T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AA 2014 ALUMİNYUM ALAŞIMININ PLAZMA ELEKTROLİTİK OKSİTLENME YÖNTEMİYLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Mak. Müh. Ufuk SÖZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI
EDİRNE-2011

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AA 2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ PLAZMA ELEKTROLİTİK OKSİTLENME YÖNTEMİYLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Mak. Müh. Ufuk SÖZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 10 / 02 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yılmaz ÇAN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç.Dr. Tarık YERLİKAYA

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI

Jüri Üyesi -Tez Danışmanı

ÖZET

Her geçen gün, daha hafif, daha dayanıklı, geri dönüştürülebilir malzemelere olan ihtiyaç ekonomik ve teknik sebeplerden ötürü artmaktadır. Alüminyum ve alaşımları kolay bulunabilirlikleri, düşük özgül ağırlıkları ve iyi mekanik özellikleriyle birçok alanda kullanıldıklarından daha iyi ve optimum malzeme yaratmak amacıyla yapılan çalışmalar da alüminyum ve alaşımlarına yönelmektedir.

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanan "AA 2014 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Plazma Elektrolitik Oksitlenme Yöntemiyle Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Yorulma Davranışının İncelenmesi" isimli bu Yüksek Lisans tezinde, daha yaygın olarak mikro ark oksidasyonu ismiyle bilinen kaplama yöntemi, homojenizasyonla birleştirilerek kaplanan alaşımların yorulma davranışları karşılaştırılmıştır. Sunulan bu Yüksek Lisans tezi beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde konu hakkında kısa bir giriş yapılarak alüminyum alaşımları ve bu alaşımların sınıflandırılması hakkında kısaca bilgi verilmiştir. İkinci bölümde alüminyum ve alaşımlarına uygulanan ısıl işlemlerden ve kullanılan fırın tiplerinden, soğutma işleminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise mikro ark oksidasyonu işlemi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde önceki bölümlerde anlatılan teorik bilgilerin ışığında deneylere numunelerin hazırlanışı ve deneylerin hangi şartlarda ve hangi teknik özelliklerde cihazlarla nerede yapıldığı anlatılmıştır.

Beşinci ve son bölümde dördüncü bölümdeki deneylerin sonuçları anlatılmış ve bu sonuçlara dayanarak alüminyum ve alaşımlarının yorulma davranışı hakkında çeşitli sonuçlara ulaşılmış ve bu sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plazma elektrolitik oksidasyon, mikro ark oksidasyonu, homojenizasyon, yorulma.

ABSTRACT

Every passing day, where the demand for lighter, more durable, recyclable and replaceable materials are increasing due to the fact of economical and technical considerations. Aluminum and its alloys are used widely because of their specific gravity, good mechanical properties and the reason that they are easy to find. Because of these reasons in studies and investigations regarding to achieve better and optimum material use aluminum and its alloys.

A coating method known widely as micro-arc oxidation is combined with the method of homogenization, and fatigue tests are performed to the substrates and results are compared in this Master thesis, which has been prepared in the Institute of Naturral Science of Trakya University, entitled as " The coating of AA 2014 Aluminum Alloys by the means of Plasma Electrolytic Oxidation and investigation of their fatigue behaviour". This thesis comprises of five chapters.

In first chapter, a brief introduction is made regarding to aluminum alloys and their classification. The homogenization method and the furnaces is mentioned, moreover the cooling times are mentioned in chapter two. The micro arc oxidation method is explained in chapter three.

In chapter four, the preparation and the making of the experiments regarding to the information given in previous chapters is explained. The technical properties of the machines, the places of the experiments and the conditions of the experiments are also mentioned.

In fifth and final chapter, the results of the experiments are explained and the results about the fatigue of the specimens are given. In addition to these results, a conclusion is made on the aluminum and its alloys.

Keywords: Plasma electrolytic oxidation, micro arc oxidation, homogenization, fatigue

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezinde, 2014 kalite alüminyum alaşımının homojenizasyonun ve uzay ve havacılık endüstrisinde yoğunlukla kullanılmak üzere motorların piston başlarında kullanılan metallerin kaplanmasında kullanılan plazma elektrolitik oksidasyon yöntemi üzerinde durulmuş ve bu prosesin yorulma üzerindeki davranışı incelenmiştir.

Bu tezin yapımında, mikro ark oksidasyonu konusunda bana yardımcı olan Sayın Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU'na, oksidasyonda kullanılan elektrolit seçimi konusunda desteğini esirgemeyen Sayın Yrd.Doç.Dr. Mehmet TARAKÇI 'ya, mikro ark laboratuarının ve donanımının kullanılmasında yardımcı olan Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsüne, teze maddi katkı sağlayan Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve bana bu tezin yapında fikir veren, tecrübeleriyle bana gerek parçaların şekillendirilmesinde, gerek homojenizasyonunda ve kaplanmasında desteğiyle her zaman yanımda olan, tez danışmanım değerli hocam, Sayın Yrd.Doç.Dr. Cenk MISIRLI'ya ve manevi desteklerini sürekli arkamda hissettiğim aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Şubat 2011 Ufuk SÖZER

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1 ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI 3
1.1.1 Alüminyumun Genel Özellikleri 3
1.1.2 Alüminyum Alaşımları 3
2. ALÜMİNYUMA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER VE HOMOJENİZASYON 6
2.1Alüminyum Alaşımlarına Yapılan Isıl İşlemler: 8
2.1.1. Tavlama (Annealing): 8
2.1.2. Solüsyona Alma (Solution) Isıl İşlemi : 9
2.1.3. Su Verme (Quenching): 10
2.1.4. Doğal Yaşlandırma (Natural Aging) İşlemi: 11
2.1.5. Suni Yaşlandırma (Artificial Aging) İşlemi: 12
2.2. Alüminyum Isıl İşleminde Kullanılan Fırınlar: 13
2.3.Homojenizasyon Fırınlarında Uygun Isı Dağılımının Tespiti: 16
2.4.Termal İşlemlerde Karşılaşılan Problemler ve Giderilmesi: 19
2.4.1. Tavlamada Ortaya Çıkabilecek Problemler: 19
2.4.2. Solüsyona Alma ve Su Verme İşlemlerinde Ortaya Çıkabilecek Problemler: 20
2.4.3. Yaşlandırmada Ortaya Çıkabilecek Problemler: 22
3. MİKRO ARK OKSİDASYON İŞLEMİ 24
3.1 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Tarihçesi 24
3.2 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Uygulama Alanları 24
3.3 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Avantaj ve Dezavantajları 26
3.4 Mikro Ark Oksidasyon Donanımı ve Prosesi 28
3.4.1 MAO akım-voltaj karakteristikleri 31
3.4.2 MAO' da kullanılan güç kaynakları 32
3.4.4 MAO ile kaplanabilen malzemeler 35
3.5 Tespit İşlemi 37
4. DENEYSEL ÇALIŞMA 39
4.1 Giriş 39
4.2 Deney Prosedürü 39
4.3. Deney Malzemesinin Mekanik Özellikleri 40
5. SONUÇLAR VE İRDELEME 49
5.1. Sonuçlar 52
KAYNAKLAR 54
ÖZGEÇMİŞ 58

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Alüminyum Birliği'nin dövme alüminyum alaşımlarını sınıflandırma sistemi 10

Tablo 1.2: 2014 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%). 11

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan AA 2014 kalite alüminyum alaşımının içeriği. 45

Tablo 4.2. Mikroark oksidasyonu ve homojenizasyon uygulanmış malzemenin çekme deneyi parametreleri 47

Tablo 4.3. Mikroark oksidasyonu ve homojenizasyon uygulanmış malzemelerin çekme deneyi sonuçları 48

Tablo 4.4. Mikroark oksidasyonu ve homojenizasyon uygulanmış malzemelerin yorulma deneyi sonuçları 49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Hava sirkülasyonlu Homojenizasyon Fırını ve altındaki soğutma tankının kesit görünüşü 22

Şekil 2.2: Fırın içerisindeki sıcaklık dağılımı uniformluk incelemesi için kullanılacak termokupların yerleştirileceği yerler 24

Şekil 3.1: MAO işleminde kullanılan donanım 35

Şekil 3.2: MAO işlem basamakları 36

Şekil 3.3: Elektrot yüzeyindeki dielektrik filminde gerçekleşen akım-voltaj değişimi 37

Şekil 3.4: Alüminyumun MAO işlemi için kullanılan çeşitli elektrolitlerin I=f(U) fonksiyonu 40

Şekil 3.5: Yüzey işlemlerine bağlı olarak mühendislik malzemelerin sertliklerinde meydana gelen değişimler 42

Şekil 3.6: MAO kaplı AM50 Mg alaşımından üretilmiş parçalar 43

Şekil 4.1: 2014 kalite alüminyum alaşımlarının çaplarının düşürüldüğü ve çekme numunesi haline getirildiği torna tezgahı 46

Şekil 4.2. Çekme numunesi haline getirilen 2014 kalite alüminyumların teknik resmi 46

Şekil 4.3: Homojenizasyon işleminin yapıldığı ısıl işlem fırını 51

Şekil 4.4: MAO ünitesi tankı 52

Şekil 4.5: MAO ünitesi rezistansı 52

Şekil 4.6: MAO ünitesi kontrol birimi 53

Şekil 4.7: INSTRON 8501 dinamik test makinası 54

Şekil 5.1: İşlem görmemiş AA 2014 Alüminyum numunesi 56

Şekil 5.2: Homojenizasyona tabi tutulmuş AA 2014 kalite Alüminyum numunesi. 56

Şekil 5.3: Üç farklı kalınlıkta kaplanmış ısıl işlem görmemiş AA 2014 kalite Alüminyum numuneleri 57

Şekil 5.4: Üç farklı kalınlıkta kaplanmış ve ısıl işlem görmüş AA 2014 Alüminyum numuneleri 57

Şekil 5.5: Yorulma deneylerine tabi tutulmuş numunelerin Wöhler eğrisi 58

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, iyi fiziksel ve kimyasal performanslarından dolayı en çok ilgi çeken malzemelerden birisidir **(Zhu M.H., Zhou Z.R., 2007)**. Hafif malzemelere olan talep artışından dolayı alüminyum ve alaşımları daha geniş alanda kullanılmaktadır **(Nie X., Matthew A., 1999)**.

Alüminyum hafif metaller gurubuna giren ve teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Alüminyum, düşük özgül ağırlığının (2.7 g/cm^3) yanı sıra, yüksek elektrik ve "ısıl iletkenlik,. atmosferik korozyona direnç, kolay üretilebilirlik ye diğer metallerle çekme dayanımı yüksek alaşım oluşturabilme gibi özelliklere sahiptir.

Alüminyumun oksijene karşı olan yüksek afinitesi nedeni ile, yüzeyde metalin havayla temas etmesi sonucu, ince fakat yoğun bir oksit tabakası (Al2O3) oluşmaktadır. Bu tabaka alüminyumu pek çok ortamda korozif etkilerden korur, ancak bazı asit, baz ve tuz çözeltileri bu koruyucu oksit tabakasının yapısını bozmaktadır **(Nie X., Matthew A., 2000)** .

Bu problemin azaltılması için çeşitli yüzey modifikasyonları uygulanarak özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Uygulanan yüzey modifikasyonunun en etkili yollarından birisi, yüzeyde kromat iyonları oluşturacak bir ön işlemle mümkündür. Ancak bu yöntemde kullanılan kimyasallar yüksek derecede zehirli olduğundan ve çevreye olan zararlarından dolayı uygulanması sakıncalıdır. Dolayısıyla, bu yöntemin yerini dolduracak yeni bir tekniğin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Anodik oksidasyon prensibine dayanan Mikro Ark Oksidasyon (MAO) tekniği yeni bir yüzey kaplama işlemi olarak son 10 yıl içerisinde çok yaygın bir şekilde araştırma ve uygulama alanı bulmuştur **(Huang P. and Han Y., 2004)**.

Çevre dostu bir kaplama yöntemi olan MAO, çok farklı mekanik ve fiziksel yapıya sahip kaplamaların özellikle Mg, Ti, Al gibi malzemeler ve bunların alaşımlarının yüzeylerinde oluşturulmasına imkan tanımaktadır.

Bu yöntem bir elektrolit içerisine daldırılan söz konusu malzeme ve alaşımların plazma kimyası ve elektrokimyasal reaksiyonların sinerjistik etkisi ile oluşan plazma boşalmaları sayesinde yüzeyin kaim, sert, aşınmaya ve korozyona karşı dirençli bir tabaka ile kaplanması esasına dayanmaktadır.

MAO prosesinin bir diğer avantajı karmaşık yüzey geometrisine sahip parçaların tüm yüzeylerinin aynı kalınlık ve özelliklere sahip sert, aşınma ve korozyona dirençli filmler ile kaplanmasına imkan tanımasıdır. Bu sayede yüzeyin sadece belli bir kısmını hedef göstererek kaplama yapan tekniklere üstünlük sağlar.

1.1 ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

1.1.1 Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyum hafif metaller gurubuna giren ve teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Hafif metal terimi, özgül ağırlığı 3.8 g/cm^3'den küçük olan metaller için kullanılmaktadır ve bu sınıfın içinde, alüminyum, magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum bulunmaktadır. Bunlar arasında özellikle alüminyum ve magnezyum en yaygın kullanılan metallerdir. Alüminyum, düşük özgül ağırlığının (2.7 g/cm^3) yanı sıra, yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik, atmosferik korozyona direnç, kolay üretilebilirlik ve diğer metallerle çekme dayanımı yüksek alaşım oluşturabilme gibi özelliklere sahiptir.

Alüminyumun oksijene karşı olan yüksek afmitesi nedeni ile, yüzeyde metalin havayla temas etmesi sonucu, ince fakat yoğun bir oksit tabakası (AI2O3) oluşmaktadır. Bu tabaka alüminyumu pek çok ortamda korozif etkilerden korur, ancak bazı asit, baz ve tuz çözeltileri bu koruyucu oksit tabakasının yapısını bozmaktadır **(Nie X., Matthew A., 2000)**.

1.1.2 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlan döküm ve dövme olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları, Tablo 1.1.'de görüldüğü gibi, Alüminyum Birliği'nin *(Aluminum Association)* sınıflandırmasına göre 4 rakamlı bir simgeyle tanımlanmaktadır. Burada ilk rakam bileşimdeki ana elementi, ikinci rakam ise orijinal alaşımdaki oranından daha farklı bir oranda bulunan element sayısını belirtmektedir. Dolayısıyla, ikinci rakamın 0 olması, serinin orijinal alaşımını göstermektedir. Son iki rakamın ise 1XXX serisinin dışındaki alaşımlarda özel bir önemi olmayıp, alaşımı o dizinin diğer alaşımlardan ayırmak için kullanılmaktadır. 1XXX serisi ise, saf alüminyumu temsil ettiğinden, son iki rakam, alüminyumun saflık derecesinin bir ölçüsü olarak, % 99'dan sonraki rakamları göstermektedir **(Shi-Gang X. and Li-Xin S., 2006)**.

Tablo 1.1: Alüminyum Birliği'nin dövme alüminyum alaşımlarını sınıflandırma sistemi **(Shi-Gang X. and Li-Xin S., 2006)**.

Simge	Ana alaşım elementi
1XXX	% 99.00 veya daha fazla alüminyum
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si ve Cu ve/veya Mg
5XXX	Mg
6XXX	Mg ve Si
7XXX	Zn
8XXX	Diğer elementler
9XXX	Yaygın olarak kullanılmayan seriler

Bu alaşımlardan 2XXX grubuna ait olan 2014 alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 1.2.'de gösterilmiştir. Öte yandan, alüminyum döküm alaşımları daha yaygın olarak 3 rakamlı bir simge ile tanımlanır. Bu sınıflandırma sisteminde de ilk harf dövme alaşımlardakine benzer şekilde, malzeme içindeki ana alaşım elementini göstermektedir.

