



1010 Çeliği Üzerine Elektrosprey Yöntemi İle Kaplanan Nano-Alümina Kaplamaların Aşınma Davranışı

Wear-Behavior of Nano-Alumina Coatings on 1010 Steel With Electrospray Method

Sinem Çevik¹, Tuğba Mutuk², Eren Tiryaki³

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
• sinemu@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0002-3506-7892

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
• tugba.isitan@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0003-0143-2721

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
• erentiryaki98@outlook.com • ORCID > 0000-0002-7013-718X

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş Tarihi / Received: 29 Eylül / September 2021

Kabul Tarihi / Accepted: 02 Aralık / December 2021

Yıl / Year: 2022 | **Cilt – Volume:** 2 | **Sayı – Issue:** 1 | **Sayfa / Pages:** 37-48

Atıf/Cite as: Çevik, S., Mutuk, T. ve Tiryaki, E. "1010 Çeliği Üzerine Elektrosprey Yöntemi İle Kaplanan Nano-Alümina Kaplamaların Aşınma Davranışı - Wear-Behavior Of Nano-Alumina Coatings On 1010 Steel With Electrospray Method". Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi - Ondokuz Mayıs University Journal of Engineering Sciences And Technology 2(1), March 2022: 37-48

Sorumlu Yazar: Sinem Çevik

1010 ÇELİĞİ ÜZERİNE ELEKTROSPREY YÖNTEMİ İLE KAPLANAN NANO-ALÜMİNA KAPLAMALARIN AŞINMA DAVRANIŞI

ÖZET

Genellikle AISI 1010 çeliği gibi %0, 2 den düşük karbona sahip çelik türleri yapı malzemesi olarak birçok endüstride levha ve profil gibi elemanlar da kullanılmaktadır. Metal malzemelerin korozyon ve aşınma hassasiyeti nedeni ile son yıllarda sert seramik malzemeler ile kaplanarak servis ömürlerinin uzatılması önem arz etmektedir. Bu kaplamalar sayesinde çizilme, aşınma vb., dirençleri artırılarak daha uzun ömürlü kaplanmış çelik ürünlerin de üretilmesine olanak sağlanmaktadır. Bu çalışmada aşınma direncini arttırmak için altlık malzemesi olarak kullanılan AISI 1010 çeliğine elektro sprey biriktirme yöntemi (ESD) kullanılarak nano-alümina kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama işlemi sonrasında yaklaşık 1000 °C sıcaklıkta 3 saat sinterlenen nano-alümina kaplanmış çelik numuneler çizilme (scratch) testine tabi tutulmuştur. 2, 5, 7, 10 N yükler altında 3D yazıcıya monte edilen uçlarla yapılan çizilme testinde 7N yük altında gözle görülebilir bir deformasyona rastlanmamıştır. Bununla beraber yapılan farklı kaplama parametreleri sonucunda oluşan çizik derinlikleri değerlendirilerek optimum kaplama parametresi değerleri 25 kV 0,8 ml/dk. olarak tespit edilmiştir. 19.3 kV ve 0,5 ml/dk parametrelerinde yapılan kaplama sonucunda sinterleme işlemi sırasında oluşan çatlaklar incelenmiştir ve bu kaplama parametrelerinde 1000 °C sıcaklığa 50 dk.'dan daha uzun bir süre çıkılabildiğinde, çatlakların önlenebileceği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kaplama işlemine bağlı olarak kaplanmış çelik altlık numunesinde aşınma direncinin arttığı ve düşük parametrelili kaplamalara oranla 4 kattan daha az aşınma derinliği olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: AISI 1010 çeliği, nano-alümina, çizilme testi, aşınma direnci, elektrosprey, biriktirme yöntemi

