

154451

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA RETROGRESYON VE
YENİDEN YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ SONUCU
MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

154451

Makine Müh. Hasan Hakkı ÖZER

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN

Prof. Dr. Ayşegül Akdoğan

İSTANBUL, 2004

Prof. Dr. Erhan Altan

Altan

Prof. Dr. Niyazi ERİSLİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 GİRİŞ.....	1
2 UÇAK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELER.....	4
2.1 Kullanım Alanları.....	5
2.2 Uçak Malzemelerinin Muayenesi.....	6
2.2.1 Gözle muayene yöntemi.....	7
2.2.2 Penetran sıvı yöntemi.....	7
2.2.3 Girdap akımları yöntemi.....	8
2.2.4 Manyetik parçacık yöntemi.....	8
2.2.5 Radyografi yöntemi	8
2.2.6 Gammagrafi yöntemi	9
2.2.7 Ultrasonik yöntem.....	9
2.3 Uçak Malzemelerinde Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözümleri.....	9
3 ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	13
3.1 Alüminyum.....	13
3.2 Alüminyum Alaşımları.....	16
3.2.1 Çökelme Sertleşmesi Gösteren Alüminyum Alaşımları.....	22
3.3 Alüminyumun ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Karakteristiği.....	23
3.3.1 Alüminyumun Korozyon Karakteristiği.....	23
3.3.2 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Karakteristiği.....	25
3.4 7075 Alüminyum Alaşımı.....	28
4 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ.....	31
4.1 Çözeltiye Alma Isıl İşlemi.....	32
4.2 Su Verme İşlemi.....	33
4.3 Yaşlandırma (Çökeltme) İşlemi.....	34
4.3.1 Yaşlandırma Aşamasında Çökelti Fazının Oluşması.....	35

4.4	Yeniden Çözeltiye Alma (Retrogression) Ve Yeniden Yaşlandırma (Reaging) İşlemi (RRA).....	40
4.5	7075 Alaşımlarında Yaşlandırma Aşamasında Çökelti Fazının Oluşması.....	44
4.5.1	GP Zonları.....	44
4.5.2	η' Fazı.....	45
4.5.3	η Ve T Kararlı Fazları.....	46
4.5.4	Çökelti İçermeyen Zon (PFZ).....	46
4.6	RRA Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi.....	47
4.7	RRA Isıl İşleminin Gerilmeli Korozyon Çatlamasına Etkisi.....	49
5	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	50
5.1	Çekme Dayanımı Deneyi.....	50
5.2	Sertlik Ölçme Deneyi.....	54
5.3	Isıl İşlemler	58
5.4	Mikroyapı İncelemesi.....	61
6	DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME.....	63
6.1	Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	63
6.2	Sertlik Ölçme Deneyi Sonuçları.....	71
6.3	Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	77
7	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
	KAYNAKLAR.....	86
	EKLER.....	88
	Ek 1. Alüminyum Alaşımlarının Çeşitli Standartlardaki Kısa Gösterimi.....	88
	ÖZGEÇMİŞ.....	90

SİMGE LİSTESİ

η'	MgZn ₂ Ara çökelti
T	(AlZn) ₄₉ M ₃₂ Kararlı faz
R_m	Çekme dayanımı
$Rp_{0,2}$	Akma dayanımı
τ	Gerilme
G	Kayma modülü
B	Burges vektörü
ℓ	Çökelti arası mesafe
σ_y	Akma gerilmesi;
σ_i	Taneler içindeki dislokasyonların hareketine karşı sürtünme gerilmesi;
k_y	Sabit;
d	Tane çapı

KISALTMA LİSTESİ

<i>R</i>	Retrogresyon
<i>RRA</i>	Retrogression and reaging
<i>RYY</i>	Retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma
<i>PFZ</i>	Çökelti içermeyen zon
<i>GP</i>	Guinier ve Preston bölgeleri
<i>TEM</i>	Transmisyon elektron mikroskobu
<i>YMK</i>	Yüzey Merkezli Kübik
<i>VSD</i>	Vickers sertlik değeri
<i>YÇA</i>	Yeniden çözeltiye alma
<i>ALCOA</i>	Aluminium Company of America



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Mevcut sivil ve askeri uçaklarda kullanılan malzemelerin yaklaşık dağılımı....	2
Şekil 3.1. Alüminyumun elektrolitik hücre içerisinde üretilmesi.....	13
Şekil 3.2 a) Alüminyum-Bakır faz diyagramı.....	18
Şekil 3.2 b) Alüminyum-Magnezyum faz diyagramı.....	18
Şekil 3.3 Alüminyum-Silisyum faz diyagramı.....	19
Şekil 3.4 a) Alüminyum-Magnezyum-Silisyum sisteminin Al-Mg ₂ Si kesiti.....	20
Şekil 3.4 b) Çökelme sertleşmesine ait sıcaklık zaman diyagramı.....	20
Şekil 4.1 a) Yaşlandırma yapılabilen bir alaşıma ait denge diyagramı.....	32
Şekil 4.1 b) Yaşlanma işleminin kademeleri.....	32
Şekil 4.2 Çeşitli Al alaşımlarının soğuma hızının mukavemete etkisi.....	33
Şekil 4.3 Yaşlandırma işlem kademeleri a) Doğal yaşlandırma kademeleri.....	34
Şekil 4.3 Yaşlandırma işlem kademeleri b) Yapay yaşlandırma kademeleri.....	34
Şekil 4.4 Çökelti fazı içeren malzemede dislokasyon ilerlemesi.....	35
Şekil 4.5 Al-Cu alaşımında yaşlanma sırasında oluşan çökelti fazının kademeleri a) GP-1 bölgesi.....	37
Şekil 4.5 Al-Cu alaşımında yaşlanma sırasında oluşan çökelti fazının kademeleri b) GP-2 bölgesi.....	37
Şekil 4.5 Al-Cu alaşımında yaşlanma sırasında oluşan çökelti fazının kademeleri c) θ' yapısı.....	37
Şekil 4.5 Al-Cu alaşımında yaşlanma sırasında oluşan çökelti fazının kademeleri d) θ yapısı.....	37
Şekil 4.6 7075-T6 Al alaşımının akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama özelliklerine çözeltili alma sıcaklığının etkisi.....	41
Şekil 4.7 7075-T6 Al alaşımında çözeltili alma sıcaklığı ile gerilmeli korozyon çatlak hızının değişimi.....	42
Şekil 4.8 Bakır, çinko ve magnezyumun atomik konsantrasyonlarının, 7075Al alaşımının kırılma yüzeyinde, çözeltili alma sıcaklığı ile değişimi.....	42
Şekil 4.9 Retrogresyon ve RYY ısıtma işlemleri esnasında sertliğin retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi.....	43
Şekil 4.10 Al-Zn denge diyagramı.....	45
Şekil 4.11 RRA işlemi esnasında sertlikteki değişimin şematik gösterilişi.....	47

Şekil 4.12 60 dakikaya kadar Y.Ç.A. sürelerinde yeniden çözeltiye alma işlemi uygulanmış 7075-T6'nın akma mukavemetinin değişimi.....	48
Şekil 4.13 200°C'de yeniden çözeltiye alınmış ve yeniden yaşlandırılmış 7075-T6'ya ait akma mukavemeti-çözeltiye alma sıcaklığı süresi eğrisi.....	49
Şekil 5.1 TS EN 485-2 standardına göre çekme dayanımı deneyi numuneleri.....	50
Şekil 5.2 Çekme dayanımı deneyi numuneleri.....	50
Şekil 5.3 Mohr Federaff AG marka çekme makinesi.....	51
Şekil 5.4 Sertlik ölçme deneyleri için hazırlanan pul şeklindeki numuneler.....	54
Şekil 5.5 Sertlik ölçme deneyi numuneleri.	54
Şekil 5.6 Vickers sertlik ölçme cihazı.....	55
Şekil 5.7 1200°C kapasiteli direnç fırını.....	59
Şekil 5.8 Isıl işlemlerde kullanılan tuz banyosu ve kontrol panosu.....	60
Şekil 5.9 Beuhler Speciment Mount Press.....	61
Şekil 5.10 Bakalit içine gömülmüş numuneler.....	61
Şekil 5.11 Metaserve 2000 zımparalama cihazı.....	61
Şekil 5.12 Desikatör içinde numuneler.....	62
Şekil 6.1 a) 200°C Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.....	63
Şekil 6.1 b) 220°C Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.....	64
Şekil 6.2 a) 200°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.....	64
Şekil 6.2 b) 220°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.....	65
Şekil 6.3 200° ve 220°C Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.....	66
Şekil 6.4 a) 200°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.....	67
Şekil 6.4 b) 220°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.	67
Şekil 6.5 a) 200°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.....	68
Şekil 6.5 b) 220°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.....	68
Şekil 6.6 a) 200°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında dayanımın retrogresyon süresiyle değişimi.....	69

Şekil 6.6 b) 220°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında dayanımın retrogresyon süresiyle değişimi.....	70
Şekil 6.7 200° ve 220°C’de RYY işlemi için dayanımın retrogresyon süresiyle değişimi.....	70
Şekil 6.8 a) 200°C Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.....	71
Şekil 6.8 b) 220°C Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.....	72
Şekil 6.9 a) 200°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.....	73
Şekil 6.9 b) 220°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.	73
Şekil 6.10 a) 200°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi.....	74
Şekil 6.10 b) 220°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi.....	75
Şekil 6.11 200 ve 220°C’de Retrogresyon için sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi	75
Şekil 6.12 200° ve 220°C’de RYY için sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi.....	76
Şekil 6.13 T6 ısıtma işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	77
Şekil 6.14 T73 ısıtma işlemi uygulanmış numunenin mikrografı.....	77
Şekil 6.15 200°C’de 2 dakika retrogresyon işlemi uygulanmış numunenin mikrografı...	78
Şekil 6.16 200°C’de 15 dakika retrogresyon işlemi uygulanmış numunenin mikrografı.	78
Şekil 6.17 200°C’de 40 dakika retrogresyon işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	78
Şekil 6.18 200°C’de 2 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	79
Şekil 6.19 200°C’de 8 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	79
Şekil 6.20 200°C’de 40 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	80
Şekil 6.21 220°C’de 2 dakika retrogresyon işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	80
Şekil 6.22 220°C’de 5 dakika retrogresyon işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	81
Şekil 6.23 220°C’de 15 dakika retrogresyon işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	81
Şekil 6.24 220°C’de 1 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	82
Şekil 6.25 220°C’de 5 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	82
Şekil 6.26 220°C’de 15 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi görmüş numunenin mikrografı.....	82

