

# CoCrMo İMPLANT ALAŞIMININ PLAZMA OKSİDASYON İŞLEMİ İLE AŞINMA DİRENCİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

## A.Fatih Yetim\*

Yrd. Doç. Dr., Erzurum Teknik Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum  
fatih.yetim@erzurum.edu.tr

## Mevra Aslan,

Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, Erzurum

## Fatih Yıldız

Yrd. Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi,  
Malzeme Mühendisliği Bölümü, Samsun

## İlyas Hacısalihoğlu

Gümüşhane Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

## Özgü Bayrak

Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, Erzurum

## ÖZET

Metalik implant malzemelerden CoCrMo alaşımı, sahip olduğu üstün mekanik özellikler ve korozyon direnci sebebiyle özellikle sert dokular yerine kullanılan protezlerin (özellikle kalça ve diz protezleri gibi ortopedik ürünlerin) üretiminde kullanılırlar. Ancak CoCrMo alaşımı aşınma özellikleri bakımından istenilen dirence sahip değildir. Bu çalışmada, CoCrMo alaşımının aşınma direncini artırmak için malzeme yüzeyi farklı işlem sıcaklıklarında plazma ile oksitlenmiştir. Oksidasyon sonrası yüzey sertliğinin işlem parametrelerine bağlı olarak 2-3 kat arttığı tespit edilmiştir. İşlem görmemiş CoCrMo alaşımının adeziv türdeki aşınma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Plazma ile oksidasyon işlemi sonucunda alaşım yüzeyinin adeziv bağ yapma ihtimalinin azaltıldığı ve böylece aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** İmplant, CoCrMo, protez, aşınma, oksidasyon

## Improving the Wear Resistance of CoCrMo Implant Alloy with Plasma Oxidation

## ABSTRACT

CoCrMo alloy from metallic implant material use at the production of the prosthesis (especially orthopedic products such as hip and knee prostheses) which used in place of especially hard tissues due to the superior mechanical and corrosion resistance properties. However CoCrMo alloy does not have the required resistance in terms of wear properties. In this study, the material surface was oxidized by plasma at the different process temperatures to increase wear resistance of CoCrMo alloy. After oxidation, depending on the process parameters of surface hardness increased 2-3 times were determined. It was emerged that the wear behaviour of adhesive types of untreated CoCrMo alloy showed. After the plasma diffusion treatments, the composed layers on the surface caused the lower adhesive contact and therefore, wear resistance increased.

**Keywords:** Implant, CoCrMo, prosthesis, wear, oxidation

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 03.05.2012

Kabul tarihi : 01.06.2012

Yetim, A.F., Aslan, M., Yıldız, F., Hacısalihoğlu, İ., Bayrak, Ö. 2012. "CoCrMo İmplant Alaşımının Plazma Oksidasyon İşlemi ile Aşınma Direncinin İyileştirilmesi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 628, s.37-43.

## 1. GİRİŞ

İmplant malzemeler, insan vücudundaki canlı dokularının işlevlerini yerine getirmek veya desteklemek amacıyla kullanılan doğal veya sentetik malzemeler olup, bunlar sürekli olarak veya belli aralıklarla vücut sıvılarıyla temas halindedirler [1]. Tıbbi uygulamalarda kullanılan implantları sert doku yerine kullanılacak implantlar ve yumuşak doku yerine kullanılacak implantlar olarak sınıflandırmak mümkündür. Genellikle sert doku yerine kullanılan implantlar (ortopedik ve diş implantları) metalik biyo malzemelerden seçilmektedir. En yaygın olarak kullanılan metalik biyo malzemeler paslanmaz çelikler, titanyum alaşımları ve CoCrMo alaşımlarıdır. Çok üstün korozyon ve yorulma dayanımlarına sahip olmalarına rağmen düşük tribolojik özellikleri CoCrMo alaşımlarının kullanım alanlarını ve ömürlerini kısıtlamaktadır. Tribolojik özellikler yüzeye ilgili özellikler olduğundan çeşitli yüzey işlemleriyle bu alaşımın aşınma ve sürtünme özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır [2-5]. Yüzey sertliği ve aşınma oranının plazma oksitleme işlemiyle etkisinin incelendiği çalışmada, CoCrMo alaşımı 600°C ile 800°C arasındaki sıcaklıklarda %75N<sub>2</sub>-%25Ar gaz karışımında bir, iki ve dört saat süreyle nitrürlenmiştir. Nitrürlenmiş numunelerin mekanik özellikleri mikrosertlik ölçümleriyle ve tribolojik özellikleri ise pim-disk aşınma testleri kullanılarak tespit edilmiştir. Nitrürlenmiş numunelerde aşınma direnci artan sıcaklık ve işlem süresiyle artmaktadır [6]. Ancak implant malzemelerin termokimyasal bir metotla aşınma özellikleri iyileştirilirken işlem parametrelerinin uygun seçilmesi implantın korozyon direncinde bir azalmaya sebep olunmaması açısından önemlidir [7-8].

CoCrMo alaşımının üstün korozyon özellikleri yüzeyinde oluşan ince, pasif oksit filmi tarafından sağlanmaktadır. Bu bilgiler ışığında, yapılan çalışmada, CoCrMo alaşımının korozyon direncini düşürmeden aşınma ve sürtünme özelliklerini iyileştirmek için plazma ortamında oksidasyon işlemi yapılmış, farklı işlem şartlarında elde edilen oksit filmin korozyon ve aşınma özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

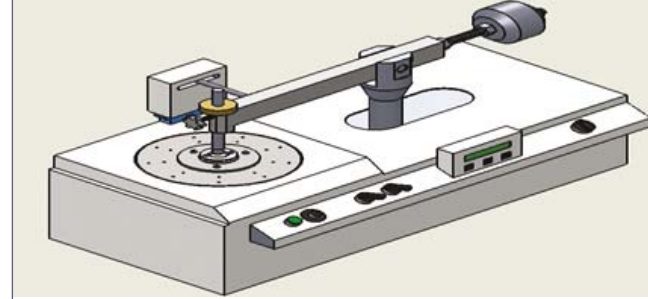
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilen dövme CoCrMo alaşımı kullanılmıştır.

