

PLAZMA İLE OKSİTLENMİŞ CoCrMo ALAŞIMININ SBF İÇERİSİNDE ELEKTROKİMYASAL VE YARI İLETKENLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayhan ÇELİK¹, Tuba YETİM², Mevra ASLAN^{*3}, Özgü BAYRAK³, Meltem GÖR⁴

¹ Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye

² Erzurum Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

³ Erzincan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 24000, Erzincan, Türkiye

⁴ Erzincan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 24000, Erzincan, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Biyomalzeme
Plazma Oksidasyon
CoCrMo
Korozyon
Mott-Schottky Analizi

Özet

Metalik biyomalzemelerin korozyona uğraması sonucu oluşan korozyon ürünleri doku içerisine girerek hücrelere zarar verirler. Bu nedenle, biyomalzemelere çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada, biyomalzeme olarak kullanılan CoCrMo alaşımı, %100 O₂ gazı ortamında, 600°C ve 800°C sıcaklıkta, 1 ve 4 saat süre ile plazma oksitlenmiştir. Farklı işlem şartlarında elde edilen oksit filmin, korozyon ve yarıiletkenlik özelliklerinin belirlenmesi için Potansiyostat/Galvaniyostat cihazı, malzemenin yapısal özelliklerinin belirlenmesi için ise XRD ve SEM kullanılmıştır. Yapay vücut sıvısında (SBF) oluşan pasif filmin elektronik özelliklerindeki değişimleri belirlemek amacıyla ise Mott-Schottky (M-S) analizleri yapılmıştır. Mott-Schottky (M-S) analizleri sonucunda, plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımı üzerinde oluşan pasif filmin yarıiletken davranışı elde edilmiş ve film oluşma potansiyeline bağlı olarak elektronik karakteristiğinin n tipinden p tipine geçiş yaptığı gözlemlenmiştir. Plazma oksidasyon işlemi sonrası korozyon dayanımının oksitleme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak iyileştiği tespit edilmiştir. En iyi korozyon direncine 800°C sıcaklıkta 4 saatlik oksitleme işlemi sonucunda ulaşıldığı görülmüştür.

INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL AND SEMICONDUCTIVITY PROPERTIES IN SBF OF PLASMA OXIDIZED CoCrMo ALLOY

Keywords

Biomaterial
Plasma Oxidation
CoCrMo
Corrosion
Mott-Schottky Analysis

Abstract:

The corrosion products which are formed after corrosion of metallic biomaterials enter into the surrounding cells and cause damage. Therefore, different surface processes are applied to the biomaterials. In this study, CoCrMo alloy was used as biomaterial and oxidized in 100% O₂ gas atmosphere at 600°C and 800°C temperature for 1 and 4 hours. Potentiostat/Galvanostat device was used to determine the corrosion and semiconductivity properties of obtained oxide film at the different treatment conditions. XRD and SEM were used to analyze of the structural properties. Mott-Schottky (M-S) analysis was carried out to determine the changes in the electronic properties of the formed passive film in simulated body fluid (SBF). Mott-Schottky analysis results show that a semiconducting passive film formed on plasma oxidized CoCrMo alloy and the electronic characteristics converted from n-type to p-type depending on the film formation potential. after plasma oxidation process, it was determined that corrosion strength improved depending on the oxidation temperature and time. It was seen that the best corrosion resistance was reached after oxidizing process at 800°C temperature for 4 hours.

* İlgili yazar: maslan@erzincan.edu.tr

1. Giriş

Biyomalzemeler, yaşayan sistemlerin içerisinde veya onlarla ilişkide olan sistematik ve farmakolojik olarak reaksiyona girmeyen malzemelerdir. Temel biyoyumlu metalik malzemeler paslanmaz çelikler, kobalt esaslı alaşımlar, titanyum ve titanyum esaslı alaşımlardır (Ivanova vd., 2014). Genellikle yük taşıyan implantlarda metalik biyomalzeme olarak; yüksek mekanik ve elektrokimyasal özellikleri nedeniyle CoCrMo alaşımları kullanılır (Çelik vd., 2014). Protez malzemesi olarak kullanılan CoCrMo alaşımları vücuda takıldıktan sonra dokularda metal birikim seviyesi artmaktadır. Alaşımın sahip olduğu üstün korozyon direnci sebebiyle, metal birikim seviyesinin alt düzeyde olduğu düşünülmektedir (Gökçek, 2006).