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Alüminyum ve alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri.....	14
Çizelge 3.2. Alüminyum alaşımları için gösterim sistemi.....	17
Çizelge 3.3 Alüminyum alaşımlarının temper gösterimi.....	17
Çizelge 3.4 Metallerin çeşitli atmosferlerdeki ortalama korozyon hızları.....	24
Çizelge 3.5. Alüminyum ve alaşımlarının atmosferik korozyondaki dayanım kayıpları...	25
Çizelge 3.6 Alüminyum ve alaşımlarının çeşitli atmosferlerdeki korozyon hızları.....	26
Çizelge 3.7 Ticari saflıkta 7075-Al alaşımının kimyasal bileşimi.....	28
Çizelge 3.8 7075 Al alaşımının önemli fiziksel ve mekanik özellikleri.....	29
Çizelge 4.1. 7075 Al alaşımında uygulanan klasik ısıt işlemler ile ilgili değerler.....	40
Çizelge 4.2 7075 Al alaşımının klasik T6 ve T73 ısıt işlemlerine ait mekanik özellikler.	47
Çizelge 5.1 R200 ve RRA 200 numunelerin çekme dayanımı deneyi değerleri.....	52
Çizelge 5.2 R220 ve RRA 220 numunelerin çekme dayanımı deneyi değerleri.....	53
Çizelge 5.3 R200 ve RRA 200 numunelerin sertlik ölçüm deneyi değerleri.....	56
Çizelge 5.4 R220 ve RRA 220 numunelerin sertlik ölçüm deneyi değerleri.....	57
Çizelge 5.5 Uygulanan üç farklı ısıt işleme ait sıcaklık ve süreler.....	58
Çizelge 5.6 Isıt işlemlerde kullanılan tuzun özellikleri.....	60
Çizelge 5.7 Zımparalama kademelerine ait özellikler.....	61
Çizelge 5.8 Keller Ayracı Bileşimi.....	62

ÖNSÖZ

Bu çalışmada benden bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen başta değerli hocam Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN olmak üzere Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı ve Metalürji Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma, anabilim dalı teknisyenlerine; üzerinde çalışılan malzemeyi sağlayan THY Bakım Bölümü çalışanlarına; manevi destekleriyle sürekli yanımda olan aileme ve nişanlıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2004

Hasan Hakkı ÖZER



ÖZET

1970'lerdeki petrol krizinden sonra uçak-uzay uygulamalarında hafiflik önem kazanmıştır. Bu aşamada Al alaşımları, uçak üreticilerinin ilgisini eskiden olduğundan daha çok çekmeye başlamıştır. Yüksek dayanımlı 7000 serisi alüminyum alaşımları son 35 yıldır bilimsel ve endüstriyel uygulamaların odak noktası durumundadır. Yüksek dayanımı ve buna karşılık düşük yoğunluğu nedeniyle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan 7075 Alüminyum alaşımına dayanım ve gerilmeli korozyon direnci özellikleri bakımından bir optimizasyon sağlayacak ısıtıl işlemin bulunması araştırmacıların dikkatini çeken bir konu olmuştur.

1974 yılında, araştırmacı Cina tarafından 7000 serisi alüminyum alaşımlarında T73 aşırı yaşlandırma durumundaki yüksek gerilmeli korozyon dayanıklılığıyla birlikte T6 yapay yaşlandırmadaki en yüksek dayanımı birlikte sunan bir ısıtıl işlem, 'Retrogresyon ardından Yeniden Yaşlandırma' geliştirilmiştir. Bu ısıtıl işlem malzemeye yapay yaşlandırma durumunda uygulanmakta olup, esasen malzemenin kısa süreli olarak kısmen çözündürülmesi ve ardından orijinal yaşlandırma koşullarında yeniden yaşlandırılmasından oluşur.

Bu çalışmada, 7072 Alclad 7075 Alüminyum alaşımı üzerinde ilk etapta RYY ısıtıl işlemleri uygulanmıştır. İkinci etapta ise çekme dayanımı ve sertlik ölçme deneyleri tatbik edilerek, uygulanan ısıtıl işlemin etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: 7075 Al alaşımı, RRA, mekanik özellikler.

ABSTRACT

After the petroleum crisis in the 1970's, lightness of materials became very important in airplane-space applications. At this stage, Al alloys started to attract the interest of the manufacturers more than as it has been in the past. Highly durable 7000 series aluminum alloys are the center point of scientific and industrial applications. Determination of the tempering process which will provide the 7075 aluminum alloy, which is used widely in air industry because of its high strength and correspondingly low density, an optimization over strength and stress corrosion resistance characteristics became an issue that attracted the interest of the scientists.

In 1974, a tempering process named "Retrogression and Reaging", which offers high stress corrosion strength under overaging conditions with high strength under artificial aging together in 7000 series aluminum alloys, was developed by Cina. This tempering process is applied to the material in artificial aging situation and in fact, occurs in the short term partial resolving and subsequently the reaging of the material under original aging conditions.

In this study, at first retrogression and reaging tempering processes were applied on 7072 Alclad 7075 Aluminum alloy. Secondly, tensile strength experiments and hardness experiments are applied and the effect of the tempering process is observed.

Key words: 7075 Aluminum alloy, RRA, mechanical specifications.

1. GİRİŞ

İlk uçakla uçuş denemelerinden günümüze kadar geçen, bir asır gibi kısa sayılabilecek süre içinde, uçaklarda meydana gelen gelişmeler inanılması zor bir gerçektir.

Uzun mesafelerin kısa sürelerde kat edilebilme üstünlüğü uçakları diğer araçlardan ayrı bir boyuta taşımıştır. Hızlı gelişmelerin ana sebebi de bu gibi üstünlüklerdir.

Geçtiğimiz yüzyılda insanoğlu gerek askeri, gerekse ticari faaliyetlerde uçakların bütün faydalarından yararlanırken, önemli bir gerçeği de öğrenmiştir. Bu da en ufak hataların bile bedelinin çok ağır olabileceğidir. Öğrenilen bu gerçek üretimden kontrole, kullanımdan bakıma bütün uygulamaların ciddiyetini kat be kat arttırmıştır.

Havacılığın diğer önemli bir gerçeği ise uçabilmekle hafifliğin nerdeyse eş anlamlı olmasıdır. Uçakların daha hızlı uçabilmesinin, menzillerinin daha uzun, yakıt sarfiyatının daha az olabilmesinin, daha yüksek irtifalara çıkabilmesinin ve daha fazla yük taşıyabilmesinin yolu hafiflikten, hafifliğin yolu ise kullanılan malzemelerden geçer. İşte bu sebep, yüksek dayanımdan ödün vermeden hafif ve uzun ömürlü malzemelerin, halen devam etmekte olan gelişim, üretim ve kullanım maratonunu başlatmıştır. Uçak malzemelerini geliştirmeye yönelik çalışmalar, diğer uygulama alanlarındaki gelişmelerde de büyük rol oynamaktadır.

Uçakları uzay çalışmalarından bağımsız olarak düşünmemek gerekir. Her iki alandaki gelişmeler de birbiriyle bağlantılı ve paraleldir.

Gerek uçak sektöründe ve gerekse uzay çalışmalarında sorumluluklar, maliyetler ve olası kayıplar çok yüksek olduğu için üretilen, kullanılan ve geliştirilmekte olan malzemeler olabileceğinin en doğrusu ve en iyisi olmalıdır.

Alüminyum çok çeşitli kullanım özelliklerine sahip olduğu için sanayide geniş uygulama alanları bulmuştur. Kendinden varolan özellikleri yapılan araştırmalarla daha da çeşitlilik kazanan alüminyumun başlıca avantajlarından birisi hafifliğidir; diğerleri, korozyona direnç, toksik olmayışı, işlenebilirliği, alaşımlarındaki yüksek dayanım / ağırlık oranı, göze hoş gelen görünümü, yüksek elektrik iletkenliği, yüksek ısı iletkenliği, ışıgı verimli bir şekilde yansıtması, manyetik olmayışı ve birçok ticari formda kolaylıkla bulunabilmesidir. Bu elverişli özelliklere ek olarak, alüminyum yaygın olarak kullanılmaya başlandığı zamandan beri oldukça makul ve istikrarlı bir fiyat seyri izlemiştir.

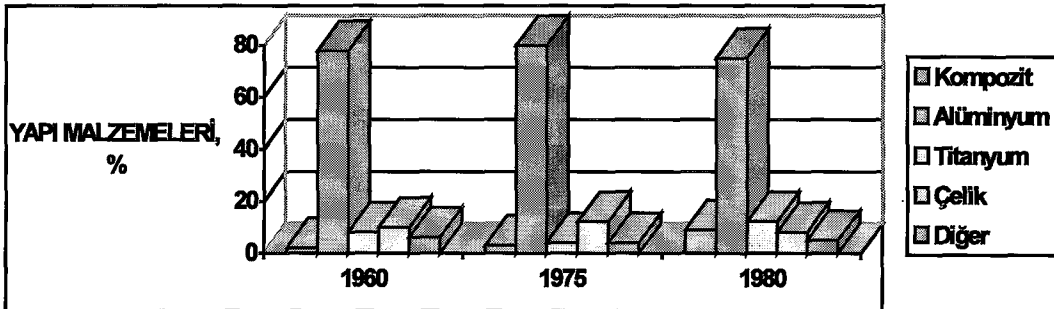
Alüminyum alaşımları II.Dünya Savaşı'ndan beri hem sivil hem de askeri uçakların inşasında gittikçe artan miktarlarda kullanılmışlardır. Bu elli yıl içerisinde, özelliklerinde ve daha da önemlisi kullanımlarını sınırlayan limitlerin anlaşılmasında ve ortadan kaldırılmasında büyük gelişmeler sağlanmıştır. Alüminyum alaşımları hemen hemen bütün hava araçlarında tercihen

kullanıldıkları için, bu gelişmeler belki de alüminyum endüstrisinden daha çok uçak üreticileri için faydalı olmuştur. Uçak sanayisinde özellikle 2000 serisi ve 7000 serisi alüminyum alaşımları, yüksek dayanım özelliklerinden dolayı tercih edilmekte ve kullanılmaktadır.

Yüksek dayanımlı Al alaşımları, sadece statik dayanımın kriter alındığında çekici olabilirler. Yorulma dayanımının önemli olduğu uygulamalarda 7000 serisinden daha az dayanımlı olmalarına rağmen, daha iyi yorulma özelliklerine sahip 2000 serisi alaşımlar kullanılır.

Alüminyum alaşımları, günümüzde kullanılan az sayıdaki uçak yapı malzemelerinden birisi ve belki de en çok tercih edileni oldukları için, kullanımları giderek artan teknik ihtiyaçların doğurduğu sınırlamalardan oldukça fazla etkilenir.

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, 1980'li yıllara kadar askeri ve sivil hava araçlarının yapı malzemeleri dağılımı, alüminyum alaşımlarının lehine idi. Ancak 1990'ların yeni dizaynları önemli bir miktarda kompozit malzeme kullanımı içermektedir. Ancak yine de uçak dizaynında böyle büyük bir miktarda kompozit malzeme kullanımı gerek maliyet ve gerekse ortaya çıkan teknik zorluklar nedeniyle halen sınırlı kalmaktadır. Bu ise alüminyumun geliştirilmesi için mevcut potansiyelin yeniden değerlendirilmesine bir fırsat tanımaktadır. Halen rakip malzemeler alüminyum alaşımlarının yetersiz kaldığı uygulamalarda kullanılır. Malzeme seçimindeki kriterler, malzemenin bulunabilirliği, maliyeti, yapısal kullanım oranı ve mevcut üretim teknikleriyle uyum sağlayabilme olarak sıralanabilir. Alüminyum alaşımlarının bu kriterler açısından maruz kaldıkları sınırlamalar, rakip malzemelerin kullanılması ile veya bu eksiklikleri gidermek için yapılan araştırmalarla aşılmaya çalışılmaktadır (Peel, 1986).