Alüminyum alaşımlarından, 2XXX, 6XXX ve 7XXX grubu alaşımlara çökelme sertleşmesi adı verilen bir ısıl işlem uygulanabilir ve bu yolla alaşımın sertlik ve dayanımı önemli ölçüde arttırılabilir. Alüminyum alaşımlanndaki alaşım elementlerinin en önemli işlevlerinden biri, saf alüminyumun süneklik ve korozyon direncini olumsuz yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Bu özelliği kazandıran elementler, manganez, magnezyum, silisyum, bakır ve çinko olup, düşük miktarlarda bile kaymaya karşı direnci-arttırarak akma dayanımım yükseltirler; şekil değiştirme kabiliyeti ise etkilenmez. Bu elementlerin oranlarının daha yüksek olması halinde, sert, kırılgan inter metalik bileşikler oluşur. Böylelikle dayanım daha da yükselir ancak şekil değiştirme kabiliyeti kaybolur. Bu nedenlerle dövme alaşımları, az alaşım ihtiva ederler.

Tablo 1.2: 2014 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%).

2014	Sn	Mg	Cu	Cr	Mn	Fe	Si	Ti	Al
Kimyasal Bileşim Aralığı	0.041	0.612	4.820	0.05	0.572	0.22	0.816	-	Kalan

2. ALÜMİNYUMA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER VE HOMOJENİZASYON

Bütün imalat proseslerinde kullanılan metaller içerisinde, alüminyum alaşımları özellikle hafiflik, kolay şekil verilebilirlik, yüksek elektrik ve termal özellikler, zehirli olmaması gibi çeşitli avantajları nedeni ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak Alüminyum Alaşımlarının kullanımını sınırlayan önemli kriterlerden birisi düşük mekanik özelliklere sahip olmalarıdır. Alüminyum alaşımlarının düşük mekanik özellik dezavantajları termal ve/veya mekanik işlemler ile önemli oranda artırılabilmektedir. Alüminyum alaşımlarına yapılan ısıl işlem soğuk deformasyonlu veya soğuk deformasyonsuz olarak uygulanan bir sıcaklık-zaman prosesidir. Bu termal ve/veya mekanik işlemler değişik harf ve rakamlar ile tanımlanmaktadır **(Aluminum Standarts and Data; Third Edition, January-1972)**. Bunlar;

F: Üretildiği gibi.

O: Tavlanmış-Yeniden Kristalleştirilmiş. (sadece dövme ürünlere uygulanır)

H: Gerilim ile sertleştirilmiş. (sadece dövme ürünlere uygulanır)

W: Solüsyona alma ısıl işlemini gösterir.

T : -F,-O veya –H gibi işlemlerden farklı kararlı bir temper şartı sağlamak için yapılan termal işlemleri gösterir.

T 1: Kısmi olarak solüsyona alınmış ve kararlı bir hale doğal olarak yaşlandırılmış.

T 2: Tavlanmış.(sadece döküm ürünler için)

T 3: Solüsyona alma ısıl işlemi yapılmış ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş.

T 4: Solüsyona alma ısıl işlemi yapılmış ve kararlı bir hale doğal olarak yaşlandırılmış.

T 5: Kısmi olarak solüsyona alınmış ve suni olarak yaşlandırılmış.

T 6: Tam olarak solüsyona alınmış ve suni olarak yaşlandırılmış.

T 7: Solüsyona alma ısıl işlemi yapılmış ve stabilize edilmiş.(kararlı hale getirilmiş)

T 8: Solüsyona alma ısıl işlemi yapılmış, soğuk işlem ile sertleştirilmiş ve suni olarak yaşlandırılmış.

T 9: Solüsyona alma ısıl işlemi yapılmış, Suni olarak yaşlandırılmış ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş.

T 10: Kısmi olarak solüsyona alınmış, suni olarak yaşlandırılmış ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş.

Bunlara ilave olarak T xxx gibi ek olarak yapılan işlemleri tanımlayan ikinci veya üçüncü rakam basamakları da kullanılmaktadır. Örneğin;

Tx51: Levha veya ekstrüzyon ürünlerde solüsyona alma işlemini takiben; %1,5-3,0 arası kalıcı deformasyon ile gerdirilerek (streching) mukavemet artırılmış.

Tx511: Gerilim ile mukavemet kazandırma işleminden sonra doğrultma etkisini azaltan termal işlem yapılmış ekstrüzyon ürünlerde kullanılır

Tx52: Solüsyona alma işleminden sonra, kalıcı olarak %2,5 sıkıştırılarak gerdirilerek (streching) mukavemet artırılmış

Günümüzde çeşitli termal işlemler ve bazen de termal işlemler ve mekanik işlemler ile alüminyum alaşımlarına çeliğe yakın mekanik özellikler kazandırılabilmektedir. Pek çok ısıl işlem pratiğinin spesifik detayları MIL-H-6088 D Askeri standartı, Aluminum Association standartı veya benzer yayınlarda verilmiştir.

Ayrıca alüminyum alaşımları içerdikleri alaşım elementlerine ve üretim proseslerine bağlı olarak işlem alaşımları dört haneli ve döküm alaşımları üç haneli olmak üzere bir dizi rakam grubu ile gösterilmektedir.

2.1Alüminyum Alaşımlarına Yapılan Isıl İşlemler:

Alüminyum alaşımlarına yapılan termal işlemler; ötektik sıcaklığına yakın sıcaklıklarda solüsyona alma, su verme ve (soğuk işlemli veya işlemsiz) doğal veya yapay yaşlandırma kademelerinin bir veya birkaçından oluşmaktadır.

Al-Si-Mg alaşımlarının mekanik özelliklerini kimyasal bileşim, sıvı metalin hazırlanışı, döküm tekniği ve ısıl işlem belirlemektedir. Isıl işlemden sonraki çekme özelliklerindeki artış, birincil dendritlere yaşlanma sırasında çöken dengesiz Mg2Si fazının oluşumuna ve solüsyona alma sırasında silisyum partiküllerinin karakteristiklerindeki değişime bağlanmaktadır. Döküm parçasinda ulaşılabilecek özellikler solüsyona alma ve yaşlandırma işlemlerinin sıcaklıklarına ve sürelerine bağlıdır **(D. Apelian, S. Shivkumar, G. Sigworth., 1969)**. Katı çözeltide Magnezyum ve Silisyumun konsantrasyonunun maksimum olabilmesi için, çözelti sıcaklığının mümkün olduğunca ötektik sıcaklığa yakın olması gerekmektedir. Sıcaklık kontrolü çok önemlidir. Çünkü faz ergime noktası geçildiği takdirde tane sınırlarında lokal ergimeler gerçekleşir ve mekanik özelliklerde düşüş meydana gelir.

Homojenleştirme için gerekli zamanı, çözelti sıcaklığı ve dendrit kolları arasındaki açıklık belirlemektedir. Dökülmüş halde, dendrit merkezinde Silisyum içeriği en yüksektir.

Çünkü bu bölge göreceli olarak yüksek sıcaklıkta ilk oluşan kısımdır ve bu sıcaklıkta Silisyumun çözünürlüğü göreceli olarak yüksektir. Dendritteki magnezyum içeriği merkezden kenara doğru hafifçe artış gösterir. Al-Mg ikili denge diyagramı incelendiğinde, magnezyumun katı alüminyum içinde aşırı çözünürlüğe sahip oldugu görülebilir. Buna göre ikili Al-Mg alaşımlarında magnezyum güçlü segregasyona neden olmaz.

2.1.1. Tavlama (Annealing):

Soğuk işlem yapılmış parçalarda gerilim(deformasyon) sertleşmesini yumuşatmak veya ısıl işlem yapılmış parçalarda gerilimi almak, özellik ve boyutları kararlı(stabil) hale getirmek için yapılır. Döküm veya dövme alüminyum alaşımları

tavlandıklarında yumuşarlar ve daha kolay soğuk şekillendirilebilir hale gelirler. Çoğu ısıl işlem yapılan Al-Alaşımları 650°F' ta tavlandıklarında, müteakip şekillendirme operasyonunu sağlayacak kadar yumuşarlar, bu tavlama sonrası soğuma kritik değildir **(M.Conserva, G.Donzeelli, R.Trippodo.,1992)**.

2.1.2. Solüsyona Alma (Solution) Isıl İşlemi :

Bu işlemde amaç ergime veya arzu edilmeyen rekristalizasyon olmaksızın, alaşım elementlerini tam olarak katı halde çözeltiye almaktır. Bu ya hadde veya ekstrüzyon esnasında alaşımın solvus eğrisinin üzerinde bir sıcaklıktan çok hızlı soğutularak veya ayrı bir fırında sonradan solüsyona alma termal işlemi yapılarak (genellikle döküm ve/veya dövme parçalarda) elde edilir. Birinci durumda iki ana problem vardır. Bunlardan birincisi sıcak calisma esnasinda sıcaklığın kontrolünün çok zor olması; ikincisi solvus egrisinin uzerinde malzemenin sıcak calisma karakteristiklerinin çok kotu olması gibi iki sakınca vardır.

Dolayısıyla bu işlem sadece Solvus ve Solidus sıcaklıkları arasında büyük fark olan alaşımlar için uygundur. Solüsyona almak için ayrı bir ısıl işlem yapılması ile mükemmel özellik değerleri elde edilir. Buradaki tutma-bekletme süreleri(soaking time) alaşıma (malzemenin metalurjik yapisina) ve kesit kalınlığına bağlı olarak 10-20 dak. kadar kısa olabileceği gibi, 12-16 saat kadar uzun da olabilmektedir. Aynı veya çok yakın solüsyona alma sıcaklığına sahip olmaları şartı ile farklı Al-Alaşımları bir arada solüsyona alma işlemi yapılabilirler **(Metals Handbook Vol.2)**.

Ticari uygulamalarda, genellikle tam olarak katı eriyik elde edilemez; rekristalizasyon veya tane büyümesi gibi olumsuzlukların sonucu olarak; mekanik özelliklerde mükemmel değerler değil, önemli bir artış elde edilebilir. Isıl işlem yapılabilen alüminyum alaşımlarının termal işlem ile sertleştirilmesi ve mukavemet kazandırılması, malzemenin katı halde kontrollü olarak ısıtılması ve soğutulmasını kapsayan bir seri operasyon ile yapılır.

Bu operasyonların amacı çeşitli alaşımlara bağlı olarak oluşan farklı çökeltilerin boyut ve dağılımını kontrol etmektir. Solüsyona alma ısıl işlemi çözünebilir çökeltilerin

katı eriyik içerisine alınması ve tekrar kontrolsüz olarak oluşmasının önlenmesi için uygulanan bir termal işlemdir. Solüsyona alma ısıl işlemi artan sıcaklıkla çözünebilir çökeltilerin katı eriyik içerisine alınması ve hızlı bir şekilde soğutulması (su verme-quenching) olmak üzere iki kademeden ibarettir. Isıl işlem yapılabilen ticari alüminyum alaşımlarının mukavemeti yalnızca solüsyona alma ısıl işlemi ile artırılamaz; bu özellik ekseriya su vermeyi takip eden kontrollü yaşlandırma-çökeltme (aging) işlemleri ile birlikte elde edilebilir **(Metals Handbook Vol.2)**.

2.1.3. Su Verme (Quenching):

Solüsyona alma işlemini takiben parçaların mümkün olan en kısa sürede, aşırı doymuş katı eriyik fazında istenmeyen kısmi çökelmeler meydana gelmeden fırından alınıp su verme tankına taşınmalıdır. Bu nedenle bu işleme su verme denilmektedir. Su verme alaşım elementlerinin kontrolsüz olarak çökelmesini önler veya geciktirir; böylece alaşım elementlerinin katı eriyikte kalması sağlanır. Eğer kontrolsüz çökelmeler meydana gelirse mekanik özellikler ve korozyon direnci ters etkilenir. 7075 gibi bazı alaşımlar su verme gecikmesine(quenching delay) aşırı duyarlıyken, 2014 gibi alaşımlar daha az duyarlıdır. Eğer su verme sıcaklığı 700°F' tan 500°F'a düşer ve soğutma hızı da yeteri kadar yüksek değilse, çok hızlı kısmi çökelmeler olacaktır. 775°F şarjın tamamının suya gömülmesi için en düşük sıcaklıktır. Fırın ve su verme ortamı arasında bir miktar gecikme olacağı aşikardır. Ancak bu süre alaşıma ve kesit kalınlığına bağlı olarak çoğu durumlarda 5-15 sn arasındadır. Su verme gecikmesi fırın kapağının açılmasından şarjın en üst noktasının suya gömülmesi aralığında geçen süre olarak ölçülür ve bu esnada sıcaklığı 775°F' in altına düşmemelidir.

Su verme genellikle oda sıcaklığındaki suya tamamen daldırılması şeklinde yapılır, ve çoğu dövme alaşımları durumunda bu suyun sıcaklığı max.100 °F civarındadır. Ancak bazı döküm alaşımları 150-212 °F arasındaki sıcak suya daldırılırlar. Sıcak suya daldırma soğuk suya daldırmanın sebep olacağı aşırı çarpılmayı minimize ettiği gibi; parçaların iç-gerilimlerini de (internal stresses) azaltır. Çoğu dövme parçalar 140-160 °F arasında suda su verilirler.

2020 Döküm alaşımının su verilmesinde; gerilim-korozyonu çatlaması önlenmek

istendiğinde su verme hızı çok önemlidir ve bu ancak sıcaklığı 250-300 °F arasında tutulan yağ banyosunda sağlanabilir. Bunu sağlamanın diğer bir yolu da, su verilen parçaların sıcaklıkları 450 °F' ın altına soğuyacak kadar uzun bir süre kaynayan su verme suyunda bekletmektir.

Su verme tamamlandıktan sonra su verme ortamından çıkartılır ve kurutulur. Eğer parçaların yüzey görünümü önemliyse, su verme suyunun kalitesi önemlidir. Sert veya kirli su, parçaların yüzeyinde lekeler ve tortular bırakır.

Tuz banyolu solüsyona alma fırınlarında kullanılan su verme tanklarındaki su sürekli olarak kontrol edilmeli ve parçalar tarafından taşınan tuz nedeniyle konsantrasyon takip edilmelidir. Tuz nedeni ile korozyon oluşmasını önlenmek için parçalar su verildikten sonra soğuk veya sıcak taze-temiz su ile yıkanmalıdırlar.

Plaka veya içi dolu ağır kesitli ekstrüzyon parçalar durumunda soğuk suyla spreyleme yöntemi kullanılır.

Ağır kesitler içeren, uniform olmayan kalınlıklara sahip dövme parçalara su verildiğinde, belirli bölgelerde ortaya çıkan yüksek artik gerilimler gerilim korozyonu çatlamasına neden olurlar. Bu 140-160 °F arasında sıcak suda su verilerek azaltılır.

2.1.4. Doğal Yaşlandırma (Natural Aging) İşlemi:

Isıl işlem yapılabilen Al-Alaşımları, su verme işleminden sonra oda sıcaklığında son derece kararsızdırlar ve sertleşmeyi sağlayan fazların çökelmesi derhal başlayabilir. Doğal yaşlanmadan önce alaşımın mekanik özellikleri çok düşüktür ve sünekliliği tavlanmış durumla karşılaştırılabilecek değerlerdedir. Doğal yaşlanma da sıcaklığa bağlıdır ve alaşım düşük sıcaklıklarda soğutularak geciktirilebilir.