Bu etkinin azaltılması amacıyla yüzeyin korozyon direncinin iyileştirilmesi için CoCrMo alaşımlarına çeşitli oksidasyon işlemleri uygulanabilir. Bunlardan bazıları; termal oksidasyon, anodik oksidasyon, mikroark oksidasyon ve plazma oksidasyondur. Diğer oksidasyon tekniklerine göre plazma oksidasyonun bazı avantajları şunlardır; hızlı oksitlenme, uniform biçimlendirme, yoğun tabaka oluşumudur (Takada, 1991). Tsai vd. (2007), oksidasyon işlemi boyunca plazma gücüyle birlikte oksidasyon sıcaklığı ve süresinin, Al filmlerin oksidasyon davranışı üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Plazma gücü sabit tutulup, işlem sıcaklığı iki katına çıkarıldığında oksit tabaka kalınlığının yaklaşık olarak iki kat arttığını, işlem sıcaklığı sabit tutulup, plazma gücü iki katına çıkıldığında ise oksit tabaka kalınlığının yaklaşık dört kat arttığını bulmuşlardır. Alsaran vd. (2008), Ti6Al4V alaşımına farklı oksidasyon yöntemleri (anodik oksidasyon, termal oksidasyon ve plazma oksidasyon) uyguladıkları çalışma sonucunda anodizasyon işlemi sonucu anataz fazına sahip TiO₂, plazma ve termal oksidasyon işlemleri sonucunda ise anataz ve rutil fazları içeren TiO₂ yapısı elde etmişlerdir. Tüm oksidasyon işlemleri sonucu Ti6Al4V alaşımının sertliğinin ve aşınma direncinin işlemsiz titanyum alaşımına göre iyileştğini tespit etmişlerdir.

Biyomalzemelerden beklenen en önemli özellikler, biyoyumluluğu ve korozyon direncinin yüksek olmasıdır (Şap ve Çelik, 2012). Metallerin biyolojik ortama uygunluğu, vücut içerisinde korozyona uğramalarıyla ilgilidir. Malzeme, korozyon sonucunda

zayıflar, daha da önemlisi korozyon ürünleri doku içerisine girerek hücrelere zarar verirler. Vidal ve Munoz (2008), yapay vücut sıvısı (SBF) içerisinde 3 farklı işlem sıcaklığında CoCrMo alaşımına çeşitli elektrokimyasal deneyler uygulanan bir çalışmada, metalik yüzeylerde gerçekleşen korozyon reaksiyonlarının hızının; uygulanan işlem sıcaklıklarına ve karbür içerme miktarına bağlı olup, ayrıca pasif tabakanın alaşımın mikroyapısına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Metalik malzemelere uygulanan oksidasyon işlemleri sonucunda, oluşan pasif filmin elektronik özelliklerindeki değişimler oldukça önemlidir (Ahn ve Kwon, 2004). Levine vd. (2007), Na₂SO₄ çözeltisi içerisinde Mott Schottky analizi ile Al oksit özelliklerinin araştırıldığı çalışmada, ultra ince tabakanın yarıiletken özelliklerini çeşitli oksit parametreleriyle belirlemişlerdir. Al alaşımının karmaşık yapısı nedeniyle, yüzeyinde oluşan Al oksit, stokiometrisinden yabancı maddeler ve sapmalar içermektedir. Al⁺² veya Mg⁺² kafesler arası elektronları üretirken, Si⁺⁴ yer değişimi boşluklar oluşturur. Bu yük taşıyıcılarının konsantrasyonu, oksitin elektriksel iletkenliğinin türünü ve büyüklüğünü açıklar. Oksit çöktürme işlemi boyunca uygulanmış elektron transferi arabulucuları, Al alaşımı olması sebebiyle p tipi yarıiletken olan Al oksit içindeki kusurlar, p ve n tipi arasındaki dengeyi etkilemektedir. Bu çalışmada da, plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımı üzerinde oluşan pasif filmin, yapay vücut sıvısı (SBF) içerisindeki elektrokimyasal ve elektronik karakteristiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan dövme CoCrMo alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Numuneler öncelikle 80, 220, 400, 800 ve 1200 numaralı zımparalarla ıslak olarak zımparalandıktan sonra 3 µm'lik alümina tozu ile ince parlatma işlemi yapılmıştır. Hazırlanan numuneler alkol ile temizlenip kurutulduktan sonra laboratuvar tipi plazma ile oksitleme cihazına yerleştirilmiş ve vakum ortamının plazma oksidasyon işlemi için %100 O₂ gazı verilmiştir. Numuneler, 600°C ve 800°C sıcaklıkların her birinde 1 ve 5 saat süre ile plazma oksidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Vakum ortamındaki numuneler, deney sona erdikten sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan CoCrMo malzemesinin kimyasal kompozisyonu (%ağırlık)

