenlerde öğütülerek -53+45 μm boyutunda elenmiştir. Plazma sprej kaplama tekniği ile bazalt esaslı cam-seramik kaplama işleminde altlık malzeme olarak AISI 1040 çeliği kullanılmıştır. Kaplamalarda kullanılan numune kodları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan kaplama tozlarına bağlı olarak kaplamaların kodlama sistemi

Kod No	Kaplama cinsi
A	Ergitme ve döküm ile elde edilmiş tozlardan üretilen cam kaplamalar
A ısıt	Ergitme ve döküm ile elde edilmiş tozlardan üretilen cam-seramik kaplamalar
B	Bazalt kayacının kırılıp öğütülmesi ile elde edilmiş tozlardan üretilen cam kaplamalar
B ısıt	Bazalt kayacının kırılıp öğütülmesi ile elde edilmiş tozlardan üretilen cam-seramik kaplamalar

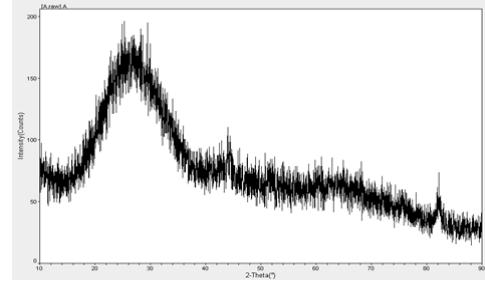
AISI 1040 çeliğinden 20 mm çapında ve 10 mm yüksekliğinde hazırlanan çelik altlıklar, altlık-kaplama arasında kuvvetli bir mekanik bağ sağlamak amacıyla aseton ve etil alkolle yağ ve kir gibi istenmeyen maddelerden temizlendikten sonra, 35 gritlik Al_2O_3 aşındırıcı püskürtülerek pürüzlendirilmiştir. Altlık-kaplama termal genleşme uyumu ve ısıtma işlemleri sırasında kaplamanın altlık malzemesinden ayrılmaması için, METCO NS 450 (Ni-5%Al) ara bağlayıcı tozu kullanılmıştır. Kaplama işlemleri, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plazma Sprey Kaplama laboratuvarında ve SENKRON Metal ve Seramik Kaplama San. Tic. Ltd. Şti.'nde gerçekleştirilmiştir. Camsı amorf yapıda üretilen kaplamaların cam seramik kaplamalara dönüştürülebilmesi için gerekli olan kristalleşme sıcaklığının tespiti amacıyla, diferansiyel termal analiz (DTA) analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme mühendisliği bölümünde bulunan TA Q-600 marka DTA cihazı ile 20-1000°C sıcaklık aralığında 10 °C/dk ısıtma hızında DTA analizleri gerçekleştirilmiştir. DTA'dan elde edilen sonuçlar kullanılarak, kırma ve öğütme ile elde edilen bazalt tozlarının kullanıldığı kaplamalar için ısıtma sıcaklığı 900 °C ve ergitme ve döküm yolu ile elde edilen bazalt tozlarının kullanıldığı kaplamalar için ısıtma sıcaklığı 950 °C olarak belirlenmiştir. Isıtma işlemleri Protherm marka elektrikli ısıtmalı tüp fırında 5 °C/dk ısıtma hızında 1 saat süre ile koruyucu atmosferde (argon) gerçekleştirilmiştir.

Isıl işlemler ve işlemsiz kaplamalar kesme, zımparalama ve parlatma kademelerinden geçirilerek metalografik olarak hazırlanmış, daha sonra taramalı elektron mikroskopunda (SEM, JEOL marka 6060 LV) mikroyapıları incelenmiştir. Kaplamaların kristalleşmeleri ve oluşan fazların tespiti amacı ile x-ışınları difraksiyon analizi (XRD, Rigaku D-max) kullanılmıştır. Kaplamaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 10 gr yük altında sertlik ve 100 gr yük altında kırılma tokluğu testleri (Future-Tech FM700) uygulanmıştır. Ayrıca kaplamalar aşınma (ball on disk) testlerine tabi tutulmuştur. Aşınma deneylerinde 8 mm çapında Al_2O_3 bilye kullanılmıştır. Testler, 5-7,5-10 N yük ve