Şekil 1.1 Mevcut sivil ve askeri uçaklarda kullanılan malzemelerin yaklaşık dağılımı (Peel, 1986).

7000 serisi alüminyum alaşımları havacılık sanayiinde yaygın olarak kullanılan, çökelme ile sertleştirilebilen malzemelerdir. Bu seriye dahil 7075(Al-Zn-Mg-Cu) alüminyum alaşımı da uçak yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılır, çünkü düşük bir yoğunlukla birlikte yüksek bir dayanıma sahiptir. Bu alaşım için en yüksek dayanım seviyesi T6 yaşlandırma ısıl işlemi ile elde edilir. Ancak bu malzeme, özellikle maksimum dayanıma yaşlandırıldığında gerilmeli korozyon direnci çok düşer ve gerilmeli korozyon çatlamasına hassas bir hale gelir. Alaşımın gerilmeli korozyon çatlamasına karşı direnci T73 aşırı yaşlandırma ısıl işlemi ile arttırılabilir, fakat bu ısıl işlem de dayanım düşüşüne neden olur. Bu nedenle 7075 alüminyum alaşımına mukavemet ve gerilmeli korozyon direnci özellikleri bakımından bir optimizasyon sağlayacak ısıl işlemin bulunması araştırmacıların dikkatini çeken bir konu olmuştur (Peel, 1986).

Bu çalışmada, 7072 Alclad 7075-T0 alüminyum alaşımı malzemeye uygulanan RYY işleminin mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişikliklerin incelenmesi amaçlanmıştır.



2. UÇAK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELER

Günümüzde hızla gelişen teknoloji, her sektörde olduğu gibi imalat sektöründe de yeni arayışlar içerisinde. Bu sektörün özellikle hassaslık gerektirecek uygulamalarda daha da yeni teknolojileri kullanma eğilimi artarken bir taraftan da malzeme konusunda gerekli özenin gösterilmesini zorunlu kılmaktadır. Çoğu ülkeler, gelişmişliklerini değerlendirirken uzay teknolojisine sahip olma varlıkları ile ölçülmektedirler. Şüphesiz uzay teknolojisinin uygulandığı uygulamaların başında risk faktörünün belki de en fazla olduğu uçak endüstrisi gelmektedir. Bu endüstri temelde incelendiğinde etkili faktörlerin başında malzeme konusunun büyük rol oynadığı görülmektedir.

Uçak yapımında kullanılacak malzemelerin seçiminde;

- Dizayn mukavemetinin ağırlığa oranı
- Yorulma karakteristikleri
- Çatlak yayılma davranışı
- Baskın arıza tipleri
- Hasar ve korozyon toleransı
- Mevcut imalat kolaylıkları
- Malzemenin maliyeti
- İmalat maliyeti
- Pazar gerekleri

faktörleri önemli rol oynamaktadır.

Malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi korozyon direncidir. Uçaklarda bakım faaliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan korozyon, tamamen önlenemediğinden durdurulmaya ve hasarı en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Korozyonun hızı uçağın dizaynına, kullanılan malzemeye, korozyondan korunma yöntemlerine ve çevreye bağlı olarak değişmektedir.

Korozyon, uçağın ömrü ilerledikçe çeşitlenmekte ve çoğalmaktadır. Korozyon hasarları başlangıçta tespit edilemez ve tamiri yapılmaz ise bütün yapı için ciddi tehlike oluşturabilir. Özellikle uzun zaman serviste kalması istenen uçaklarda kullanım süresini etkilediği bilinmektedir. Kısa ömürlü uçaklarda korozyon hasarı toplam hasarın küçük bir kısmını oluştururken, uzun ömürlü uçaklarda ise toplam hasarın önemli bir kısmını meydana getirmektedir.

Uçaklar çeşitli atmosferik koşullarda (tropik, endüstriyel, denizel, karasal, çöl, kutuplar) bulunurlar. Uçak tipi aynı olsa bile farklı ortamlarda kullanılma, oluşacak korozyon hasarının miktarını değiştirir. Uçaklar kuru havada daha az korozyona uğrarken, nemli, ılık ve tuzlu ortamlarda daha kısa sürede korozyona uğrarlar. Uçak fazları esnasında (havalanma, uçuş, iniş) farklı ortamlara maruz kalırlar. Bu ortamlarda,

- İklim ve nem farklılığı
- Tuzlu su
- Havadaki tuzlar ve endüstriyel empüriteler
- Gün ışığı
- Hareket eden tuz ve kalıntılar

korozyona neden olur. Ortamın bu etkileri yanında bakım ve kullanım malzemeleri de korozyona neden olur. Bunlar:

- Yağlar ve hidrolik sıvılar
- Temizleme malzemeleri ve boya söktücüler
- Bakım esnasında oluşan çizintiler ve aşınmalar
- Kullanım ve bakım esnasında kazara oluşan hasarlar
- Batarya asitleri
- Egzost gazları
- Buzlanma ve donmayı önleyici sıvılar
- Uçuşta türbülansın sebep olduğu pislikler
- Kargo, tuvalet ve mutfak artıkları
- Yakıt bulaşması

Ayrıca uçaklarda kullanılan haşarat öldürücü ilaçlar, ateş söndürücü malzemeler, köpük veya benzerleri gibi kimyasal maddeler direkt veya dolaylı olarak uçağı etkilemektedir.

2.1 Kullanım Alanları

Alüminyum hava taşıtlarında kullanımının ilk zamanlarında oldukça iyi bilinen Al-Cu-Mg (2XXX) serisi alaşımlar kullanılmıştır. II.Dünya Savaşı sonrası ticari taşımacılık amacıyla kullanılan hava taşıtlarının geliştirilmesi yüksek mukavemetli alaşımları öne çıkarmıştır. Bu sıralarda Boeig-707’lerde yüksek oranlarda Zn, Mg ve Cu içeren 7178-T6 alaşımı kullanılmıştır. Fakat yüksek mukavemetli bu alaşımların kırılma tokluğu sorunu ortaya çıkmıştır. Boeing-747 hava taşıtları geliştirildiğinde, bu sorun dizayn mühendislerinin daha düşük mukavemetli 7075-T6 ürünlerini kullanmaya zorlamıştır. Diğer hava taşıtı dizayn

mühendisleri, 7075-T6 alaşımının sahip olduğu korozyon direncini yetersiz görüp, bu alaşımın mukavemet düşmesi pahasına korozyon direncini arttırmaya çalışmışlardır.

7075-T6 alaşımı, sahip olduğu üstün dayanım ve korozyon direnci özellikleri nedeni ile uçaklarda ana gövde, bağlantı noktaları ve uçak dış kaplaması gibi yerlerde yapısal malzeme olarak kullanılır.

2.2 Uçak Malzemelerinin Muayenesi

Uçak dizaynının doğal yapısı içinde olan yapısal bütünlük ve güvenlik faktörlerine rağmen uçak, insan ve doğa şartlarından gelen hasarlara sürekli maruz kalırlar. Düzgün olmayan iniş, dolu, fırtınalar, hava hareketleri, aşırı yalpa şartları v.b.'nin sebep olduğu etkiler sonucu uçak hasar görebilir. Yerde ise bakım ve servis işlemleri veya servis araçlarının çarpması gibi işletim kaynaklı sebeplerle hasar görebilir.

Uçaklar hareketli bir araç olarak yerde ve havada dinamik yorulma yüklerine maruzdurlar. İnsana ve doğa şartlarına bağlı olan bu yükler tabiatları itibarı ile yorulma dizayn hesaplarında kullanılanlardan farklı olabilir. Buna ilaveten uçaklarda ağırlığın düşük tutulması zorunlu olduğu için elemanların emniyet katsayıları oldukça düşüktür. Dizayn hesaplarında malzemenin akma sınırı esas alınmayıp, plastik analiz de kullanılarak parçanın kalıcı deformasyonlarla da yük taşıyıp fonksiyonunu yerine getireceği gerçeği de dikkate alınarak nihai yük adı verilen değere göre boyutlandırma yapılmaktadır. Bu küçük güvenlik payları daha dizayn aşamasında çok sayıda yapı ve elemanın deneysel veya teorik kırılma mekaniği ile belirlenen periyotlarda, çatlağın kritik boyutlara ulaşmadan daha önce bulunabileceği tahribatsız muayeneler ile kontrolünü öngörür. Uçaklarda bir parçanın arızası yüzünden meydana gelen işletme kayıpları bu parçanın bedeli ile kıyaslanamayacak kadar ağır olmaktadır. Ayrıca uçağın karmaşık yapı ve sistemleri nedeniyle bozulan bir parçanın daha değerli başka parçaları bozma ihtimali çok yüksektir. Bu durumda tamir için harcanan zaman ve para artacaktır. Bir uçağın tamir gideri yalnız muayene ve tamir sırasında harcanan miktar değil, aynı zamanda hangarda kalmalarından doğan gelir kaybını da içine alır. Tahribatsız muayeneler, montajları sökmeden kontrol edilecek yere ulaşım ve muayene imkanı sağlayabildiği ve hasarın daha ilk adımlarda bulunması ile tamir işlemini kolaylaştırabildiği için ekonomik açıdan da avantajlara sahiptir. Bu amaçla tahribatsız muayeneler hatanın boyutlarını, derecesini saptamak için kullanılır. Tahribatsız muayenelerin uçaklardaki tarihine baktığımızda teknik ilerlemelerin yavaş geliştiği ve 1940'larda radyografi, manyetik toz ve penetran sıvı yöntemleri, 1950'lerde ultrasonik yöntem ve 1960'larda ise girdap akımları yöntemleri uygulanmakta olduğu görülmüştür. Metotların

gelişmesi yıllar almıştır. Akustik emisyon, nötron radyografisi, holografi, sıvı kristal, enfraruj gibi metotlar uçak muayenesinde uygulama alanı bulamamıştır. Günümüzde uçak bakım ve onarımında en yaygın kullanılan sekiz tahribatsız muayene yöntemi bulunmaktadır (Akdoğan, 2001).

- Gözle muayene yöntemi.
- Penetran sıvı yöntemi.
- Girdap akımı yöntemi.
- Mağnetik toz yöntemi.
- Radyografi yöntemi.
- Gammografi yöntemi.
- Ultrasonik yöntem.
- Sonik (rezonans frekansı) yöntem.