WEAR-BEHAVIOR OF NANO-ALUMINA COATINGS ON 1010 STEEL WITH ELECTROSPRAY METHOD

ABSTRACT

Generally, steel types with less than 0.2% carbon, such as AISI 1010 steel, are used as structural materials in many industries, such as plates and profiles. Due to the corrosion and wear susceptibility of metal materials, it is important to extend their service life by coating them with hard ceramic materials in recent years. Thanks to these coatings, it is possible to produce coated steel products with a longer life by increasing their resistance to scratches, abrasion, etc. In this study, nano-alumina coating process was performed on AISI 1010 steel, which is used as

a substrate to increase wear resistance, by using electro-spray deposition method (ESD). After the coating process, nano-alumina coated steel samples, which were sintered for 3 hours at a temperature of approximately 1000 °C, were subjected to the scratch test. In the scratch test performed with the tips attached to the 3D printer under 2, 5, 7, 10 N loads, no visible deformation was observed under 7N load. In addition, the scratch depths formed as a result of the different coating parameters were evaluated and the optimum coating parameter values were determined as 25 kV 0.8 ml/min. Cracks formed during the sintering process as a result of coating at 19.3 kV and 0.5 ml/min parameters were investigated and it was observed that cracks can be prevented when the temperature of 1000 °C can be maintained for more than 50 minutes in these coating parameters. As a result, it was determined that the wear resistance of the coated steel substrate increased due to the coating process and the wear depth was 4 times less than the low parameter coatings.

Keywords: *AISI 1010 steel, nano- alumina, scratch test, wear resistance, elektro-spray deposition method*

Öne çıkanlar

- Çelik yüzeylerin ESD yöntemi kullanılarak kaplanması
- Kolloidal çözelti hazırlanması
- Kaplama malzemesi olarak nano boyutlu alümina (Al₂O₃) seramik tozu kullanılması
- Kaplanan numunelerin çizilme (Scratch) testi ile aşınma direncinin incelenmesi

1. GİRİŞ

Metal malzemeler mekanik özelliklerinden dolayı sürtünme, aşınma ve çizilme gibi durumların bulunduğu bazı servis şartlarında veya üretim aşamalarında bazen yeterli olmamaktadırlar. Çeşitli yüzey işlemleri ile bu özelliklerin geliştirilebilmesi mümkün olmaktadır [1]. Çelik gibi metaller sağladığı üstün özelliklerinden dolayı endüstride çoğunlukla tercih edilen malzeme sınıflarındadır.

Seramik kaplamalar sahip oldukları yüksek ısıl, mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikleri sebebiyle son zamanlarda birçok endüstriyel alanda kullanılmaya başlanmıştır. Fakat seramik malzemelerin üretim maliyetlerinin yüksek olması, bu malzemelerin kullanımlarını maliyet açısından kısıtlamaktadır. Seramik malzemelerin kaplama malzemesi olarak kullanılması daha düşük maliyetle arzu edilen özelliklere sahip ürünlerin elde edilmesini sağlayabilmektedir [2]. Fakat bu noktada da yine üretim maliyetleri başka açıdan önem arz edebilmektedir. Çünkü kaplama teknolojileri yüksek teknolojilerdir ve bu alanda kullanılan cihazların da mali-

yeti oldukça yüksektir. Ancak birçok seramik malzeme için, birçok farklı kaplama yöntemi bulunmaktadır. Seramik kaplamaların büyük bir bölümü CVD, PVD, ıslı püskürtme, sol-jel ve HIP vb., yöntemler ile üretilmektedir [3-6].

Bu çalışmada kaplama yöntemi olarak ESD (elektrosprey biriktirme) kullanılmıştır. ESD yöntemi, kolloidal olarak kararlı süspansiyon halindeki nano seramik partiküllerin direkt olarak altlık yüzeyine elektrik alanla beraber püskürtülerek yapılan kaplama tekniğidir. ESD'nin en büyük avantajları kolay ve ucuz deney düzeneği kurulumu, yüksek kaplama verimi, kaplama kalınlığının ve mikro yapısının kontrolünün kolaylıkla yapılabilmesidir. Elektrosprey yöntemi son yıllarda nanoteknoloji alanında çok çeşitli uygulama alanları bulmuştur. Mikrofilm ve nanofilm biriktirme, püskürtme ile şekillendirme ve doğrudan yazma, elektroenkapsülasyon ve mikropartikül/nanopartikül üretimi vb. tek adımlı, kolay uygulanabilir. Ucuz bir yöntem olan elektro-püskürtme yöntemi kullanılarak, mikrometre veya nanometre boyutunda ve düşük polidispersiteye sahip damlacıklar elde edilebilmektedir [7].

