

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ MİKRO ARK
OKSİDASYON İŞLEMİ İLE KAPLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Mert GÜNYÜZ**

Anabilim Dalı: METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı: MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ MİKRO ARK
OKSİDASYON İŞLEMİ İLE KAPLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Mert GÜNYÜZ
(506051412)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Eyüp Sabri KAYALI (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, bize bir öğrenciden çok bir arkadaş gibi yaklaşarak hoşgörüsü ve anlayışı ile hiçbir yardımı esirgemeyen tez danışman hocalarım Sn. Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na ve Sn. Prof. Dr. E. Sabri KAYALI'ya, çalışmalarım sırasında her işe benimle birlikte koşturup her türlü sorunuma ve problemime bıkmadan çözüm bulan, bilgi ve deneyimleri ile önümü açan Sn. Yrd. Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN'a, her konuda danışabildiğim ve her konuda benden yardımlarını esirgemeyen Sn. Araş. Gör. Özgür ÇELİK'e ve Sn. Araş. Gör. Hasan GÜLERYÜZ'e, çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen mekanik laboratuvarında bulunan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca benimle birlikte koşturup her koşulda benden desteğini ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli arkadaşım Elif Can ÖZGÜN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca bana destek veren aileme teşekkür ederim

Mert GÜNYÜZ

HAZİRAN 2007

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI	3
2.1 Titanyumun Tarihçesi	3
2.2 Titanyumun Genel Yapısal Özellikleri	4
2.3 Titanyum Alaşımları	6
2.3.1 α Alaşımları	7
2.3.2 $\alpha + \beta$ Alaşımları	8
2.3.3 β Alaşımları	8
2.4 Titanyum ve Alaşımlarının Uygulama Alanları	8
3. MİKRO ARK OKSİDASYON İŞLEMİ	10
3.1 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Tarihçesi	10
3.2 Mikro Ark Oksidasyon Düzenegi ve Proses	11
3.3 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Avantajları ve Dezavantajları	12
3.4 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Uygulama alanları	14
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	15
4.1 Mikro Ark Oksidasyon İşlemi	15
4.2 Karakterizasyon Çalışmaları	16
5. SONUÇLAR	18
5.1. Yüzey İncelemeleri	18
5.2 X-ışınları İncelemeleri	25
5.3. Islanabilirlik İncelemeleri	29
5.4 Yüzey Pürüzlülüğü İncelemeleri	32
5.5 Yüzey Sertlik Ölçümleri	36
5.6 Rockwell C Yapışma Deneyleri	40
6. GENEL SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	43
EKLER	45
ÖZGEÇMİŞ	68

KISALTMALAR

CP – Ti	: Ticari saflıkta titanyum
HSP	: Hekzagonal sıkı paket
HMK	: Hacim merkezli kübik
Çözelti 1	: $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$
Çözelti 2	: $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1:	CP – Ti malzemelerin genel özellikleri.....	6
Tablo 2.2:	α , $\alpha + \beta$ alaşımları , β alaşımlarının genel özellikleri.....	6
Tablo 4.1:	Mikro ark oksidasyon işleminde kullanılan elektrolit çözeltileri...	16
Tablo 5.1:	600 Voltta mikro ark oksidasyon işlemi görmüş numunelerin makro görüntüleri.....	19
Tablo 5.2:	Çözelti 1 ve Çözelti 2 İçinde 600 Volt Değerinde 5 Dakika Mikro Ark İşlemine Tabi Tutulan Malzemelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	23
Tablo 5.3:	Çözelti 2 İçinde Farklı Voltajlarda 10 Dakika Mikro Ark İşlemine Tabi Tutulan Ti6Al4V Numunenin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	24
Tablo 5.4:	İşlem Görmemiş CP – Ti, Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb Numunelerin Ra Değerleri.....	33

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1:	HSP alfa ve HMK beta titanyum yapıları.....	5
Şekil 2.2:	Titanyum ve alaşımlarının kullanım alanlarına değişik örnekler a) diz protezi b) kalça protezi c) diş teli d) dental implant e) damar stenti f) yüzük.....	9
Şekil 3.1:	Tipik bir mikro ark oksidasyon düzeneği 1) Güç kaynağı 2) Karıştırıcı 3) Anot 4) Katot 5) Elektrolit 6) Soğutma Suyu.....	11
Şekil 4.1:	Deneylerde kullanılan mikro ark oksidasyon cihazı.....	16
Şekil 5.1:	Artan voltaj ile birlikte Çözeltili 1 içerisinde işlem görmüş numunelerin yüzey görünüşleri a) 450 V b) 500 V c) 550 V d) 600 V.....	20
Şekil 5.2:	Şekil 5.1 ' de Bulunan Süreksizliklerden (a) 500 V, (b) 550 V ve (c) 600 V İki Boyutlu Profilometrik Görünüşler.....	21
Şekil 5.3:	550 volt değerinde Çözeltili 2 içerisinde işlem görmüş (a) Ti6Al7Nb (b) CP – Ti, ve (c) Ti6Al4V numunelerin kesit görüntüleri.....	22
Şekil 5.4:	Çözeltili 1 içerisinde 10 dakika işlem görmüş Ti6Al7Nb numunelerinin X - ışınları analizleri (a) 500 volt (b) 600 volt.....	26
Şekil 5.5:	Çözeltili 2 içerisinde 5 dakika işlem görmüş Ti6Al7Nb numunelerinin X ışınları analizleri (a) 450 volt (b) 500 volt.....	28
Şekil 5.6:	Ti6Al7Nb numunelerin (a) Çözeltili 1 ve (b) Çözeltili 2 içinde yapılan mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında yapılan ıslanabilirlik testlerinde elde edilen temas açısı değerlerine voltajın etkisi.....	30
Şekil 5.7:	CP - Ti numunelerin (a) Çözeltili 1 ve (b) Çözeltili 2 içinde yapılan mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında yapılan ıslanabilirlik testlerinde elde edilen temas açısı değerlerine voltajın etkisi.....	31
Şekil 5.8:	Ti6Al4V numunelerin (a) Çözeltili 1 ve (b) Çözeltili 2 içinde yapılan mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında yapılan ıslanabilirlik testlerinde elde edilen temas açısı değerlerine voltajın etkisi.....	32
Şekil 5.9:	Ti6Al7Nb numunelerin (a) Çözeltili 1 ve (b) Çözeltili 2 içinde yapılan mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğü değerlerine voltajın etkisi.....	34
Şekil 5.10:	Cp - Ti numuneler (a) Çözeltili 1 ve (b) Çözeltili 2 içinde yapılan mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğü değerlerine voltajın etkisi.....	35
Şekil 5.11:	Ti6Al4V numuneler (a) Çözeltili 1 ve (b) Çözeltili 2 içinde yapılan mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğü değerlerine voltajın etkisi.....	36

Şekil 5.12:	Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika işlem görmüş Ti6Al7Nb numunelerin sertlik değerleri.....	37
Şekil 5.13:	Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika işlem görmüş CP-Ti numunelerin sertlik değerleri.....	38
Şekil 5.14:	Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika işlem görmüş Ti6Al4V numunelerin sertlik değerleri.....	39
Şekil 5.15:	Rockwell C yapışma testi sonrası numunelerde elde edilen görüntü.....	40
Şekil A.1:	Çözelti 1 içerisinde 5 ve 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Makro Görünümleri ...	45
Şekil A.2:	Çözelti 2 içerisinde (a) 5 ve (b) 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Makro Görünümleri.....	46
Şekil A.3:	Çözelti 1 içerisinde 5 ve 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Makro Görünümleri.....	46
Şekil A.4:	Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Makro Görünümleri.....	47
Şekil A.5:	Çözelti 1 içerisinde 5 ve 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Makro Görünümleri.....	47
Şekil A.6:	Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Makro Görünümleri.....	48
Şekil B.1:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	49
Şekil B.2:	Çözelti 2 içerisinde 550 volt, 500 volt, 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	50
Şekil B.3:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş CP - Ti Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	51
Şekil B.4:	Çözelti 2 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş CP - Ti Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	52
Şekil B.5:	Çözelti 1 içerisinde 550 volt, 500 volt, 450 volt Değerlerinde 5 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	53
Şekil B.6:	Çözelti 2 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	54
Şekil C.1:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	55
Şekil C.2:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 ve 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası Görünümleri	56

Şekil C.3:	Çözelti 2 içerisinde 600 volt, 500 ve 450 volt Değerlerinde 5 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	57
Şekil C.4:	Çözelti 2 içerisinde 550 volt, 500 volt, 450 volt Değerlerinde 10 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	58
Şekil C.5:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş CP – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri	59
Şekil C.6:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri	60
Şekil C.7:	Çözelti 2 içerisinde 600 volt, 550volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri	61
Şekil C.8:	Çözelti 2 içerisinde 550 volt, 500 ve 450 volt Değerlerinde 10 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	62
Şekil C.9:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550 volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	63
Şekil C.10:	Çözelti 1 içerisinde 600 volt, 550volt, 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	64
Şekil C.11:	Çözelti 2 içerisinde 600 volt, 450volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	65
Şekil C.12:	Çözelti 2 içerisinde 550 volt, 500volt ve 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.....	66
Şekil C.13:	Rockwell C indentasyon testinde kaplama yüzeyinde oluşabilecek hasar türlerinin şematik gösterimi.....	67

SEMBOL LİSTESİ

MW	: Mega watt
mA	: Mili Amper
µl	: Mikron litre
mN	: Mili Newton
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü

TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ MİKRO ARK OKSİDASYON İŞLEMİ İLE KAPLANMASI

ÖZET

Titanyum ve alaşımları üstün mekanik özellikleri ve biyo-uyumlulukları ile askeri ve sivil havacılık alanında, dental ve medikal uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Titanyum ve alaşımlarını bu derece popüler yapan, bu malzemelerin yüksek sıcaklıklarda dayanımı, düşük yoğunluğu ve yüksek korozyon direncidir. Özellikle alüminyum ve alaşımlarının kullanılmasına imkan vermeyen yüksek sıcaklık şartlarında tercih edilen malzemelerdir.

Titanyum ve alaşımlarını biyomedikal uygulamalarda kullanılmasını sağlayan en büyük özelliği yüzeyinde oluşan inert oksit titanyum dioksit tabakasıdır. Malzeme yüzeyinde oluşan titanyum dioksit tabakasının yapısı, morfolojisi ve kompozisyonu; titanyum alaşımlarının biyo-uyumluluk özelliğini doğrudan etkilemektedir.

Titanyum ve alaşımlarının yüzeylerinde biyo-uyumlu titanyum dioksit tabakasının oluşturulması için çok çeşitli yöntemler mevcuttur. Sol – jel, kimyasal buhar biriktirme, iyon sıçratma, anodik oksidasyon ve plazma püskürtme örnek verilebilecek bazı uygulamalardır. Mikro ark oksidasyon işlemi ise son 40 yıl içerisinde bu işlemler arasında yerini almaya başlamıştır. Bir elektrolit çözeltisi içerisine yerleştirilen anot numuneye yüksek değerlerde voltaj verildiğine malzeme yüzeyinde oksit tabakası oluşumu başlar. Bu geleneksel bir anodik oksidasyon işlemidir. Yükselen voltaj ile birlikte kritik bir voltaj değerine ulaşılır. “Dielectric breakdown” olarak adlandırılan bu kritik eşik değeri aşıldığında malzeme yüzeyinde mikro boyutlarda arklar oluşmaya başlar. Bu işlem mikro ark oksidasyon işlemi olarak tanımlanır. Diğer kaplama yöntemlerine göre oluşturduğu oksit tabakasının kalınlığı, yüksek yapışma kuvveti, porozite miktarı, düşük maliyeti ve çevreye zararsızlığı ile avantajlı bir görünüm sergilemektedir.

Bu tez çalışmasında mikro ark oksidasyon yöntemi ile kaplanmış CP – Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerin yüzey özelliklerine mikro ark oksidasyon işleminin ve değişen parametrelerin etkisi incelenmiştir. Mikro ark oksidasyon işlemi farklı voltaj değerlerinde, farklı çözelti tiplerinde ve farklı sürelerde yapılmıştır. Mikro ark oksidasyon işlemi ile yüzeyleri kaplanmış numunelerin yüzey özellikleri tarama elektron mikroskobu incelemeleri, yüzey pürüzlülüğü, ıslanabilirlik açısı ve yüzey sertliği testleri ile X-ışınları analizleri ile incelenmiştir.

COATING OF TITANIUM AND TITANIUM ALLOYS BY MICRO ARC OXIDATION PROCESS

SUMMARY

Titanium and its alloys can take a large application area in military aeronautic, dental and medical application. The properties that made titanium and alloys attractive for these applications, are good resistance in high temperatures, low density and good corrosion resistance. Especially, in high temperatures that does not let aluminium and its alloys to be used in, titanium and its alloys are preferred.

The most important property which makes titanium and its alloys available for biomedical applications, is the titanium dioxide layer occurred on the materials surface. The structure, morphology and the composition of the titanium dioxide layer directly effects the biomedical property of the alloys

There is a lot of process to form titanium dioxide layer on the materials surface. Sol – gel, chemical vapour deposition, ion sputtering and plasma spraying are some of the processes. In last 40 years, micro arc oxidation takes place in these processes. When High voltage is applied to the anode in an electrolytic solution, an oxide layer start to form on the specimen surface. This is an conventional anodic oxidation process. With the increasing voltage, approached to a critical voltage. When this critical voltage degree called “dielectric breakdown” is exceeded, micro arcs started to occur on the surface of the material. This process is defined as micro arc oxidation process. According to other coating technologies, this process shows some advantages as high layer thickness, high adhesion strength, porosity structure, low cost and friendship to the environment.

In this study, the effect of micro arc oxidation process and the variation of the parameters on the surface parameters of CP – Ti, Ti6Al7Nb and Ti6Al4V specimens coated with micro arc oxidation process. Micro arc oxidation process is carried out in different voltage values, different electrolytic solution and different time durations. Oxidized and untreated specimens are observed with scanning electron microscope examinations, roughness, contact angle and hardness measurements and X-ray diffraction analysis.

1. GİRİŞ

Titanyum ve alaşımları, mükemmel mekanik özellikleri ve biyo-uyumluluk özellikleri ile askeri alanda, havacılık alanında, dental ve medikal uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Titanyumu böyle cazip bir malzeme olarak kılan düşük yoğunluğu, yüksek sıcaklıklara dayanımı ve yüksek korozyon direncidir [1,2].

Titanyum metalinin endüstriyel olarak dünyada tanınması 2. Dünya Savaşı'nın ardından gerçekleşmiştir. 1946 yılında askeri donanımlarda kullanılmaya başlanan titanyum 1952 yılında uçak motorlarında kullanılmaya başlanmasıyla endüstriyel olarak hızlı bir gelişme göstermiştir. 1970'li yıllarda ise titanyum uçak endüstrisi haricinde uzay endüstrisinde de kendine geniş bir yer bulmuştur. 1995 yılında ise titanyumun uzay uygulamalarındaki payı %65 seviyelerine ulaşmıştır. Bu gelişmelerden sonra titanyum dental ve medikal uygulamalarda da önemli bir yer almıştır [3,4].

Titanyum ve alaşımlarının biyomedikal uygulamalarda kullanılmasının en önemli nedeni yüzeyinde oluşan inert titanyum oksit tabakasıdır. Titanyum ve alaşımlarının biyo-uyumlulukları yüzeyde oluşan oksit tabakasının yapısına, morfolojisine ve kompozisyonuna bağlıdır. Ayrıca malzeme yüzeyinde oluşan titanyum dioksit katman foto aktivitesi, biyolojik kimyasal inertliği, düşük maliyeti ve toksin olmama özelliği ile atık su tesislerinde ve yarı iletken malzeme kullanımı gerektiren uygulamalarda rahatça kullanılabilir [5].

Titanyum ve alaşımlarının yüzeylerinin biyo-uyumlu ve istenen özelliklerde titanyum oksit ile kaplanması için günümüzde pek çok uygulama yapılmaktadır. Bunlar iyon sıçratma, kimyasal buhar biriktirme, sol-jel ve plazma püskürtme yöntemleridir. Fakat son yıllarda mikro ark oksidasyon işlemi bu geleneksel kaplama yöntemlerine göre gösterdiği avantajları ile ön plana çıkmaktadır [6].

Mikro ark oksidasyon işlemi malzeme yüzeyinde poroz, kısmen kaba ve sağlam yapışmış bir oksit tabakası oluşturulmasını sağlayan henüz gelişmekte olan bir tekniktir. Bu işlem çözünmüş tuzlar içeren elektrolitik bir banyo içerisinde elektrokimyasal oksidasyon ile yüksek voltaj akım davranışını birleştirir [7].

Mikro ark oksidasyon işlemi bundan yaklaşık 40 sene önce Sovyetler Birliği'nde çalışılmaya başlanmış 1970'lerde Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilerek bilim dünyasına katılmıştır. Mikro ark oksidasyon işlemi ile geleneksel oksidasyon işlemlerine göre daha seri, çevreye duyarlı, daha sağlam ve poroz bir oksit tabakasına sahip bir işlemdir.

Bu çalışmada mikro ark oksidasyon işlemi ile yüzeylerinde oksit tabakası oluşturulmuş CP – Ti, Ti6Al7Nb, Ti6Al4V numunelerin yüzey özelliklerine değişen parametrelerin etkisi incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Mikro ark oksidasyon işlemi 450, 500, 550, 600 volt değerlerinde $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi ve $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde 5 ve 10 dakika süreler ile yapılmıştır. Değişen parametreler ile işlem koşullarının oluşan oksit tabakasına etkisi hakkında bilgi edinilmiştir.

2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

2.1 Titanyumun Tarihçesi

Titanyum elementi 1791 yılında İngiliz William Gregor tarafından, Madagaskar Manakara bölgesinde yaptığı çalışmalar tarafından bulunmuş ve ilk olarak “Menakirit” olarak isimlendirilmiştir. 1795 yılında Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth yaptığı çalışmalar sonucunda William Gregor tarafından bulunan metalin yeni bir element olduğunu tespit etmiş ve bu elemente Yunan mitolojisinde toprağın ilk oğullarının ismi olan “Titans” kelimesinden yola çıkarak “Titanyum” ismini vermiştir [8].

Titanyum metali nadir bir element olarak bilinse de element olarak yer kabuğunun %0,6’sını oluşturarak en çok bulunan altıncı element olma özelliğine sahiptir[9].

Titanyumun saf olarak elde edilmesi ilk tespit edildiği yıllar çerçevesinde oldukça yüksek bir teknoloji gerektirmiştir. 1940 yılında Dr. Wilhelm Kroll kendi adını verdiği “Kroll işlemi” ile bu soruna çözüm getirmeyi başarmıştır. Bu yöntemde titanyum tetra klorür ($TiCl_4$) bileşiği koruyu atmosfer ortamında magnezyum ile indirgenmiştir. Bu işlem sonrasında “titanyum süngeri” ya da “sünger metali” diye de adlandırılan sünger gibi gözenekli titanyum elde edilmiştir. Kroll prosesi bugün de titanyum üretimi için en etkin proses olarak devam etmektedir [3].

Dr. Wilhelm Kroll’un bu çalışmaları Amerika Birleşik Devletleri Maden Bürosu’nun dikkatini çekmiş ve bu çalışmalar için büro Nevada eyaletinde bir tesis kurmuştur. Bu tesiste yapılan çalışmalar ile titanyum metalinin genel özellikleri tespit edilmiş ve bu özelliklerin ticari kuruluşların ilgisini çekmesi ile 2. Dünya Savaşı sonrasında titanyum endüstrisi piyasada yer almaya başlamıştır. Titanyumun ticari alanlarda bu kadar ilgi görmesinin nedeni doğada çok bulunması, düşük yoğunluğu ve korozyon dayanımıydı. Titanyumun askeri alanlarda kullanılmaya başlaması ise 1946 yılında gerçekleşmiştir. Özellikle ergime sıcaklığının yüksek değerlerde olması, bu metalin

askeri uygulamalarda nikel ve kobalt alaşımlarına alternatif olmasını sağlamıştır [3,10].

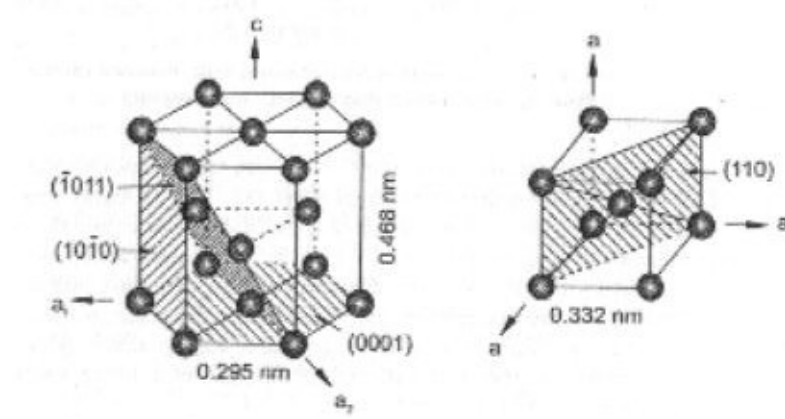
Titanyum ilk olarak, uçak motorundaki yanma odası ve kanatlardaki motor bağlantıları için uygulamaya yönelik üretilmiştir. İlerleyen süreler ile birlikte titanyum alaşımlarının geliştirilmesi ile jet motorlarının pervane kanatlarında ve uçak iskeletlerinde bu metalin kullanımı gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar sayesinde 1950 yılının ortalarında titanyum endüstrisi hızlı bir gelişme göstermiştir [3].

Titanyum döküm malzemeler ilk olarak 1960 yılı itibariyle kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak kimyasal madde pompaları için kullanılan döküm titanyum malzemeler 1970'li yıllarda bazı uzay uygulamaları için de kullanılmaya başlamıştır. 1970'lerin sonlarında titanyum döküm malzemeler uzay uygulamalarında % 60 -70, ticari uygulamalarda ise %35 pay sahibi olmuştur. 1979 yılına gelindiğinde ise dünyada üretilen titanyum metalinin % 72'si uçak sanayinde, %28'i ise korozyona yönelik uygulamalarda kullanılmıştır. Titanyumun uçak sektöründeki uygulamaları uçak iskeleti ve jet motoru parçalarıdır. Boeing 747, A 300 Airbus gibi ticari yolcu uçaklarında jet motoru uygulamaları için kullanılan alternatif malzemelere göre titanyum alaşımları daha iyi mekanik özellikler göstermiştir [3].

1995 yılında ise titanyum metalinin kullanımında en büyük payı uzay uygulamaları almaktadır. Geri kalan bölüm ise kimya, denizcilik, tıp gibi alanlarda kullanılmaktadır. Uzay endüstrisindeki ilerlemeler ve uzay dışı sektördeki büyüme titanyum metalinin tüketiminde önemli bir artış sağlamıştır [4].