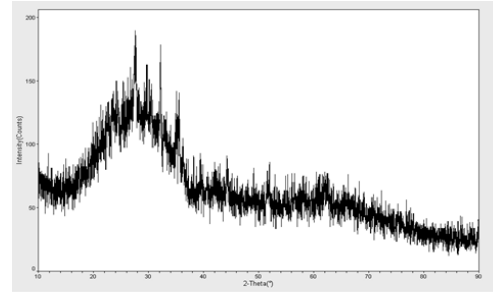
0,1-0,15-0,2 m/s aşınma hızlarında 100 m aşınma mesafesinde yapılmıştır.

3. Bulgular

Kaplama işlemi sonrası kaplamalara ait XRD analizleri Şekil 1'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Farklı toz kullanarak yapılan plazma sprej kaplamaların kaplama sonrası XRD analizleri. **a)** A kaplaması, **b)** B kaplaması

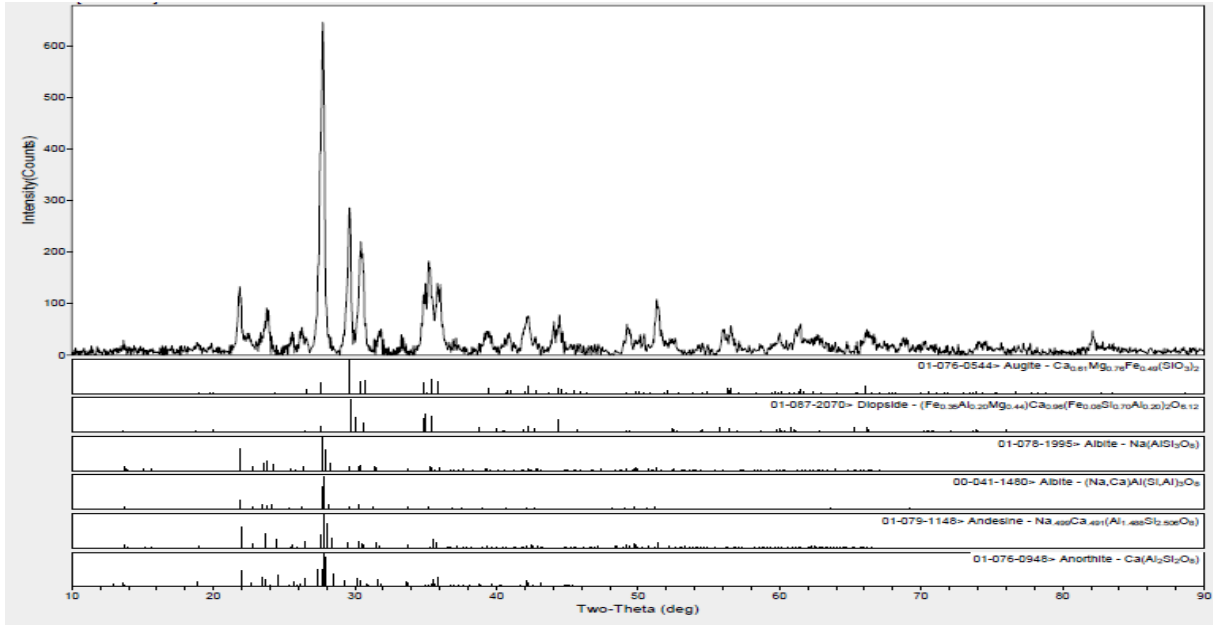
Kaplama sonrası XRD analizlerinden görülebileceği gibi, farklı tozlarla ve ara bağlayıcılarla yapılan kaplamalar amorf karakterlidir. Cam-seramik malzeme üretiminde başlangıç malzemesinin tamamen amorf olması çok önemlidir. Çünkü ısıtma işlemi öncesi azda olsa kristalin yapının olması ısıtma sırasında iri tanelerin oluşmasına yol açarak cam-seramiklerin mekanik özelliklerinin olumsuz etkilenmesine sebep olur.