Numuneler 16 mm çapındaki çubuklardan 5 mm uzunluğunda işlenerek, yüzeyleri parlatılmış ve alkolle temizlendikten sonra laboratuvar tipi plazma ile oksitleme cihazına yerleştirilerek vakum odası basıncı 3 Pa’ a düşürülmüştür. Daha sonra

Tablo 1. CoCrMo Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu (% ağırlık)

|        | Cr    | Mo   | C     | Fe   | Mn   | Si | Ni   | Co    |
|--------|-------|------|-------|------|------|----|------|-------|
| CoCrMo | 27,30 | 5,96 | 0,057 | 0,37 | 0,62 | w  | 0,22 | Kalan |



Şekil 1. Pim-Disk Aşınma Cihazının Şematik Gösterimi

yüzeydeki kirliliklerin giderilmesi amacıyla ortama hidrojen gazı verilerek 5x10<sup>3</sup> Pa’da 500 V gerilim altında 30 dakika temizleme işlemi uygulanmıştır. Temizleme işlemi sonrası iğne vanalar yardımıyla ortama %100 O<sub>2</sub> gaz karışımı verilerek 5x10<sup>3</sup> Pa basınçta 1 ve 5 saat süreyle 600°C ve 800°C sıcaklıklarda oksitleme işlemi yapılmıştır.

Plazma ile oksitleme işlemi sonrası numuneler kesitlerinin elde edilebilmesi amacıyla 80-1200 numaralı zımparalardan geçirilmiş ve daha sonra 1 µm’lik alumina tozu ile parlatılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri 100 gr yük altında ve 15 saniye yüklenme süresinde Buehler mikrosertlik cihazı kullanılarak, oksitleme sonucu elde edilen tabaka kalınlığı, aşınma ve korozyon sonrası yüzey görüntüleri ise SEM vasıtasıyla ölçülmüştür. Plazma ile oksitleme sonrası içyapı değişimi Rigaku XRD cihazıyla tespit edilmiştir.

Plazma oksidasyon işlemi uygulanan dövme CoCrMo alaşımının tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla Şekil 1’de gösterilen Turkyus PODTW&RWT pim-disk aşınma cihazı kullanılmıştır. Numuneler, 6 mm çapındaki alumina bilyeye karşı kuru sürtünme şartlarında aşındırılmıştır. Uygulanan pim-disk aşınma deney şartları Tablo 2’de verilmiştir.

Korozyon deneyleri için, pH değeri 7.4 ve solüsyon sıcaklığı 37 °C olacak şekilde SBF (vücut yapay sıvısı) hazırlanmıştır. Hazırlanan SBF içeriği Tablo 3’te verilmiştir. Korozyon deneyleri GAMRY firmasının Series G750™ Potansiyostat /Galvanostat/ ZRA cihazında, Tafel Tekniği ve OCP (Açık Devre Potansiyel) Tekniği kullanılarak yapılmıştır. Polarizasyon ölçümleri Ag/AgCl referans elektrot (RE), karşıt elektrot

Tablo 2. Pim-Disk Aşınma Deney Şartları

| Aşınma Deney Şartları |            |
|-----------------------|------------|
| Uygulanan yükler      | 2N ve 10N  |
| Aşınma izi çapı       | 10 mm      |
| Sıcaklık              | 20±2°C     |
| Nem                   | %50±5      |
| Aşındırma hızı        | 2.35 m/dak |
| Aşındırma süresi      | 3600 s     |
| Aşındırma mesafesi    | 141 m      |

Tablo 3. pH 7.25, IL İçin SBF’nin Hazırlanması [9]

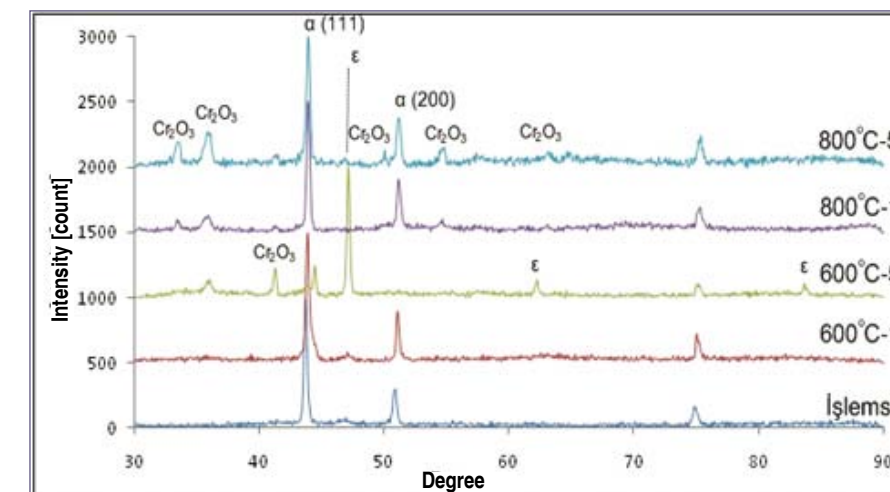
| Sıra | Reaktif  | Miktar                                    |
|------|--|---|
| 1    | NaCl   | 7.996 g                                   |
| 2    | NaHCO <sub>3</sub>   | 0.350 g                                   |
| 3    | KCl  | 0.224 g                                   |
| 4    | K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> • 3H <sub>2</sub> O                  | 0.228 g                                   |
| 5    | MgCl <sub>2</sub> • 6H <sub>2</sub> O                                | 0.305 g                                   |
| 6    | 1 kmol/m <sup>3</sup> HCl (%35.4 HCl’inin 87.28 ml’sinin seyreltiği) | 40 cm <sup>3</sup>                        |
| 7    | CaCl <sub>2</sub>  | 0.278 g                                   |
| 8    | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                      | 0.071 g                                   |
| 9    | (CH <sub>2</sub> OH) <sub>3</sub> CNH <sub>2</sub>                   | 6.057 g                                   |
| 10   | 1 kmol/m <sup>3</sup> HCl  | pH ayarı için uygun miktarda kullanılmalı |