2.2 Titanyumun Genel Yapısal Özellikleri

Titanyum oda sıcaklığında sıkı paket hekzagonal (SPH), yüksek sıcaklıklarda ise hacim merkezli kübik (HMK) yapı gösteren allotropik bir malzemedir. Yaklaşık 885 °C civarında sıkı paket hekzagonal yapıdaki α fazı, hacim merkezli kübik yapıdaki β fazına dönüşür. Saf titanyum için bu sıcaklık “ β dönüşüm sıcaklığı” olarak adlandırılır. α fazını kararlı hale getiren azot ve oksijen gibi ara yer elementlerinin etkisi ile bu dönüşüm sıcaklığı yükselirken, yer alan alaşım elementlerinin etkisi ile sıcaklık düşmekte veya artmaktadır [3,10].



Şekil 2.1: HSP Alfa ve HMK Beta Titanyum Yapıları [11].

Alüminyum, karbon, oksijen ve azot gibi alaşım elementleri α fazını daha kararlı hale getirerek dönüşüm sıcaklığını yükseltirler. β fazını kararlı hale getirip dönüşüm sıcaklığını düşüren elementleri ise izomorf grup ve titanyum ile ötektoid alaşımlar yapan elementler olarak iki ayrı grupta inceleyebiliriz. İzomorf grup β fazı içerisinde tamamen çözünebilen molibden, vanadyum, niyobyum (kolombiyum) elementlerinden oluşmaktadır. Hem β fazını kararlı hale getirmek hem de yüksek sıcaklıklarda görülen metaller arası bileşiklerin oluşumunu azaltmak (veya önlemek) için bu izomorf grup elementleri alaşım içerisine katılmalıdır. Titanyum ile ötektoid alaşımlar yapan elementler ise mangan, demir, krom, kobalt, nikel, bakır ve silisyumdur. Ötektoid sıcaklığı saf titanyumun dönüşüm sıcaklığının 330 °C kadar altındadır. İzomorf grup elementleri α ve β fazları içerisinde yaklaşık olarak eşit oranda dağılmaktadırlar. Bu nedenle hemen hemen tüm ticari titanyum alaşımları bu elementlerden birini veya bir kaçını içermektedir [3,12,13].

Ticari saflıktaki titanyum (CP – Ti) %98.5 - %99.5 oranında titanyum içermektedir. CP – Ti oda sıcaklığında sıkı paket hekzagonal yapıda α fazında bulunurken 888 °C’de hacim merkezli kübik yapıdaki β fazına dönüşür. Ticari saflıktaki titanyum katkı elementi içeriğine göre Grade 1 – Grade 7 arasında 5 gruba ayrılmıştır [3]. Farklı kalitelerdeki CP – Ti malzemelerin özellikleri Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1: CP – Ti Malzemelerin Genel Özellikleri [3]

	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Dönüşüm Sıcaklıkları (°C)		Katkı Elementleri % Ağı.					
			α	β	N	C	H	Fe	O	Pd
Grade1	170	240	888	880	0,03	0,1	0,015	0,2	0,18	0
Grade2	280	340	913	890	0,03	0,1	0,015	0,3	0,25	0
Grade3	380	450	920	900	0,05	0,1	0,015	0,3	0,35	0
Grade4	480	550	950	905	0,05	0,1	0,015	0,5	0,4	0
Grade7	280	340	913	890	0,05	0,1	0,015	0,3	0,25	0,2

CP – Ti genellikle yüksek mukavemet gerektirmeyen ancak korozyon direncinin ön planda olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. İçindeki oksijen ve demir en önemli katkı elementleridir. Bu elementlerin miktarı arttıkça ticari saflıktaki titanyumun çekme ve akma mukavemeti de artar [3].

2.3 Titanyum Alaşımları

Titanyum alaşımları α , $\alpha + \beta$ alaşımları , β alaşımları olmak üzere üç grupta toplanabilir. α , $\alpha + \beta$ alaşımları , β alaşımlarının genel özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: α , $\alpha + \beta$ Alaşımları , β Alaşımlarının Genel Özellikleri [11]

	A	$\alpha + \beta$	β
Yoğunluk	Düşük	Düşük	Yüksek
Mukavemet	Düşük	Yüksek	Çok yüksek
Süneklik	Düşük/Yüksek	Yüksek	Düşük/Yüksek
Kırılma Tokluğu	Yüksek	Düşük/Yüksek	Düşük/Yüksek
Sürünme Dayanımı	Yüksek	Düşük/Yüksek	Düşük
Korozyon Dayanımı	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük/Yüksek
Oksidasyon Davranışı	Çok Yüksek	Düşük/Yüksek	Düşük
Soğuk Şekillendirilebilirlik	Çok Düşük	Düşük	Düşük/Yüksek
Kaynaklanabilirlik	Yüksek	Düşük/Yüksek	Düşük

2.3.1 α Alaşımları

Sıkı paket hekzagonal yapıdaki α alaşımlarının tüm yapısını α fazı oluşturmaktadır. Bu alaşımlar çok yüksek veya çok düşük sıcaklıklarda tercih edilen alaşımlardır. Bu alaşımlar sünekliğini ve tokluğunu çok düşük sıcaklıklarda bile sürdürebilirler. α alaşımları diğerk iki alaşımın aksine ısıl işlem ile sertleştirilemezler. Dövülebilme kabiliyeti çok düşüktür ve dövme sırasında oluşan hasarları engellemek için dövme işleminde deformasyon oranı küçük seşilip sık sık tavlama işlemi yapılmaktadır [3].

Tek fazlı yapıya sahip α alaşımlarına örnek olarak Ti5Al2.5Sn alaşımı örnek gösterilebilir. Bu alaşım 300 °C'ye kadar olan sıcaklık değerlerinde yüksek çekme ve sürünme dayanımı göstermektedir [14].

α 'ya yakın alaşımlar yapısında β fazından daha fazla α içeren alaşımlardır. Bu tip alaşımların yapısındaki α fazı yüksek kararlılığa sahiptir. Bu alaşımlar yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılabilir [14].

2.3.2 $\alpha + \beta$ Alaşımları

Bu tip alaşımlar bileşimlerinde α ve β fazlarının kararlılığını arttıran alaşım elementleri içerirler. Elementlerin uygun şekilde ayarlanması ile oda sıcaklığında mikro yapı α ve β fazlarının karışımı şeklinde dir. Bu tip alaşımlar tavlama işlemi gördüklerinden sonra bile çok iyi süneklik, homojenlik ve dayanım özellikleri gösterirler. Bu tip alaşımlardan en çok kullanılanı Ti6Al4V alaşımlarıdır. Bu alaşımların mukavemet değerlerini yükseltmek için ısıl işlem uygulanabilir [13].

2.3.3 β Alaşımları

Bu alaşımlar bileşimlerinde β fazını kararlaştırıcı alaşım elementleri içerirler. Diğerk titanyum alaşımları ile karşılaştırıldıklarında en belirgin özellikleri sertleştirilebilme, dövülebilirlik, soğuk şekillendirilebilme yetenekleridir. Bu alaşımların mukavemet değerleri $\alpha + \beta$ alaşımların mukavemet değerleri ile aynıdır [14].

β alaşımları kararsız fazlardır ve α fazının β anafazı içerisinde çökmesi ile sertleşirler. Yüksek kırılma dayanımına sahip bu alaşımların molibden içermeleri durumunda korozyon dirençleri çok yüksek değerlere ulaşır [14].

2.4 Titanyum ve Alaşımlarının Uygulama Alanları

Genel olarak titanyum kullanımı uzay, uçak ve deniz sanayi alanlarında yoğun olarak görölmektedir. Titanyum metalinin rijit yapısı, özgül ağırlığının düşük olması, yüksek sıcaklıklara dayanımının iyi olması ve korozyona karşı direnci sebebiyle böyle geniş ve özel alanlarda kullanım olanağı bulmaktadır. Son yıllarda medikal ve dental alanlarda titanyum metalinin kullanımı belirgin bir artış göstermiştir ve her geçen gün de biyomedikal parçalarda ve dental uygulamalarda kullanımı artmaktadır [2].

Titanyum yaklaşık 25 - 30 yıl önceden beri kemik iç bölgelerine yerleştirilen implantlar olarak kullanılmaktadırlar. Bu tip implantlar saf veya alaşımlı titanyumlardan imal edilirler ve yüzeylerinde oluşan oksit tabakasının inert etkisi, vücut içi sıvısı ile sert ve yumuşak dokunun metal yüzeyini kavramasını sağlar. Titanyum kemik içi implantlar haricinde biyo-uyumlu implant malzemesi olarak da kullanılırlar [2].

Günümüzde titanyum alaşımları protez eklem, damar stentler, dental implantlar, cerrahi splint, mutfak eşyaları, ve takı yapımı gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Titanyum ve alaşımlarının kullanım alanlarına örnekler Şekil 2.2' de verilmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 2.2: Titanyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanlarına Değişik Örnekler
a) Diz Protezi b) Kalça Protezi c) Diş Teli d) İmplant
e) Damar Stenti f) Yüzük [21 -24].

3. MİKRO ARK OKSİDASYON İŞLEMİ

3.1 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Tarihçesi

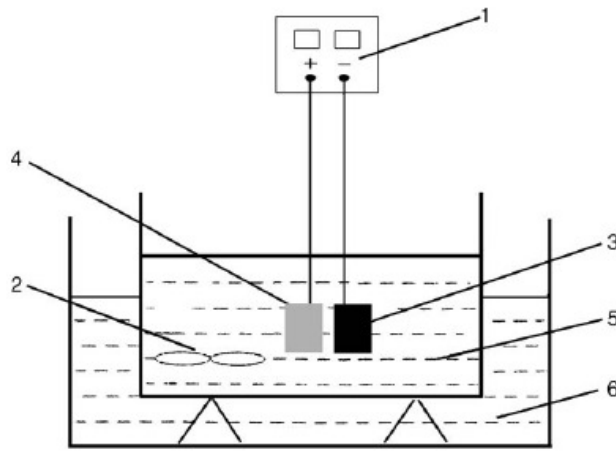
Mikro ark oksidasyon işlemi malzeme yüzeyinde poroz, kısmen kaba ve sağlam yapışmış bir oksit tabakası oluşturulmasını sağlayan henüz gelişmekte olan bir tekniktir. Bu işlem çözünmüş tuzlar içeren elektrolitik bir banyo içerisinde elektrokimyasal oksidasyon ile yüksek voltaj akım davranışını birleştirir [7].

Mikro ark oksidasyon işlemi bundan yaklaşık 40 sene önce şu an ki Ukrayna ve Rusya olarak bilinen Sovyetler Birliği'nde çalışılmaya başlanmıştır. Sovyetler Birliği'nde önceleri akademik ortamlarda yapılan bu çalışmalar daha sonraları denizaltı parçalarının üretimi çerçevesinde askeri uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Mikro ark oksidasyon işlemini Amerika 1970'lerde tanıdı. Bu teknoloji hakkındaki bilimsel veriler 1980'lerin sonunda tüm dünyaya yayılmaya başladı. Günümüzde mikro ark oksidasyon işlemini tanımlamak için pek çok terim kullanılmaktadır. Bunlar; kıvılcım anodizasyonu (spark anodizing), anodik kıvılcım biriktirme (anodic spark deposition), mikro ark anodizasyonu (micro arc anodizing), mikro plazma anodizasyonu (microplasma anodizing), mikro plazma oksidasyonu (mikro plazma oXidation), plazma elektrolitik oksidasyon (plasma electrilitic oXidation) ve elektroplazma oksidasyon (elektro plazma oXidation) [21,22].

Amerika'daki pek çok patentli işleme ek olarak Avrupa KEPLA-COAT, İsrail' de ALMAG-AL adıyla kendi mikro ark oksidasyon teknolojilerini geliştirmişlerdir. Bu ülkelerin yanı sıra Çin, Japonya ve Avustralya da mikro ark oksidasyon teknolojisi uygulamalarına katılmışlardır [23,24].

3.2 Mikro Ark Oksidasyon Düzenegi ve Proses

Mikro ark oksidasyon işlemi en basit haliyle bir elektrik güç kaynağı, bir elektrolit havuzu, anot, katot ve soğutma sisteminden meydana gelmektedir. Tipik bir mikro ark oksidasyon işlemi düzenegi Şekil 3.1’ de gösterilmektedir. Mikro ark oksidasyon işlemi elektrolit çözelti içerisine daldırılmış anot numuneye negatif voltaj, katoda ise pozitif voltaj verilmesi ile anot üzerinde ark oluşturulması ve numunenin yüzeyinin oksit kaplanması olarak tanımlanabilir [25].



Şekil 3.1: Tipik Bir Mikro Ark Oksidasyon Düzenegi 1) Güç Kaynağı 2) Karıştırıcı 3) Anot 4)Katot 5) Elektrolit 6) Soğutma Suyu [25].

Elektrolitler tipik olarak karboksilik asit, vanadat, permanganat, polimer ve dispersant, vb. katışkılar içeren silikat, alüminat, metafosfat, borat ve hidroksitleri içerirler. Paslanmaz çelik, sayaç elektrot gibi dönme olayının gerçekleştiği tankın imalinde kullanılmıştır. Elektrodun sıcaklığı genellikle 10 – 60 C aralığında kontrol edilir. Mikro ark oksidasyon proseslerinde kullanılan elektrik gücü büyük miktarda ısı oluşturduğundan dolayı sıcaklık aralığını korumak için yüksek bir soğutma kapasitesi gereklidir.

Anot numune üzerine negatif voltaj verilmesi ile malzeme yüzeyinde oksit filmi oluşumu başlamaktadır. Uygulanan voltaj belli bir kritik değere geldiğinde malzeme yüzeyinde mikro boyularda arklar oluşmaya başlar. Malzeme yüzeyinde bu mikro boyuttaki arkların oluştuğu voltaj değerine “dielectric breakdown” denmektedir. Bu

kritik değere gelindiğine malzeme yüzeyinde metal iyonları ile hidroksit iyonları zıt yönlerde hareket ederek oksit oluşumunu tekrar başlatırlar [26].

Malzeme yüzeyinde ark oluşumu için kritik potansiyel esasen elektrotun kutupsallığına, elektrodun malzemesi ve içerisinde bulunduğu elektrolitin içeriğine bağlıdır ancak sıcaklık, elektrolit konsantrasyonu ve yüzey geriliminden etkilenmez. Teorik analizler kıvılcım noktalarındaki yerel geçici sıcaklıkların, neredeyse güneşin merkezindeki sıcaklığa yaklaşarak birkaç bin Kelvin'e ulaşabildiğini belirtmektedir.

Bu teknoloji alüminyum, çinko, titanyum alaşımları, bunun yanında magnezyum alaşımları gibi toprak alkali metalleri ile valf metalleri üzerine seramik kaplamalar üretmeyi mümkün kılmaktadır. Oluşan kaplamaların mikro sertlik, korozyon ve aşınma direnci performansı geleneksel anodizasyon prosesleri ile oluşanlar ile karşılaştırılabilir.

3.3 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Avantajları ve Dezavantajları

Mikro ark oksidasyon teknolojisi henüz gelişmekte olan bir teknoloji olduğundan, malzeme yüzeyinde gelişen seramik filmin oluşum ve gelişim mekanizması ile oluşan seramik filmin özelliklerinin tam olarak anlaşılabilmesi için pek çok çalışmanın yapılması gerekmektedir. Fakat bugüne kadar yapılan çalışmalar temel alındığında mikro ark oksidasyon teknolojisinin pek çok avantajı olduğu yalnız bunun yanında bazı dezavantajları da beraberinde getirdiği gözlenmiştir.

Mikro ark oksidasyon teknolojisinde işlem öncesi numune hazırlama işlemi diğer teknolojilere göre daha az önem arz eder. Bu durum üretim sürecinin daha hızlı işlenmesini ve işlem öncesi numune hazırlamada kullanılacak çözeltilerin çevresel etkilerinin en aza indirilmesini sağlar. Mikro ark oksidasyon teknolojisinin diğer bir avantajı ise alüminyum, magnezyum, titanyum, niyobyum, zirkonyum gibi geniş bir malzeme ağına uygulanabilmesi ve geleneksel anodizasyon yöntemi ile kaplanması zor olan yüksek bakır içeren alüminyum alaşımlarının, yüksek silisyum içeren döküm malzemelerin bu yöntem ile kaplanabilmesidir.

Mikro ark oksidasyon işleminde kullanılan çözelti çevreye zarar vermeyen, korozif olmayan, hazırlanması kolay ve ucuz bir karışımdır. Diğer geleneksel anodik oksidasyon işlemlerinde görülen yanma olayı mikro ark oksidasyonda görülmez. Ayrıca mikro ark oksidasyon işlemi sonrası malzemede diğer geleneksel anodik

oksidasyon işlemlerinde görülen kırılma dayanımındaki düşüş görülmez. Bu avantajları mikro ark oksidasyonun diğer geleneksel anodik oksidasyon yöntemlerine göre tercih edilir olmasını sağlamaktadır.

Mikro ark oksidasyon işleminde de diğer işlemlerde olduğu gibi bazı sınırlamalar ve olumsuzluklar mevcuttur.

Mikro ark oksidasyon işlemi seçilen parametrelere bağlı olarak 1000 Volt değerine kadar (ve yaklaşık kapasite olarak 1 MW) enerji sağlayabilecek bir güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Bu yüksek enerji parça türü ve boyutuna bağlı olarak tehlikeli bir üretim süreci oluşturur. Kullanılan enerji miktarı göz önüne alındığında mikro ark oksidasyon işleminde üretim maliyetinin geleneksel anodik oksidasyon yöntemlerine göre fazla olduğu göze çarpar. Ayrıca malzeme yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklık nedeni ile de işlemde kullanılan çözeltinin soğutulması için yüksek kapasiteli bir soğutucuya ihtiyaç duyulacaktır.

İşlem sonucu oluşan seramik kaplama pürüzlü ve oldukça kırılmandır; bu nedenle en dış yüzeyde aşınma direnci oldukça düşüktür. Seramik kaplamanın iç katmanları ise tam tersi bir özellik gösterir. Bu katmanlar oldukça sert ve aşınma dayanımı yüksek bölgelerdir. Fakat malzeme yüzeyinde oluşan bu seramik kaplamanın üst katmanının kaldırılması hem maliyet açısından hem de üretim açısından verimli değildir.

Mikro ark oksidasyonun pek çok avantajının yanında yukarıda belirtilen dezavantajları, bu teknolojinin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır.

3.4 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Uygulama alanları

Mikro ark oksidasyon işlemi otomotiv endüstrisi, uzay endüstrisi, askeri alanda vs. gösterdiği avantajlardan dolayı pek çok uygulama alanı bulabilmektedir. Mikro ark oksidasyon işlemi ile üretilen kaplamalar kalın seramik kaplama istenen uygulamalarda kullanılabilirler. Mikro ark oksidasyon işlemi geleneksel anodik oksidasyon işlemleri ile kaplanamayan yüksek silisyum içeren alüminyum alaşımları ve magnezyum alaşımlarının kaplanmasında kullanılabilirler. Mikro ark oksidasyon işlemi ile üretilen seramik kaplamalar boyalara karşı gösterdiği kuvvetli eğilim ile mükemmel bir boya tabanı görevi görebilirler. Mikro ark oksidasyon işlemi ile üretilmiş kaplamalar yüksek sıcaklık dayanımları ile uzay araçlarında ve roketlerde koruyucu olarak kullanılabilirler ki, bu tür kaplamaların mükemmel dielektrik

özelliğinden faydalanarak yalıtkan ortamlarda kullanılması da mümkündür. Bunlara ek olarak mikro ark oksidasyon işlemi ile üretilen kaplamaların değişik renkleri de, bu yöntemle üretilen malzemelerin mimari uygulamalarda kullanılabileceğini gösterir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada mikro ark oksidasyon işlemi uygulanan ticari saflıktaki titanyum (CP-Ti) ile Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb alaşımların yüzey özelliklerine, parametrelerin etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmalar şu sıra ile gerçekleşmiştir;

- i) Mikro ark oksidasyon işlemi
- ii) Karakterizasyon testleri

4.1 Mikro Ark Oksidasyon İşlemi

Mikro ark oksidasyon işlemlerinde Şekil 4.1’de görülen cihaz kullanılmıştır. Mikro ark oksidasyon cihazı 30 KW gücünde olup, alternatif akımda çalışmaktadır. Mikro ark oksidasyon cihazının maksimum pozitif voltaj değeri 700 volt, maksimum negatif voltaj değeri 300 volt, maksimum pozitif ve negatif akım değeri ise 50 amperdir. Mikro ark oksidasyon cihazında işlem parametreleri olarak negatif ve pozitif voltaj, negatif ve pozitif akım, işlem süresi, çözelti sıcaklığı, pozitif vuruş süresi, negatif vuruş süresi, iki vuruş arası bekleme süresi ve pozitif ile negatif vuruş tekrar sayıları değiştirilebilmektedir.

30 mm (Ti6Al4V, CP-Ti) ve 22mm (Ti6Al7Nb) çapındaki çubuklardan 5 mm kalınlığında kesilen numuneler, 240 – 1200 mesh arasındaki SiC zımparalarla zımparalanıp işleme hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan numuneler mikro ark oksidasyon işlemine girmeden önce saf su ile temizlenmişlerdir.

Mikro ark oksidasyon işlemleri farklı voltajlarda (450 – 500 – 550 – 600 volt) farklı sürelerde (5 ve 10 dakika) ve farklı çözeltilerde (Tablo 4.1) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1: Deneylerde Kullanılan Mikro Ark Oksidasyon Cihazı.

Tablo 4.1: Mikro Ark Oksidasyon İşleminde Kullanılan Elektrolit Çözeltileri

Çözelti 1 Na₃PO₄ + KOH		Çözelti 2 (CH₃COO)₂Ca.H₂O + Na₃PO₄	
Na ₃ PO ₄	6 g/lt	(CH ₃ COO) ₂ Ca.H ₂ O	0,1 mol/lt
KOH	1 g/lt	Na ₃ PO ₄	0,0045 mol/lt
Saf Su	25lt	Saf su	25 lt

4.2 Karakterizasyon Çalışmaları

Mikro ark oksidasyon işlemleri sonrasında numune yüzeylerinin karakterizasyonu; makro ve mikro yüzey incelemeleri, kesit incelemeleri, X ışınları analizi, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, ıslanabilirlik testleri, sertlik ölçümleri ve yapışma testleri ile yapılmıştır.

Makro ve mikro yüzey incelemeleri çıplak gözle ve tarama elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Kesit incelemeleri Leica optik mikroskopta 2400 büyütmede yapılmıştır. X – ışınları incelemeleri GBC MMA 027 model X-ışınları cihazında 28,8 mA, 25kV güç değerlerinde CuK α tüp kullanılarak, 0 – 120° arasında 0,2°' lik artışlar ile tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Islanabilirlik testleri, KSV Cam 200 cihazında hava ortamında ve saf su ile yapılmıştır. Bu testlerde numune üzerine damlattığımız su miktarı 10 μ l olarak sabit tutulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü testleri

Veeco Dectac 6M profilometre cihazında 5mg yük altında, numune yüzeylerinde 5000 µm mesafede tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Sertlik testleri CSM Mikro Sertlik cihazında Vickers uç kullanılarak yapılmıştır. İşlem uygulanmamış ve mikro ark oksidasyon işlemi uygulanmış numune yüzeylerine “multi cycle loading” yöntemiyle artan oranlarda 1000 mN ile 25000 mN aralığında yük uygulanmış ve batma derinliğinin 10 – 20 µm seviyelerinde kalması sağlanmıştır. Rockwell C yapışma testi Zwick Rocwell Sertlik cihazında 150 kg yük ile yapılmış ve Leica optik mikroskop ile izlerin incelemesi yapılmıştır.

