



Mikro-ark oksidasyon yöntemi ile oksitlenen 2017A alüminyumun erozyon-korozyon direncinin incelenmesi

Investigation of erosion-corrosion resistance of 2017A aluminium oxidized by micro-arc oxidation process

Kemal KORKMAZ^{1*}, Ali ÇAKIR²

^{1,2}Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
korkmazk@gtu.edu.tr, acakir@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.10.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 29.03.2017
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.77674
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

2017A alüminyum belli boyutlarda kesilmiş ve mikro ark oksidasyon (MAO) yöntemi kullanılarak yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Yüzeyinde seramik bir oksit tabakasının oluştuğu alüminyum; oda sıcaklığında, farklı sürelerde, HCl çözeltisi ve Al₂O₃ toz parçacıklarının manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldığı erozif-korozif bir ortama maruz bırakılmıştır. Mikro-ark oksidasyon ve erozyon-korozyon deneyleri öncesi ve sonrasında numunelerin kütle ölçümleri yapılmış ve XRD yardımıyla faz analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, numunelerin optik mikroskop ile yüzey görüntüleri elde edilerek, erozif-korozif ortamın numunenin yüzeyinde meydana getirdiği değişim irdelenmiştir. Çalışma sonucunda 2017A alüminyumunun Mikro-ark oksidasyon ile yüzeyinin kaplanması ile erozyon-korozyon direncinde belirgin bir artışın elde edildiği tespit edilmiştir. Özellikle MAO işlem süresini 5 dk.'dan 45 dk. çıkartmakla kaplama kalınlığında yaklaşık 6 kat artış elde edilmiştir. Bunun neticesinde 3 sa.'lik erozyon-korozyon deneyinde kütle kaybı %40.2 den %0.7 ye düşürülerek erozyon-korozyona karşı dayanım yaklaşık 60 kat artırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Erozyon-korozyon, Mikro ark oksidasyon, Yüzey, Seramik

Abstract

2017A aluminium sample was cut into certain pieces and surface modification was practiced via micro arc oxidation (MAO) method. Aluminum alloy, on the surface of which a ceramic layer was formed, was exposed to an erosive-corrosive environment at room temperature for different times. During the exposure Al₂O₃ powder particles were stirred in HCl solution. Mass measurements and XRD phase analyses of the samples were taken before and after the micro arc oxidation process and erosion-corrosion experiment. In addition, surface images of the samples were taken by optical microscopy in order to examine the changes in the surfaces of the samples produced by erosive-corrosive environment. As a result of this study, it was also determined that an obvious increase in erosion-corrosion resistance of 2017A aluminum oxidized by micro arc oxidation process occurred. In particular, by extending the MAO processing time from 5 min to 45 min, an increase of about 6 times in coating thickness was obtained. As a result, in the 3 h erosion-corrosion test, the mass loss was reduced from 40.2% to 0.7% and so the erosion-corrosion resistance was increased about 60 times.

Keywords: Erosion-corrosion, Micro-arc oxidation, Surface, Ceramic

1 Giriş

Endüstride kullanılan pek çok malzeme, kullanım alanlarına paralel olarak birtakım sıvılarla temas etmekte ve bu temaslara bağlı olarak da hasara uğrayabilmektedir. Sıvının asitlik/bazlık gibi karakteristik özelliklerine bağlı olarak malzeme çeşitli şekillerde kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlara uğramakta ve dolayısıyla korozyona maruz kalmaktadır. Ayrıca malzeme bu tür sıvıların özellikle akış haline ve içerdiği bazı aşındırıcı maddelere maruz kalmak suretiyle aşınmaya da uğrayabilmekte, yani erozyon etkisine maruz kalabilmektedir. İşte bu iki etkinin malzemeye aynı anda tesir etmesi sonucu malzeme erozyon-korozyon etkisine maruz kalmış ve hem kimyasal hem de mekanik olarak hasar görmüş olur.

Erozyon-korozyon malzemenin kaviteasyon (kovuklaşma) ve sıvı erozyonu içeren erozyon ve korozyon etkilerine eş zamanlı olarak maruz kalması olarak açıklanabilir [1]. Malzemelerin imalatında ve kullanım alanlarında hem iyi korozif özellikler, hem de güçlü aşınma direnci arzulanır. Paslanmaz çelik gibi metaller yaygın kullanılması ve iyi korozyon dirençleriyle, refrakter metalleri olan tantalyum ve zirkonyum gibi metaller de yine güçlü korozyon dirençleriyle

öne çıkarlar [2]. Nikel-alüminyum bronzları da yine iyi korozyon direncine ve sağlam mekanik dirence sahiptir [3].

