

**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Plazma Püskürtme ile Üretilmiş Beyaz ve Gri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplamaların Mekanik Özellikleri**

Muhammed KARABAŞ<sup>1</sup>, Ersan MERTGENÇ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-6132>

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8247-2922>

**Geliş/ Recieved:** 13.04.2020;

**Kabul / Accepted:** 24.05.2020

**ÖZET:** Paslanmaz çelikler yüksek korozyon direnci, paslanmaz özelliklerinden dolayı endüstride geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu üstün özelliklerinin yanında yüksek sıcaklığın söz konusu olduğu agresif ortamlarda oksidasyon en büyük dezavantajları olup, paslanmaz çeliklerin servis ömürlerinin iyileştirilebilmesi için kaplama üretimi araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Bu çalışmada plazma püskürtme yöntemi ile gri alümina ve beyaz alümina kullanılarak AISI 304 L paslanmaz çelik yüzeyleri kaplanmıştır. Kaplanmış AISI 304 L paslanmaz çeliğin mikroyapı özellikleri ve tabaka kalınlıkları ölçümü Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplama yüzeyleri pürüzlülük değerleri ölçülerek, kaplama tabakası sertlikleri ise mikrosertlik cihazı yardımıyla 20 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasının düz ve pürüzsüz yapıya sahip olduğu ve matris kaplama geçiş tabakasının düz bir yapıda olduğu görülmüştür. Tabaka kalınlığının gri alümina ile kaplamada 216.7 µm iken beyaz alümina ile kaplamada ise 116.7 µm olarak tespit edilmiştir. Yüzey sertliğinin ise gri alümina ile kaplamada yaklaşık 5.5 kat, beyaz alümina ile kaplamada ise 7 kata kadar arttığı tespit edilmiştir. Kaplama ile beraber malzemenin aşınma hızlarında ve sürtünme katsayılarında düşüş tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 304 L, Plazma püskürtme, Gri alümina, Beyaz alümina.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: [ersanmertgenc@hotmail.com](mailto:ersanmertgenc@hotmail.com)

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Karabaş, M., Mertgenç, E. (2020). Plazma Püskürtme ile Üretilmiş Beyaz ve Gri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplamaların Mekanik Özellikleri. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(1), 22-28.

## Mechanical Properties of White and Grey Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coatings Fabricated by Plasma Spray

**ABSTRACT:** Stainless steels find wide usage in the industry due to their high corrosion resistance and stainless properties. In addition to these superior features, poor oxidation resistance in aggressive environment is the biggest disadvantage and it has recently become the focus of researchers to increase the surface hardness in order to improve the service life of stainless steels. In this study, the AISI 304 L stainless steel surface was coated with the gray method using gray alumina and white alumina. Microstructure properties and layer thickness measurement of coated AISI 304 L stainless steels were examined by scanning electron microscope (SEM). Coating surfaces were measured by roughness values and coating layer hardnesses were carried out under a 20-gr load with the aid of a microhardness device. It has been found that the coating layer has a flat and smooth structure and the matrix coating transition layer has a flat structure. Layer thickness was 216.7 µm in coating with gray alumina and 116.7 µm in coating with white alumina. It was determined that surface hardness increased approximately 5.5 times in coating with gray Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and up to 7 times in coating with white alumina. The wear rates and friction coefficient of substrate material were decreased due to coating application with the white and grey alumina.