Bu çalışmada altlık malzemesi olarak kullanılan AISI 1010 karbon çeliği, % 0,10 karbon içeriğine sahip düz karbonlu bir çeliktir. Bu çelik nispeten düşük mukavemete sahiptir, ancak mukavemeti arttırmak için su verilebilir ve temperlenebilir. AISI 1010 karbon çeliğinin özellikle soğuk çekilmiş ve soğuk işlenmiş durumda işlenebilirliği oldukça iyi ve sünektir. Bu yüzden geleneksel yöntemlerle kolayca şekillendirilebilir [8].

Alümina sert bir refrakter malzeme ve korozyona dayanıklı iyi bir izolasyon malzemesidir. Alümina (Al_2O_3) seramik kaplamalar yüksek aşınma direnci beklentisinin bulunduğu farklı sanayi ve Ar-ge uygulamalarında büyük bir çalışma yelpazesine sahiptir [9-11]. Özellikle aşınma direncinin artırılmasında ve korozyona hassasiyetin azaltılmasında alumina seramik kaplamalar birçok endüstriyel alanda başlıca kullanılan malzemelerdendir [12].

Çizilme testi, özellikle kaplama sistemlerinin yapışma kuvvetini değerlendirmek için en yaygın şekilde kullanılan bir test tekniğidir. Bu test, kaplama yüzeyine sürekli artan bir yükün, sert bir metal veya elmas küresel uç ile uygulanması şeklinde yapılmaktadır. Yüzeyin çizilmesi, kaplamanın bozulmasına, elastik ve plastik deformasyonun artmasına neden olmaktadır. Ancak elde edilen sonuçlar, kaplama kalınlığı, kaplama maddesinin mekanik özellikleri, arayüzey bağlanma dayanımı, çizilme hızı ve uygulanan test koşulları gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.

Bu çalışma kapsamında AISI 1010 çeliği altlık malzeme olarak kullanılmış ve üzerine elektrosprey kaplama yöntemi kullanılarak nano- Al_2O_3 toz biriktirilmiştir. Elde edilen kaplanmış numunelerin yüzeyine aşınma-scratch testi uygulan-

mış ve kaplama yüzeyi optik mikroskop ile incelenmiştir. Çelik malzeme yüzeyinin tribolojik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Altlık malzemesi olarak AISI 1010 karbon çeliği kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Çelik altlık numuneleri çelik levhadan 1cm²'lik numuneler kesilerek elde edilmiştir ve etanol ile kaplama işleminden hemen önce temizlenmiştir. Kesim işlemi giyotin kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan altlık numuneler Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Kaplama malzemesi olarak ticari olarak tedarik edilen 70 nm altı nano-Al₂O₃ seramik toz kullanılmıştır. Elektrosprey yönteminde kullanılmak üzere koloidal süspansiyonlar 30 ml. etanol ve 1 gr ağırlığındaki seramik toz kullanılarak hazırlanmıştır. Karışım süspansiyonu ilk olarak ultrasonik karıştırıcı ile dağıtılmıştır daha sonra manyetik karıştırıcı kullanılarak 25 rpm hızda oda sıcaklığında 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Koloidal karışım süspansiyonu Şekil 1(b)'de görülmektedir.

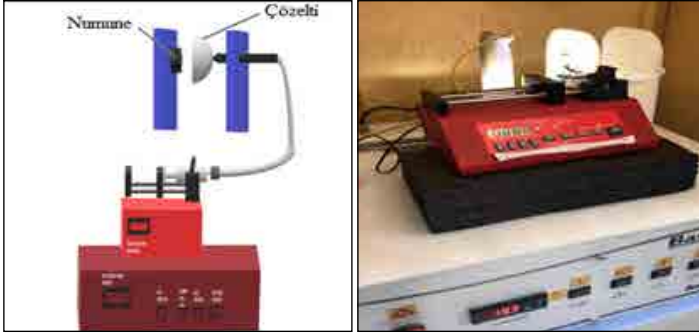
Tablo 1. AISI 1010 çeliği kimyasal bileşimi