Öte yandan alüminyum gibi bazı hafif metaller, yüzeylerindeki pasif oksit tabakası sayesinde korozyona karşı iyi direnç gösterirler. Ayrıca spesifik dayanımları da bazen çeliğin bile üzerinde olabilmektedir. Bu metallerin en önemli avantajı ise hafif olmalarıdır ve bu özellik onları diğer metallere göre daha tercih edilir kılar [4]. Diğer yandan bu tip metallerin erozyon ve korozyona karşı yüzeylerinin daha da dayanıklı kılmak için yüzeylerinin modifiye edilmesi de mümkündür. Bu amaç doğrultusunda birçok yaygın kullanılan yüzey modifikasyon yöntemleri olup bunlardan biride Mikro ark oksidasyon (MAO) tekniğidir. MAO yöntemi, yüzeyinde doğal olarak pasif oksit tabakası bulunduran ve valf metalleri yahut geçiş metaller (Al, Mg, Ti, Zr.) olarak da bilinen birtakım metallerin yüzeylerini kuvvetlendirmeye ve aşınma ve korozyona karşı direnç sağlamaya yarar. MAO işlemi literatürde, kıvılcımlı anodik oksidasyon, mikro plazma oksidasyon veya plazma elektrolitik oksidasyon gibi pek çok isimle de anılmaktadır. Bu proseste elektrolitik bir hücre bulunuyor olup anot kısmında oksitlenecek metal, katot kısmında genelde paslanmaz çelik gibi bir metal, iyon taşınımı ve oksidasyonu sağlayan uygun bir çözelti ve güç kaynağıyla soğutma sistemi bulunur.

Uygulanan yüksek gerilimle pasif oksit tabaka kırılır ve çok yüksek voltaj değerlerinde çok daha kalın bir oksit tabaka elde edilir [5]. Örneğin alüminyum mikro ark oksidasyona maruz bırakıldığında α ve γ alümina gibi oksitler oluşabilmektedir [6].

Bu çalışmada mikro ark oksidasyon için son derece uygun bir metal olan 2017A alüminyumun çeşitli sürelerde MAO işlemi gerçekleştirilmiş, ardından yüzey özellikleri geliştirilmiş olan bu alüminyumun erozyon-korozyon davranışı gözlenmiştir.

2 Malzemeler ve yöntem

MAO prosesi, güç ünitesi, soğutma ünitesi, anot (oksidlenecek numune) ve katot (paslanmaz çelik) bileşenlerinden oluşan mikro ark oksidasyon cihazında, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de kimyasal kompozisyonu verilen 2017A alüminyum numuneler yaklaşık olarak 40 mm x 10 mm ebatlarında kesilerek yüzeyleri alkol ve saf su ile yıkanarak temizlenmiştir.

Tablo 1: MAO prosesine maruz bırakılan 2017 A Alüminyumun kimyasal kompozisyonu.

Element	Kompozisyon (Ağr.%)
Cu	4.090
Fe	0.484
Si	0.510
Mn	0.683
Mg	0.706
Zn	0.091
Cr	0.04
Ti	0.067
Al	Balans

MAO işlemi 2 g/l KOH ve 10 g/l $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ çözeltileri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve anot voltajı ortalama olarak yaklaşık 480 V, katot voltajı ise 70 V civarında seyretmiştir. MAO uygulama süreleri 5, 15, 30 ve 45 dk. olarak seçilmiş ve bu süreler boyunca MAO prosesine tabi tutulan numuneler sırasıyla A, B, C ve D olarak isimlendirilmiştir. MAO prosesine tabi tutulan her numune işlemin ardından temizlenip kurutulmuş ve kütle ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca Eddy akımları kullanarak kaplama kalınlığı tayin etmeyi sağlayan bir DualScope kaplama kalınlığı ölçüm cihazıyla yüzeyde biriken kaplama kalınlıkları da ölçülmüştür.