Isıl işlem sonrası kaplamaların cam karakterinden cam-seramiğe dönüşümü XRD analizlerinde tespit edilmiştir. XRD analizleri sonucunda cam-seramik kaplamaların ojit $[(CaFeMg)SiO_3]$, Fe-diopsit $[Ca_{0.991}(Mg_{0.641}Fe_{0.342})(Si_{1.6}Fe_{0.417})O_6]$, anortit $[Ca(Al_2Si_2O_8)]$, Ca-albit $[(Na,Ca)Al(Si,Al)_3O_8]$, albit $[Na(AlSi_3O_8)]$ ve andezin $[(Ca_{0.38}Na_{0.62})(Al_{1.38}Si_{2.62}O_8)]$ fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.

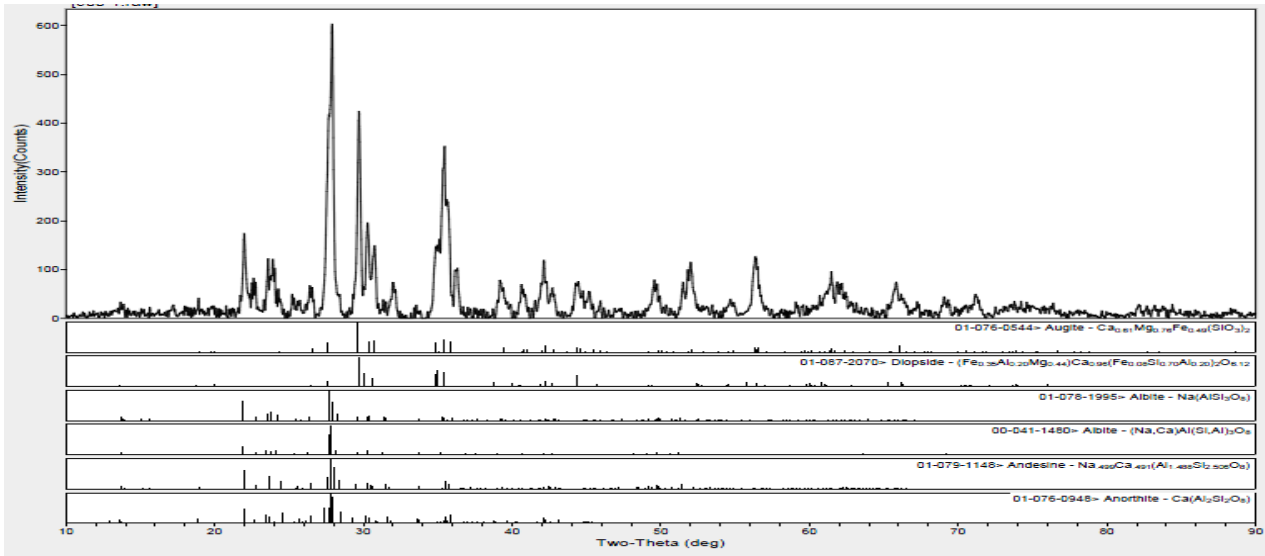
Isıl işlem sonrası farklı başlangıç tozları ile yapılan kaplamalarda benzer fazların kristallendiği görülmekle beraber pik şiddetlerinde değişimler göze çarpmaktadır. Kırma ve öğütme ile elde edilmiş bazalt tozların kullanıldığı kaplamalara ait XRD analizinde görülen piklerin şiddetleri diğer kaplamalardan daha fazladır. Bu da, kaplamalarda daha çok ve daha iyi kristallenmenin gerçekleştiğini işaret etmektedir.

Şekil 1 (b)'den görüldüğü gibi kırma ve öğütme ile elde edilen bazalt tozları ile yapılan kaplamaların ısı işlem öncesi XRD analizinde çok düşük seviyelerde kısmen ergimiş ve ergimemiş bazalt tozlarından kaynaklanan kristalin piklerin vardır.