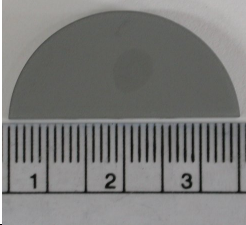
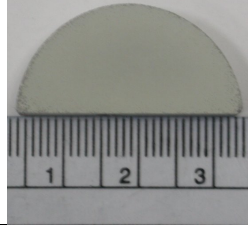
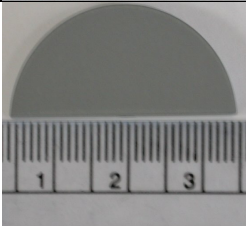
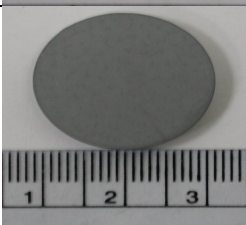
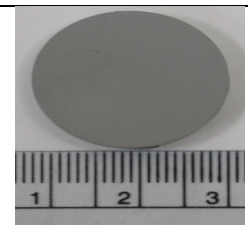
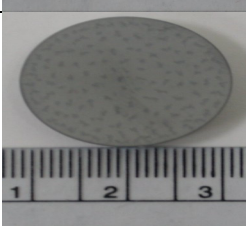
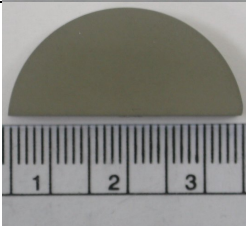
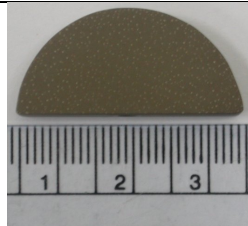
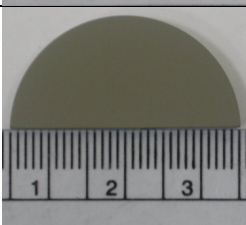
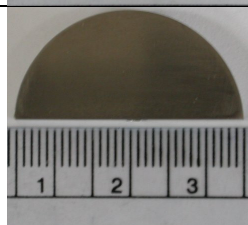
5. SONUÇLAR

5.1 Yüzey İncelemeleri

Bu çalışmada kullanılan CP-Ti, Ti6Al7Nb ve Ti66Al4V numunelerin yüzeylerinde 600 voltta mikro ark oksidasyon işlemi sonrası makro görünüşleri Tablo 5.1’ de verilmiştir. Tüm işlem koşullarında elde edilen numunelerin makro görünüşleri EK A’ da verilmiştir. Mikro ark işlemleri sonrasında CP-Ti ve Ti6Al7Nb numunelerin yüzeyleri griye, Ti6Al4V numunenin yüzeyi ise kahverengine dönüşmüştür. Çözelti 2, Çözelti 1’ e nazaran daha koyu renk oluşturmuştur.

Mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında CP-Ti, Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb numunelerin göz ile makro incelemesi yapıldığında, tüm numune yüzeylerinin homojen şekilde oksit filmi ile kaplandığı görülmüştür. İstisnai olarak 450, 500, 550 ve 600 volt değerlerinde Çözelti 1’ de 10 dakika işlem gören Ti6Al7Nb numune yüzeylerinde artan voltaj ile birlikte 1 mm uzunluğuna varan büyüklüklerde solucanımsı süreksizlikler oluşmaktadır. Artan voltaj ile birlikte yüzeyde artan süreksizliklerin görünümü Şekil 5.1’ de verilmiştir. Benzer duruma Çözelti 2 kullanıldığında rastlanılmamıştır.

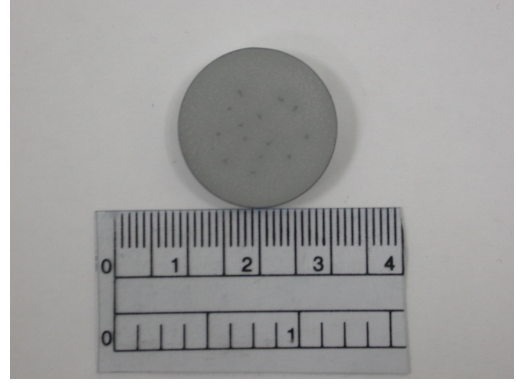
Tablo 5.1: 600 Voltta Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Numunelerin Makro Görünümleri.

		Çözelti 1	Çözelti 2
CP – Ti	5 dakika		
	10 dakika		
Ti6Al7Nb	5 dakika		
	10 dakika		
Ti6Al4V	5 dakika		
	10 dakika		

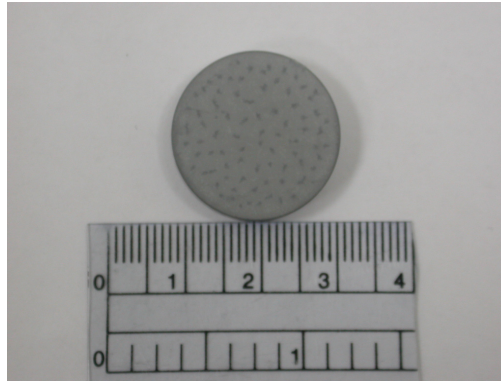
Şekil 5.1’ deki süreksizliklerden iki boyutlu profilometrik görünümü Şekil 5.2’ de verilmiştir. Tüm numune tiplerinde süreksizliklerin derinlikleri 15 μm mertebesinde dir. Söz konusu süreksizliklerin mikro ark işle mi sırasında lokal olarak oluşan kıvılcımların bu bölgede oksit yapısını hasara uğratmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Artan voltaj ile birlikte 700 μm genişliğindeki süreksizliklerin 550 – 600 μm genişliği değerlerine düştükleri görülmüştür.



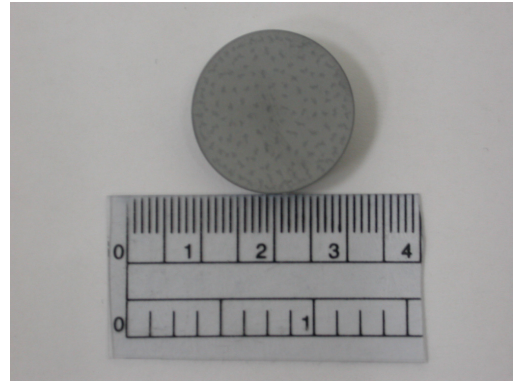
(a)



(b)

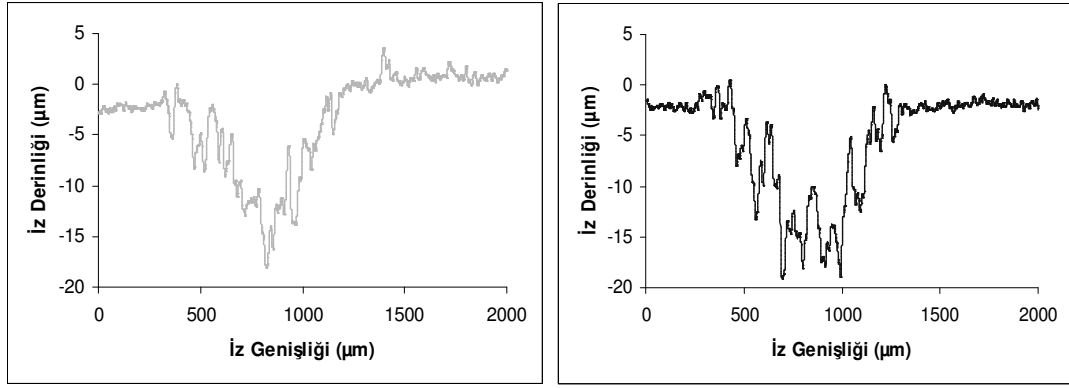


(c)



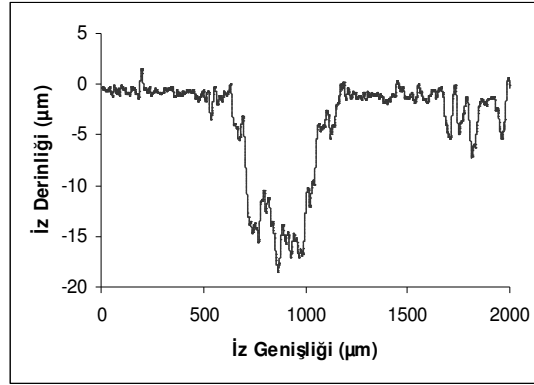
(d)

Şekil 5.1: Artan Voltaj ile Birlikte Çözelti 1 İçerisinde İşlem Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Yüzey Görünümleri a) 450 volt b) 500 volt c) 550 volt d) 600 volt.



(a)

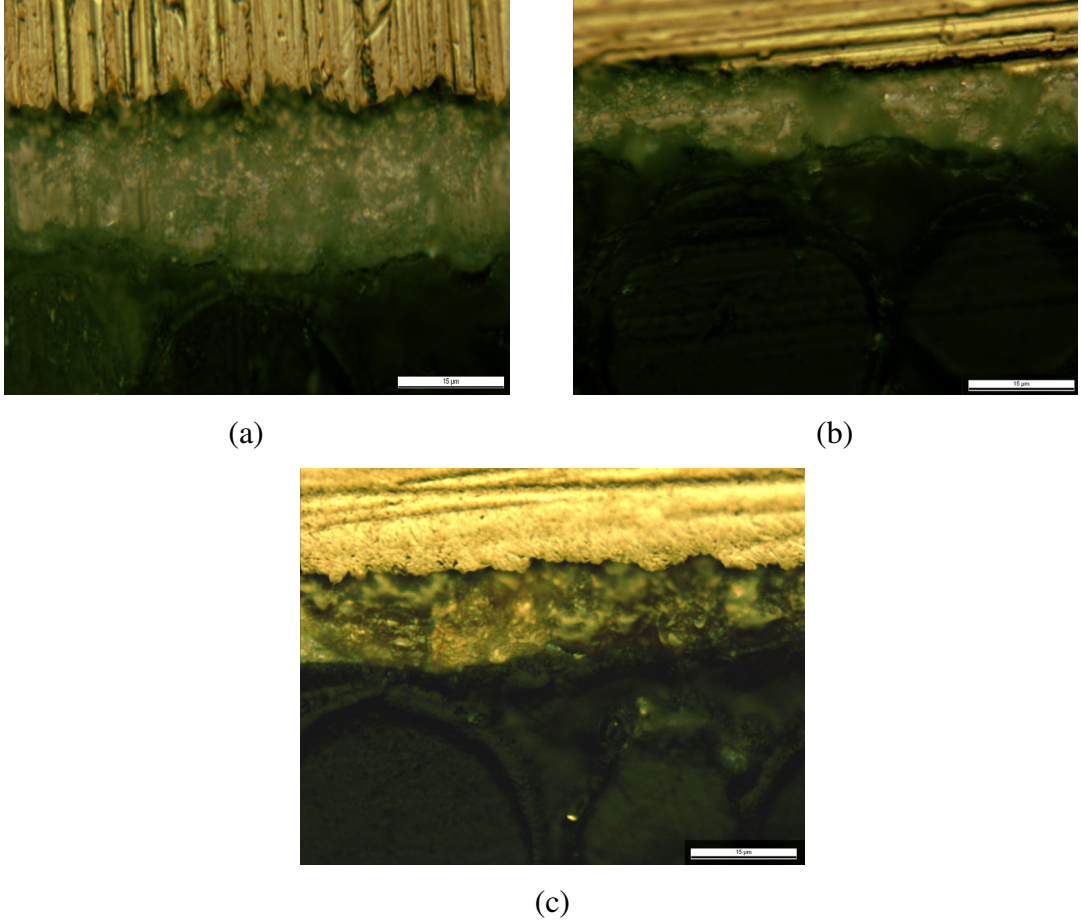
(b)



(c)

Şekil 5.2: Şekil 5.1 ' de Bulunan Süreksizliklerden (a) 500 Volt, (b) 550 Volt ve (c) 600 Volt Değerine Ait İki Boyutlu Profilometrik Görünümler

Şekil 5.3' te 550 volt değerinde Çözelti 2 içerisinde işlem görmüş CP – Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerin kesit görüntüleri verilmiştir. CP – Ti ve Ti6Al4V numunelerin yüzeylerinde oluşan oksit tabakalarının kalınlığı yaklaşık olarak 12 μm civarında iken Ti6Al7Nb numunelerinde oluşan oksit tabakası 22 – 23 μm kalınlığında olduğu görülmüştür. Oluşan oksit tabakasının malzeme yüzeyi ile sorunsuz şekilde yapıştığı belirlenmiştir. Ayrıca oluşan oksit katmanının en üstünde belirgin şekilde bir ölü tabaka görülmemektedir.

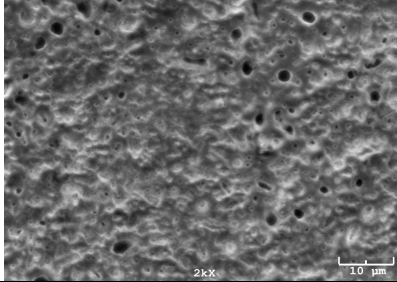
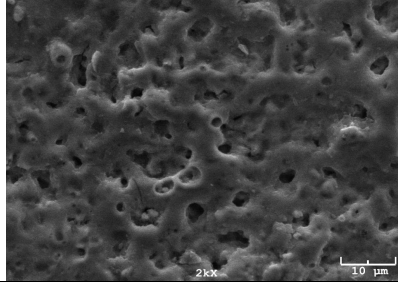
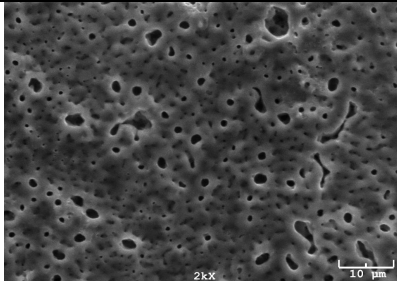
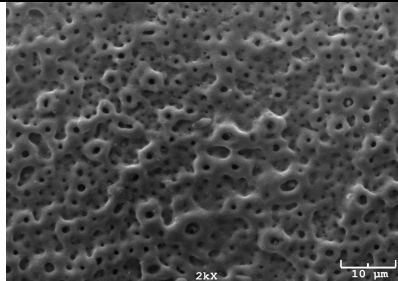
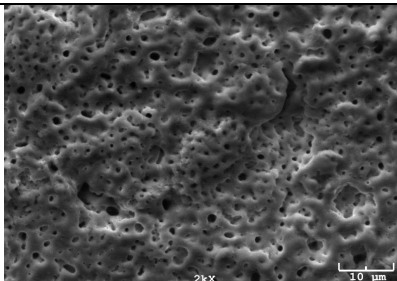
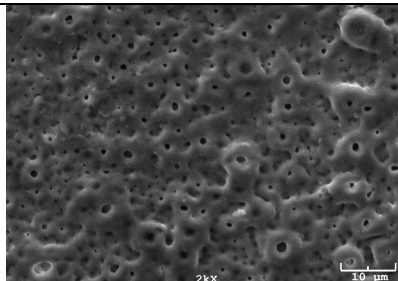


Şekil 5.3: 550 volt değerinde Çözelti 2 içerisinde işlem görmüş (a) Ti6Al7Nb (b) CP – Ti, ve (c) Ti6Al4V numunelerin kesit görüntüleri.

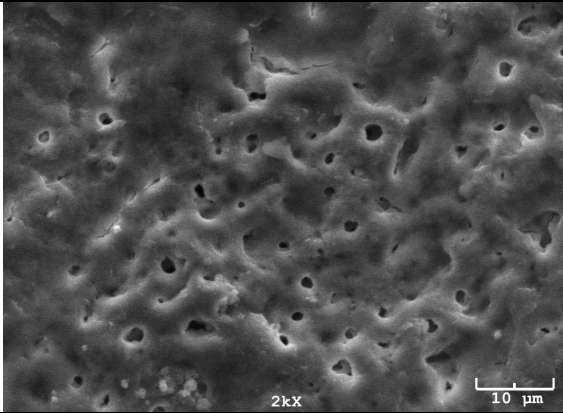
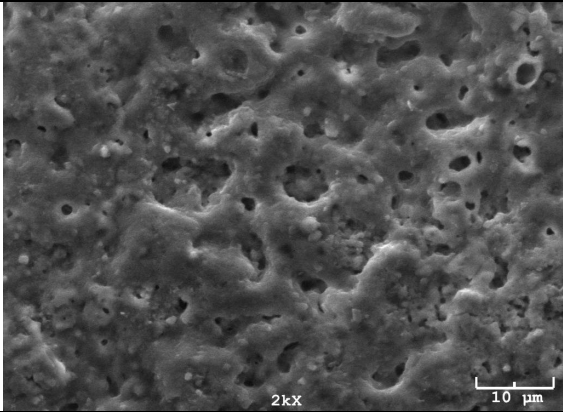
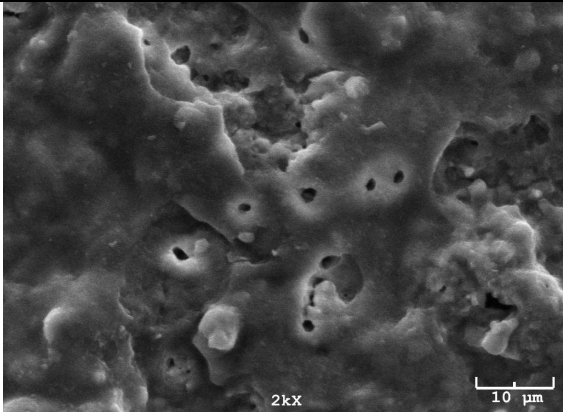
Tablo 5.2’ de Çözelti 1 ve Çözelti 2 içinde 600 volt değerinde 5 dakika mikro ark işlemine tabi tutulan malzemelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Çözelti 1 ve Çözelti 2 içinde değişik voltajlarda 5 dakika mikro ark işlemine tabi tutulan malzemelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri EK B’ de verilmiştir. CP-Ti ile yapılan mikro ark oksidasyon işlemlerinde Çözelti 2’ de Çözelti 1’ e nazaran daha büyük porlar içeren oksit tabakası oluşmuştur. En yoğun porlar 600 volt değerindeki mikro ark oksidasyon sonucunda elde edilmiştir. Çözelti 1 içinde yapılan işlemlerde en çok por sayısı 450 voltta yapılanlarda görülmüştür. Artan voltaj, por sayısını azaltıp por boyutunu büyütülmüştür. Ti6Al7Nb malzemesine Çözelti 1 içerisinde uygulanan mikro ark işlemi sonrasında yüzeyde porlu bir oksidasyon tabakası oluşmuştur. Voltajın 450’ den 550 volt’ a artması, porların birleşerek çatlak oluşturmalarına neden olmuştur. 600 voltta daha homojen bir por dağılımı elde edilmiştir. 600 voltta mikro ark işleminin çözelti 2 içinde yapılmış olması, daha küçük boyutlu çok sayıda porun oksit tabakasında oluşmasına sebep

olmuştur. Ti6Al4V yüzeyinde oluşan oksit tabakasındaki por sayısı, Çözelti 1’ de yapılan işlemlerde 450 volt uygulandığında çok sayıda ve küçük boyutludur. Voltajın artması ile birlikte por boyutunda bir artış olmuştur. Ancak 600 volt değerinde porların sayısı tekrar artarken boyutu küçülmüştür. Benzer durum Çözelti 2 için de geçerlidir. Çözelti 2 içinde 10 dakika mikro ark işlemine tabi tutulan Ti6Al4V numunenin yüzey görünümü ise Tablo 5.3’ te verilmiştir. 10 dakika süreli işlemler 450, 500 ve 550 volt değerlerinde yapılmış olup voltajın artması ile porların birleşerek por sayısının azaldığı görülmüştür.

Tablo 5.2: Çözelti 1 ve Çözelti 2 İçinde 600 Volt Değerinde 5 Dakika Mikro Ark İşlemine Tabi Tutulan Malzemelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.

	Voltaj	Çözelti 1	Çözelti 2
CP – Ti	600		
	600		
Ti6Al7Nb	600		
	600		
Ti6Al4V	600		
	600		

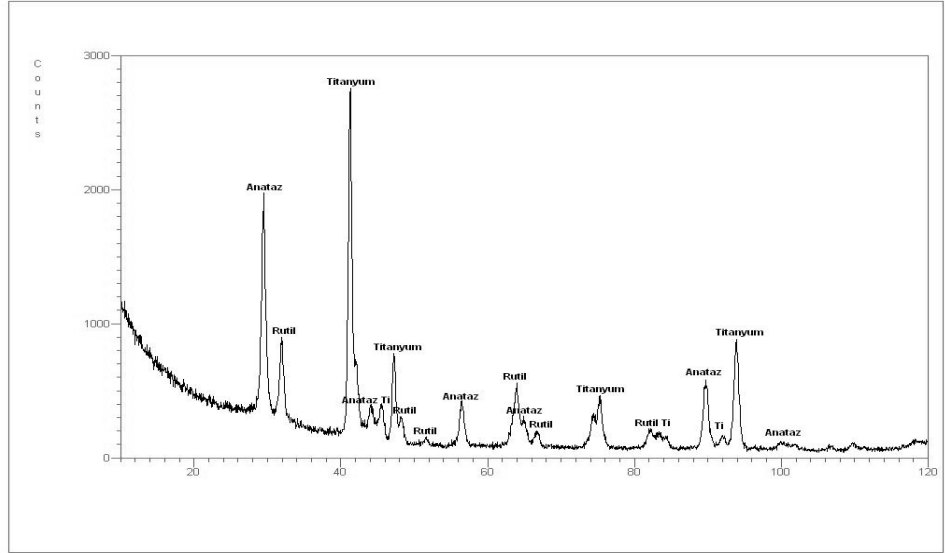
Tablo 5.3: Çözelti 2 İçinde Farklı Voltajlarda 10 Dakika Mikro Ark İşlemine Tabi Tutulan Ti6Al4V Numunenin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

	Voltaj	Çözelti 2
Ti6Al4V	450	
	500	
	550	

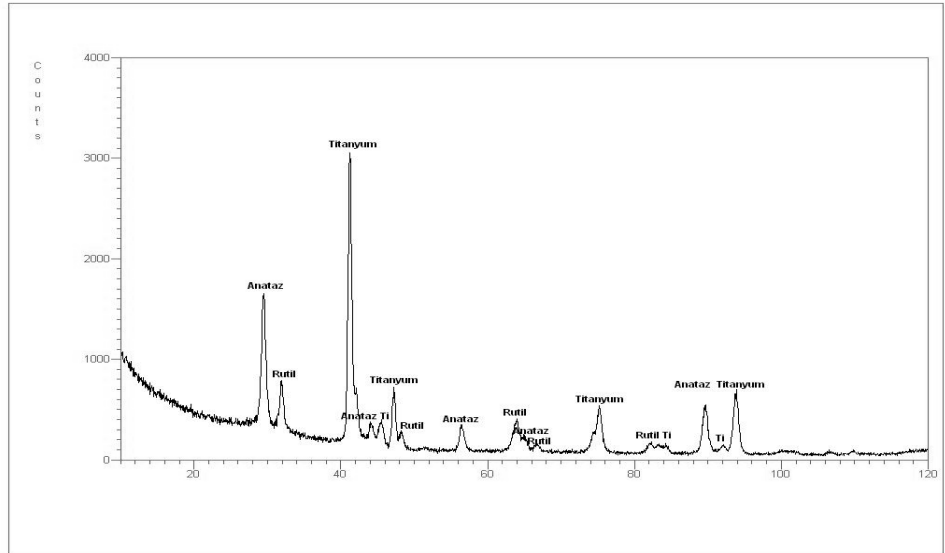
5.2 X-Işınları İncelemeleri

Ti6Al7Nb numunelerin yüzeyinde Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde oluşturulan oksit tabakasının X- ışınları paternleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de verilmiştir. Yüzeyde oluşan poroz kaplamalar, titanyum oksidin anataz ve rutil fazlarından meydana gelmektedir. Geleneksel anodik oksidasyon işlemlerinde, yapıda rutil fazının anataz fazına göre daha baskın olduğu gözlenirken, mikro ark oksidasyon işleminde anataz fazı rutil fazına göre daha baskın olmaktadır. Ayrıca elektrolit çözeltisi içinde bulunan erimiş tuzlar, mikro ark oksidasyon işlemi sırasında oluşan reaksiyon ile parçalanarak titanyum oksidin yapısına katılmaktadırlar. Bu olay ile yapıda oluşan bileşikler, özellikle biyomedikal uygulamalarda mikro ark oksidasyon işlemi ile üretilmiş parçaların diğer yöntemlerle üretilen parçalara göre daha avantajlı olmasını sağlarlar.