MAO ile üretilen oksit kaplamalı alüminyum malzemeler sırasıyla 3, 6 ve 9 sa. süre olmak üzere erozyon-korozyon işlemine oda sıcaklığında tabi tutulmuşlardır. Erozyon-korozyon testi ortamı, 1000 cm^3 cam beher içerisine ağırlıkça %10 HCl ve 80 g/l alümina tozu ilave edilerek hazırlanmıştır. Manyetik karıştırıcıda 1000 rpm'de karıştırılarak gerçekleştirilen deneyde, her üç saatte bir numuneler çıkarılıp tartımları yapılmış ve pürüzlülükleri ölçülmüştür. Deney toplam 9 sa. süre sürmüş ve böylece 3 sa., 6 sa. ve 9 sa. süreler için ölçümler yapılmıştır.

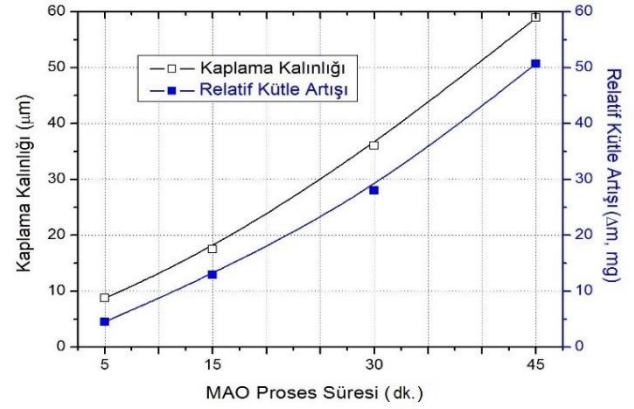
Numunelerin MAO işlemi sonrası oluşan mevcut fazlarını belirlemek için 2 °/dk. tarama hızında XRD (X-ray difraksiyonu) analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mikro yapı incelemeleri içinde erozyon-korozyon testinin her aşaması sonunda da optik mikroskop ile 5x, 10x ve 20x büyütme oranlarında görüntüler alınmıştır. Diğer yandan makro boyutta gerçekleşen erozyon-korozyon tahribatını mukayese etmek için numunelerin makro boyutta görüntüleri de

alınmıştır. Her aşamada meydana gelen kütle değişimleri ölçümlerle belirlenmiştir.

3 Deneysel sonuçları ve tartışma

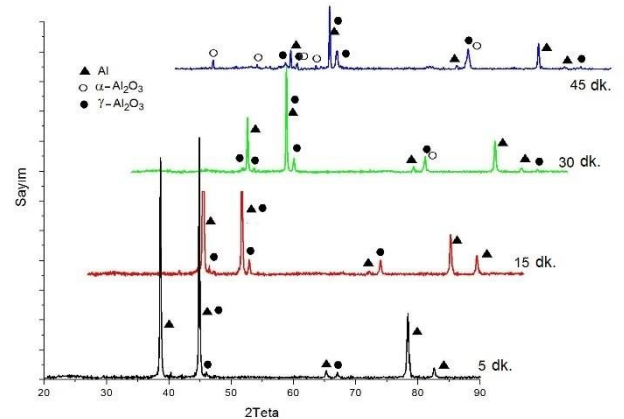
3.1 Mikro-ark oksidasyon prosesi

MAO prosesi 5, 15, 30 ve 45 dk. süre maruz bırakılan A, B, C ve D numunelerin kaplama kalınlıkları ve kütlelerindeki tespit edilmiş artışlar Şekil 1 de sunulmaktadır. 5 dk. MAO proses uygulanmış A numunesinde 10 μm kalınlık 45 dk. MAO proses maruz kalan D numunesinde 60 μm ye yakın bir değere ulaşmaktadır. Yine Şekil 1 de görüldüğü üzere A, B, C ve D numunelerin MAO proses sonrası kütle kazanımları artan süre ile 5 mg'dan yaklaşık 50 mg'a ulaşmaktadır. Bu sonuçlara göre numunelerin kütle kazanımları ve kaplama kalınlıkları uygulanan MAO proses süresi ile doğru orantılı ve birbirleri ile uyumlu bir şekilde artmaktadır.



Şekil 1: Kaplama kalınlığı ve Relative kütle artışı MAO süresi ile değişimi.

