

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERT ANODİZE KAPLAMA PROSESİNİN SOĞUTMA YÜKÜNÜN HESAPLANMASI,
DEĞİŞİK ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE PROSES PARAMETRELERİNDE
KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ**

BİNNUR MUTLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. DOĞAN ÖZGÜR**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERT ANODİZE KAPLAMA PROSESİNİN SOĞUTMA YÜKÜNÜN
HESAPLANMASI, DEĞİŞİK ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE PROSES
PARAMETRELERİNDE KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Binnur MUTLU tarafından hazırlanan tez çalışması 15.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet EKERİM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Olcay KINCAY

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yapılan tez çalışması ile havacılık sektöründe hafiflik ve mukavemet değerleri ile ön plana çıkan alüminyum alaşımı (AA 2024, AA 6061 ve AA 7075) malzemelerin üzerine uygulanan sert anodize kaplama incelenmiştir. Sıcaklık, akım yoğunluğu ve süre parametrelerinin, kaplama prosesi alt ve üst limitlerinde, deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışma ile parametrelerin kaplama kalınlığı, aşınma dayanımı ve yüzey sertliğine etkisi incelenmiştir.

Ayrıca 0 - 4 °C sıcaklıkta oldukça soğuk elektrolit değerlerinde çalışılan proses için gerekli soğutma yükü hesaplanmıştır. Soğutma yükünün % 99 'luk kısmının elektrolitin ilk soğutulurken ve elektrokimyasal tepkime sırasında oluştuğu belirlenmiştir.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana verdikleri destek, gösterdikleri sabır ve anlayış için sevgili eşim Sunay, oğlum Onur ve kızım Özge'ye, Ayrıca her türlü yardımı esirgemeyen arkadaşlarım; kimya mühendisi Mustafa Hakan Toksoy ve metalurji mühendisi Fehmi Diltemiz' e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamda yol gösteren hayatta örnek aldığım danışman hocam sayın Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR 'e sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs, 2011

Binnur MUTLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ	4
2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri.....	4
2.2 Alüminyumun Kullanım Alanları.....	7
2.3 Alüminyumun Korozyonu	7
2.4 Alüminyum Üzerine Uygulanan Anodize Kaplamalar	9
2.4.1 Kromik Asit Anodize Kaplama	10
2.4.2 Sülfirik Asit Anodize Kaplama	11
2.4.3 Sert Anodize Kaplama	11
2.4.3.1 Alüminyum oksit Tabakasının Oluşumunun Kimyasal İncelenmesi	13
2.4.3.2 Kaplama Parametreleri	13
2.4.3.3 Proses İşlem Adımları.....	13
2.4.3.4 Proseste Kullanılan soğutma Sistemi ve Soğutma Yüğü	15

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA	21
3.1 Kullanılan Ham Malzemeler	21
3.2 Deney Numuneleri	22
3.3 Kullanılan Cihazlar	22
3.4 Yapılan Deneyler	25
3.4.1 Süre Değişimine Göre Sert Anodize Kaplama	25
3.4.2 Sıcaklık Değişimine Göre Sert Anodize Kaplama	26
3.4.3 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Sert Anodize Kaplama	26
3.5 Yapılan Deneylerin Sonuçlarının İrdelenmesi	28
3.5.1 Süre Değişimine Göre Sert Anodize Kaplamanın İrdelenmesi.....	29
3.5.1.1 Süre Değişkeninin Kaplama Kalınlığına Etkisi.....	29
3.5.1.2 Süre Değişkeninin Kaplama Yüzey Sertliğine Etkisi.....	30
3.5.1.3 Süre Değişkeninin Kaplama Aşınma Dayanımına Etkisi	30
3.5.2 Sıcaklık Değişimine Göre Sert Anodize Kaplamanın İrdelenmesi	31
3.5.2.1 Sıcaklık Değişkeninin Kaplama Kalınlığına Etkisi	31
3.5.2.2 Sıcaklık Değişkeninin Kaplama Yüzey Sertliğine Etkisi	31
3.5.2.3 Sıcaklık Değişkeninin Kaplama Aşınma Dayanımına Etkisi.....	32
3.5.3 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Sert Anodize Kaplamanın İrdelenmesi	33
3.5.3.1 Akım Yoğunluğu Değişkeninin Kaplama Kalınlığına Etkisi.....	33
3.5.3.2 Akım Yoğunluğu Değişkeninin Kaplama Yüzey Sertliğine Etkisi.....	33
3.5.3.3 Akım Yoğunluğu Değişkeninin Kaplama Aşınma Dayanımına Etkisi	34

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	39

SİMGE LİSTESİ

A_A	Üst açık kısım yüzey alanı
A_{Al}	Max Kaplanacak malzeme alanı
A_K	Toplam kazanın üst açık kısım hariç yüzey alanı
Be°_e	Elektrolitin Bome (Baumé) Derecesi
c_e	Elektrolitin ısı iletkenlik katsayısı
cp_{Al}	Al ısı iletim katsayısı
E_3	Kaplama sırasında çekilen toplam enerji
hc_1	Odadan yan duvarlkara olan ısı iletim katsayısı
hc_2	Odadan üst açık kısma olan ısı iletim katsayısı
I	Akım Yoğunluğu
k	Kazan cidarı ısı iletim katsayısı (polipropilen)
m_e	Elektrolitin kütlesi
ρ_{Al}	Yogunluk (Alüminyum için)
ρ_e	Elektrolitin yoğunluğu
Q_1	Kaplama kazanındaki elektrolitin soğutma yükü
Q_2	Kaplanacak Al parçanın soğutma yükü
Q_3	Kaplama esnasında oluşan soğutma yükü
Q_4	Kazan cidarlarından ve açık olan üst kısımdan soğutma yükü
Q_{4-1}	Kazan cidarlarından oluşan soğutma yükü
Q_{4-2}	Kazanın açık olan üst kısımdan olan soğutma yükü
Q_T	Toplam soğutma yükü
s	Kazan Cidar Kalınlığı
t	Kaplama süresi
Te	Minimum Elektrolit sıcaklığı
T_0	Ortam sıcaklığı
U	Toplam ısı taransfer katsayısı
v	Voltaj
V	Max Kaplanacak malzeme hacmi
Ve	Elektrolitin hacmi
ϕ	Anodize için akım verimi
ϕ_R	Redresör verimi
$^{\circ}Bé$	$^{\circ}$ Baume (Bome) Derecesi (Arcometre Derecesi)

KISALTMA LİSTESİ

A	Anodizing
AA	Alüminyum alaşımı
AMS	Amerikan Askeri Standardı
ASA	Amerikan Standartlar Birliği
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
C ₂ H ₂ O ₄ .2 H ₂ O	Oksalik asit
DC	Doğru akım
EDX	X-ray
QQ-A-250	Alüminyumların Özelliklerini Belirten Standart
HA	Potensiyodinamik anodizing
H ₂ SO ₄	Sülfirik asit
MA	Değiştirilmiş (Modifiye) anodizing
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
T3	Alüminyum malzemeler için ısıt işlemler kondüsyon değeri.
T6	Alüminyum malzemeler için ısıt işlemler kondüsyon değeri.
ELOKSAL	(Elektrolytische Oxidation des Aluminums) Alüminyumun Anodik Oksidasyonu
QQ-A-250	Alüminyum Alaşımları için Amerikan Federal Standardı
AMS	Aerospace Material Specifications. (Uçak Malzemeleri Özellikleri)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Alüminyum Oksit Katmanı	10
Şekil 2.2 Sert Anodize Kaplama Sistem Örneği	12
Şekil 2.3 Mevcut Sert Anodize Kaplama Kazanı ve Soğutma Ünitesi	12
Şekil 2.4 Soğutma Grubu Şeması.....	15
Şekil 2.5 Kazan Boyutları	19
Şekil 2.6 Duvar Kesiti	19
Şekil 3.1 Deney numuneleri ölçüleri	22
Şekil 3.2 Kaplama Kalınlığı Ölçüm Cihazı	22
Şekil 3.3 Elektro Mikroskop	23
Şekil 3.4 Mikrosertlik Cihazı	23
Şekil 3.5 Hassas Terazî	23
Şekil 3.6 Zımpara ve Parlatma Tezgahı	24
Şekil 3.7 Aşınma Deneyi Test Tezgahı	24
Şekil 3.8 AA 6061 Malzeme için hazırlanan mikro yapı görünümü	28
Şekil 3.9 Süre Değişimine Göre Kaplama Kalınlığı Değişimi	29
Şekil 3.10 Süre Değişimine Göre Kaplama Yüzey Sertliği Değişimi	30
Şekil 3.11 Süre Değişimine Göre Kaplama Aşınma Miktarı Değişimi	30
Şekil 3.12 Sıcaklık Değişimine Göre Kaplama Kalınlığı Değişimi	31
Şekil 3.13 Sıcaklık Değişimine Göre Kaplama Yüzey Sertliği Değişimi	31
Şekil 3.14 Sıcaklık Değişimine Göre Kaplama Aşınma Miktar Değişimi	32
Şekil 3.15 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Kaplama Kalınlığı Değişimi	33
Şekil 3.16 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Kaplama Yüzey Sertliği Değişimi	33
Şekil 3.17 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Kaplama Aşınma Miktar Değişimi	34

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Temel alüminyum alaşımlarının gösterilişi 6
Çizelge 2.2	Bazı alüminyum alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları 8
Çizelge 2.3	Kaplama parametreleri 13
Çizelge 2.4	Hesaplama da kullanılan parametreler 16
Çizelge 2.5	°Bé ve özgül ağırlık dönüşüm tablosu 17
Çizelge 2.6	°Bé ve yoğunluk dönüşüm tablosu 17
Çizelge 3.1	2024 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Kompozisyon Limitleri 21
Çizelge 3.2	6061 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Kompozisyon Limitleri 21
Çizelge 3.3	7075 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Kompozisyon Limitleri 21
Çizelge 3.4	Ham malzeme sertlik değerleri 28

SERT ANODİZE KAPLAMA PROSESİNİN SOĞUTMA YÜKÜNÜN HESAPLANMASI, DEĞİŞİK ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE PROSES PARAMETRELERİNDE KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Binnur MUTLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR

Alüminyum malzemeler üzerine uygulanan sert anodize kaplamanın amacı korozyon koruması sağlamak, malzemeyi yalıtıkanlaştırmak ve yüksek aşınma dayanımı ile mekanik özelliklerini arttırmaktır. Bu tür kaplama sıklıkla uçak ve motor parçalarında kullanılmaktadır. Uluslararası terminolojide hard alüminyum oksidasyon veya hard anodizasyon olarak bilinen dilimize almancadan girmiş olan sert eloksal işlemi çok özel bir elektrokimyasal kaplamadır.

Elektro kimyasal proses için kullanılan elektrolit sülfürik asit ve oksalik asitden oluşan asidik bir çözeltidir. Kaplanacak alüminyum elektroliz işleminin anodudur. Belirli ve kontrol edilen bir doğru akım yoğunluğu (DC), kaplanacak alüminyum (iş parçası) ile uygun bir katot arasında yine belirli bir süre için geçerlidir. Bu süre istenilen kaplama kalınlığına göre belirlenir. Proses sırasında ısı açığa çıkar. Elektrolitin proses sıcaklığında sabit tutulması için çevreden gelen ısı yükleri de dikkate alınarak proses boyunca soğutma yapılması gerekir.