Doğal yaşlanmanın hızı çok geniş bir aralıkta değişebilir ve alaşıma önemli oranda bağlıdır. 2000 serisi Al-Cu Alaşımları oda sıcaklığında hızla sertleşirler ve tam sertleşme yaklaşık dört günde tamamlanır. 6061 Alaşımı ise su vermeyi takip eden dört günde önemli oranda sertleşmesine rağmen, ancak aylar sonra kararlı hale gelebilir. 7075,7079 gibi alaşımlar ise su vermeden sonraki birkaç günde önemli oranda

sertleşmesine rağmen, uzun yıllar boyunca mukavemetinde hafif bir artma devam eder.

2.1.5. Suni Yaşlandırma (Artificial Aging) İşlemi:

Suni Yaşlandırma(Artificial Aging) Isıl işlemi ile; homojenizasyon ve onu takip eden su verme işlemleri sonucu aşırı doymuş katı eriyik içerisinde dağılmış olan partiküllerinin tercihen tane sınırlarından başlayarak arzu edilen şekilde çökelmeleri sağlanır. Bu ise uzamayı azaltıp mukavemeti arttırmaktadır. Çökelme ilerledikçe alaşımın mukavemeti artar ve max. bir tepe noktaya ulaşır. Daha fazla yaşlandırmaya devam edilirse, mukavemet kararlı hale ulaşılıncaya kadar tedrici olarak azalır. Çökeltilmiş olan ince partiküller bir yük uygulandığında taneler arasında veya taneler içerisinde kayma ve distorsiyona direnç gösteren kilitler olarak davranırlar ve böylece mukavemeti artırırlar. Isıl işleme tabi tutulan parça için yaşlandırma sıcaklığı ve süresi malzeme özelliklerinin kontrolü için kullanılabilecek iki değişkendir. Daha yüksek sıcaklıkların ve daha kısa sürelerin kullanılması daha yüksek akma mukavemeti ve daha düşük % uzama sağlar. Halbuki, daha düşük sıcaklıklar daha büyük % uzama ve hafifçe daha düşük akma mukavemeti sağlar. Yaşlandırma süresinin başlangıcı; yük içerisindeki en düşük sıcaklık, ayarlanan sıcaklığa 10 °F kadar yaklaşınca başlayacaktır. Bu nedenle yükün hızlıca ısıtılması önemlidir. Solüsyona alma ısıl işlemi yapılmadan veya yapıldıktan sonra ve solüsyona alma işlemi ve soğuk deformasyon olmak üzere üç farklı yolla mukavemet artırmak mümkündür. T1, T5 ve T10 ile gösterilen solüsyona alma yapılmaksızın yaşlandırma sertleştirmesi; üretim işlemi sonrası katı çözeltide kalan çözünen elementlerin miktarı ile doğrudan alakalıdır. Yalnızca ekstrüzyon sıcaklığının özel bir şekilde kontrolü ve pres çıkışında hemen su verme ile veya hızlı katılaşma şartları altında üretilen dökümler bu şekilde sertleştirilebilirler. Basınçlı dökümlere nadiren solüsyona alma işlemi yapılabilir, çünkü onların hızlı soğuma ile oluşan yapılarının mekanik özellikleri termal işlemler ile çok az iyileştirilebilir ve solüsyona almanın yüksek sıcaklığı yüzeylerinde kabarcıklar oluşturur ve boyutsal hassasiyetleri de bozulur.

Ancak sonraki mekanik işlemeler öncesi artik gerilimleri almak ve yüksek çalışma sıcaklıklarında kullanımları esnasında boyutsal stabilitelerini sağlamak için; basınçlı döküm ile üretilen parçalara yaşlandırma (çökeltme) işlemi yapılabilir. Bu

şartlar A360 alaşımında T5 için 360 °F'ta 2-4 saat, A380 alaşımında 400 °F' ta 8-10 saattir.

Solüsyona alma işlemini takiben yaşlandırma yapmak en yaygın uygulamadır. Bazı alaşımlarda solüsyona alma ve su verme işlemi ile yaşlandırma başlangıcı arasında oda sıcaklığında geçen süre önemlidir.

Örneğin, Al-Si-Mg esaslı 6000 serisi alaşımlarda en yüksek mekanik özellikler su vermeden hemen sonra yaslandırılarak elde edilir. Fakat çoğu alaşımlarda bu süre mekanik özellikleri çok az etkiler. Bazı alaşımlar ise max. mekanik özellikleri kazandırmak için, yaşlandırma işlemi öncesi oda sıcaklığında bir süre bekletilmeyi gerektirirler.

Sonraki mekanik işlemler öncesi artik gerilimleri almak ve yüksek çalışma sıcaklıklarında kullanımları esnasında boyutsal stabilitelerini sağlamak için bazı döküm ve dövme parçalara solüsyona alma işlemi sonrası yapılan aşırı yaşlandırma T7 temperi ile gösterilir.

Alüminyum alaşımlarında (özellikle 2000 serisi) solüsyona alma işlemi ve takiben yapılan (%1-8) soğuk işlem sonrası yaşlandırma yapılarak en yüksek mekanik özellikler elde edilmektedir. Bu olay muayyen hadde ürünlerinin T8 temperinin mekanik özelliklerini geliştirir.

2.2. Alüminyum Isıl İşleminde Kullanılan Fırınlar:

Alüminyum alaşımları döküm ve işlem alaşımları olarak iki ana gruba ayrılmaktadırlar. İşlem alaşımları ise ısıl işlem yapılabilen ve ısıl işlem yapılamayan alaşımlar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar içerisinde işlem alaşımları ekstrüzyon metodu ile profil, haddeleme ile levha ve dövme ile şekilli parçalar üretiminde kullanılırlar. Döküm alaşımları ise ergitildikten sonra kum, kokil, seramik vs. kalıplara döküm; alçak ve/veya yüksek basınçlı döküm yöntemleri ile şekilli parça üretimlerinde kullanılırlar. Dolayısı ile her iki gruptaki alaşımlar kazandırılmak istenilen özelliklere bağlı olarak, farklı tip fırınlarda ve farklı metotlar ile termal işlemlere tabi tutulurlar. Dolayısı ile her tip fırında farklı özelliklerin kontrol edilmesi

gerekmektedir.

Solüsyona Alma Isıl işlem Fırınları:

Solüsyona Alma ısıl işleminde; tuz banyosu veya hava sirkülasyonlu olmak üzere iki tip fırın kullanılır.

Tuz banyoları yüksek ısı kapasitesi, yüksek ısınma hızları ve uniform sıcaklık dağılımı gibi avantajlara sahiptir. Bu tip fırınlar kompleks şekilli döküm, dövme ve ekstrüzyon parçalardan dolayı havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılırlar. Fakat, tuz banyolu fırınlar; yüksek maliyet, işletme masraflarının yüksekliği, ortamın korozif yapısı, parçalar üzerindeki tuz artıklarının temizlenme maliyetleri ve patlamalardan sakınmak için şarjın nemsiz olması gibi dezavantajlara sahiptirler.

Özellikle ağır parçalar durumunda; fırın yapısından dolayı parçanın üstten alınarak su verme tankına yukarıdan götürülmesi esnasında; hem tuzların süzülmesi için yeterli ve emniyetli bir mesafenin bırakılması zorunluluğu, hem de parçanın sıcaklığının çok fazla düşmemesi (quenching delay) için bu mesafenin minimumda tutulmasının gerekliliği diğer bir dezavantajdır. Isıtılmış nitratlar (kuvvetli oksitleyicidirler) magnezyum ve siyanidler gibi kuvvetli redükleyiciler ile asla bir araya getirilmezler. Bu nedenle ergimiş nitrat tuzlarında asla %1-2’ den fazla Mg içeren Al-alaşımlarına ısıl işlem yapılamaz. Ayrıca tuz buharlarını uzaklaştırmak için kuvvetli havalandırma gereklidir. Nitrat tuz tankları sudan korunmalıdır.

Çoğu alüminyum levha ve plakalar ya havalı, ya da atmosfer kontrollü (azot veya argon) fırınlarda ısıl işlem yapılırlar. Havalı fırınlar geniş bir sıcaklık aralığında ve farklı alaşımlar ile kullanabilmek için esnektirler. Büyük ölçekli üretimlerde kontrollü atmosfer olarak hava ve doğal gaz kombinasyonu da kullanılır. Alüminyum yüksek sıcaklık oksidasyonuna çok duyarlı olduğundan dolayı fırın atmosferindeki su buharı ve nemin elemine edilmesi arzu edilir. Ayrıca su buharı yanma ürünlerinden biridir ve bunu ortamdaki diğer gazlardan ayırmak gerekir, bu ise yanma havasını soğutarak yapılır. Kurutulduktan sonra uygun doğal gaz ve hava karışımı sağlanacak, (fırın atmosferi %0,3 ten az O2 içeren azot ve karbondioksitten oluşacaktır.

Normal sıcaklık ve atmosferlerde alüminyumun üzerindeki oksit tabakası onu oksidasyona karşı koruyacaktır. Ancak yüksek sıcaklıklarda su buharının mevcudiyeti, amonyak veya sülfür bileşikleri içeren kirlilikler gibi şartlar altında yüzeydeki bu oksit filmi kırılacaktır. Nem atomik hidrojen üretmek (-ki sonra moleküler hidrojen olarak katı metal içersinde çökelen) için alüminyum yüzeyi ile reaksiyona girer ve katı içersinde difüze olur. Bu ise daha sonraki yüksek sıcaklıklarda kabarcıklar, yüksek sıcaklık oksidasyonu ve porozite oluşturur.

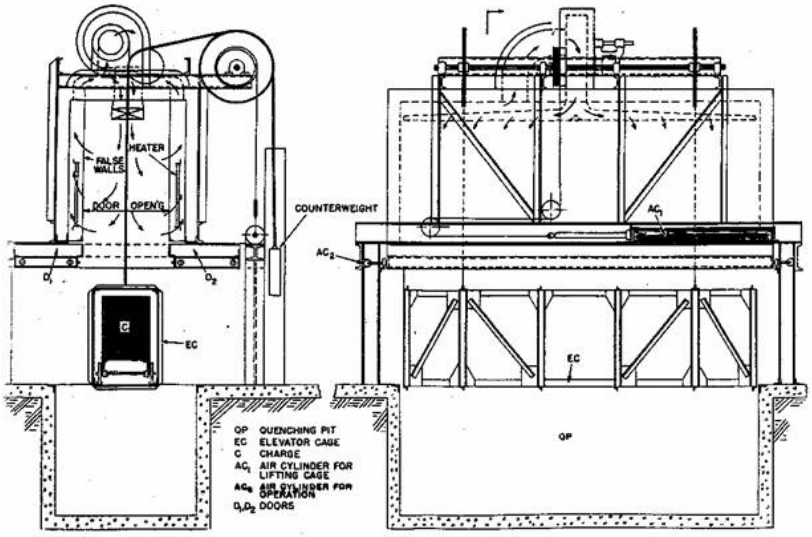
Nem veya sülfür bileşiklerinin zararlı etkileri; buharlaşabilir florürler ihtiva eden amonyum, sodyum ve potasyum-floraboratlar veya bor triflorür fırın ortamına verilerek minimize edilir **(Metals Handbook Vol.2)**.

Hava veya atmosfer kontrollü fırınlarda ısı kaynağı olarak elektrik,gaz veya sıvı yakıt kullanılabilir. Ancak gaz veya sıvı yakıt durumunda yanma ürünü olarak ortama karışan SO2' den dolayı direkt ısıtma nadiren kullanılır. Bu tür yakıtlar ancak Radyan Tüplü Yakma Sistemleri ile kullanılabilir.

Bütün hava sirkülasyonlu veya atmosfer kontrollü fırınlarda çok hızlı bir sirkülasyon ve uniform sıcaklık dağılımı için fırın içerisine yerleştirilmiş fanlar kullanılmalıdır. Fırın içerisinde aşırı sıcak veya soğuk noktalardan kaçınmak için fanın doğru seçimi ve uygun dizaynı çok önemlidir. Bu tip fırınların röleler üzerinde malzeme hareketinin sağlandığı yatay ve dikey olmak üzere iki tipi vardır.

Dikey fırınlar su verme tankının üzerine direkt olarak yerleştirilmiştir ve altta hava sızdırmaz bir kapak vardır. Şarj fırın içerisine bir asansör yardımı ile kaldırılır. İşlem bittiğinde kapak açılarak şarj sıcaklığında çok az bir düşüş ile su verme ortamı içerisine daldırılabilir.

Dikey fırınlar yatay, devamlı fırınlara göre daha küçüktürler ve max. 3*3*9 mt. olabilirler. Dikey hava sirkülasyonlu bir homojenizasyon fırınının kesit görünüşü ve altında hızlı su vermeyi sağlayan soğutma (quenching) tankı Şekil 2.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Hava sirkülasyonlu Homojenizasyon Fırını ve altındaki soğutma tankının kesit görünüşü.

Yatay devamlı ısıl işlem fırınlarında, plakalar fırın ısı girişi, gaz sirkülasyon hızı ve fırın boyuna bağlı olarak, alaşımın cinsinin bir fonksiyonu olarak önceden tayin edilmiş bir hızda fırın zonları arasında hareket ederler. Malzeme yatay pozisyonda, röleler üzerinde desteklenmiş durumda ısıl işlem yapılır, malzeme bir uçtan girer, ısıtılır, soaking zamanı kadar tutulur, diger uçtan çıkarken su verilir ve boşaltılır.

Fırın gövdesinden ayrı olan son birkaç zonda bulunan tahrik sistemi su verme ortamındaki metalin hızla dışarı alınmasını sağlar. Fırın uzunluğu malzemeye ve kalınlığa bağlıdır; 0,010-0,125" levhaların ısıl işlemi için 60 feet yeterliyken, 6" kalınlıktaki plakalar için 200 feet gerekmektedir. Malzeme ilerleme hızları da; ince levha malzemeler için 10-15 feet/dak; kalın plakalar için 3"/dak ile 6 feet/dak arasında değişmektedir. Bu tip fırınlardaki son gelişme malzemenin fırın giriş ve çıkışlarindaki sıkıştırmalı röleler ile hareket ettirildiği havada yüzdürmeli (air-flotating) sistemdir. Levha yüzeylerine çarpan çok yüksek hızdaki hava akımı ile fırın içerisinde desteklenir. Sirküle eden hava akımı ısı kaynağı olarak brülör tüplerinden geçer. Levhayı destekleyen yüksek hava hızları, aynı zamanda yüksek ısıtma hızlarını da sağlar ve yüksek üretim hızları elde edilir (100 feet/dak).

2.3.Homojenizasyon Fırınlarında Uygun Isı Dağılımının Tespiti:

Homojenizasyon işlemindeki sıcaklık kontrolü ve prosesin sıcaklığa aşırı

hassasiyeti, bu fırınlardaki sıcaklık dağılımının tespitini zorunlu kılmaktadır.

Yaşlandırma (Aging) işlemi ise sıcaklığa daha az duyarlı olduğundan, bu tip fırınlarda sıcaklığın kontrolü ile sıcaklık dağılımının tespiti homojenizasyon işlemi fırınları kadar kritik değildir.

Son derece büyük bazı fırınlarda (41*4*10feet) +3 °F/ -2 °F sıcaklık dağılımı rapor edilmiştir, ancak bunu sağlamak son derece zordur. Fırın, boyuna ikiye bölünerek küçültül- düğünde bir tarafta +2 °F/ -1 °F, diğer tarafta +1 °F/ -2 °F sıcaklık dağılımı ölçülmüştür (**Metals Handbook Vol.2)**.