2.2.1 Gözle Muayene Yöntemi

Normal olarak tahribatsız muayene yöntemleri listelerine alınmamakla birlikte uçak muayenelerinde uygulanan temel ve önemli yöntemlerdendir. Sonik, ultrasonik ve radyografi yöntemleri kompozit yapıların göz ile muayenesine tamamlayıcı olarak ve gözle görülemeyen kusurlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitlerin bileşen dağılımının homojenliği, alaşımlarda fazların yapısı ve faz dağılımı, daha genel olarak malzeme ve alaşımların kontrolü üzerinde hala çalışılan fakat tatminkar çözüm bulunamamış konulardır.

Tahribatsız muayeneler için genellikle çok hazırlık gerekmez. Radyografi ve gammagrafi dışındaki diğer yöntemler için yüzey temizleme gerekebilir. Radyografi ve gammagrafi yöntemleri için gerekli radyasyon güvenlik önlemleri alınmalı, uyarılar yapıp alan boşaltılmalıdır (Akdoğan, 2001).

2.2.2 Penetran Sıvı Yöntemi

Bir yüzey yöntemi olup, yüzey süreksizliklerinin tespit edilmesinde kullanılır. Yöntemin uygulanacağı test malzemesinin yüzeyi düzgün ve temiz olmalıdır aksi takdirde değerlendirmelerde yanılığa düşülebilir. Bir penetran sıvı, vizkozitesi, yüzey gerilimi ve yoğunluğu ile nitelendirilir. Boya ve flüoresanlarla görünürlüğü temin edilir. Penetran testte kullanılan diğer elemanlar ise temizleyici ve developerdir.

2.2.3 Girdap Akımları Yöntemi

Girdap akımları (Eddy-Current) yöntemi elektrik iletkenliğine sahip olan bütün metal ve alaşımlarına uygulanabilir. Bu yöntem kullanılarak çatlak, korozyon, iletken bir malzeme üzerindeki boya veya kaplama kalınlığının ölçülmesi, iletkenlik ölçümü mümkündür. Bu yöntemin temel prensibi, bir alternatif akım bobini tarafından oluşturulan değişken manyetik alanın, malzeme yüzeyinde dairesel girdap akımlarını endüklemesine dayanır. Endüklenen bu girdap akımları, bobindeki manyetik alana zıt yönde ikinci bir manyetik alan meydana getirir. Test parçasında girdap akımlarının olduğu bölgede bir süreksizlik var ise, test malzemesi ve süreksizlik arasındaki elektrik direnci farkından dolayı akımlar farklı bir yörünge izlemek durumunda kalacaktır. Bu farklılık bobin (prob) tarafından algılanarak süreksizlik değerlendirilir ve hata ortaya çıkarılır.

2.2.4 Mağnetik Parçacık Yöntemi

Manyetik parçacık yöntemi, yüzey ve yüzeye yakın hataların tespitinde, yerlerinin bulunması işleminde kullanılır ve sadece ferromanyetik malzemelere uygulanır. Temel prensip test malzemesinin, alternatif ve doğru elektrik akımı veya doğrudan manyetik akım geçirerek, manyetize edilmesine dayanır. Parçanın test edilen kısmında herhangi bir süreksizlik varsa, permeabilite farkından dolayı manyetik akım çizgileri süreksizlikten sapar ve hata üzerinde yoğun bir kaçak alan oluşur.

2.2.5 Radyografi Yöntemi

Radyografide, X-ışını tüpünden doğrusal olarak yayılan ve şiddetleri uzaklığın karesi ile azalan X-ışınları malzemedan geçirilir. Bu ışınlar, malzemenin kalınlığı, yoğunluğu ve bileşimine bağlı olarak malzemede emilip zayıflarlar. Parçada yüksek yoğunluklu yerler koyu, düşük yoğunluklu yerler açık görünür. Hatalar çevreleri ile olan ton zıtlıklarından anlaşılır. Her türden metale, seramik, plastik gibi metal olmayan malzemelere uygulanabilir. Havacılıkta; uçak bakım ve onarımında yani makro yapıların incelenmesinde, çatlak korozyon, gevrek bağlantı parçaları ve perçinler, hasarlı yapılar, karmaşık parçalarda arıza arama ve her türlü kaynakların muayenesi için kullanılır. Fakat yüzey korozyonu, ince çatlaklar, kalın parçalarda küçük hatalar ve %1'e kadar kalınlık değişimlerini bulmak zordur. Havacılıkta radyografinin uygulanacağı alanın seçimi ve sonra değerlendirilmesinde en önemli nokta, yapısal dizaynın, mühendislik bilgilerinin ve problemleri alanın geçmiş istatistiksel bilgilerinin incelenip göz önüne alınması ile zaman, para ve enerji tasarrufu yapıp, başarılı sonuçlara ulaşabileceğidir (Akdoğan, 2001).

2.2.6 Gammagrafi Yöntemi

Gammagrafi, gamma ışını demetinin parçadan geçerek çıkan ışınların bir filme etkiletilmesi yoluyla muayene sağlayan bir yöntemdir. Yoğunluğu yüksek veya kalın parçalarda hem harici hem de dahili, hataları bulmak için kullanılır. Uçaklarda kompresör, türbin palpmileri, difüzör çerçeveleri, yanma odaları gibi jet motoru içindeki kısımların muayenelerinde uygulama alanı bulurlar. Bu yöntem, X-ışını yerine gamma ışını yayan radyoaktif izotop kaynak dışında tamamen radyografiye benzer. Malzemenin iç yapısında çatlaklar, süreksizlikler ve boşluklar nedeniyle oluşan yoğunluk değişimleri sonucu çok zayıflamış olarak çıkan ışın, fotoğraf filminin duyarlı tabakasını az veya çok karartırlar. Böylece parçanın iç görüntüsüne benzer bir görüntü fotoğraf filmi üzerine kaydolmaktadır (Akdoğan, 2001).

2.2.7 Ultrasonik Yöntem

Ses dalgalarının yansıma ilkesine dayanan bu yöntem uçak konstrüksiyonunda kullanılan hemen her tip malzemeye uygulanabilir. Yüzey ve yüzeyaltı süreksizleri bulmada ve süreksizliğin derinliğini, büyüklüğünü saptamada son derece hassas bir yöntemdir. En önemli sınırlaması ise muayene parçasına bir yüzden temas şartıdır. Fakat küçük bir alandan parçaya ulaşabilme, parçanın tümünü muayene için yeterlidir. Genel olarak, az sayıda sınırlamanın olması nedeniyle geniş bir uygulama alanına sahiptir. Uçaklarda en yaygın olarak kullanılan kısımlar bağlantı elemanları ve iniş takımları kontrolleridir (Akdoğan, 2001).

2.3 Uçak Malzemelerinde Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözümleri

Her malzeme için gözle muayene ana yöntem olarak düşünülmelidir. İlk kontrol için kullanılmalıdır. Pek çok durum için göz muayenesi bir hasarı değerlendirmek için yeterlidir. Hatanın boyutunu hassas olarak tespit için veya gözün güvenilir olarak kabul edilemediği haller için tamamlayıcı olarak diğer yöntemler kullanılır. Alüminyum yüzey için en uygun yöntem yüksek duyarlılığı nedeniyle girdap akımıdır. Ayrıca temizleme çok azdır veya hiç gerekmez, düşük sıcaklıklardan etkilenmez ve çok hızlıdır. Düz saçlar, deliklerin etrafı veya kavisli yapılar gibi muhtemel muayene yerleri için kalem veya açılı problemlerin çeşitli tipleri sağlanabilir. Geniş alanlar için penetran sıvı tercih edilmelidir. Ferro-magnetik çeliklerde yüzey çatlakları için en hassas yöntem magnetik tozdur. Ayrıca bir montaj içindeki parçayı sökmeden portatif mıknatıslarla muayene imkanı sağlar. Hızlı bir yöntemdir ve çok az yüzey hazırlama gerektirir. Çelikler için diğer yöntemler tercih edilmez. Titanyum malzeme için penetran sıvı tercih edilmelidir. Fakat temizleme büyük dikkatle yapılmalıdır. Titanyum daha

ziyade yüksek sıcaklıklara maruz yerlerde kullanıldığından yağ, is, kurum ve pisliklerle birleşen ısı yüzey üzerinde adeta bir kaplama meydana getirir. Bu ancak çok iyi bir temizleme işlemi ile kaldırılabilir. Girdap akımı ise temizlik gerektirmemesi nedeniyle önerilebilir (Akdoğan, 2001).

Yüzey-altı veya Gizli Çatlaklar :

Alüminyum-çelik ve titanyum malzemelerde yüzey-altı veya gizli çatlakların bulunmasında düşük frekans girdap akımı, radyografi veya ultrasonik muayeneler kullanılır. Tüm malzemelere uygulanabilen radyografi ise aranan hatanın derinliği, toplam malzeme kalınlığının yaklaşık %30-40'ı kadar ise önerilir. Çünkü hassasiyet kalınlığın artması ile azalır. Her derinlikteki ve tabakadaki hata ışınlam demeti ile paralel olmak şartı ile bulunabilir. Alanın boşaltım zorunluluğu olması nedeniyle muayene sırasında uçak üzerinde ve civarında iş yapılmaması zaman kaybına yol açar. Ultrasonik muayene yüksek hassasiyeti ve her malzemeye uygulanabilmesi ile tercih edilen bir yöntemdir. Fakat, ikinci tabakayı muayene edemez, yalnız probun temas ettiği tabakayı muayene edebilir. En yüksek eğitimli ve tecrübeli personel gerektiren yöntemdir. Çatlakları bir açı altında görmesi halinde laminar çatlaklar için de tavsiye edilebilir.

Bağlama Elemanı Sökülmüş Delikler:

Alüminyum ve titanyum yapılarda bu tür delikler için önerilen yöntem delik problemleri ile uygulanan girdap akımıdır. Hızlı ve yaklaşık 0.75 x 0.75 mm boyutunda çatlakları bulabilecek hassaslıktadır. Diğer malzemeler için ultrasonik, magnetik toz veya penetran sıvı önerilebilir.

Bağlama Elemanı Takılı Delikler :

Bir çevreleme probu ile uygulanan girdap akımı ve enine dalgayla, uygulanan ultrasonik yöntem bağlama elemanı sökülmemiş delikler için uygun muayenelerdir. Girdap akımı alüminyum yapılarda bile daha büyük çatlakları bulabilir.

Çatlak Durdurma Delikleri:

Çatlağın bitiş noktası girdap akımı veya penetran sıvı yöntemi ile saptanabilir. Penetran sıvı çelik ve titanyum için önerilir. Çatlağın bitiş noktasında delinen delikten sonra tekrar aynı

yöntemlerle muayene edilmelidir. Bu işlemin yapılması çok önemlidir. Çünkü deliğin iyi yerde delinmemesi ve çatlağın devam etmesi halinde işlemin hiçbir faydası olmaz.

Cıvatalar:

Cıvatalar takılı iken ultrasonik muayene ile kontrol edilebilirler. Sökülü halde iken boyuna magnetizasyon yöntemi ile uygulanan magnetik toz muayenesinde yüksek hassasiyete erişilir. Cıvatanın dış kısmı magnetizasyon yöntemi ve 10X kadar bir büyüteçle kontrol edilmeli ve hata belirtileri halinde 20X kuvvetinde bir büyüteçle belirtiler incelenmelidir.