	Cr	Mo	C	Fe	Mn	Si	Ni	Co
Kullanılan	27,30	5,96	0,057	0,37	0,62	0,67	0,22	Kalan
Standart ISO 5832-12	26-30	5-7	0,35 en çok	0,75 en çok	1 en çok	1 en çok	1 en çok	Kalan

Plazma oksitleme işlemi sonucunda numunelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri ve işlem sonrası oluşan tabaka kalınlıklarını belirlemek

amacıyla 100 gr yük altında ve 15 saniye yükleme süresinde Buehler mikrosertlik cihazı kullanılarak mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Numunelerin

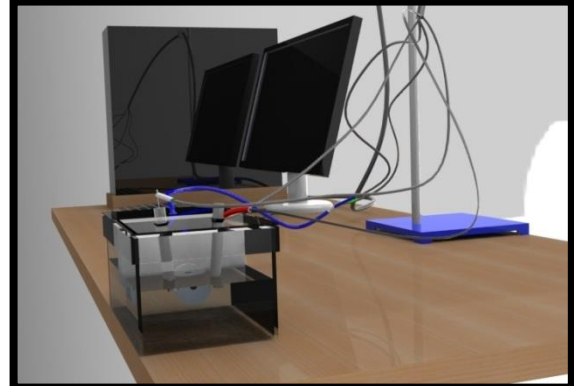
ıçyapısı, yüzey görünümü ve korozyon sonrası yüzey görüntüsü Jeol 6400 SEM (taramalı elektron mikroskobu) kullanılarak incelenmiştir. İşlemsiz ve plazma ile oksitlenmiş numunelerin faz analizleri Panalytical Empyrean X Işını Kırınım Ölçer (XRD) cihazıyla tespit edilmiştir. Plazma oksidasyon işlemi sonrası farklı işlem şartlarında elde edilen oksit filminin, korozyon ve yarıiletkenlik özelliklerini belirlemek amacıyla Şekil 1’de gösterilen GAMRY firmasının Series G750TM Potansiyostat /Galvanostat/ ZRA cihazı kullanılmıştır. Tüm deneylerde SBF (yapay vücut sıvısı), pH değeri 7.4 ve solüsyon sıcaklığı 37°C olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan SBF içeriği Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. pH 7.25, 1L için SBF’nin hazırlanması (Kokubo vd., 1991)

Sıra	Reaktif	Miktar
1	NaCl	7.996 g
2	NaHCO ₃	0.350 g
3	KCl	0.224 g
4	K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	0.228 g
5	MgCl ₂ · 6H ₂ O	0.305 g
6	1 kmol/m ³ HCl	40 cm ³
7	CaCl ₂	0.278 g
8	Na ₂ SO ₄	0.071 g
9	(CH ₂ OH) ₃ CNH ₂	6.057 g
10	1 kmol/m ³ HCl	pH 7.4 için yeteri kadar

Korozyon deneyleri, Tafel Tekniği ve OCP (Açık Devre Potansiyel) Tekniği kullanılarak yapıldı. Numunelerin önce açık devre potansiyel değişimleri ölçülmüş (OCP) ve numune ile elektrolitin denge haline ulaşmasından sonra potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri alınmıştır. Ayrıca SBF içindeki deney numuneleri üzerindeki pasif filmin elektronik özelliklerindeki değişimleri belirlemek amacıyla, Mott-Schottky (M-S) analizleri yapılmıştır. Numunelerin korozyon ve

yarıiletkenlik ölçümleri Ag/AgCl referans elektrot (RE), karşıt elektrot (CE) olarak grafit çubuk ve çalışma elektrotu (WE) deney numunesi kullanılarak üç elektrot tekniğine göre bir korozyon hücresi içerisinde yapılmıştır. Korozyon ve Mott-Schottky (M-S) analiz test düzeneği Şekil 1’de verilmiştir.