Tuz banyolarında sıcaklık uniformluğu incelemeleri her bir bölgede prob termokupul termal dengeye ulaşıncaya kadar tutularak yapılır. Böylece tuz banyosunun ölçülmek istenen her bölgesi için bu işlem tekrarlanarak raporlanır. Havalı fırınlarda ise önce fırın ısıtılarak test sıcaklığında kararlı hale gelmesi beklenir, daha sonra fırının şarj sepetinin farklı bölgelerine önceden yerleştirilmiş olan termokupllar ile birlikte sepet fırın içerisine kaldırılarak kayda başlanır.

Çoklu switchler veya çok noktalı ölçüm-kayıt cihazlari kullanılarak her beş dakikada bir fırının değişik yerlerindeki sıcaklıklar ölçülür. Fırın sıcaklığı test sıcaklığına yaklaştikça okuma sıklığı artırılır. Fırın termal dengeye ulaştıktan sonra tekrar önceden belirlenmiş sıklıkta ölçümlere dönülür.

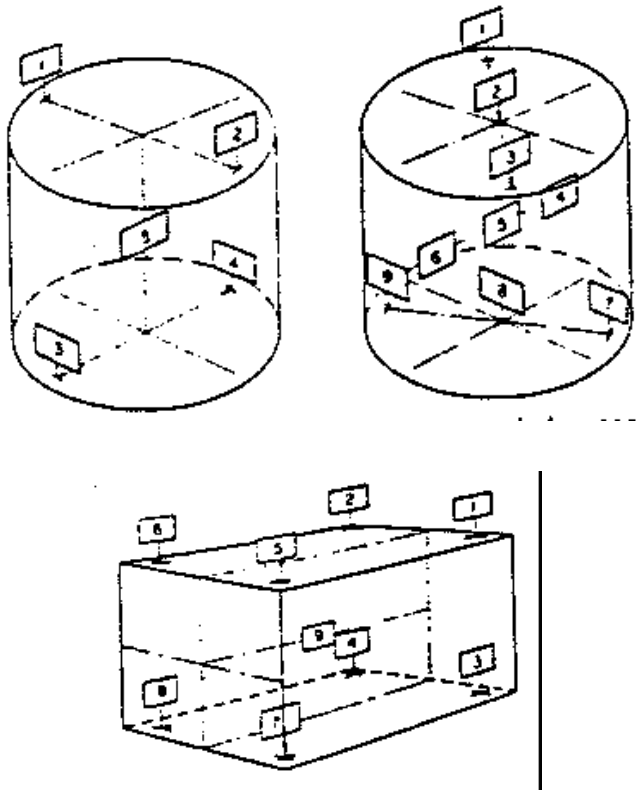
Homojenizasyon fırınlarında sıcaklık uniformluğu incelemesi banyo boşken ve iş parçası varken ayrı ayrı yapılarak kaydedilir. Burada önemli olan kullanılan şarjın daima uniform ve benzer olmasıdır.

Yoksa fırına daldırılan şarjın (yükün) miktarı ve şarj sepetine yerleştirilmesi sıcaklık dağılımını önemli oranda etkileyecektir. Ayrıca fırında herhangi bir değişiklik yapıldığında bu uniformluk incelemeleri tekrar yapılmalıdır.

Şekil 2.2.' de yuvarlak kesitli tuz banyolu ve hava sirkülasyonlu fırınlarda ve dikdörtgen kesitli bir hava sirkülasyonlu fırında uniform sıcaklık dağılımının tespiti için termokupların konulması gereken yerler gösterilmiştir.

Her iki tipin de gösterildiği yuvarlak kesitli fırında kullanılan termokupllar

incelendiğinde, tuz banyolarında hemen hemen her tarafı aynı sıcaklığa kolayca ulaştığı için, iki altta-bir ortada-iki üstte sadece beş termokupl yeterli görülmektedir. Hava sirkülasyonlu fırınlarda ise uniformluk, çaprazlama yerleştirilmek şartı ile fırın içerisindeki sıcaklık üç altta-üç ortada-üç üstte olmak üzere dokuz termokupl ile incelenmektedir. Dikdörtgen kesitli hava sirkülasyonlu fırınlarda ise altta ve üstte köşelerde dörder adet ve ortada bir adet olmak üzere yine dokuz termokupl kullanılmalıdır. Bu sayılar en az olup, fırın içerisindeki sıcaklık dağılımında bir dengesizlik gözlendiğinde sayı artırılarak inceleme tekrarlanır, hatanın sebebi tespit edilerek giderilir ve fırın kayıtlarının muhafazası açısından belirtilen sayıda termokupl ile inceleme tekrarlanır.



Şekil 2.2. Fırın içerisindeki sıcaklık dağılımı uniformluk incelemesi için kullanılacak termokupların yerleştirileceği yerler **(Heat Treating Aluminum., 1969)**.

Hava sirkülasyonlu fırınlarda diğer bir sorun fırın içerisindeki parçanın sıcaklığının, fırın içinde dolaşan havanın sıcaklığı ile aynı olmamasıdır. Fırın ekipmanları fırın içerisinde işlem yapılmakta olan parçalara doğru veya bu parçalardan fırın ekipmanlarına doğru olacak radyasyonu önleyebilirler. İzole edilmemiş ısıtma

elementleri (rezistanslar gibi) durumunda radyasyon nedeni ile parçaların sıcaklığının işlem ayar sıcaklığından 35 °F kadar yükseldiği gözlenmiştir. Bu problem dirençlerin önüne 1,5mm kalınlıkta paslanmaz levha ve arkasına 12mm izolasyon malzemesi konularak azaltılır.

Havalı fırında çalışma sıcaklığı daha düşük bir sıcaklığa değiştirildiğinde fırın duvarlarının parçaya doğru radyasyon ile ısı yayacağını unutmamak gerekir. Bu nedenle parçalar fırın içine konulmadan önce fırının termal dengeye ulaşmış olduğundan emin olunmalıdır.

2.4.Termal İşlemlerde Karşılaşılan Problemler ve Giderilmesi:

2.4.1. Tavlamada Ortaya Çıkabilecek Problemler:

1) Aşırı Metal Sertliği: Yüksek kopma veya akma mukavemeti ile anlaşılır. Eğer yüzde uzama düşükse, tavlama sıcaklığı düşük veya tutma süresi yetersizdir. Eğer yüzde uzama normalse, kullanılan sıcaklık çok yüksektir veya soğuma çok hızlıdır **(D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth.1989)**.

2) Büyük Tane Boyutu: Şekillendirme işleminden sonra yüzeyde portakal kabuğu gibi görünüm ile anlaşılır. Tavlama esnasında çok yavaş ısıtma hızı sonucu ortaya çıkar**(D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth.1989)**.

3) Kötü (Zayıf) Sıvama (Drawing) Özellikleri: Çok yüksek tavlama sıcaklıklarının sebep olduğu hatalı çökelme şekil ve dağılımı nedeniyle ortaya çıkar**(D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth.1989)**.

4) Hatalı Renklenme: Havanın bulunduğu ortamda daha yüksek yüksek tavlama sıcaklığının kullanılması ile yer yer su veya yağ lekelerinin görülmesidir. Yüzeyin çok ciddi şekilde kararması, malzemenin aşırı yüksek sıcaklıkta çok uzun sure tutulması nedeniyledir**(D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth.1989)**.

2.4.2. Solüsyona Alma ve Su Verme İşlemlerinde Ortaya Çıkabilecek Problemler:

1) Düşük Akma ve Kopma Mukavemeti: Kısa solüsyona alma süresi, düşük solüsyona alma sıcaklığı, su verme tankına yavaş taşıma hızı, yavaş su verme, solüsyona alma sıcaklığına yavaş ısınma ve yüksek sıcaklık oksidasyonu gibi nedenler bu hataya sebep olurlar.

2) Taneler Arası Korozyon: Genellikle tuzlu atmosfere uzun sure maruz kalınması ile ortaya çıkar. Çekme mukavemeti ve uzamada önemli oranda azalma ile anlaşılır. Fırından su verme tankına yavaş taşıma, ısıl işlemden sonra kontrolsüz veya uygun olmayan yeniden ısıtma gibi nedenler bu hataya sebep olurlar.

3) Aşırı Isıtma: Ötektik Ergime, kısmi ergime, tane sınırlarının ergimesi ve rozetlenme olarakta bilinir. Bu hata süneklikte azalmaya neden olur ve şiddetli durumlarda kabarcıklar oluşturur ve mukavemeti de azaltır. Aynı zamanda su verme esnasında çatlamalarada neden olur.

4) Su Verme Çatlakları: Genellikle büyük ve/veya ağır kesitli parçalarda su verme işlemi esnasında veya sonrasında olur ve ani kesit değişimlerinin olduğu bölgelerde gözlenir.

5) Aşırı Çarpılma: Isıtma periyodu esnasında malzemenin çeşitli bölgeleri arasındaki aşırı sıcaklık farklılıkları olması, malzemenin uygun olmayan şekilde desteklenmesi veya çok şiddetli su verme işlemi kullanılmasi gibi nedenlerle oluşur.

5) Düşük % Uzama: Aşırı ısıtma, yüksek sıcaklık oksidasyonu veya su verme işleminden sonraki aşırı doğrultma-düzeltme işlemleri gibi nedenlerle meydana gelir.

Eğer alüminyum alaşımları relatif olarak büyük miktarlarda eriyebilen elementler ile yapılmış ise; solüsyona alma sıcaklığı hemen hemen ergime noktasına yakın oldukça yüksek bir sıcaklık olacaktır. Bu tür alaşımlar yalnızca birkaç derece fazla aşırı ısıtıldıklarında kısmi ergimeler meydana gelebilecektir. Bir kere kısmi ergime meydana geldiğinde; Parça tekrar ergitilmeli ve işlenmelidir. Bu da önemli maddi kayıplara sebep olacaktır.

Sıcaklık kontrolü şarjın en sıcak noktasında erişilebilecek sıcaklığa

ayarlanmalıdır. Sıcaklık kesinlikle max. limiti aşmamalıdır. Bu husus özellikle 2014, 2017, 2024 gibi alaşımlarda önemlidir**(D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth.1989)**.

Solüsyona alma işleminde istenilen sıcaklıktaki bekletme (tutma) süreleri (soaking time) de özellikle hava sirkülasyonlu fırınlarda önemlidir ve kayıt/kontrol altına alınmalıdır. Tuz banyolu fırınlarda bekletme süresi şarj banyoya gömüldüğünde başlar, genellikle bu tür fırınlarda sarj tuz banyosu sıcaklığını ayarlanan sıcaklıktan 10 °F' tan fazla düşürmez. Eğer sıcaklık belirtilen minimumun altına 10 °F' tan fazla düşerse; tutma süresi banyonun tamamı ayarlanan sıcaklığa eriştikten sonra kayıt altına alınmaya başlanmalıdır. Hava sirkülasyonlu fırınlarda ise, bütün fırın ekipmanları (Fırın gövdesi, Ean, termokupullar vs.) orjinal sıcaklık ayar değerine ulaştıktan sonra şarj fırına yüklenir ve bekletme süresi başlatılır. Havalı Fırınlarda termokupllar şarj edilen parçalara tutturularak veya şarjın değişik yerlerine gömülerek homojen bir ısıtma ve doğru bekletme süresi kayıt altına alınmış olur**(D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth.1989)**..

Tuz banyolarındaki bekletme (tutma) süreleri hava sirkülasyonlu fırınlardan daha kısadır. Örneğin, dövme parçalarda 0,251-,500 inç kesit kalınlığı için bekletme süreleri havalı fırınlarda 65-75 dak. iken, tuz banyolarında 45-55 dak. yeterli olmaktadır. Bazı literatürlerde bu süre dövülmüş malzemenin her 1 inç kalınlığı için bir saat olarak verilmektedir. Ancak döküm alaşımları durumunda bu süreler alaşıma bağlı olarak 6-12 saat arasındadır.Bunun nedeni döküm mikro yapısının daha kaba olması ve katı eriyik haline ulaşmanın daha uzun zaman almasıdır**(D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth.1989)**.

Su vermenin (çok hızlı soğutma) muhtemel sonuçlarından biri de metalin (malzemenin) şiddetli çarpılmasıdır. Bu nedenle, su verilmiş levha üzerinde daha sonra bir düzeltme (doğrultma) işlemi yapılması normal bir operasyondur. Levha doğrultma haddesi, gerdirme veya ters tarafa esnetme gibi işlemler ile düzeltilir. Levha son üç tempere bağlı olarak % 0,5-6,0 soğuk hadde redüksiyonu ile düzeltilir.

Ayrıca solüsyona alma işlemindeki bekletme süresi Al-clad malzemelerde son derece önemlidir ve cladding içindeki alaşım elementlerinin difüzyonu nedeni ile korozyon direnci azalacağı için minimumda tutulmalıdır**(D. Apellian, S. Shivkumar,**

G. Sigworth.1989).

Ayrıca hava sirkülasyonlu fırınlarda şarjın düzenlenmesine de dikkat etmek gerekmektedir. Fırın içerisindeki doğal sıcaklık dağılımı ve hava akışı şarj tarafından engellenmemeli ve su verme anında bütün parçalar eşit şekilde soğutulabilmelidir. Genel bir kabul olarak parçalar arasında 2 inçlik bir açıklık yeterlidir, ancak büyük ve kompleks şekilli parçalarda daha fazla bir boşluk gereklidir. Havalı Fırınlarda şarjın yüklenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar:

1) Hava akışı minimum direnç ile karşılaşmalıdır.

2) Fırın içerisindeki doğal sıcaklık dağılımı en az şekilde bozulmalıdır.

3) Şarj içerisindeki her parçanın etrafında sabit bir hava zarfı oluşması önlenmelidir.

Tuz banyolu fırınlarda şarj su verme ortamına patlamaya sebep olabilecek tuz taşımamalıdır.

Normal boyuttaki dövme ve döküm parçalar özel şarj sepetlerine veya tepsilerine dizilirler. Büyük parçalar özel fikstürler ile fırına konulmalıdır. Rivet, somun gibi çok küçük parçalar dökülmeyecek, fakat arasından hava ve su sirküle edebilecek özel delikli şarj aparatlarında fırına konulmalıdır. Levha veya plaka gibi parçalar dikey olarak desteklenerek, aralarında yeterli açıklık sağlayacak uygun askı ve kelepçeler ile tutturularak fırına konulmalıdır.

Tüp veya ağır kesitli ekstrüzyon ürünler için dikey kule tipi fırınlar ve fırının altına yerleştirilmiş kuyu tipi soğutma tankı en iyisidir.

2.4.3. Yaşlandırmada Ortaya Çıkabilecek Problemler:

Yaşlandırma sıcaklığına yükselme hızı uygun olmayan fırın kullanımı, şarjın çok sıkı yüklenmesi, fırının aşırı yüklenmesi veya fırının yetersiz ısıtma kapasitesi gibi nedenler ile yavaş ise aşırı yaşlanma meydana gelebilir.

Eğer yük (şarj) termokupulları kullanılmaz ve yaşlandırma süresi toplam fırın süresinden tahmin edilmeye çalışılırsa, bu yetersiz yaşlandırmayla yok açacak durumlara sebebiyet verebilir, bu yüzden bu duruma yol açabilecek problemler bertaraf edilmeye çalışılmalıdır.

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 davranışım birleştirir **(M. Günyüz**., **2007)**.

Mikro ark oksidasyon (MAO) işlemi, yaklaşık 40 yıl önce Sovyetler Birliği'nde, önceleri akademik, sonraki yıllarda ise denizaltı parçalarının üretimi çerçevesinde askeri uygulamalarda kullanılmaya başlanmış ileri bir yüzey işlemidir. Amerika'da 1970'li yıllarda, 1980'lerin sonunda ise tüm dünyaya tanınan mikro ark oksidasyon, günümüzde halen güncel ve yaygın çalışılan bir araştırma konusudur.