(CE) olarak grafit çubuk ve çalışma elektrodu (WE) deney numunesi kullanılarak, üç elektrot tekniğine göre bir korozyon hücresi içerisinde yapılmıştır.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 3.1 XRD Analizleri

Şekil 2’de işlem görmemiş ve farklı işlem şartlarında plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımına ait XRD analizleri verilmiştir. Şekil 2 hem oksidasyon süresinin hem de sıcaklığının etkisini göstermektedir. İşlemsiz CoCrMo alaşımında bir kobalt fazı olan YMK kristal kafese sahip α fazının baskın olduğu, ayrıca az miktarda da SPH yapıları kobalt fazı olan ε fazını içerdiği görülmektedir.



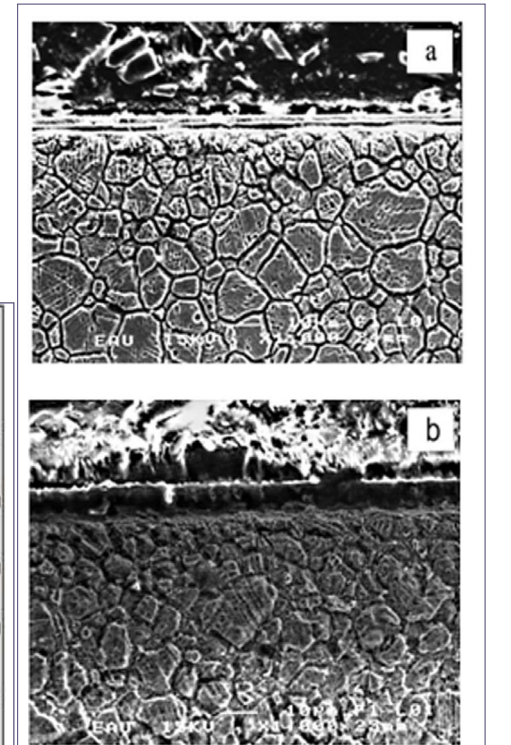
Şekil 2. İşlemsiz ve Farklı İşlem Şartlarında Plazma ile Oksitlenmiş CoCrMo Alaşımına Ait XRD Grafiki

CoCrMo alaşımının plazma ile oksitlenmesi sonucu işlem sıcaklığı ve sürelerine bağlı olarak yapıda taban malzemeden gelen α ve ε fazlarının yanında Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazının oluştuğu gözlemlenmiştir. Oksidasyon işlemi ile taban malzemeden gelen α fazı piklerinin sağa doğru kaydığı görülmektedir. Bu durum oksidasyon sonucunda oksijen atomlarının bir kısmının YMK α yapısı içerisinde arayer atomu olarak kaldığı düşüncesini ortaya çıkarmaktadır.

### 3.2 Mikroyapı Analizleri ve Mikrosertlik Ölçümleri

Plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımına ait kesit SEM görüntüleri Şekil 3’te verilmiştir. Kesit resimleri incelendiğinde sürekli ve belirgin bir oksit tabakasının (bileşik tabaka) yüzeyde oluştuğu görülmektedir. Bileşik tabakanın altında difüzyon tabakası görülmektedir. Difüzyon bölgesinin mikro yapısının ana malzemeden farklı olduğu oldukça belirgindir. Plazma oksidasyon sonucunda en düşük tabaka kalınlığı 600°C’de bir saatlik işlem görmüş numunelerde ölçülürken, en yüksek tabaka kalınlığı 800°C’de beş saat işlem görmüş numunelerde elde edilmiştir. İşlem sıcaklığı ve süresi arttıkça, artan difüzyonla birlikte bileşik ve difüzyon tabakası kalınlıkları da artmaktadır.

İşlem görmemiş, farklı işlem şartlarında plazma ile oksitlenmiş, CoCrMo alaşımından numunelere ait sertlik ölçümleri Şekil 4’te verilmiştir. İşlem görmemiş CoCrMo alaşımının sertliği yaklaşık 440 HV<sub>0,1</sub> iken, oksidasyon sonucu işlem zamanı ve sıcaklığına bağlı olarak sertlik 1650 HV<sub>0,1</sub>



Şekil 3. Plazma ile Oksitlenmiş CoCrMo Alaşımının Kesit Resimleri a) 600°C-1 saat b) 800°C-5 saat

değerine kadar çıkmıştır. Yüzey sertliğindeki artış nedeni yüzeyde oluşan  $Cr_2O_3$  fazı ve difüzyon tabakasıdır. İşlem sıcaklığı ve süresi arttıkça sertlik değeri de artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda daha yüksek sertlik değerlerinin elde edilmesinin sebebi hem yüzeydeki oksit tabakasının hem de difüzyon tabakasının daha kalın olmasından dolayıdır. Ayrıca yüksek sıcaklık ve sürelerde yapılan oksidasyon işlemiyle yapıda oluşan oksit fazlarının yoğunluğu artmış ve bu durum yine sertliğin artışına katkıda bulunmuştur.

