



Husain R.H. Hraam  
Görkem Değirmenci  
Serkan Islak

Kastamonu University, Kastamonu-Turkey  
hraam.hrh@gmail.com; grkmdegirmenci@gmail.com;  
serkan@kastamonu.edu.tr

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.3.2A0173">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.3.2A0173</a>		
ORCID ID	0000-0001-7226-6025	0000-0001-5992-8784	0000-0001-9140-6476
CORRESPONDING AUTHOR	Serkan Islak		

## ZrO<sub>2</sub>-8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> KAPLAMALARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ

### ÖZ

Bu çalışmada, plazma sprey yöntemi ile AISI 316L üzerinde üretilmiş ZrO<sub>2</sub>-%8 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamaların mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine ısıtılma işleminin etkisi araştırılmıştır. Seramik kaplamalar, 900°C, 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Kaplama tabakalarının faz bileşimi ve mikroyapısı X-ışını difraktogramı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplamaların aşınma özellikleri ASTM G133 test standartları referans alınarak aşınma test cihazında ball on disk yöntemi ile test edilmiştir. SEM çalışmalarına göre, en fazla gözenek oluşumu ısıtılma işlemlerinde numunede görülürken, ısıtılma işlem sıcaklığı arttıkça gözenek miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Fakat ısıtılma işleminin arayüzey bağlanmasına olumsuz etki ettiği de kaçınılmaz bir sonuç olarak elde edilmiştir. Kaplama mikroyapısında t-ZrO<sub>2</sub> ve c-ZrO<sub>2</sub> fazlarının oluştuğu XRD analizlerinden belirlenmiştir. Sonuçlar, ısıtılma işlem sıcaklığının artmasıyla, kaplamaların sertliklerinde artış olduğunu ve sürtünme katsayılarında ve aşınma oranlarında ise azalma meydana geldiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Plazma Sprey, ZrO<sub>2</sub>-%8 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Kaplama, Isıtılma İşlemi, AISI 316L

## THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ZrO<sub>2</sub>-8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COATINGS

### ABSTRACT

In this study, the effects of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of ZrO<sub>2</sub>-8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings produced on AISI 316L by plasma spray method were investigated. Ceramic coatings were heat-treated at 900°C, 1000°C and 1100°C. Microstructure and phase composition of coatings were investigated by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffractogram (XRD), energy dispersive spectroscopy (EDS). The wear characteristics of the coatings were tested with the ball on disk method in the wear tester with reference to ASTM G133 test standards. According to SEM studies, the maximum pore formation is seen in the non-heat-treated sample, and the pore quantity is decreased as the heat treatment temperature increases. However, it is an inevitable result that the heat treatment negatively affects the interfacial bonding. It was determined from the XRD analysis that t-ZrO<sub>2</sub> and c-ZrO<sub>2</sub> phases were formed in the coating microstructure. The results showed that with the increase of the heat treatment temperature, there was an increase in the hardness of the coatings and a decrease in the friction coefficients and wear rates.

**Keywords:** Plasma Spray, ZrO<sub>2</sub>-%8 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Coating, Heat Treatment, AISI 316L

### How to Cite:

Hraam, H.R.H., Değirmenci, G. ve Islak, S., (2019). ZrO<sub>2</sub>-8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplamaların Mikroyapı Ve Mekanik Özellikleri Üzerine Isıtılma İşleminin Etkisi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 14(3):105-114, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.3.2A0173.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Plazma püskürtme yöntemi ile malzemelere kaplama yapılarak çeşitli özellikler kazandırılır, ancak doğası gereği kaplama yüzeyinde gözeneklilik oluşmaktadır. Bu durum, kaplama tabakasının agresif koşullara karşı tam anlamıyla mücadele etmede engel teşkil etmektedir. Özellikle aşınma ve korozyon dirençlerinde istenilen seviyelere ulaşamamaktadır. Bu ve bunun gibi dezavantajları giderebilmek, malzeme yüzey özelliklerini iyileştirebilmek ve geliştirebilmek adına plazma püskürtme kaplama sonrası bir takım son yüzey işlemlerin uygulanması zaruri olmaktadır [1 ve 3]. Literatürde genel olarak, uygulanan bu son işlemler sonrası kaplama yüzeyinde iyileşmeler ve gelişmeler olduğu gözlemlenmiştir. Kaplama sonrası son yüzey işlemleri olarak; ısıtma işlemi, tungsten inert gaz (TIG) yüzey ergitme ve lazer yüzey ergitme gibi yöntemler kullanılmıştır [4 ve 6]. Bu işlemler, farklı endüstriyel uygulamalar için ısıtma püskürtme kaplamalarının özelliklerinin geliştirilmesi için umut vaadeden tekniklerdir [7]. Son yüzey işlemlerinden olan TIG yüzey ergitme yöntemi esasında bir kaynak yöntemidir. Yüzey ergitme yöntemi olarak etkili ve maliyeti düşük bir işlemdir [8 ve 10]. Tianshun vd, çelik alt tabakalar yüzeyinde Ni esaslı kaplama tabakalarını plazma sprey yöntemi ile üretmişler ve sonra TIG yöntemi ile de yüzeyi ergitmişlerdir. TIG yöntemi sonrası gözenek miktarında oldukça yüksek bir azalma olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında kaplama tabakası ile alt tabaka arasında metalürjik olarak kuvvetli bir bağlanmanın olduğu mikroyapısal incelemeler sonucunda tespit edilmiştir. Yapılan korozyon testleri de TIG yöntemi sonrası korozyon dirençlerinde belirgin artışlar olmuştur [11].