Isıl işlem sırasında ergimemiş veya kısmen ergimiş tozlarının heterojen çekirdeklenmeyi teşvik ederek kristallenmeyi arttırması literatürde belirtilmektedir; Beall (1971). Bu çalışmada da ergimemiş ya da kısmi ergimiş bazalt partiküllerinin aynı etkiyi yaptığı düşünülmektedir.



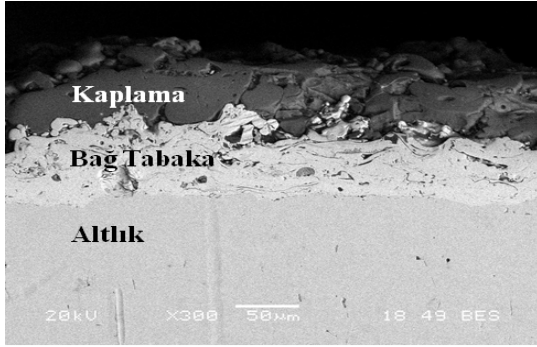
(a)



(b)

Şekil 2. Farklı toz kullanarak yapılan plazma sprey kaplamaların kontrollü kristalizasyon ısıl işlemi sonrası XRD analizleri. a) A ısıl kaplaması, b) B ısıl kaplaması

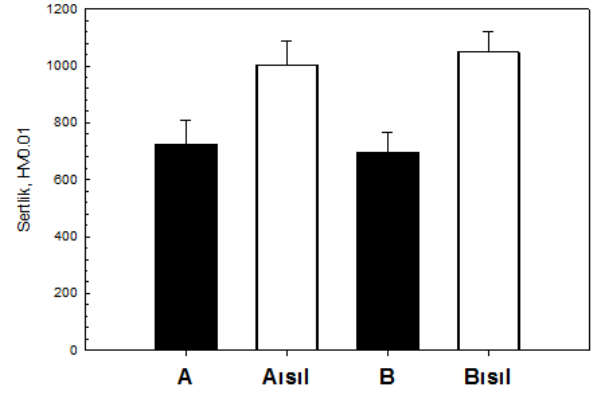
Şekil 3’de ergime ve döküm yolu ile üretilmiş bazalt tozlarından elde edilmiş ısıtılmış işlem görmemiş (cam) karakterli kaplamaya ait SEM mikro-yapısı görülmektedir. Şekil incelendiğinde kaplamanın bağ tabaka ile birlikte altlığa uyumlu bir şekilde kaplandığı görülmektedir. Herhangi bir kalkma ve belirgin çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. Kaplama genel olarak kompakt ve in-homojen yapıdadır. Ergitme ve döküm yolu ile üretilmiş bazalt tozlarından elde edilmiş kaplamalar ile klasik (kıırma-öğütme) yöntem ile üretilmiş bazalt tozlarından elde edilmiş bazalt tozlarından üretilen kaplamaların mikro-yapıları genel olarak benzerlik göstermektedir. Kaplama sonrası elde edilen bağ tabaka kalınlıkları yaklaşık $40\pm 11 \mu\text{m}$, ana kaplama kalınlıkları da yaklaşık olarak $55\pm 14 \mu\text{m}$ dir.



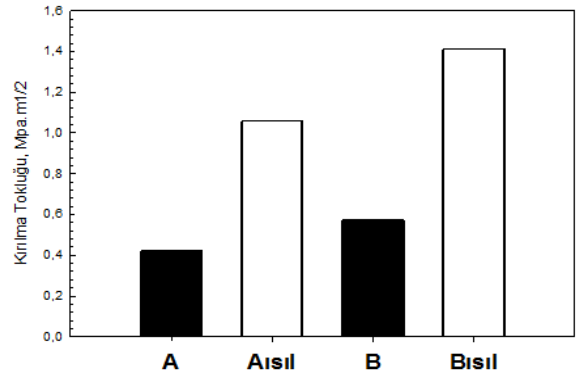
Şekil 3. A kodlu kaplamaya ait SEM görüntüsü