### 3.3 Sürtünme ve Aşınma Analizleri

İşlemsiz ve plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımının yapılan aşınma sonrası test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Düşük aşınma yükleri altında işlemsiz numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,45 iken, oksitleme sonucu işlem parametrelerine bağlı olarak farklı sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Tabaka kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinde en etkin faktörler olduğu düşünülmektedir. En düşük sürtünme katsayısı  $600^\circ C$ 'de beş saat oksitlenen numunelerde, en yüksek sürtünme katsayısı değerleri

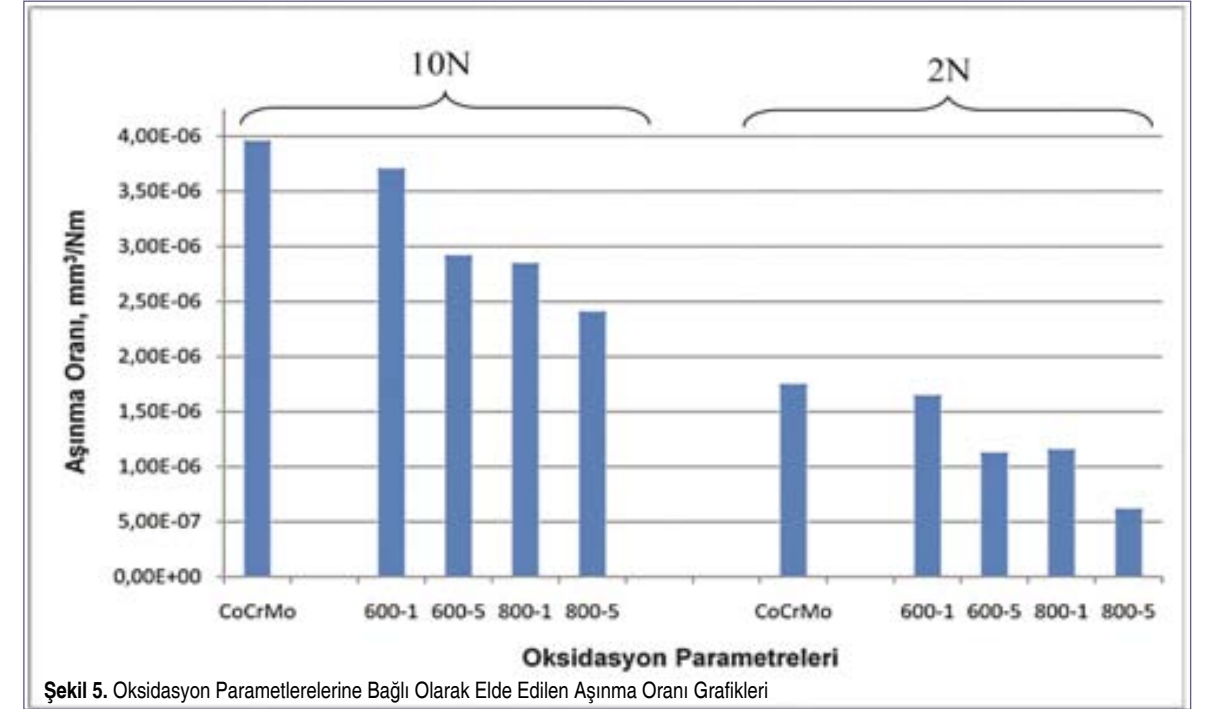
ise  $800^\circ C$ 'de beş saat oksitlenen numunelerde elde edilmiştir. Düşük işlem süresi ve sıcaklıklarında yüzey pürüzlülüğü yüksek işlem süresi ve sıcaklıklarına göre daha düşük olmasına rağmen, oksit tabakası kalınlığının yeterince kalın olmaması oksit filminin kırılarak sürtünme katsayısının artmasına neden olmuştur. Genel olarak işlem sıcaklığının artmasıyla sürtünme katsayısında bir miktar artış olduğu görülmüştür.

Şekil 5'te işlemsiz ve farklı şartlar altında plazma ile oksitlenmiş numunelerin, farklı aşınma yüklerinde yapılan aşınma testleri sonrası aşınma oranları verilmiştir. Görüldüğü gibi, aşınma oranları işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça azalmış ve oksitlenmiş numuneler içerisinde en düşük aşınma oranı  $800^\circ C$ 'de beş saat oksitlenmiş numunelerde elde edilmiştir. Oksitleme işlemi sonrası yüzeyde oluşan bileşik tabaka içerisindeki sert  $Cr_2O_3$  fazı ve tabakaların (bileşik ve difüzyon tabakası) kalınlığının artışıyla yüzey sertliğinin artışı, alaşımın aşınma direncinin artmasındaki en önemli sebeplerdir. İşlem süresi ve sıcaklığı arttıkça,  $Cr_2O_3$  fazının yoğunluğu ve buna bağlı olarak yüzey sertliği artmış aynı zamanda aşınma oranı da azalmıştır. Bileşik tabakada oluşan sert  $Cr_2O_3$  yoğunluğu