Diğer bir son yüzey işlemi, lazer yüzey ergitme yöntemi de termal sprey kaplamalarında meydana gelen gözenekliliği azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Afzal vd, lazer yöntemini kullanarak AISI 321 paslanmaz çelik yüzeyinde plazma sprey yöntemi ile üretilmiş olan WC-%12Co kaplaması ergitilmiştir. Sonuçlar, lazerle işlem sonrası, kaplamada daha az hatanın oluştuğunu ve aşınma dirençlerinde artışların meydana geldiğini göstermiştir [12]. Kaplanmış yüzeyin iyileştirilmesine yönelik yapılan son işlemlerden biri de Isıtma işlem uygulamalarıdır. Yapılan deneylere göre ısıtma işlem türleri, sıcaklıkları ve tutma süreleri farklılık göstermektedir. Ghadami vd, plazma sprey ile çelik alt tabakalar üzerinde üretilen WC-%12Co kaplamalarına 650°C, 900°C ve 1150°C sıcaklıklarda ısıtma işlem uygulamışlardır. Isıtma işlem sonrası kaplamalarda faz değişimi gözlemlenmiş olup kaplamaların alt tabakalara yapışma mukavemetlerinde de artışlar olmuştur [13]. Bu çalışmada, AISI 316L paslanmaz çeliği yüzeyinde plazma sprey yöntemi ile ZrO<sub>2</sub>-%8 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> esaslı kaplamalar üretilmiş olup; sonrasında farklı sıcaklıklarda ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Isıtma işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi detaylıca araştırılmıştır.

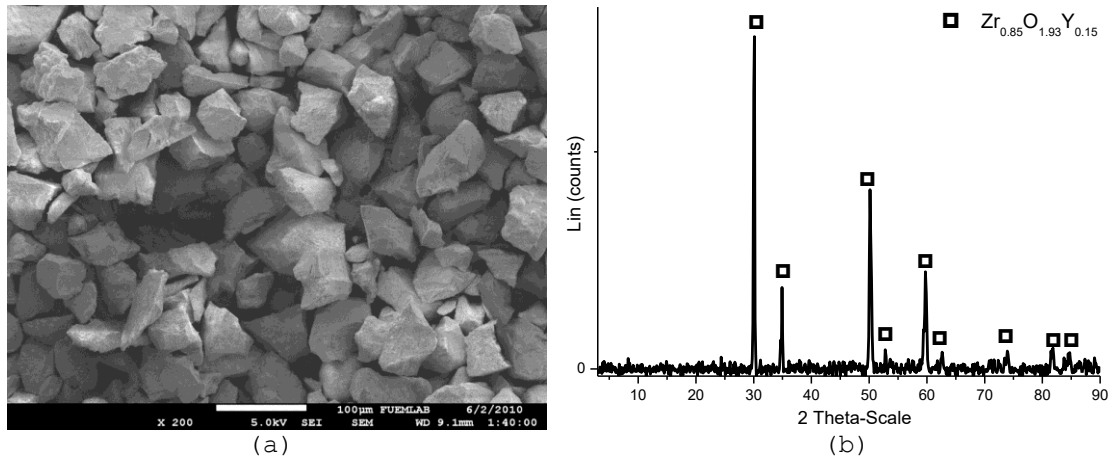
## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Plazma sprey yöntemi ile üretilen kaplamalarda yüksek gözeneklilik ve kaplama tabakası ile alt malzeme arasında zayıf bağlanma gibi kusurlar oluşmaktadır. Meydana gelen gözeneklilik sadece kaplamanın mekanik özelliklerini azaltmamakta, aynı zamanda korozyon direncini de düşürmektedir. Bu çalışmada ısıtma işlem son yüzey işlemi ile kaplamalarda meydana gelen kusur ve gözenekliliği azaltmak için kullanılmıştır.