Alüminyum esaslı A, B, C ve D numunelerin MAO prosesi sonrası yüzeylerinden elde edilen XRD paternleri Şekil 2'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre kaplamalarda alüminyum metale ve onun yarı kararlı γ -alümina ve kararlı α -alümina oksitlerine ait fazlar tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere artan MAO proses süresine bağlı olarak gelişen numunelerin yüzeylerinde alüminyum oranı azalırken, önce γ -alümina ve sonrasında α -alümina oluşumu gerçekleşmektedir. Buna göre oksit tabakaların MAO prosesi süresince artarak daha kararlı olarak geliştiğini söylemek mümkündür.

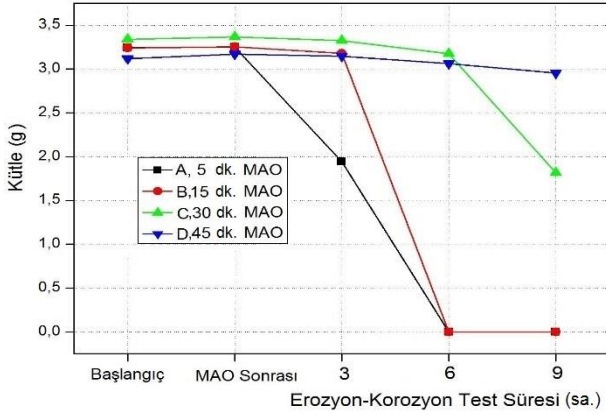


Şekil 2: 5, 15, 30 ve 45 dk. süreli MAO işlemleri sonucu kaplamalarda oluşan fazlar.

3.2 Erozyon-korozyon testi

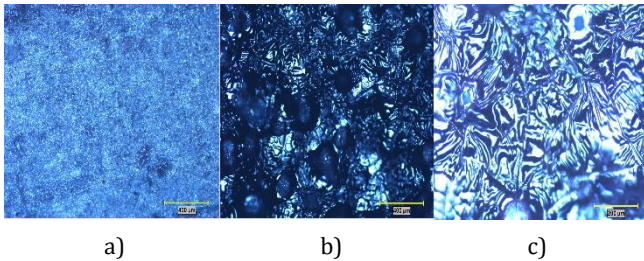
3.2.1 İşlem süresinin etkisi (3 sa.)

MAO öncesi ve sonrası A, B, C ve D numunelerin kütleleri ölçüldükten sonra erozyon-korozyon testleri sonrasında da ölçülerek kütle değişimleri tespit edilmiş olup elde edilen değerlerin MAO proses süresine göre değişimleri Şekil 3'de verilmektedir. Bu sonuçlara göre numunelerin MAO proses sonrası mg seviyesindeki kütle kazanımları gerçekleşirken erozyon testleri sonrasında belirgin kütle kayıplarının meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 3: Alüminyum numunelerin MAO öncesi, sonrası ve erozyon-korozyon testi süresince kütle değişimleri.

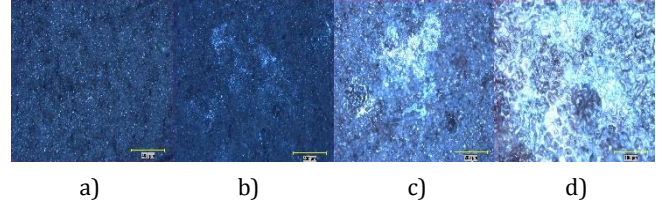
İlk 3 saatte 15 dk., 30 dk. ve 45 dk. süre MAO işlemi uygulanmış numunelerde önemli bir kütle değişimi gözlenmezken 5 dk. süreyle MAO işlemi uygulanmış numune yaklaşık %40 oranında kütle kaybına uğramıştır. Yine MAO gerçekleştirilmiş ve erozyon-korozyon işlemine maruz kalmış numunelerden alınan optik mikroskop görüntüleri de, A numunesinin diğerlerine göre çok daha fazla deforme olduğu ve yalnız erozyona değil korozyona da maruz kaldığını, yüzeyinde çukurcuklar oluştuğunu ve tane sınırlarının, malzemenin asit içeriğiyle etkileşimi sonucunda ortaya çıktığını göstermektedir. Dolayısıyla 5 dk. süre MAO işlemine tabi tutulmuş olan, MAO ile yüzeyi oksitlenmiş 2017A alüminyumu üç saatlik erozyon-korozyon testi sonucunda önemli ölçüde hasara uğramıştır. Şekil 4'te de görüldüğü üzere numunede oyuk, çukurcuk ve erozyon-korozyonu mevcuttur. A numunesi erozyon-korozyon testinin yaklaşık 4. saatinde ise tümüyle parçalanmış ve toz haline dönüşmüştür.