Tez çalışması kapsamında 1'inci Hava İkmal Bakım Merkezi'nde mevcut sert anodize prosesine uygun en fazla kapasitede kaplama yapılması durumunda gerekli olan soğutma yükü hesaplanmıştır. Ayrıca farklı alüminyum alaşımı (AA 2024, AA 6061, AA 7075) test parçaları üzerine proses parametreleri olan sıcaklık, akım yoğunluğu ve süre kriterleri değiştirilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Test parçaları metalürji laboratuvarında

kaplama kalınlığı, oluşan yüzey sertliği ve aşınma dayanımları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yapılan alışmalar neticesinde en fazla kapasitede 1.5 saatlik bir kaplama sırasında 53,212 kWh enerji harcandığı ve test kuponlarının düşük sıcaklık (0 °C) ve 3 amper/dm² akımda 2 saat de 7075 alüminyum alaşımı için en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sert Anodize Kaplama, Soğutma Yüğü

ABSTRACT

CALCULATION OF THE COOLING LOAD OF THE HARD ANODIZING COATING PROCESS, AND COMPERATIVE INVESTIGATION ACCORDING TO VARIOUS ALUMINUM ALLOYS AND PROCESS PARAMETERS

Binnur MUTLU

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR

The purposes of the hard anodized coating process which is applied to aluminum materials are to provide corrosion protection, to decrease the conductivity and to increase mechanical properties by high abrasive strength. This type of coating is frequently used in airplane and engine parts. Hard eloxal process which is a very special electro-chemical coating is known as hard aluminum oxidation or hard anodizing in international terminology. Also, the name of process is turned into our language from german language.

The electrolyte is an acidic solution which contains sulfuric acid and oxalic acid used for electro-chemical process. The coated aluminum is the anode of the electrolyse process. A certain and controlled direct current (DC) density is effectual (valid) for a certain period between coated aluminum (work piece) and proper cathode.

This period is determined by the desired thickness of the coating. Heat reveals during the process. The process should be cooled by considering the environmental heat loads in process period to keep constant at process temperature.

In this thesis, by experimental investigations, the required cooling load which is coated at desired capacity in 1st Air Supply and Maintenance Center according to proper hard anodizing process is determined by changing the time, current density and temperature criteria. These are process parameters of various aluminum alloy test pieces.

As a result of the investigations, at full capacity and 1,5 hour coating, it was determined that 53,212 kWh energy was spent and test coupons give desired results for 7075 aluminum alloy in 2 hours period at low temperature (0 °C) and at 3 Ampere/dm² current value.

Key words: Hard Anodize Coating, Cooling Load

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Alüminyum anodizasyonu 1923 yılında Bengough ve Stuart tarafından geliştirilen ilk ticari anodizasyon banyosu ile birlikte çok sayıda araştırmmanın konusunu oluşturmuştur. Bu araştırmalardan;

Uzay araçlarını kaplamak amacıyla anodik alüminyum oksit oluşumunu gerçekleştiren Luo ve arkadaşları alüminyum sülfürik asit çözeltisinde anodize işlemine tabi tutmuşlar, kaplamanın optik özelliklerinin, film kalınlığına ve çeşitli anodize işlem basamaklarına (parlatma zamanı, oksidasyon potansiyeli, elektrolit sıcaklığı) bağlı olduğunu ve en uygun oksidasyon potansiyelinin 10 V; kaplama sıcaklığının ise 20 °C olduğunu belirlemişlerdir [1].

De Graeve ve arkadaşları 2002 de yaptıkları çalışma ile Alüminyumun anodik oksidasyonuna ısı transferinin etkisini incelemişler ve sülfürik asit içindeki alüminyumun anodize işleminde konvektif ısı transferinin sabit akım yoğunluğuna etkisi wall-jet elektrot reaktörde gözden geçirmişlerdir. Anodik film kalınlığının homojenliği bölgesel elektrot sıcaklığı dağılımına bağlı olduğunu bulmuşlar. Bölgesel sıcaklık ne kadar yüksekse bölgesel oksit kalınlığının da o kadar büyük olduğunu gözlemişlerdir. Artan bölgesel sıcaklığın gözenek dibindeki bölgesel alan destekli oksit çözünmesini arttırdığını, sonuç olarak bölgesel akım yoğunluğunu artırıcı hareket ettiğini tespit etmişlerdir[2]. 2003 de yaptıkları çalışma ile ise sülfürik asit içinde alüminyumun DC anodizing işlemine sıcaklık etkisini incelemişler, var olan çalışmada,

kontrollü ısı transferinin başlangıcını mümkün kılarak wall-jet elektrot reaktörde sülfürik asit içindeki geleneksel anodizing işlemi araştırılmışlardır. Artan bölgesel film kalınlığını artan lokal elektrot sıcaklığı ile ilişkilendirilmiştir. Lokal sıcaklık ne kadar artarsa bölgesel film kalınlığının da o kadar artacağı bulunmuşlardır[3]. 2003 de yaptıkları diğer bir çalışma ile de sülfürik asit içinde alüminyumun anodizing işleminde film kalınlığına lokal ısı gelişiminin etkisini incelediler. Oksit kaplı alüminyum elektrotun joule ısınmasının anodize işlemi sırasındaki en önemli ısı kaynağı olduğunu ve ısı gidermenin boyutunun elektrolit akışına yani konveksiyona bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Farklı elektrolit sıcaklıklarında, çeşitli galvanostatik anodize şartları için, elektrot yüzeyi boyunca ısı transferinde konveksiyonunun homojen olmadığını, yani wall-jet elektrot reaktörde lokal sıcaklık dağılımı belirlemişlerdir. Homojen olmayan bu sıcaklık yüzünden anodik film bir kalınlık dağılımı göstermiştir. Bundan başka, daha yüksek akım yoğunluğunda veya daha az yoğun elektrolit sıcaklığında, galvanostatik şartlar altındaki gözlemledikleri anormal anodizing davranışlarını yüksek sıcaklık pikleri ve artan oksit kalınlığı noktaları ile ilişkilendirilmiştir. Lokal anodizing dengesini sürdürmek için lokal akım yoğunluğu artışını gerektiren por dibindeki alan-destekli oksit çözünmesi artışını göz önüne alarak açıklamışlardır [4].

Li ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışma ile Al-Si alaışımının anodik oksit kaplamasının korozyon koruma özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada Potensiyodinamik hard anodizing (HA), anodizing (A) ve değiştirilmiş (Modifiye) anodizing (MA) gibi üç farklı teknik kullanılarak sert ve korozyondan koruyucu filmler üretmek için alüminyum oksit kaplaması Al-Si alaşım substratlar üzerine biriktirilmiştir. Polarizasyon testleri ile kaplamanın korozyon direncini değerlendirmişlerdir. Bir mikrosertlik kontrol cihazı kaplama sertliğini kontrol etmek için kullanılmış, taramalı elektron mikroskopisi (Scanning Electron Mikroskopy, SEM) ve enerji dağıtıcı X-ray (EDX) analizi ile kaplama mikroyapılarını ve korozyondan önceki ve sonraki kimyasal bileşimini araştırmak için kullanmışlardır. Değiştirilmiş (Modifiye) anodizing'in, çevre dostu bir kaplama metodu olduğunu, Al-Si alaşımı için korozyon korumasının oldukça iyi olan sert bir oksit kaplaması oluşturabileceğini bulmuşlardır [5].

Aterts ve arkadaşları da 2007 yılında, Anodize işleminde uygulanan sıcaklığın anodik alüminyum oksitin (Al_2O_3) mekanik özelliklerine etkisini ve poröziteyi incelemişlerdir.

Anodize elektroliti olarak 145 g/lit H_2SO_4 (sülfirik asit) + 5 g/lit $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (oksalik asit) çözeltisini kullanmışlardır. 17 V sabit potansiyel uyguladıkları sistemde elektrolit sıcaklıklarını 5°C’de 55°C’ye 10°C’lik artışlarla değiştirerek düşük dayanım değişimini belirlemişlerdir. Artan sıcaklıkla mikro sertlik azalmaktadır. Ayrıca bu çalışmada anodik alüminyum oksit yüzeyindeki por büyüklüğünün sıcaklıktan bağımsız olduğunu belirlemişler ve yalnızca uygulanan anodize voltajı ile değiştirilebileceğini ileri sürmüşlerdir [6].

1.2 Tezin Amacı

Alüminyumun anodizasyonu malzemeye kazandırdığı yüzey sertliği ve aşınma dayanımı ile ön plana çıkan ve birçok araştırmacının ilgisini çeken bir elektrokimyasal kaplamadır. Elektroliz yöntemiyle alüminyum oksitin oluşumuna; akım yoğunluğu, sıcaklık, elektrolit tipi ve süre etki etmektedir.

Bu çalışmanın amacı; Oldukça soğuk (0-4 °C) sıcaklıkta çalışan Sert Anodize Kaplama prosesi için gerekli olan soğutma yükünün; 1’inci HİBM.K.lığında mevcut en çok kapasite için hesaplanarak, kaplama esnasında soğutma için harcanan ilave enerjiye dikkat çekmek ve AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 alüminyum alaşımı ham malzemeler kullanılarak proses parametreleri olan akım yoğunluğu, süre ve sıcaklığın değişiminin kaplama kalınlığı, aşınma dayanımı ve yüzey sertliği açısından kıyaslanmasıdır.

1.3 Hipotez

Havacılık sektöründe hafiflik ve mukavemet değerleri ile ön plana çıkan Alüminyum alaşımı (2024, 6061 ve 7075) malzemelerin üzerine uygulanan sert anodize kaplamanın kalitesinin sıcaklık, akım, yoğunluğu ve süre parametrelerinin değişimi ile farklılık göstereceği öngörülmektedir. Ayrıca 0 - 4 °C sıcaklıkta oldukça soğuk elektrolit değerlerinde çalışılan proses için gerekli soğutma yükünün oldukça büyük çıkacağı ve büyük ölçüde elektrolitin ilk soğutulurken ve elektrokimyasal tepkime sırasında oluşacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri

Bakır, kurşun, vb. ağır metallerin üretilip kullanılması M.Ö. 6000-7000 yıllarına kadar geri gitmesine rağmen, hafif metaller diye adlandırılan alüminyum, magnezyum, vb metaller ancak MS 19. yüzyılda üretilip kullanılabilmıştır [7].

İsmi Yunanca alum mineraline verilen isim olan "alumen" den almıştır. İlk defa Alman Wöhler tarafından $AlCl_3$ üzerine potasyum etki ettirerek açığa çıkarılmış (1827), ilk sınaî üretimi Sainte-Claire tarafından gerçekleştirilmiştir (1854). Elektroliz yolu ile ilk metalurjisi de Devillede 1886 yılında Fransız Herault ve Amerikalı Hall tarafından aynı zamanda, fakat ayrı ayrı bulunmuş olan demirden sonra en çok kullanılan beyaz, gümüşü görünüşte ve hafif bir metaldir. Kolayca tel ve levha haline gelebilir. Oksijene karşı büyük bir ilgisi olmakla beraber, ince bir amorf oksit (Al_2O_3) tabakası ile kaplıdır. Dolayısıyla bu oksit tabakası metali korur. Üretimden yeni çıkan bir alüminyumun yüzeyinde oluşan film tabakası 50-80 °A (5-8 nm veya $5 \cdot 10^{-6}$ - $8 \cdot 10^{-6}$ mm) kadardır. Oksit tabakası (amorf) kalınlık arttıkça esas (ana) metali koruyucu bir özellik arz eder. Alüminyumda bulunan alüminyum oksitin (Al_2O_3) bu koruyucu özelliği diğer metallerde yoktur. Mesela demir üzerinde oluşan oksit tabakası rutubetin de (nem) etkisiyle pasla dönüşür. Bu paslanma (korozyon) sonucu metaller üzerinde tonlarca kayıp oluşur [8].

% 99,9 saflıktaki alüminyumun mekanik özellikleri oldukça düşüktür. Alüminyumun içersine katılan silisyum, mangan, bakır, çinko, magnezyum gibi elementlerle oluşturulan alaşımlar ile mekanik özellikleri oldukça iyileştirilmektedir. Alüminyumu diğer metallerden ayıran özelliklerin başında hafif olması ve elektrik iletkenliği sayılabilir. Alüminyumun ticari alaşımları ergime noktaları itibari ile yaklaşık 660 °C' civarında olmasından dolayı 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanımı sınırlıdır [9].