Kaynak Dikişleri:

Uçaklarda, önce yüzeyin kabaca temizlenip pullanmaların kaldırılmasından sonra, tüm dikişlerin orta kuvvette bir mercek (en az 10X) dikkatli muayenesi kaynakla tamir edilmiş yerler için kabul edilir bir yöntemdir. Çelik dairesel yapıların bezir yağı veya petrol esaslı bir yağ ile basınca tabi tutulmasında, sıcak yağlar çatlakların içine sızacağı için çatlakların tespiti kolay olmaktadır. Fakat bu işleme her zaman gerek yoktur, ancak, yapının çok büyük bir kısmı yeniden kaynak edilirse önerilir.

Isı Hasarı:

Isı hasarının tespiti yüzeydeki renk bozulması ve beneklenmeleri göz ile kontrol edilerek yapılır. Titanyum malzeme için hasarın derecesini, malzemenin rengine bakarak, alüminyuma ise renk bozulmasından sonra girdap akımı yöntemi ile malzemenin iletkenliğinin ölçülmesi gerektirir. İletkenlik ölçülerek kabul veya ret kararı verilebilir.

İletkenlik Ölçümü:

İletkenlik ölçümü bir malzemenin alaşım veya ısıl işlem durumunu tespit etmek, uygulanan bir ısıl işlemin başarısını tespit etmek için kullanılır. Ölçüm değeri kalınlıktan bağımsızdır, fakat kalınlık en az girdap akımı standart derinliği kadar olmalıdır. İletkenliği direkt veren cihazlar çoğunlukta 60 kHz frekansta çalıştıkları için kalınlık min. 1,5 mm olmalıdır. İletkenlik sıcaklıktan büyük ölçüde etkilenir. Bu nedenle referans standart ile parça en fazla 20°F içinde olmalıdır. Ölçüm yüzeyinin düz olması önerilir fakat zorunlu hallerde 7-8 cm kadar bir eğrilik yarıçapı ile ölçüm yapılabilir. Daha yüksek eğrilikte ölçüm hiç önerilmez. Boya ve kaplama gibi unsurlar iletkenliği etkileyeceği için bu hallerde, bu tür işlem için geliştirilmiş cihaz tavsiye edilir.

Gövde:

Uçaklarda gövdenin ön kısmı bir daralmaya ilaveten burun iniş takımı ve boşluğunu, pilot kabini aletlerini, kumanda sistem ve kablolarını, radarları ve elektrik-elektronik kompartımanını içine aldığı için çok yoğun şekilde teçhiz edilmiş bir bölgedir. Ulaşılabilirliğin çok sınırlı olduğu bu bölgede önerilebilen yöntem yalnız radyografidir. Diğer yöntemler için büyük çapta söküme gerektiğinden önerilmezler.

Kapılar, pencereler ve tehlike çıkışlarında ise yapının bu noktalarında kesilmek zorunda olunmasından dolayı gereken mukavemeti sağlamak için yapı takviye sacları ve profilleri ile güçlendirilmiştir. Çok katlı saclar ve karışık şekilli profiller diğer yöntemlerin kullanılmasını engellediğinden ve ayrıca geniş bir alanın kontrolü gerektiğinden radyografi tercih edilmelidir. Kapı menteşelerinde ise delik çeperlerinde hata aranacağı için ultrasonik muayene önerilir. Kapı ve pencereler dışa açılan noktalar oldukları için korozyon sıkça görülür. Çok katlı ve takviyeli yapılar nedeniyle korozyona uğramış kısım ana malzemeden düşüp ayrılmaz, yani radyografik muayene ile ortaya çıkarılamaz. Düşük frekans girdap akımı ile korozyon daha başarılı tespit edilmiştir.

Korozyonun Bulunması ve Ölçülmesi

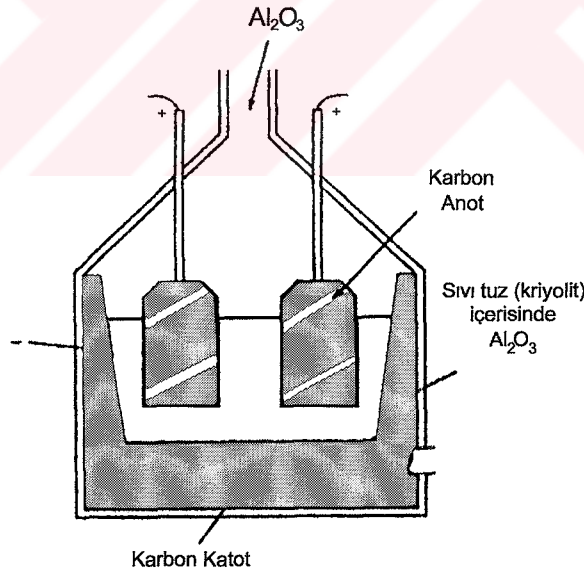
Radyografi, girdap akımı ve ultrasonik muayeneler korozyonu ve derecesini tespit edebilmek için önerilen yöntemlerdir. Radyografi ancak korozyonun ağır olması halinde kullanılır. Girdap akımı bir parçanın görünmeyen tarafındaki korozyon ve derecesini tespit etmek için önerilir. Tanelerarası korozyon ile oluşan çatlaklara duyarlı oluşu ve korozyonun küçük oyuklarını tespit edebilmesi yöntemin üstün yanlarıdır. Ultrasonik dijital ölçme cihazı malzemeye gönderdiği dalgaın yansıma süresini ölçerek malzeme kalınlığı ekranı üzerinde gösterir. Ölçüm değeri %1 tolerans içinde doğrudur ve hafif korozyonları ölçmek için kullanılır. Çünkü ağır korozyon halinde tanelerarası çatlaklar olasılığı için düzgün yansıma yüzeyi yoktur (Akdoğan, 2001).

3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

3.1 Alüminyum

Alüminyum yeryüzünün bileşiminde oksijenden ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen endüstriyel çapta üretimine ancak 1886 yıllarında başlanmıştır. Bu gecikmenin birinci nedeni, alüminyumun doğada sadece oksit veya karışımları biçiminde bulunmasıdır. En kararlı kimyasal bileşiklerden biri olan Al_2O_3 'ün indirgenmesi çok fazla enerji gerektirir. Bunu sağlayabilecek teknolojik yöntemler ilk kez 19. yüzyılda geliştirilmiştir. Birinci ile bağlantılı olan ikinci neden ise, yararlanılan cevherlerin Al_2O_3 'ten daha kolay indirgenen diğer birtakım oksitleri de içermesi, dolayısıyla doğrudan cevherin indirgenmesiyle kazanılacak alüminyumun teknik açıdan kullanılmayacak kadar katışıklı olmasıdır (Davis, 1999).

Elektriğin bulunması ve Hall-Heroult Prosesi'nin geliştirilmesi alüminyumun, en çok kullanılan ve ucuz mühendislik malzemeleri arasına girmesini sağlamıştır. Hall-Heroult Prosesi, temelde Al_2O_3 'ten sıvı metalin elektrolitik olarak indirgenmesiyle eldesine dayanır ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Alüminyumun elektrolitik hücre içerisinde üretilmesi (Bargel ve Schulze, 1995).

Sonuçta, özellikle 'boksit' adlı cevherden kimyasal ön arıtma ile elde edilen saf alüminanın (Al_2O_3), 98°C' ta eriyen kriyolit (Na_3AlF_6) içinde çözündürülüp, elektrolitik indirgenmesiyle saf alüminyum üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Bu gelişmelere bazı alüminyum alaşımlarının dayanımının çökeltme sertleştirilmesiyle artırılması eklenince – ki bu dayanım artışı saf

alüminyumun 30 katı mertebesinde olabilir – alüminyum esaslı malzemelerden yaygın şekilde yararlanma döneminin başladığı görülmektedir. Günümüzde alüminyum esaslı malzemelerle gerçekleştirilen milyonlarca uygulama arasında içecek kutuları, ev aletleri, kimyasal işlem donatımı, elektrik güç iletim donatımı, otomotiv parçaları, hava taşıtı parçaları ve gövdeleri bulunur (Davis, 1999; Bargel ve Schulze, 1995).

Daha sonraları hızla oluşan talep alüminyumun üretim teknolojilerinde sürekli iyileştirmelerin ve teknolojik gereksinimlerin yakalanmasına gidilmiştir. Alüminyumun üretiminin sürekli bir prosesi gerektirmesi genel olarak 4 boksitten 2 birim alümina ve 2 birim alüminadan da 1 birim alüminyum elde edilmesi son yıllarda birincil alüminyum yanında atık alüminyumlarında yeniden geri kazanılmasını gündeme getirmiştir. Alüminyumun sağladığı üstün özellikler onu çağımızın stratejik bir metali haline getirirken demirden sonra en çok tüketilen metal olmasına yol açmıştır.

Sultan Abdülaziz 1867 yılında Paris’i ziyaretinde, Fransa İmparatoru III. Napoleon tarafından onuruna verilen yemekte, yemeklerini o güne kadar dünyada bilinen en kıymetli metalden yapılmış tabaklarda yemiştir. Bu metal “Alüminyum” idi. Büyük olasılıkla Osmanlı Türklerinin alüminyum ile ilk karşılaşmaları bu şekilde gerçekleşmiştir. İlk karşılaşmadan 80 yıl sonra 1950’lerde dahi Türkiye’de yılda ancak 100 ton civarında alüminyum ürünleri kullanılıyordu. Bugün ise yıllık alüminyum talebi 150.000 tonun, alüminyum ürünleri talebi de 100.000 tonun üzerine çıkmıştır ve alüminyum talebinin önemli bir bölümü kendi birincil alüminyum üretiminden karşılanmaktadır (Doruk, 1982).

Alüminyum hafif metaller grubunun en önemli temsilcisidir. Özgül ağırlığı ($2,71 \text{ g/cm}^3$) demir ve bakırın yaklaşık üçte biridir. Döküm ve mekanik işlemler uygulanarak şekillendirilmesinde bilinen tüm yöntemlerden yararlanır, kolay işlenir. Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği yanında korozyona dayanıklı bir metal olması en önemli özellikleridir. Saf alüminyumun mekanik dayanımı akla gelebilecek çoğu kullanım alanı için yeterli değildir (Davis, 1999). Alüminyum ve alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Alüminyum ve alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri.

ÖZELLİK	
Yoğunluk	2,70 g / cm ³
Erime Sıcaklığı	660 °C
Elastiklik Modülü	65.000 MPa
Elektrik İletkenliği	36...37,8 m / Ωmm ²
Çekme Dayanımı	40...180 MPa

İlk sırada düşük yoğunluğu olmak üzere bazı temel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiş olan alüminyum, diğer metallere göre başlıca üç noktada seçkinleşir:

- Alaşımlarında daha da belirgin olan dayanım/yoğunluk oranının (öztül dayanım) yüksekliği, hafifleştirilmelerine öncelik verilen konstrüksiyonların çoğu için alüminyumun uygun bir malzeme olmasını sağlar. Örneğin uçak, silah, taşınabilir kamp donatımı vb.
- Elektrik iletkenliğinin yoğunluğa oranı bakımından tüm metal malzemelerin önünde gelen alüminyum, yüksek gerilim hatlarında bakırın yerini almaktadır.
- Havada ve diğer birçok ortamda korozyona dayanıklı oluşu, alüminyuma dekoratif görünüm kazandırarak mimari uygulamalarda ve ev araçlarının üretiminde de geniş bir alan açmıştır (Davis, 1999) .

