

Plazma elektrolitik oksitleme yöntemiyle AA7075 alüminyum alaşımı üzerine kaplanan seramik kaplamaların yapısal ve aşınma davranışı

Structural and wear behavior of coatings formed on AA7075 aluminum alloy by plasma electrolytic oxidation

Serdar KARAOĞLU^{1*}, Ekrem SONUVAR¹

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
serdar.karaoglu@gmail.com, esonuvar@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 26.09.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 06.12.2016
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.24434
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada 7075 alüminyum alaşımı üzerinde, plazma elektrolitik oksitleme (PEO) işlemi ile seramik kaplamalar oluşturulup, akım yoğunluğunun ve elektrolit içeriğinin; kaplama yapısına, kalınlığına, yüzey pürüzlülüğüne ve aşınma davranışına etkileri araştırılmıştır. Kaplamaların mikroyapısı ve faz analizinde SEM ve XRD yöntemleri kullanılmış, kuru sürtünme şartlarında aşınma testleri, mikrosertlik ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, PEO işleminde uygulanan akım yoğunluğunun artırılmasıyla, kaplama kalınlığının, mikrosertlik değerlerinin, yüzey pürüzlülüğünün ve aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Alüminyum alaşımı, Plazma elektrolitik oksitleme (PEO), Akım yoğunluğu, Aşınma

Abstract

In this study, ceramic coatings were deposited on 7075 Al alloy using a plasma electrolytic oxidation (PEO) technique. Effects of current density and electrolyte content on microstructure, thickness, surface roughness and wear behavior of PEO coatings were studied. The microstructure and phase composition of the coatings were investigated by SEM and XRD analyses. Dry sliding wear tests, micro hardness and surface roughness measurements were also performed. It was found that the thickness, microhardness, surface roughness and wear resistance of the coatings increased with an increase of current density during plasma electrolytic oxidation.

Keywords: Aluminum alloy, Plasma electrolytic oxidation (PEO), Current density, Wear

1 Giriş

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, düşük yoğunluk, yüksek ısı iletkenlik, kolay üretilebilirlik ve kolay işlenebilirlik gibi üstün özelliklere sahiptir. Fakat düşük sertlik ve düşük aşınma direnci gibi negatif özellikleri alüminyumun kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Bu malzemelerin aşınma dayanımını artıran pek çok teknik geliştirilmiştir. Bunlardan biri de plazma elektrolitik oksitleme (PEO), bir başka ifadeyle mikro ark oksidasyon (MAO) yöntemidir [1].

Çevre dostu bir kaplama yöntemi olan PEO, özellikle Al, Mg, Ti gibi malzemelerin yüzeylerinde çok farklı mekanik ve fiziksel yapıya sahip kaplamaların oluşturulmasına imkân tanımaktadır. Bu yöntemde numune sert anotlamaya benzer şekilde fakat daha yüksek gerilim kullanılarak elektrokimyasal oksitlemeye maruz bırakılır. Oksit tabakasının büyümesi, yalıtkan olan bu tabakanın dielektrik bozunum voltajının üzerindeki potansiyellerde gerçekleşir. Bu şartlar altında, kaplanan yüzey üzerinde çok sayıda kısa süreli mikro ark boşalımaları (deşarjlar) oluşur. Elektrot yüzeyindeki lokalize elektrokimyasaldeşarjların ve bunların sebep olduğu kısa süreli ergimelerin bir sonucu olarak, kaplanmış yüzey genellikle gözenekli bir oksitten oluşur. PEO işlemi; kalın, sert, aşınma ve korozyona dayanıklı bir oksit tabakası sağlar [2]-[5].

Gerekli dielektrik bozunumu sağlamak üzere temel elektrolit bileşenleri olarak; silikat, alüminat ve fosfat gibi katkıları kullanılmaktadır. Bu katkıları mikro ark oluşum gerilimini düşürerek işlem süresini kısaltır ve kaplama kalitesini iyileştirirler. Diğer taraftan, elektrolite katılan bazı bileşenler kaplama büyüme hızını ve kalınlığını artırırlar [6]-[8].

Bu çalışmada 7075 alüminyum alaşımının yüzeyine, KOH, K₄O₇P₂ ve Na₂SiO₃ içeren iki farklı elektrolit kullanılarak plazma elektrolitik oksitleme işlemiyle seramik oksit kaplama yapılmış, işlem sonrasında numunelerin mikroyapısı SEM ve XRD ile karakterize edilip, kuru sürtünme şartlarında aşınma davranışı incelenmiş, mikrosertlik ve yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Materyal

Bu çalışmada AA7075 alüminyum alaşımına (ağ. %1.6Cu, %2.5Mg, %0.23Cr, %5.6Zn, kalan Al) plazma elektrolitik oksitleme işlemi uygulanmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere içyapı incelemeleri ve mikro-sertlik ölçümleri için 19 mm çapında, aşınma testleri için de 30 mm çapında silindirik numuneler hazırlanmıştır. Tüm numuneler yükseklikleri 10 mm olacak şekilde işlenmiştir. Plazma elektrolitik oksitleme işlemi öncesinde numuneler, 400-1200 grit SiC zımpara ile zımparalanmış ve sonrasında ultrasonik banyoda aseton ve saf su ile yüzey temizliği yapılarak işleme hazır hale getirilmiştir.