- Sembol: Al
- Atom Numarası: 13
- Atom Ağırlığı: 27 gr/mol
- Yoğunluk: 2,7 gr/cm³
- Ergime Derecesi: 660 ° C
- Kaynama Derecesi: 2300 ° C
- Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 megapascal (MPa) iken alaşımlandırıldığında bu değer 700 MPa'a çıkar.
- Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır [10].

Alüminyumun metal olarak özellikleri bir çok durumda onun ideal ve ekonomik bir malzeme olmasını sağlar. Alüminyumun genel özellikleri aşağıda özetlenmiştir :

- Alüminyum hafiftir. Aynı hacimdeki bir çelik malzemenin ağırlığının ancak üçte biri kadar ağırlıktadır.
- Alüminyum, hava şartlarına, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan pek çok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır.
- Alüminyumun yansıtma kabiliyeti yüksektir. Gümüşü beyaz renginin bu özelliğe olan katkısı ile beraber gerek iç gerekse dış mimari için cazibeli bir görünüme sahiptir. Alüminyumun bu güzel görünümü, anodik oksidasyon (eloksal), lâke maddeleri vs. gibi uygulamalar ile uzun müddet korunabilir. Hatta, birçok uygulamada tabii oksit tabakası bile yeterli olur.

- Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denk veya daha yüksektir.
- Alüminyum elastik bir malzemedir. Bu nedenle ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, dayanıklılığı düşük sıcaklıklarda azalmaz. (Çeliklerin, düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı mukavemeti azalır.)
- Alüminyum, işlenmesi kolay bir metaldir. Öyle ki, kalınlığı 1/100 mm den daha ince olan folyo veya tel haline getirilebilir.
- Alüminyum ısı ve elektriği iyi iletir.
- Alüminyuma şekil vermek için döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi tüm metotlar uygulanabilir.
- Alüminyum 40-540 N/mm² (Alaşımlarına göre değişkendir.) ortalama mukavemeti ile bir çok kullanım alanı için optimum çözümler sunmaktadır. Alüminyum gerek ısı, gerekse elektrik açısından çok iyi bir iletkenidir. Saf halde iken iletkenlik amacından başka uygulamalarda kullanılmaz. Buna karşın, Al alaşımları mutfak eşyalarından uçak ve uzay araçlarına dek sayısız uygulama alanlarında kullanılır [11].

Alüminyum alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme dizini Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen dizindir.

Çizelge 2.1 Temel alüminyum alaşımlarının gösterilişi [9].

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XXX	Saf Alüminyum
2XXX	Bakır
3XXX	Mangan
4XXX	Silisyum
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum - Silisyum
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer Elementler

2.2 Alüminyumun Kullanım Alanları

Dünyadaki kullanımı, hem miktar hem de değer olarak demirden sonra gelir. Saf alüminyumun çekme dayanımı düşük olmakla birlikte, bakır, çinko, magnezyum, manganez ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü alüminyum alaşımları, uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenleridir.

- İnşaat
- Ambalaj
- Taşıt Araçları
- İletken olarak
- Mühendislik Uygulamaları
- Su arıtma
- Dayanıklı tüketim aletleri (cihazlar, mutfak araç gereçleri, vs.)
- Makine imalatı, uçak, uzay araçları, motor parçaları,
- Yüksek saflıkta alüminyum , elektronik ve CD lerde
- Toz haline getirilmiş alüminyum boyalara gümüşümsü renk vermede kullanılır.
- Kolay şekillendirilebilir oluşu ve yüksek ısı iletkenliğinden ötürü, yeni bilgisayarların CPU'larının ısı uzaklaştırıcılarında kullanılır [9].

2.3 Alüminyumun Korozyonu

Altın ve platin gibi bazı soylu metaller hariç, metallerin çoğu toprak içersinde diğer elementlerin bileşikleri olarak bulunmaktadır. Bu kombine metalleri saf biçimde elde edebilmek için enerji yüklenmesine gereksinim duyulmaktadır. Bu durum metalleri daha yüksek serbest enerjili duruma getirmektedir. Termodinamiğin İkinci Yasası, yüksek enerji içeren saf metallerin, başlangıçtaki düşük enerjili kombine biçimlerine geri dönüşüne meyil gösterdiklerini ifade etmektedir.

Alüminyum elektro kimyasal gerilim sırasına göre alkali ve toprak alkali metaller dışında bütün elementlere karşı anodik olarak davranması gereken aktif bir metaldir. Oysa çoğu ortamlarda özellikle havada korozyona karşı oldukça dirençlidir. Bunun başlıca nedeni oksijenle kolayca reaksiyona girerek yüzeyi iyi kapatan bir oksit tabakası oluşturmastır. Bu oksit tabakası taban metali koruyucu niteliktedir. Oksit tabakasının kalınlığı arttıkça korozyon direnci de artmaktadır [7].

Çizelge 2.2 Bazı alüminyum alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları [12].

Korozif Ortam	Al (%99.5)	Al Mg	Al Cu Mg	Kullanım Yeri
Asetilen (kuru)	1	-	2-3	Basınçlı Tüp
Amonyak (kuru, sıvı)	1-2	1-2	-	Soğutma
Etan	1	1	-	Basınçlı Tüp
Endüstri Atmosferi	2-3	2-3	3	İnşaat, Taşıt
Deniz Atmosferi	1-2	1	3-5	Gemi İnşaatı
Benzol	1	1	1	Kap, Aparat
Benzin	1	1	1-3	Otomotiv
Destile Su	1-2	1-2	-	Kimya
Freon	1	1	-	Soğutma
Buz	1	1	2	Soğutma
Deniz Suyu	2-3	1-2	3-5	Gemi

1- Çok Dayanıklı, 2- Dayanıklı, 3- Az Dayanıklı, 4-Kullanılabilir, 5- Kabul edilebilir ölçüde dayanıklı, 6- Dayanıksız

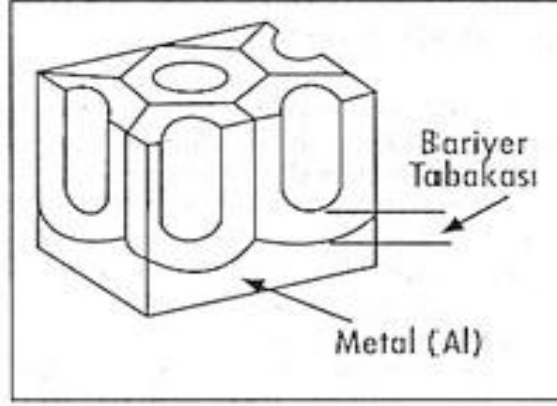
Alüminyum malzemeler, atmosfer içerisinde korozyona oldukça dayanıklıdır. Endüstri atmosferinde (Kükürt, kir, toz) ve deniz atmosferinde otuz yıl sonrası korozyon etki sonucu, alüminyum malzemedeki dayanım azalması, yaklaşık % 9- 13 kadardır [13].

2.4 Alüminyum Üzerine Uygulanan Anodize Kaplamalar

Alüminyumun anodizasyonu konusu, 1923 yılında Bengough ve Stuart tarafından geliştirilen ilk ticari anodizasyon banyosu ile birlikte çok sayıda araştırmaların konusunu oluşturmuştur. Bu konudaki araştırmalar halen de sürmektedir. Doğal olarak alüminyum anodizasyonu banyoları için alınmış binlerce patent bulunmaktadır.

Anodizasyon sırasında anotta oksijen gazı salınır (kaplanır). Oksijen anodu kaplar çünkü bu koşullar altında en kolay enerji salınma iz yolu, oksijenin serbest bırakılmasıdır. Salınan oksijen, temiz alüminyum yüzey ile tepkimeye girerek alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşturur. Kaplama oluştuğunda, üzerinde olduğu alan için bir elektriksel yalıtkan olarak işlevsellik gösterir. Böylece, yalıtkan filmin oluşma hızı bağlamında değişken olarak, kaplama bütünselleştiğinde sifra yaklaşık düzeye düşecek şekilde akım şiddeti azalır. Ara yüzeyde oluşan bu ilk film tabakası, daha yoğun ve yalıtıcı doğası nedeni ile BARİYER FİLM olarak adlandırılır.

Bu oksit katmanının kalınlığını artırmak için, başlangıçtaki bir inch'in milyonda bir birkaç basamağından öteye geçecek şekilde film yapılaşma prosesinin sürdürülebilmesi amacı ile, bu bariyer filmin çözündürülmesi veya delinmesi için bir yöntem bulunmasına gereksinim vardır. Diğer bir ifade ile, istenen, bir yandan bir oksit tabakası oluşurken, prosesin devam edebilmesi için bu oksit tabakasının kimyasal olarak yeterince çözünmesini sağlayabilecek bir elektrolitin kullanılmasıdır. Yapılaşma hızı çözünme hızını aştığı müddetçe katman kalınlığı artmayı sürdürecektir. Bu denklemde tam olarak izlenen süreç iki ileri-bir geri düzenindedir. Doğal olarak her durumda proses, kaplama giderek daha kalınlaşarak, korozyona uğraması gereken alüminyuma erişmek daha da zorlaştığından ve iyonların hareket edebilmesi giderek daha da güçleştiğinden, son aşamada durma aşamasına dek varmaktadır



Şekil 2.1 Alüminyum Oksit Katmanı [7].

Alüminyum anodizasyonunun ticari önemi oldukça fazladır. Bunun bazı nedenleri:

1. Bu sayede alüminyum korozyonun ilerleyerek, gelişmesinden korunmaktadır.
2. Alüminyum metali üzerinde oluşan alüminyum oksit katmanının dekoratif bir görünümü vardır,
3. Anodize alüminyum yüzeyi boyanabilir ve çeşitli renk serileri ile yüzey finisajları oluşturulmasına olanak verir.
4. Anodize alüminyum katmanı mükemmel bir elektriksel yalıtıcı katman oluşturur.
5. Alüminyum oksit katmanı (zımpara bir alüminyum oksit formudur) sert ve aşınmaya karşı direçlidir.
6. Alüminyum oksit, özellikle siyah renge boyandığında, üstün bir mor-altı emisyon ve absorpsiyon gösterir.

Kullanılan enerji kaynağına ve elektrolite bağlı olarak uygulanan çeşitli alüminyum elektroliz yöntemleri vardır. Bunların havacılık sektöründe kullanılan en önemlileri, olağan/yumuşak anodizasyon (Kromik Asit Anodizasyonu, Sülfürik Asit Anodizasyonu) ve sert anodizedir.

2.4.1 Kromik Asit Anodize Kaplama

Kromik asit anodize daha çok uçak sanayinde kullanım yeri bulmuştur. Bu anodize tabakası ince olmasına rağmen (2-5mikron) korozyona karşı çok dayanıklıdır.

Alüminyum komponentlerin perçin ile birleştirildiği yapılarda korozyon problemi görülmez. Ayrıca kromik asit anodize alüminyum yüzeyinde çatlak ve hataları gösterdiğinden, uçak imali gibi her aşaması önemli olan sektörlerde ilave kalite kontrol prosesi olarak da görev yapar. Bengoungh Stuart metodu olarak bilinen proses 33-37 °C’de , %3-%10’luk kromik asit elektroliti, 0,5-0,85 değerleri arasında PH, 0-50 V arasında değişen voltaj, 0,1-0,32 A/dm² akım yoğunluğu ve 40-60 dakika süre ile uygulanır. 2-5 mikron kalınlığındadır.

Bu teknik, %5’ten fazla miktarda bakır içeren alüminyum alaşımları üzerinde yeterli film katmanları oluşturulmasına elverişli değildir. Bu yöntemle oluşturulan film katmanları, sülfürik asit banyosu yöntemi ile oluşturulan film katmanlarına göre biraz daha ince, az sayıda gözenekli ve daha yumuşaktır. Bunlar aşınmaya ve kimyasal etkileşime karşı koruma amaçları için yüksek ölçüde tatminkardır. Ancak müteakip boyama ve renklendirme aşamaları için, sülfürik asit banyosu ile elde edilen filmler kadar amaca uygun değildir [7].