Anataz fazı titanyum metalinin yüksek sıcaklıkta oluşan oksit fazıdır. Rutil fazı ise daha düşük sıcaklıklarda titanyum yüzeyinde oluşan titanyum oksit fazı olarak bilinmektedir. Ayrıca mikro ark oksidasyon işleminin genel prensiplerinden bilindiği gibi; mikro ark oksidasyon işlemi sırasında malzeme yüzeyinde çok yüksek sıcaklık ortaya çıkmakta ve bu sıcaklık artan voltaj ile artmaktadır [26].



(a)



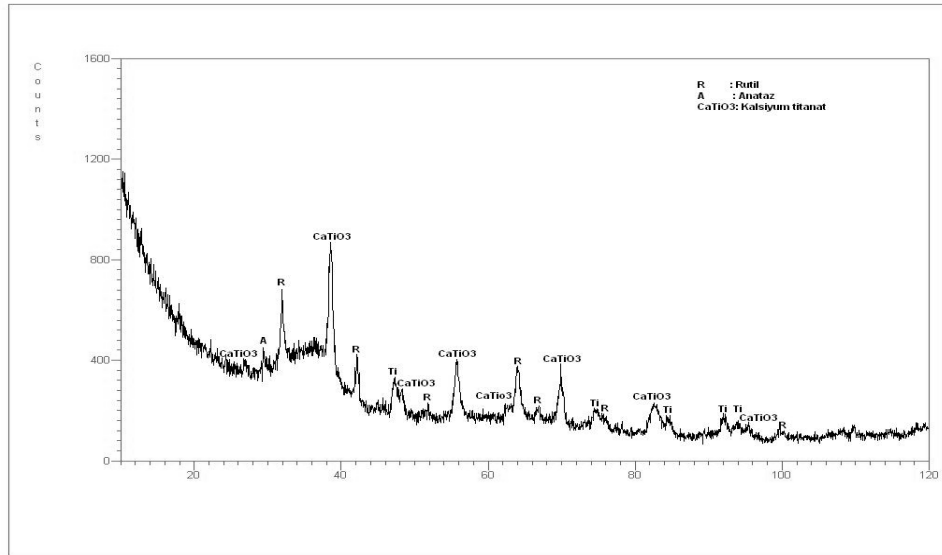
(b)

Şekil 5.4: Çözelti 1 İçerisinde 10 Dakika İşlem Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerinin X - Işınları Analizleri (a) 500 Volt (b) 600 Volt.

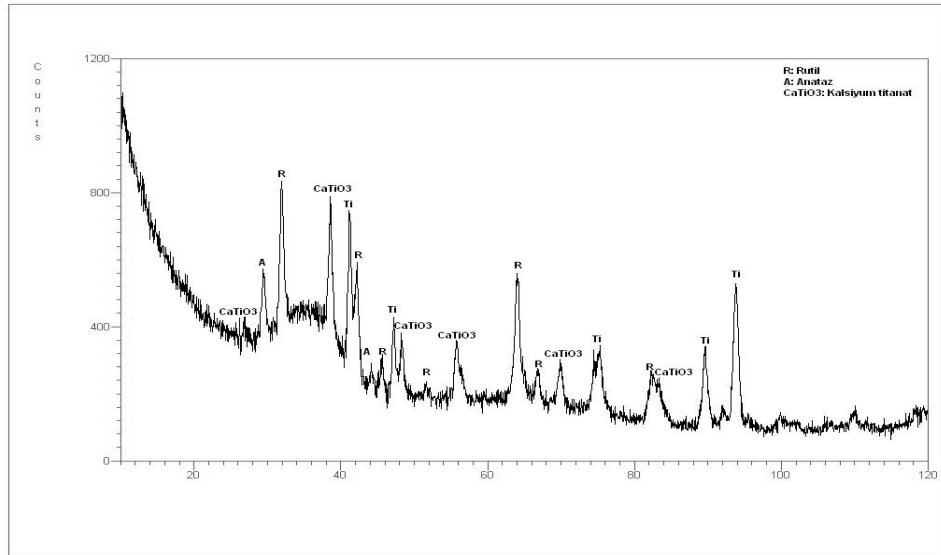
Çözelti 1 içerisinde bulunmasına rağmen Na_3PO_4 ve KOH ' in Ti6Al7Nb numunesinin X - ışınları incelemelerinde ilk olarak belirgin olan durum, çözelti içinde erimiş olarak bulunan sodyum fosfat (Na_3PO_4) ve potasyum hidroksit bileşiklerinin hiçbir şekilde malzeme yüzeyinde oluşan oksit filminin yapısına katılmadığıdır. X ışınları analizlerinden elde edilen sonuçlar oksit tabakasının sadece titanyum oksit fazları olan anataz ve rutilden meydana geldiğini göstermektedir. X - ışınları analizlerinden elde edilen diğer bir sonuç ise malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasında bulunan fazların değişen voltaj değerleri ile birlikte oransal olarak değiştiğidir. Yüksek voltajlarda anataz fazına ait pik şiddeti artmaktadır. Her iki X

ışını analizinde de X ışınlarının oksit tabakasını geçerek daha derinlere nüfuz etmesi sonucu titanyum difraksiyon pikleri de görülmektedir. Fakat artan voltaja bağlı olarak titanyum difraksiyon pik şiddetlerinin düştüğü belirlenmiştir.

Çözelti 2 kullanılan durumlarda Ti6Al7Nb yüzeyinde titanyum, rutil ve anatazın yanı sıra kalsiyum titanat (CaTiO_3) görülmüştür (Şekil 5.4). Bu çözelti içerisinde 450 volt uygulanan numunenin X ışınları analizinde anataz fazına göre daha yüksek şiddetlerde rutil pikleri elde edilmiştir. Fakat çözeltideki bileşiklerin reaksiyonu sonucu oluşan kalsiyum titanat fazının pik şiddetlerinin rutil fazı ile aynı anataz fazından ise yüksektir. 500 volt uygulanan numunenin X ışınları analizinde ise artan voltaj ile birlikte anataz fazı piklerinin şiddetlerinin arttığı ve buna bağlı olarak rutil ve kalsiyum titanat fazı piklerinin şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca X ışınlarının bu analizde oluşan oksit filmini geçerek daha derinlere nüfuz etmesi sonucu titanyum difraksiyon piklerinin analizinde belirgin biçimde şiddetli pikler verdiği görülmüştür.



(a)



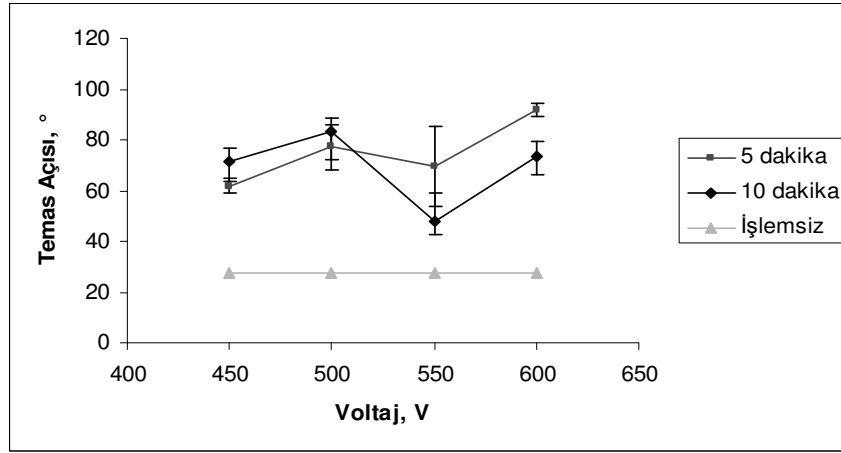
(b)

Şekil 5.5: Çözelti 2 içerisinde 5 Dakika İşlem Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerinin X - Işınları Analizleri (a) 450 Volt (b) 500 Volt.

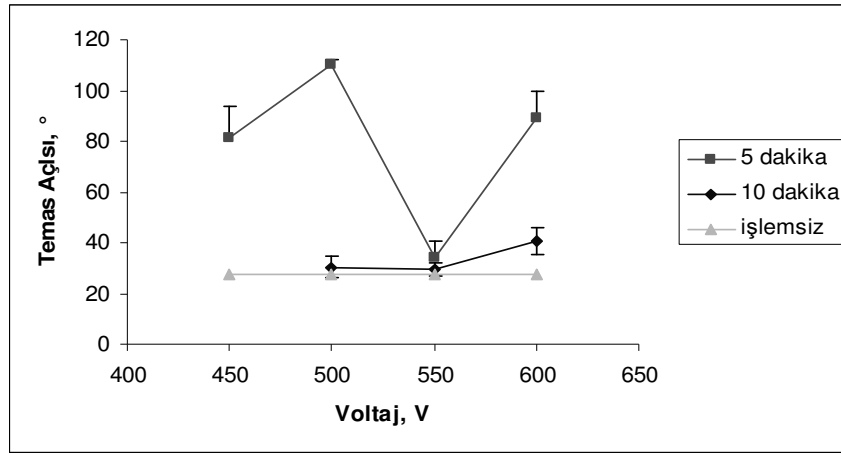
5.3. Islanabilirlik İncelemeleri

Islanabilirlik, termal dengede iken damla ile yüzey arasında oluşan temas açısı olarak tanımlanabilir. Damlanın damlatıldığı yüzeye ve kullanılan sıvıya bağlı olarak damla çeşitli şekiller alabilir. Damla ile yüzey arasındaki temas açısının 0 ile 90 derece arası olması durumunda sıvının ıslatabildiği, temas açısının 90 ile 180 derece olması durumunda damlanın yüzeyi ıslatamadığı söylenir [27].

Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’ de Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 dakika ve 10 dakika işlem görmüş Ti6Al7Nb, CP – Ti ve Ti6Al4V numunelerin ıslanabilirlik değerlerinin değişimi verilmiştir. Çözelti 1 içerisinde 5 dakika ve 10 dakika işlem görmüş Ti6Al7Nb numunelerin artan voltaj ile birlikte paralel bir değişim gösterdiği görülmüştür. 500 volt değerine kadar yakın ıslanabilirlik açısı değerleri gösteren numuneler, 550 volt ve 600 volt değerlerinde farklılık göstermektedirler. Çözelti 1 içerisinde 5 dakika mikro ark oksidasyon işlemi görmüş numune 550 volt ve 600 volt değerlerinde daha yüksek ıslanabilirlik açısı değerleri göstermektedir. Çözelti 2 içerisinde işlem 5 dakika süreyle mikro ark oksidasyon işlemi görmüş numune dalgalı bir ıslanabilirlik açısı değişimi gösterirken, 10 dakika işlem görmüş numunenin ıslanabilirlik açısı değerleri çok fazla bir değişim göstermemiştir.



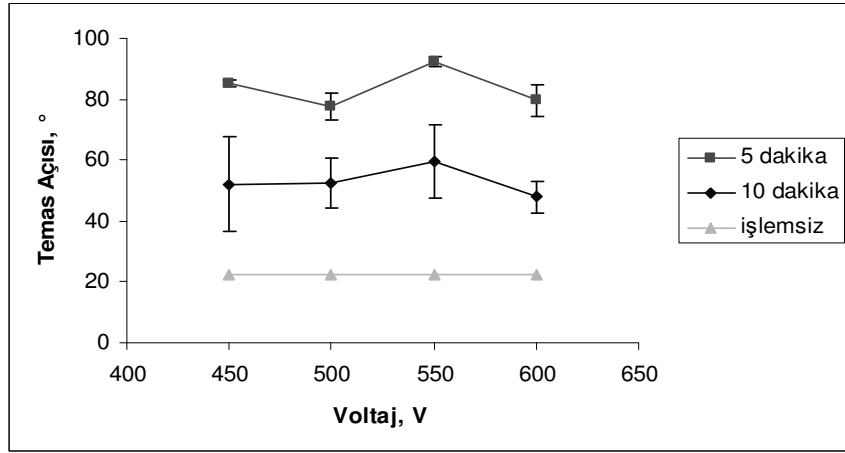
(a)



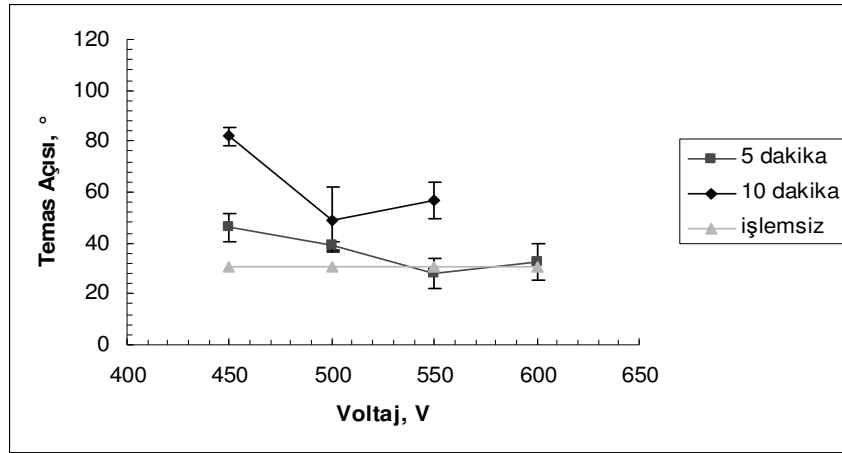
(b)

Şekil 5.6: Ti6Al7Nb Numunelerin (a) Çözelti 1 ve (b) Çözelti 2 İçinde Yapılan Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Sonrasında Yapılan İslanabilirlik Testlerinde Elde Edilen Temas Açısı Değerlerine Voltajın Etkisi.

Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde mikro ark oksidasyon işlemi görmüş CP – Ti numunelerin ıslanabilirlik değerlerinin voltaj ile değişimi Şekil 5.7’ de verilmiştir. Çözelti 1 içerisinde işlem gören CP – Ti numunelerden 5 dakika işlem görmüş olanların ıslanabilirlik değerlerinin 10 dakika işlem görmüş numunelerin ıslanabilirlik değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Çözelti 2 içerisinde işlem görmüş CP – Ti numunelerde ise tam tersi bir durum söz konusudur. Bu çözelti içerisinde işlem gören numunelerden 10 dakika mikro ark oksidasyon işlemi görenlerin 5 dakika mikro ark oksidasyon işlemi görenlerden daha yüksek ıslanabilirlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.



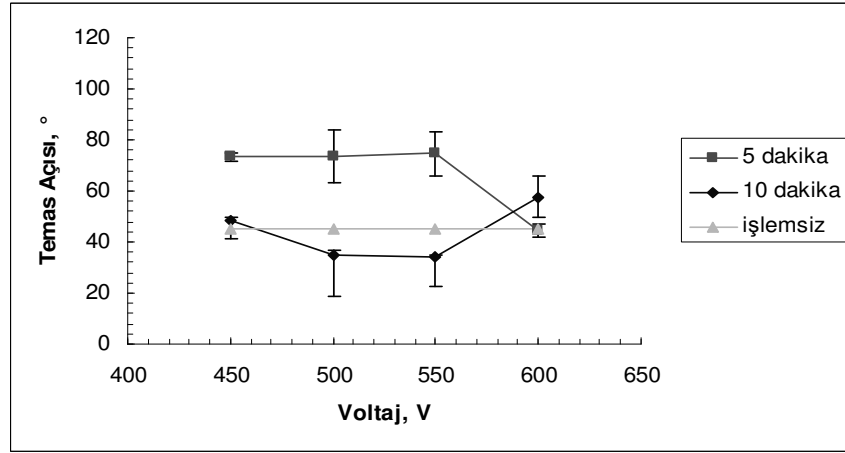
(a)



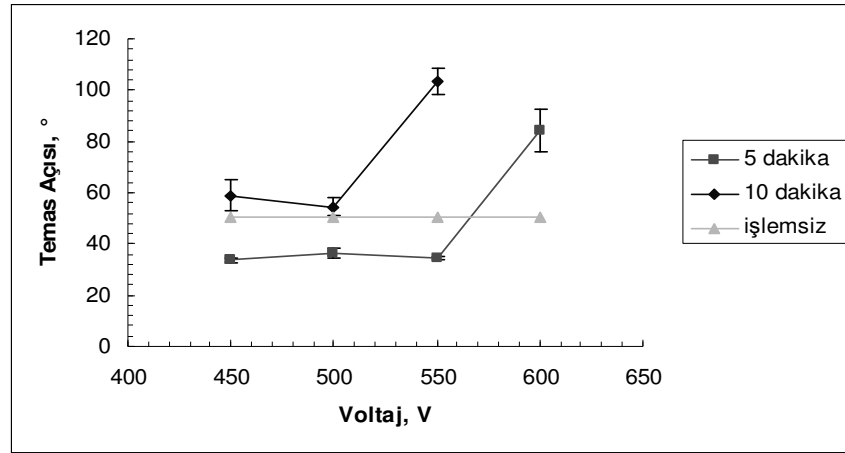
(b)

Şekil 5.7: CP - Ti Numunelerin (a) Çözelti 1 ve (b) Çözelti 2 İçinde Yapılan Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Sonrasında Yapılan İslanabilirlik Testlerinde Elde Edilen Temas Açısı Değerlerine Voltajın Etkisi.

Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde mikro ark oksidasyon işlemi görmüş Ti6Al4V numunelerin ıslanabilirlik değerlerinin voltaj ile değişimi Şekil 5.8’ de verilmiştir. CP – Ti numunelerde olduğu gibi Ti6Al4V numunelerin de Çözelti 1 içerisinde 5 dakika işlem görmüş olanları 10 dakika işlem görmüş olanlarına göre daha yüksek ıslanabilirlik değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Çözelti 1 içerisinde 5 dakika işlem görmüş numunelerin ıslanabilirlik değerleri 600 volt değerinde düşüş gösterirken, 10 dakika işlem görmüş numunelerin ıslanabilirlik değerleri 600 volt değerinde artış göstermiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.8: Ti6Al4V Numunelerin (a) Çözelti 1 ve (b) Çözelti 2 İçinde Yapılan Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Sonrasında Yapılan Islanabilirlik Testlerinde Elde Edilen Temas Açısı Değerlerine Voltajın Etkisi.

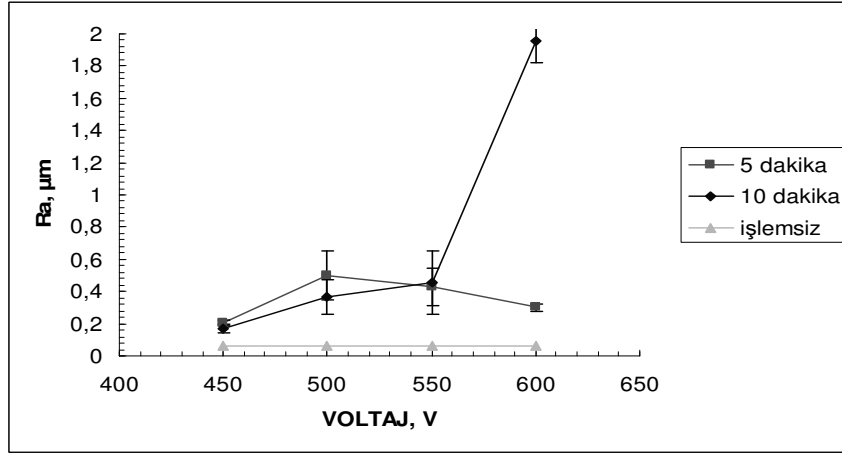
5.4 Yüzey Pürüzlülüğü İncelemeleri

Malzemelerde yüzey pürüzlülüğü ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri olan Ra değeri ile ifade edilir. Ra değerinin birimi mikrometredir. Ra değeri hesaplanırken malzeme yüzeyindeki tepeliklerin yükseklikleri ve çukurların derinlikleri göz önüne alınarak ortalama bir pürüzlülük değeri elde edilir. Mikro ark oksidasyon işlemi görmüş ve işlem görmemiş numuneler aynı şartlar altında incelenerek ortalama pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır. İşlem görmemiş titanyum alaşımlarının ortalama pürüzlülük değerleri Tablo 5.2’ de verilmiştir.