2.2 Plazma elektrolitik oksitleme (PEO) işlemi

PEO işlemi Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan 25 kW gücündeki Keronite G2 cihazında yapılmıştır. Bu sistemde kaplanacak numuneler, katot görevi gören paslanmaz çelik bir tankın içerisine, etrafı izole edilmiş bir alüminyum çubuk vasıtasıyla anot olarak bağlanmaktadır. Kaplama süresince akım sabit tutulmuş ve cihaza otomatik ayar verilerek voltajın yavaşça artması

sağlanmıştır. Yaklaşık olarak 300 V civarında yüzey üzerinde plazma deşarjlarının oluştuğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada elektrolit olarak iletkenliğini sağlamak amacıyla KOH, modifiye edici olarak da $K_4O_7P_2$ ve Na_2SiO_3 kullanılmıştır. PEO işleminde kullanılan alkali esaslı elektrolitlerin bileşimi, pH ve iletkenlik değerleri Tablo 1'de görülmektedir. Elektrolitlerin iletkenlik ölçümleri WTW LF 2000 mikro işlemcili iletkenlik ölçerde, pH ölçümleri ise WTW pH 720 model cihaz ile yapılmıştır. İşlem süresi tüm deneyler için 60 dakika olarak belirlenmiş ve 2 farklı alkali çözelti içerisinde 4 farklı akım yoğunluğu seçilerek 8 farklı kaplama elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1: Plazma elektrolitik oksitleme işleminde kullanılan elektrolitlerin konsantrasyon ve kimyasal özellikleri [9].

Elektrolit Tipi	Çözelti İçerik ve Miktarı (g/l)			pH	İletkenlik (mS/cm)
	KOH	Na_2SiO_3	$K_4O_7P_2$		
Elektrolit-A	2	3	5	13.07	11.54
Elektrolit-B	2	3	-	13.02	7.08

Tablo 2: PEO işleminde kullanılan proses değişkenleri [9].

Numune Kodu	Elektrolit Tipi	Akım Yoğunluğu (A/dm^2)	İşlem Süresi (dk.)
A-5	Elektrolit-A	5	60
A-10		10	
A-15		15	
A-20		20	
B-5	Elektrolit-B	5	60
B-10		10	
B-15		15	
B-20		20	

2.3 Karakterizasyon çalışmaları

2.3.1 Kaplama kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Kaplama kalınlığı ölçümleri için Mitutoyo Digiderm 1100 cihazı kullanılmıştır. Ayrıca numunelerin ara kesitleri üzerinde yapılan SEM incelemelerinde de kaplama kalınlığı ölçümü yapılarak buradan alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Mitutoyo SurfTest SJ-301 portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ra (ortalama pürüzlülük) değeri ile ifade edilen yüzey pürüzlülüğü kullanılan cihaz üzerinde μm cinsinden okunmuştur.

2.3.2 SEM ve XRD analizleri

PEO kaplanmış numunelerin mikroyapıları Quanta 250 SEM taramalı elektron mikroskobu altında incelenmiştir.

Kaplamanın kristal form ve fazlarının tayininde X-ışınları difraksiyon cihazı Philips XPert Pro kullanılmıştır. X-ray ölçümleri, $5^\circ-120^\circ$ aralığında, 0.017° adım verilerek $CuK\alpha$ ışınımı ile yapılmıştır.

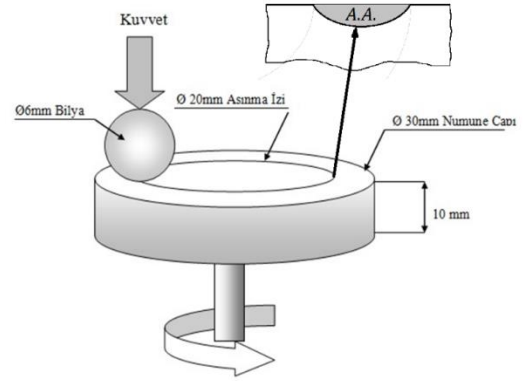
2.3.3 Sertlik ve aşınma testleri

Sertlik ölçümleri için Shimadzu marka Vickers mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler kesit yüzeyinden 50 g yük uygulanarak yapılmıştır.