2.4.2 Sülfirik Asit Anodize Kaplama

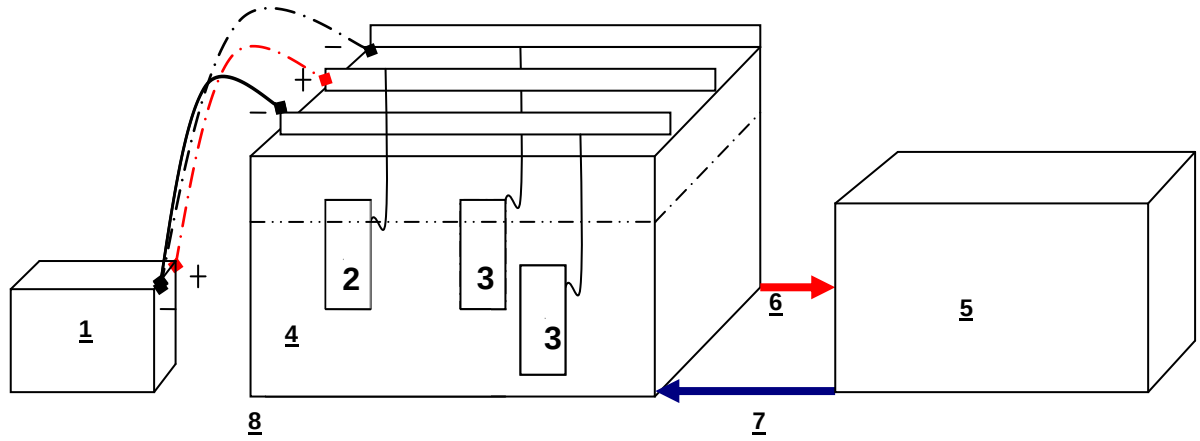
Anodizasyon en çoğunlukla ve sıklıkla sülfürik asit banyosu ile yapılmaktadır. Bu tip banyolar 0,0002 inc veya daha fazlası kalınlığa sahip katmanlar oluşturulmasına olanak sağlar, oluşan film esas itibarı ile renksizdir ve boyanmaya daha elverişlidir ve bu teknik, %5’ten fazla bakır içeriği olan alaşımlar için kullanılabilir. Aynı banyoda, asit konsantrasyonunun, akım şiddeti yoğunluğunun ve çalışma sıcaklığının değiştirilmesi sureti ile, film sertliğinde değişiklikler elde edilebilir.

Mimari ve dekoratif anodize işlemlerinde sülfirik asit elektroliti kullanılır. Tipik yumuşak sülfirik asit anodizede 180-200 g/l H₂SO₄ bulunur ve 18-22 °C arasında 0,6-2,6 A/dm² doğru akım uygulanır. Voltaj 12-22 V arasında değişir. Tabaka oluşma hızı dakikada 0.5 mikrondur [7].

2.4.3 Sert Anodize Kaplama

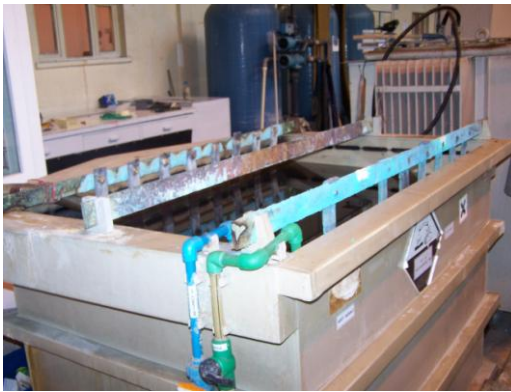
Sert, sürtünmeye dayanıklı bir yüzey istendiğinde yapılan bir anodize işlemidir. Çözelti sülfirik asit (H₂SO₄) ve oksalik asit (C₂H₂O₄.2 H₂O) karışımıdır. Kalınlık 100-200 mikron

arasındadır. H_2SO_4 oranı düşüktür. Voltaj 10-100 V aralığında olup oldukça yüksektir. Sıcaklık 0-4 °C aralığındadır. Bu banyoda soğutma çok önemlidir. Çevreden gelen soğutma yükleri dikkate alınarak, bir seferde kaplanacak parçaların banyo sıcaklığına getirilmesi ve redresör tam yükte iken verilen akımla (akım verimi dikkate alınarak) çekilen soğutma yükleri hesaplanmalıdır. Uygun soğutma grubu seçilmelidir. Kaplama esnasında sıcaklık proses aralığında sabit tutulmalıdır. Sıcaklık farkı (± 2 °C) dir. Yüksek akım yoğunluğunda çalışıldığı için sistemde hava ile karıştırma mutlaka bulunmalıdır.



- | | |
|--|---|
| 1. Redresör (Güç Kaynağı) (DC) | 5. Soğutma Grubu |
| 2. Anot (Al İş Parçası) | 6. Sistemden Soğutulmak İçin Giden Elektrolit |
| 3. Katot (Kurşun levha) | 7. Soğutularak Kazana Dönen Elektrolit |
| 4. Elektrolit (Sülfirik asit + oksalik asit))) | 8. Kaplama Kazanı (10 mm cidarlı polipropilen) |

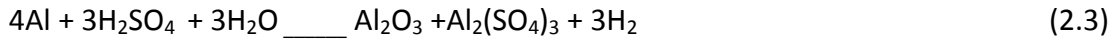
Şekil 2.2 Sert Anodize Kaplama Sistem Örneği



Şekil 2.3 Mevcut Sert Anodize Kaplama Kazanı ve Soğutma Ünitesi

2.4.3.1 Alüminyum oksit Tabakasının Oluşumunun Kimyasal İncelenmesi

Anodize işleminin kimyasını kısaca açıklamak istersek; Katot ve anot arasında hareket eden elektrik akımının sülfirik asit elektrolit içersinde sülfirik asitin parçalanması sonucu iki alüminyum iyonu ile üç oksijen iyonunun birleşmesi ile Al_2O_3 (Alüminyum Oksit) oluşmasıdır. Bu reaksiyon esnasında hidrojen gazı açığa çıkmakta ve banyoda da çözünmüş alüminyum oluşmaktadır [14].



2.4.3.2 Kaplama Parametreleri

Çizelge 2.3. Kaplama parametreleri

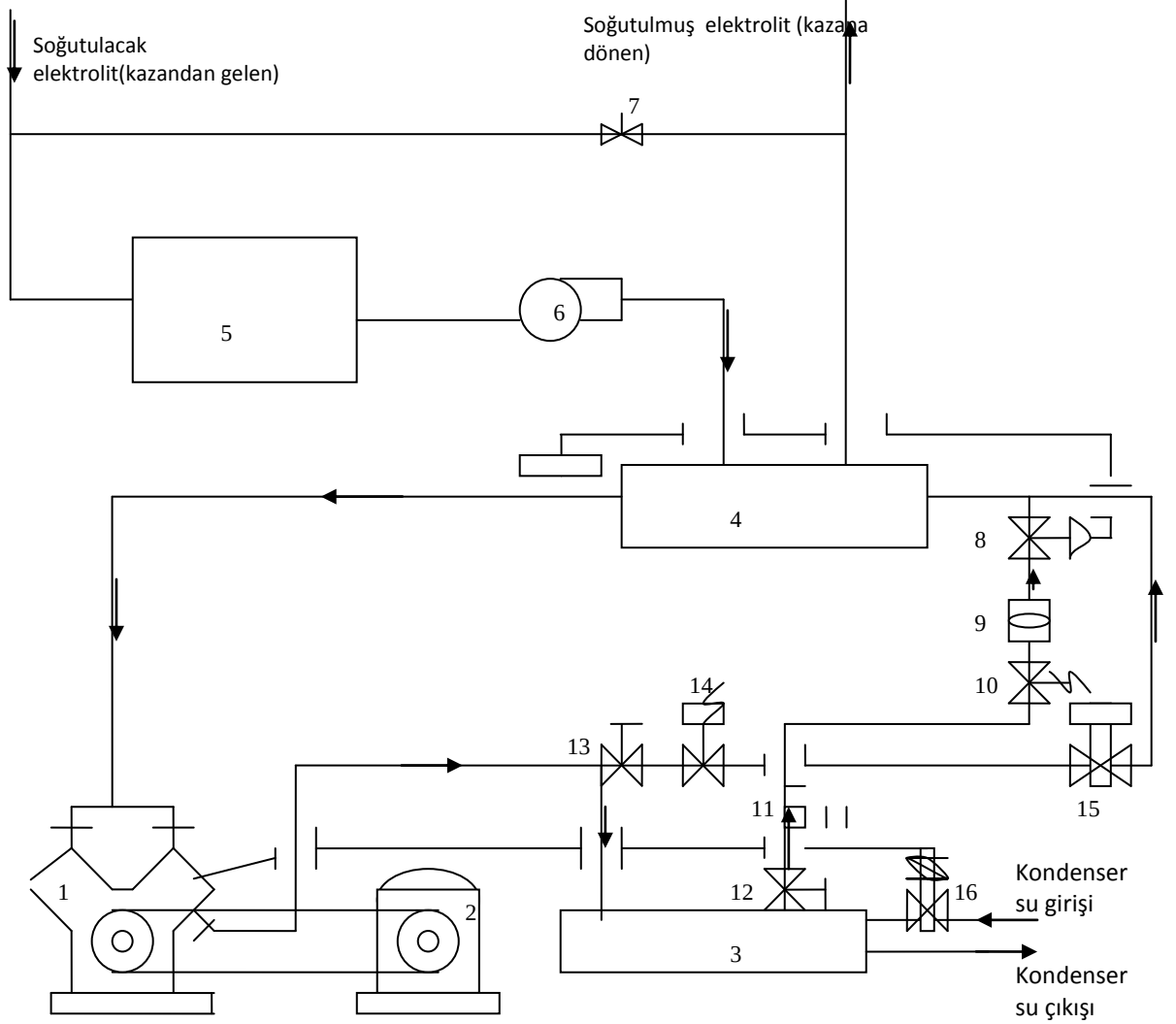
Parametre	Değer
Banyo Bileşimi	135 g /lt Sülfirik asit + 15 g / lt Oksalik asit
Banyo Sıcaklığı	0 – 4 °C
Akım Yoğunluğu	2 - 4 A / dm ²
Kaplama Süresi	1 -2 saat

2.4.3.3 Proses İşlem Adımları

1. Parçalar özel alüminyum veya titanyum askılara asılır. Demir, piring, vb. askılar kullanılmaz. (Kaplanacak malzeme üzerinde demir,piring gibi malzemeler maskelenir)
2. Oksit ve yağ alma banyosunda 52-66 °C de temizlenir. Şayet parça üzerine polisaj yapılmışsa bu banyo ile yağı temizlenir. Banyo üzerinde havalandırma sağlanmalıdır.
3. Alkali temizleme banyosunda temizleme yapılır. (Banyo içeriği : Sodyum Hidroksit : 37 gr/lt, Trisodyum Fosfat : 23gr/lt, Sodyum Glokonat : 0,2 gr/lt, sıcaklık: 57-80 °C şeklindedir)

4. Kaplanacak parçalar; oksit leke giderme banyosunda temizlenir. (Banyo içeriği : Sodyumdikromat : 60gr/lit, Sülfirik asit: 139 ml/lit sıcaklık: 35-60 °C şeklindedir.)
5. Daha sonra oda sıcaklığında suda 30 -60 saniye süre ile yıkanır.
6. Sert anodize kaplama banyosuna parçalar asılır. Kaplanacak parçaların çözelti sıcaklığına gelmesi için 1-2 dakika beklenir ve yavaş yavaş akım verilerek kaplama işlemine başlanır.
7. Kaplanan parçalar deiyonize suda çalkalanarak temizlenir.
8. Daha sonra kaplanan parçalara 88-100°C ve 15 dakika süre, pH = 5-6,5 olan sodyum dikromat çözeltisinde tespitleme işlemi yapılır.
9. En son hava ile kurutma yapılarak kaplama işlemi sonlandırılır.