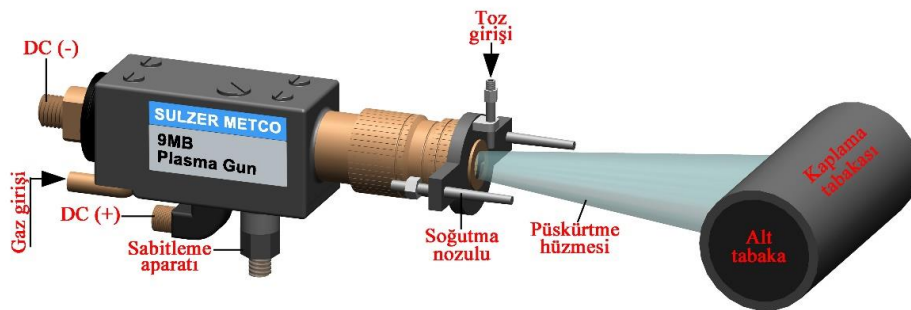
## 3. DENEYSSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL PROCESS)

Alt malzeme olarak 20mmx80mmx10mm ölçüsünde AISI 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. Plazma püskürtme yöntemi kullanılarak -90+30µm tane boyutuna sahip ZrO<sub>2</sub>-%8Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu alt malzeme üzerine kaplanmıştır.

Kaplama da kullanılan tozun SEM fotoğrafı Şekil 1a'da, XRD analizi ise Şekil 1b'de görülmektedir. Şekil 1a'da da görüleceği gibi tozlar düzensiz keskin köşeli olmakla birlikte, tane boyutlarında ise farklılıklar vardır. Metalik alt malzeme ile oksit kaplama arasında daha iyi bir bağlanma oluşturmak için alt malzeme 24-35 mesh arasındaki tane boyutuna sahip  $Al_2O_3$  kumu ile kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kumlama işleminden sonra yaklaşık 250µm kalınlığa sahip kaplama tabakası plazma püskürtme tabancası ile alt tabaka üzerinde üretilmiştir. Oksit kaplama tabakasının üretilmesinde 80kVA gücüne sahip Sulzer Metco 9MB plazma püskürtme kaplama sistemi kullanılmıştır. Plazma püskürtme kaplama işleminin prensip şeması Şekil 2'de görülmektedir. Tüm kaplamalarda plazma huzmesinin üretilmesinde kullanılan argon gazının akış oranı 35 l/dak olarak ayarlanmıştır. Plazma püskürtme tabancası, püskürtme mesafesi 75mm olacak şekilde sabitleştirilmiştir. Kaplama tozları tabancaya dıştan enjekte edilmiştir. Enjekte edilen tozlar plazma akışına paralel olacak şekilde yönlendirilmiştir. Kaplama tozu besleme oranı 45 gr/dak,  $H_2$  gazı akış oranı 9-11 l/dak ve taşıyıcı gaz oranı 3 l/dak olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. (a)  $ZrO_2-8Y_2O_3$  tozunun SEM fotoğrafı ve (b) XRD analizi  
(Figure 1. (a) SEM image of  $ZrO_2-8Y_2O_3$  powder and (b) XRD analysis)



Şekil 2. Plazma spre yönteminin prensip şeması  
(Figure 2. The principle scheme of plasma spray method)

Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra koruyucu gaz kontrollü Proterm marka tüp fırında 900°C, 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda kaplama numunelerine 2 saat süre bekleme zamanında ısıl işlem yapılmıştır. Isıl işlemde ısıtma ve soğutma periyotlarında 10°C/dakika oranı kullanılmıştır. Numuneler metalografik işlemlerden geçirildikten sonra  $HNO_3$  ve alkolden oluşan çözeltide dağlanmıştır. Her bir kaplamada, mikroyapı ve faz analizi için SEM ve XRD analizlerden

faydalanılmıştır. SEM analizleri için ise FEI QUANTA 250 FEG marka SEM cihazı kullanılmıştır. SEM ile birlikte, kaplama tabakası ve ara bölgesinde oluşması muhtemel fazlar için EDS analizleri de yapılmıştır. Kaplama tabakasında oluşan fazları tespit etmek amacıyla X-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, Bruker D8 Advance XRD marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaplamaların sertlikleri Shimadzu HMV-G21 model mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Kaplamaların sertlikleri numunelerin üst yüzeyinden 200gr yükte ve 15sn sürede toplam 6 değer olarak alınmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Aşınma testlerinde UTS Tribometer T10 test cihazı ile ASTM G133 standardına uygun olarak ileri geri aşınma testi kaplama tabakalarına uygulanmıştır. Testler 5N yükte, 350 metre kayma mesafesinde oda sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bilgi toplama oranı 3Hz seçilmiştir. Aşındırıcı bilye olarak  $Al_2O_3$  malzemeden üretilmiş çapı  $\varnothing 6mm$  olan çelik küre bilyeler kullanılmıştır. Küre bilyeler her deney için değiştirilmiştir. Kimyasal bileşimi ve aşınma yüzeylerinin morfolojisi SEM-EDS analizleri ile incelenmiştir. Şekil 3a'da aşınma deneylerinde kullanılan aşınma cihazı verilmiştir. Yüzey profilometre cihazı ile aşınma yüzeylerinin profilleri belirlenmiştir. Şekil 3b'de yüzey profilometre cihazı gösterilmektedir. Aşınma profilleri kullanılarak yüzey alanı hesaplanmış ve kayma mesafesiyle çarpılıp aşınma hacimleri bulunmuştur. Hacimler hesaplandıktan sonra archard eşitliğine göre aşınma oranları hesaplanmıştır.