Şekil 4: Sırasıyla MAO prosesi uygulanmış (a) ve erozyon-korozyon testine tabi tutulmuş (b ve c) A numunesinin 3 sa. sonundaki görüntüsü (5x, 5x ve 10x büyütme değerlerinde).

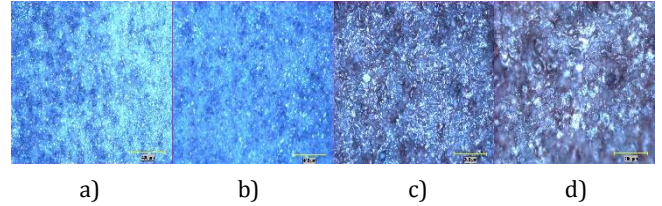
B numunesine ait görüntüler ise Şekil 5'te görülmektedir. Bu numunede de erozyon ve korozyon birlikte gözlenirken, A numunesine kıyasla daha az korozyon söz konusudur. Asit

ortamına bağlı olarak tane sınırları gözlenebilir hale gelmiş, yer yer oyuk ve çukurcuklar oluşmuştur, ancak tane sınırlarında ayrılma gibi ciddi bir korozyon etkisi görülmemektedir. Dolayısıyla B'in de hasara uğradığı, ancak A numunesine kıyasla bu hasarın daha az ciddi olduğu söylenebilir. Öte yandan B numunesi de erozyon-korozyon testinin yaklaşık 5 sa. süre sonunda parçalanmış ve toz haline dönmüştür.



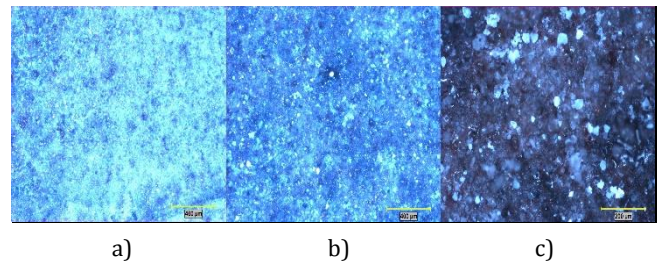
Şekil 5: B numunesine ait sırasıyla MAO prosesi sonrası (a): Erozyon-korozyon testi sonrası. (b, c, d): Alınmış optik mikroskop görüntüleri (sırasıyla 5x, 5x, 10x ve 20x büyütme değerlerinde).

C numunesi ise 3 sa. süre sonunda daha ziyade erozyona, yani aşınmaya maruz kalmış, tane sınırlarında ayrılma veya ciddi bir çukurcuk ya da oyuk korozyonu göstermemiştir. Şekil 6'dan da gözlenebileceği üzere C, A ve B'den çok daha fazla erozyon-korozyon direncine sahiptir. Nitekim kütle kaybı da ilk 3 sa.'te hemen hemen yok gibidir.



Şekil 6: C numunesine ait sırasıyla MAO prosesi sonrası (a) ve erozyon-korozyon testi sonrası (b, c, d) alınmış optik mikroskop görüntüleri (sırasıyla 5x, 5x, 10x ve 20x büyütme değerlerinde).

D numunesi ilk 3 sa. süre sonunda en fazla erozyon-korozyon direnci gösteren malzeme olmuştur. D numunesinde herhangi bir tane sınırı bile görünmezken bir miktar aşınma olduğu gözlenmektedir. Şekil 7'de görülmekte olan bu durumdan yola çıkarak mikro ark oksidasyon sonucu oluşan oksit tabakasının erozyon-korozyon testi ile henüz aşınmamış olduğu sonucuna ulaşılabılır. Şekil 7c'de görülen beyaz renkli noktaların ise aşındırma görevi yapan alumina tozlarının yüzeye yapışması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. İlk 3 sa. sürede D numunesine ait kütle kaybı ise yok denecek kadar azdır.