**Keywords:** AISI 304 L, Plasma spraying, Gray alumina, White alumina.

### 1. GİRİŞ

Alümina seramik kaplamalar yüksek sıcaklık dayanımları, agresif ortamlarda kimyasal stabilite, dielektrik özellikleri ve diğer seramik malzemelere nazaran iyi mekanik özelliklere sahip olmaları sebebiyle birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Chráska ve ark., 1997). Seramik kaplama üretiminde birçok farklı teknik olmasına rağmen, plazma püskürtme yöntemi yapışma mukavemeti, birikme verimi ve kaplama işlemi sonrası herhangi bir işlem gerektirmemesi gibi özellikleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Plazma püskürtme işleminde bir tabanca düzeneğinde konumlandırılmış anot ve katod kutupları arasına plazma oluşturuucu argon, hidrojen, helyum gibi gazlar belirli bir akış hızında beslenir ve bu kutuplara akım verildiğinde yüksek entalpili bir plazma alevi oluşur. Bu plazma jetinin merkezindeki sıcaklık yaklaşık 15.000 K civarındadır ve seramik partiküller bu plazma jeti içerisine yaklaşık 1 km/s<sup>-1</sup> hızında beslenir. Plazma jeti içerisinde milisaniye süresinde kalan seramik partikülleri yarı ergiyik hale geçer ve kaplanacak malzemeye püskürtülür. Hızlandırılmış ve yarı ergiyik haldeki partiküller kaplanacak malzemeye çarpar ve kuvvetli bir mekanik bağlanma sağlandıktan sonra üst üste birikerek yüksek kaliteli ve homojen bir kaplama tabakası oluşturur (Gill ve Tucker, 1986). Fakat yüksek plazma sıcaklığı sebebiyle kaplama işlemi esnasında püskürtülen malzemenin faz yapısı ve saflığını kontrol etmek zor olabilmektedir. Ayrıca buhar basıncı düşük malzemeler plazma alevi içerisinde buharlaşabilmekte ve stokiometrik olmayan kaplamalar oluşabilmektedir (Sarıkaya, 2005a, 2005b; Toma ve ark., 2010).

Alümina endüstriyel olarak plazma sprej ile en çok üretilen kaplamalardan birisidir. Bu nedenle plazma püskürtme Alümina kaplamalar birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu araştırmalara göre Alümina plazma sprej ile püskürtüldüğünde yüksek plazma entalpisi nedeniyle faz dönüşümlerine uğrayabilmektedir. Ticari Alümina tozları alfa Alümina fazında üretilmektedir. Fakat plazma püskürtme şartlarına göre kaplamalarda faz dönüşümü sebebiyle delta ve gamma Alümina fazları oluşabilmektedir. Genel yaklaşım bu fazların kaplama karakteristiğini çok etkilemediği yönündedir. Fakat bazı çalışmalarda uzun zamanda bu fazların kaplama korozyon direncini olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Toma ve ark. 2010).

Bu çalışmada 304L paslanmaz çelik altlıklar üzerine gri ve beyaz alümina kaplamalar plazma püskürtme tekniği ile üretilmiş, üretilen kaplamaların mikroyapısal ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada altlık malzeme olarak Ø20 x 5 mm boyutlarında 304 L kalite paslanmaz çelik kuponlar kullanılmıştır. Kaplama üretim işlemine geçmeden önce altlık malzemeler çift taraflı bant yardımıyla bir plakaya yapıştırılmış ve kumlama işlemine tabii tutulmuştur. Böylece kumlama işlemi sebebiyle oluşması muhtemel farklı yüzey pürüzlülük seviyelerinin önüne geçilmiştir. Kumlama işleminde 50-80 mesh alümina kumu numune yüzeylerinde 200 mm mesafeden 90° açıyla püskürtülmüştür. Kumlanarak yüzeyi pürüzlendirilen numuneler kumlama kaynaklı kirlilikleri gidermek amacıyla teknik etanol içerisinde ultrasonik temizleyicide 30 dk temizlenmiştir. Temizlenen numuneler döner tabla tutucuya yerleştirilmiş ve kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir. Kaplama malzemesi olarak Metco tarafından ticari olarak sunulan Metco 105NS (Partikül boyutu: -45+15 µm) beyaz Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Metco 101NS (Partikül boyutu: -45+11 µm) gri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları kullanılmış olup kimyasal kompozisyonları Çizelge 1’de verilmiştir (kataloglara referans verilmeli, biz ölçmedik).

**Çizelge 1.** Kaplama tozlarının kimyasal kompozisyonları (Ağırlıkça %)

Kullanılan Tozlar	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
105NS (Beyaz)	98.00	-	2.00	-	0.75
101NS (Gri)	94.00	2.50	2.00	1.00	-

Kaplamaların üretiminde Sulzer Metco 9 MB plazma tabancası kullanılmış ve 730C nozül olarak seçilmiştir. Kaplama tabancası üç eksenli bir CNC robota bağlanarak istenen hız ve hareket ayarlanmıştır. Çizelge 2’de plazma püskürtme işlem parametreleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** Plazma püskürtme parametreleri