Aşınma testi, Şekil 1'de görülen bilye-disk (ball-on-disc) aşınma düzeneğinde, kuru sürtünme şartları altında 100Cr6 (ASTM 52100) çelik bilye kullanılarak yapılmıştır. Sabit olan bilye ile dönen disk konumundaki numune arasındaki bağıl hız değeri $0.5 m/s$ 'dir. Numuneler ortam sıcaklığında, 15 N yük ve

toplam 500 m aşınma mesafesi altında aşınmaya maruz bırakılmıştır.

Aşınmaya maruz kalan numunelerin Mitutoyo SurfTest SJ-301 cihazıyla yüzey profilleri çıkarılmış, daha sonra bilgisayar üzerinden, aşınma profili altında kalan alan (A.A.) hesaplanarak aşınma hacmi yaklaşık olarak $A.H.=\pi \times D \times A.A.$ bağıntısından hesaplanmıştır. Aşınma izi hacminin daha düşük olması, malzemenin aşınma dayanımının daha yüksek olması anlamına gelmektedir. PEO işlemi uygulanmış numunelerin yanında, karşılaştırma amacıyla kaplanmamış alüminyum numunelere de aşınma deneyi uygulanmıştır.



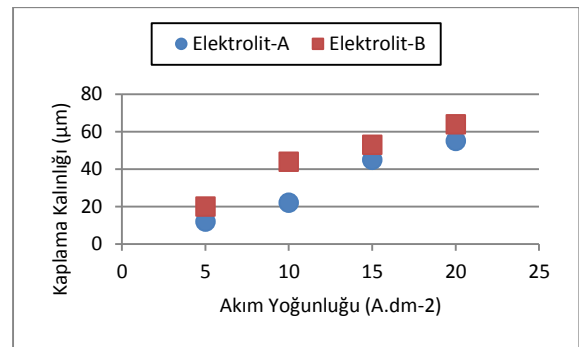
Şekil 1: Bilye-disk aşınma düzeneği.
(A.A: Yüzey pürüzlülük cihazı ile elde edilen aşınma oluğu profilinin kesit alanı).

3 Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada 7075 alüminyum alaşımına plazma elektrolitik oksitleme (PEO) işlemi uygulanmış ve akım yoğunluğu ile elektrolit içeriğindeki değişimlerin kaplamaların mekanik ve fiziksel özellikleri ile aşınma dayanımına etkileri incelenmiştir.

3.1 Yüzey incelemeleri

PEO işlemi uygulanmış bütün numunelerin yüzeyinde oksit tabakasının meydana geldiği görülmüştür. PEO işlemiyle oluşan oksit tabakasının kalınlıkları $12-64 \mu m$ arasında değişmektedir (Şekil 2).

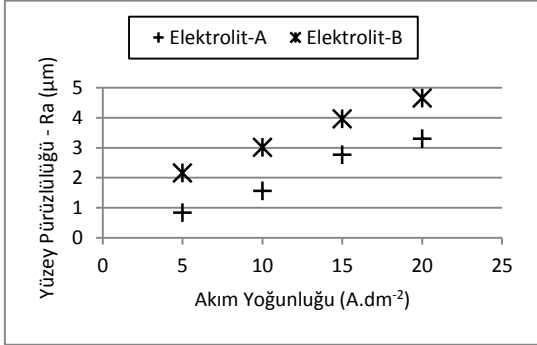


Şekil 2: PEO işlemi uygulanmış numunelerin kaplama kalınlıkları.

Kaplama kalınlığı en az olan numune (A-5), $12 \mu m$ oksit tabakası kalınlığına sahip olup, uygulanan akımın artmasıyla kaplama kalınlığının da arttığı görülmektedir. En büyük kaplama kalınlığı $64 \mu m$ ile $20 A/dm^2$ akım yoğunluğu altında kaplanan B-20 kodlu numunede ölçülmüştür. Kaplama oluşum hızı $1.08 \mu m/dk$ olarak gerçekleşmiştir. Aynı akım yoğunluğu değerleri için, Elektrolit-A içinde oluşan kaplamaların,

Elektrolit-B kullanılarak üretilen kaplamalardan daha ince olduğu tespit edilmiştir.

PEO işlemiyle yüzeyi kaplanan numunelerin yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin kaplama kalınlıkları ile bağlantılı olduğu, kaplama kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı gözlenmiştir. Nan XIANG ve arkadaşları da 6063 alüminyum alaşımı üzerinde yaptıkları çalışmalarında [10] artan akım yoğunluğu ile kaplama kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını rapor etmişlerdir.