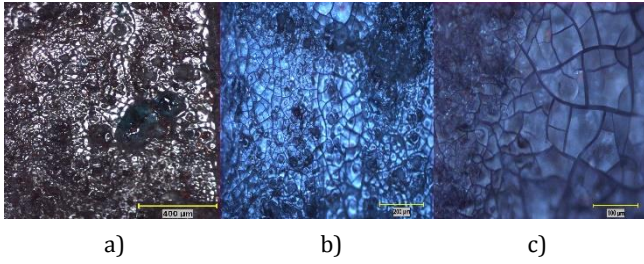


Şekil 7: Sırasıyla MAO prosesi uygulanmış (a) ve erozyon-korozyon testine tabi tutulmuş (b ve c) D numunesinin 3 sa. sonundaki görüntüsü (5x, 5x ve 10x büyütme değerlerinde).

3.2.2 İşlem süresinin etkisi (6 sa.)

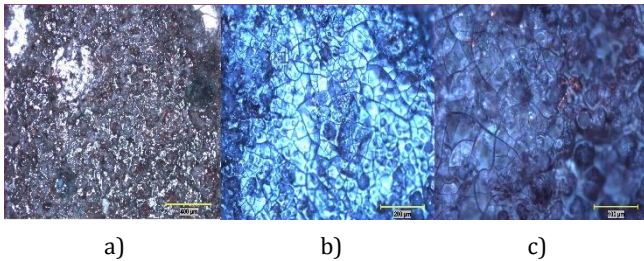
A numunesi testin 4 sa. süre, B numunesi ise testin 5 sa. süre içinde korozyon sonucu tane sınırlarından ayrılarak çözünmüş ve toz haline gelmiştir. C ve D numuneleri ise 6 sa. süre sonunda hem erozyon hem de korozyona uğramışlar, ancak bütünlüklerini büyük ölçüde korumuşlardır. 6 sa. süre sonunda gerek C gerekse de D numunelerinin altlık malzeme olan alüminyumdan değil mikro ark oksidasyonla oluşmuş olan oksit tabakadan hasara uğradığı gözlemlenmiştir. A ve B malzemelerinde ise oksit tabakanın ortadan kalkmış ve malzemelerin asit içerikli erozyon-korozyon testi sıvısıyla temas ederek reaksiyona girdiği ve parçalandığı anlaşılmaktadır.

C numunesine ait erozyon-korozyon testinin 6 sa. süre sonundaki optik mikroskop görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. 6 sa. süre sonunda numunede belirgin bir şekilde tane sınırları gözlemlenebilmekte ve aşınmadan çok korozyon meydana geldiği belirlenebilmektedir. Az miktarda çukurcuk ve oyuk korozyonunun yanı sıra daha çok tane sınırlarında ayrılma ile korozyon etkisi ortaya çıkmıştır. Ancak bu etki yine de malzemenin bütünlüğünü bozacak kadar büyük değildir. Nitekim 6 sa. süre sonunda malzemede az bir miktar kütle kaybının oluşumu bunu kanıtlar niteliktedir.



Şekil 8: 6 sa. süreyle erozyon-korozyon testine tabi tutulmuş C numunesinin sırasıyla 5x, 10x ve 20x büyütme değerlerinde görüntüleri.

D numunesinin 6 sa. sürelik erozyon-korozyon testi görüntülerine göz atıldığında ise erozyon ile aşınma ve korozyonun birlikte malzemeyi hasara uğrattığı gözlemlenmiştir. Malzemede yer yer oyuklar gözlenirken tane sınırları da belirginleşmiştir ancak ciddi bir ayrılma söz konusu değildir. Malzemenin genel bütünlüğü korunmuştur ve kütle kaybı oldukça düşük bir miktardadır.



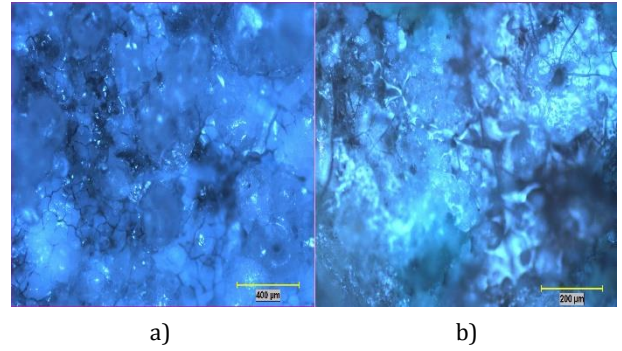
Şekil 9: 6 sa. süreyle erozyon-korozyon testine tabi tutulmuş D numunesinin sırasıyla 5x, 10x ve 20x büyütme değerlerinde görüntüleri.

3.2.3 İşlem süresinin etkisi (9 sa.)