2.4.3.4 Proseste Kullanılan Soğutma Sistemi ve Soğutma Yüğü



- | | |
|------------------------|---|
| 1. Kompresör | 10. Sıvı Hattı Selonoid Valf |
| 2. Motor | 11. Filtre kurutucu |
| 3. Kondenser | 12. Sıvı Hattı küresel Valf |
| 4. Isı Değiştirici | 13. Shut Off Valf (Opsiyonel) |
| 5. Stoklama Tankı | 14. Sıcak Gaz Bypass Selonoid Valf (Opsiyonel) |
| 6. Sirkülasyon Pompası | 15. Sıcak Gaz Bypass Düzenleyici Valf (Opsiyonel) |
| 7. Su Tahliye Valfi | 16. Su Düzenleyici Valf |
| 8. Isıl Genleşme Valfi | |
| 9. Nem Göstergesi | |

Şekil 2.4. Soğutma Grubu Şeması [15].

Soğutma Yüğü Hesabı

Çizelge 2.4 Hesaplamada kullanılan parametreler

Parametreler	Değer	Birim
Redresör (DC) Max Akım	1000	Amper
Redresör (DC) Max Voltaj	200	Volt
Kaplama Kazanı boyutları	100x100x150	Cm
Kazan Cidar Kalınlığı	1	Cm
Kazan malzemesi	Polipropilen	Ppp
Ortam sıcaklığı (T_0)	22 (kış yaz ortalama)	°C
Kazan cidarı ısı iletim katsayısı (k) (polipropilen)	0.12	W/ mK
Akım Yoğunluğu	3	A/ dm ²
Voltaj	50	Volt
Max Kaplanacak malzeme alanı (A_{Al})	240	dm ²
Kaplama süresi (t)	1.5	Saat
Max Kaplanacak malzeme hacmi (V)	0.24	m ³
Al ısı iletim katsayısı (C_p)	0.902 (300 K = 22 °C)	kJ/kg K
Yogunluk (ρ_{Al})	2.7	kg/m ³
Be°_e	18	
Elektrolitin ısı iletkenlik katsayısı (c_e)	0.829	kJ/kg K
Elektrolitin yoğunluğu (ρ_e)	1.143	gr/cm ³
Elektrolitin hacmi (Ve)	1300	Lt
Minimum Elektrolit sıcaklığı (Te)	0	°C
Anodize için akım verimi	65	%

Prosesteki Soğutma Yüğüleri

1. Kaplama kazanındaki mevcut 1300 lt hacmindeki elektrolit 22 °C'den 0 °C' ye soğutuluyor
2. Kaplanacak Al parça kazana asılıyor ve ortam sıcaklığından (22 °C'den) 0 °C' ye soğuması bekleniyor.
3. Kaplama için sisteme akım veriliyor. Akım verimi % 65 olduğundan Verilen enerjinin %35 lik kısmı ısıya dönüştüğü varsayılıyor.
4. Kazan cidarlarından ve açık olan üst kısımdan gelen ısı yüğüleri oluyor.

Birinci durum için soğutma yükü Q₁

$$Q_1 = m_e \cdot c_e \cdot \Delta T \quad (2.4)$$

$$c_e = 0.829 \text{ kcal/ gr } ^\circ\text{C} \text{ (Be } 18^\circ \text{ için Çizelge 2.5 den)} \quad (2.5)$$

$$\rho_e = \frac{m_e}{V_e} \quad \rho_e = 1.143(\text{gr/cm}^3) \text{ (Be } 18^\circ \text{ için Çizelge 2.6 dan)} \quad (2.6)$$

$$1.143(\text{gr/cm}^3) = \frac{m_e}{1300000 (\text{cm}^3)} \quad m_e = \underline{1485900 \text{ gr}}$$

$$Q_1 = 1485900 \cdot 0.829 \cdot (22-0) \quad \mathbf{Q_1 = 27099,8 \text{ kcal}}$$

Çizelge 2.5 °Bé ve özgül ağırlık dönüşüm tablosu [8]

Yoğunluk	Özgül ısı	Yoğunluk	Özgül ısı	Yoğunluk	Özgül ısı
1 °Bé	0,9905	11 °Bé	0,8955	21 °Bé	0,8005
2 °Bé	0,9810	12 °Bé	0,8860	22 °Bé	0,7910
3 °Bé	0,9715	13 °Bé	0,8765	23 °Bé	0,7815
4 °Bé	0,9620	14 °Bé	0,8760	24 °Bé	0,7720
5 °Bé	0,9525	15 °Bé	0,8575	25 °Bé	0,7625
6 °Bé	0,9430	16 °Bé	0,8480	26 °Bé	0,7530
7 °Bé	0,9335	17 °Bé	0,8385	27 °Bé	0,7435
8 °Bé	0,9240	18 °Bé	0,8290	28 °Bé	0,7340
9 °Bé	0,9145	19 °Bé	0,8195	29 °Bé	0,7245
10 °Bé	0,9050	20 °Bé	0,81	30 °Bé	0,7150

Çizelge 2.6 °Bé ve yoğunluk dönüşüm tablosu (sudan ağır sıvılar için) [8]

(°Bé)	Yoğunluk	(°Bé)	Yoğunluk	(°Bé)	Yoğunluk
1 °Bé	1,007	11 °Bé	1,083	21 °Bé	1,171
2 °Bé	1,014	12 °Bé	1,091	22 °Bé	1,180
3 °Bé	1,021	13 °Bé	1,099	23 °Bé	1,190
4 °Bé	1,029	14 °Bé	1,108	24 °Bé	1,200
5 °Bé	1,036	15 °Bé	1,116	25 °Bé	1,210
6 °Bé	1,043	16 °Bé	1,125	26 °Bé	1,220
7 °Bé	1,051	17 °Bé	1,134	27 °Bé	1,231
8 °Bé	1,059	18 °Bé	1,143	28 °Bé	1,241
9 °Bé	1,067	19 °Bé	1,152	29 °Bé	1,252
10 °Bé	1,075	20 °Bé	1,161	30 °Bé	1,263

İkinci durum için soğutma yükü Q2

$$V_{Al} = 0,24 \text{ m}^3$$

$$cpAl = 0.902 \text{ kJ/kgK } (300 \text{ K} \cong 22 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\rho_{Al} = 2,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{Al} = \frac{m_{Al}}{V_{Al}} \qquad 2,7 = \frac{m_{Al}}{0,24} \qquad (2.7)$$

$$m_{Al} = \underline{0.684 \text{ kg}}$$

$$Q_2 = m_{Al} \cdot cp_{Al} \cdot \Delta T$$

$$Q_2 = 0.684 \cdot 0.902 \cdot (22-0)$$

$$Q_2 = \underline{3.073 \text{ kcal}}$$

Üçüncü durum için soğutma yükü Q3

$$I = 3 \text{ A/ dm}^2 \text{ (Akım yoğunluğu)}$$

$$A_{Al} = 240 \text{ dm}^2 \text{ (Kaplanacak alüminyum parça alanı)}$$

$$V = 50 \text{ Volt (Uygulanan Voltaj)}$$

$$t = 1.5 \text{ saat} = 5400 \text{ sn (Kaplama süresi)}$$

$$E_3 = I \cdot A_{Al} \cdot V \cdot t \text{ (Kaplama sırasında çekilen toplam enerji)} \qquad (2.8)$$

$$E_3 = 3 \cdot 240 \cdot 50 \cdot 5400$$

$$E_3 = \underline{194400000 \text{ Joule}}$$

$$1 \text{ Joule} = 0.239 \text{ cal}$$

$$E_3 = \underline{46461,6 \text{ kcal}}$$

$$\text{Redresör verimi} = \% 90$$

$$E_{3net} = \frac{E_3}{0.90}, \quad E_{3net} = \underline{51626 \text{ kcal}} \quad E_{3net} = \underline{60 \text{ kWh}} \qquad (2.9)$$

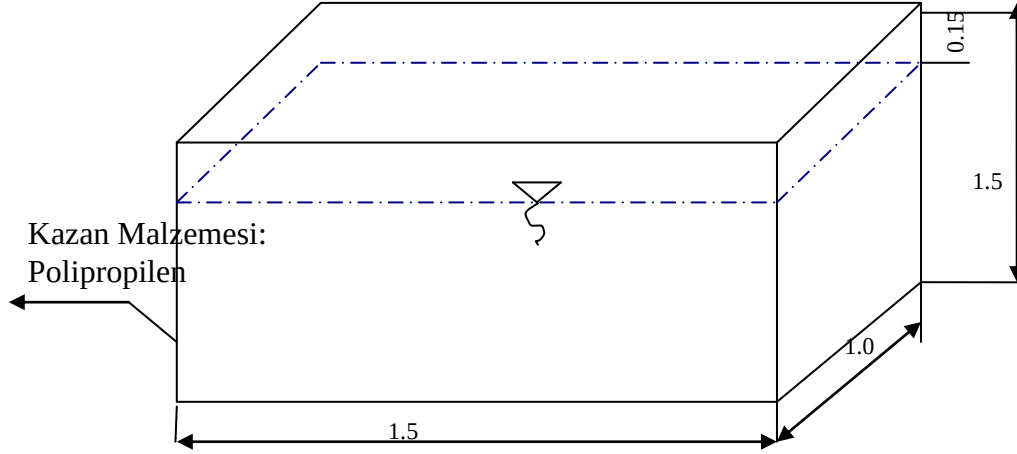
$$\text{Anodize için akım verimi} = \% 65 \text{ [16].}$$

Redresörle çekilen enerjinin % 35 ' i ısıya dönüşür.

$$Q_3 = 0.35 \cdot 51626 \text{ (kcal)}$$

$$\underline{Q_3 = 18068 \text{ kcal}}$$

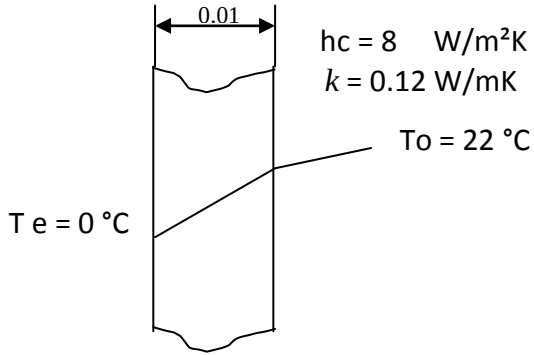
Dördüncü durum için soğutma yükü Q_4



Şekil 2.5 Kazan Boyutları

$A_K = 5.7 \text{ m}^2$ (Toplam kazanın üst açık kısım hariç yüzey alanı)

$A_A = 1,5 \text{ m}^2$ (Üst açık kısım yüzey alanı)



$$U = \frac{1}{hc} + \frac{d}{k} \quad (2.10)$$

$$U = \frac{1}{8} + \frac{0.01}{0.12}$$

$$\underline{U = 0.208 \text{ W/m}^2 \text{ K}}$$

Şekil 2.6 Duvar Kesiti

$$Q_{4-1} = U \cdot A_K \cdot \Delta T \text{ (Kazan yüzeyinden gelen soğutma yükü)} \quad (2.11)$$

$$Q_{4-1} = 0.208 \cdot 5,7 \cdot 22$$

$$\underline{Q_{4-1} = 260 \text{ Watt}}$$

$$Q_{4-2} = h_{c2} \cdot A_A \cdot \Delta T \text{ (Üst açık yüzeyden kazana doğru gelen soğutma yükü)} \quad (2.12)$$

$$H_{c2} = 6 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (Üst açık yüzeyden kazana doğru iletim için)}$$

$$Q_{4-2} = 6 \cdot 1.5 \cdot 22$$

$$\underline{Q_{4-2} = 198 \text{ Watt}}$$

$$Q_4 = Q_{4-1} + Q_{4-2} \quad (2.13)$$

$$\underline{Q_4 = 459 \text{ Watt} = 0.459 \text{ kW}}$$

$$\underline{Q_4 = 0.688 \text{ kWh}} \text{ (t = 1.5 saat kaplama süresi için)}$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

$$\underline{Q_4 = 591,9 \text{ kcal}}$$

QT = 1.5 saat kaplama süresi için toplam soğutma yükü

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2.14)$$

$$Q_T = 27099,8 + 3.073 + 18068 + 591,9$$

$$\underline{Q_T = 45762,7 \text{ kcal} = 53,212 \text{ kWh}}$$

% 1 lik soğutma yükü kazan cidarları ve üst açık kısımdan olmaktadır. Dolayısı ile kazanın izole edilmesi veya üstünün kapanmasının soğutma yüküne katkısı ihmal edilebilir düzeydedir.