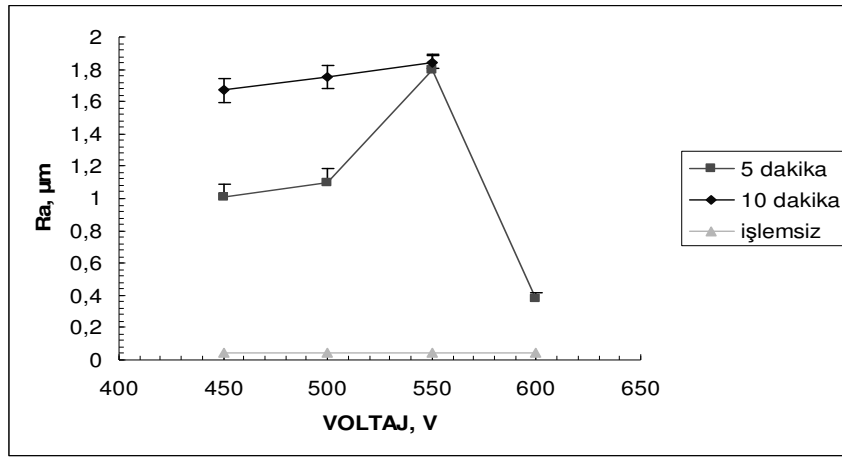
Tablo 5.4: İşlem Görmemiş CP – Ti, Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb Numunelerin Ra Değerleri.

Numune	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
CP-Ti	0,034274
Ti6Al4V	0,027075
Ti6Al7Nb	0,014418

Şekil 5.9’ de mikro ark oksidasyon işlemi ile Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika işlem görmüş Ti6Al7Nb numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişimi verilmiştir. Çözelti 1 içerisinde 5 dakika mikro ark oksidasyon işlemi görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri ile 10 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri 550 volt değerine kadar birbirine yakın bir seyir izlemektedir. 600 volt değerinde 10 dakika işlem görmüş numunenin yüzey pürüzlülüğü ani bir yükseliş göstermiştir. 10 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğünün aniden artışı, artan voltaj ile birlikte malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasının üstündeki porların birleşerek kaplama yüzeyinde çatlaklar oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Çözelti 2 içerisinde işlem görmüş numunelerden 10 dakika işlem görenler 5 dakika işlem görenlere göre daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri göstermiştir. Ayrıca 5 dakika işlem görmüş numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri 600 voltta 1,8 μm değerlerinden 0,4 μm değerlerine düşmektedir. 5 dakika işlem görmüş numunenin yüzey pürüzlülüğündeki ani düşüş malzeme yüzeyinde oluşmuş olan poroz oksit tabakasının üstünün yeni oluşan bir oksit tabakası ile kaplanması ve por çaplarının küçülmesinden kaynaklanmaktadır.



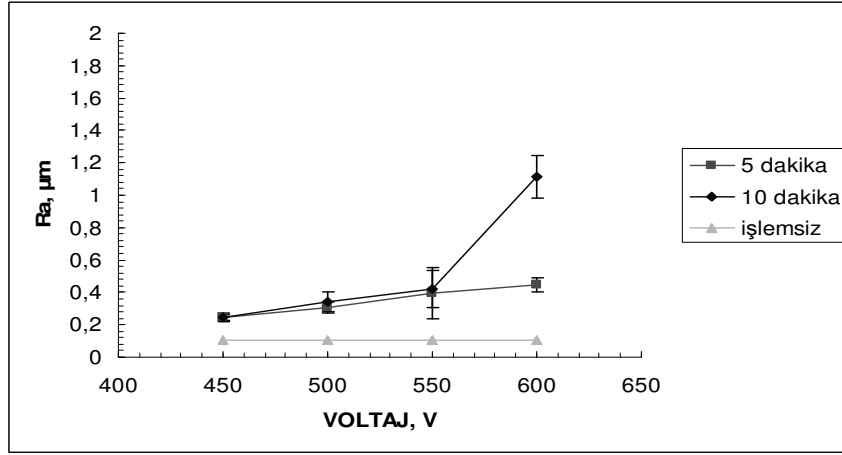
(a)



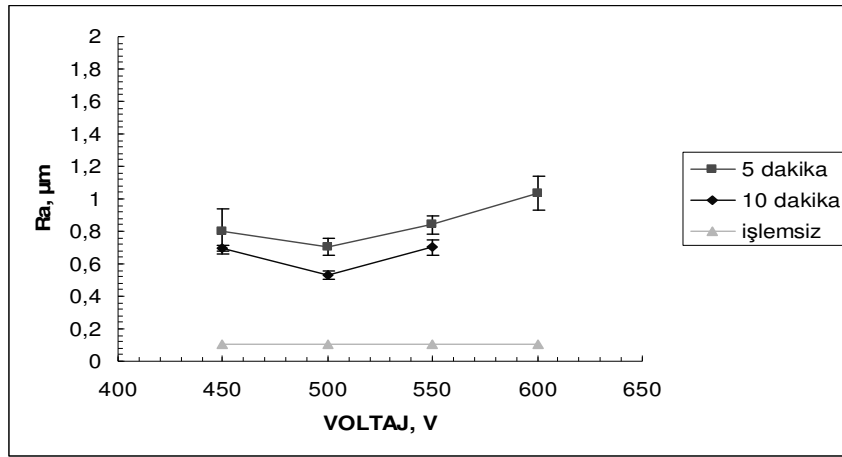
(b)

Şekil 5.9: Ti6Al7Nb Numunelerin (a) Çözelti 1 ve (b) Çözelti 2 İçinde Yapılan Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Sonrasında Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerine Voltajın Etkisi.

Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika süreyle mikro ark oksidasyon işlemi görmüş CP–Ti numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin değişimi Şekil 5.10’da verilmiştir. CP –Ti numunelerin Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde mikro ark oksidasyon yapılan her iki koşulda da yüzey pürüzlülüğü değerleri artan voltaj ile birlikte artmaktadır. Çözelti 1 içerisinde 10 dakika işlem görmüş numunenin yüzey pürüzlülüğü değeri, 5 dakika işlem görmüş yüzey pürüzlülüğü değerinden özellikle 600 voltta daha yüksek değerler vermektedir. 600 volt değerinde yüzey pürüzlülüğü değerindeki ani artış, oluşan oksit kaplama yüzeyindeki porların artan voltaj ile çatlağa dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Çözelti 2 içerisinde ise 5 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri 10 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüklerinden daha yüksektir.



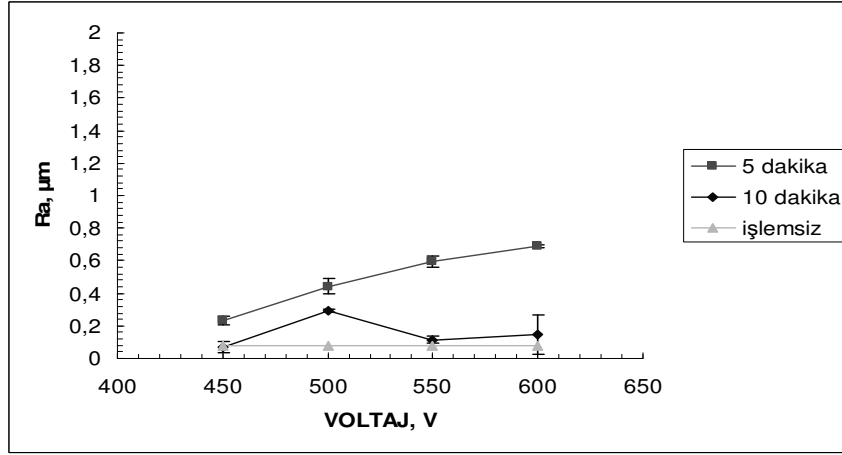
(a)



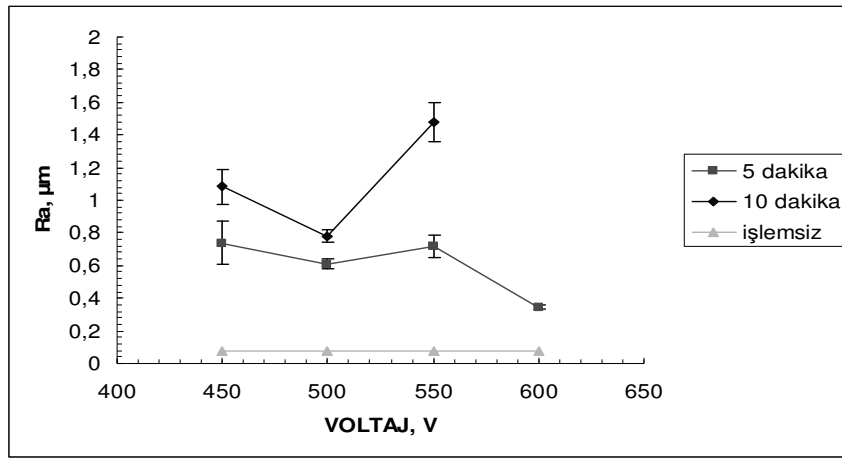
(b)

Şekil 5.10: CP - Ti Numuneler (a) Çözeltili 1 ve (b) Çözeltili 2 İçinde Yapılan Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Sonrasında Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerine Voltajın Etkisi.

Çözeltili 1 ve Çözeltili 2 içerisinde 5 ve 10 dakika işlem görmüş numunelerin artan voltaj ile yüzey pürüzlülüğü değişimleri Şekil 5.11' de verilmiştir. Çözeltili 1 içerisinde 5 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri, 10 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinden daha yüksek değerler olduğu görülmüştür. Çözeltili 2 içerisinde işlem görmüş numunelerde ise 10 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 5 dakika işlem görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğünden daha yüksek olduğu görülmüştür.



(a)



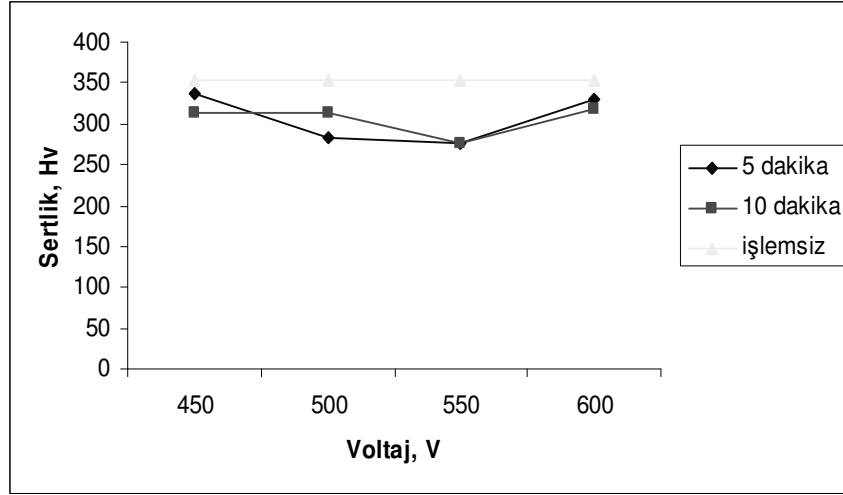
(b)

Şekil 5.11: Ti6Al4V Numuneler (a) Çözelti 1 ve (b) Çözelti 2 İçinde Yapılan Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Sonrasında Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerine Voltajın Etkisi.

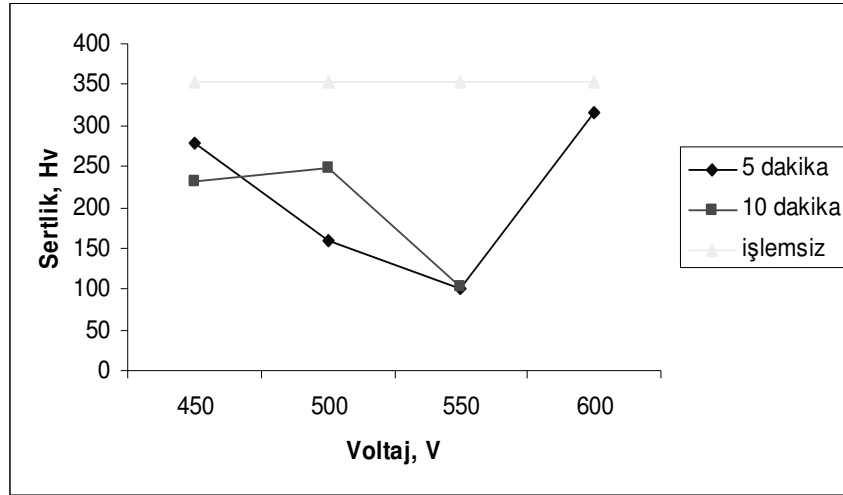
5.5 Yüzey Sertlik Ölçümleri

Mikro ark oksidasyon işleminin yüzey sertliğine etkisinin “multi cycle loading” yönteminde, 1000 mN ile 25000 mN aralığında numune yüzeyine yük uygulanmıştır. Yöntemde malzeme yüzeyine yük uygulama işlemi 20 kere yapılmış ve her yük uygulama 60 saniye sürmüştür, ikinci yüke geçerken ise uygulanan yük %10 azaltılıp ikinci yük uygulanmıştır. Bu işlemde maksimum yük 25000 mN’ da sabitlenerek malzeme yüzeyine batıcı ucun batma derinliğinin 10 – 20 µm aralığında kalması sağlanmıştır. Mikro ark oksidasyon işlemi görmüş numunelerin sertlik değerlerinin karşılaştırması yapılırken, tüm numunelerin üzerlerinde oluşmuş olan oksit filmlerinin yüzeyden 10 µm derinlikte ölçülen sertlik değerleri temel alınmıştır.

Mikro ark oksidasyon işlemi ile Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 ve 10 dakika işlem görmüş Ti6Al7Nb numunelerin sertlik değerlerinin değişimi Şekil 5.12’ de verilmiştir. Çözelti 1 içerisinde işlem görmüş numunelerden 10 dakika işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri 5 dakika işlem görmüş numunelerin sertlik değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki koşulda da sertlik değeri 300 – 350 HV aralığında değişmektedir.



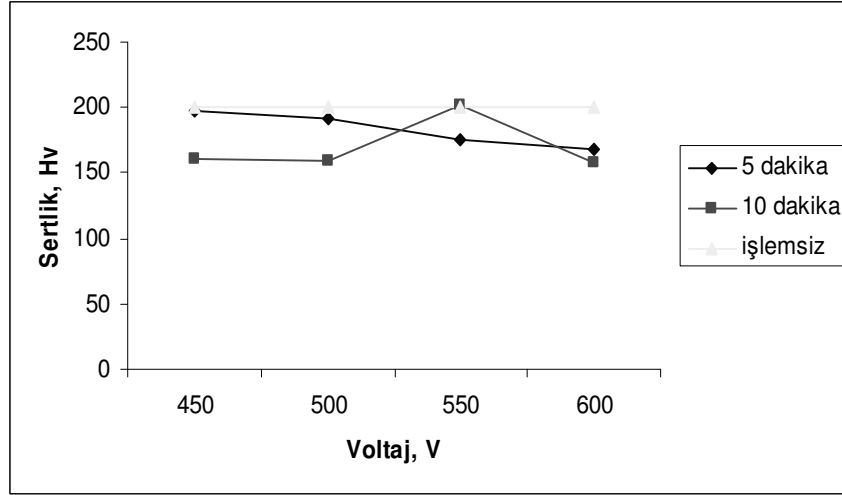
(a)



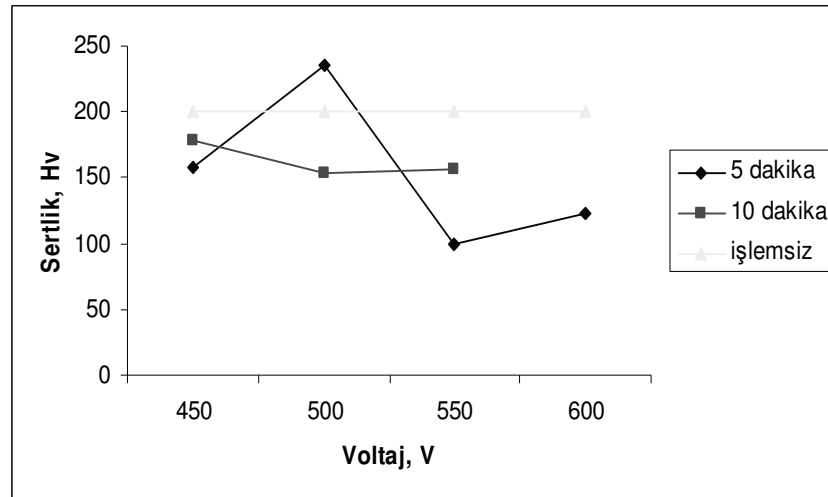
(b)

Şekil 5.12: (a)Çözelti 1 ve (b) Çözelti 2 İçerisinde 5 ve 10 Dakika İşlem Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Sertlik Değerleri.

Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde işlem görmüş CP – Ti numunelerin sertlik değerlerinin voltaj değerleri ile değişimi Şekil 5.13’ de verilmiştir. Çözelti 1 içerisinde işlem görmüş numuneler 150 – 250 HV aralığında sertlik değerleri göstermektedirler. Çözelti 1 içerisinde 5 dakika işlem görmüş numunelerin sertlik değerlerinin, 10 dakika işlem görmüş numunelerin sertlik değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.



(a)

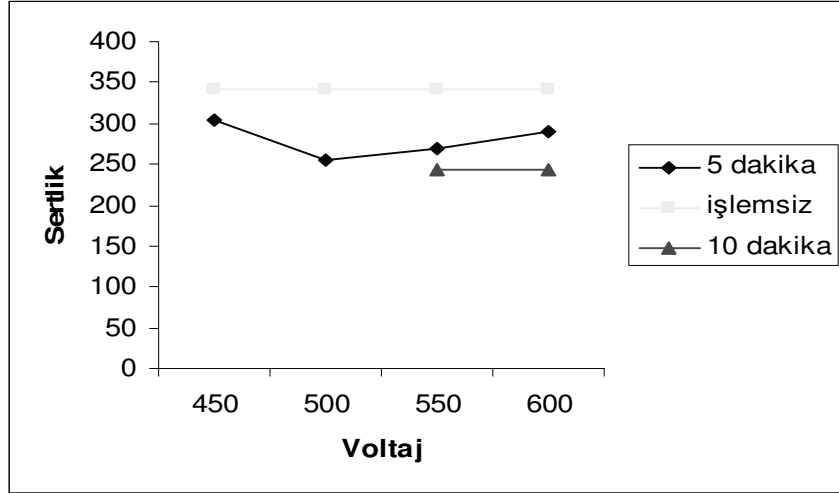


(b)

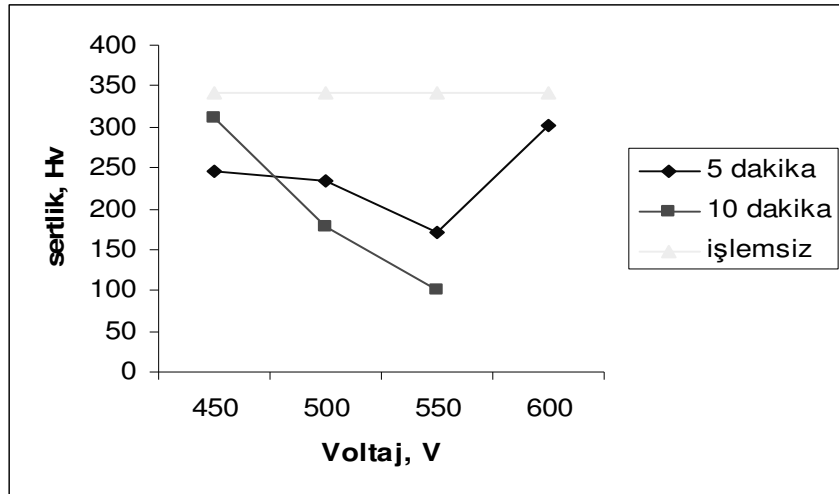
Şekil 5.13: (a)Çözelti 1 ve (b)Çözelti 2 İçerisinde 5 ve 10 Dakika İşlem Görmüş CP-Ti Numunelerin Sertlik Değerleri.

Çözelti 1 ve Çözelti 2 içerisinde 5 dakika ve 10 dakika işlem görmüş Ti6Al4V numunelerin sertlik değerleri Şekil 5.14’de verilmiştir. Çözelti 1 içerisinde 5 dakika

işlem görmüş numunenin sertlik değerlerinin 10 dakika işlem görmüş numunenin sertlik değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Çözelti 2 içerisinde de 5 dakika işlem görmüş numunenin sertliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. 10 dakika işlem görmüş numunenin sertliği artan voltaj ile artmaktadır.



(a)



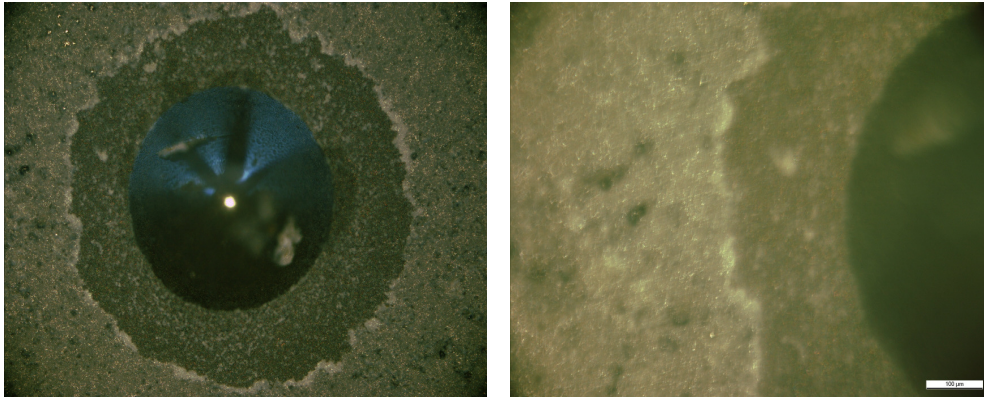
(b)

Şekil 5.14: (a) Çözelti 1 ve (b) Çözelti 2 İçerisinde 5 ve 10 Dakika İşlem Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Sertlik Değerleri.

5.5 Rockwell C Yapışma Deneyleri

Rockwell C testi kaplamaların yapışma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en pratik yöntemlerden biridir. Almanlar tarafından geliştirilip standartlaştırılan bu yöntemde yapışma HF1 ile HF6 arasında değişen bir sınıflandırma ile incelenir. Altlık malzemesi ile kaplama arasındaki yapışmanın değerlendirilmesi ile ilgili sınıflandırma EK C’ de Şekil C.13’te verilmiştir.

Mikro ark oksidasyon işlemi ile yüzeylerinde oksit tabakası oluşturulmuş numunelere uygulanan Rockwell C yapışma deneyleri sonucunda elde edilen görüntü Şekil 5.15’ te verilmiştir. Tüm numunelerin deney sonrası görüntüleri EK C’ de verilmiştir. EK C’ de Şekil C.13’te verilen standart Rockwell C yapışma testi patern görüntüleri ile karşılaştırıldığında mikro ark oksidasyon ile oluşturulan titanyum oksit kaplamaların tümünün HF6 tipi bir yapışma karakteri gösterdiği görülmüştür. Rockwell C izi çevresinde bölgesel olarak bir kalkma gözlenmiştir. Standart Rockwell C patentlerinde HF1’ den HF6’ ya doğru ilerlemesi yapışmanın kötüleştiğini belirtir. Fakat yapılan incelemelerde mikro ark oksidasyon işlemi ile yüzeyde oluşturulan titanyum oksit filminin Rockwell C testi ile kalkmadığı aksine işlem sırasında oluşan ve mekanik özellikleri çok düşük olan ölü katmanın bu test sırasında HF6 patentinde görülen şekil gibi bölgesel olarak kalktığı gözlemlenmiştir. Buradan yola çıkarak mikro ark oksidasyon işlemi ile oluşturulan titanyum oksit filminin yapışma özelliğinin kötü olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.15: Rockwell C yapışma testi sonrası numunelerde elde edilen görüntü
(a) 100 büyütme (b) 200 büyütme.