C numunesi erozyon-korozyon testinin 9 sa. süresi sonunda büyük ölçüde deforme olmuş ve bütünlüğünü tümüyle olmasa da kaybetmeye başlamıştır. Dolayısıyla artık mikro ark oksidasyonla elde edilen oksit tabakanın ortadan kalktığı ve

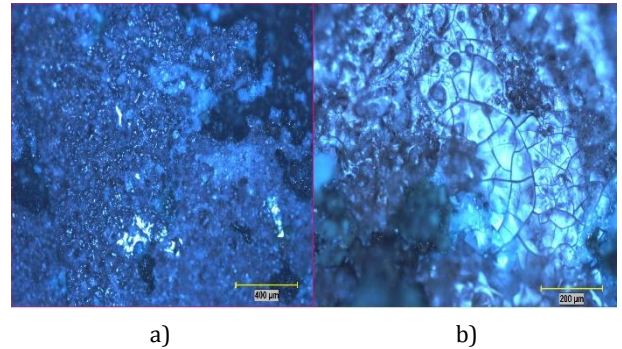
asit içerikli erozyon-korozyon testi sıvısı ve aşındırıcı alümina tozunun altlık malzeme olan alüminyumla temas etmeye başladığı anlaşılmaktadır. D numunesi ise C numunesinin 6 sa. süre sonundaki deformasyonuna benzer şekilde ciddi bir aşınmaya maruz kalsa da korozyona karşı halen direnç gösterdiği gözlemlenmiştir.

C numunesi Şekil 10'da görülebileceği gibi erozyon ve korozyon sonucunda ciddi miktarda hasara uğramış ve tane sınırlarından ayrılmaya başlamıştır. Yer yer oyuk ve çukurların da görüldüğü numunede kütle kaybı ise hemen hemen 6 sa. süre sonundaki numunenin yarısı kadar gerçekleşmiştir.



Şekil 10: 9 sa. süre erozyon-korozyon testine tabi tutulmuş C numunesinin 5x ve 10x büyütme değerlerindeki görüntüsü.

D numunesi ise 9 sa. sürelik erozyon-korozyon testine tabi tutulduktan sonra ciddi oranda erozyona, yani aşınmaya uğramış, yer yer oyuklar da korozyona uğradığını göstermektedir. Tane sınırları belirginleşmekle beraber önemli bir ayrılma söz konusu değildir. Kütle azalışı ise 9 sa. sonunda da oldukça düşük olup mikro ark oksidasyonla oluşturulmuş oksit tabakanın halen tam olarak yüzeyden kalkmadığı ve yüzeyi erozyon-korozyona karşı koruduğu anlaşılmaktadır.



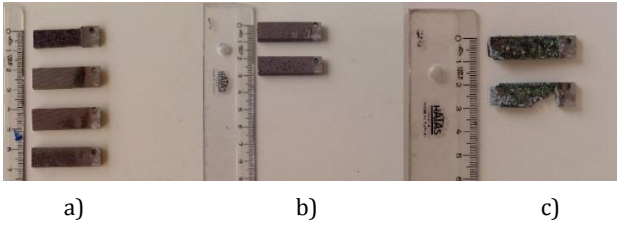
Şekil 11: 9 sa. süre erozyon-korozyon testine tabi tutulmuş D numunesinin 5x ve 10x büyütme değerlerindeki görüntüsü.

Tablo 2: Erozyon-Korozyon test sonucu numunelerdeki kütle ve pürüzlülük değişim değerleri.

Erozyon Korozyon Testi Süreleri	Kütle Değişim (- %)				Pürüzlülük (µm)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
3 sa.	40.2	2.3	1.3	0.7	10.4	1.8	3.4	5.8
6 sa.	100	100	4.4	2.7	-	-	6.4	9.9
9 sa.	-	-	42.8	3.5	-	-	15.5	14.6