Element	İçerik (%)
Fe	99.18-99.62
Mn	0.30-0.60
S	≤0.050
P	≤0.040
C	0.080-0.13



Şekil 1. (a) AISI 1010 karbon çeliği altlık numunesi (b) etanol ve nano-Al₂O₃ çözelti karışımı

Hazırlanan kolloidal çözeltiler 5 ml hacime sahip şırınga ile çekildikten sonra elektrosprey cihazına yerleştirilmiştir. Altlık numuneleri 2'şerli olacak şekilde 15 dk. süreyle elektrosprey cihazında kaplamaya alınmıştır. İlk iki numune 0.50 dk/ml çözelti püskürtme hızında ve 19.3 kV voltaj eşliğinde kaplanmış, diğer 2 numune ise aynı süreyle 0.80 dk./ml çözelti püskürtme hızında ve 25 kV gerilim eşliğinde kaplanmıştır. Elektrosprey biriktirme ünitesinin şematik gösterimi ve numunelerin kaplanma süreci sırasıyla Şekil 2(a) ve (b)'de verilmiştir.



Şekil 2. Elektrosprey kaplama ünitesi: (a) Şematik gösterim, (b) Kaplama süreci (19,3 kV ,0,5ml/dk)

Tüm numuneler 1000 °C'de 3 saat boyunca 10-2 Pa basınçta Nevola Marka fırında vakum altında sinterlenmiştir. Sinterleme aşamasında 1000°C sıcaklığa 50 dk. sürede çıkmıştır. Daha sonra 3 saat boyunca 1000°C sıcaklıkta tutulmuştur. Bu süreç boyunca 600°C, 900°C ve 1000°C sıcaklıklarında 20'şer saniye boyunca numunenin bulunduğu ortam vakuma alınarak sinterlenmiştir.

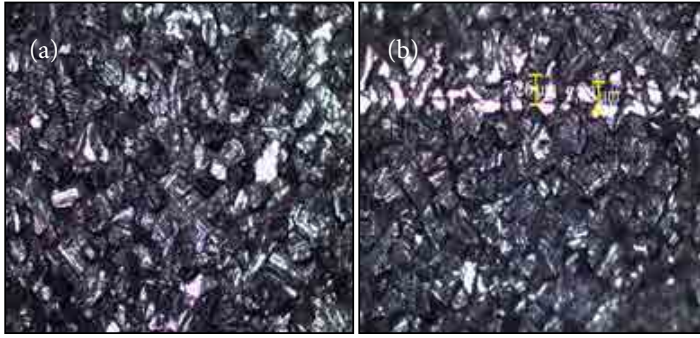
Kaplanmış numuneler 3D yazıcıya monte edilen uç kısım ile 2N, 5N, 7N ve 10N yük altında çizik atılarak aşınma testine tabi tutulmuştur. Çizilme testi analizi Şekil 3'te görülmektedir. Çizilme testi sonrası numuneler optik mikroskop altına yerleştirilerek çizik kısımları ve oluşan hasarlar incelenmiştir.



Şekil 3. Çizilme Testi Görüntüsü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

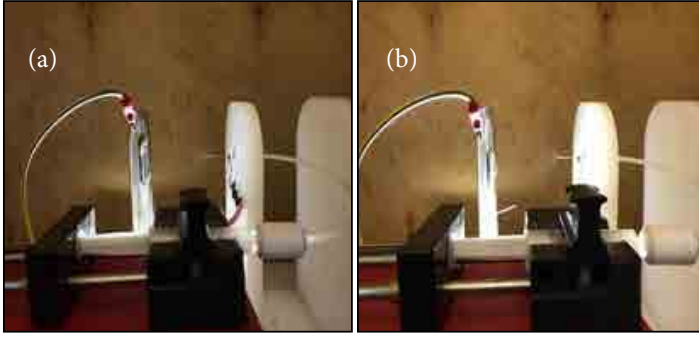
Elektrosprey biriktirme yöntemi ile 25 kV ve 0.8 dk./ml parametrelerinde kaplanan numunelere 2, 5, 7 ve 10 N'luk kuvvetler uygulanarak yapılan çizilme testi sonucunda oluşan çizikler optik mikroskopta incelenmiştir. Şekil 4(a)'da görüldüğü üzere 2 ve 5 N altında kayda değer çiziklerin oluşmadığı görülmüştür. Fakat 7 N yük altında oluşan çiziklerin 10 N'da oluşan çiziklere kıyasla daha derin olduğu ve hatta 10 N'a kıyasla bazı bölgelerde 4 katından fazla derinlik oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 4(b)' de görüldüğü üzere 7 N yük uygulanarak yapılan çizilme testinde oluşan çizik doğrultusunda yaklaşık derinlik boyu 7.26 μm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda düşük karbonlu bir çeliğe yapılan kaplama sonucu çeliğin aşınma ve çizilmeye karşı direncinin arttığı aynı zamanda kaplama sayesinde daha sert bir yüzeye sahip olduğu görülmüştür. 25 kV ve 0.8 dk./ml parametrelerinde yapılan kaplamanın optimum bir kaplama olduğunu ve herhangi bir hataya rastlanmadığı görülmüştür.