Sertlik deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde cam kaplamaların sertlik değerlerinin cam-seramik kaplamalara göre belirgin düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, kaplama tabakasındaki kristallenmenin meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Cam-seramik dönüşümü sertlik değerlerini olumlu şekilde etkilemiştir. Genel olarak diopsit fazının hâkim olduğu cam-seramik sistemlerinde sertlik değerleri 440-1020 HV arasında değişim göstermekte olup sonuçlar literatür ile benzeşmektedir (RAWLIGS, 2006-EROL, 2007). Benzer artışlar kırılma tokluğu değerlerinde de mevcuttur. Kristalizasyon ısıtılmış işlemine bağlı olarak kırılma tokluğu değerleri camsı amorf yapıya göre artış göstermektedir. Kaplamaların sertlik ve kırılma tokluğu değerlerinin ısıtılmış işlem ve başlangıç tozlarına bağlı olarak değişimleri Şekil 4 ’de

görülmektedir.



(a)



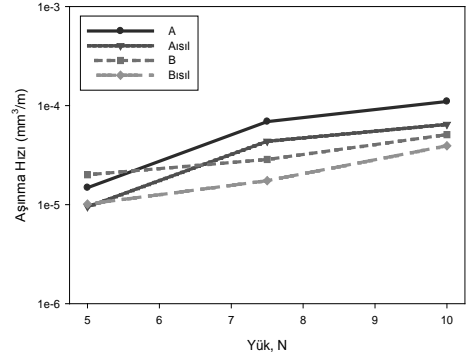
(b)

Şekil 4. Kaplamalara ait sertlik ve kırılma tokluğu değerleri a) Sertlik değerleri b) Kırılma tokluğu değerleri

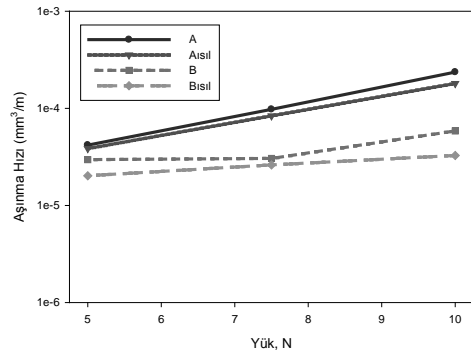
Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 5’de görülmektedir. Aşınma deneylerinde ball on disk yöntemi ile Al_2O_3 bilyeye karşı yapılmıştır. Sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde katsayıların aşınmanın ilk 10m ’sinde rodaj zamanının tamamlandığını ve bu kısımdan itibaren sürtünme katsayısı değerlerinin stabil yada stable yakın bir seyir izlediğini göstermiştir. Aşınma test sonuçları incelendiğinde ergime ve döküm yolu ile üretilmiş bazalt esaslı cam tozlarının kaplama tozu olarak kullanıldığı numunelerde sürtünme katsayıları cam kaplamalar için 0,095-1,61 μ ve cam-seramik kaplamalar için ise sürtünme katsayıları 0,86-1,99 μ arasında tespit edilmiştir. Kaplamaların ısıtılmış işlem ile camdan cam-seramiğe geçişleri ile birlikte sürtünme katsayısı değerlerinde de belirgin artışlar meydana gelmiştir. Kaplamaların cam-seramiğe dönüşümü ile sertlik değerlerinde

oluşan artışlar ve oluşan muhtemel sert aşınma artıklarının (partikül) aşınma sırasında kazıma ve pulluklama etkisi yaparak sürtünme katsayılarını arttırdığı düşünülmektedir. Bazalt kayaların kırma ve öğütme ile uygun boyutlara getirilmesi ile üretilen tozlardan elde edilmiş kaplamalarda ise sürtünme katsayısı değerleri cam kaplamalar için 0,05-0,75 μ ve cam-seramik kaplamalar için ise 0,05-0,79 μ aralığında tespit edilmiştir.