1,5 saatlik kaplama süresince toplam şebekeden çekilen enerji:

$$E_{\text{Toplam}} = E_{\text{kaplama}} + Q_{\text{Toplam}} \quad E_{\text{Toplam}} = 60 + 53,212 = \underline{113,212 \text{ kWh}} \quad (2.15)$$

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler 1.HİBM.K. lığında Eskişehir’de 2011 yılı ocak ayında gerçekleştirilmiştir.

2.5 Kullanılan Ham Malzemeler

1. QQ-A-250/4 2024-T3

Çizelge 3.1 2024 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Kompozisyon Limitleri [17].

Ağırlık %	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
Minimum	-	-	3,8	1,2	0,3	-	-	-
Maximum	0,5	0,5	4,9	1,8	0,9	0,1	0,25	0,15

2. QQ-A-250/11 6061-T6

Çizelge 3.2 6061 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Kompozisyon Limitleri [17].

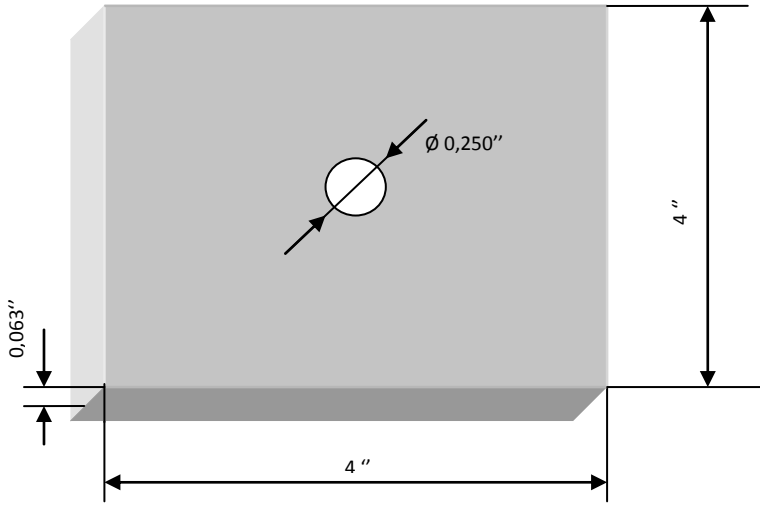
Ağırlık %	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
Minimum	0,4	-	0,15	0,8	-	0,4	-	-
Maximum	0,8	0,07	0,4	1,2	0,15	0,35	0,25	0,15

3. QQ-A-250/12 7075-T6

Çizelge 3.3 7075 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Kompozisyon Limitleri [17].

Ağırlık %	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
Minimum	-	-	1,2	2,1	-	0,18	5,1	-
Maximum	0,4	0,5	2	2,9	0,3	0,28	6,1	0,2

3.1 Deney Numuneleri



Şekil 3.1 Deney numuneleri ölçüleri

3.2 Kullanılan Cihazlar

1. Kaplama Kalınlığı Ölçüm Cihazı



Şekil 3.2 Kaplama Kalınlığı Ölçüm Cihazı

Kaplama kalınlığını ölçmek için kullanılan cihaz olup her yıl kalibre edilmektedir. Uç kısmındaki prop, kaplanan yüzeye dik şekilde temas ettirilerek kalınlık ölçülür.

2. Elektro mikroskop



Şekil 3.3 Elektro mikroskop

3 Mikrosertlik Ölçüm Cihazı



Şekil 3.4 Mikrosertlik ölçüm cihazı

Mikro yapı incelemesi yapılırken ve mikrosertlik ölçülürken kullanılmıştır.

4. Hassas Terazi



Şekil 3.5 Hassas terazi

Değişik deney koşullarında kaplanan numunelerin aşınma miktarlarının tespiti için aşınma direnci test tezgahında test yapılmadan önce ve sonra numunelerin hassas tartılması için kullanılmaktadır.

5. Zımpara ve Parlatma Cihazı



Şekil 3.6 Zımpara ve parlatma tezgahı

Mikro yapı incelenirken sırasıyla numuneden kesit alınır, kalıplanır, zımparalanır ve parlatılır.

6. Aşınma Deneyi Test Tezgahı



Şekil 3.7 Aşınma Deneyi Test Tezgahı

Test aşamasında, test tezgahına Sert anodize için tanımlanan CS17 Calibrase lastik ve Alüminyum Oksit (Al_2O_3) esaslı aşındırıcı taş bağlanarak 1000 gr yük ile balanslanmış ve 5000 tur için deney yapılmıştır. Deney öncesi ve sonrası test numunelerinin hassas terazide ağırlık ölçümleri mili gram cinsinden ölçülmüştür.

$$\text{Aşınma miktarı} = \frac{(\text{Test öncesi ağırlık} - \text{Test sonrası ağırlık}) \times 1000(\text{gr})}{5000 (\text{tur})} \quad (3.1)$$

3.3 Yapılan Deneyler

3.3.1 Süre Değişimine Göre Sert Anodize Kaplama

1. QQ-A-250/4 2024-T3 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi,
2. QQ-A-250/11 6061-T6 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi,
3. QQ-A-250/12 7075-T6 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi hazırlanmış olup keskin köşeler yuvarlatılmış ve titanyum askılara asılarak 1, 1.5, 2 saat kaplama süresi için 4.3.3.' de yer alan proses adımlarına tabi tutulmuştur.

1. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 0 °C

Akım Yoğunluğu : 3 A / dm²

Kaplama Süresi : 1 saat

2. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 0 °C

Akım Yoğunluğu : 3 A / dm²

Kaplama Süresi : 1.5 saat

3. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 0 °C

Akım Yoğunluğu : 3 A / dm²

Kaplama Süresi : 2 saat

3.3.2 Sıcaklık Değişimine Göre Sert Anodize Kaplama

1. QQ-A-250/4 2024-T3 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3 adet test numunesi
2. QQ-A-250/11 6061-T6 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi
3. QQ-A-250/12 7075-T6 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi hazırlanmış olup keskin köşeler yuvarlatılmış ve titanyum askılara asılarak 0 ve 4 ° C kaplama sıcaklıkları için 4.3.3.' de yer alan proses adımlarına tabi tutulmuştur.

1. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 0 °C

Akım Yoğunluğu : 3 A / dm²

Kaplama Süresi : 1,5 saat

2. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 4 °C

Akım Yoğunluğu : 3 A / dm²

Kaplama Süresi : 1,5 saat

3.3.3 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Sert Anodize Kaplama

1. QQ-A-250/4 2024-T3 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi
2. QQ-A-250/11 6061-T6 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi
3. QQ-A-250/12 7075-T6 kompozisyonunda 4x4x0,063 inç ölçülerinde 3adet test numunesi hazırlanmış olup keskin köşeler yuvarlatılmış ve titanyum askılara asılarak

2, 3 ve 4 A / dm² akım yoğunluğunda 4.3.3' de yer alan proses adımlarına tabi tutulmuştur.

1. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 0 °C

Akım Yoğunluğu : 2 A / dm²

Kaplama Süresi : 1,5 saat

2. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 0 °C

Akım Yoğunluğu : 3 A / dm²

Kaplama Süresi : 1,5 saat

3. Deney (Sert anodize banyo koşulları)

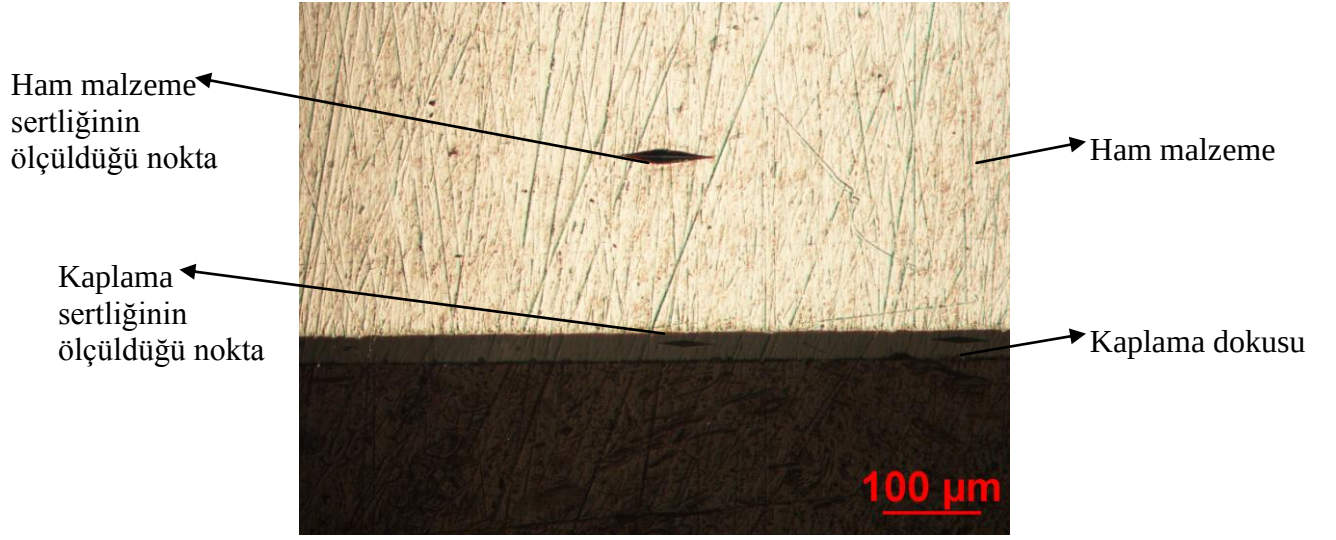
Banyo Bileşimi : 135 g /lt Sülfürik asit + 15 g / lt Oksalik asit

Banyo Sıcaklığı : 0 °C

Akım Yoğunluğu : 4 A / dm²

Kaplama Süresi : 1,5 saat

3.4 Yapılan Deneylerin Sonuçlarının İrdelenmesi



Şekil 3.8 AA 6061 Malzeme için hazırlanan mikro yapı görünümü

Deney için hazırlanan numuneler Kaplama sonrası metalurjik analiz için kesme, kesit alma, kalıplama, zımpara, parlatma işlemleri yapıldıktan sonra optik mikroskopla mikro yapıları incelenmiştir. Şekil 3.8’ de görülen sertlik ölçüm ucu izlerinin olduğu bölgelerden mikrosertlik ölçüm ucu ile kaplama sertliği ve ham malzeme sertliği ölçülmüştür. Kaplama sertlikleri, kaplama parametrelerinin kaplama sertliğine etkileri kısımlarında grafikler üzerinde gösterilmiştir.