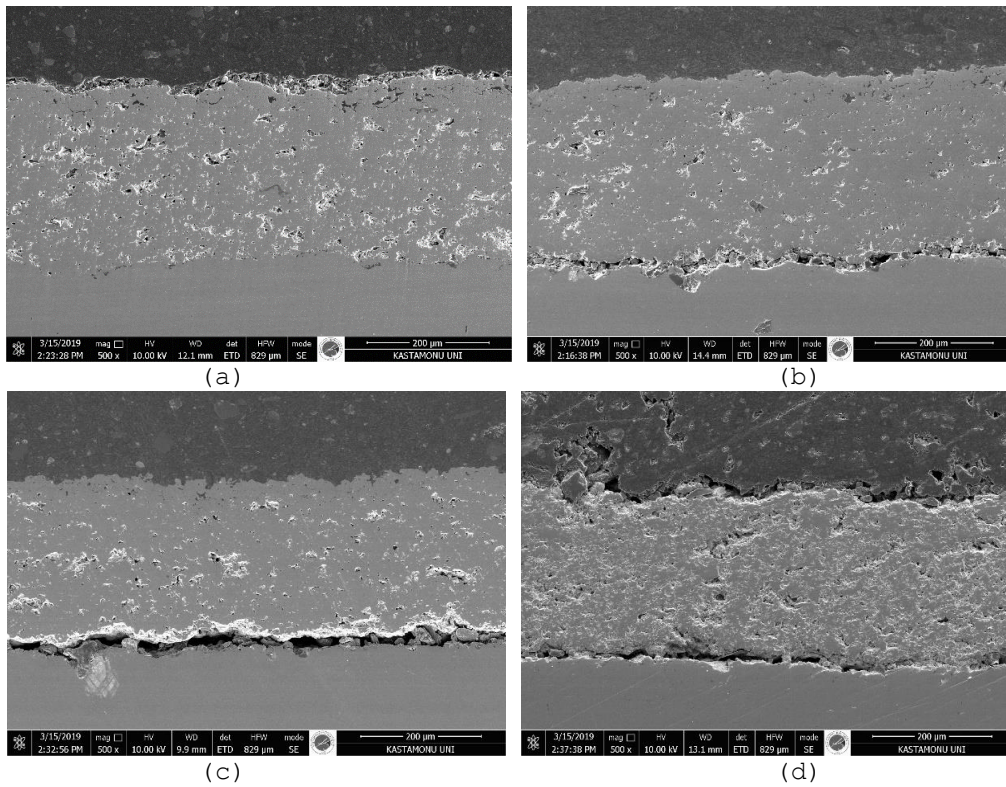
Şekil 3. (a) UTS Tribometer test cihazı ve (b) yüzey profilometre cihazı

(Figure 3. (a) UTS Tribometer tester and (b) surface profilometer)

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

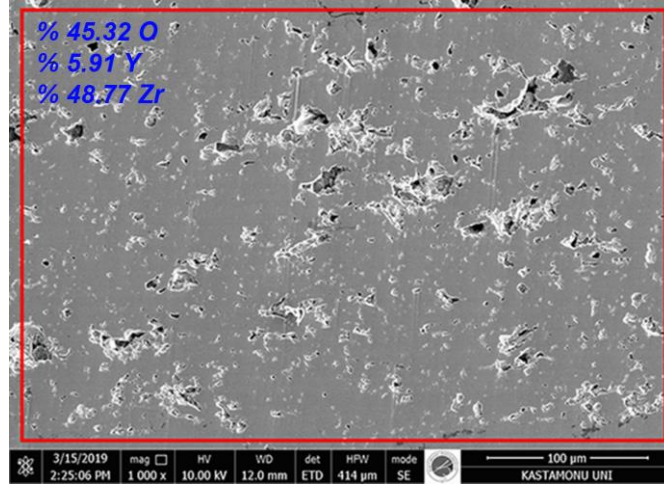
AISI 316L paslanmaz çelik üzerinde plazma sprey yöntemi üretilen  $ZrO_2$ - $8Y_2O_3$  seramik esaslı kaplamalara uygulanan ısıtma işlemi sonrası ve ısıtma işlemleri mikroyapı fotoğrafları Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 4a'de ısıtma işlemleri kaplama tabakasının, Şekil 4b'de  $900^\circ C$ 'de ısıtma işlemi uygulanmış, Şekil 4c'de  $1000^\circ C$ 'de ısıtma işlemi uygulanmış ve Şekil 4d'de  $1100^\circ C$ 'de ısıtma işlemi uygulanmış kaplama tabakalarının SEM fotoğrafları verilmiştir. Kaplamalarda, termal sprey kaplamalarında lamelli bir yapı görülmektedir. Bu yapı ergiyik haldeki metal damlacıkların alt malzemeye çarpıp, sürekli bir şekilde ıslatmasıyla oluşmaktadır [14 ve 16]. Diğer bir ifadeyle bu yapı, ergiyik partiküllerin alt malzemeye çarpması, deforme olması ve katılaşması şeklinde meydana gelir [17 ve 18]. Kuroda ve Kobayashi'ye göre lamel katmanlar alt malzemeye paralel olarak oluşur ve lamellerin orta kısmı kalın, uç kısımlara doğru ise kalınlık azalmaktadır [19]. Kaplama