Elektrokimyasal gerilim serisindeki konumu nedeniyle asal bir metal olmayan alüminyumun korozyona dayanıklılığı, havada veya sulu çözeltilerde yüzeyi kaplayan oksit tabakasından ileri gelir. Bu koruyucu tabaka, bozulduğunda doğal oksitlenmeyle bile yeniden oluşur; ayrıca ortamda bulunabilecek asitler ne kadar oksitleyici ise o kadar kararlı davranır. Örneğin derişik nitrik asit alüminyum kaplarda nakledilebilmektedir. Öte yandan anılan oksit tabakasını çözebilen derişik alkaliler alüminyumu korozyona uğratır.

En az %99,5 saflıktaki alüminyumun elektrik iletkenliği bakırinkinin sadece %62’sine, yoğunluğa oranlandığında ise 2,1 katına ulaşır. Bu teknik üstünlüğünün yanında fiyatının da uygunluğu nedeniyle, iletken hacminin ve lehimlenebilirliğin önemli olmadığı uygulamalarda alüminyum bakırın yerini almıştır (Bargel ve Schulze, 1995).

Alüminyumun düşük elastiklik modülü, herhangi bir konstrüksiyonun çelikten yapılma durumuyla karşılaştırıldığında, rijitliğin azalmasına yol açar. Isıl genleşme katsayısının ise çeliğinkinin yaklaşık iki katı oluşu alçak sıcaklık için tank ve boru hatlarının yapımında göz önünde tutulmalıdır.

Yüzey merkezli kübik (YMK) kafese sahip olan alüminyumun sıcak ve soğuk şekil değiştirme kabiliyeti çok iyidir. Ekstrüzyon yöntemiyle her türlü, profil üretilebildiğinden, pencere, kapı ve otomobil gövdeleri için değişik profil serileri geliştirilmiştir. Böylece tasarımcının öngördüğü biçimler basit montajlarla gerçekleştirilebilir.

Alüminyum manyetik değildir; düşük bir yorulma dayanımı gösterir, bu nedenle, yorulma hasarı sonuçta düşük gerilimlerde bile gözlenebilir. Düşük erime sıcaklığı nedeniyle, alüminyumun, yüksek sıcaklık performansı iyi değildir. Son olarak, alüminyum alaşımlarının sertlikleri düşük olduğu için aşınma dayanıklılıkları kötüdür (Davis, 1999).

3.2 Alüminyum Alaşımları

Alüminyumun düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci gibi üstünlüklerinden makina, taşıt ve yapı endüstrisinde geniş oranda yararlanılması, ancak dayanım özelliklerinin alaşımlama yoluyla iyileştirilmesinden sonra gerçekleştirilebilmiştir. Dayanımın çökelme sertleşmesiyle arttırılabileceğinin bulunması da (Wilm, 1906) alüminyum alaşımlarının geliştirilmesinde çok büyük rol oynamıştır (Bargel ve Schulze, 1995).

Metalik karakteristiklere sahip kimyasal elementlerin çoğu, alüminyumla kolayca alaşım yapabilirler. Ancak bunlardan sadece birkaçı ticari alüminyum esaslı alaşımlarda temel alaşım elementi olarak yer alırlar. Ayrıca çok sayıda başka elementler de alaşımın özelliklerini iyileştirmek için destekleyici alaşım katkıları olarak kullanılır (Davis, 1999).

Alüminyum alaşımları, üretim metoduna bağlı olarak iki büyük gruba ayrılabilir:

Dövme ve Dökme Alaşımlar. İmal usulünün değişik gereklerini yansıtacak şekilde, plastik deformasyonla şekillendirilmiş olan dövme alaşımların mikroyapısı ve bileşimi, dökme alaşımlardan, önemli ölçüde farklılık gösterir. Her bir büyük grup içinde alaşımlar, ısıt işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar olarak sınıflandırılır.

Alüminyum alaşımları Çizelge 3.2’de verilmiş olan kodlama sistemine göre gösterilir. İlk numara, esas alaşım elementlerini ifade ederken, kalan numaralar alaşımın belirli bir bileşimini gösterir.

Dayanım artışı, alaşımın ısıt işlem görmüş ya da soğuk şekil değiştirme sertleşmesi uygulanmış olmasına bağlı olarak, T veya H temper gösterimleriyle ifade edilir (Çizelge 3.3). Diğer gösterimler, alaşımın tavllanmış(O), çözündürme ısıt işlemine tabi tutulmuş(W) ya da üretildiği gibi kullanıldığını(F) anlatır. T veya H’den sonra yazılan numaralar, soğuk şekil değiştirme sertleşmesi miktarını, belirli bir ısıt işlem türünü ya da alaşımın gördüğü işlemlerin diğer özel gösterilişlerini gösterir (TS 1321, 1986).

Çizelge 3.2 Alüminyum alaşımlarının gösterim sistemi (Askelad, 1994).

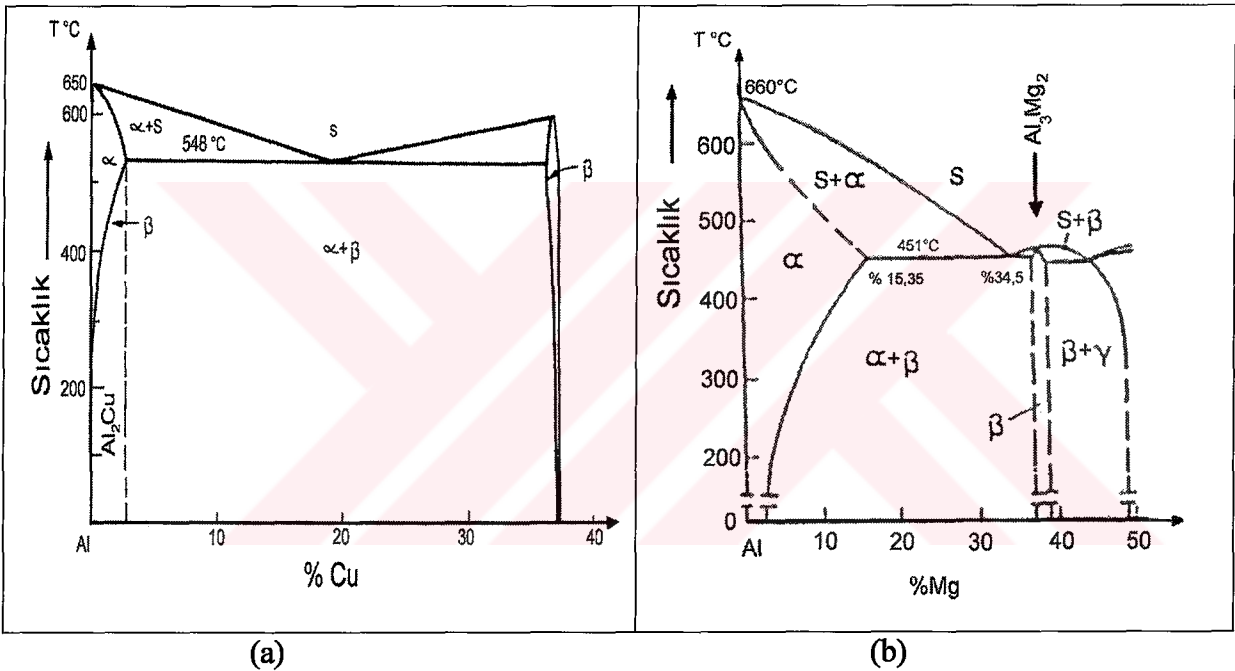
Dövme Alaşımlar		
1xxx	Ticari saflıkta Al (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu ve Al-Cu-Li	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4xxx	Al-Si ve Al-Mg-Si	Mg içeriyorsa yaşlandırılabilir.
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7xxx	Al-Mg-Zn	Yaşlandırılabilir
8xxx	Al-Li,Sn,Zr veya B	Yaşlandırılabilir
Dökme Alaşımlar		
1xxx	Ticari saflıkta Al	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Bazıları yaşlandırılabilir.
4xxx	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
7xxx	Al-Mg-Zn	Yaşlandırılabilir
8xxx	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

Çizelge 3.3 Alüminyum alaşımlarının temper gösterimi (TS 1321, 1986).

F	Üretildiği gibi (sıcak şekillendirilmiş, dövme, dökme, vs.).
O	Tavlanmış (mümkün olan en yumuşak durumda)
H	Soğuk şekillendirilmiş
	H1x : Sadece soğuk şekillendirilmiş (x, soğuk şekillendirme ve dayanım artırma miktarını gösterir.)
	H2x : Soğuk şekil değişimi görmüş ve bir miktar tavlanmış
	H3x : Soğuk şekil değişimi görmüş ve düşük bir sıcaklıkta kararlı hale getirilmiş
W	Çözündürme işlemi uygulanmış
T	Yaşlandırma ile sertleştirilmiş
	T1 : Üretim sıcaklığından soğutulup doğal yaşlandırılmış
	T2 : Üretim sıcaklığından soğutulup soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
	T3 : Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
	T4 : Çözündürülmüş ve doğal yaşlandırılmış
	T5 : Üretim sıcaklığından soğutulup doğal yaşlandırılmış
	T6 : Çözündürülmüş ve yapay yaşlandırılmış
	T7 : Çözündürülmüş ve aşırı yaşlandırma ile kararlı yapı elde edilmiş
	T8 : Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış
	T9 : Çözündürülmüş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş
	T10 : Üretim sıcaklığından soğutulup soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

Alüminyumun en önemli alaşım elementleri bakır, magnezyum, çinko ve silisyum olduğundan, alaşımların özelliklerini açıklayabilmek için önce Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn ve Al-Si ikili sistemleri incelenecektir:

Alüminyum-Bakır faz diyagramının Al_2Cu metaller arası bileşiğe kadar olan bölümü Şekil 3.2a'da verilmiştir. Eriyikten ayrılan ve en azından ötektik yapı bileşeni niteliğinde olan Al_2Cu ara fazı, malzemenin gevrekleşmesine yol açtığı için, döküm tekniği bakımından ötektik bileşime yakın olması gereken Al-Cu alaşımlarının pratikte kullanılmasını engeller (Asm, 1997).



Şekil 3.2 a) Alüminyum-Bakır faz diyagramı b) Alüminyum-Magnezyum faz diyagramı (Asm, 1997).