Parametreler	
Akım (A)	500
Birincil gaz akış hızı, Ar (L/dk)	42.5
İkincil gaz akış hızı, H <sub>2</sub> (L/dk)	7
Toz besleyici gaz hızı, Ar (L/dk)	6.4
Paso sayısı	12
Püskürtme mesafesi(mm)	75
Tabanca hızı (mm/dak)	600
Döner tabla hızı (Hz)	50

Kaplanan numuneler enine kesilerek, kesit yüzeyleri 120-1200 grit zımparadan geçirilerek, 1 µm’luk alümina ile parlatma işlemine tabii tutularak, metalografik olarak hazırlanmıştır. Kesit yüzeyleri parlatılan numunelerin mikroyapı ve kaplama kalınlıkları LEO 1430 VP marka Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplanmış numunelerin sertlik değerleri mikro-sertlik cihazında (Shimadzu HM-2) 15 sn süre ile 20 gr. yük altında yüzeyden altlığa doğru sıra sertlik

alınarak, ortalama sertlik değeri hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri ise Time-TR 220 model yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür.

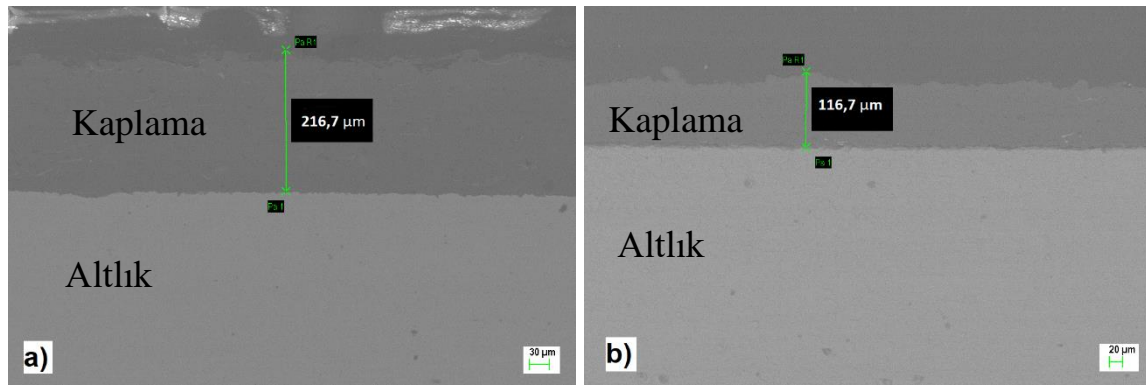
Aşınma deneyleri oda sıcaklığında, bilye disk sisteminde, 1895 HV<sub>0.02</sub> sertliğe sahip WC-Co bilye kullanılarak, 500 metre mesafede 5 N yük altında 0,3 m/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Aşınma hızı ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma Hızı} = \text{Aşınma hacmi miktarı} / (\text{Uygulanan yük} \times \text{Kayma mesafesi}), \text{mm}^3/\text{Nm}$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mikroyapı Karakterizasyonu

Gri alümina ve beyaz alümina ile kaplanmış AISI 304 L paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 304 L Paslanmaz çeliğin a) Gri alümina, b) Beyaz alümina kaplama tabakalarının SEM resimleri

Şekil 1 de yer alan mikroyapı resimleri incelendiğinde, yüzeyde oluşan kaplama tabakası ve altık ara yüzeyi düz bir morfolojiye sahiptir. Kaplamalar ile altık malzeme ara yüzeyi incelendiğinde sürekli bir yapışmanın sağlandığı belirlenmiş olup, kaplamaların altık malzemeye yapışmasında herhangi bir problem olmadığı anlaşılmıştır.