Şekil 3: PEO işlemi uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).

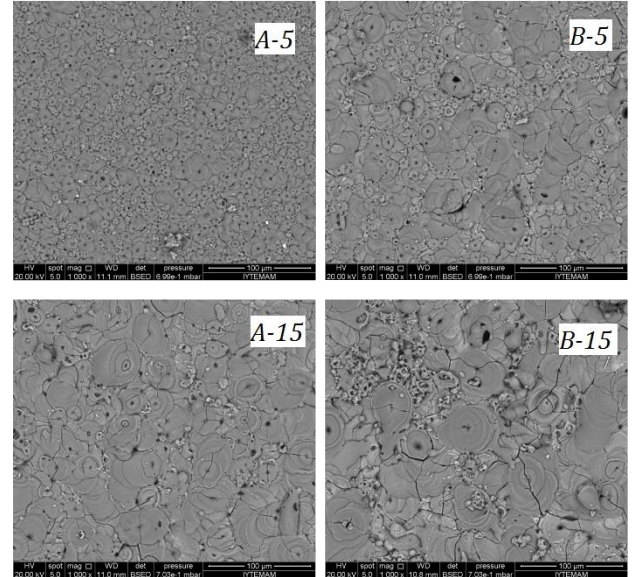
Tetra potasyum pirofosfat ($K_4O_7P_2$) katkılı olan Elektrolit-A'nın kullanıldığı numunelerde yüzey pürüzlülüğü, Elektrolit-B'ye göre daha düşüktür. $K_4O_7P_2$ katkılı, daha yüksek iletkenliğe sahip olan Elektrolit-A kullanılarak elde edilen kaplamaların, kalınlık ve yüzey pürüzlülüğü açısından diğer elektrolite göre daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Fosfat katkısıyla elektriksel iletkenliğin artışı dielektrik bozunum gerilimini düşürürken yüzey pürüzlülüğünün de azaldığı yani yüzey kalitesinin arttığı gözlenmiştir. Bu sonuç [11] No.lu referansta elde edilen sonuçlarla uyumludur.

Artan akım yoğunluğu ve kaplama kalınlığı ile yüzey pürüzlülüğü de artış göstermektedir. Kaplama kalınlığı en fazla olan numunenin (B-20) yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 4.66 μm ile en yüksek seviyededir (Şekil 3). PEO işleminde, numunelere uygulanan akımın artmasına bağlı olarak yüzeyde meydana gelen mikro ark deşarjlarının şiddeti artmakta, fakat yoğunlukları (birim alana düşen deşarj kanallarının sayısı) azalmaktadır. Böylece deşarj kanallarının çapının artması sonucunda yüzey pürüzlülüğü de artış göstermektedir. Artan kaplama kalınlığına bağlı olarak, deşarj kanalı yoğunluğunun düşmesiyle yüzey daha pürüzlü bir yapı sergilemektedir. Fosfat katkılı Elektrolit-A ile daha yüksek deşarj kanalı yoğunluğu ve daha düzgün yüzey elde edilmiştir.

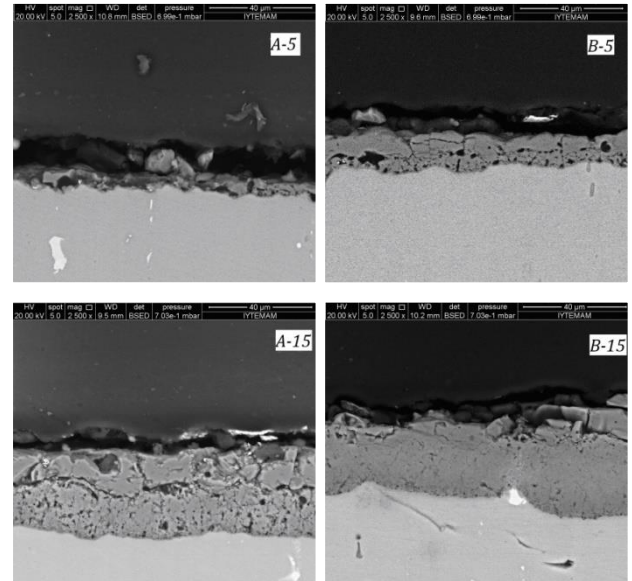
Artan akım yoğunluğu ile kaplama kalınlığı artarken yüzey pürüzlülüğünün de artış göstermesi kaplanmış numune yüzeylerinin SEM görüntülerinden de açıkça görülmektedir (Şekil 4).