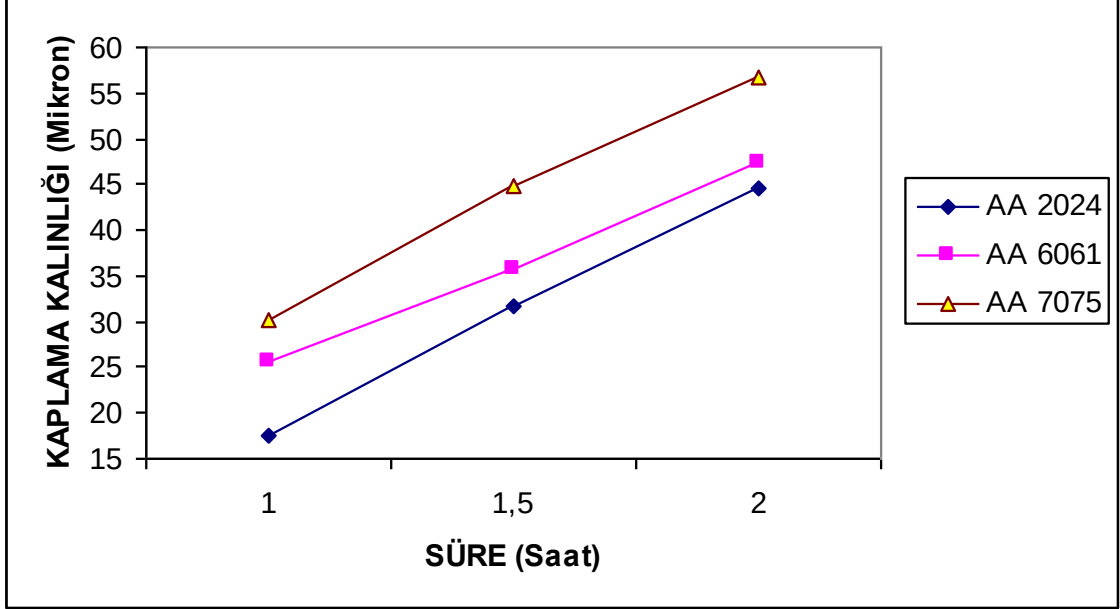
Ham malzeme sertlikleri AMS-H-6088 askeri şartnamesine göre istenilen kondüsyonlar (T3, T6) için olması gereken ve mikro sertlikle, ölçülen değerler aşağıda tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.4 Ham malzeme sertlik değerleri

Ham Malzeme	AMS-H-6088’ e göre Sertlik (Min)	Ölçülen Mikrosertlik
AA 2024 – T3	69 Hrb (125 Hv)	155 Hv
AA 6061 – T6	42 Hrb (93 Hv)	125 Hv
AA 7075 – T6	84 Hrb (162 Hv)	178 Hv

3.4.1 Süre Değişimine Göre Sert Anodize Kaplamanın İrdelenmesi

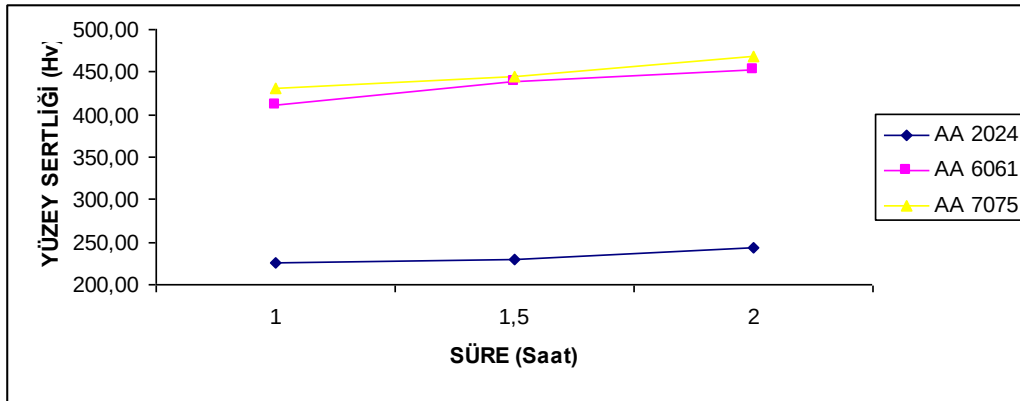
3.4.1.1 Süre Değişkeninin Kaplama Kalınlığına Etkisi



Şekil 3.9 Süre Değişimine Göre Kaplama Kalınlığı Değişimi

1, 1,5, 2 saatlik üç ayrı kaplama süresi için 3.4.1' de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ile kaplama kalınlıkları ölçülmüş ve Şekil 3.9' da grafik üzerinde gösterilmiştir.

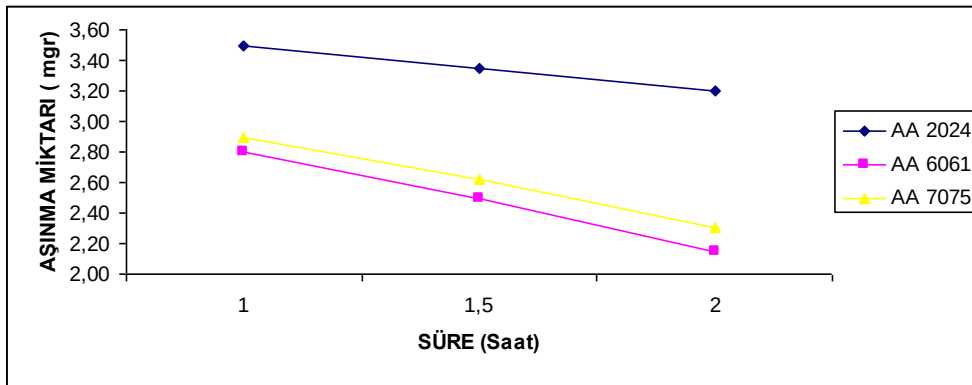
3.4.1.2 Süre Değişkeninin Kaplama Yüzey Sertliğine Etkisi



Şekil 3.10 Süre Değişimine Göre Kaplama Yüzey Sertliği Değişimi

1, 1,5, 2 saatlik üç ayrı kaplama süresi için 3.4.1' de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama sertliği mikro sertlik ölçümü metoduyla metalurji laboratuvarında ölçülmüş ve Şekil 3.10' da grafik üzerinde gösterilmiştir.

3.4.1.3 Süre Değişkeninin Kaplama Aşınma Dayanımına Etkisi

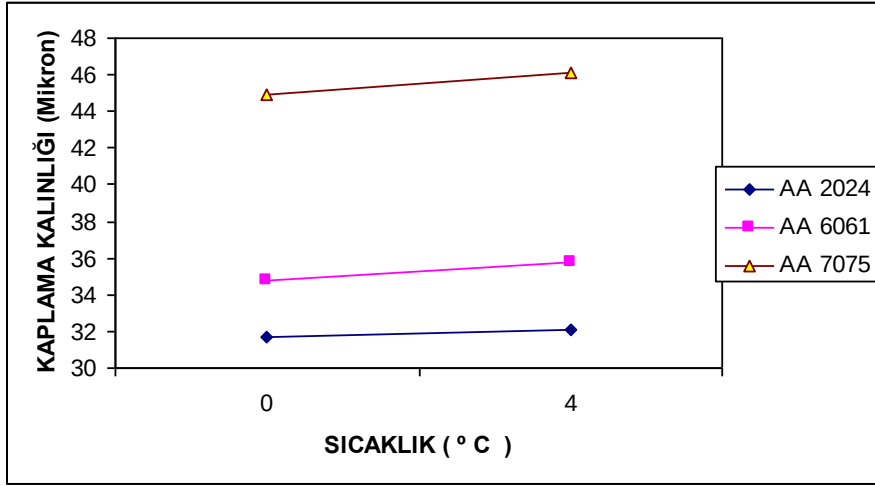


Şekil 3.11 Süre Değişimine Göre Kaplama Aşınma Miktarı Değişimi

1, 1,5, 2 saatlik üç ayrı kaplama süresi için 3.4.1' de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama aşınma miktarları aşınma test tezgahında 5000 tur ve 100 gr balans yükü değerlerinde aşındırılarak belirlenmiştir. Aşındırma öncesi ve sonrası deney numuneleri hassas terazide tartılarak aşınma miktarları hesaplanmış ve Şekil 3.11' de grafik üzerinde gösterilmiştir.

3.4.2 Sıcaklık Değişimine Göre Sert Anodize Kaplamanın İrdelenmesi

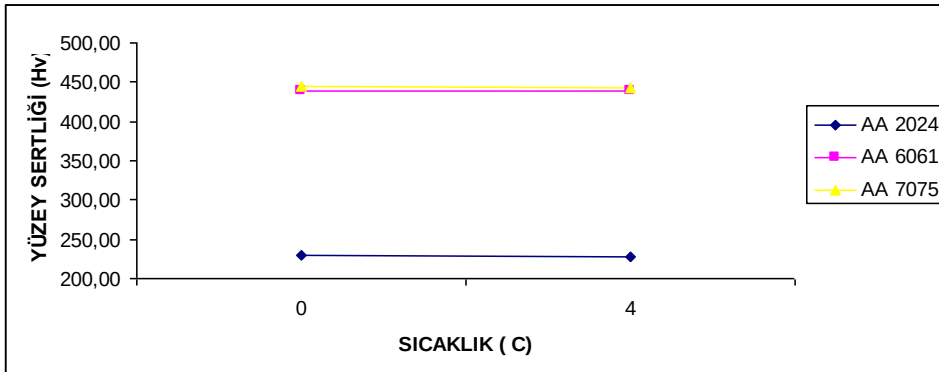
3.4.2.1 Sıcaklık Değişkeninin Kaplama Kalınlığına Etkisi



Şekil 3.12 Sıcaklık Değişimine Göre Kaplama Kalınlığı Değişimi

0 °C ve 4 °C' de iki ayrı kaplama sıcaklığı için 3.4.2' de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ile kaplama kalınlıkları ölçülmüş ve Şekil 3.12' de grafik üzerinde gösterilmiştir.

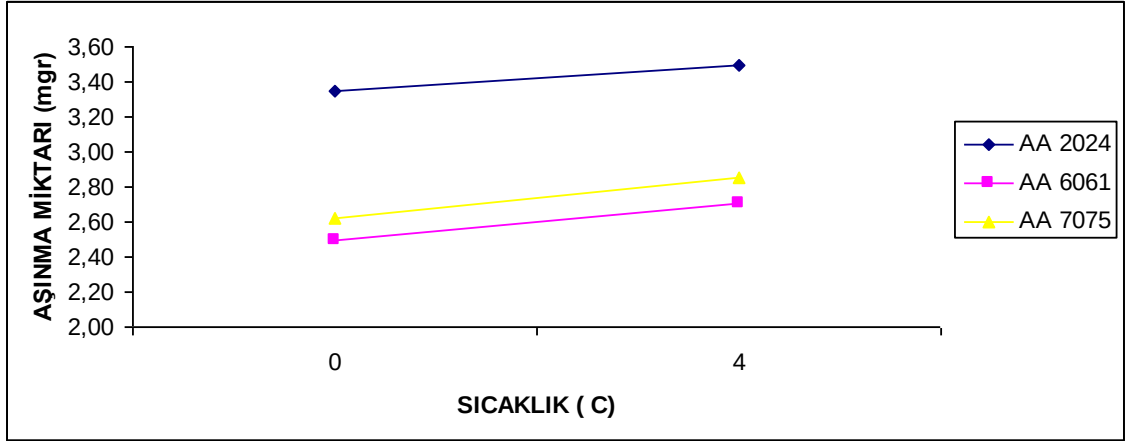
3.4.2.2 Sıcaklık Değişkeninin Kaplama Yüzey Sertliğine Etkisi



Şekil 3.13 Sıcaklık Değişimine Göre Kaplama Yüzey Sertliği Değişimi

0 °C ve 4 °C' de iki ayrı kaplama sıcaklığı için 3.4.2' de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama sertliği mikro sertlik ölçümü metoduyla metalurji laboratuvarında ölçülmüş ve Şekil 3.13' de grafik üzerinde gösterilmiştir.