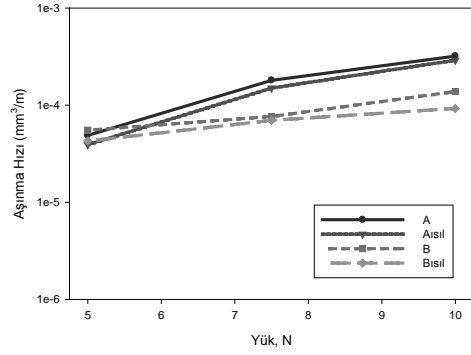
Cam-seramik kaplamalar kendi içlerinde değerlendirildiklerinde ise cam-seramik dönüşümünün kırma-öğütme ile üretilmiş tozlardan elde edilen kaplamalarda sürtünme katsayısı değerlerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu durum farklı şekilde üretilmiş bazalt esaslı kaplama tozlarından elde edilen kaplamaların özellikle cam-seramik dönüşümü sonrasında farklı aşınma karakterleri gösterdiklerine işaret etmektedir. Şekil 5'te aşınma hızlarının yüke ve kayma hızına bağlı olarak değişimini gösteren eğriler görülmektedir. Sonuçlar genel olarak aşınma yükü ve kayma hızının artışı ile aşınma hızlarının arttığını göstermektedir. Bu durum aşınma deneylerinde tespit edilen genel bir eğilimdir. Kaplamaların kendi içerisinde aşınma özellikleri incelendiğinde ısı işlem görmemiş amorf karakterli kaplamaların daha fazla aşındığı görülmüştür. Kontrollü kristalizasyon ısı işlemi ile meydana gelen cam-seramik dönüşümü sonrasında amorf karakterli kaplamada oluşan kristallenme ve mekanik özelliklerde meydana gelen iyileşmeler aşınma hızını azaltmaktadır. En az aşınmanın kırma-öğütme ile elde edilen bazaltların kullanılması ile yapılan kaplamalarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum muhtemelen kaplama sonrası camsı amorf kaplamada bulunan kısmen ergimiş ve ergimemiş bazalt tozlarının ısı işlem sırasında kristallenmeyi teşvik etmesinden kaynaklanmaktadır (BEALL, 1971).



(a)



(b)

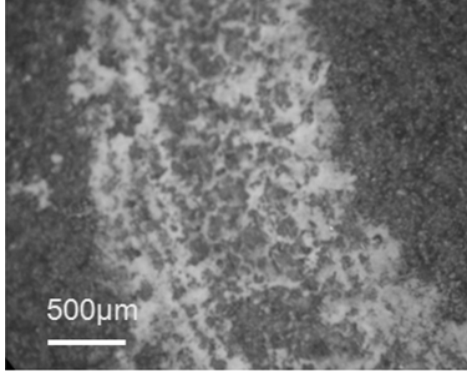


(c)

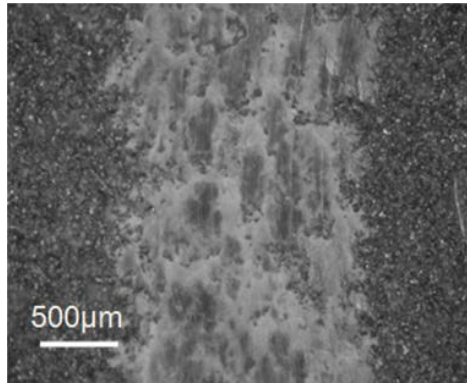
Şekil 5. Cam ve cam-seramik kaplamaların yüke bağlı olarak aşınma hızlarının değişimi. **a)** 0,1 m/s aşınma hızı, **b)** 0,15 m/s aşınma hızı, **c)** 0,2 m/s aşınma hızı

Cam-seramik kaplamalara ait aşınma izlerinin optik görüntüleri Şekil 6'de gösterilmiştir. Aşınma iz genişlikleri incelendiğinde ergitme ve döküm ile elde edilmiş bazalt cam tozlarından üretilen kaplamalara ait izler diğer gruptaki kaplamalara ait izlerden daha geniştir. Hasar izleri üzerinde daha önceki dönmelerin eseri olarak taşınan enkaz birikintileri yer almaktadır. Oluşan bu birikintiler aşındırıcı topun yol açtığı izlere paraleldir. İzlerden de anlaşıldığı üzere mikro seviyelerde kazıma (scratch) aşınma izleri

görülmekte olup abrazyif (micro scratching) ve parlatma (polishing) karakterli aşınmanın varlığı tespit edilmiştir. Aşıl kaplamasındaki izlerde kazıma etkisi ön plana çıkarken Bııl kaplamasına ait aşınma izlerinde daha çok sıvanma etkisi gözlenmiştir. Aşınma hızları ile ilgili elde edilen sonuçlarda bu etkileri destekler niteliktedir.