tabakalarının tümünde gözenek oluşumu meydana gelmiştir. Kaplama fotoğraflarından ısıtma işlem sıcaklığının artmasıyla gözenek miktarının azaldığı açıkça görülmektedir. Bu sıcaklığın artmasıyla difüzyon yoluyla gözeneklerin kapanması şeklinde açıklanabilir. Isıl işlemler ve ısıtma işlemlerinin kaplamaların hiçbirisinde çatlak oluşumu meydana gelmemiştir. Matthews vd, plazma püskürtme yöntemiyle üretilen  $Al_2O_3$  ve  $Al_2O_3-WO_3$  kaplamaların özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisinin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça kaplama tabakasında çatlakların oluştuğunu rapor etmişlerdir [20]. Tarafımızdan yapılan tez çalışmasında bu şekilde bir çatlak oluşumu meydana gelmemiştir. Bu çalışmamızın olumlu tarafını ortaya koymaktadır. Fakat ısıtma işlem sıcaklığının artmasıyla kaplama-alt tabaka ara yüzeyinde bağlanmanın kısmen zayıfladığı yine SEM fotoğraflarından görülmektedir. Bu zayıflama metal ile seramik arasında ısıtma uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır.



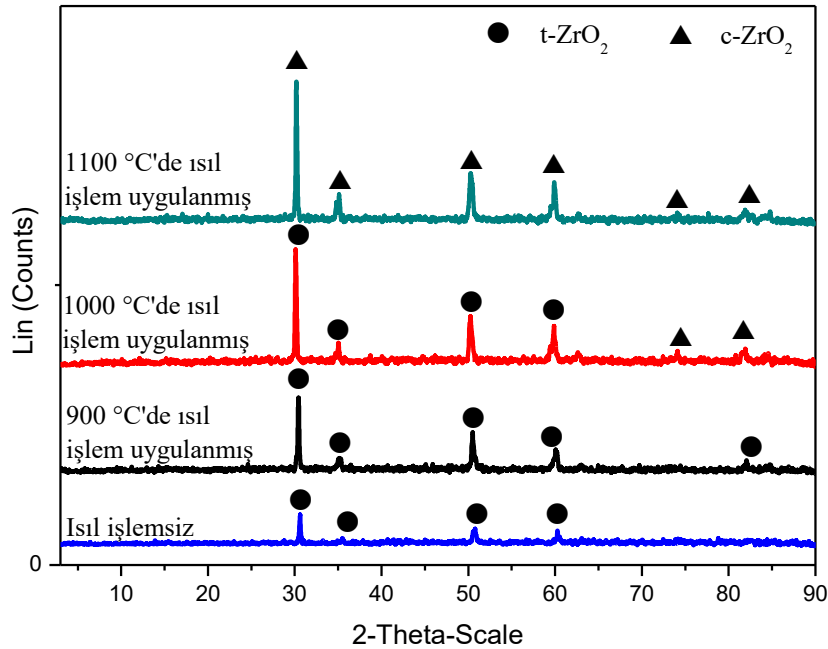
Şekil 4. (a) Isıl işlemler, (b) 900°C, (c) 1000°C ve (d) 1100°C  
(Figure 4. (a) Not heat-treated, (b) 900°C, (c) 1000°C and (d) 1100°C)

Şekil 5'de ısıtma işlemlerinin kaplamasının EDS analizi verilmiştir. Kaplama tabakasının EDS analizi ağırlıkça %48.77 Zr, 5.91 Y ve son olarak 45.32 O'den oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu oranlar kısmen toz bileşimine yakındır. Bu durum, toz bileşiminin kaplama tabakası olarak başarılı bir şekilde üretildiğini göstermektedir.



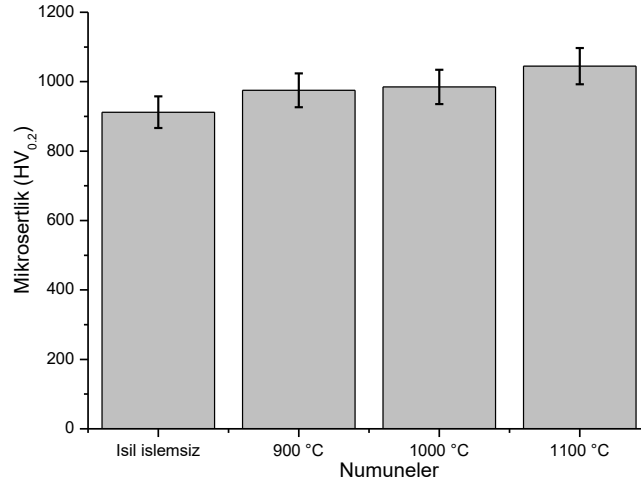
Şekil 5. Isıl işlemlenmiş kaplamanın EDS analizi  
(Figure 5. EDS analysis of not heat-treated coating)

Şekil 6'da kaplamaların XRD analizleri verilmiştir. Isıl işlemlenmiş ve 900°C'de ısıl işlemlenmiş kaplamalarda sadece tetragonal zirkonyum oksit (t-ZrO<sub>2</sub>) fazı oluşmuştur. 1000°C'de ısıl işlemlenmiş kaplamada hem t-ZrO<sub>2</sub> hem de kübik zirkonyum oksit (c-ZrO<sub>2</sub>) fazları oluşmuştur. 1100°C'de ısıl işlemlenmiş kaplamada ise sadece c-ZrO<sub>2</sub> fazı oluşmuştur.