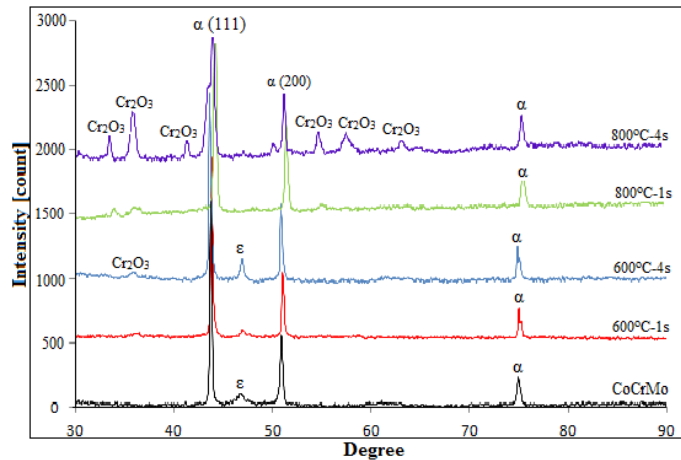


Şekil 1. Korozyon ve Mott-Schottky (M-S) analiz test düzeneği

3. Araştırma Bulguları

3.1. XRD, SEM ve Mikrosertlik Analizleri

Şekil 2’de işlemsiz ve farklı şartlarda plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımına ait XRD sonuçları verilmiştir. İşlemsiz CoCrMo alaşımı, çoğunlukla bir kobalt fazı olan YMK kristal kafese sahip α fazı ve az miktarda da SPH yapılı kobalt fazı olan ε fazından oluşmaktadır (Yetim vd., 2012). 600°C sıcaklıkta oksitlenmiş numunelerde, taban malzemeden gelen ε fazının şiddetinin işlem süresinin artışı ile arttığı, yüksek işlem sıcaklıklarında ise tamamen kaybolduğu görülmüştür. 800°C sıcaklıkta ise işlem süresinin artmasıyla, yapıda taban malzemeden gelen α fazlarının yanında Cr₂O₃ faz yoğunluğunun arttığı görülmektedir.

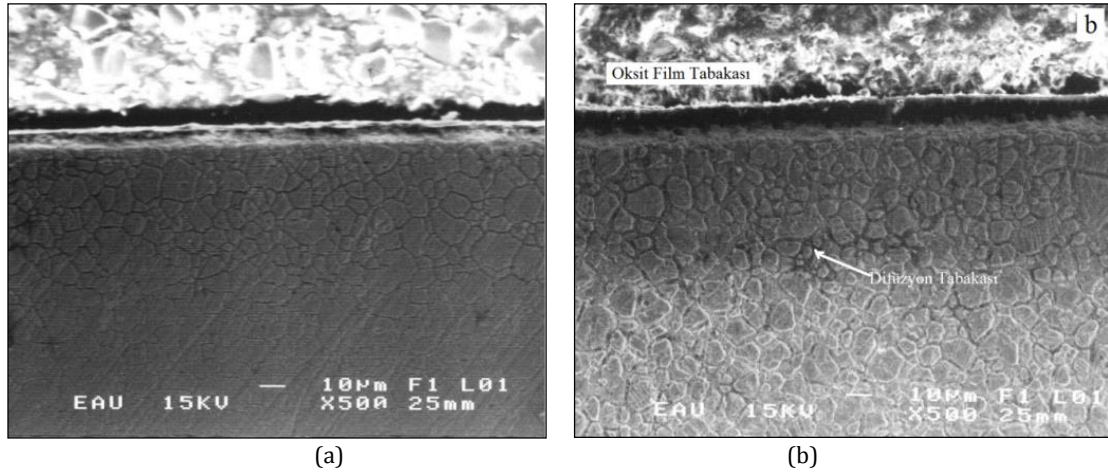


Şekil 2. İşlemsiz ve farklı işlem şartlarında plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımının XRD grafiği

Plazma oksidasyon işlemi sonucu yapıda krom oksitlerin baskın olduğu görülmektedir. Bu durumun, krom atomlarının oksijene ilgisinin kobalt atomlarından daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük işlem sıcaklıklarında (600°C) atomların oksit oluşturma için gerekli aktivasyon enerjisi yüksek sıcaklıklara (800°C) göre daha az olduğundan, 800°C'de işlem görmüş numunelerde oksit fazlarının daha fazla oluştuğu ve şiddetlerinin arttığı görülmektedir