(a)



(b)

Şekil 6. 0,1 m/s kayma hızı ve 5 N yük altında aşınma deneyine tabi tutulmuş cam-seramik kaplamaların aşınma izlerine ait optik mikro-yapılar. **a)** Aşıl kaplaması, **b)** Bııl kaplaması

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada elde edilen genel sonuçları şöyle sıralamak mümkündür;

a) Çalışmada ergitme ve döküm yolu ile elde edilmiş bazalt cam tozları ve klasik (kıırma-öğütme) yöntemi ile üretilmiş bazalt tozları başarılı bir şekilde atmosferik plazma sprej yöntemi ile AISI 1040 çelik altlıklar üzerine kaplanmıştır.

b)Plazma kaplama işleminde kaplamaların amorf yapıda oldukları, ısııl işlem prosesi sonrasında ise cam-seramik dönüşümünün sağlandığı XRD analizi ile tespit edilmiştir.

c)Kaplama SEM görüntüleri incelendiğinde kompakt ve in-homojen kaplama tabakaları görülmüş olup herhangi bir delemantasyon, çatlak v.b tespit edilmemiştir.

d)Kaplama cam-seramiğe dönüşümü sonrasında hem sertlik değerlerinde hem de kırılma tokluğu değerlerinde belirgin artışlar tespit edilmiştir.

e)Aşınma deneyleri sonucunda cam-seramik dönüşümünün kaplamaların aşınma dirençlerini arttırdığı gözlenmiş olup ergitme ve döküm yolu ile elde edilmiş bazalt cam tozlarının kullanıldığı kaplamaların genel olarak daha fazla aşınmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine katkılarından dolayı Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ve Termal Sprej Kaplama Laboratuvarına teşekkür ederiz. Ayrıca kaplamaların üretiminde imkânlarından yararlandığımız SENKRON Metal & Seramik Kaplama Ltd. şirketine de teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışma, **109M329** nolu ve “**Volkanik Kayaçlardan Üretilen Aşınmaya Dirençli Cam-Seramik Kaplamaların Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi**” isimli TÜBİTAK hızlı destek projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup, bu kapsamda ilgili kuruma katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Bayrak, G. and Yılmaz, S., 2006. Crystallization kinetics of plasma sprayed basalt coatings, *Ceramics International*, 32, 441–446.
- Beall, G.H., and Rittler, H. L., 1971. Process for Forming a Basaltic Glass-Ceramic Product. United States Patent Office, 3, 557-575.
- Beall, G.H. and Rittler, H.L., 1976. Basalt Glass-Ceramics, *American Ceramic Society Bull.*, 55, 579-582.
- Davis, J. R., (editor) 2004. Handbook of Thermal Spray Technology , ASM International, New York.
- Erol, M., Küçükbayrak, S. and Ersoy-Meriçboyu, A., 2007. Production of glass-ceramics obtained from

industrial wastes by means of controlled nucleation and crystallization, *Chemical Engineering Journal*, 132, 335–343.

Kalenborn Technical Brouchure, Schmelzbasaltwerk Kalenborn Dr.-Ing. Mauritz GmbH and Co. KG D-5467 Vettelschoss 2 (near Linz/Rhine), Germany.

Rawlings, R.D., Wu J.P., and Boccacini A.R., 2006. Glass-ceramics: Their production from wastes-A Review. *Journal of Material Science*, 41, 733–761.

Uz, B., 1991. Petrografi Ders Notları, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

Yılmaz, Ş., 1997. Volkanik Bazalt Kayaçlarından Cam-Seramik Malzeme Üretim Koşullarının Araştırılması ve Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 182.

Yılmaz, S., Bayrak, G. Sen, S. and Sen, U., 2006. Structural characterization of basalt-based glass-ceramic coatings, *Materials and Design*, 27, 1092–1096.