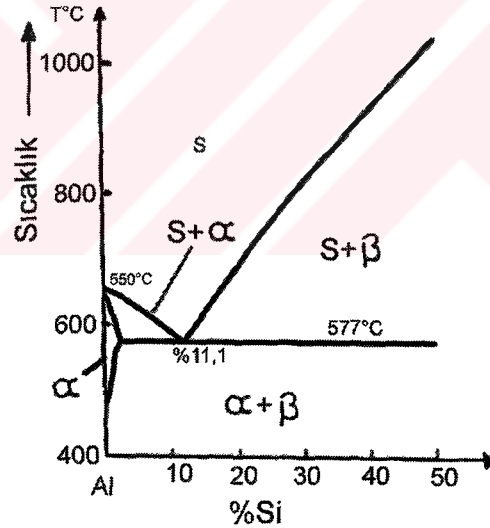
Bakır, yüksek çözünürlüğü ve dayanım arttırıcı etkisi nedeniyle alüminyum için önemli alaşım elementlerinden biridir. Ticari alüminyum alaşımlarının çoğu temel alaşım elemanı veya ikincil element olarak % 1-10 arasında bakır içerirler. Bakır, bu alaşımların çoğunun çökelme sertleşmesi kabiliyetlerini iyileştirir.

Ötektik sıcaklığın altında bakırın alüminyum kafesindeki çözünürlüğü azaldığından, çökelme sertleşmesi için gerekli ön koşullardan biri yerine gelmiş olur. Malzemeyi gevrekleştirmeden dayanım artışı sağlayan çökelme sertleşmesi ilk kez bu tür alaşımlarda bulunmuştur.

Alüminyum-Magnezyum sisteminin çok sert ve gevrek olan, ayrıca korozyona dayanıklılığı azaltan Al_3Mg_2 ara fazından ötürü (Şekil 3.2b), söz konusu alaşımların kullanılabilirliği Mg oranının teorik % 15 sınırından bile oldukça düşük tutulmasına bağlıdır.

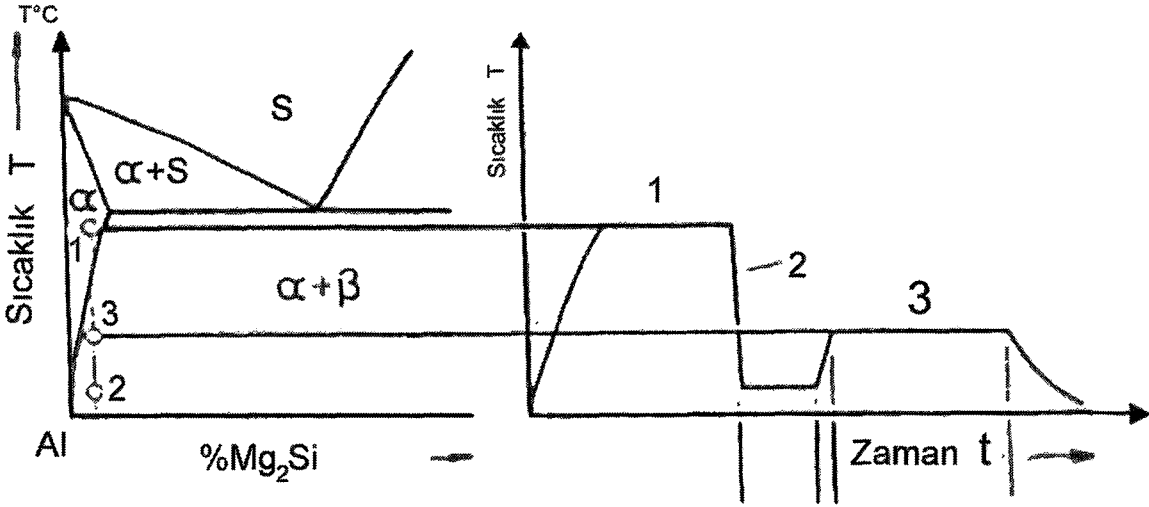
İkili Al-Mg alaşımlarında dayanım artışı yalnız katı çözelti oluşumuyla ilgilidir. Solvüs eğrisinin elverişliliğine karşın önemli bir çökelme sertleşmesi görülmez. β fazı öncelikle tane sınırları boyunca iri parçacıklar halinde çökelindiğinden, % 7'den fazla Mg'lu alaşımlar tanelerarası korozyona uğrayabilir. Tane sınırlarındaki bu Al_3Mg_2 bağı çökelme sertleşmesine benzeyen homojenleştirme işlemi ile dağıtılarak, malzemenin anılan korozyon türüne eğilimi ortadan kaldırılır (Asm, 1997).

Şekil 3.3'te **Alüminyum-Silisyum faz diyagramı** görülmektedir. % 11,7 Si noktasındaki ötektik alaşımın iç yapısı % 90 dolayında α -katı çözeltisi ile % 10 saf silisyumdan oluşur. Böylece alaşımın özelliklerini belirlemede, sünek alüminyum-silisyum katı çözeltisi gevrek silisyuma göre çok daha etkilidir. Bu durum, ince tanelilik ve kalıbı iyi doldurma özellikleriyle birlikte, Al-Si ötektik alaşımın döküm malzemesi olarak pratikte kullanılmasını sağlar (Asm, 1997).



Şekil 3.3 Alüminyum-Silisyum faz diyagramı (Asm, 1997).

Alüminyum-Magnezyum-Silisyum üçlü sisteminin magnezyum-silisyum kenarında Mg_2Si ara fazı ortaya çıkar. Mg_2Si ayrı bir alaşım bileşeni gibi düşünülerek, bu bileşikle alüminyum elementi arasındaki ikili faz diyagramı görünümünde bir kesit elde edilebilir (Şekil 3.4). Bu bölgedeki uygun bileşimli alaşımlar, Al-Mg veya Al-Si sistemlerinden farklı olarak çökelme sertleşmesi gösterirler. Benzer davranışa $MgZn_2$ ara bileşiğinin bulunduğu Al-Mg-Zn üçlü sisteminde de rastlanır. Her iki sistem esas alınarak çökelme sertleşmesinin uygulanabildiği birçok önemli alüminyum alaşımı geliştirilmiştir.



Şekil 3.4 a) Alüminyum-Magnezyum-Silisyum sisteminin Al-Mg₂Si kesiti. b) Çökelme sertleşmesine ait sıcaklık – zaman diyagramı (Asm, 1997).

Bu bilgilerin ışığında dövme alüminyum alaşımlarından aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

1100 ve 1135 kısa gösterimleri ile verilen alüminyum alaşımları kendi grubu içinde bulundukları 1XXX serisi alaşımlardan farklıdır. 1100 alaşımı en az oranda, 1135 alaşımı ise en çok oranda bakır bulunduran alaşımlardır. Bu alaşımların içinde yüksek oranda demir, silisyum ve bakır bulunmaktadır. Bakırın tamamı ve silisyumun bir kısmı katı çözelti içinde bulunmaktadır.

Ana alaşım elemanı bakır olan 2XXX serisi alaşımlar ısıtılabilir alüminyum alaşımlarının en önemli temsilcisidirler. Bu gruba giren alaşımların dayanımı yumuşak çeliklerinki ile kıyaslanabilir düzeydedir, bazen daha da yüksektir. Alüminyum-bakır alaşımları 490°C'dan hızlı soğutularak çökelme ısıtılabilir alüminyum alaşımlarına tabi tutulurlar. Daha sonra oda koşullarında doğal yaşlanmaya (T4) bırakıldığı gibi, mekanik dayanımın daha da artırılması için 120°C'da tavlanarak yapay yaşlanmaya (T6) uğratılabilirler.

3XXX serisi alaşımlarda ana alaşım elementi manganezdır ve miktarı % 1.5 ile sınırlıdır. Isıl işlem ile sertleştirilmeleri olanaksızdır.

4XXX serisinde yer alan Alüminyum- Silisyum alaşımlarının en önemli özelliği ergime sıcaklığının düşük olmasıdır. Bu özellikleri ile kaynak çubukları için uygundur. Isıl işlem ile sertleştirmeye elverişsizdirler. % 12,5 Si içeren alaşım 4032 dövme pistonların yapımında kullanılır. Silisyum miktarı yüksek alaşımlar eloksal yöntemi ile renklendirilirler. Bu özellikleri ile mimari amaçlar için çekicidirler.

Magnezyumu ana katkı elementi olarak içeren (bazı hallerde manganezle beraber) 5XXX serisi alaşımlar mekanik dayanımları orta düzeyden yükseğe kadar geliştirilebilen malzemelerdir. Isıl işlem ile sertleştirilemezler. Mekanik dayanımın artırılmasında ana etmen olan magnezyum % 0,8–4,5 arasında değişen miktarlarda kullanılır.

6XXX serisi alaşımlar magnezyum ve silisyumu $MgSi_2$ fazına uygun oranda içerirler. Isıl işlemle sertleştirilebilen alaşımlar arasında soğuk şekillendirmeye en uygun alaşım grubudur. Uçak yapımında kullanılırlar, bu grubun en önemli temsilcisi alaşım 6061'dir.

Çinkonun ana alaşım elementi olarak bir miktar magnezyum ile birlikte kullanılması 7XXX serisi alaşımlarda ısıl işlemle sertleştirmeye etkenlik kazandırır. Bu temel üzerine kurulu 7XXX serisi alaşımlar bakır içermemekle beraber korozyon dayanımları genellikle iyidir. Uçak gövdelerinin yapımında kullanılan alaşım 7075 yüksek korozyon direnci gösterir.

Döküm alüminyum alaşımlarını aşağıdaki gibi üç türde incelemek mümkündür.

1. Düşük mukavemetli döküm alaşımlar, 90-250 MPa çekme dayanımına ve %40-60 uzamaya sahiptir. Bu alaşımlar iyi kaynak edilir. Bu grup aynı zamanda %1-2 Mn ve % 1-3 Mg'luk düşük alaşımlı magnalyum ($Mg-Al$ alaşımı) içerir. Bu grup alaşımlar, yüksek derecedeki korozyona dayanımı ile saf alüminyuma yaklaşır.
2. Orta mukavemetli alaşımlar, %22-23 uzamaya ve 330 MPa' a kadar bir çekme mukavemetine sahiptir. Bu grup, güçlendirici bileşen olarak bir intermetalik bileşik olan orta alaşımlı magnalyum Mg_2Al_3 (yaklaşık %5 Mg) ve güçlendirici bileşik $AlMg_2Si$ ile ihtiva eder. Bu alaşımların kaynak işlemi biraz daha zordur, ayrıca yaşlandırılmış ve tavllanmış halleri, saf alüminyum yada 1. gruptakilerden daha az korozyon dayanımına sahiptirler.
3. Yüksek mukavemetli alaşımların çekme mukavemeti 330-500 MPa hatta 600 MPa' a kadar olup uzamaları da %7-27 arasındadır. Bu grup %3,5-5,5 Cu, biraz manganez ve magnezyum,

güçlendirici bileşik olarak CuAl_2 içeren *duralumin* (sert alüminyum) ihtiva ederler. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları, çok zayıf kaynak kabiliyetine sahiptir (Temel, 2001).