Mikro ark oksidasyon işlemini tanımlamak için pek çok terim kullamlmaktadır. Bunlar arasında kıvılcımlı anodik oksidasyon (spark anodizing), anodik kıvılcımlı biriktirme (anodic spark deposition), mikro ark anodik oksidasyon (micro arc anodizing, "mao"), mikro plazma anodik oksidasyon (microplasma anodizing), mikro plazma oksidasyon (mikro plazma oxidation), plazma elektrolitik oksidasyon (plasma electrolytic oxidation, "peo") ve elektroplazma oksidasyon (elektroplasma oxidation) sayılabilir **(Yerokhin A.L. and Snizhko L.O**., **2003)**.

Amerika'daki pek çok patentli işleme ek olarak Avrupa Keronite, Kepla-Coat, Tagnite, Anomag, EC^2 adları altında, İsrail ise Almag-Al adıyla kendi mikro ark oksidasyon teknolojilerini geliştirmişlerdir. Bu ülkelerin yanı sıra, Çin, Japonya ve Avustralya da mikro ark oksidasyon teknolojisi uygulamalarına katılmışlardır.

3.2 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. Bu yöntemle üretilen kaplamalar kaim seramik kaplama istenen uygulamalarda kullanılabilirler. Ayrıca geleneksel anodik oksidasyon işlemleriyle

kaplanamayan yüksek silisyum içeren alüminyum alaşımları ve magnezyum alaşımları bu teknikle kaplanabilirler. Mikro ark oksidasyon işlemi ile üretilen seramik kaplamalar boyalara karşı gösterdikleri kuvvetli eğilim ile mükemmek bir boya tabanı görevi görebilirler.

Mikro ark oksidasyon işlemi ile üretilmiş kaplamalar yüksek sıcaklık dayanımları ile uzay araçlarında ve roketlerde koruyucu olarak kullanılabilir ki, bu tür kaplamaların mükemmel dielektrik özelliğinden faydalanarak yalıtkan ortamlarda kullanılması da mümkündür. Bunlara ek olarak mikro ar oksiadasyon işlemi ile üretilen kaplamaların değişik renkleri de, bu yöntemle üretilen malzemelerin mimari uygulamalarda kullanılabileceğini gösterir **(M. Günyüz**., **2007)**.

Mükemmel dielektrik özellik göstermesi nedeniyle, ısıya dayamklı kaplamalar, füzelerin ve uzay mekiklerinin koruyucu kaplamalarının üretiminde değer kazanır. Diğer yandan, MAO teknolojisi farklı alaşımların kaplanması sonucu ortaya çıkan değişik renklere bağlı olarak mimari alanlarda da uygulama alanları bulabilir.

Diğer uygulamalar, kimyasal, mekanik, termal, elektrik-elektronik ve bu dördünün kombinasyonunu gerektiren ortamlar olarak sayılabilir. Aşağıda mikro ark oksidasyon işlemiyle üretilen oksit kaplamaların, bu gibi uygulama alanlarında kullanımı mümkün kılan özellikleri sıralanmıştır **(S. Çakıcı**., **2009)**:

1. Kimyasal uygulamalar: Orta seviyeli sıcaklıklara, güçlü asit ve bazlara karsı dirençlidir. Bu sebeple kimya ve gıda endüstrilerinde kullanılabilir.

2. Mekanik uygulamalar: Oksit tabakasının sertliği 1300 kg/mm^2'den yüksektir. Bu yüksek sertlik, kayma, abrasif ve erozif aşınma direncini arttıran bir faktördür. Ayrıca, sürtünme katsayısının düşük olması, sınır yağlama koşullarında kullanımı da mümkün kılmaktadır.

3. Termal uygulamalar: Oksit tabakasının ısıl iletkenliği, diğer metallere göre daha düşüktür. Bu nedenle, sıcaklığın eşit dağılımını sağlamak ve termal şok direncini arttırmak için kullanılabilirler.

4. Elektrik ve elektronik uygulamalar: Oksit tabakasının yalıtkan bir film olarak

elektrik ve elektronik bileşenler üzerinde kullanılırlar. Mikro ark oksidasyon işlemi, iç yüzeylerin sert kaplanması (oyuk, silindirik ve konik bölgeler) için uygundur.

3.3 Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Avantaj 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 işlemesini 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 grubuna uygulanabilmesi ve geleneksel anodik oksidasyon yöntemi ile kaplanması zor olan yüksek bakır içeren alüminyum alaşımlarının, yüksek silisyum içeren döküm malzemelerin bu yöntem ile 300μm kalınlığa kadar kaplanabilmesidir **(Mayaloğlu U. ve Çakmak E**., **2008)**.

MAO teknolojisi çevreye karşı duyarlı, zehirli atıklar içermeyen bir kaplama yöntemi olarak hafif metallerin geleneksel yöntemlerle kaplanmasına alternatif olmaktadır. Sağladığı benzersiz aşınma ve korozyon direnci sayesinde özellikle otomotiv sanayinde kullanılan çelik esaslı parçaların yerine Al, Ti, Mg, vb. hafif alaşımların kullanılmasına imkan tanımaktadır**(S. Çakıcı**., **2009)**.

MAO prosesinin belli başlı avantajları şöyledir:

1) Ön veya son yüzey işlemleri gerekli değildir.

2) Çevreye karşı duyarlı ve pahalı olmayan elektrolitler kullanılır.

3) Kaplama rengi değiştirilerek dekoratif amaçlı kullanılabilmektedir.

4) Yüksek sertliğe sahip (Al için 2000 HV) kaplamalar elde edilmektedir.

5) Düşük sürtünme katsayılı yüzeyler oluşturulur (f = 0,005-0,01).

6) Yüksek aşınma direncine sahiptir.

7) Yüksek sıcaklık dayanımı özelliğinden dolayı termal bariyer kaplama olarak kullanılmaktadır. Dielektrik dayanımı 10-20V/Mikron' dur.

8) Çeşitli ortamlarda korozyona karşı dayanıklıdır.

MAO prosesinde kontrol edilebilen karakteristikler akım yoğunluğu, voltaj, elektrolit bileşimi, sıcaklık, vb. değiştirilerek farklı yapı ve özelliklere sahip kaplamalar üretilmektedir. Üretilen kaplamanın yüzeyi mikro seviyede pürüzlülüğe sahip olduğundan dekoratif veya işlevsel amaçlı ikincil kaplamaların yüzeylerine uygulanmasına imkan vermektedir.

Bu açıdan polimerler, seramikler ve metaller değişik yöntemlerle SOL-GEL CVD, PVD, Akımsız Ni kaplama, vb. kaplama yüzeyine uygulanabilmektedir **(Mayaloğlu U. ve Çakmak E**., **2008)**.

Bu avantajları mikro ark oksidasyonun geleneksel anodik oksidasyon yöntemlerine göre tercih edilir olmasını sağlamaktadır. Mikro ark oksidasyon işleminde de diğer işlemlerde olduğu gibi bazı sınırlamalar ve olumsuzluklar mevcuttur.

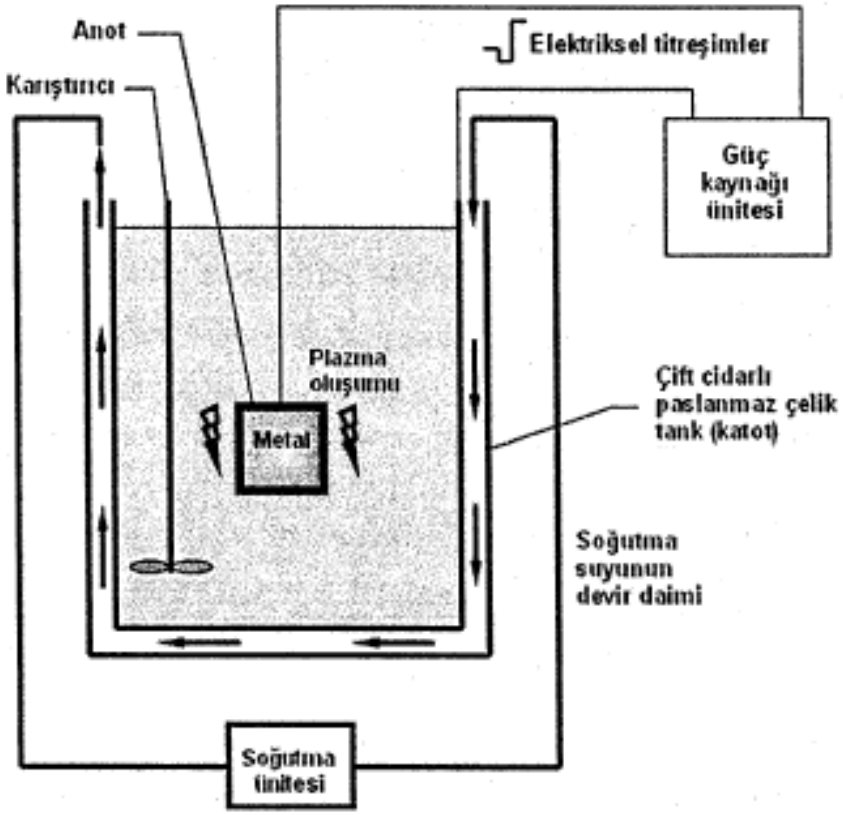
Mikro ark oksidasyon işlemi seçilen parametrelere bağlı olarak 1000 V değerine kadar (ve yaklaşık kapasite olarak 1 MW) enerji sağlayabilecek bir güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Bu yüksek enerji parça türü ve boyutuna bağlı olarak tehlikeli bir üretim süreci oluşturur. Kullanılan enerji miktarı göz 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 kırılgandır, 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 **(M. Günyüz**., **2007)**.

3.4 Mikro Ark Oksidasyon Donanımı ve Prosesi

Proseste kullanılan sistem basit olarak Şekil 3.1'de görülmektedir. Hava ortamındayken yüzeyinde kararlı bir oksit filmi oluşturan metal, güç kaynağına anot olarak bağlanır. Genellikle paslanmaz çelikten imal edilen tank devreyi tamamlamak üzere katot görevi görür. Sulu çözelti içerisinde homojenliği sağlamak üzere karıştırıcı kullanılmaktadır. Metal yüzeyinde plazma oluşumu nedeniyle sulu çözeltideki sıcaklık artışlarını azaltmak için soğutma suyu çift cidarlı tank içerisinden dolaştırılarak sistemin daima optimum sıcaklıkta çalışması sağlanır.

Eğer sıcaklık artışlarım önlemek için direk olarak çözeltini ayrı bir soğutma ünitesinden geçirilmesi düşünülürse filtreleme işlemi yapılmak zorundadır (**Mayaloğlu U. ve Çakmak E**., **2008)**.



Şekil 3.1: MAO işleminde kullanılan donanım **(Mayaloğlu U. ve Çakmak E., 2008)**.

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.

MAO işleminde kullanılan elektrolitler karboksilik asit, vanadat, permanganat, polimer ve dispersant, vb. katışkılar içeren silikat, aluminat, metafosfat, borat ve hidroksitleri içerirler **(M. Günyüz., 2007)**. Bunların yamnda kaplama yapısını modifiye etmek için elektrolit içerisine grafit ve M0S2 gibi katı yağlayıcılar ve teflon (PTFE) da ilave edilebilir **(S. Çakıcı., 2009)**.

Elektrot sıcaklığı, 10— 60°C aralığında kontrol edilmektedir. Mikro ark oksidasyon işleminde, yüksek voltaj ve akım değerlerine ulaşıldığından, banyo sıcaklığının belirli bir aralıkta tutulabilmesi için bir soğutma ünitesine de gerek duyulmaktadır.

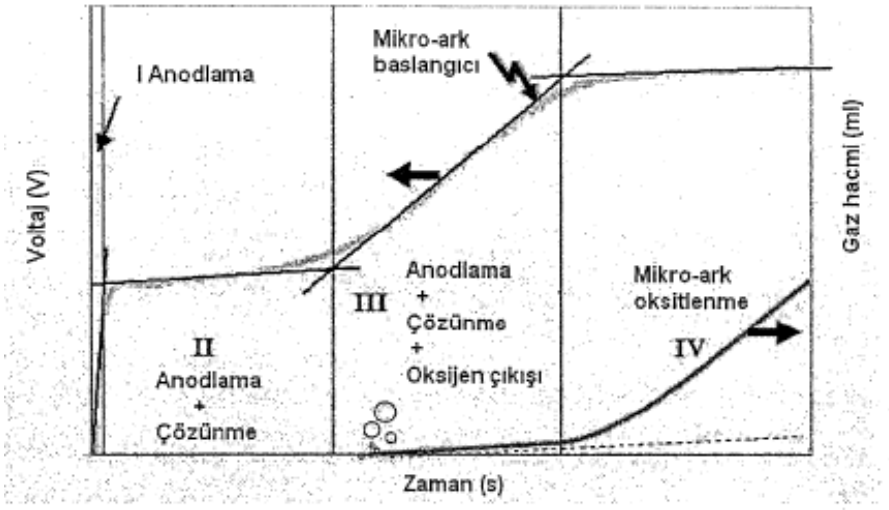
Anot olan numuneye negatif voltaj uygulanması ile malzeme yüzeyinde oksit

filmi oluşumu başlamaktadır. Bu aşama klasik anodik oksidasyon işlemidir. Ancak, uygulanan voltaj belli bir kritik değeri aştığında, malzeme yüzeyinde ark oluşumu ile mikro ark oksidasyon süreci başlamaktadır. Malzeme yüzeyinde bu mikro boyuttaki arkların oluştuğu voltaj değeri, bozunum voltajı (dielectric breakdown) olarak tanımlanmaktadır.

Bozunum voltajı değerinde, malzeme yüzeyinde metal iyonları ile hidroksil iyonları zıt yönlere hareket ederek oksit oluşumunu başlatırlar.

Malzeme yüzeyinde ark oluşumu için gerekli kritik potansiyel, esasen elektrodun kutupsallığma, elektrot malzemesi ve elektrolit bileşimine bağlıdır ancak sıcaklık, elektrolit konsantrasyonu ve yüzey geriliminden etkilenmez. Yapılan teorik çalışmalar, malzeme yüzeyindeki kıvılcım noktalarındaki yerel geçici sıcaklığın neredeyse güneşin merkezindeki sıcaklığa yaklaşarak birkaç bin Kelvin'e ulaşabildiğini belirtmektedir **(Mayaloğlu U. ve Çakmak E**., **2008)**.

Snizhko ve arkadaşları **(Snizko L.O. and Matthews A)., 2004**, MAO işleminin fiziksel ve kimyasal temellerini araştırmış ve MAO' nun 4 değişik basamakta gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Bu basamaklar Şekil 3.2'de gösterildiği gibi i) anodlama, ii) anodlama ve anodik çözünme iii) anodlama, anodik çözünme ve oksijen çıkışı ve son olarak da iv) mikro ark oluşumu olarak gösterilmiştir.

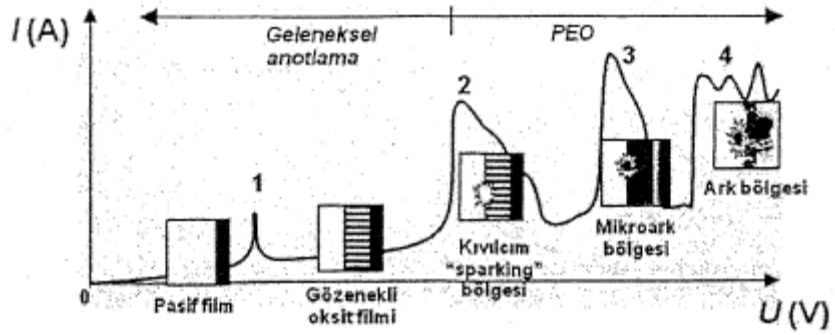


Şekil 3.2: MAO işlem basamakları **(S. Çakıcı**., **2009)**.