Şekil 5'te PEO işlemi uygulanmış numunelere ait kesit görüntüleri bulunmaktadır. Kaplama yüzeylerinin genellikle pürüzlü ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu, altlığa doğru ilerledikçe kaplama yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Arakesit görüntülerinden PEO kaplamanın, çok gözenekli ve süresiz üst tabaka ve daha yoğun ve sürekli alt tabaka olmak üzere iki farklı katmandan meydana geldiği görülmüştür. İçerisinde fosfat bulunan Elektrolit-A kullanılarak yapılan numunelerdeki kaplamaların iç kısımlarında yoğun bir şekilde deşarj kanalları bulunmaktadır. Ayrıca bu numunelerin dış

tabakası, Elektrolit-B ile üretilenlere göre daha gözenekli, uniform olmayan bir yapı sergilemektedir.



Şekil 4: Plazma elektrolitik oksitleme işlemi uygulanmış bazı numunelerin yüzey SEM görüntüleri X1000.



Şekil 5: PEO uygulanmış bazı numunelere ait kesitlerin SEM görüntüleri (x2500). Üstteki koyu renkli bölgeler bakalit, ortadaki daha açık renkli bölgeler kaplama ve en alt kısım Al altlığı göstermektedir.

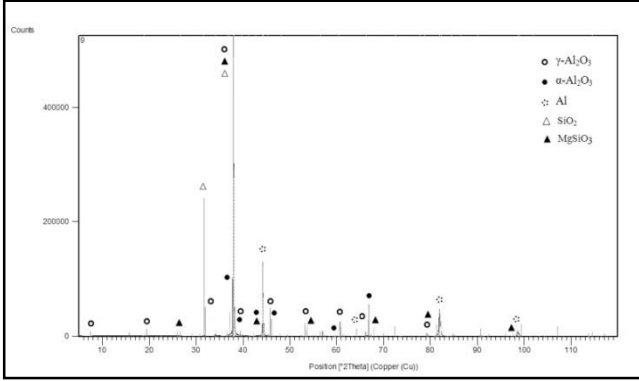
3.2 X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)

Elektrolit-B içinde 5 A/dm² ve 15 A/dm² akım yoğunlukları altında kaplanan numunelere ait XRD analiz sonuçları Şekil 6'da ve Şekil 7'de görülmektedir.

Kaplama yapısının başlıca bileşenleri; γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ yapıdaki alümina fazlarıdır. Mikro ark bölgesindeki ergimış haldeki alüminanın soğuma hızındaki değişim, kaplamanın yüzey ve iç kısımlarındaki γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ içeriğini değiştirmektedir. Kaplamaların yüzey bölgesi elektrolit ile doğrudan temas halinde olduğu için hızlı soğumaya maruz kalır ve bu bölgede hakim faz olarak γ -Al₂O₃ bulunur. Bu

nedenle soğumanın yavaş olduğu iç bölgelerde α - Al_2O_3 fazı daha kolay oluşur [12].

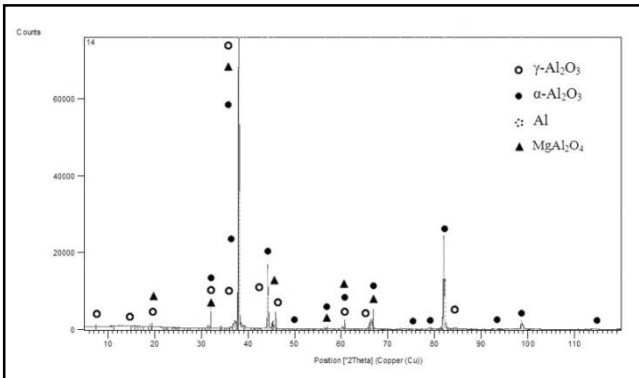
B-5 kodlu numunede kaplama kalınlığı düşük (20 μm), soğuma hızı yüksektir. Bundan dolayı γ - Al_2O_3 piklerinin fazla olduğu ve alüminyum altlıktan gelen Al piklerinin mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bu numunede tespit edilen SiO_2 piklerinin nedeni, içeriğinde Na_2SiO_3 elektrolit kullanılan PEO işlemlerinde elektrolit içerisinde bulunan silikat iyonlarının (SiO_3^{2-}) oksit tabakası içerisine girerek elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu silisyum oksit (SiO_2) formuna dönüşmesidir [13].



Şekil 6: PEO işlemi görmüş B-5 kodlu numunenin kaplama yapısında oluşan faz değişimi.

Şekil 6'daki XRD sonuçlarında görülen MgSiO_3 bileşiminin, 7075 alüminyum içerisinde %2.1~2.9 civarında bulunan Mg elementinin PEO işlemi süresince tepkimeye katılmasıyla oluştuğu düşünülmektedir. İşlem sırasında mikro ark bölgelerinde oluşan yüksek sıcaklık sebebiyle ergimiş haldeki MgO ve SiO_2 bileşenleri reaksiyona girerek MgSiO_3 yapısını meydana getirmektedir [14].