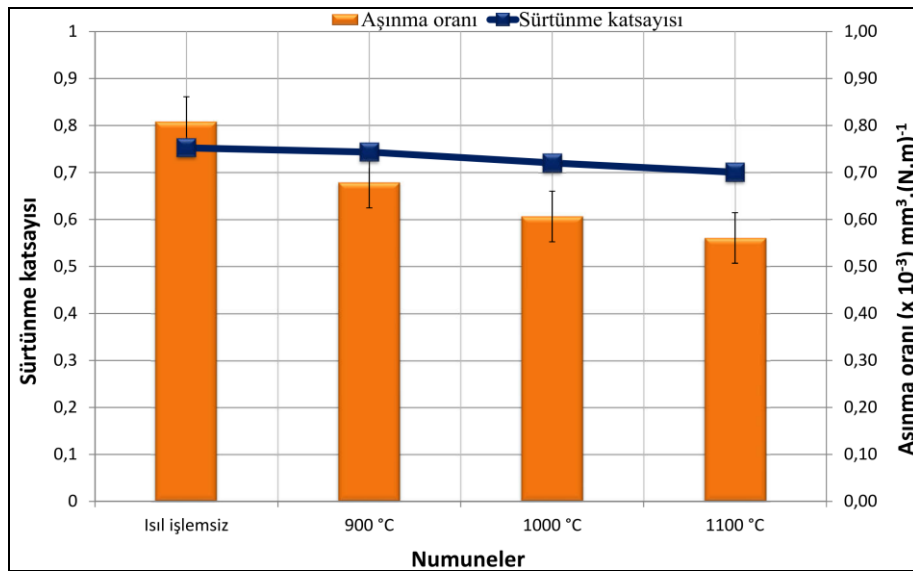
Şekil 6. XRD analizleri  
(Figure 6. XRD analysis)

Şekil 7'de işlemlenmiş ve ısıl işlem uygulanmış kaplama tabakalarının sertlik grafiği verilmiştir. Her bir kaplama tabakasında altışar ölçüm alınmış olup, bu değerlerin ortalaması değerlendirilmeye katılmıştır. İşlemlenmiş kaplamanın sertliği, 912 HV<sub>0.2</sub> iken 900°C, 1000°C ve 1100°C'de ısıl işleme tabi tutulmuş kaplamaların sertlikleri sırasıyla 975 HV<sub>0.2</sub>, 985 HV<sub>0.2</sub> ve 1045 HV<sub>0.2</sub> olarak ölçülmüştür. Kaplama sertliklerinin ısıl işlem sonrası arttığı açıktır.



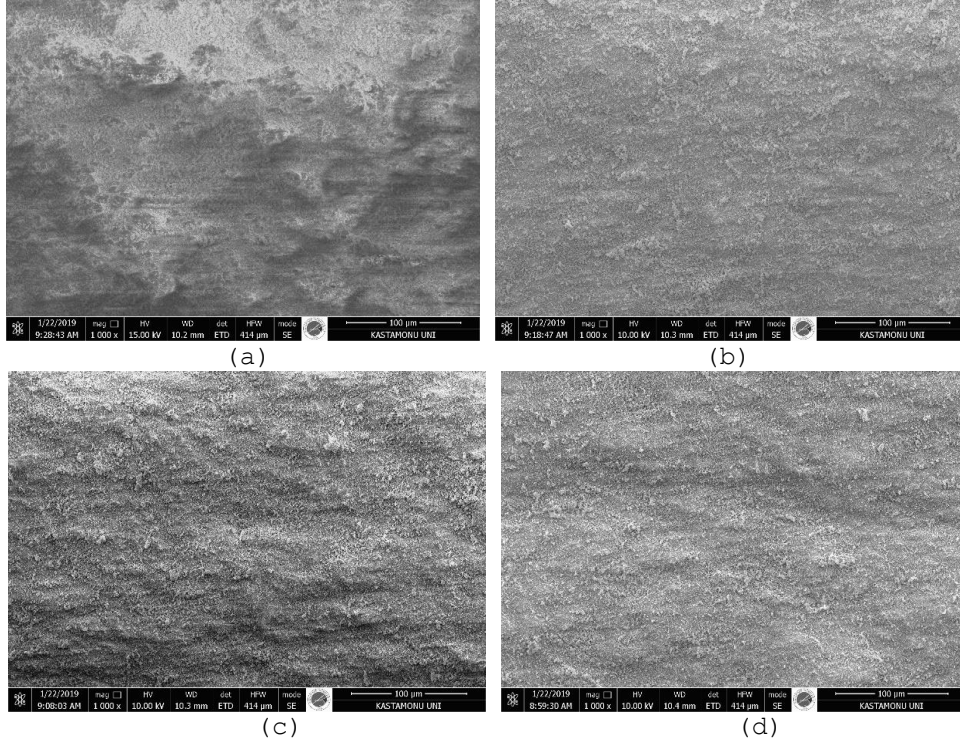
Şekil 7. Kaplamaların mikrosertlik değerleri  
(Figure 7. Microhardness values of coatings)