Şekil 3'de 600°C sıcaklıkta 1 saat ve 800°C sıcaklıkta 4 saat plazma ortamında oksitlenmiş CoCrMo alaşımına ait kesit SEM resimleri görülmektedir. Oksitleme

işlemiyle yüzeyde belirgin bir oksit tabakası, ayrıca hemen altında ise difüzyon tabakasının oluştuğu görülmektedir. İşlem sıcaklığı ve süresi arttıkça, artan difüzyonla birlikte bileşik ve difüzyon tabakası kalınlıkları da artmaktadır. En yüksek tabaka kalınlığının 800°C sıcaklıkta 4 saat işlem görmüş numunelerden elde edilmiştir. 800° sıcaklıkta 4 saat işlem görmüş numunelerde, yüzeyde oluşan oksit filminin oldukça yoğun olduğu ve difüzyon tabakasından belirgin bir hat ile ayrıldığı görülmektedir (Şekil 3b). Tercih edilen CoCrMo alaşımı dövülmüş olduğundan, tanelerin içerisinde plastik deformasyon sonucu oluşan kayma izlerine de rastlanmıştır.



Şekil 3. Plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımının kesit resimleri a) 600°C-1saat b) 800°C-4saat

İşlemsiz ve farklı işlem şartlarında oksitlenmiş numunelerin mikrosertlik değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri Vickers mikrosertlik ölçüm yöntemiyle yapılmıştır. CoCrMo alaşımının işlemsiz yüzey sertliği 400-440 HV_{0,1} değerindedir. En yüksek sertlik, işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak 800°C sıcaklıkta 4 saat oksitlenmiş numunelerde 1550 HV_{0,1} değerinde ölçülmüştür. Bu artışın sebebi, yüzeyde oluşan Cr₂O₃ fazı ve difüzyon tabaka kalınlığının artmasındandır. Yüksek sıcaklık ve sürelerde, oluşan tabakaların kalınlık artışı etkisiyle, yüzey sertliğinin de artışına sebep olmuştur. Yüzeydeki oksit filminin kalınlıkları SEM vasıtasıyla ölçülürken, difüzyon tabakası

kalınlıkları numunelerin kenarından başlayarak çekirdeğe doğru alınan sertlik değerlerinin taban malzeme sertliğinin %10 fazlasına ulaştığı mesafe olarak kabul edilmiştir. Difüzyon sonucunda YMK α-Co yapısı içerisine giren arayer oksijen atomları α-Co fazının kristal kafesini çarpıtır ve bir gerilme alanı ortaya çıkartarak o bölgedeki mukavemetini artırır. Difüzyon tabakası içerisinde oksijenin YMK kristal yapı içerisine girerek kafesi çarpıtması sonucu oluşturduğu gerilme alanı dislokasyonların gerilme alanları ile etkileşerek dislokasyon hareketini engeller ve sertlikte artış olur (Yılbaş vd., 2001).

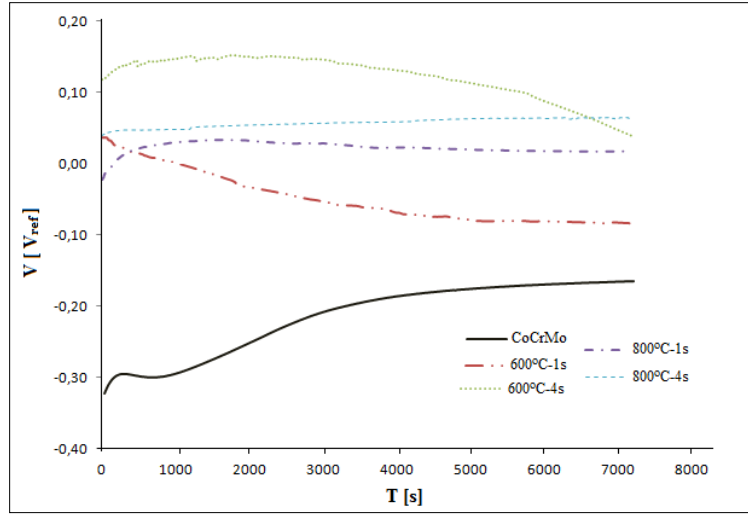
Tablo 3. CoCrMo alaşımının farklı şartlarda plazma oksidasyon sonrası elde edilen yüzey sertliği, tabaka kalınlığı değerleri

Oksidasyon Parametreleri	Sertlik (HV _{0,1})	Bileşik Tabaka Kalınlığı (µm)	Difüzyon Tabaka Kalınlığı (µm)
600°C - 1s	620-645	2-3	25
600°C - 4s	700-820	3-5	30
800°C - 1s	1420-1450	8-10	40
800°C - 4s	1500-1550	10-15	45
İşlemsiz	400-440	-	-