Kaplama kalınlığı 53 μm olan B-15 kodlu numunede kaplama içeriğinde kararlı haldeki α - Al_2O_3 fazının daha fazla olduğu ve kaplama kalınlığının artmasına bağlı olarak Al piklerinin kaybolduğu görülmektedir. Ayrıca kaplama içerisinde MgAl_2O_4 bulunmaktadır (Şekil 7).

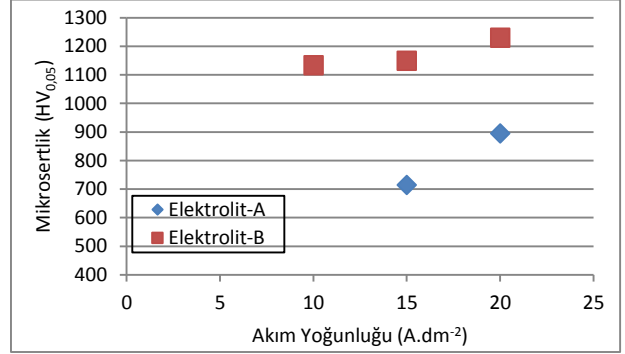


Şekil 7: PEO işlemi görmüş B-15 kodlu numunenin kaplama yapısında oluşan faz değişimi.

3.3 Kaplamanın mekanik ve tribolojik özellikleri

Numunelerin kesit yüzeyleri üzerinden yapılan sertlik ölçümü, kaplama kalınlığı düşük olan bazı numunelerde (A-5, A-10, B-5) gerçekleştirilememiştir. Mikro vickers sertlik ölçüm sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.

Sundararajan ve arkadaşlarının [15] 7075 serisi alüminyum alaşımına PEO uyguladıkları çalışmalarına benzer şekilde, kaplama kalınlığı boyunca sertliğin değiştiği, maksimum sertliğin altlık-kaplama ara yüzeyi yakınılarında, minimum sertliğin ise kaplama yüzeyinde olduğunu görmüşlerdir. Şekil 8'de verilen değerler altlık-kaplama ara yüzeyine olabildiğince yakın bölgelerden ölçülen ortalama değerlerdir.



Şekil 8: PEO işlemi görmüş numunelerin mikro sertlik değerleri.

Fosfat katkılı Elektrolit-A ile elde edilen kaplamaların, Elektrolit-B ile elde edilenlere göre daha düşük sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu fark, Elektrolit-A kullanıldığında oluşan yüksek deşarj kanalı yoğunluğu ve gözenek içeren kaplama yapısı ile açıklanabilir. Deşarj kanallarının yoğunluğu arttıkça mikro sertlik değerleri düşmektedir.

Kaplama kalınlığının artmasına bağlı olarak kaplama kompozisyonu içerisindeki α - Al_2O_3 fazının artması neticesinde mikro sertlik değerleri de artmaktadır. Mikro ark oksidasyon işlemi alüminyum üzerinde ilk başta amorf yapıda bir oksit tabakası oluşur. Deşarj bölgesindeki sıcaklık 800 °C'den 1200 °C'ye ulaştığında, amorf yapıdaki oksit tabakası önce yarı-kararlı γ - Al_2O_3 fazına, sonrasında ise kararlı yapıdaki α - Al_2O_3 fazına dönüşmektedir. Alüminyum oksidin α formu MOHS sertlik cetvelinde elman sonra en yüksek sertliğe sahiptir. Bu nedenle alüminyum oksit tabakası içerisinde ne kadar fazla α formu mevcut ise kaplamanın sertliği de o derece fazla olmaktadır [16]. Maksimum sertlik (1230 HV), kaplama kalınlığı en fazla olan numuneye (B-20) aittir. Ayrıca alüminyum altlıkta sertlik değeri 160 HV_{0.05} olarak ölçülmüştür.

3.4 Aşınma testi

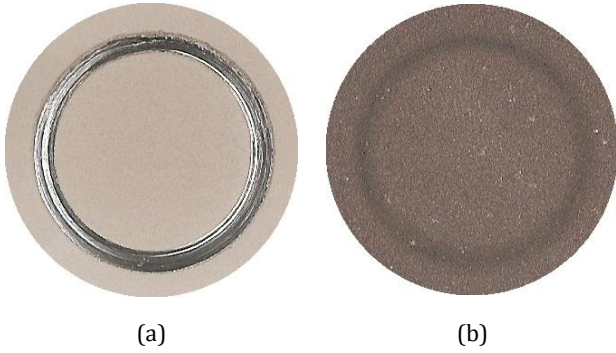
Kaplanmamış alüminyum malzemede aşınmanın çok şiddetli meydana geldiği ve kaplama kalınlığı 12 μm olan numunedeki (A-5) aşınmanın diğer kaplanmış numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Şekil 9a'da görüldüğü gibi, deney sırasında yüzey üzerindeki seramik oksit tabakası tamamen aşınmış ve alüminyum altlık üzerinde de malzeme kaybı meydana gelmiştir.