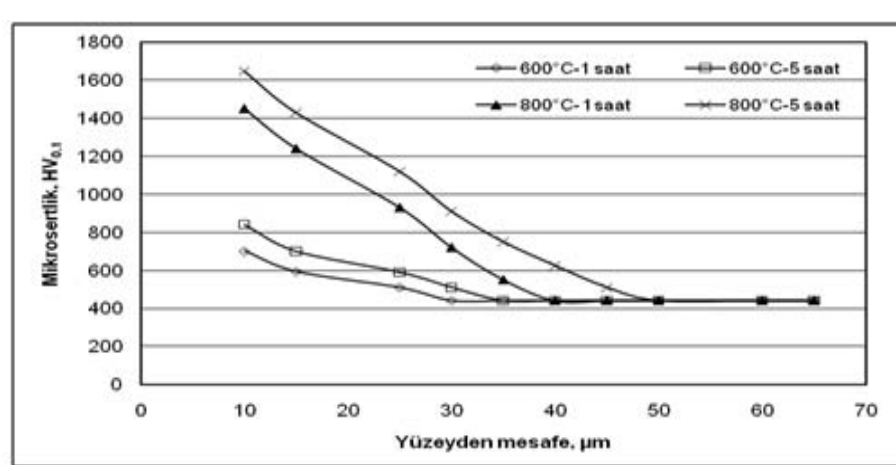
işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça arttığı XRD sonuçlarından da görülmektedir. Aşındırıcı olarak alümina bilyenin kullanılmasıyla oksit-oksit aşınması bilye ile yüzey arasında adezyon ihtimali azaltmıştır. Diğer taraftan aşınma yükünün artırılması aşınma oranlarını artırmıştır. Yükün artışıyla birlikte yüzeydeki oksit filmin kırılma ihtimali artmaktadır. Düşük işlem süresi ve sıcaklıklarında oksitlenen numunelerde artan aşınma yükü yüzeydeki sert fakat nispeten ince filmin kırılmasına ve abrazyon etkiye neden olmuştur.

Şekil 6'da işlemsiz ve plazma ile oksitlenmiş numunelerin aşınma testi sonrası aşınma izlerinin SEM görüntüleri

verilmiştir. İşlemsiz CoCrMo alaşımının adeziv aşınmaya maruz kaldığı Şekil 6a'da verilen aşınma izinden açıkça görülmektedir. İz içerisinde oluşan plaka benzeri (plate-like) aşınma ürünleri adeziv bir aşınma olduğunun göstergesidir. İşlemsiz ve oksitlenmiş numunelerin aşınma izleri karşılaştırıldığında, oksitleme sonucu aşınma iz genişliğinin azaldığı, işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça bu azalmanın devam ettiği görülmüştür. En dar aşınma izi  $800^\circ C$ 'de beş saat oksitlenmiş numunelerde elde edilmiştir (Şekil 6d). Bu sonuç, oksitlenmiş numunelerin yüzeyinde oluşan sert  $Cr_2O_3$  tabakasının ve bu oksit tabakasının altındaki difüzyon tabakasının plastik deformasyon miktarını azalttığını ve böylece düşük bir temas alanına sebep olduğunu göstermektedir. Bileşik ve difüzyon tabakası kalınlıkları alaşımın aşınma dav-



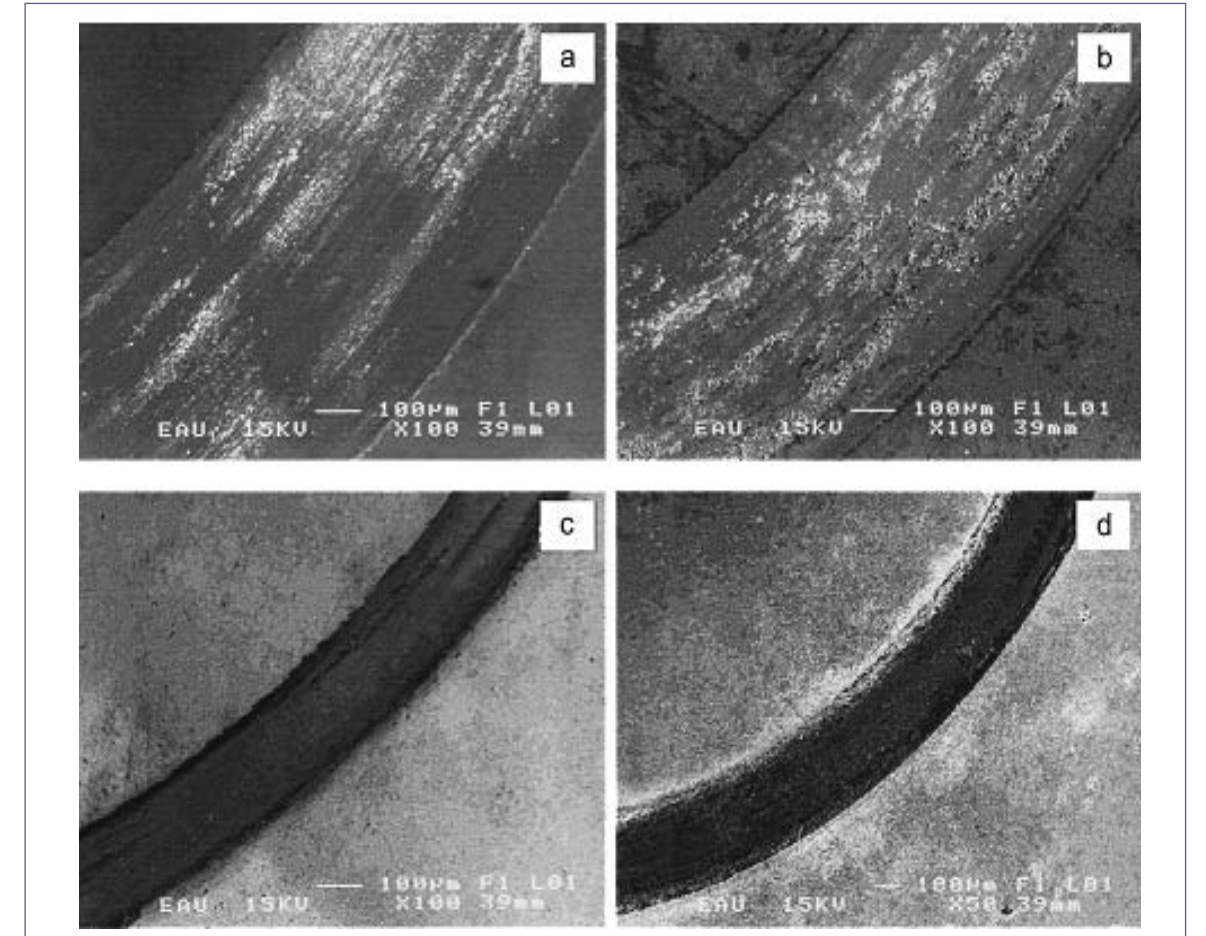
Şekil 5. Oksidasyon Parametrelerine Bağlı Olarak Elde Edilen Aşınma Oranı Grafikleri