Şekil 4. Nano-alümina Kaplama Görüntüsü (25 kV, 0.8dk/ml) (a) Kaplanmış yüzey, (b) 7N çizilme test sonrası oluşan çizik görüntüsü

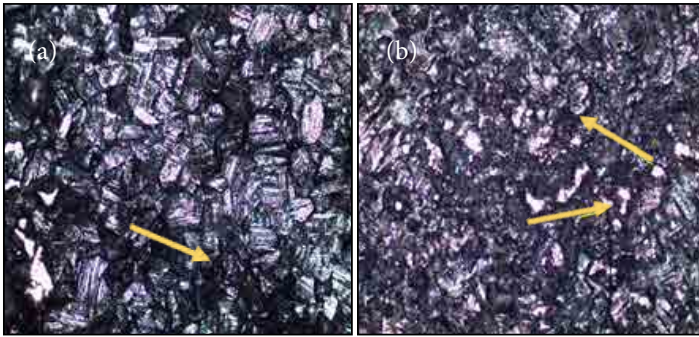
Elde edilen kaplamalarda sinterleme nedeniyle oluşan, kaplama ile yüzey arasındaki bağlanma hatalarından dolayı oluşan çatlaklar tespit edilmiştir. Burada oluşan çatlakların elektrosprey cihazının püskürttüğü kolloidal çözeltinin tam olarak homojen dağılmamış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Şekil 5(a) ve (b)'de sırasıyla 25 kV ve 0.8 dk./ml ve 19.3 kV ve 0.5ml/dk. kaplama parametrelerinde oluşan çözelti püskürtme esnasında konik jet görünümü verilmiştir. Şekil 5(b)'de 19.3 kV, 0.5 ml/dk. parametrelerinde püskürtülen çözeltinin şırınga ucunda oluşturduğu püskürtme alanı görüntüsünün 25 kV, 0.8 ml/dk. parametrelerinde püskürtülen çözeltinin görüntüsüne kıyasla daha zayıf olduğu görülmektedir. Buradaki gözlem ışığında Şekil 5(a)'da verilen kaplama parametrelerinde elde edilen kaplamaların daha iyi bir şekilde tüm yüzeyi kapladığı

görülmüştür. Çevik ve Gürbüz çalışmalarında uygulanan elektrik alanının, akış hızının, biriktirme zamanının, altlık sıcaklığının ve şırınga ile altlık arasında ki uzaklığın biriktirilen kaplamaların mikroyapısını etkilediğini ortaya koymuşlardır [13]. Bunlar arasında biriktirme süresi ve akış hızı, altlık üzerinde biriken katmanı belirlemek için gerekli ana parametrelerdir. Biriktirme süresi ve akış hızı düşük olduğunda, birkaç sıvı damlası alt tabakaya taşınır. Bunun sonucunda, hızlı çözücü buharlaşması nedeniyle alt tabaka tamamen kaplanamaz. Akış hızındaki artış daha fazla sıvı damlacıklarının altlığa ulaşmasını sağlar. Böylece yavaş kuruma hızından dolayı alt tabaka üzerinde daha büyük miktarda partikül birikecektir [14-15]. Ayrıca sinterleme aşamasındaki sıcaklık artış hızından dolayı oluşan ani ısınma ve oda içerisinde oluşan ani basınç artışı nedeniyle de çatlakların oluşma ihtimalinin göz ardı edilmemesi gerekliliği de ön plana çıkmaktadır. Şekil 6(a) ve 6(b)' de sırasıyla 19.3 kV ve 0.5ml/dk. kaplama parametrelerinde elde edilen numunelerin



sinterleme sonrası yüzey görüntüsü ve oluşan çatlak görüntüsü verilmiştir.