3.2. Korozyon Analizleri

İşlemsiz ve plazma ile oksitlenmiş numunelerin açık devre potansiyel (OCP) eğrileri Şekil 4'te verilmiştir. Numunelerin açık devre potansiyel eğrileri, pH değeri 7,4 olan SBF (yapay vücut sıvısı) içerisinde, numune ile elektrolitin denge haline ulaştığı zamana bağlı olarak potansiyel değişimleri ölçülmüştür. Şekil 4 incelendiğinde, 600°C sıcaklıkta oksitlenmiş CoCrMo

alaşımının soy durumdan uzaklaştığı görülmektedir. Bu durum düşük sıcaklıklarda oksitlenmiş yüzeylerde oluşan tabakaların süresiz olup, elektrolitle tabakanın sürekli aktif halde olduğu sonucuna varılmaktadır. 800°C'de işlem görmüş numunelerde, uygulanan işlem süresinin artmasına bağlı olarak artan koruyucu oksit tabakasının oluştuğu ve bu şartlarda en kararlı potansiyel değerlerinin elde edildiği sonucuna varılmaktadır.



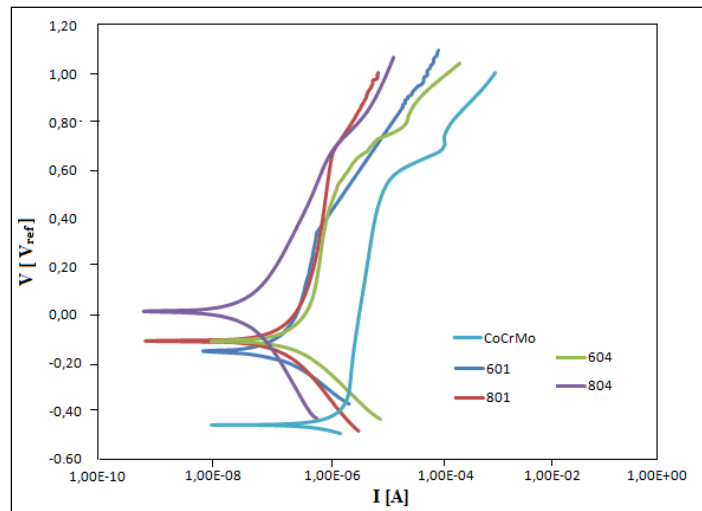
Şekil 4. İşlemsiz ve farklı işlem süresi ve sıcaklıklarında plazma ortamında oksitlenmiş CoCrMo alaşımının açık devre potansiyel (OCP) eğrileri

İşlem görmemiş ve plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımının SBF (yapay vücut sıvısı) içerisindeki korozyon hızları, polarizasyon eğrileri ile belirlenmiştir. Yapılan potansiyel taramasında başlangıç ve bitiş potansiyel değerleri, açık devre potansiyeline göre seçilmiştir. Numunelerin polarizasyon ölçümleri, 1 mV/s tarama hızıyla, -0,5 V ile 1,0 V potansiyel aralığında potansiyodinamik olarak yapılmıştır. Plazma oksidasyon işlemiyle elde edilen sonuçlara göre, korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) ve korozyon potansiyeli (E_{kor}) değerlerine bakılarak;

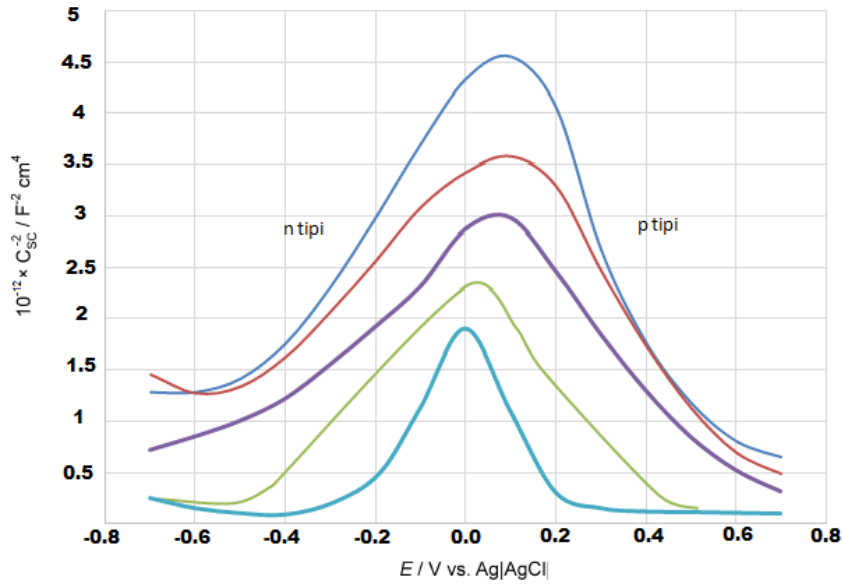
800°C sıcaklıkta oksitlenmiş numunelerde en iyi korozyon direnci sağlanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4 . Korozyon test sonuçları