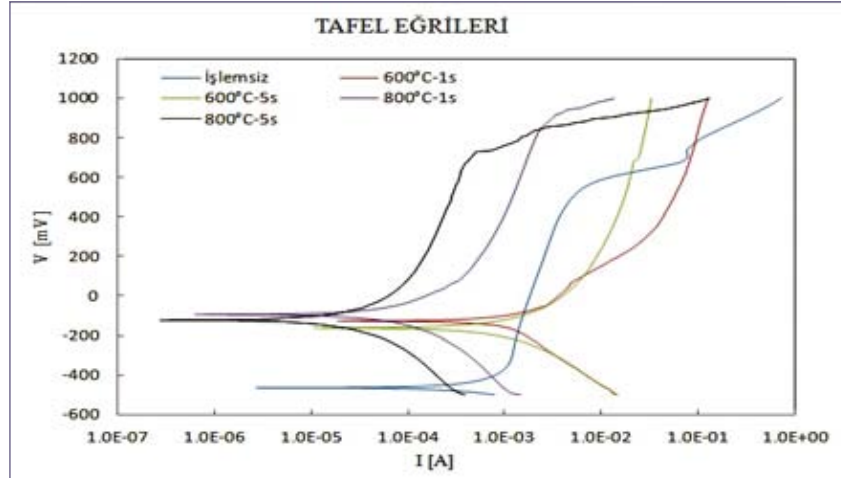
Şekil 4. Farklı Şartlarda Plazma İle Oksitlenmiş CoCrMo Alaşımının Sertlik Dağılımı

Tablo 4. İşlemsiz ve Plazma İle Oksitlenmiş CoCrMo Alaşımının Farklı Yüklerde Yapılan Aşınma Sonrası Test Sonuçları

| Oksidasyon Parametreleri | Ortalama Sürtünme Katsayısı | Aşınma Oranı ( $\times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ) |      |      |     |
|--------------------------|-----------------------------|--|------|------|-----|
|                          |                             | 2N   | 10N  | 2N   | 10N |
| 600 °C-1s                | 0.35                        | 0.41   | 1.65 | 3.71 |     |
| 600 °C-5s                | 0.31                        | 0.36   | 1.13 | 2.92 |     |
| 800 °C-1s                | 0.38                        | 0.43   | 1.16 | 2.85 |     |
| 800 °C-5s                | 0.51                        | 0.57   | 0.62 | 2.41 |     |
| İşlemsiz                 | 0.45                        | 0.39   | 1.75 | 3.96 |     |



Şekil 6.  $Al_2O_3$  Bilye Kullanılarak Elde Edilen Aşınma İzlerinin SEM Görüntüleri; a) İşlemsiz (10N) b)  $600^\circ C$ 'de Bir Saat Oksitlenmiş (10N) c)  $600^\circ C$ 'de Bir Saat Oksitlenmiş (2N) d)  $800^\circ C$ 'de Beş Saat Oksitlenmiş (10N)



Şekil 7. İşlemsiz ve Farklı İşlem Süresi ve Sıcaklıklarında Plazma Ortamında Oksitlenmiş CoCrMo Alaşımının Akım Yoğunluğu-Gerilim Eğrileri

ranışının belirlenmesinde çok önemli bir etkiye sahiptir. İşlem sıcaklığı ve süresi arttıkça bileşik ve difüzyon tabakası kalınlığı artmış, buna karşın aşınma oranı önemli ölçüde azalmıştır. Çünkü yeterince kalın bir bileşik tabaka, aşınmanın sert bileşik tabaka içerisinde gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Böylece, adezyon ve yüzeyin plastik deformasyona uğrama ihtimali azaltılmıştır. Bununla birlikte, difüzyon tabakası kalınlığı bileşik tabakaya destek olması açısından önemlidir. Bileşik tabaka kalınlığı arttıkça bileşik tabakanın yük taşıma kapasitesi de artmaktadır. Buna karşın, ince bir bileşik tabakanın aşınma sırasında kırılarak abrazyon etkisi yapması ve aşınma oranını artırması kaçınılmazdır. Şekil 6b'de görüldüğü gibi, 600°C'de bir saat oksitlenmiş numuneler, 10N'luk aşınma