Şekil 5. ESD cihazında nano-alümina kaplama parametrelerinde iğne ucunda

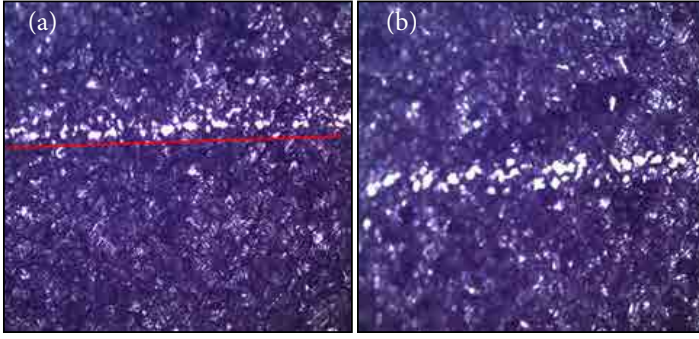


oluşan çözelti bulutu oluşumu (a) 25 kV, 0.8dk/ml, (b) 19.3 kV, 0.5ml/dk.

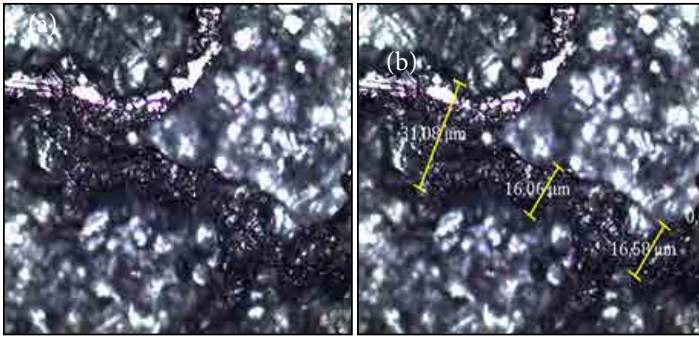
Şekil 6. Nano-Alümina Kaplama Görüntüsü (19.3 kV, 0.5ml/dk.) (a) Kaplan-

mış yüzey, (b) sinterleme sonrası oluşan çatlak görüntüsü

Mikroyapı ve çizik test analizleri sonucunda 19.3 kV ve 0.5ml/dk. parametrelerinde yapılan kaplamaya oranla 25 kV ve 0.8dk/ml parametrelerinde yapılan kaplamanın hasarsız bir görüntü oluşturduğu görülmektedir. 19.3 kV ve 0.8 ml/dk. parametrelerinde elde edilen kaplama yüzeylerine 10 N kuvvet altında yapılan çizik testinde oluşan derinlik 25 kV ve 0.8ml/dk. parametrelerinde yapılan orana daha belirgin olduğu için, bahsi geçen parametrelerde elde edilen kaplamaların daha zayıf aşınma direncine sahip olduğu gözlenmiştir. Çünkü yaklaşık 7 μm 'ye oranla daha derin çizikler oluşmuştur. (Şekil 7a ve b). Bu oluşan derin çizikler ve çizik boyutları sırasıyla Şekil 8(a) ve (b)'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre 19.3 kV ve 0.8 ml/dk. parametrelerinde elde edilen kaplama yüzeylerine 10 N güç altında yapılan çizik testinde oluşan derinlikler 16 ile 32 μm arasında değişmektedir.