Şekil 3’de mikro ark oksidasyon prosesi öncesi ve sonrasında kütle kaybı grafiği verilen numunelerin erozyon-korozyon testi sonucunda kütle ve pürüzlülük değişimleri Tablo 2’de özetlenmiştir. A ve B numuneleri 3 sa. sürelik sürecin sonrası tamamıyla yok olmuştur. Ancak 45 dk. MAO proses maruz kalan D numunesinde kütle kaybı % 40.2 den % 0.7 kadar düşmüş ve böylece erozyon-korozyona karşı yaklaşık 60 kat bir artış elde edilmiştir. C numunesi 9 sa. süre sonunda yaklaşık yarısı kadar kütle kaybına uğramışken D numunesinde ise 9 sa. sürenin sonunda kütle kaybı önemli bir kayıp görülmemiştir. Bu sonuca kaplama kalınlığının etkisi yanında γ -alüminaya göre oldukça sert bir faz olan α -alüminanın D numunesinde mevcut olmasının da etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca numunelerin erozyona maruz kaldıkça ve aşındıkça yüzeyinin pürüzlülüğünün de doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Pürüzlülük oranlarının erozyon-korozyon testi uygulanma süresine bağlı olarak 3 ila 5 kat kadar arttığı belirlenmiştir.

Şekil 12’de numuneler makro ölçekte görülmektedir. 3, 6 ve 9 sa. süreler sonunda numuneler üzerinde meydana gelmiş olan aşınma ve korozyon izleri şekilde rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Optik mikroskop görüntüleriyle ve kütle kaybı ve pürüzlülük grafikleriyle ifade edilen deformasyon makro boyuttaki fotoğrafla da doğrulanmakta ve geniş bir açıdan irdelenebilmektedir.



Şekil 12: (a): 3 sa. erozyon-korozyon testi sonrası yukardan aşağıya A, B, C ve D. (b): 6 sa. erozyon-korozyon testi sonrası yukardan aşağıya C ve D. (c): 9 sa. erozyon-korozyon testi sonrası yukardan aşağıya D ve C numunelerin görüntüleri.

4 Sonuçlar

Çalışmadan genel olarak şu sonuçları çıkarabiliriz:

- Mikro ark oksidasyonla yüzeyde oluşturulan oksit tabakası erozyon-korozyon etkisine karşı önemli bir direnç oluşturmaktadır,
- Bu dirençle beraber asitlerle kuvvetli tepkimeler oluşturan hafif metaller de mikro ark oksidasyonla

elde edilmiş yüzeylerindeki koruyucu oksit tabakası sayesinde erozyon-korozyona maruz kalılabilen uygulamalar için kullanım fırsatı elde edebilmektedir,

- Mikro ark oksidasyon işleminde, proses süresindeki artış ile kaplama kalınlıkları ve doğal olarak erozyon-korozyon direnci sürekli olarak artmıştır. Bunun yanında artan MAO proses süresi ile kaplamada gelişen α ve γ -alümina fazlarından özellikle sert bir faz olan α -alümina fazının erozyon-korozyon direnci artışında belirgin etkisi olduğu görülmektedir,
- HCl çözeltisi ve alumina tozu kullanılarak gerçekleştirilmiş olan bu çalışma, gelecekte başka çözelti ve aşındırıcılarla da denenerek başka uygulama alanları için de kullanılabilirliğin araştırılmasını teşvik edebilir. Keza mikro ark oksidasyon işleminin süresinde, kullanılan çözelti ve/veya elektrik parametrelerinde meydana gelebilecek değişikliklerin erozyon-korozyona daha fazla dayanıklı yüzeyler elde edilmesinde katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

5 Teşekkür

Bu çalışma, Gebze Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (2016-A19 BAP) kapsamında desteklenmiştir.

6 Kaynaklar

- American Standards Testing Materials Handbook. Friction, Lubrication and Wear Technology. 18, 766-771, 1992.
- Bermudez MD, Carrion FJ, Martinez-Nicolas G, Lopez R. "Erosion-corrosion of stainless steels, titanium, tantalum and zirconium". *Wear*, 258, 693-700, 2005.
- Wu Z, Cheng YF, Liu L, Lv W, Hu W. "Effect of heat treatment on microstructure evolution and erosion-corrosion behavior of a nickel-aluminum bronze alloy in chloride solution". *Corrosion Science*, 98, 260-270, 2015.
- Callister, WD. *Materials Science and Engineering An Introduction*. 8th ed. USA, Wiley, 2006.
- Yerokhin AL, Nie X, Leyland A, Matthews A, Dowey SJ. "Plasma electrolysis for surface engineering". *Surface and Coatings Technology*, 122, 73-93, 1999.
- Baxi J, Kar P, Liang H, Polat A, Usta M, Uçışık AH. "Tribological characterization of microarc oxidized alumina coatings for biological applications". *Vacuum*, 83, 217-222, 2008.