Kaplama kalınlığı en yüksek olan (64 μm) B-20 kodlu numunede aşınma testi sonucunda meydana gelen aşınma izi hacminin 115x10³ μm^3 değeriyle en düşük seviyede olduğu ölçülmüştür. Kaplama kalınlığı en yüksek olan bu numunenin, aşınma dayanımı da en iyi olan numune olduğu görülmüştür (Şekil 9b).

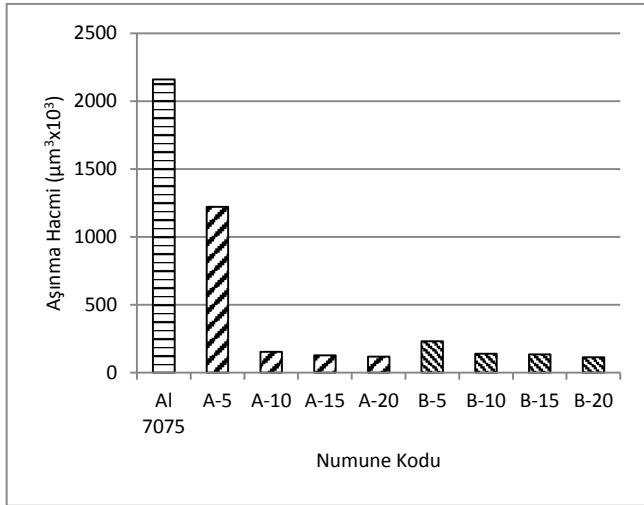
İşlem görmemiş (kaplamasız) ve PEO işlemi uygulanmış numunelere ait aşınma deney sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Kaplamasız numune ile kıyaslandığında PEO işlemi sonucu

oluşan seramik oksit film tabakasının, malzemenin aşınma dayanımını önemli oranda arttırdığı görülmektedir.

Aşınma deneyinde kullanılan çelik bilye ile numune arasındaki bağıl hareket sebebiyle, sert oksit kaplamanın yüzeyinde oluşan mikro seviyede kopmalar sonucu, çelik bilye ve oksit kaplama arasında oluşan seramik oksit aşınma ürünleri nedeniyle, adezif/abrazif etkileşimin aşınmada önemli rol oynadığı gözlenmiştir. Abrazif etki ile oldukça sert olan 100Cr6 bilyelerde önemli miktarda aşınma meydana geldiği görülmüştür. Etkili aşınmanın, malzemenin aşınma oluşu içerisinde kenarlara doğru kaydırılması (microploughing) ve adezif etkileşim sonucu meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 9: (a): Kaplama kalınlığı en düşük olan A-5 kodlu numunede ve (b): Kaplama kalınlığı en yüksek olan B-20 kodlu numunede meydana gelen aşınma izleri.



Şekil 10: PEO kaplanmış ve kaplanmamış numunelere ait aşınma izi hacimleri.

4 Genel sonuçlar

Bu çalışmada 7075 alüminyum alaşımının yüzeyi, 5-20 A/dm² aralığında değişen farklı akım yoğunlukları ve farklı elektrolitler kullanılarak, 60 dk. boyunca PEO işlemiyle seramik oksit film tabakası kaplanmıştır. Alınan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

PEO işlemi sırasında uygulanan akım değerinin artması sonucu hem kaplama kalınlığı, hem de yüzey pürüzlülüğü artmıştır.

64 µm olarak ölçülmüş olan en yüksek kaplama kalınlığı, 20 A/dm² olan maksimum akım yoğunluğunda elde edilmiştir.

Elektrolit içerisinde kullanılan tetra sodyum piro fosfat (K₄O₇P₂) katkısı kaplamanın yüzey kalitesini arttırmış fakat yapıdaki gözenekleri ve kaplama sertliğini azaltmıştır.

Mikro sertlik ölçümleri sonucunda, kaplama sertliğinin artan akım yoğunluğu ve kaplama kalınlığı ile arttığı görülmüştür. Seramik oksit film tabakası ile kaplanmış numunelerin sertliği en fazla 1230 HV0.05 olarak ölçülmüş olup bu değer sertliği 160 HV0,05 olan kaplanmamış numunelere göre oldukça yüksektir.