Plazma püskürtme yöntemiyle AISI 304 L paslanmaz çelik altık üzerine gri ve beyaz alümina kullanılarak yapılan kaplamalarda elde edilen tabaka kalınlıkları ve yüzey pürüzlülüklerine ait değerler çizelge 3 de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Gri alümina ve beyaz alümina ile kaplanmış AISI 304 L paslanmaz çeliğin kaplama tabaka kalınlık ve yüzey pürüzlülük değerleri

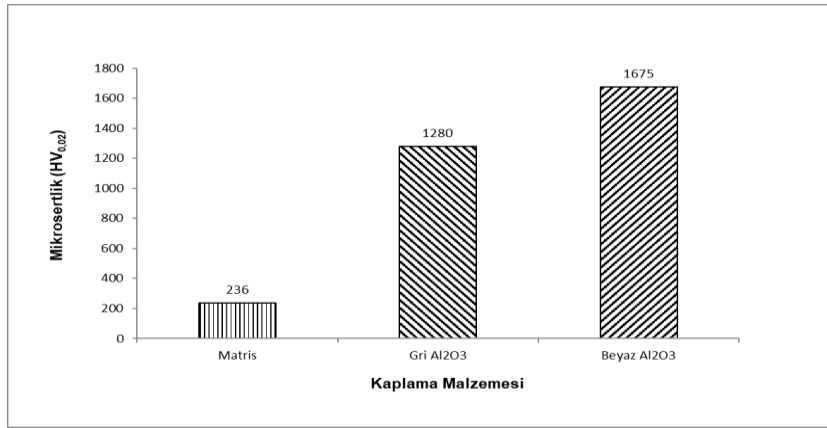
Malzeme (Kaplama)	Tabaka Kalınlığı (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra, (µm)
Gri alümina	216.7	0.82
Beyaz alümina	116.7	0.64

Kaplama tabakası kalınlıkları gri alümina kullanılarak yapılan kaplamada 216.7 µm, beyaz alümina kullanılarak yapılan 116.7 µm olarak ölçülmüştür. Kaplamaların aynı plazma püskürtme işlem parametreleri ile üretildiği düşünüldüğünde, Gri alümina tozunun birikme verimi beyaz alümina tozundan daha yüksektir. Bu durum kaplama üretimi için seçilen tozların fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Gri alüminanın erime noktası (2040 °C) azda olsa beyaz alüminadan (2055 °C) daha

düşüktür. Bu durum gri alüminanın plazma içerisinde beyaz alüminaya göre daha kolay ve hızlı yarı ergiyik hale geçmesine neden olur. Plazma alevinden yarı ergiyik halde altlık malzemeye doğru ilerleyen partiküller altlık malzemeye yapışır ve üst üste birikerek kaplama tabakasını oluşturur. Yüksek erime noktasına sahip partiküller, yeterli derecede yarı ergiyik hale dönüşemediği zaman altlık malzemeye çarparak geri seker veya ergimemiş partikül olarak kaplama tabakasında kalır. Bu nedenle aynı parametreler ile püskürtülmüş farklı malzemeler için farklı birikme verimleri ortaya çıkabilir. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ise gri alümina ile yapılan kaplamada yüzey pürüzlülüğünün beyaz alümina ile yapılan kaplamaya oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle yapılan kaplama çalışmalarında da kaplama kalınlığı ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişkinin olduğu ve yüzey kaplama kalınlığının artışı ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir (Taktak 2007, Smith 1995).

### 3.2. Kaplama Tabakası Sertliği

Numunelerin kesit yüzeylerinden, kaplama tabakasından alınan sertlik ölçümlerine ait grafik Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Gri alümina ve Beyaz alümina ile kaplanmış paslanmaz çeliğe ait sertlik grafiği

Şekil 2 incelendiğinde AISI 304 L paslanmaz çelik altlığa ait sertlik değeri 236 HV<sub>0,02</sub> iken, gri alümina ile kaplamada sertliğin 1280 HV<sub>0,02</sub>, beyaz alümina ile kaplamada ise 1675 HV<sub>0,02</sub> seviyelerine kadar yüzey sertliğinin arttığı tespit edilmiştir. Malzemelerin üzerine alümina kaplanmasında voltaj ve akıma bağlı olarak sertliğin 1500 HV<sub>0,02</sub> kadar ulaştığı tespit edilmiştir (Gao et al 2002).