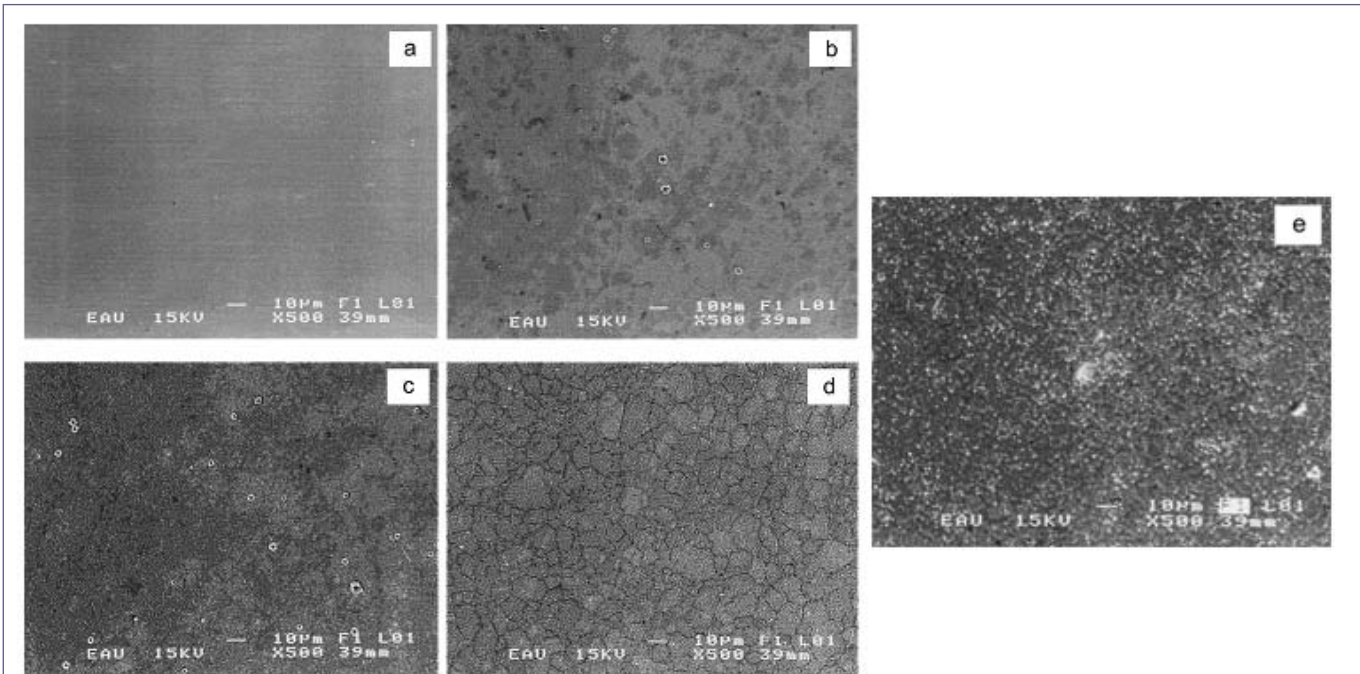
yüküyle aşındırıldığında yüzeydeki ince oksit film kırılmış ve işlemsiz numunenin aşınma izine benzer bir iz karakteristiğinin ortaya çıktığı görülmüştür. Diğer taraftan, 2N'luk aşınma iz genişliğinin 10N'luk yük ile aşındırılmış numunelerin iz genişliğine göre oldukça dar ve batma derinliğinin yüzeysel olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6c).

### 3.4 Korozyon Analizleri

İşlemsiz ve farklı işlem süresi ve sıcaklıklarında plazma ortamında oksitlenmiş CoCrMo alaşımının korozyon test sonuçları Tablo 5'te, akım yoğunluğu-gerilim eğrileri ise Şekil 7'de verilmiştir. Elde edilen korozyon test sonuçlarından plazma ile oksidasyon işleminin alaşımın korozyon direncini olumlu yönde etkilediği, ancak işlem parametrelerinin uygun seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Tablo ve Şekil birlikte incelendiğinde oksit tabakasının yete-

Tablo 5. Korozyon Test Sonuçları

| İşlem Parametreleri | E <sub>corr</sub> (mV) | I <sub>corr</sub> (µA) |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| İşlemsiz            | -465,0                 | 1,550                  |
| 600°C-1s            | -126,0                 | 6,530                  |
| 600°C-5s            | -162,0                 | 6,290                  |
| 800°C-1s            | -94,20                 | 0,519                  |
| 800°C-5s            | -122,0                 | 0,131                  |



Şekil 8. Korozyona Uğramış Numunelerin SEM Görüntüleri a) İşlemsiz, b) 600°C-1s, c) 600°C-5s, d) 800°C-1s, e) 800°C-5s Oksitlenmiş

rince kalın olduğu, 800°C'de oksitlenmiş numunelerin korozyon dirençlerinin arttığı, buna karşılık tabaka kalınlığının ince olduğu, 600°C'de işlem görmüş numunelerde ise oksidasyonun çok fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir. 800°C'de oksitlenmiş numunelerin korozyon akımı (I<sub>corr</sub>) değerlerinin azaldığı, 600°C'de oksitlenmiş numunelerin ise işlemsiz numuneye kıyasla bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Aslında 800°C'de oksitlenmiş numunelerin korozyon dirençlerindeki artış yüzeydeki elektron iletkenliğinin azalmasıyla ilgilidir. Yeterince kalın büyütülen oksit filmin, düşük yapının yalıtkanlığını artırması elektron iletimini azaltır ve yüzeyin korozyon direnci artırır.