Elde edilen SEM görüntülerinden, plazma elektrolitik oksitleme işlemi görmüş numunelere ait kaplama yüzeyinin pürüzlü bir yapıya sahip olduğu ve altlığa doğru ilerledikçe kaplama yapısının yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Arakesit görüntülerinden PEO kaplamanın, gözenekli üst tabaka ve daha yoğun alt tabaka olarak 2 farklı katmandan meydana geldiği görülmüştür.

Yapılan XRD analizlerinde, 7075 alüminyum alaşımına yapılan plazma elektrolitik oksitleme işlemi sonucunda kaplamaların başlıca bileşenlerinin γ-Al₂O₃ ve α-Al₂O₃ fazları olduğu görülmüş, ayrıca elektrolit içindeki Si ve alüminyum içindeki Mg alaşım elementini içeren bazı oksitler tespit edilmiştir.

Aşınma testlerinin sonucunda kaplama kalınlığının artmasıyla numunelerin aşınma dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Kaplanmış numunelerin aşınma dayanımının, kaplanmamış numunelere göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

5 Kaynaklar

- [1] Yerokhin AL, Nie X, Leyland A, Matthews A. "Characterisation of oxide films produced by plasma electrolytic oxidation of a Ti-6Al-4V alloy". *Surface & Coatings Technology*, 130(2-3), 195-206, 2000.
- [2] Yerokhin AL, Nie X, Leyland A, Matthews A, Dowey SJ. "Plasma electrolysis for surface engineering". *Surface & Coatings Technology*, 122(2-3), 73-93, 1999.
- [3] Tekin KC, Çakmak E, Malayoğlu U. "Plazma elektrolitik oksitleme yöntemiyle hafif metallerin kaplanması". *Mühendis ve Makina*, 49(582), 3-9, 2008.
- [4] Venugopal A, Srinath J, Rama Krishna L, Ramesh Narayanan P, Sharma SC, Venkitakrishnan PV. "Corrosion and nanomechanical behaviors of plasma electrolytic oxidation coated AA7020-T6 aluminum alloy". *Materials Science & Engineering A*, 660, 39-46, 2016.
- [5] Yerokhin AL, Lyubimov VV, Ashitkov RV. "Phase formation in ceramic coatings during plasma electrolytic oxidation of aluminium alloys". *Ceramics International*, 24(1), 1-6, 1998.
- [6] Jiang BL, Wang YM. *Plasma Electrolytic Oxidation Treatment of Aluminium and Titanium Alloys*. Editor: Dong H. Surface Engineering of Light Alloys, 110-154. Cambridge, UK, Woodhead Publishing Limited, 2010.
- [7] Dunleavy CS, Golosnoy IO, Curran JA, Clyne TW. "Characterisation of discharge events during plasma electrolytic oxidation". *Surface & Coatings Technology*, 203(22), 3410-3419, 2009.
- [8] Hussein RO, Nie X, Northwood DO. "An investigation of ceramic coating growth mechanisms in plasma electrolytic oxidation (PEO) processing". *Electrochimica Acta*, 112, 111-119, 2013.
- [9] Sonuvar E. Petrokimya Tesislerinde Kullanılan Tuz Yıkama Santrifüj Parçalarının Aşınma Dayanımının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2014.

- [10] Xiang N, Song R, Zhuang J, Song R, Lu X, Su X. "Effects of current density on microstructure and properties of plasma electrolytic oxidation ceramic coatings formed on 6063 aluminum alloy". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(3), 806-813, 2016.
- [11] Fattah-Alhosseini A, Vakili-Azghandi M, Keshavarz MK. "Influence of concentrations of KOH and Na₂SiO₃ electrolytes on the electrochemical behavior of ceramic coatings on 6061 Al alloy processed by plasma electrolytic oxidation". *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 29(3), 274-281, 2016.
- [12] Xue W, Deng, Z, Lai Y, Chen R. "Analysis of phase distribution for ceramic coatings formed by microarc oxidation on aluminum alloy". *Journal of the American Ceramic Society*, 81(5), 1365-1368, 1998.
- [13] Shi Gang X, Li-Xin S. "Composition and thermal properties of the coating containing mullite and alumina". *Materials Chemistry and Physics*, 97(1), 132-136, 2006.
- [14] Hsiao H, Tsai W. "Characterization of anodic films formed on the AZ91D magnesium alloy". *Surface & Coatings Technology*, 190(2-3), 299-308, 2005.
- [15] Sundararajan G, Rama KL. "Mechanisms underlying the formation of thick alumina coatings through the MAO coating technology". *Surface & Coatings Technology*, 167(2-3), 269-277, 2003
- [16] Anita V, Saito N, Takai O. "Microarc plasma treatment of titanium and aluminum surfaces in electrolytes". *Thin Solid Films*, 506-507, 364-368, 2006.