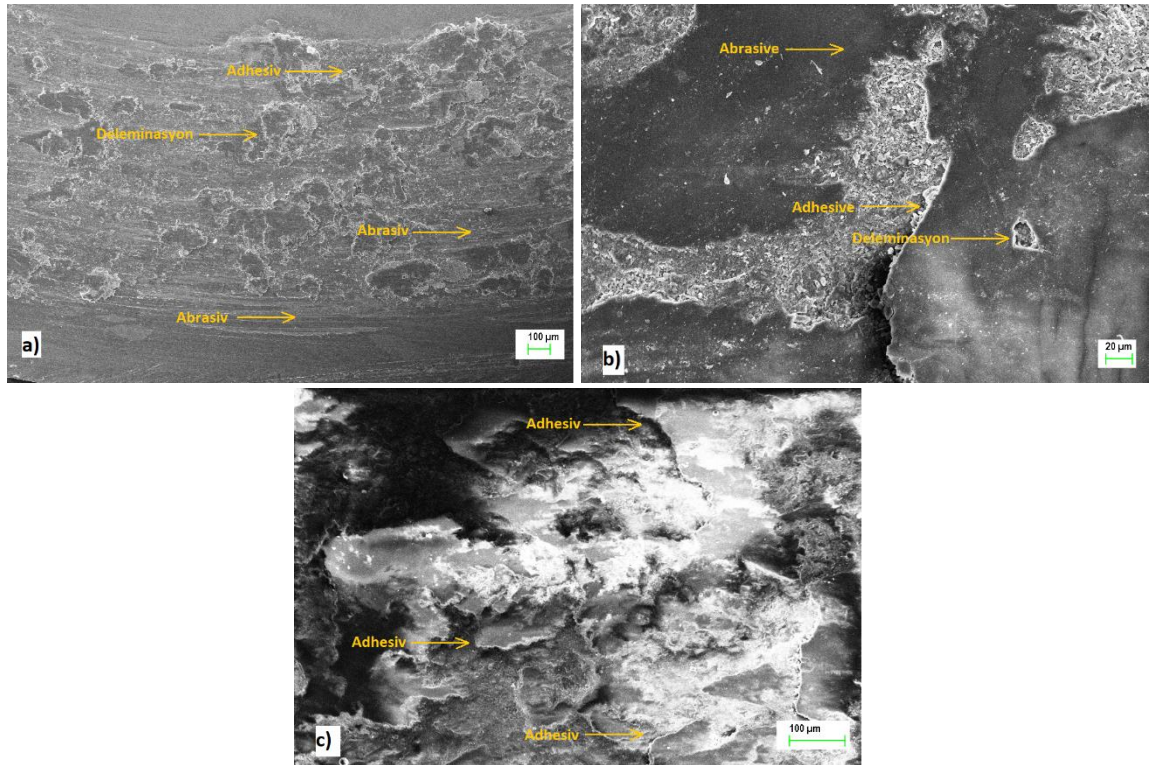
### 3.3. Aşınma Deneyleri

Gri ve beyaz alümina ile yapılan kaplamalarda, kuru sistemde 5 N yük altında, 0.3 m / s aşınma hızında, 500 m mesafede yapılan aşınma testlerinde elde edilen değerler Çizelge 3 de, aşınma izlerine ait SEM görüntüleri ise Şekil 3 de verilmiştir.

Çizelge 3. Gri ve beyaz Alümina ile kaplanmış paslanmaz çeliğe ait aşınma değerleri

Malzeme	Aşınma hızı x 10 <sup>-6</sup> (mm <sup>3</sup> / Nm )	Sürtünme Katsayısı
Kaplamasız	61.2	0.71
Gri Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.73	0.45
Beyaz Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.24	0.37

İşlemsiz AISI 304 L paslanmaz çeliğinin aşınma hızı  $61.2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ , sürtünme katsayısı 0.71 iken gri Alümina ile kaplanmasından sonra aşınma hızı  $9.73 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ , sürtünme katsayısı 0.45'e, beyaz Alümina ile kaplanmasından sonra ise aşınma hızı  $7.24 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ , sürtünme katsayısı 0.37 olarak tespit edilmiştir. Kaplama işleminden sonra gri Alümina ile kaplamada aşınma direncinin yaklaşık 6 kat, beyaz Alümina ile kaplamada ise aşınma direncinin yaklaşık 8 kat artmıştır. Kaplama tabakası kalınlığı gri Alümina ile kaplamada daha yüksek olmasına rağmen, beyaz Alümina ile kaplamada daha düşük aşınma hızı ve sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Beyaz Alümina ile yapılan kaplamada yüzey sertliğinin yüksek olması aşınma direncini de arttırmıştır ki Liu and Li (2001)'de malzemelerin sertlik değerleri ile aşınma hızı artışı arasında ters orantı olduğunu belirtmiştir.