Şekil 8'de korozyona uğramış işlemsiz ve farklı şartlarda plazma ortamında oksitlenmiş numunelere ait SEM görüntüleri verilmiştir. İşlemsiz ve 800°C'de oksitlenmiş numunelerin (Şekil 8a,d,e) korozyon sonrası yüzeylerinin korozyon testi öncesi yüzeylerine benzediği, neredeyse hiç korozyon hasarını gösteren yapıların oluşmadığı görülmektedir.

Diğer taraftan 600°C'de işlem görmüş numunelerde ise yüzeyin hasara uğradığı tespit edilmiştir (Şekil 8b ve c). Bu numunelerin yüzeyde oluşan korozyon hasarının çukurcuk tipi olduğu görülmektedir. Bu durumun, düşük işlem sıcaklığında yapılan oksidasyon sonucunda elde edilen oksit filminin ince olması nedeniyle elektrolitin bölgesel olarak pürüzlü film ara yüzeyine sızması sonucu olduğu düşünülmektedir. Yüksek sıcaklıkta yapılan oksidasyonda daha yüksek pürüzlülük değerleri ölçülmesine rağmen, filmin yeterince kalın olması daha sürekli bir film yapısının oluştuğunu ve bu sürekli yapının da korozyon hasarına karşı daha koruyucu bir tabaka oluşturduğunu göstermektedir.

## 4. SONUÇLAR

Biyomalzeme olarak kullanılan CoCrMo alaşımının zayıf tribolojik özelliklerini korozyon direncini düşürmeden iyileştirmek için farklı işlem şartlarında plazma ile oksidasyon işlemi uygulanmış ve oksidasyon sonrası yapısal, mekanik, tribolojik ve korozyon özellikleri incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Plazma ile oksidasyon işlemi sonrası malzeme yüzeyinde yapısındaki faz yoğunluğu işlem parametrelerine göre değişen bir oksit film tabakası elde edilmiştir. CoCrMo alaşımının plazma ile oksitlenmesi sonucu işlem sıcaklığı ve sürelerine bağlı olarak yapıda taban malzemeden gelen α ve ε fazlarının yanında Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazının oluştuğu gözlemlenmiştir.

- Uygulanan oksidasyon işlemi ile CoCrMo alaşımının yüzey sertliği artmıştır. İşlem görmemiş CoCrMo alaşımının sertliği yaklaşık 440 HV<sub>0,1</sub> iken, oksidasyon sonucu işlem zamanı ve sıcaklığına bağlı olarak sertlik 1650 HV<sub>0,1</sub> değerine kadar çıkmıştır. Ayrıca işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça elde edilen tabaka kalınlığı da artmaktadır.
- CoCrMo alaşımının yetersiz olarak düşünülen aşınma di-

rencinin uygulanan plazma oksidasyon işlemi ile arttığı tespit edilmiştir. En düşük aşınma oranı 800°C'de beş saat oksitlenmiş numunelerde elde edilmiştir.

- Elde edilen korozyon test sonuçlarından plazma ile oksidasyon işleminin alaşımın korozyon direncini olumlu yönde etkilediği, ancak işlem parametrelerinin uygun seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Oksitleme sıcaklığı ve süresinin artışı ile CoCrMo alaşımının korozyon direncinde iyileşmeler tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda yapılan oksidasyon işlemi sonucunda ise alaşımın çukurcuk tipi korozyona maruz kaldığı ve korozyon direncinde bir miktar düşüş olduğu belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 2009/266 nolu proje ile desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

1. **Gümüşderelioglu, M.** 2002. "Biyomalzemeler," Bilim ve Teknik Dergisi, Temmuz sayısı, TÜBİTAK.
2. **Wei, R., Brooker, T., Rincon, C., Arps., J.** 2004. "High-intensity Plasma Ion Nitriding of Orthopedic Materials: Part I. Tribological Study," Surface And Coatings Technology, vol.186, no.1-2, p.305-313.
3. **Öztürk, O., Türkan, U., Eroglu, A.E.** 2006. "Metal Ion Release From Nitrogen Ion Implanted CoCrMo Orthopedic Implant Material," Surface and Coatings Technology, vol.200, no.20-21, p.5687-5697.
4. **Williams, J.M., Riester, L., Pandey, R., Eberhart, A.W.** 1996. "Properties of Nitrogen-Implanted Alloys and Comparison Materials," Surface and Coatings Technology, vol.88, no.1-3, p.132-138.
5. **Lanning, B.R., Wei, R.** 2004. "High Intensity Plasma Ion Nitriding of Orthopedic Materials: Part II. Microstructural Analysis," Surface and Coatings Technology, vol.186,no.1-2, p.314-319.
6. **Çelik, A., Bayrak, Ö., Alsaran, A., Kaymaz, İ., Yetim, A.F.** 2008. "Effects of Plasma Nitriding on Mechanical and Tribological Properties of CoCrMo Alloy," Surface and Coatings Technology, vol.202, no.11, p. 2433-2438.
7. **Yetim, A.F., Yıldız, F., Alsaran, A., Çelik, A.** 2008. "Surface Modification of 316L Stainless Steel With Plasma Nitriding," Kovove Mater,vol.46, no.2, p. 105 - 116.
8. **Yıldız, F., Yetim, A.F., Alsaran, A., Çelik, A.** 2008. "Plasma Nitriding Behavior of Ti6Al4V Orthopedic Alloy," Surface and Coatings Technology, vol.202, no.11, p. 2471-2476.
9. **Kokubo, T., Kushitani, H., Sakka, S., Kitsugi, T., Yamamuro, T.** 1990. "Solutions Able to Reproduce In Vivo Surface-Structure Changes In Bioactive Glass-Ceramic A-W," Journal of Biomedical Materials Research, vol.24, no.6, p.721-734.