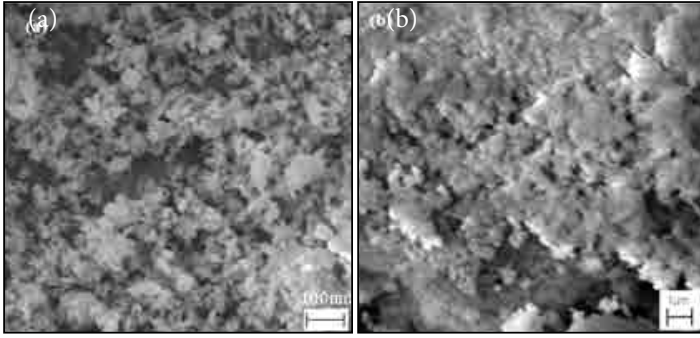


Şekil 8 10 N yük altında çizilme test (a) 25 kV, 0.8dk/ml, (b) 19.3 kV, 0.5ml/dk.

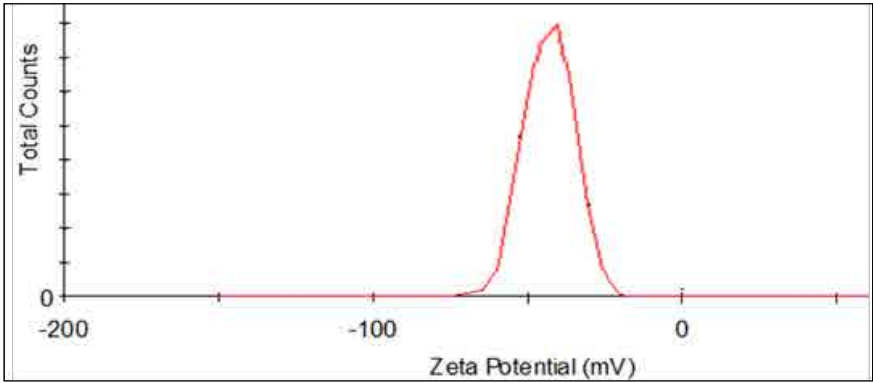


Şekil 9 19.3 kV ve 0.5ml/dk. parametrelerinde yapılan kaplama görüntüleri (a) çizik derinliği, (b) çizik derinliği boyutları

Kaplamanın yapılmadığı ve yapıldığı yüzeylerin Elektron mikroskop (SEM) görüntüleri Şekil 10'da verilmektedir. Şekilde de anlaşıldığı üzere kaplama yapılan yüzeyin kaplamasız yüzeye oranla daha yoğun bir yapı gösterdiği ve koloidal çözeltinin yüzeye iyi bir yapışma gösterdiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 11'de yüzeyde yoğun kaplama görüntüsü bulunan 25 kV, 0.8dk./ml numuneye tanelerin elektrostatik dağılıma kontrolü hakkında bilgi veren Zeta potansiyel ölçümü yapılmıştır. Şekil 11'e göre Zeta potansiyeli yaklaşık -50mV olup, seramikler için kararlılık değeri $\pm 30\text{mV}$ olması gereklidir. Ölçülen değer bu değerlerin çok üstünde olduğu için hazırlanan kaplama solüsyonu kararlı bir şekilde altlık yüzeyine kaplanabilmiştir sonucuna varılmıştır.



Şekil 10. (a) Kaplanmamış numune (b) Kaplanmış 25 kV, 0.8dk./ml numune SEM görüntüsü