**Şekil 3.** AISI 304 L paslanmaz çeliğin a) kaplanmamış, b) gri alümina ve c) beyaz alümina ile kaplanmasıyla yapılan aşınma testlerinin yüzeyden alınan SEM resimleri

Şekil 3 incelendiğinde kaplama yapılmamış numunede delaminasyonların ve abrasif aşınmanın ağırlıkta olduğu görülmektedir. Gri alümina ile kaplanmış numunede delaminasyonla beraber abrasif ve adhesiv aşınma görülürken, beyaz alümina ile kaplanmış numunede neredeyse tamamen adhesiv türü aşınmanın olduğu tespit edilmiştir. Gri alümina ile kaplamada abrasif aşınmanın fazla görülmesi, kaplamanın sertliğinin bilyenin sertliğine nazaran daha düşük olduğu için kaplama tabakasından kopmalar meydana gelerek bilye-numune ara yüzeyinde aşındırıcı olarak davranmasından kaynaklanmaktadır. Beyaz alümina ile kaplamada bilye sertliğine (1895 HV<sub>0.02</sub>) yakın kaplama tabakası sertliği mevcut olup, sertlik arttıkça pürüzlülük düşmektedir (Sarıkaya 2005b). Yüzeydeki düşük pürüzlülük nedeniyle numunenin bilye ile temas eden yüzeylerinden homojen deformasyonlar meydana gelmekte ve bundan dolayı adhesiv aşınma ağırlıklı olarak görülmektedir.

#### 4. SONUÇ

Plazma püskürtme yöntemi ile paslanmaz çelik yüzeyinin gri alümina ve beyaz alümina kullanılarak kaplanmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Elde edilen kaplama tabakalarının düz ve homojen bir yapıya sahip olduğu, altlık-kaplama ara yüzeyinde yapışmayı olumsuz etkileyecek boşluk, çatlak vb. herhangi bir etkene rastlanmamıştır.
- Kaplama tabakasının gri alümina ile kaplamada 216.7 µm iken beyaz alümina ile kaplamada 116.7 µm olarak tespit edilmiştir.
- Beyaz alümina gri alüminadan daha yüksek sertlik değerine sahiptir.
- Beyaz alümina ile yapılan kaplamada gri alümina ile yapılan kaplamaya göre sürtünme katsayısının daha düşük, aşınma direncinin daha yüksektir.
- Gri alümina ile yapılan kaplamada abrasiv ağırlıklı aşınma görülürken, beyaz alümina ile kaplamada ise adhesiv ağırlıklı aşınma izleri yoğunluktadır.

#### 5. KAYNAKLAR

- Chráska P., Dubsky J., Neufuss K., Písacka, J., Alümina-base plasma-sprayed materials part I: Phase stability of Alümina and Alümina-chromia. *Journal of Thermal Spray Technology*, 6(3), 320-326, 1997.
- Gill B.J., Tucker R.C., Plasma spray coating processes. *Materials Science and Technology*, 2(3), 207-213, 1986.
- Liu R., Li D.Y., Modification of Archard's equation by taking account of elastic/pseudoelastic properties of materials. *Wear*, 251(1-12), 956-964, 2001.
- Sarikaya O., Effect of some parameters on microstructure and hardness of Alumina coatings prepared by the air plasma spraying process. *Surface and Coatings Technology*, 190, 388-393, 2005(a).
- Sarikaya O., Effect of the substrate temperature on properties of plasma sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings. *Materials & Design*, 26, 53-57, 2005(b).
- Smith D.L., Thin-film deposition: principles and practice. New York: McGraw-Hill; 1995.
- Taktak S., Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. *Materials & Design*, 28, 1836-1843, 2007.
- Toma F.L., Stahr C., Berger L.M., Saaro S., Herrmann M., Deska D., Michael G., Corrosion resistance of APS and HVOF sprayed coatings in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> system. *Fraunhofer IWS*, 19, 2010.
- Gao Y., Xu X., Yan Z., Xin A., High hardness Alümina coatings prepared by low power plasma spraying. *Surface & Coatings Technology*, 154, 189-193, 2002.