3.4.1 MAO akım-voltaj karakteristikleri

Şekil 3.3'te genel olarak işlem süresince akım-voltaj değişimi görülmektedir. Normal koşullarda metal yüzeyinde var olan pasif film tabakası 1 noktasına kadar ohm, kuralına uygun davranış gösterir ve bu noktadan sonra çözünmeye başlar. Pratikte bu değer malzemenin korozyon potansiyeline denk gelmektedir. 1-2 aralığında yeniden pasifleşme ile gözenekli oksit filmi oluşur ve voltaj düşüşünün büyük çoğunluğu bu arada meydana gelir.

2 noktasında oksit filmi içerisindeki elektrik alan kuvveti kritik değeri aşar ve bu değerin ötesinde darbe veya tünelleme iyonlaşması sonucunda film kırılır. Bu durumda oksit filmi yüzeyinde hızlıca hareket eden parlak kıvılcımlar gözlenir ve bu olay büyümeye- yardımcı olur. 3 noktasında darbe iyonlaşması termal iyonlaşma prosesleri ile desteklenerek daha yavaş fakat daha büyük ark-deşarjları ortaya çıkar. 3-4 aralığında kalmlaşan oksit filminin çoğunluğunda negatif yük artışıyla termal iyonlaşma engellenir. 4. bölgede ise mikro-arkların gücü artar ve metal içerisine ilerleyerek filmin termal olarak kırılmasına ve hasara sebep olabilirler. 2 noktasından önceki voltaj değerleri geleneksel anotlamayı temsil eder ve MAO prosesi bu voltaj değerlerinden daha yüksek voltajlarda gerçekleştirilir **(Yerokhin A.L and Dowey S.J**., **1999)**.



Şekil 3.3: Elektrot yüzeyindeki dielektrik filminde gerçekleşen akım-voltaj değişimi **(Yerokhin A.L and Dowey S.J**., **1999)**.

Yerokhin ve arkadaşları, oksitlenme reaksiyonlarının aşama aşama tam olarak anlaşılmasının ve açıklanmasımn metal-elektrolit ara yüzeyinde oluşacak olan filmin karakteristiği açısından önemli olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca diğer bir çalışmalarında dijital video görüntüleme sistemi ve istatistiksel yaklaşımlar kullanarak alüminyum altlık üzerindeki kaplamada oluşan fazların ve kaplama yapısının tekli ve çoklu arklara bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermişlerdir **(Yerokhin A.L. and Matthews A**., **2002)**.

3.4.2 MAO' da kullanılan güç kaynakları

MAO yönteminde değişik tip güç kaynakları kullanılmaktadır. Bunlar doğru akım, titreşimli doğru akım, dengelenmemiş alternatif akım ve heteropolar titreşimli akım tiplerinde güç kaynaklarıdır. Doğru akım tip güç kaynağı galvanostatik ve potansiyostatik olarak akım rejimlerinin uygulanmasını sağlar. Fakat yüzey deşarj karakteristiklerinin düzenlenmesindeki zorluklardan dolayı MAO sürecinin kontrolü sınırlandırılmıştır. Belirli sebeplerden dolayı doğru akım güç kaynaklan basit şekilli numunelerde ve ince kaplamalarda kullanılır **(Yerokhin A.L and Matthews A**., **2001)**.

Elde edilen sonuçlara göre sabit akım yoğunluğu hem işlem zamanı hem de oksitlenme işleminin kontrolü açısından kaplamada bir avantaj sağlamaktadır **(Yerokhin A.L and Matthews A**., **2002)**. Uygulanan akımın sabit olmasının bir dezavantajı ise kaplamaların gözenekli bir yapıda olmasını sonucunu çıkarmaktadır. Bu ise özellikle korozyon dayanımı açısından istenmeyen bir özelliktir.

Bu gözenekli yapıdan kurtulmak için bazı farklı alternatif akım dalga formlarından yararlanılan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda gözeneksiz, korozyon ve aşınma dayanımı yüksek kaplamalar elde edilmiştir **(S. Çakıcı**., **2009)**.

3.4.2.1 Doğru akım güç kaynakları

Normalde bir köprü devresine dayanan sistem, doğru akımın galvanostatik ve potansiyostatik rejimlerinin uygulanmasına imkan verir.

Bununla birlikte yüzey deşarj karakteristiklerinin ayarlanması zor olduğundan prosesin kontrol edilebilme imkanı sınırlandırılmıştır. Doğru akım güç kaynakları bu nedenle sadece basit şekilli parçalar ve ince kaplamalar için kullanılmaktadır **(Yerokhin A.L and Dowey S.J**., **1999)**.

3.4.2.2 Titreşimli doğru akım güç kaynakları

Titreşimli doğru akım kullanımı prosesin kontrollü olarak kesilmesine ve bu nedenle arkın yüzeyde kalma süresinin ayarlanmasına imkan tanır. Aynı zamanda titreşim şekli de değiştirilebilir. Bütün bu özellikler işlem sırasında ısıl değişimlerin kontrol edilmesine imkan verir ve kaplama kompozisyonu ile yapısı değişir. Bununla birlikte titreşimli akım kullanımı, elektriksel olarak yüklü bir çift tabakanın oluşumu, nedeniyle elektrot yüzeyinin ilave polarizasyonuna yol açabilir. Bu durumda istenilen akım değerine ulaşabilmek için yüksek voltaj (<1000 V) gerekebilir **(Yerokhin A.L and Dowey S.J**., **1999)**.

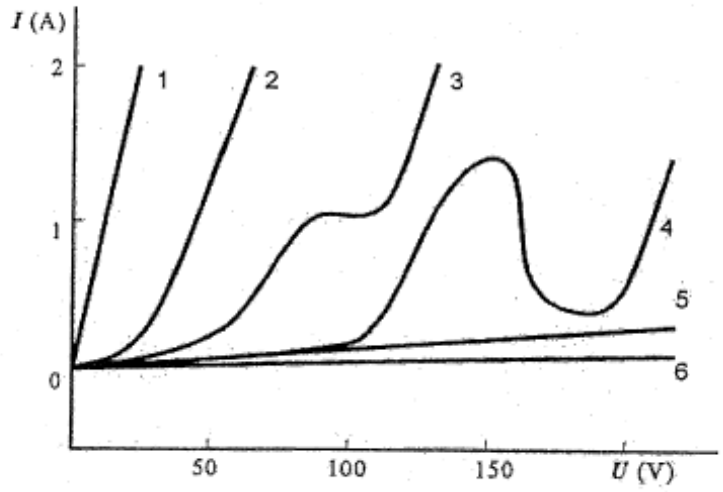
3.4.2.3 Dengelenmemiş alternatif akım güç kaynakları

Elektrotun ilave polarizasyonu alternatif akım güç kaynağı kullanılarak engellenebilir ve bu arada ark kesilmesi yoluyla ileri proses kontrolü aym şekilde devam ettirilir. Ayrıca farklı genliklerde pozitif ve negatif alternatif akım uygulanması, kontrol edilebilen kaplama çökelmesi aralığının genişletilmesine imkan verir **(Yerokhin A.L and Dowey S.J**., **1999)**.

3.4.3 MAO için elektrolit seçimi

MAO prosesinin pratikte gerçekleştirilebilmesi, metal-elektrolit ikili seçiminin dikkatli şekilde yapılmasını gerektirir. Bunun için genellikle metal pasifleşmesi için kullanılan polarizasyon test verileri esas alınabilir.

Şekil 3.4'te alüminyum alaşımları üzerinde oksit kaplaması üretmek için kullanılan elektrolitler 6 gruba ayrılmıştır.



Şekil 3.4: Alüminyumun MAO işlemi için kullanılan çeşitli elektrolitlerin I=f(U) fonksiyonu. Anodik polarizasyon, (1) hızlı metal çözünmesi (2) yavaş metal çözünmesi (3) dar voltaj aralığında metal pasifleşmesi (4) geniş bir pasifleşme aralığıyla kompleks davranış (5) zayıf ve (6) güçlü metal pasifleşmesine öncülük edebilir.

Bu 6 elektrolit şunlardır **(S. Çakıcı., 2009)**:

1)Alüminyumun hızlı çözünmesini sağlayan tuz çözeltileri, NaCl, NaC103, NaOH, HC1, $NaN0_3$;

2)Yavaş metal çözünmesini sağlayanlar, H2SO4, (NH4) 2S2O8, Na2SC4 ;

3)Dar bir voltaj aralığında metal pasifleşmesini sağlayan elektrolitler, soydum asetat, fosforik asit;

4)Kompleks davranış gösteren florür elektrolitler, KF, NaF;

5)Metalin zayıfça pasifleşmesini destekleyen elektrolitler;

6)Metalin güçlü bir şekilde pasifleşmesini sağlayan elektrolitler, borik asit, fosforik ve karbonil asit, inorganik polimerler.(silikatlar, aluminatlar,tungstat, molibdat)

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi (4)-(6) gruplarındaki elektrolitler, kıvılcım

oluşum voltajına ulaşılmasını kolaylaştırdığından MAO yöntemiyle kaplama üretimi için en avantajlı olanlardır. Bu elektrolitler kaplama kompozisyonuna olan katkılardan dolayı 4 sınıfa ayrılırlar:

1) Kaplamaya sadece oksijen katan çözeltiler,

2) Kaplamaya diğer elementleri katan anyonik bileşenler içeren elektrolitler,

3) Kaplamaya diğer elementleri katan katyonik bileşenler içeren elektrolitler,

4) Makro parçacıkların kaplama kompozisyonuna katılmasını sağlayan süspansiyonlar.

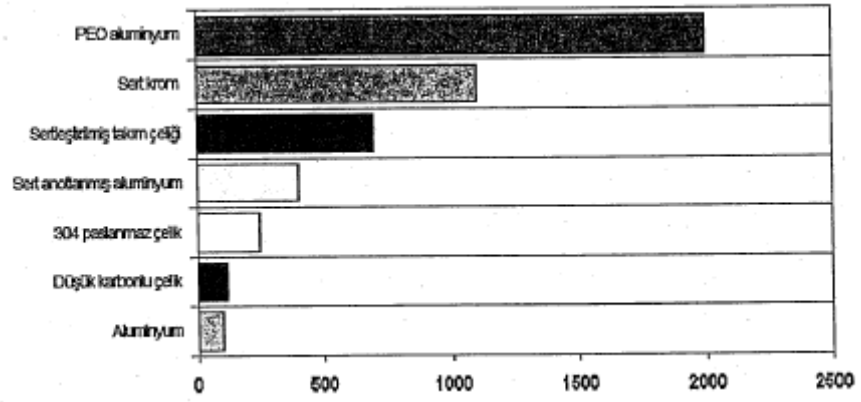
(2) ve (3) grubundaki elektrolitler kullanılarak, hem altlığın oksitlenmesi hem de elektrolit içerisindeki maddelerin altlık yüzeyine çökelmesi ile kaplama oluşturulur. Bu gruptaki elektrolitler geniş bir aralıkta kaplama kompozisyonunun ve özelliklerinin değiştirilmesine imkan tanıdığından en umut verici grup olarak tanımlanır. Silikat esaslı çok bileşenli elektrolitler gibi sodyum ve potasyum silikat kolloidal çözeltileri de MAO prosesinde genişçe kullanılmaktadır. Silikatların yanı sıra çözelti, elektrolit iletkenliğini arttırmak amaçlı bazı maddeler içerebilir [NaF (0.5-20 g/l), NaOH veya KOH (1-50 g/l)]. Aynı zamanda stabilize edici maddeler [$Na_2B_4O_7$.$10H_2O$ (40 g/l), gliserin (10 g/l), Na_2CO_3 veya K_2CO_3 (<S00 g/l)], modifiye edici maddeler de [$NaAlO_2$ (2-20 g/l), NaePeOıg (^50 g/l)] içerebilir. Ayrıca belirli amaçlar için renklendirici maddeler, yüksek ergime noktasına sahip sert toz malzemeler ve/veya kuru yağlayıcılar elektrolit içerisine dahil edilebilirler **(Yerokhin A.L and Dowey S.J**., **1999)**.

3.4.4 MAO ile kaplanabilen malzemeler

Metal yüzeyindeki kararlı oksit filmin dielektrik bariyer tabakası olarak direnç yaratması ve bu sayede anotlamaya imkan tanıması açısından valf metaller olarak gruplandırılan Al, Ti, Mg, Zr,vb. ve alaşımları MAO yöntemiyle kaplanabilmektedir. Bu gruptaki metallerin kendi oluşturdukları oksitler açık devre şartlarında (korozyon

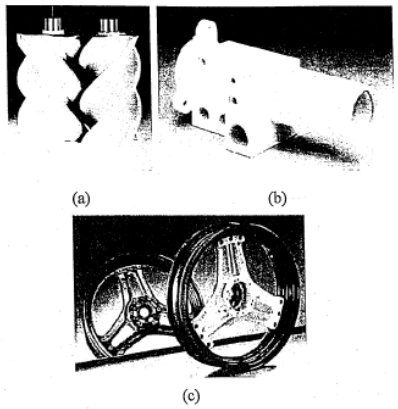
potansiyeli) kararlıdırlar ve korozyona uğramaları zordur. Metale akım uygulanarak metal elektrodun potansiyeli pozitif doğrultuda arttırılırsa devreden geçen akımın neredeyse tamamı yüzeydeki oksit filmin büyümesi ile tüketilecektir. Ayrıca paslanmaz çelik gibi bu yöntemle kaplanamayan metallerin yüzeylerinin çeşitli işlemlerle modifikasyonu sonucu kaplanması mümkün olmaktadır.

Aşınma direncini arttırmak amacıyla malzemelere uygulanan değişik yüzey işlemleriyle elde edilen sertlik değerleri Şekil 3.5' te gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi MAO yöntemiyle kaplanan alüminyumun sertlik değeri ~2000 HV'e kadar yükselmektedir. Aynı yöntemle kaplanan Mg alaşımlarında ise elde edilen sertlik değeri 600 HV' e kadar ulaşmaktadır.



Şekil 3.5: Yüzey işlemlerine bağlı olarak mühendislik malzemelerin sertliklerinde meydana gelen değişimler **(Mayaloğlu U. ve Çakmak E., 2008)**.

Kaplanan metallerin yüzeylerinde oluşan seramik oksit filmi genelde mattır. Fakat proses sırasında oluşacak oksit miktarları ve fazların değişimiyle birlikte elde edilen kaplamaların dekoratif amaçlı olarak renklendirilebilmesi mümkündür. MAO işlemiyle kaplanan magnezyum alaşımından yapılmış bazı otomotiv parçaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: MAO kaplı AM50 Mg alaşımından üretilmiş parçalar (a) kompresör rotorları (b) hidrolik silindir (c) MAO kaplı AZ91 Mg alaşımından üretilmiş motor **(Kurze P**., **2004)**.

3.5 Tespit İşlemi

Tespit işlemi, yüzeyde bulunan oksit tabakası içindeki porlarm kapanmasını sağlayan bir işlemdir. Anodik oksidasyon uygulanmış malzeme, kaynama derecesindeki su içerisinde yaklaşık olarak 15-20 dakika arasında tutulur. Eşitlik 3.1' de görüldüğü gibi, işlem sırasında alüminyum oksit kaynama derecesindeki su ile reaksiyona girerek bohemit-alümina (a-AI2O3 .H2O) yapışım oluşmaktadır.

AI2O3 + H2O-+AI2O3.IÎ2O.

Bohemit alümina (AI2O3.H2O) sert ve saydam bir yapıdır ve alüminyum okside nazar hacimce daha büyüktür. Bohemit yapısının oluşması esnasında hacim büyümesinden dolayı porlar kapanmaktadır.