6. GENEL SONUÇLAR

$\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi ve $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde 450, 500, 550, 600 volt değerlerinde 5 dakika ve 10 dakika mikro ark oksidasyon işleminin CP – Ti, Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb numuneler üzerinde oluşan oksit filmin özelliklerine etkileri aşağıda sıralanmıştır.

1. Mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında numunelerin tüm yüzeylerinde homojen oksit tabakası oluşmuştur. CP – Ti ve Ti6Al7Nb numunelerin yüzeyleri gri renk, Ti6Al4V numunelerin yüzeyleri kahverengi renk almıştır. Mikro ark oksidasyon işlemi uygulanmış tüm numuneler içerisinde $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi içerisinde işlem görmüş Ti6Al7Nb numunelerin yüzeylerinde 1 mm boyutlarına varan süreksizlikler görülmüştür.
2. $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi içerisinde işlem görmüş CP – Ti, Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb numunelerin yüzeyleri poroz bir yapı halindedir. Artan voltaj ile oksit tabakası üzerinde oluşan porlar büyüyerek birleşip çatlaklar oluşturmuşlardır. $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde işlem görmüş numunelerin yüzeylerinde ise artan voltaj ile birlikte por sayısı azalmış fakat por çapları büyümüştür. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasını oluşturan fazlar incelendiğinde $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi içerisinde işlem görmüş numunelerin yüzeyinde oluşan oksit tabakasının sadece rutil ve anataz fazlarından meydana geldiği ve artan voltaj ile anataz fazı oranının arttığı görülmüştür. $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde işlem görmüş numunelerin yapısında ise rutil ve anataz fazı yanı sıra kalsiyum titanat (CaTiO_3) fazı görülmüştür.
3. $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi içerisinde işlem görmüş CP–Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerin ıslanabilirlik değerlerinin $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde işlem görmüş numunelerin ıslanabilirlik değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Her üç numune tipi için de işlem süresinin artmasının, her iki çözelti tipinde de kaplamaların ıslanabilirlik değerlerini

düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca her üç numune tipinde ve her iki işlem süresinde de malzeme yüzeyinde oluşan oksit filminin ıslanabilirliği benzer şekilde değişim göstermektedir.

4. CP-Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerde mikro ark oksidasyon işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğü, işlem görmemiş numunelerin yüzey pürüzlülüğüne göre artış göstermiştir. Ti6Al7Nb alaşımı numuneler mikro ark oksidasyon işlemi sırasında uygulanan voltaj değerleri ile birlikte, özellikle 550 volt değerinden sonra yüzey pürüzlülüğü değerlerinde çok büyük değişim göstermiştir. CP-Ti ve Ti6Al4V numuneler ise $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi içerisinde değişik voltajlarda mikro ark oksidasyon işlemi gördüklerinde değişen voltaj ile birlikte lineer bir artış göstermektedir. $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde mikro ark oksidasyon işlemi görmüş CP-Ti ve Ti6Al4V numuneler ise artan voltaj ile dalgalı bir yüzey pürüzlülüğü değişimi göstermektedir.
5. CP-Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerin $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi ve $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde mikro ark oksidasyon işlemi sonrası ölçülen yüzey sertlikleri değerleri işlem görmemiş CP-Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerin sertlik değerlerinden daha düşük değerler göstermektedir. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit filmi poroz süngerimsi bir yapıya sahip olduğu için özellikle en üst kısımdaki oksit filmleri oldukça düşük sertlik değerleri vermektedir. CP-Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerin sertlik değerlerinin artan voltaj değerleri ile birlikte düzenli sonuçlar vermediği görülmüştür. Artan voltajlar ile yüksek oranlarda düşüş ve yükselişlerin olmasının sebebi malzeme yüzeyinde oluşan oksit filminin oldukça büyük ve geniş porlardan oluşabilmesi ve sertlik ölçümünde kullanan Vickers ucun temas ettiği oksit tabakasının altına geçerek sertlik ölçümünü için gerekli teması sağlayamamasıdır.
6. CP-Ti, Ti6Al7Nb ve Ti6Al4V numunelerin $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{KOH}$ çözeltisi ve $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_3\text{PO}_4$ çözeltisi içerisinde mikro ark oksidasyon işlemi sonrası yüzeyde oluşan titanyum oksit filminin Rockwell C izleri standart paternler ile karşılaştırıldığında; oluşan izlerin HF6 paterni ile uyduğu görülmüştür. HF6 paterninin kötü bir yapışma özelliğini temsil ettiği bilinmektedir fakat numunelerde kalkan bölgenin yüzeyde oluşan ölü tabaka olduğu ve alt kısımda oksit filminin durduğu görülmüştür.

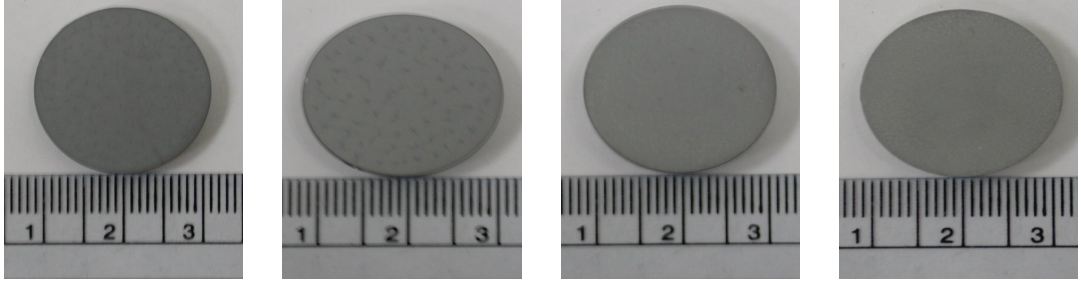
KAYNAKLAR

- [1] **Song, W., Jun, Y., Han, Y., and Hong, S.**, 2004. Biomimetic apatite coatings on micro-arc oxidized titania, *Biomaterials*, **25**, 3341-3349
- [2] <http://www.ido.org.tr/default.asp?ID=702>
- [3] **ASM Metals Handbook**, 9. Editin, Volume 3 Properties and Selection : Stainless Steels, Tool Materials and Species-Purpose Metals Titanium and Titanium Alloys, 352
- [4] **Beazley, T.M.**, 1996. Events and trends in metal and materials commodities, *Journal of the Minerals Metals&Materials Society*
- [5] **Meyer, S., Gorges, R., and Kreisel, G.**, 2004. Preparation and characterisation of titanium dioxide films for catalytic applications generated by anodic spark deposition, *Thin Solid Films*, **450**, 276-281
- [6] http://www.dunyam.com.tr/devami.php?duyuru_id=10&ileri=2
- [7] **Chen, J., Shi Y., Wang, L., Yan, F., and Zhang, F.**, 2006. Preparation and properties of hydroxyapatite-containing titania coating by micro-arc oxidation, *Materials Letters*
- [8] **Baydur, G.**, 1981. Malzeme, Milli Eğitim Bakanlığı Devlet Kitapları, İstanbul
- [9] http://www.odevsitesi.com/odevler/2005_7/133981-titanyum.htm
- [10] **ASM Metals Handbook**, 8. Edition, Volume 1 Properties and Selection of Metals, Stainless Steels, Titanium and Titanium Alloys, 1147
- [11] **Leyens, C., and Peters, M.**, 2003, Titanium and Titanium Alloys, WILEY-WCH Verlag GmbH & Co, Weinheim
- [12] **DeGarmo, E.P., Black, J.T., and Kohser, R.A.**, 1984. Materials and Processes in Manufacturing, Macmillan Publishing Company, New York
- [13] **Askeland, D.R.**, 1994. The Science and Engineering of Materials, VNR International, USA
- [14] **Ezugwu, E. O., and Wang, Z.M.**, 1997. Titanium alloys and their machinability, *Journal of Materials Processing Technology*, 262
- [15] <http://www.timedmedikal.com/urunlerimiz.html>
- [16] http://www.medartis.com/eng/pages_produkte/produkte_titan.htm
- [17] <http://www.hexacath.com/>
- [18] http://www.rtmedicaltech.com/_pages/dntlprds.htm
- [19] http://www.superiortitanium.com/Titanium_Ring.html
- [20] **Metalast**, 2000. Micro arc oxidation process, *Metalast Technical Bulletin*
- [21] **Erokhine, A., Voevodin, A., Schmertzler, R.**, *US Patent. 5,720,866*, Feb. 24, 1998.
- [22] **Samsonov, V., Hiterer, M.**, *US Patent. 5,616,229*, Apr. 1, 1997.
- [23] **Edith, S., Benno, R., Michael W.**, *US Patent, 4,978,432*, Dec. 18, 1990.
- [24] **Duane, B., Brian L., Earl W.**, *US Patent. 5,264,113*, Nov. 23, 1993.
- [25] **Li, J., Wan, L., and Feng, J.**, 2004. Study on the preparation of titania films for photocatalytic application by micro-arc oxidation, *Solar Energy Materials & Solar Cells*

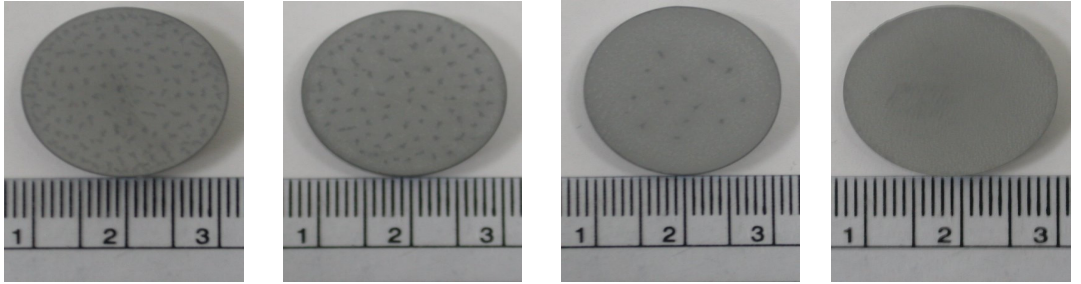
- [26] **Li, L., Kong, Y., Kim, H., Kim, Y., Kim, H., Heo, S., and Koak, J.**, 2004.
Improved biological performance of Ti implants due to surface
modification by micro-arc oxidation, *Biomaterials*, **25**, 2867-2875
- [27] <http://www.fys.uio.no/~eaker/thesis/node9.html>

EKLER

EK A

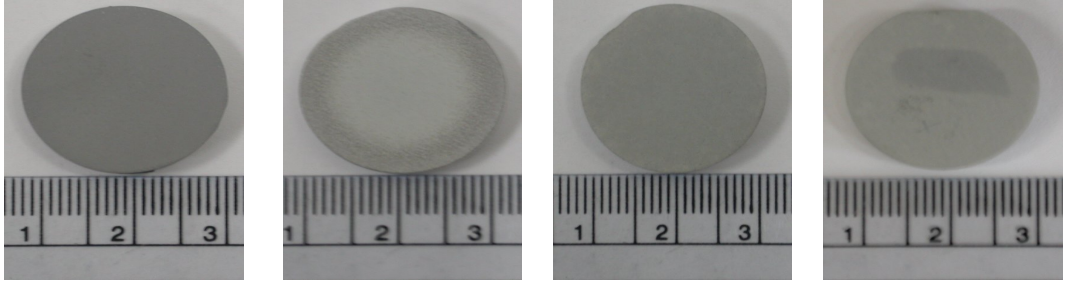


(a)



(b)

Şekil A.1: Çözelti 1 içerisinde (a) 5 ve (b) 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Makro Görünümleri.

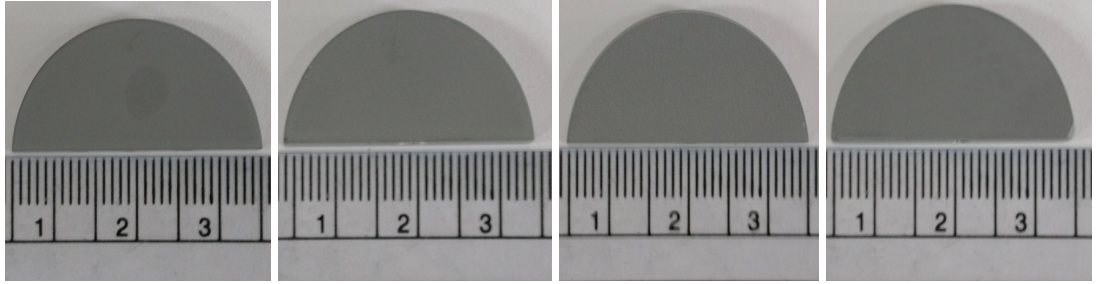


(a)

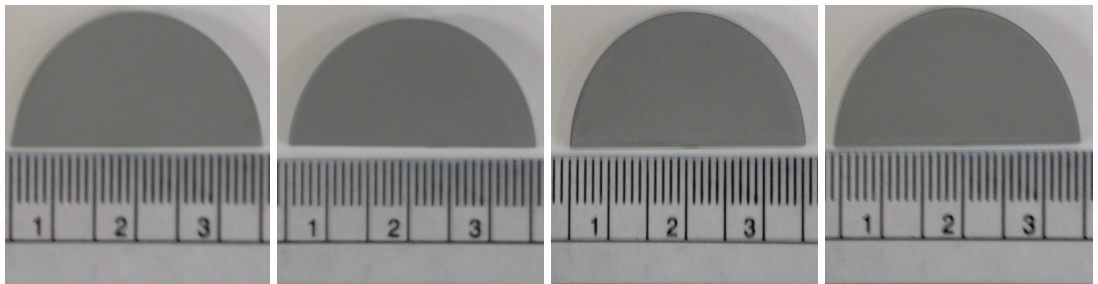


(b)

Şekil A.2: Çözelti 2 içerisinde (a) 5 ve (b) 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Makro Görünümleri.

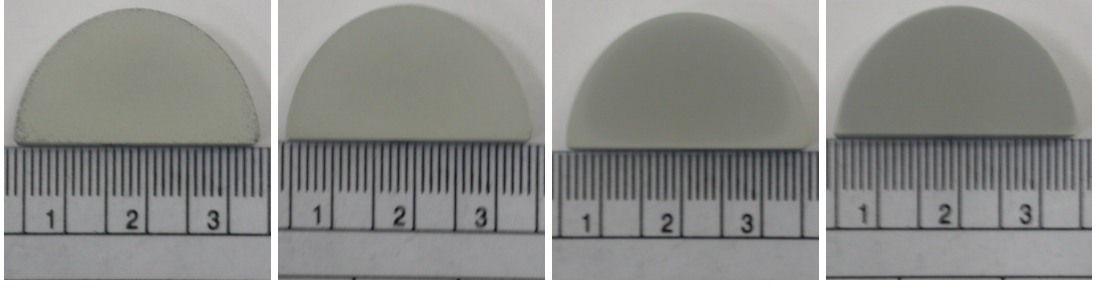


(a)

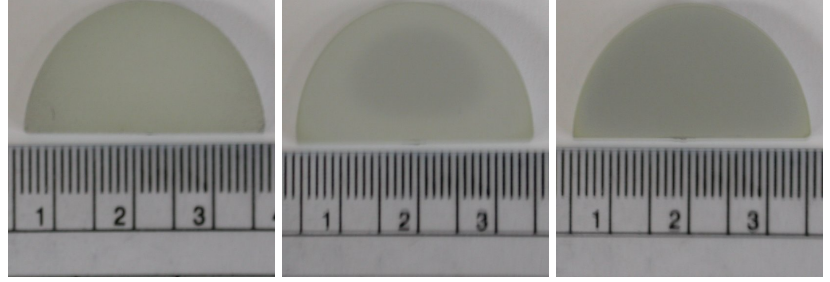


(b)

Şekil A.3: Çözelti 1 içerisinde (a) 5 ve (b) 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Makro Görünümleri.

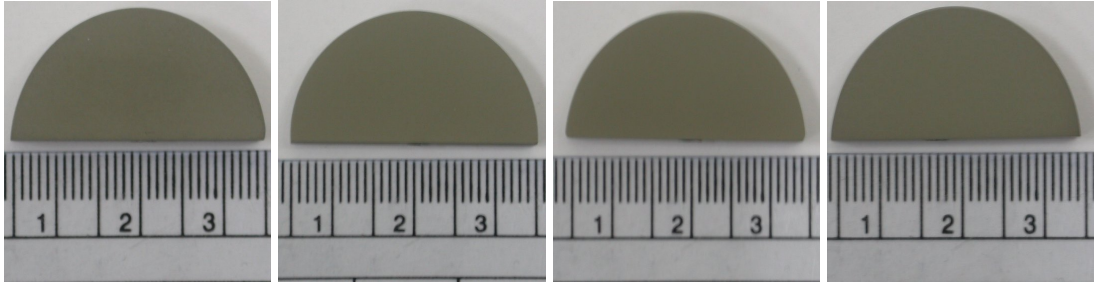


(a)

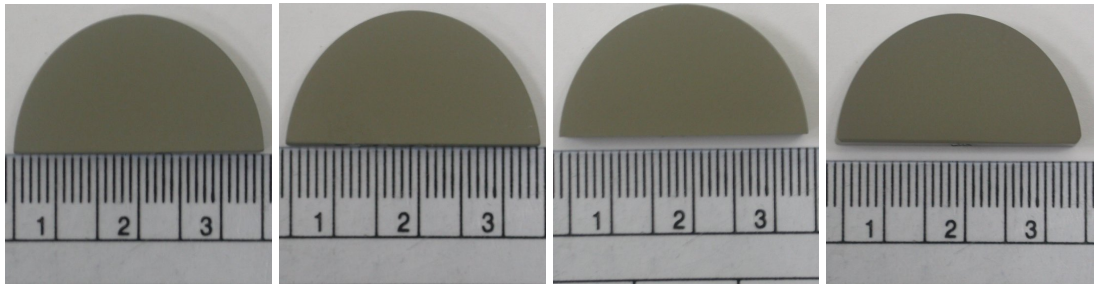


(b)

Şekil A.4: Çözelti 2 içerisinde (a) 5 ve (b) 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Makro Görünümleri.

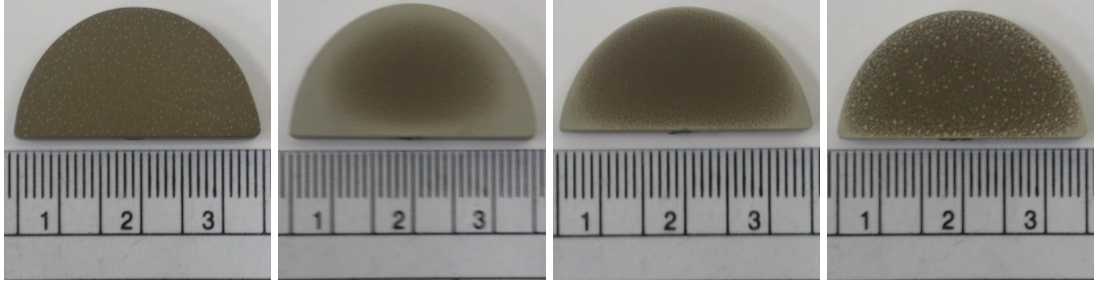


(a)

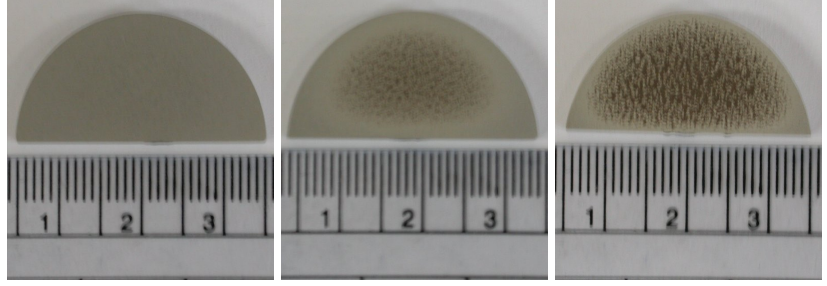


(b)

Şekil A.5:Çözelti 1 içerisinde (a) 5 ve (b) 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Makro Görünümleri.



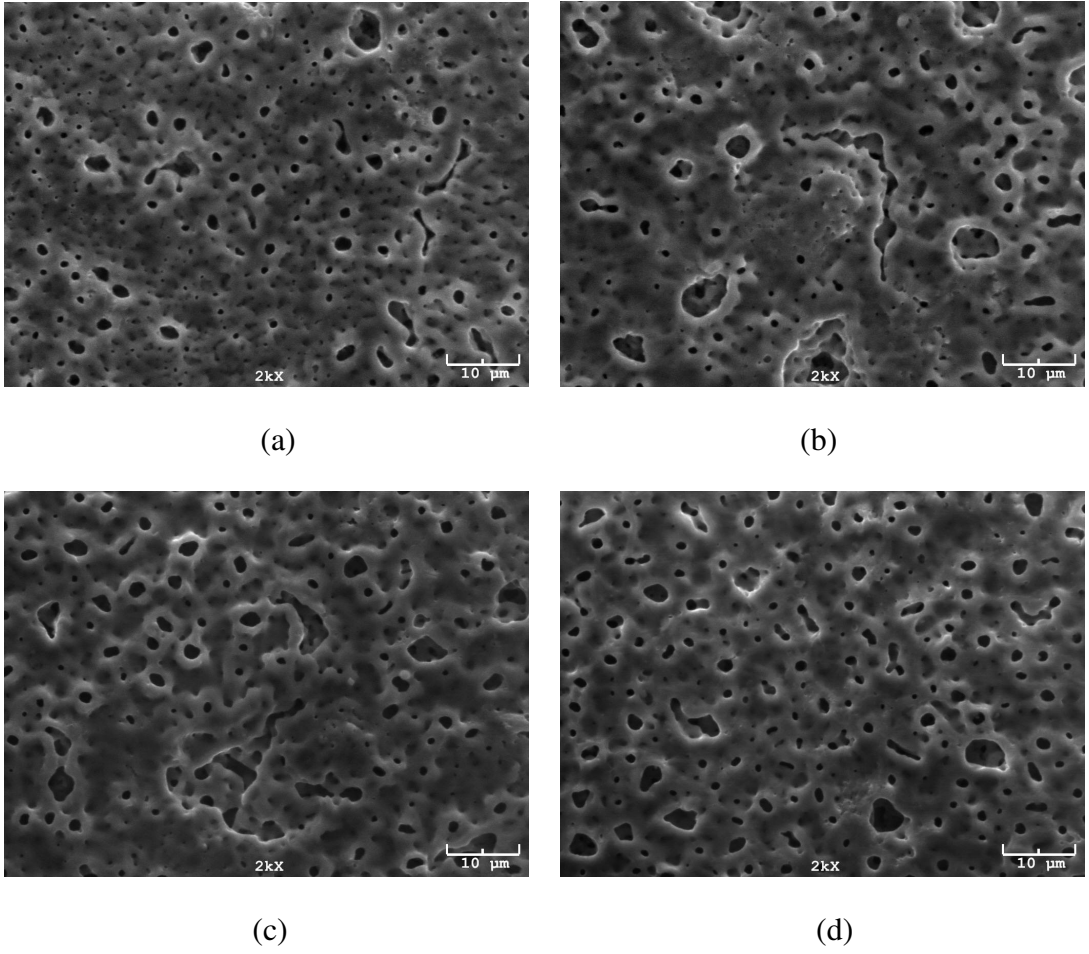
(a)



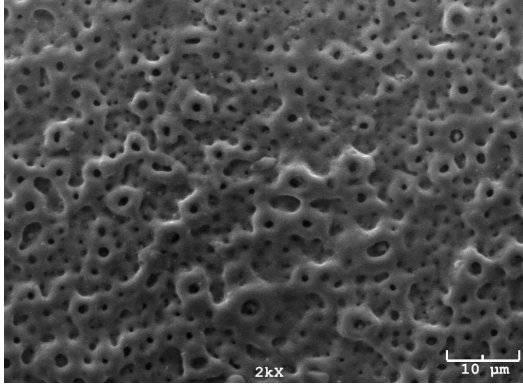
(b)

Şekil A.6: Çözelti 2 içerisinde (a) 5 ve (b) 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Makro Görünümleri.