Kaplama tabakaların aşınma davranışlarını belirlemek için yapılan aşınma testi sonrası elde edilen veriler Şekil 8'de verilmiştir. Sürtünme katsayıları doğrudan cihazdan elde edilmiştir. Aşınma oranları ise hesaplanmıştır. Isıl işlemsiz, 900°C, 1000°C ve 1100°C ısıtılmış numunelerin sürtünme katsayıları sırasıyla 0.7525, 0.7435, 0.7205 ve 0.7005'dir. Kaplamaların aşınma oranları ısıtılmış, 900°C, 1000°C ve 1100°C ısıtılmış işlem sıcaklıkları için sırasıyla  $0.8074 \times 10^{-3} \text{mm}^3 \cdot (\text{Nm})^{-1}$ ,  $0.6784 \times 10^{-3} \text{mm}^3 \cdot (\text{Nm})^{-1}$ ,  $0.6064 \times 10^{-3} \text{mm}^3 \cdot (\text{Nm})^{-1}$  ve  $0.5607 \times 10^{-3} \text{mm}^3 \cdot (\text{Nm})^{-1}$ 'dir. Isıl işlem sıcaklığı arttıkça sürtünme katsayılarının ve aşınma oranlarının düştüğü açıkça görülmektedir. Bu, sıcaklığın artmasıyla daha yoğun bir yapının, yani gözeneksiz yapının elde edilmesiyle ilişkilendirilebilir.



Şekil 8. Numunelerin aşınma grafiği  
(Figure 8. Wear graph of samples)

Şekil 9'da 5N yük altındaki kaplama tabakalarının aşınmış yüzeylerinin morfolojileri görülmektedir. Kaplama tabakalarında adhesif aşınma türü gözlenmiştir. Tüm kaplamalarda aşınma sonrası malzeme Isıl işlemsiz numunede daha fazla malzeme kaybı olurken, ısıtılmış işlem sıcaklığı arttıkça malzeme kaybının azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. (a) Isıl işlemlenmiş, (b) 900°C, (c) 1000°C ve (d) 1100°C  
(Figure 9. (a) Not heat-treated, (b) 900°C, (c) 1000°C and (d) 1100°C)

##### 5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada AISI 316L paslanmaz çelik numuneler üzerine plazma püskürtme yöntemi ile  $ZrO_2-8Y_2O_3$  kaplaması yapılmış ardından kaplama sonrası uygulanan ısıl işlem son yüzey işleminin kaplamaya ve yüzey özelliklerine etkileri araştırılmış olup, aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

- SEM çalışmalarına göre, en fazla gözenek oluşumu ısıl işlemlenmiş numunede görülürken, ısıl işlem sıcaklığı arttıkça gözenek miktarının azaldığı açıkça görülmektedir. Fakat ısıl işlemin arayüzey bağlanmasına olumsuz etki gösterdiği fotoğraflardan görülmektedir. XRD analizlerinden ise benzer fazların oluştuğu ve sıcaklığın artmasıyla piklerin şiddetlerinde de artış olmuştur.
- Sertlik sonuçlarına göre, işlemlenmiş kaplamanın sertliği, 912 HV<sub>0.2</sub> iken 900°C, 1000°C ve 1100°C'de ısıl işleme tabi tutulmuş kaplamaların sertlikleri sırasıyla 975 HV<sub>0.2</sub>, 985 HV<sub>0.2</sub> ve 1045 HV<sub>0.2</sub> olarak ölçülmüştür.
- Yapılan aşınma testi sonuçlarına göre, sürtünme katsayısı ve aşınma oranları ısıl işlem sıcaklığının artmasıyla düşmüştür. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğraflarından da ısıl işlemlenmiş numunenin en fazla kayba uğradığı, ısıl işlem sıcaklığının artmasıyla kayıpların azaldığı tespit edilmiştir.

##### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılması ile ilgili konularda KÜBAP 03/2017-7 nolu proje ile maddi destek sağlayan Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (KÜBAP) Birimine, teşekkür ederiz.