Anodik oksidasyona uğramış yüzeylerin kimyasal korozyona dirençleri, tespit işleminin etkinliğine çok bağımlıdır **(Hans Gunther Germscheid, Roland Geisler, 1972)**. Tespit işlemi kısa sürede gerçekleşirse, porlar yeterince kapanamaz ve korozyona karşı direnç azalır. Korozyon üzerine yapılan çalışmalara göre, anodize olmuş alüminyum yüzeylerin tespit işlemi 15 dakika veya daha fazla olduğu durumlarda H^+ and Cl" iyonların sebep olduğu oyuklarında korozyonuna karşı direnç artmaktadır. Tespit işlemi 2 farklı yöntemle yapılmaktadır **(Peterhouse J.A.C**., **2005)**.

1) Sıcak (Hidrotermal) tespit işlemi: Kaynama derecesindeki deiyonize içerisinde uygulanır. İşlem sırasında suyun pH değeri 5,5 - 6,5 arasında kalması gerekmektedir. Anodik oksit tabaka kalınlığının her bir mikronu için 2 dakika beklenilmelidir [35]. Hidrotermal tespit işlemi sonrasında oksit tabakasının yüzeyinde beyaz bir toz tabakası oluşmaktadır.

2) Soğuk (Emprenye) tespit işlemi: Deiyonize su ile beraber nikel florür veya nikel sülfat çözeltisi içerisinde uygulanır. İşlem sıcaklığı 20°C ile 30°C arasında değişmekle beraber oksit tabaka kalmlığımn her bir mikronu için 1 dakika beklenilmelidir. Tespit işlemi için kullanılan çözeltinin kirleticilere karşı korunması gereklidir. Bu kirletici moleküller için solüsyon filtreleri geliştirilmiştir. Genel olarak tespit işlemi sonrası yüzeyler kara bir görüntüdedir. Bu karartının derecesi alaşımdan alaşımı farklılık göstermesinin yanında, pH, su saflığı, tespit süresi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Silme işlemiyle bu kara görüntü uzaklaştırabilmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Giriş

Bu bölümde AA 2014 kalite alüminyum alaşımının yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve mekanik davranışlarının incelenebilmesi için daha önceki bölümlerde anlatılan homojenizasyon ve mikro ark oksidasyonu (plazma elektrolitik oksidasyon) işlemlerinin ve parçaların bu işlemlere hazırlanması konuları hakkında bilgi verilmiştir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneyler için gerekli malzemelerin satın alınması, plazma elektrolitik oksidasyon yöntemi ile kaplama işlemlerinin yaptırılması, ısıl işlemler için fırının yenilenmesi, analiz işlemlerinin yaptırılması gibi önem arz eden tüm gereksinimler Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Fonu tarafından desteklenen 2010/28 numaralı projeden karşılanmıştır.

4.2 Deney Prosedürü

AA 2014 kalite alüminyum alaşımlı ve içeriği tablo 4.1'de verilen malzemelerin, yorulma davranışları inceleneceğinden uzun 35mm çapında çubuklar halinde gelen malzemelerin çekme numunesi haline getirilmesi gerekmektedir. Bu sebepten ötürü, ilk etapta malzemeler Trakya Üniversitesi Ayşekadın Yerleşkesi'nde bulunan laboratuarlarda bulunan ve fotoğrafı şekil 4.1'de verilen torna tezgahında çapları düşürülerek teknik resmi şekil 4.2'de verilen çekme numunesi haline getirilmiştir.

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan AA 2014 kalite alüminyum alaşımının içeriği.

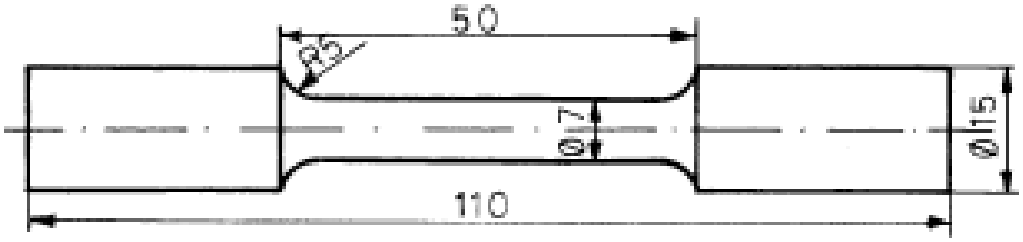
2014	Sn	Mg	Cu	Cr	Mn	Fe	Si	Ti	Al
Kimyasal Bilesim Aralığı	0.041	0.612	4.820	0.05	0.572	0.22	0.816	-	Kalan

4.3. Deney Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Deneylerde kullanılan kaplanmamış ve ısıl işlem görmemiş alüminyum malzemenin akma sınırının belirlenmesi amacı ile yapılan çekme deneyi sonucunda malzemenin çekme gerilmesi $\sigma_ç$=203,50 MPa olarak bulunmuştur. Aynı şekilde kopma uzaması [%ϵ] da %19 olarak bulunmuştur. Sunulan tez çalışmasında seçilen malzeme AA2014 kalite alüminyumdur. Kullanılan malzemenin ortalama akma dayanımı 108 MPa bulunmuştur.



Şekil 4.1. 2014 kalite alüminyum alaşımlarının çaplarının düşürüldüğü ve çekme numunesi haline getirildiği torna tezgahı.



Şekil 4.2. Çekme numunesi haline getirilen 2014 kalite alüminyumların teknik resmi

Çekme deneylerinde kullanılan parametreler ve elde edilen sonuçlar ile ilgili tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.2. Mikroark oksidasyonu ve homojenizasyon uygulanmış malzemenin çekme deneyi parametreleri

İŞLEM DURUMU	**PARÇA NO**	**d_0 (Ø) (mm)**	**L_0 (mm)**
İşlem görmemiş numune	1	7	35
Sadece homojenize edilmiş numune	2	7	35
Sadece 20 µm kaplanmış numune	3	7	35
Sadece 60 µm kaplanmış numune	4	7	35
Sadece 120 µm kaplanmış numune	5	7	35
20 µm kaplanmış homojenize numune	6	7	35
60 µm kaplanmış homojenize numune	7	7	35
120 µm kaplanmış homojenize numune	8	7	35

Tablo 4.3. Mikroark oksidasyonu ve homojenizasyon uygulanmış malzemelerin çekme deneyi sonuçları

İŞLEM DURUMU	**PARÇA NO**	**F_{maks} (N)**	**A_0 (mm^2)**	**$\sigma_{çek.}$ (MPa)**
İşlem görmemiş numune	1	7.827,627	38,465	203,500
Sadece homojenize edilmiş numune	2	15.324,456	38,465	398,400
Sadece 20µm kaplanmış numune	3	18.205,484	38,465	473.300
Sadece 60µm kaplanmış numune	4	6.589,054	38,465	171,300
Sadece 120µm kaplanmış numune	5	15.816,808	38,465	411,200
20µm kaplanmış homojenize numune	6	18.828,617	38,465	489,500
60µm kaplanmış homojenize numune	7	7.139,104	38,465	185,600
120µm kaplanmış homojenize numune	8	16.839,977	38,465	437,800

Tablo 4.4. Mikroark oksidasyonu ve homojenizasyon uygulanmış malzemelerin yorulma deneyi sonuçları

İŞLEM DURUMU	**PARÇA NO**	**σ_{maks} (MPa)**	**$F_{ön}$ (N)**	**F_{genlik} (N)**	**N (çev. say.)**
İşlem görmemiş numune	1.1	90	1.745	1.715	158.945
İşlem görmemiş numune	1.2	110	1.935	1.905	79.356
İşlem görmemiş numune	1.3	130	2.515	2.485	27.785
Sadece homojenize edilmiş numune	2.1	220	4.250	4.210	143.784
Sadece homojenize edilmiş numune	2.2	240	4.635	4.595	68.045
Sadece homojenize edilmiş numune	2.3	260	5.020	4.980	19.065
Sadece 20µm kaplanmış numune	3.1	220	4.250	4.210	217.856
Sadece 20µm kaplanmış numune	3.2	240	4.635	4.595	105.567
Sadece 20µm kaplanmış numune	3.3	260	5.020	4.980	44.673
Sadece 60µm kaplanmış numune	4.1	90	1.745	1.715	104.563

Sadece 60µm kaplanmış numune	4.2	110	1.935	1.905	52.945
Sadece 60µm kaplanmış numune	4.3	130	2.515	2.485	18.856
Sadece 120µm kaplanmış numune	5.1	220	4.250	4.210	172.067
Sadece 120µm kaplanmış numune	5.2	240	4.635	4.595	81.965
Sadece 120µm kaplanmış numune	5.3	260	5.020	4.980	26.745
20µm kaplanmış homojenize numune	6.1	220	4.250	4.210	235.870
20µm kaplanmış homojenize numune	6.2	240	4.635	4.595	112.978
20µm kaplanmış homojenize numune	6.3	260	5.020	4.980	49.254
60µm kaplanmış homojenize numune	7.1	90	1.745	1.715	112.456
60µm kaplanmış homojenize numune	7.2	110	1.935	1.905	58.045
60µm kaplanmış homojenize numune	7.3	130	2.515	2.485	22.140

120µm kaplanmış homojenize numune	8.1	220	4.250	4.210	181.956
120µm kaplanmış homojenize numune	8.2	240	4.635	4.595	86.004
120µm kaplanmış homojenize numune	8.3	260	5.020	4.980	30.134

Deneylerde kullanılan çekme numuneleri hazırlandıktan sonra bunların bir kısmı kaplanacağı bir kısmı da homojenize edileceği için numunelerin bazıları Trakya Üniversitesi mekanik atölyesinde bulunan ve fotoğrafı ve çizimi şekil 4.3'te sunulmuş olan homojenizasyon işleminin yapıldığı ısıl işlem fırınında 524°C sıcaklıkta 6 saat boyunca homojenize edilmiş ve sonrasında oda sıcaklığında soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Homojenizasyon işleminin yapıldığı ısıl işlem fırını

Homojenize edilen numunelerin ve homojenize edilmemiş numunelerin bir kısmı, 1200 değerindeki SiC zımparalarla zımparalandıktan sonra ve Trakya Üniversitesi mekanik atölyesinde bir tarafından metrik 4mm kılavuzla 10mm uzunluğunda diş açılmasının ardından, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme ve Metalürji Mühendisliği Bölümü laboratuarlarında oda sıcaklığında sistemi aşağıdaki

fotoğraflarda anlatılan mikro ark oksidasyonu düzeneğinde sabit voltajda, 20µm, 60µm ve 120µm olmak üzere sırası ile, 15 dak., 50 dak. ve 100 dak. süresince önceden hazırlanmış olan sodyum silikat ve potasyum hidroksil içeren banyo bileşiminde kaplanmıştır.



Şekil 4.4. MAO ünitesi tankı.



Şekil 4.5 MAO ünitesi rezistansı.



Şekil 4.6. MAO ünitesi kontrol birimi.

Mikro ark oksidasyonu ünitesi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü tarafından yaptırılmış olup, şehir şebekesinden çekilen ayrı hat sayesinde 60 A akım değerine kadar çıkabilmekte ve böylece büyük parçaları kaplayabilmektedir. Ünite ortama olarak sabit gerilim değerinde her hangi bir parçayı dakikada ortalama 1µm kaplamakta ve maalesef gerilim değeri parça boyutu arttığı zaman yükleme yaparak patlama riski yaratacağından, çekme numunesi boyutundaki parçalar büyük yüzey alanı sebebiyle sabit gerilimde kaplanmakta ve akım voltaj karakteristiği değiştirilememektedir.

Mikro ark oksidasyonu ile kaplanmış olan numuneler diğer numunelerle beraber okulumuzun mekanik atölyesinde bulunan ve fotoğrafları ve teknik özellikleri aşağıda verilen yorulma makinesinde değişik kuvvetler ve değerlerle yorulma işlemine tabi tutularak homojenizasyon işlemiyle beraber uygulanan mikro ark oksidasyonu işleminin AA 2014 kalite alüminyum alaşımının yorulma davranışları ve yüzey özellikleri hakkında bize bilgi vermektedir.

Yapılan tez çalışmasındaki yorulma deneyleri Şekil 4.7. de sunulan INSTRON 8501 dinamik test makinasında yapılmıştır. Bu cihaz 0,5-50 Hz frekans aralığında çalışmakta olup 50 kN kapasitelidir.



Şekil 4.7. INSTRON 8501 dinamik test makinası (yorulma deneyleri yapılmıştır)

5. SONUÇLAR VE İRDELEME

4. bölümde anlatılan ve uygulanan deneyler ve sonuçları bu bölümde detaylı bir şekilde anlatılarak incelenmiştir. Oluşturulan 4 farklı deney grubu yorulma işlemine tabi tutularak karşılaştırılmış ve en iyi yorulma dayanımına ulaşılmaya çalışılmıştır.

Öncelikli olarak bu 4 deney grubunu açıklarsak bunlar;

1) Hiçbir işlem görmemiş alüminyum numuneler,

2) Homojenleştirilmiş alüminyum numuneler,

3) Isıl işlem görmeksizin yalnızca 3 farklı kalınlıkta mikro ark oksidasyonuna tabi tutulmuş numuneler,

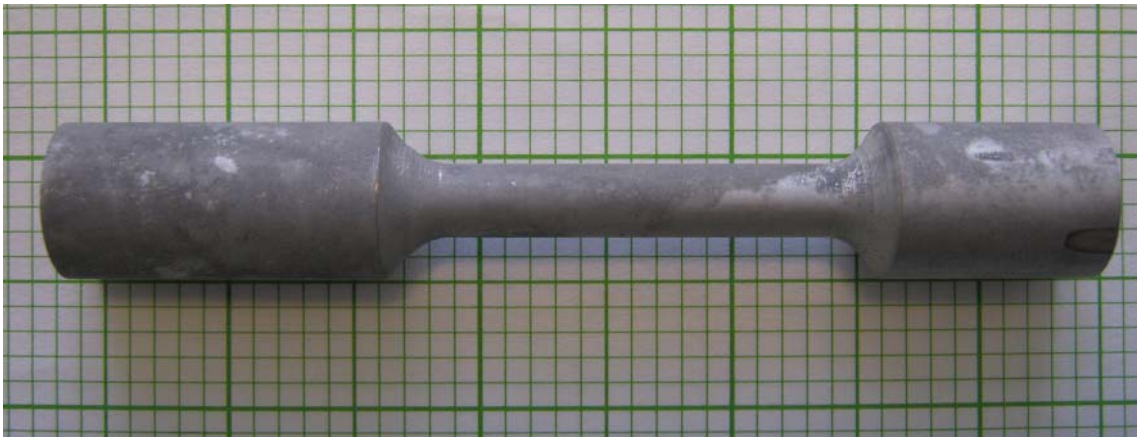
4) Hem ısıl işlem görmüş hem de 3 farklı kalınlıkta mikro ark oksidasyonu işlemiyle kaplanmış numunelerdir.

Yerokhin ve arkadaşlarının mikro ark oksidasyonunun alüminyum alaşımlarının sertliğine olan etkisinden yola çıkılarak 3 farklı kalınlık değeri 20µm, 60µm ve 120µm olarak seçilmiştir. Bu çalışmalarda mikro ark oksidasyonu işleminde ince kaplamaların yüzey özelliklerinin çok iyi olduğu, orta kaplamaların amorf bir yapıda olduğundan ötürü yüzey özelliklerinde düşüşe sebep olduğu ve kaln kaplamaların ince kaplamalar kadar olmasa da yüzey özelliklerine katkıda bulunduğu açıklanmıştır.