Şekil 11. Kaplanmış 25 kV, 0.8dk./ml numunede Zeta potansiyel ölçüm grafiği

4. SONUÇLAR

AISI 1010 karbon çeliğinin yüzeyinin aşınma direncinin artırılması ve metallerdeki korozyona hassasiyetin giderilmesi amacı ile nano-alümina ile elektrosprey biriktirme yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda çizilme testlerine tabi tutulan tüm kaplanmış numunelerin yüzey yapısı incelendiğinde homojen kaplamaların olduğu gözlemlenmiştir. Elektrosprey kaplama parametreleri karşılaştırıldığında 25 kV 0.8 ml/dk. parametreleri ile yapılan kaplamaların çizilme testinde daha iyi bir sonuç verdiği ve çizilmeye daha dirençli olduğu görülmüştür. Nano-alümina kaplama sayesinde aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber yapılan çizilme testi analizlerinde 7 N yük altında uygulanan yüklerde (2N ve 5N) gözle görülebilir bir deformasyona rastlanmamıştır. 7N ve 10 N kuvvet altında yapılan testlerde ise 19.3 kV ve 0.5ml/dk. parametreleriyle yapılan kaplamaya kıyasla 25 kV 0,8 ml/dk. parametrelerinde yapılan kaplamalarda bazı bölgelerde 4 kattan fazla çizik genişliğinin olduğu görülmüştür. Buna dayanarak optimum kaplama parametresi olarak 25 kV ve 0,8ml/dk. belirlenmiştir. Uygulanan sinterleme sonucunda 19.3 kV ve 0.5ml/dk. parametreleri ile kaplanan numunelerdeki oluşan çatlaklar sinterleme işleminde 1000°C, 50 dk. yerine daha uzun süreler eşliğinde çıkılarak ani ısı değişimi olmadan çatlak oluşumunun da önlenileceği öngörülmektedir. Elektrosprey kaplama yöntemi ile bu tür kaplamaların daha az maliyet ile yapılabilmesi ortaya konmuştur. AISI 1010 gibi çeliklerin bu tür kaplamalar ile çizilme direnci gibi aşınma özelliklerinin artırılması ile yapı ve makine parçalarında kullanımlarında daha uzun ömürlü olabilmeleri sağlanabilecektir.

Teşekkür

Çalışma sırasında çizik testi analizlerindeki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Dr. Onur Yontar'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] R. Gadow, d. Scherer, "Combined coatings on light metal alloys for application under dry sliding conditions", 10th. International Metallurgy and Materials Congress, İstanbul, Türkiye, 24-28 May, ss. 861- 868, 2000.
- [2] N. Attarzadeh, M. Molaei, K. Babaei, A. Fattah-alhosseini, "New Promising Ceramic Coatings for Corrosion and Wear Protection of Steels: A Review," Surface and Interfaces, c. 23, s. 100997, ss. 1-23, 2021
- [3] G. Geiger, Ceramic coatings, American Ceramic Society Bulletin, 71, ss.1470-1476, 1992.
- [4] A. Tucci, L. Esposito, "Microstructure and tribological properties of ZrO₂ ceramics", Wear, c. 172, s. 2, ss. 111-119, 1994
- [5] E. Geçkinli, İleri Teknoloji Malzemeleri, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1992
- [6] H. Soyhan, Seramiklerin sinterleme prosesi süresince şekil değişikliklerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye. 2007

- [7] C. Pei, J.H. Zhu, F. Xing, "Photocatalytic property of cement mortars coated with graphene/TiO₂ nanocomposites synthesized via sol-gel assisted electrospray method", *Journal of Cleaner Production*, c. 279, s. 123590, ss. 1-11, 2021
- [8] H. Aghajani, E. Hadavand, N.S. Peighambari, S. Khameneh-asi, "Electro spark deposition of WC-TiC-Co-Ni cermet coatings on St52 steel", *Surface and Interfaces*, c. 18, s. 100392, ss. 1-8, 2020
- [9] I.M. Hutchings, *Tribology : Friction and Wear of Engineering Materials*, Edward Arnold Publications, Great Britain, 1992
- [10] P.P. Psyllaki, M. Jeandin, D.I. Pantelis, "Microstructure and wear mechanisms of thermal-sprayed alumina coatings", *Materials Letters*, 47, 77-82, 2001
- [11] U. Akin, *Alüminyum altlık üzerine ısı püskürtme yöntemiyle kaplanan seramik ve seramik-polimer kaplamaların aşınma davranışlarının incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye. 2003
- [12] P. Chagnon, P. Fauchais, "Thermal Spraying of Ceramics", *Ceramics International*, c.10, s. 4, ss. 119-131, 1984
- [13] S. Cevik, M. Gurbuz, "Induction Heated Sintering and Mechanical Properties of Electrosprayed Nano YSZ", *Transactions of the Indian Ceramics Society*, c.77, s. 1, ss. 37-144, 2018
- [14] M. Gurbuz, G. Günkaya, A. Doğan, "Electrosprayed Deposition of SnO₂ films from precursor solution", *Surface Engineering*, c.32, s. 10, ss. 725-732, 2016