İşlem Parametreleri	E _{corr}	I _{corr}
İşlemsiz	-465,0	1,550 uA
600°C - 1s	-156,0	170,0 uA
600°C - 4s	-115	572,0 uA
800°C - 1s	-180	300,0 nA



Şekil 5. İşlemsiz ve farklı işlem şartlarında plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımının Tafel eğrileri



Şekil 7. SBF çözeltisi içinde işlemsiz ve farklı işlem şartlarında plazma ile oksitlenmiş CoCrMo alaşımının Mott-Schottky (M-S) eğrileri

Uygulanan potansiyele bağlı olarak en yüksek kapasitans değeri 800 °C sıcaklıkta 4 saatlik kaplama süresine sahip numunede elde edilmiştir. En düşük kapasitans değerleri ise 600 °C sıcaklıkta 1 saatlik kaplama süresine sahip numunede elde edilmiştir. (1) nolu eşitlik kullanılarak kapasitans büyüklüğünü belirleyen donör ve akseptör konsantrasyonunun 800°C sıcaklıkta 4 saatlik kaplama süresine sahip numunede en yüksek değerde ve 600°C sıcaklıkta 1 saatlik kaplama süresine sahip numunede en düşük değerde olduğu hesaplanmış ve hesaplamalar ile deneysel sonuçların uyduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar neticesinde kapasitans değerinin sıcaklık ve kaplama süresinin artırılması sonucu arttığı görülmüştür. Şekil 7'de görüldüğü üzere CoCrMo alaşımı -0.4 V ile yaklaşık 0 V aralığında n tipi yarıiletken, 0 V ile 0.6 V aralığında p tipi yarıiletken özelliği göstermektedir. Yani Mott-Schottky çizimleri iki bölgenin ortaya çıktığını göstermiştir. Bu çizimler ışığında uygulanan potansiyelin 0.1 V 'dan yüksek değerlerde olması durumunda negatif bir eğimin ortaya çıktığı görülmüştür. Film oluşma potansiyeli artarken negatif eğimin olduğu bölgede oluşan hatlar p tipi yarıiletken davranışın olduğunu göstermektedir. Uygulanan potansiyelin 0.1 V'dan düşük değerlerde olması durumunda ise pozitif bir eğimin ortaya çıktığı görülmüştür. Film oluşma potansiyeli azalırken pozitif eğimin olduğu bölgede oluşan hatlar n tipi yarıiletken davranışın olduğunu göstermektedir. n tipi yarıiletken davranışından p tipi yarıiletken davranışına geçişin transpasif bölgedeki pasif filmin elektronik özelliklerinde değişiklik olduğunun ispatıdır. Bu durum Cr'un oksitlenmesi sonucu film iletkenliğinin artması ile ilgilidir (Wijesinghe ve Blackwood, 2007). Yarıiletkenlikteki bu değişim gerçekleşen reaksiyon aracılığı ile film/solüsyon ara yüzeyinde p tipi katkı ve elektronik akseptörler olan katyon boşluklarının oluşması ile açıklanır (Macdonald vd., 2004).

4. Tartışma ve Sonuç

İşlemsiz CoCrMo alaşımı, çoğunlukla bir kobalt fazı olan YMK kristal kafese sahip α fazı ve az miktarda da SPH yapıları kobalt fazı olan ϵ fazından oluşmaktadır. Plazma ile oksidasyon işlemi sonrası, 800°C'de işlem görmüş numunelerde taban malzemenin gelen α ve ϵ fazlarının yanında Cr_2O_3 fazının oluştuğu gözlemlenmiştir. İşlem sıcaklığı ve süresi arttıkça, artan difüzyon ile birlikte bileşik ve difüzyon tabaka kalınlıkları artmaktadır. Oksidasyon işlemi sonrası yapılan korozyon testi sonucunda yüzeyde oluşan koruyucu oksit tabakasının sıcaklıkla artışıyla, korozyon direncinin de arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca plazma oksidasyon işlemi ile CoCrMo üzerinde oluşan pasif filmin yarıiletken özelliğini belirlemek amacıyla uygulanan Mott-Schottky analizi sonucunda, yüzeyde oluşan tabakanın elektronik karakteristiğinin n tipinden p tipine geçiş yaptığı belirlenmiştir. Uygulanan potansiyele bağlı olarak en yüksek kapasitans değeri 800°C sıcaklıkta 4 saatlik kaplama süresine sahip numunede elde edilmiştir. En düşük kapasitans değerleri ise 600°C sıcaklıkta 1 saatlik kaplama süresine sahip numunede elde edilmiştir.