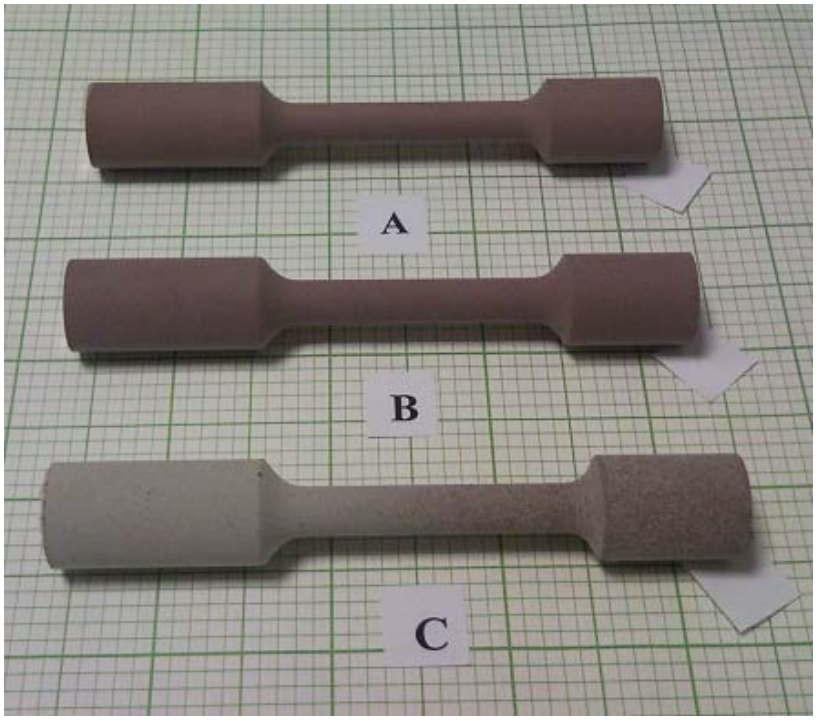
Prof. Dr. Bünyamin AKSAKAL'ın (**M.Gavgalı, B.Aksakal, 1998)** AA 2014 kalite alüminyum alaşımlarının homojenizasyonu hakkında yaptığı çalışmalar incelenmiş ve 504°C ile 524°C arasında yapılan ve farklı soğutma teknikleri uygulanarak çalışmalar göz önüne alınarak 524°C sıcaklık değeri seçilmiş, homojenizasyon işlemi 6 saat boyunca uygulandıktan sonra numuneler oda sıcaklığında soğutulmuşlardır. Kaplanan numunelere ve deney numunelerine ait fotoğraflar aşağıdadır.



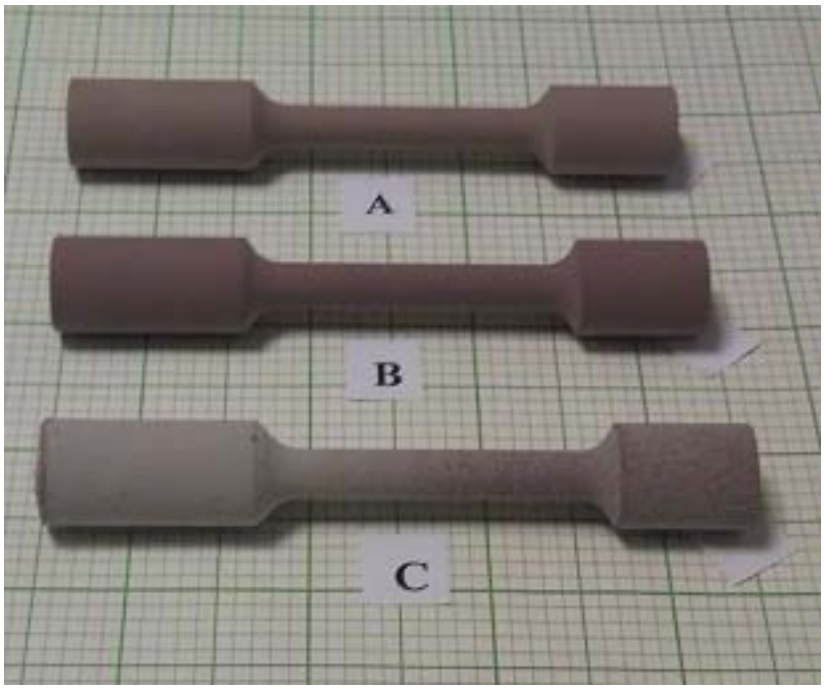
Şekil 5.1 İşlem görmemiş AA 2014 Alüminyum numunesi.



Şekil 5.2 Homojenizasyona tabi tutulmuş AA 2014 kalite Alüminyum numunesi.

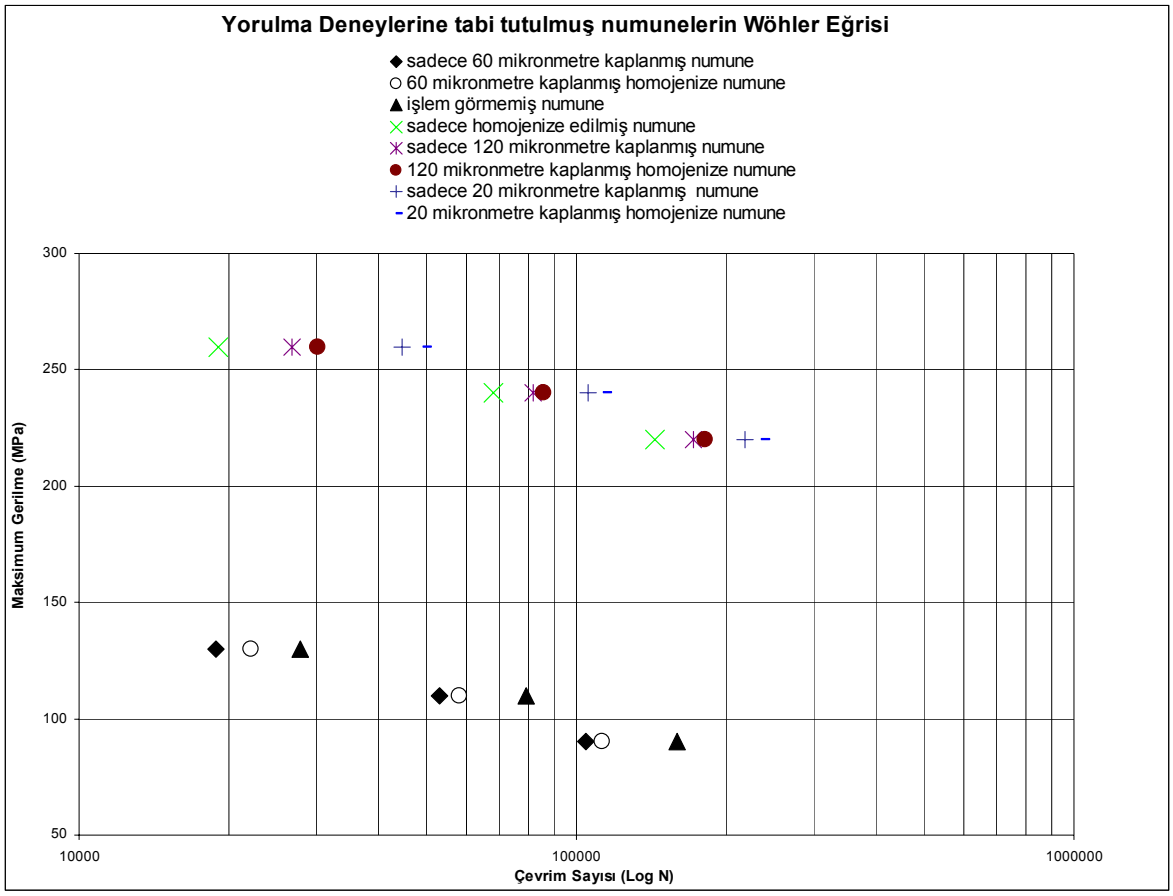


Şekil 5.3 Üç farklı kalınlıkta kaplanmış ısıl işlem görmemiş AA 2014 kalite Alüminyum numuneleri. A) 20µm, B) 60µm, C) 120µm.



Şekil 5.4 Üç farklı kalınlıkta kaplanmış ve ısıl işlem görmüş AA 2014 Alüminyum numuneleri. A) 20µm, B) 60µm, C) 120µm.

Yukarıdaki resimlerde görülen AA 2014 Alüminyum alaşımları yorulma işlemine tabi tutularak kopartılmış ve yorulma değerleri karşılaştırılmıştır. Yorulma deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.5.'te sunulmaktadır.



Şekil 5.5. Yorulma deneylerine tabi tutulmuş numunelerin Wöhler eğrisi

5.1. Sonuçlar

1) Homojenizasyon işlemine tabi tutulup 20µm kaplanan numune en iyi yorulma değerine sahiptir.

2) Homojenizasyon işlemine tabi tutulmadan 20µm kaplanmış numune yorulma dayanımı açısından homojenizasyon işlemine tabi tutulup 20µm kaplanmış numuneden sonra gelmektedir. Buradan ince olarak uygulanan mikro ark oksidasyonu kaplamasının

yüzey özelliklerini çok büyük miktarda arttırdığı anlaşılmıştır.

3) Homojenize edildikten sonra 120µm kaplanan malzemelerin yorulma değerinin 20µm kaplananlardan daha düşük olduğu görülmüş,

4) Isıl işlem görmeden 120µm kaplanan malzemelerin ilk üç sıralamadaki numunelerden daha düşük yorulma değerine sahip olduğu,

5) Yalnızca homojenize edilmiş AA 2014 kalite alaşımın 3. ve 4. sıralamadaki numunelere yakın yorulma değeri verdiği,

6) Hiçbir işlem görmemiş numunenin öngörülen yorulma değerini gösterdiği,

7) 60µm kaplanan numunelerin hepsinden daha düşük yorulma değeri verdiği ve homojenize edilse bile yorulma davranışında düşüşe sebep olduğu Şekil 5.1.'de gözlemlenmiştir.

Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak, mikro ark oksidasyonu metodunun yorulma özelliklerinde homojenizasyon işleminden daha etkili olduğu, iki işlemin beraberce kullanılmasının mekanik özelliklerden yorulmayı arttırdığı, ince olan kaplamaların orta düzeydeki kaplamalara nazaran daha yararlı olduğu ve bu yöntemin gelecekte maliyeti ve dezavantajlarının azaltılmasıyla birçok endüstride kullanılacağı bulgusuna ulaşılmıştır.

Bu konu üzerinde daha fazla araştırma yapılarak malzemeler silikat yerine başka malzemelerle kaplanarak tribolojik özelliklerine homojenizasyon ve mikro ark oksidasyonunun beraber kullanımının etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Zhu M.H. and Zhou Z.R., **2007**. Fretting wear behaviour of ceramic coating prepared by micro arc oxidation on Al-Si alloy, Wear, 263, 472-480.

Nie X. and Matthew A., **1999**. Thickness effects on the mechanical properties of micro arc discharge oxide coatings on aluminum alloys, Surface and Coatings Technology, 116-119, 1055-1060.

Nie X. and Matthews A., **2000**. Deposition of dublex Al2O3 DLC coatings on Al alloys for tribological applications using a combined micro arc oxidation, Surface and Coatings Technology, 121, 506-513.

Shi-Gang X. and Li-Xin S., 2006. Composition and thermal properties of the coating containing mullite and alumina, Materials Chemistry and Physics, 97, 132-136.

Huang P. and Han Y., 2004. Surface Modification of Titanium Implant by Microarc Oxidation and Hydrothermal Treatment, Journal of Biomedical Materials, 70B, 187-190.

E. Arslan, Y.Totik, E.E. Demirci, Y. Vangolu, A.Alsaran, L.Efeoglu., **2004**. High temperature wear behavior of aluminum oxide layers produced by AC micro arc oxidation.

M. Günyüz., **2007**. Titanyum ve Alaşımlarının Mikro Ark Oksidasyonu Yöntemiyle Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

"ALUMINUM STANDARTS AND DATA"; Third Edition, January-**1972**, THE ALUMINUM ASSOCIATION, 750 Third Avenue, New York .

Thompson,D.S.; Singleton,O.G.; McGovan,R.D.; and Spangler,G.E. "Practices and Equipment for Heat Treating Aluminium Alloys"; METAL PROGRESS,September **1970**, 78-83 .

M.Conserva,G.Donzeelli,R.Trippodo,. "ALUMiNiUM and ITS APPLiCATiONS", EDiMET SpA- ITALY, **1992**, 93-123.

"Heat Treating Aluminium", American Machinist Special Report No.635, October 6, **1969.**

D. Apellian, S. Shivkumar, G. Sigworth, "Fundemental aspects of heat treatment of cast Al-Si-Mg alloys" , AFS Transactions, **1989**, 97, 727-742 .

"Heat Treating of Aluminum Alloys" METALS HANDBOOK, Vol.2, Heat Treating,Cleaning and Finishing; 271-283.

Mayaloğlu U. ve Çakmak E., **2008**. Plazma Elektrolitik Oksitlenme Yöntemiyle Hafif Metallerin Kaplanması, Mühendis ve Makine, Cilt 49 Sayı 582, Sayfa 3-9.

S. Çakıcı., **2009**. 6082 Kalite Alüminyum Alaşımının Mikro Ark Oksidasyonu Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Snizko L.O. and Matthews A., 2004. Anodic Processes in Plasma Electrolytic Oxidation of Aluminum in Alkaline Solutions, Electrochim. Acta, 49, 2085-2095.

Yerokhin A.L. and Snizhko L.O., **2003** Discharge characterization in plasma, J.Phys.D: Appl. Phys., 36, 2110-2120.

Yerokhin A.L and Dowey S.J., **1999**. Plasma electrolysis for Surface Engineering, Surface and Coating Technology, 122, 73-93.

Yerokhin A.L. and Matthews A., **2002**. Effect of OH Radicals on the Characteristic of Plasma Electrolytic Oxidation Process and on the Oxide film Produced, Abstracts of Int. Conf. Electrochem 2002, İngiltere.

Yerokhin A.L and Matthews A., **2002**. An Investigation of Voltage and Current Fluctuations during Plasma Electrolytic Diffusion Treatment of Metals, Abstracts of Int. Conf. PSE 2002, Almanya.

Yerokhin A.L and Matthews A., **2001**. Duplex Surface Treatments Combining Plasma Electrolytic Nitrocarburising and Plasma – immersed ion- Assisted Deposition, Surface and Coating Technology, 142-144, 1129-1136.

Yerokhin A.L. and Matthews A., **2002**. Kinetics of Plasma Electrolytic Oxidation of Ti-6Al-4V Alloy in Aluminate based Electrolytes, Abstracts of Int. Conf. ICMCTF 2002, ABD.

Kurze P., **2004**. Ceramic Coatings on Light Metals by Plasma Chemical Treatment, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 29, 85-89.

<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/metals/8E.pdf>,

<http://www.aluminyumsanayi.com/alyuzeyislem.html>

Peterhouse J.A.C., **2005**. Thermal and Mechanical Properties of Plasma Electrolytic Oxide Coatings, Phd Thesis, University of Cambridge, İngiltere.

Hans Gunther Germscheid, Roland Geisler, 1972, US Patent, 3, 657, 77.

M.Gavgalı, B.Aksakal, 1998. Effects of various homogenisation treatments on the hot worability of ingot aluminium alloy AA 2014, Materials Science and Engineering A254, 189 – 199.

ÖZGEÇMİŞ

Ufuk SÖZER 1986 yılında Edirne'de doğdu. İlk öğrenimini çeşitli okullarda tamamladıktan sonra orta ve lise öğrenimini Edirne Anadolu Lisesi'nde bitirdi. 2004 yılında başladığı Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2008 yılında tamamladıktan sonra aynı yıl aynı üniversitede yüksek lisansına başladı. Halen Edirne'de yaşamaktadır.