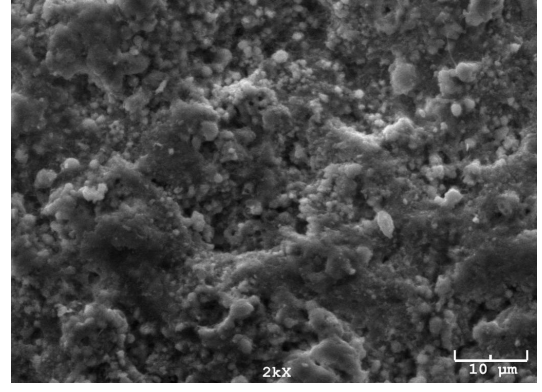
EK B



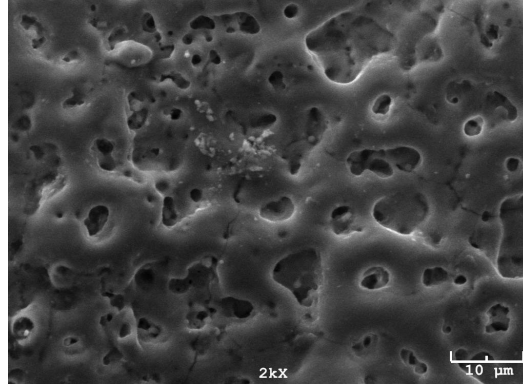
Şekil B.1:Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 volt ve (d) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.



(a)

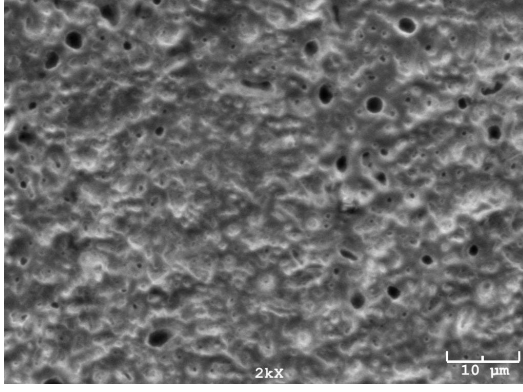


(b)

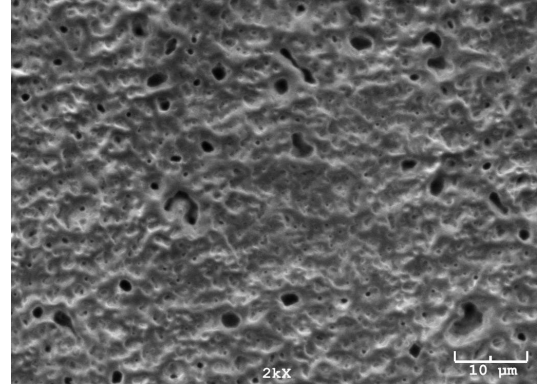


(c)

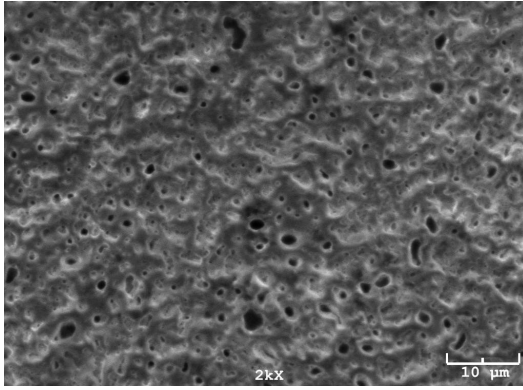
Şekil B.2: Çözelti 2 içerisinde (a) 550 volt, (b) 500 volt, (c) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.



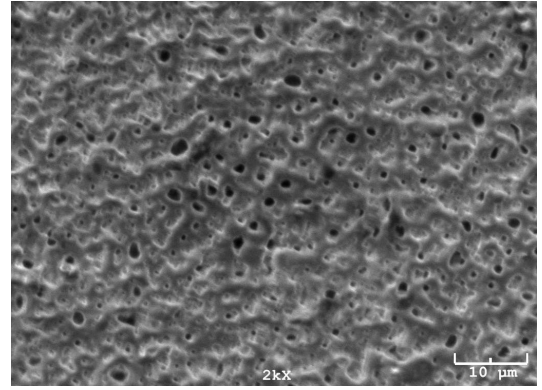
(a)



(b)

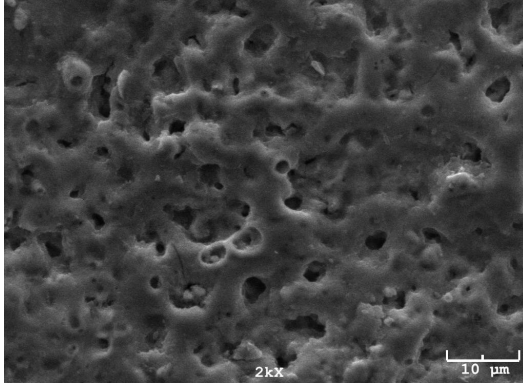


(c)

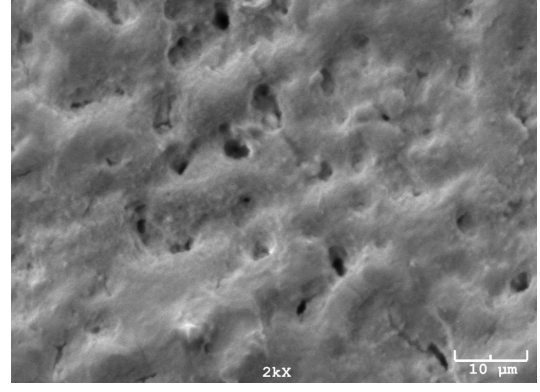


(d)

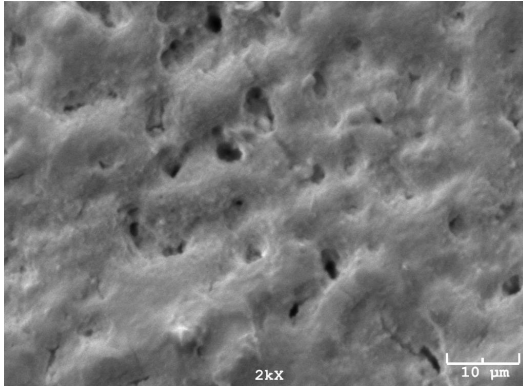
Şekil B.3: Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 volt ve (d) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş CP - Ti Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.



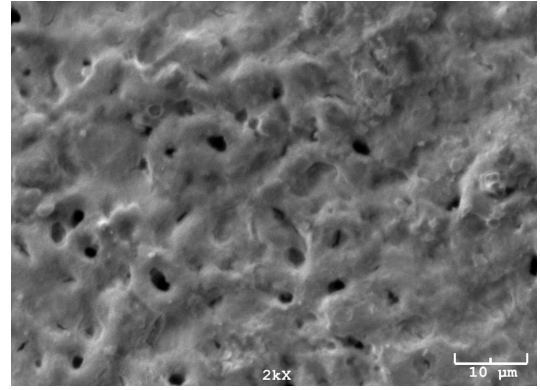
(a)



(b)

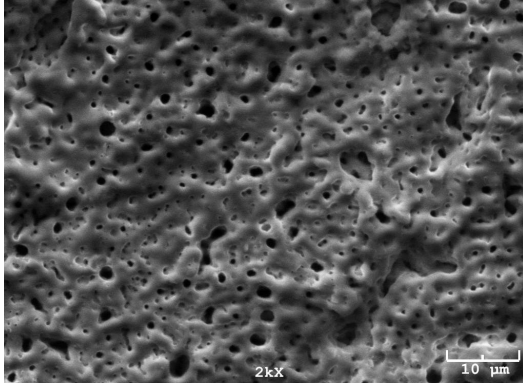


(c)

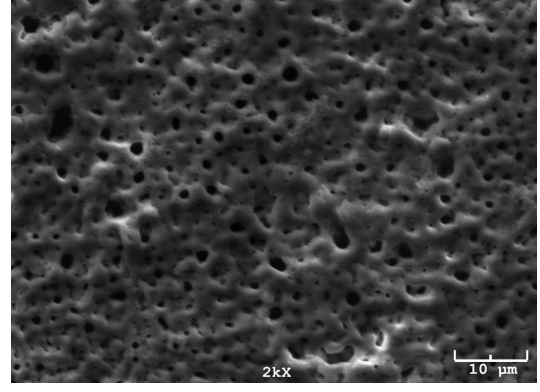


(d)

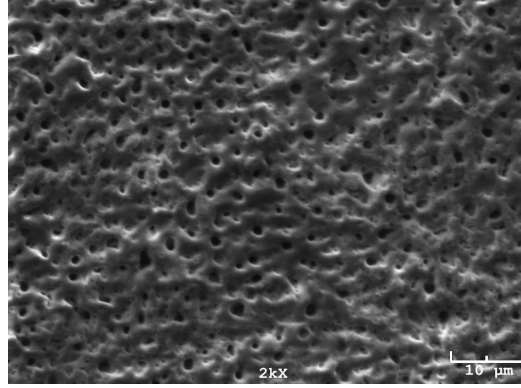
Şekil B.4: Çözelti 2 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 volt ve (d) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş CP - Ti Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.



(a)

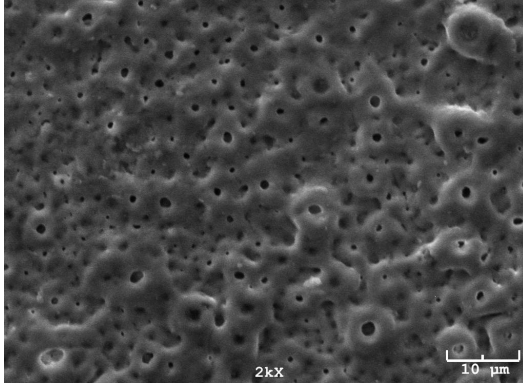


(b)

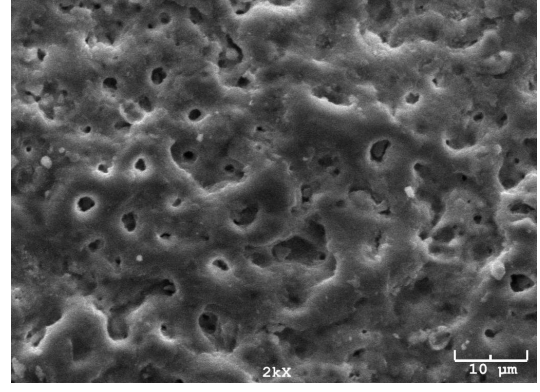


(c)

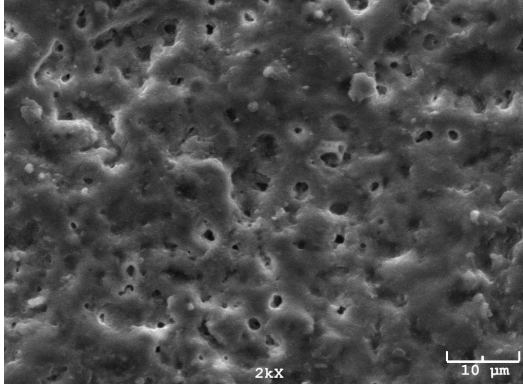
Şekil B.5: Çözelti 1 içerisinde (a) 550 volt, (b) 500 volt, (c) 450 volt Değerlerinde 5 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.



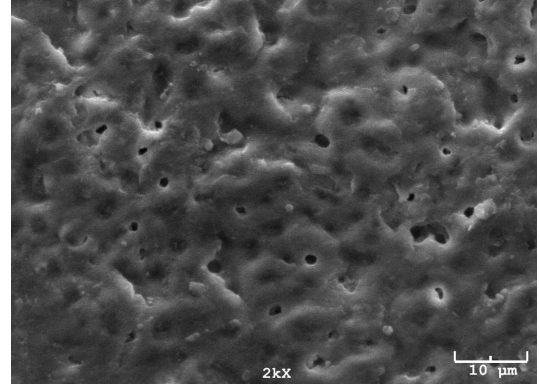
(a)



(b)



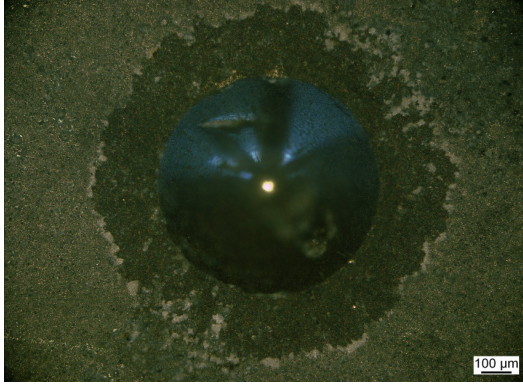
(c)



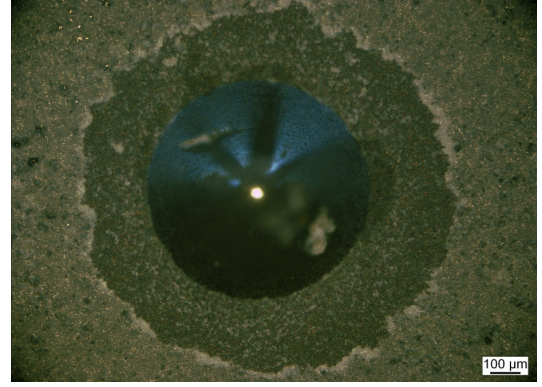
(d)

Şekil B.6: Çözelti 2 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 ve (d) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri.

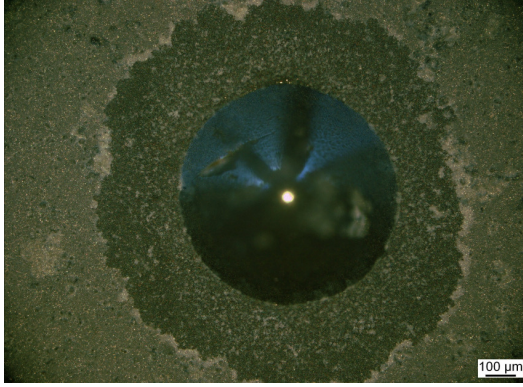
EK C



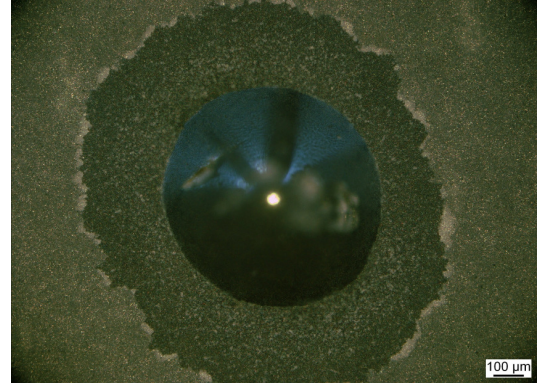
(a)



(b)

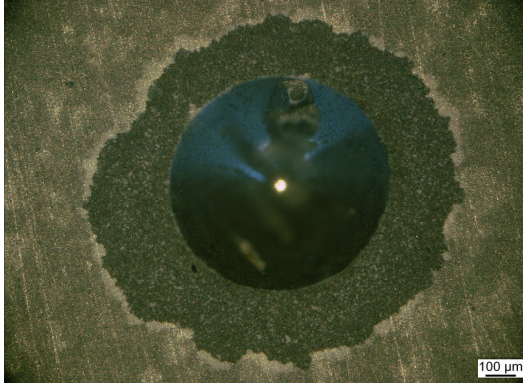


(c)

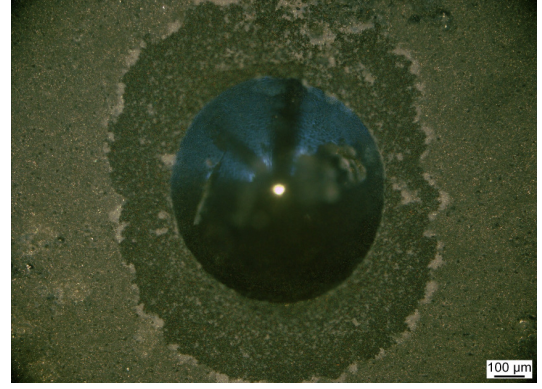


(d)

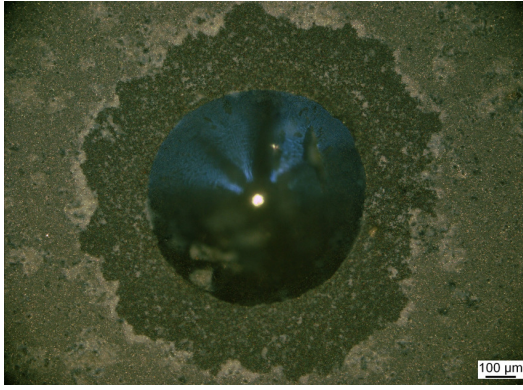
Şekil C.1: Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 ve (d) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



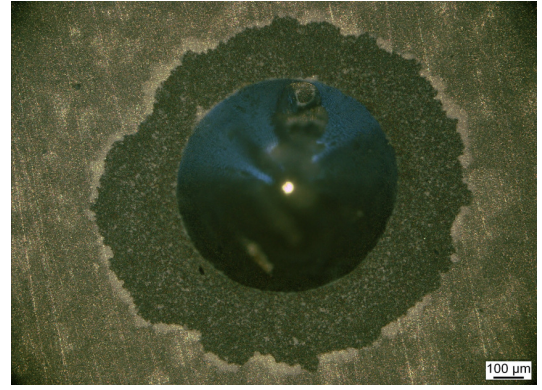
(a)



(b)

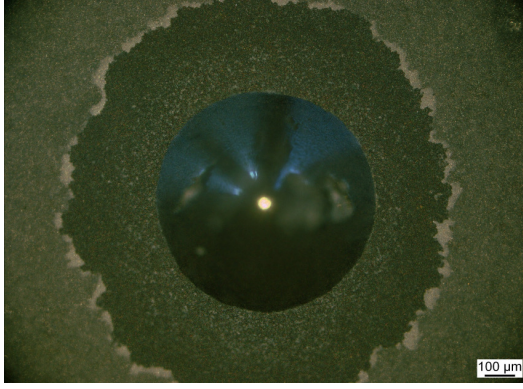


(c)

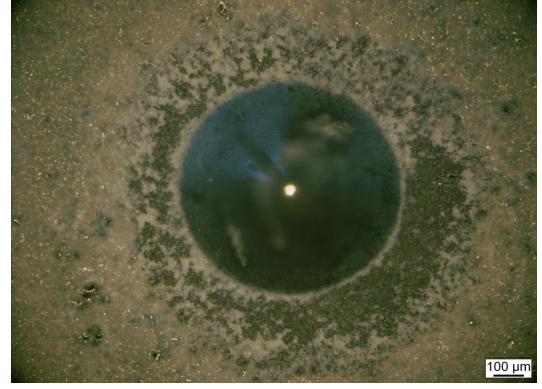


(d)

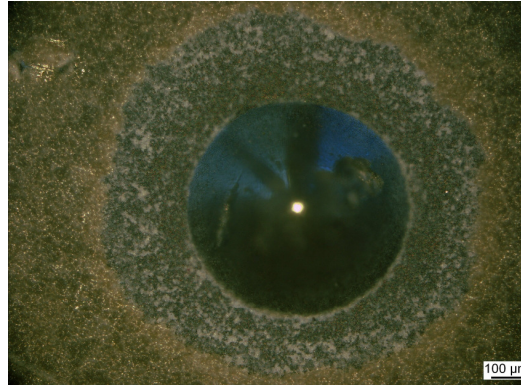
Şekil C.2: Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 ve (d) 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



(a)

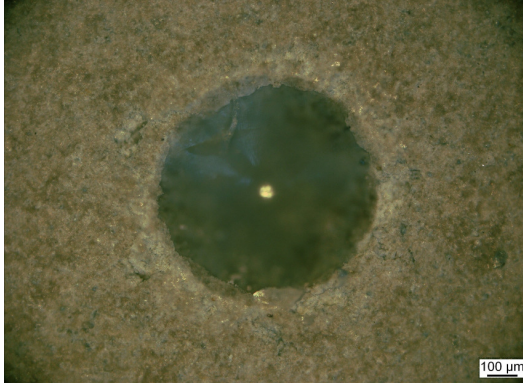


(b)

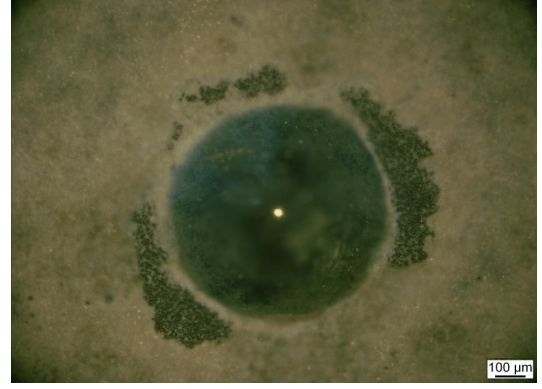


(c)

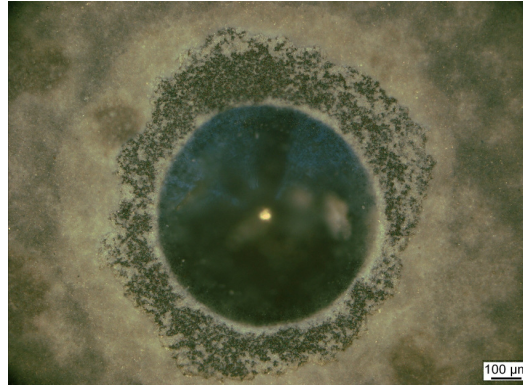
Şekil C.3: Çözelti 2 içerisinde (a) 600 volt, (b) 500 ve (c) 450 volt Değerlerinde 5 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