Teşekkür

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

Conflict Of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Ahn, S.J., Kwon, H.S., 2004. Effects of Solution Temperature on Electronic Properties of Passive Film

Formed on Fe İn Ph 8.5 Borate Buffer Solution. *Electrochimica Acta*, 49, 3347–3353.

Alsaran, A., Çelik, A., Efeoğlu, İ., Baran, Ö., Albayrak, Ç., 2010. Çeşitli Oksidasyon İşlemleriyle Oksit Kaplanan Ti6Al4V' un Yapay Vücut Sıvısı İçinde (SBF) Sürtünme ve Aşınma Özellikleri. 5. Ulusal Biyomekanik Kongresi, İzmir.

Çelik, A., Aslan, M., Yetim, A.F., Bayrak, Ö., 2014. Wear Behavior of Plasma Oxidized Cocrmo Alloy Under Dry and Simulated Body Fluid Conditions, *Journal of Bionic Engineering*, 11 (2), 303-310.

Gökçek, E.G., 2006. Ortopedik İmplant ve Protez Tasarımı için Biyomalzemelerin Mekanik Özelliklerin Araştırılması. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Ivanova, E.P., Bazaka, K., Crawford, R.J., 2014. *Metallic biomaterials: types and advanced applications*, New Functional Biomaterials for Medicine and Healthcare. Woodhead Publishing, 121–147s, the UK.

Kokubo, T., Kushitani, H., Sakka, S., Kitsugi, T., and Yamamuro, T., 1991. Solutions Able to Reproduce in Vivo Surface-Structure Changes in Bioactive Glass-Ceramic A-W, *J. Biomed. Mater. Res.*, 24, 721-734.

Levine, K.L., Tallman, D.E., Bierwagen, G.P., 2008. Mott-Schottky Analysis of Aluminium Oxide Formed in the Presence of Different Mediators on The Surface of Aluminium Alloy 2024-T3. *Journal of Materials Processing Technology*, 199, 321–326.

Macdonald, D.D., Sun, A., Priyantha, N., Jayaweera, P., 2004. An Electrochemical Impedance Study of Alloy-22 in NaCl Brine at Elevated Temperature: II. Reaction mechanism analysis, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 572, 421.

Şap, E., Çelik, H., 2012. Kobalt Esaslı Alaşımların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Ti ve Mn İlavesinin Etkisinin İncelenmesi, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 9 (3), 25-33.

Takada, J., Kuwahara, H., Manabe, Y., Kimura, M., Yanagihara, K., 1991. Plasma Oxidation of Cu-Al Alloy. *Journal of Materials Science*, 26, 6288-6292.

Tsai, H., Lu, F., Chieh, Y., 2007. Plasma Oxidation of Al Thin Films on Si substrates. *Thin Solid Films*, 516 (8), 1871-1876.

Vidal, C.V., Munoz, A.I., 2008. Effect of Thermal and Applied Potential on the Electrochemical Behaviour of CoCrMo Biomedical Alloy. *Electrochimica Acta*, 54 (6), 1798-1809.

Wijesinghe, T.L.S.L., Blackwood, D.J., 2007. *Electrochemical And Photoelectrochemical*

Characterization Of The Passive Film Formed On AISI 254SMO Super-Austenitic Stainless Steel, *Journal of the Electrochemical Society*, 154, C16.

Yetim, A.F., Aslan, M., Yıldız, F., Hacısalıhoğlu, İ., Bayrak, Ö., 2012. CoCrMo İmplant Alaşımının Plazma Oksidasyon İşlemi ile Aşınma Direncinin İyileştirilmesi, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53 (628), 37-43.

Yılbaş, B.S., Şahin, Al- Garni, A.Z., Said, S.A.M., Ahmed, Z., Abdulalem, B.J., Sami, M., 1996. Plasma nitriding of Ti-6Al-4V alloy to improve some tribological properties, *Surface and Coating Technology*, 80, 287-292.