3.4.2.3 Sıcaklık Değişkeninin Kaplama Aşınma Dayanımına Etkisi

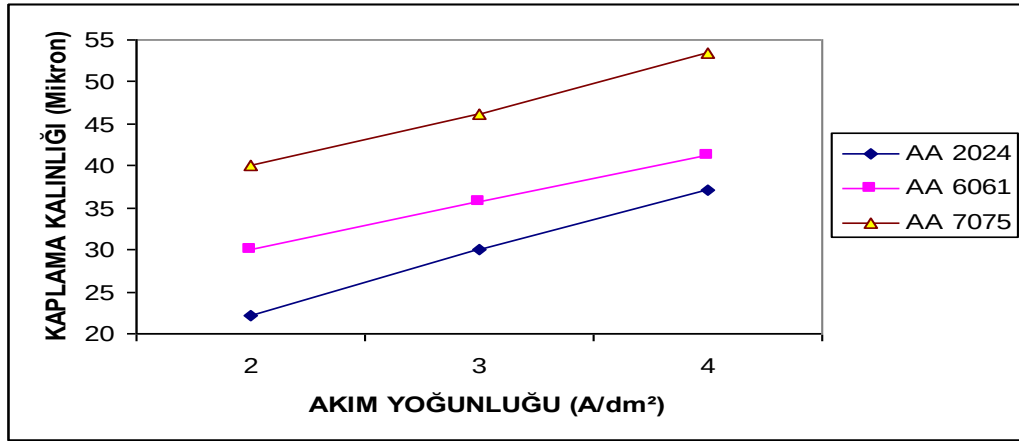


Şekil 3.14 Sıcaklık Değişimine Göre Kaplama Aşınma Miktarının Değişimi

0 °C ve 4 °C’ de iki ayrı kaplama sıcaklığı için 3.4.2’ de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama aşınma miktarları aşınma test tezgahında 5000 tur ve 100 gr balans yükü değerlerinde aşındırılarak belirlenmiştir. Aşındırma öncesi ve sonrası deney numuneleri hassas terazide tartılarak aşınma miktarları hesaplanmış ve Şekil 3.14’ de grafik üzerinde gösterilmiştir.

3.4.3 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Sert Anodize Kaplamanın İrdelenmesi

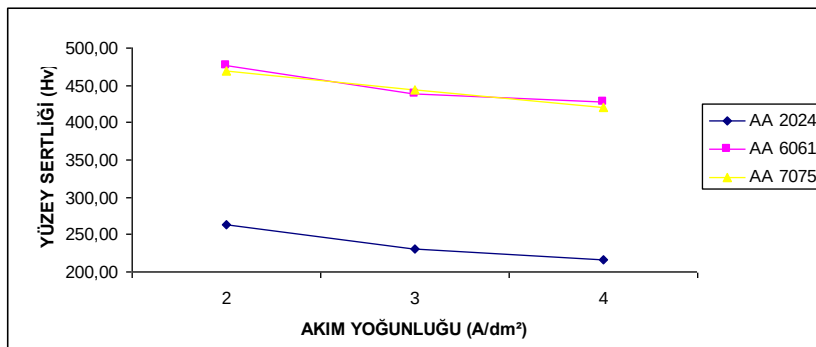
3.4.3.1 Akım Yoğunluğu Değişkeninin Kaplama Kalınlığına Etkisi



Şekil 3.15 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Kaplama Kalınlığı Değişimi

2, 3, 4 A/dm² ' lik üç ayrı kaplama akım yoğunluğu için 3.4.3' de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ile kaplama kalınlıkları ölçülmüş ve Şekil 3.15' de grafik üzerinde gösterilmiştir.

3.4.3.2 Akım Yoğunluğu Değişkeninin Kaplama Yüzey Sertliğine Etkisi

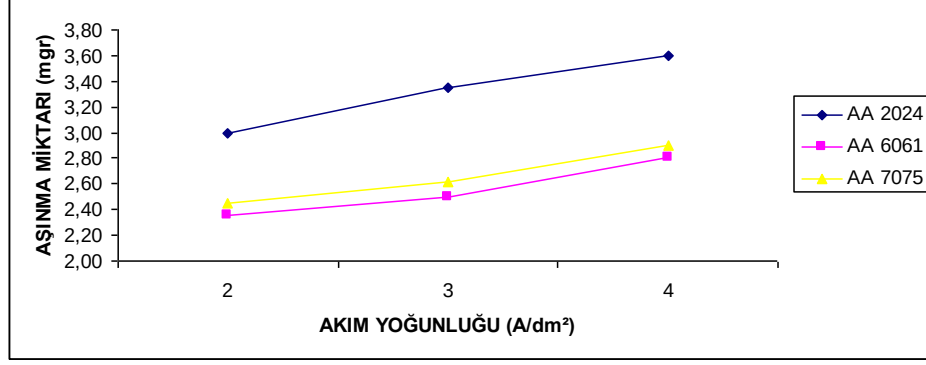


Şekil 3.16 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Kaplama Yüzey Sertliği Değişimi

2, 3, 4 A/dm² ' lik üç ayrı kaplama akım yoğunluğu için 3.4.3' de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır.

Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama sertliği mikro sertlik ölçümü metoduyla metalurji laboratuvarında ölçülmüş ve Şekil 3.16’ da grafik üzerinde gösterilmiştir.

3.4.3.3 Akım Yoğunluğu Değişkeninin Kaplama Aşınma Dayanımına Etkisi



Şekil 3.17 Akım Yoğunluğu Değişimine Göre Kaplama Aşınma Miktarına Etkisi

2, 3, 4 A/dm² ‘ lik üç ayrı kaplama akım yoğunluğu için 3.4.3’ de belirtilen şartlarda AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemelerden hazırlanan numuneler kaplanmıştır. Kaplama sonrası numuneler üzerinden kaplama aşınma miktarları aşınma test tezgahında 5000 tur ve 1000 gr balans yükü değerlerinde aşındırılarak belirlenmiştir. Aşındırma öncesi ve sonrası deney numuneleri hassas terazide tartılarak aşınma miktarları hesaplanmış ve Şekil 3.17’ de grafik üzerinde gösterilmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut kaplama kazanı için maksimum kapasitede sert anodize kaplama yapılması durumunda gerekli olan soğutma kapasitesi ve enerji tüketimi hesaplanmıştır. 1,5 saat kaplama süresince, sistemi 22 °C den 0 °C' ye soğutmak için toplam 53,212 kwh enerji harcanmaktadır. Ayrıca kaplama esnasında gerçekleşen elektrokimyasal tepkime sırasında 60 kwh enerji tüketimi olmak üzere kaplama sırasında toplam 113.212 kwh enerji harcanmaktadır.

Yapılan Deneysel çalışmalarla farklı alüminyum alaşımı (AA 2024, AA 6061, AA 7075) ham malzemelerde; sert anodize kaplama proses parametreleri olan kaplama süresi, sıcaklık ve akım yoğunluğu değişkenlerinde kaplama kalitesi değişimi incelenmiştir. Kaplama kalitesi, kaplama kalınlığı, kaplama sertliği ve aşınma dayanımı değerleri açısından karşılaştırılmıştır.

3 A/dm² akım yoğunluğu ve 0 °C sıcaklık ve 1, 1,5, 2 saatlik üç farklı kaplama süresi için AA 2024 ham malzemeden hazırlanan deney numunelerinde kaplama kalınlığının AA 6061 ve AA 7075 ham malzemelere göre daha az olduğu gözlenmiştir. Alaşımlara göre kaplama kalınlıklarının farklılık arz ettiği bunun kaplama sertlik ve aşınma dayanımlarına da doğru orantı ile yansıdığı belirlenmiştir. Sert anodizede elektro kimyasal tepkimeye alüminyum içindeki alaşım miktarlarının etkilediği tespit edilmiş olup en iyi sonuçların AA 7075 için gerçekleştiği belirlenmiştir.

0 °C ve 4 °C sıcaklıklarda yapılan AA 2024, AA 6061 ve AA7075 malzemeden hazırlanan numuneler üzerine uygulanan 3 A/dm² akım yoğunluğu ve 1,5 saatlik kaplama süresi

için kaplama kalınlığı miktarı, kaplama sertliği ve aşınma dayanımında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Kplama kalınlığında artış olmasına karşılık Kplama sertliği ve aşınma dayanımı değerlerinde düşüş olduğu gözlenmiştir. Yine söz konusu değerler alaşım cinsine göre farklılıklar arz etmekte olup en kötü sonuçlar AA 2024, en iyi sonuçlar AA7075 ham malzemeler için gerçekleşmiştir. Proses değerleri olan söz konusu sıcaklıklarda kaplama yapılmasının sıkıntı yaratmayacağı değerlendirilmiştir.

2 A/dm², 3 A/dm², 4 A/dm² akım yoğunluğunda yapılan AA 2024, AA 6061 ve AA7075 malzemededen hazırlanan numuneler üzerine uygulanan 0 °C ve 1,5 saatlik kaplama süresi için kaplama kalınlığı miktarında lineer artış olmasına karşılık kaplama yüzey sertliği ve aşınma dayanımlarında lineer azalış olduğu belirlenmiştir. Bu durum çekilen akım miktarındaki artışın kaplama yüzeyinde meydana gelen bölgesel sıcaklık artışından kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak mevcut kazan ve kaplama kapasitesi için 1,5 saatlik sert anodize kaplama süresinde 113.212 kWh enerji harcanacağı, ideal kaplama şartlarının 3 A/dm² akım yoğunluğu, 0 °C kaplama sıcaklığı ve 2 saatlik kaplama süresi olduğu, en ideal kaplama kalitesinin AA 7075 ham malzeme için gerçekleştiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Luo, L.C., Zhao, R.G., Meng, J., Chen, J.F., (2002). White Anodic Coating On Aluminium Surface For Spacecraft. Journal Of Inorganic Materials
- [2] De Graeve, I., Terryn, H., Thompson, G.E., (2002). Influence Of Heat Transfer On Anodic Oxidation Of Aluminum. Journal Of Applied Electrochemistry,
- [3] De Graeve, I., Terryn, H., Thompson, G.E., (2003). Influence Of Heat Transfer On Dc-Anodizing Of Aluminum In Sulphuric Acid. Transactions Of The Institute Of Metal Finishing
- [4] De Graeve, I., Terryn, H., Thompson, G.E., (2003). Influence Of Local Heat Development On Film Thickness For Anodizing Aluminum In Sulphuric Acid. Journal Of The Electrochemical Society,
- [5] Li, X., Nie, X., Wang, L., Northwood, D.O., (2005). Corrosion Protection Properties Of Anodic Oxide Coatings On An Al-Si Alloy. Surface And Coating Technology,
- [6] Aters, T., Dimogerontakis, T., De Graeve, I., Fransaer, J., Terryn, H., (2007). Influence Of The Anodizing Temperature On Porosity And The Mechanical Properties Of The Porous Anodic Oxide Film. Surface And Coatings Technology
- [7] Altan, O., Serpiceli, S., Dikmen, A., Aykanat, F., Suner, M., Ekinci, H., Orman, A. ve Eras, G, (2002) " Alüminyum Yüzey İşlemleri 1 " 1. Baskı, Ankara.
- [8] Berk, V., (2004). "Yüzey İşlemler Teknolojileri I", 1. Baskı
- [9] Turhan, S., (2002) Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışlarına Mağnezyum Ve Silisyumun Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Doğru, B., (2007). Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Borik Asit Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [11] Gedik, D., (2008). Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sodyum Dikromat ve Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [12] Üneri, S., (1998). Korozyon ve Önlenmesi. Poyraz Matbaası, Ankara.
- [13] Eker, A. A., (2008). Al ve Alaşımları Sunumu.

- [14] Yanar, İ.K., (1979). Galvonoteknik Temel Ders Kitabı. Devlet Kitapları, 1. Baskı, İstanbul.
- [15] Termal Care/Mayer Division of Midwesco Inc. Firmasına ait Soğutma Grubu Katoloğu.
- [16] Maraş, N.M., (1988) Galvonoteknik. İstanbul.
- [17] Alüminyum Alaşımın Kimyasal Kompozisyon Limitleri
<http://www.referansmetal.com>. 10.05.2011

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Binnur MUTLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.04.1974 - Dört Yol
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : binnur.mutlu@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
İng. Hazırlık	İngilizce Hazırlık Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	1997
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	1996
Lise	Matematik	Karabük Demir Çelik Lisesi	1991

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
1998- Halen	1'inci HİBM.K.İği/Eskişehir	İmalat Mühendisi
1997-1998	MKEK.Mühimmat Fabrikası	Üretim Planlama Müh