(a)

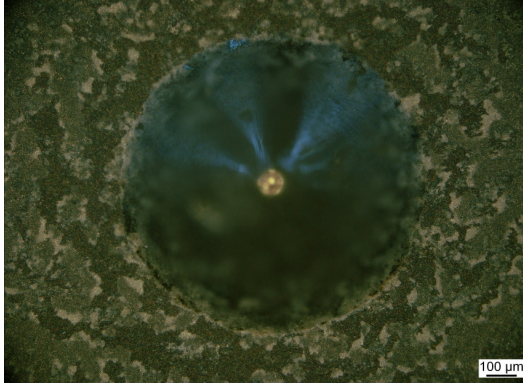


(b)

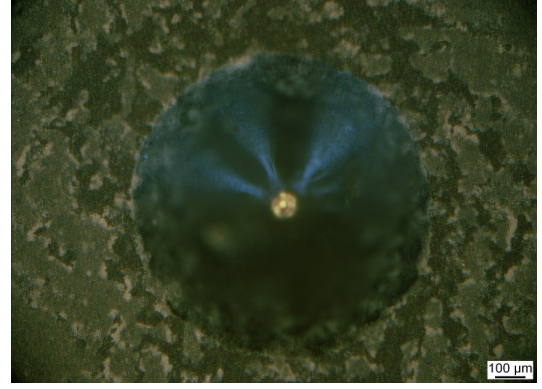


(c)

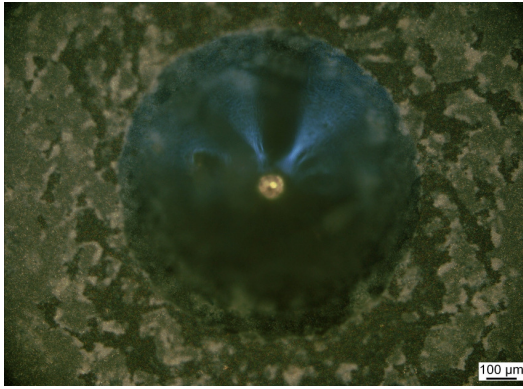
Şekil C.4:Çözelti 2 içerisinde (a) 550 volt, (b) 500 volt, (c) 450 volt Değerlerinde 10 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al7Nb Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



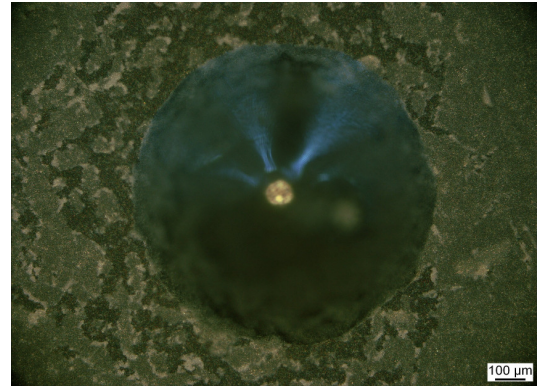
(a)



(b)

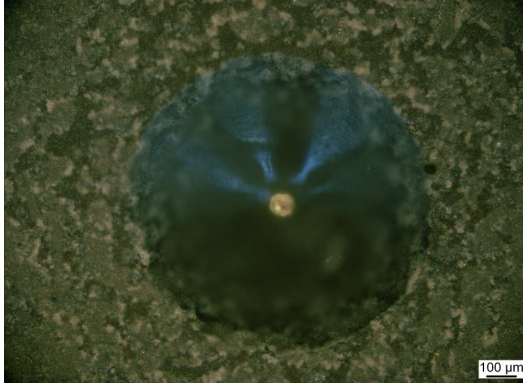


(c)

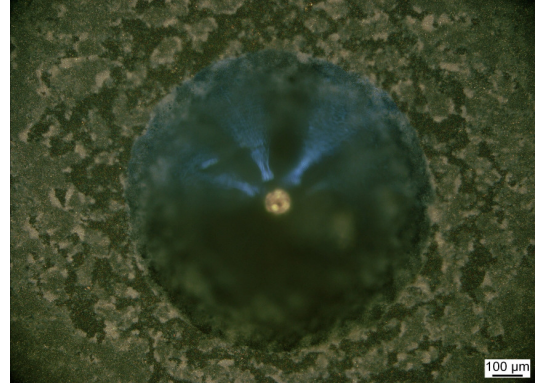


(d)

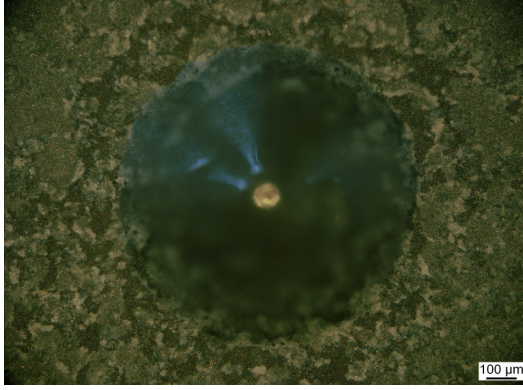
Şekil C.5: Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 volt ve 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş CP – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



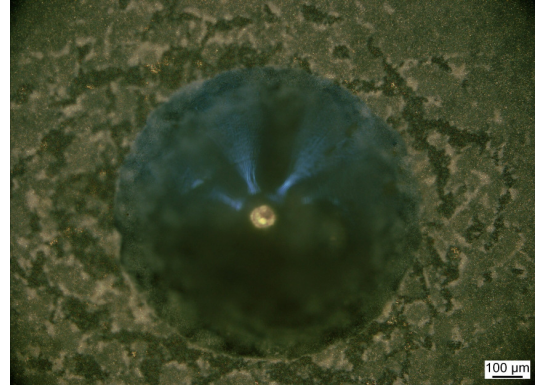
(a)



(b)

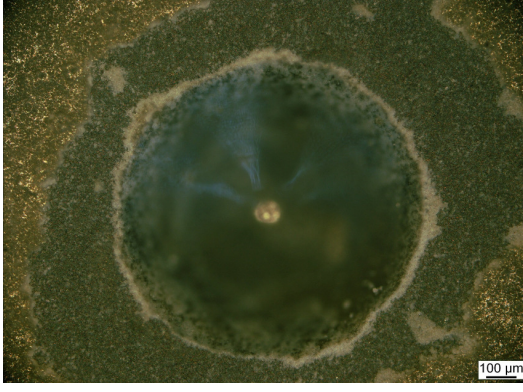


(c)

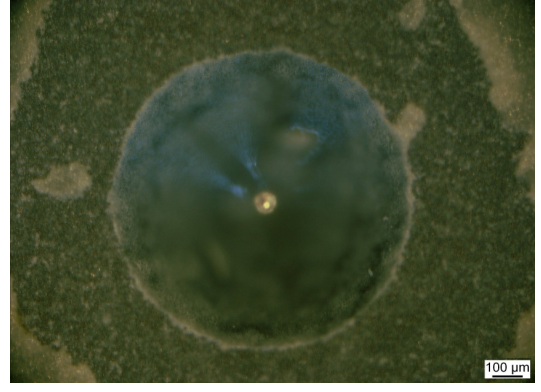


(d)

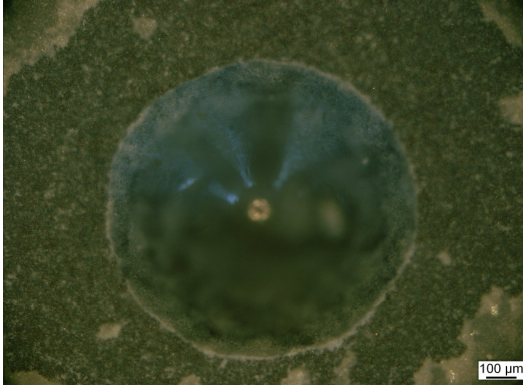
Şekil C.6:Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt ,(c) 500 volt ve (d) 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



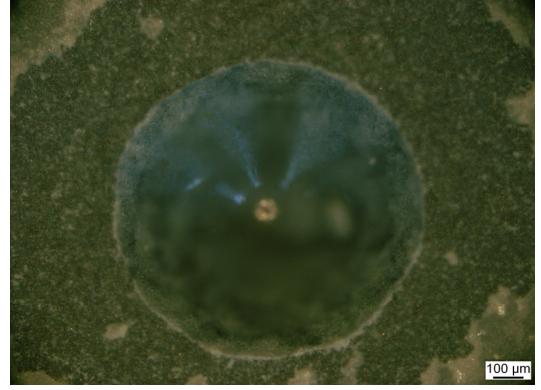
(a)



(b)



(c)

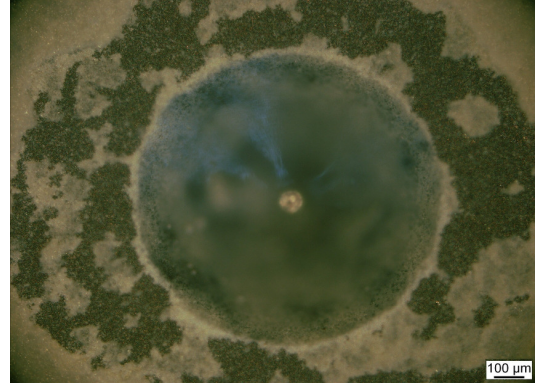


(d)

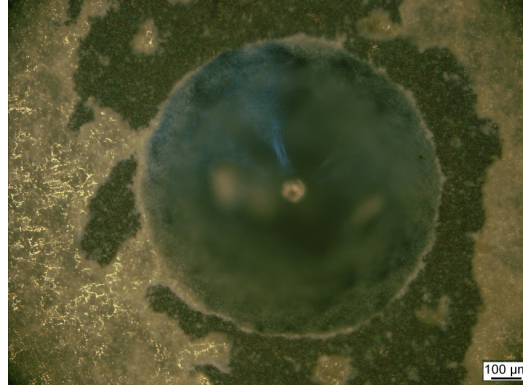
Şekil C.7: Çözelti 2 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550volt, (c) 500 volt ve (d) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



(a)

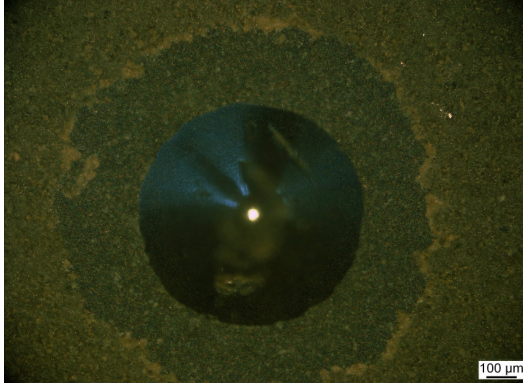


(b)

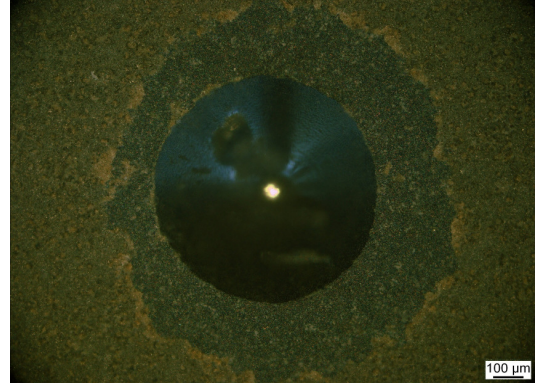


(c)

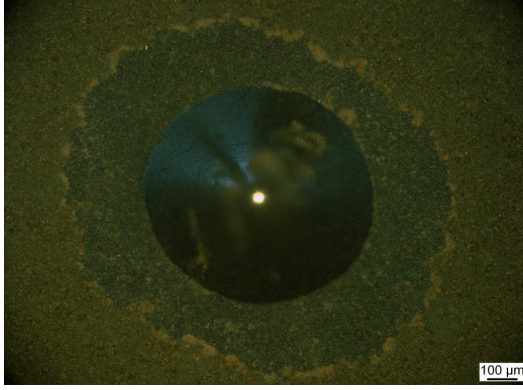
Şekil C.8:Çözelti 2 içerisinde (a) 550 volt, (b) 500 ve (c) 450 volt Değerlerinde 10 Dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Cp – Ti Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



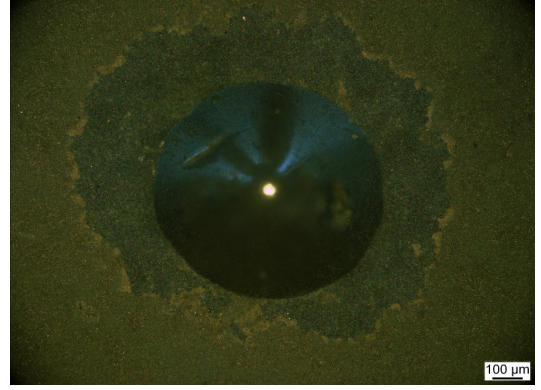
(a)



(b)

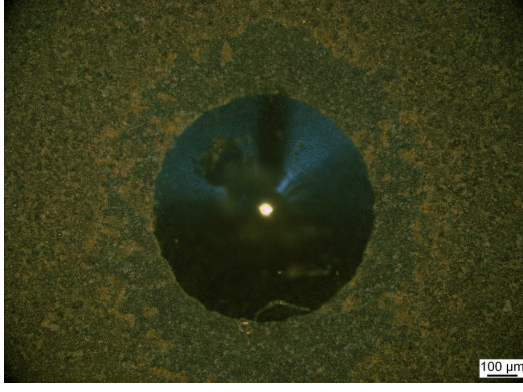


(c)

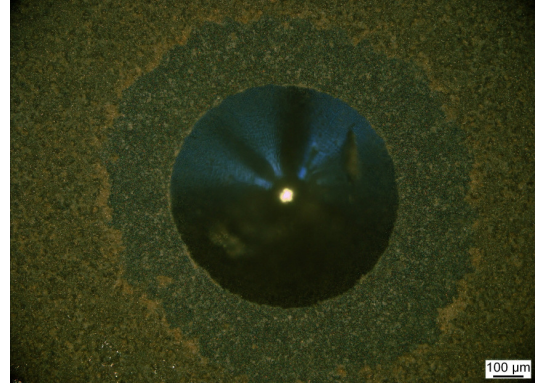


(d)

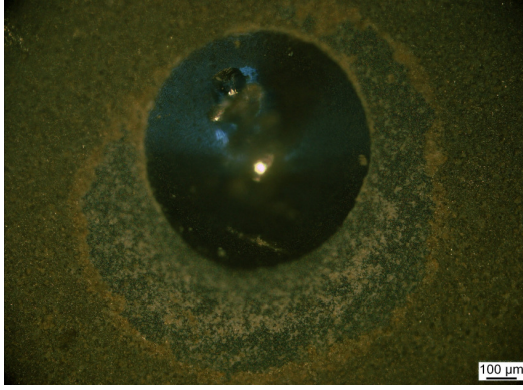
Şekil C.9 Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550 volt, (c) 500 volt ve (d) 450 volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



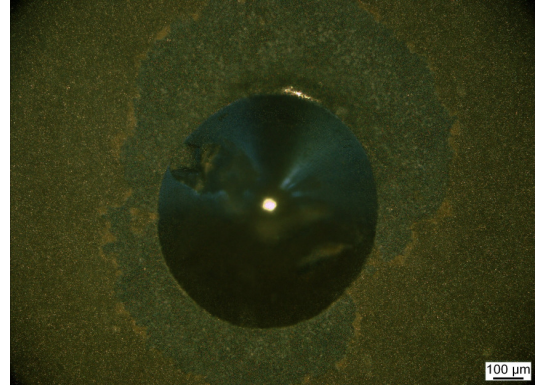
(a)



(b)

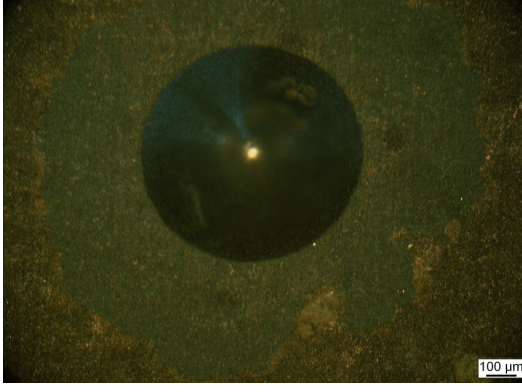


(c)

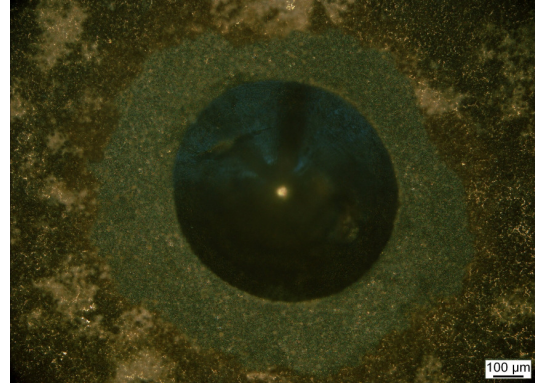


(d)

Şekil C.10: Çözelti 1 içerisinde (a) 600 volt, (b) 550volt, (c) 500 volt ve (d) 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.

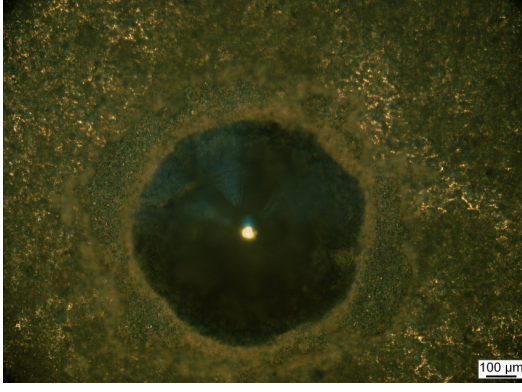


(a)

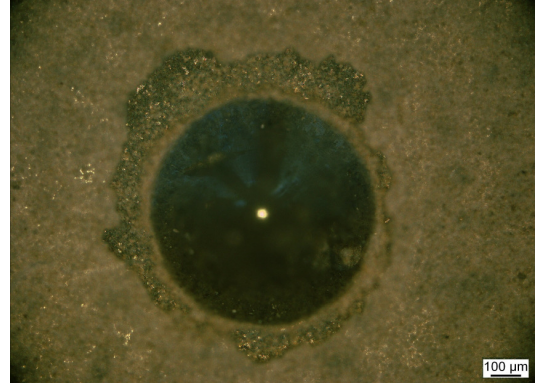


(b)

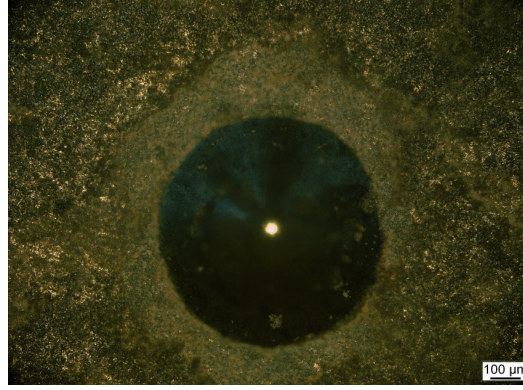
Şekil C.11: Çözelti 2 içerisinde (a) 600 volt, (b) 450volt Değerlerinde 5 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



(a)

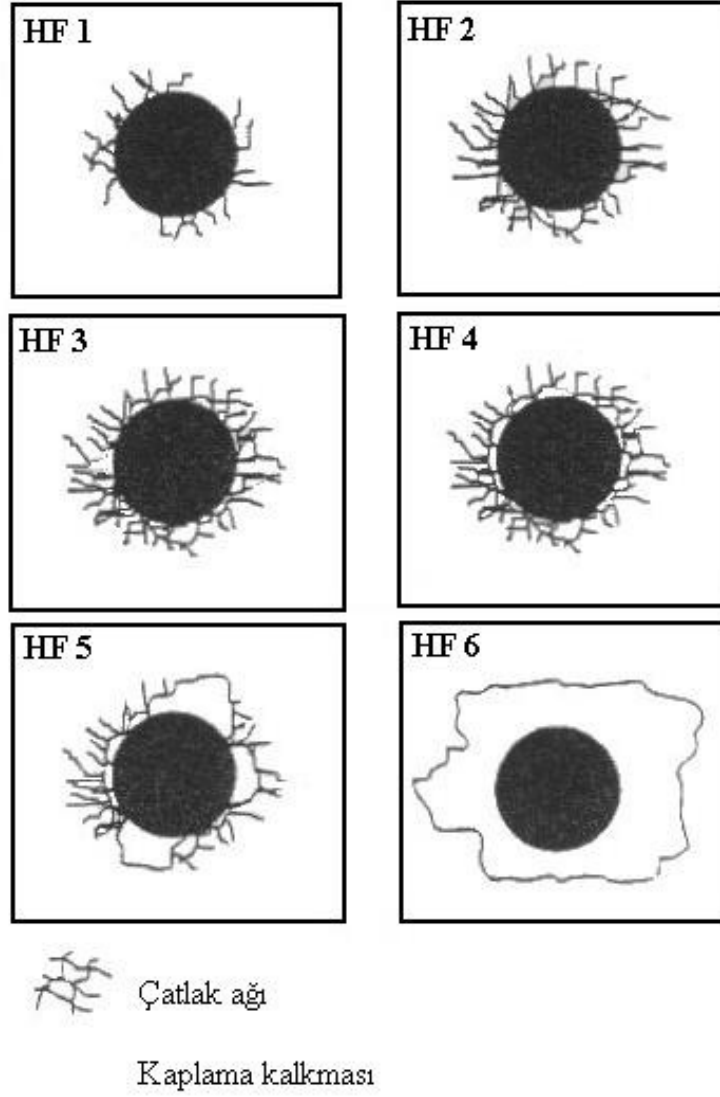


(b)



(c)

Şekil C.12: Çözelti 2 içerisinde (a) 550 volt, (b) 500volt ve (c) 450 volt Değerlerinde 10 dakika Mikro Ark Oksidasyon İşlemi Görmüş Ti6Al4V Numunelerin Rockwell C Testi Sonrası İz Görünümleri.



Şekil C.13: Rockwell C İndentasyon Testinde Kaplama Yüzeyinde Oluşabilecek Hasar Türlerinin Şematik Gösterimi.

ÖZGEÇMİŞ

Mert GÜNYÜZ 1982 yılında İstanbul’da doğdu. Ortaokul ve lise öğrenimini Kadıköy Anadolu Lisesinde tamamlayarak 2001 yılında mezun oldu. Aynı sene Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğini kazandı. Bu bölümden 2005 yılında mezun olarak aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen araştırma görevlisi olarak İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde görev yapmaktadır.