**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Xie, G., Zhang, J., Lu, Y., He, Z., Hu, B., Zhang, D., Wang, K., and Lin, P., (2007). Influence of Laser Treatment on the Corrosion Properties of Plasma-Sprayed Ni-coated WC Coatings. *Applied Surface Science*, 253(23):9198-9202. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.05.049>.
- [2] Rhys-Jones, T.N., (1990). Thermally Sprayed Coating Systems for Surface Protection And Clearance Control Applications in Aero Engines. *Surface and Coatings Technology*, 43:402-415. [https://doi.org/10.1016/0257-8972\(90\)90092-Q](https://doi.org/10.1016/0257-8972(90)90092-Q).
- [3] Mateos, J.J.M.E., Cuetos, J.M., Fernandez, E., and Vijande, R., (2000). Tribological behaviour of Plasma-sprayed WC Coatings with and without Laser Remelting. *Wear*, 239(2):274-281. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(00\)00325-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(00)00325-2).
- [4] Afzal, M., Ajmal, M., Khan, A.N., Hussain, A., and Akhter, R., (2014). Surface Modification of Air Plasma Spraying WC-12% Co Cermet Coating by Laser Melting Technique. *Optics & Laser Technology*, 56, 202-206. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2013.08.017>.
- [5] Ghadami, F., Sohi, M.H., and Ghadami, S., (2015). Effect of TIG surface Melting on Structure and Wear Properties of Air Plasma-Sprayed WC-Co coatings. *Surface and Coatings Technology*, 261:108-113. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.11.050>.
- [6] Li, B., Gao, Y., Jia, J., Han, M., Guo, H., and Wang, W., (2016). Influence of Heat Treatments on the Microstructure as well as Mechanical and Tribological Properties of NiCrAlY-Mo-Ag Coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, 686:503-510. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.06.075>.
- [7] Sure, J., Shankar, A.R., Upadhyay, B.N., and Mudali, U.K. (2012). Microstructural Characterization of Plasma Sprayed Al2O3-40%wt TiO2 Coatings on High Density Graphite with Different Post-treatments. *Journal of Surface & Coatings Technology*, (206):4741-4749. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.01.058>.
- [8] Yazdi, R. and Kashani-Bozorg, S.F., (2015). Microstructure and Wear of in-situ Ti/(TiN+TiB) Hybrid Composite Layers Produced Using Liquid Phase Process. *Materials Chemistry and Physics*, 152:147-157. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.12.026>.
- [9] Islak, S., (2017). Wear Characteristics of FeW/FeW-B<sub>4</sub>C Coatings Produced by TIG Process. *Archives of Metallurgy and Materials* 62(4):2001-2006. <https://www.doi.org/10.1515/amm-2017-0298>.
- [10] Buytoz, S. and Ulutan, M., (2006). In Situ Synthesis of SiC Reinforced MMC Surface on AISI 304 Stainless Steel by TIG Surface Alloying. *Surface and Coatings Technology*, 200(12-13):3698-3704. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.02.178>.
- [11] Tianshun, D., Xiukai, Z., Guolu, L., Li, L., and Ran, W., (2018). Microstructure and Corrosive Wear Resistance of Plasma Sprayed Ni-based Coatings After TIG Remelting. *Materials Research Express*, 5(2):026411. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaadd7>.
- [12] Afzal, M., Khan, A.N., Mahmud, T.B., Khan, T.I., and Ajmal, M., (2015). Effect of Laser Melting on Plasma Sprayed WC-12 wt.% Co Coatings. *Surface and Coatings Technology*, 266:22-30. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.02.004>.
- [13] Ghadami, F., Sohi, M.H., and Ghadami, S., (2015). Effect of Bond Coat and Post-Heat Treatment on the Adhesion of Air Plasma Sprayed WC-Co Coatings. *Surface and Coatings Technology*, 261:289-294. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.11.016>.



- 
- [14] Lee, C.H., Kim, H.K., Choi, H.S., and Ahn, H.S., (2000). Phase Transformation and Bond Coat Oxidation behavior of plasma-Sprayed Zirconia Thermal Barrier Coating, *Surface and Coatings Technology* 124, 1-12. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00517-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00517-4).
- [15] Li, C.J., Yang, G.J., and Ohmori, A., (2006). Relationship between Particle Erosion and Lamellar Microstructure for Plasma-Sprayed Alumina Coatings, *Wear* 260:1166-1172. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.07.006>.
- [16] Islak, S., (2013). Effect of Alumina Addition on the Microstructure Properties of Plasma-Sprayed Zirconia-Alumina Coatings. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, 7(7-8):585-589.
- [17] Heimann, R.B., (1996). *Plasma-spray Coating*, VCH, New York.
- [18] Pawlowski, L., (2008). *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, John Wiley & Sons, Ltd., England.
- [19] Kuroda, T. and Kobayashi, A., (2004). Adhesion Characteristics of Zirconia-Alumina Composite Coatings by Gas Tunnel Type Plasma Spraying, *Vacuum* 73, 635-641. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2003.12.105>.
- [20] Matthews, S., Taliana, F., and James, B., (2012). Heat Treatment of Plasma-sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-WO<sub>3</sub> Coatings between 500 and 1000°C. *Surface and Coatings Technology*, 212, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.09.030>.