Alüminyum döküm alaşımı Silumun de geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Silumun, Al-Si sistemine dayanır ve %5-14 silisyum içerir. Silisyum alaşımlı Alüminyum, basit bir ötektik sistem meydana getirir. Silisyumun ötektik konsantrasyonu %11,6-%11,7'dir. Ötektik sıcaklığında silisyum çözünme sınırı yaklaşık %1,6, oda sıcaklığında ise %0,1'dir. Siluminler (özellikle ötektik bileşimleri) çok iyi döküm özelliklerine sahiptir, fakat 180 MPa'lık düşük bir çekme mukavemeti vardır (Temel, 2001).

3.2.1 Çökelme sertleşmesi gösteren Alüminyum alaşımları

Çökelme sertleşmesi gösteren dövme Al alaşımlarından yukarıda kısaca bahsedilmişti, ancak özellikle aşağıdaki gruplara ait olanlar büyük önem taşımaktadırlar.

Al-Cu-Mg (2000 serisi) alaşımlarda çekme dayanımı 440 MPa dolayına yükseltmek mümkündür. Magnezyumun etkisiyle hızlanan yaşlanma oda sıcaklığında gerçekleşir. Bakır miktarının fazla olması korozyona dayanıklılığı azaltır. Bu sakınca malzeme yüzeyine saf alüminyumdan ince bir tabaka giydirerek giderilebilir. En yaygın kullanılan Al-Cu-Mg alaşımları 2014 ve 2024 'tür. 2014'ün ısıl işlemleri doğal ve yapay yaşlandırma şartlarıyla sınırlıdır; 2024'ün yapay yaşlandırmaya karşı hassasiyeti çözeltiye alınmış metalin plastik şekillendirilmesi ile artar.

Al-Mg-Si (6000 serisi) alaşımları en çok 320 MPa düzeyinde orta dayanımlı malzemelerdir. En yüksek dayanım seviyeleri 6066 ve 6070 tarafından sağlanır. 0.2 sınırı yapay yaşlandırmada 260 MPa, doğal yaşlandırmada ise 110 MPa'a ulaşabilir. Korozyona dayanıklılıkları iyi olup, parlatma ve anodizasyona elverişlidir. Si miktarının artması dayanımı artırır, fakat gerilmeli korozyon direncini düşürür. Bu gruptaki alaşımların çoğu dayanımı arttırmak ve tane boyutunu kontrol etmek amacıyla Mn veya Cr içerirler. Dayanımın artırılması için Cu ilavesi de yapılır, ancak % 0,50'den fazlası gerilmeli korozyon direncini düşürür.

Al-Zn-Mg (7000 serisi) alaşımları, yüksek dayanımlı uçak ve orta dayanımlı genel amaçlı alaşımları içerirler. Bu grup mekanik özellikler ve korozyon davranışı bakımından optimum çözümü yansıtır. Yaklaşık 350 MPa'lık çekme dayanımlarıyla Al-Cu-Mg alaşımlarının altında kalmakla birlikte, kimyasal etkilere karşı daha dirençlidirler (Van, 1996; Bargel ve Schulze, 1995).

3.3 Alüminyumun ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Karakteristiği

3.3.1 Alüminyumun Korozyon Karakteristiği

Alüminyum, yüksek bir elektronegatif potansiyelli bir metaldir. Normal denge gerilimi -1,67 V'tur. Buna rağmen, alüminyumun dış hava şartlarına, bir çok zayıf asit çözeltilerine, çoğu nötr çözeltilere ve suya karşı oldukça yüksek bir dayanımı vardır. Örneğin bakırın – ki yarı soy bir metaldir – korozyon hızı klorürlü çözeltilerde alüminyumdan daha yüksektir. Alüminyum asit ortamlara bırakıldığında hidrojen reaksiyonu ile korozyona uğrar. Korozyon hızı küçülen pH değeri ile artar. Asetik asit, formik asit ve yağ asitleri alüminyumun dayanıklı olduğu asit ortamlarıdır. Bazik ortamlara dayanıklı olmaması, alüminyumun ilginç bir özelliğidir. Bunun nedeni ise Al^{+3} iyonlarının hidroksil iyonları ile reaksiyona girerek suda çözünür AlO_2^- iyonlarına dönüşmesidir (Topbaş, 1992).

Çok sayıdaki korozyif ortama karşı gösterdiği dayanım, ince bir yüzey oksit tabakasından (yaklaşık 0,7 μm) dolayıdır ve depolama esnasında teşekkül eder. Mevcut koşullara bağlı olarak, amorf ve/veya kristalin alüminyum oksit teşekkül eder. Atmosferde teşekkül eden film daha çok amorfudur, su ve su buharı içerisinde ise daha çok kristalin yapıda oluşur. Tabaka ne kadar sıkı ve homojen ise, aynı koşullarda korozyon dayanımı da o kadar iyidir. Çeşitli oksidasyon teknikleri ile tabaka kalınlığı önemli ölçüde artırılabilir (Al–Mg–Si alaşımlarında 40–45 μm , Al–Cu–Mg alaşımlarında ise 16–17 μm 'ye kadar). Pasif tabakanın homojenliği, birinci planda metalin arılık derecesine bağlıdır. Çözülmemiş halde bulunan arıtılmayan elemanlar (empüriteler), sürekli tabakanın oluşumunu bozarlar ve böylece daha sonra lokal elementlerin çözülmesine sebep olurlar. Katı çözelti içerisinde bulunan elementler daha az korozyon tehlikesi doğururlar. Bundan dolayı da durum homojenleştirme ısı işlemi ile yaratılmaya çalışılır (Topbaş, 1992; Davis, 1999).

Özellikle en olumsuz etkiyi, alüminyumun içerisinde bulunan bakır ve demir katıkları yapar. Demir, alüminyumun içerisinde oda sıcaklığında en fazla % 0,003 kadar çözünebildiğinden çözünmez olarak kabul edilebilir ve genellikle $FeAl_3$ formunda intermetalik bağlantı halinde bulunur. Bu bağlantının, homojenleştirme tavlamaıyla bertaraf edilmesi de olanaksızdır. Bakır, alüminyuma nazaran önemli ölçüde potansiyel farka sahiptir, fakat özellikle çözülmez halde bulunur ve korozyonun devam etmesine sebep olur (Topbaş, 1992).

Alüminyumun aktif hale geçmesi, yüzeyini cıva ya da cıvalı tuz çözeltisiyle silmek ya da muamele etmekle mümkün olabilmektedir. Böylesi bir durumda alüminyum, havada ve nötr çözeltilerde kararsızdır ve hidrojen serbestisiyle saf suda bile hızlı bir şekilde çözünür.

Alüminyumun kendi kendine pasivasyona olan hassasiyeti, bu metalin pek çok nötr ve zayıf asidik çözeltilere karşı dayanıklı kılar. Bundan dolayı alüminyum, oksitleyici asit (örnek; nitrik asit) ve kuvvetli oksitlendiricilerin etkisi altında bile kararlıdır. Alüminyum oksitleyici anyonlu (örn. nitratlar, kromatlar ve bikromatlar) tuzlarda ve sülfat çözeltilerinde kararlıdır. Klorürler ve diğer halojenler, alüminyumdaki koruyucu film tabakasını tahrip edebilmektedir. Bundan dolayı klorlu çözeltilerde alüminyumun kararlılığı, biraz azalmıştır. Atmosferin metale karşı korozyon etkisi bir yerden diğerine göre değişir. Atmosferdeki metalik korozyonun oranını etkileyen en önemli faktörler, kimyasal kirlenmenin derecesi, metal yüzeyinin rutubetliliği ve sıcaklıktır. Alüminyum yumuşak sularda deniz suyuna göre daha az korozyona uğrar. Çizelge 3.4’de metallerin çeşitli atmosferlerde saptanan ortalama korozyon hızları verilmiştir (Davis, 1999).

Çizelge 3.4 Metallerin çeşitli atmosferlerdeki ortalama korozyon hızları (µm/yıl) (Davis, 1999).

Metal	Endüstriyel atmosfer		Deniz atmosferi		Kırsal atmosfer	
	10 yıl	20 yıl	10 yıl	20 yıl	10 yıl	20 yıl
Alüminyum	0,8	0,73	0,70	0,63	0,025	0,075
Bakır	1,18	1,35	1,30	1,25	0,575	0,425
Kurşun	0,43	0,38	0,40	0,53	0,475	0,325
Kalay	1,18	1,30	2,28	2,80	0,450	-
Nikel	3,20	3,70	0,10	0,15	0,150	0,225

Alüminyum soy metaller eşlenmesi veya bunların ortak olduğu sistemlerde kullanılması korozyon hızının artması ile sonuçlanır. Bakır bu tür metaller arasında en etkili olanıdır. Örneğin, bakır ve bakır alaşımlarının çözünmesinden oluşan Cu^{+2} iyonları buralarda indirgenir ve alüminyum yer yer bakırla kaplanır. Çok etkili bir katot olan bakır alüminyumun korozyonunu hızlandırır. Sonuçta çukurcuk korozyonu veya benzer bir yerel korozyon türü ile bozunmasına neden olur (Davis, 1999).

Diğer metallerle eşlenmesi sonucunda ortaya çıkan olumsuz koşullar alüminyum ile teması zorunlu parçalar için malzeme seçiminde dikkatli olunmasını gerektirir. Cıvatalar, aralık parçaları, levhaların bağlandığı elemanlar bu konuda akla gelen örneklerdir. Genellikle çok yüklenen bu parçaların dayanımı yüksek bir malzemeden, örneğin çelikten yapılmalı arzulanır. Bu koşullar altında en uygun çözüm parçalarının alüminyuma göre dik tutum takınacak metallerle kaplanmasıdır. Örneğin kadmiyumla kaplanmış çelik cıvatalar alüminyum parça ve levhaların montajında yaygın olarak kullanılır.

3.3.2 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Karakteristiği

Alüminyum alaşımları bakır, manganez, silisyum, magnezyum ve çinko yanında diğer bazı metalleri de az miktarda içerirler. Saf alüminyuma oranla, alaşımlarının daha iyi mekanik özellikleri fakat daha düşük korozyon dayanımları vardır. Bununla beraber, bazı sanayi dallarında, özellikle havacılıkta, alüminyum alaşımları geniş ölçüde kullanılır.

Alüminyum ve alaşımları, HCl çözeltilerinde kararlı değildir. Kuvvetli negatif potansiyelinden dolayı, pek çok elektropozitif metallerle (bakır, platin, demir, nikel, kalay) temasında alüminyum alaşımlarının korozyonu çok artar.

Alüminyum ve alaşımları, özellikle alkalilere karşı duyarlıdırlar. Korozyon hızı, baz konsantrasyonuyla birlikte artar. Amonyak, sodyum hidroksit, kalsiyum hidroksit, ve baryum hidroksite karşı dayanıksızlığı bu guruba girer. Nötr tuz çözeltileri, alüminyum az etkiler. Alüminyum ve alüminyum alaşımları orta saldırganlığa sahip atmosferlerde oldukça dayanıklıdır. Ancak saldırganlığı arttırıcı gaz ve katı parçacıklarla yüklü endüstriyel ve deniz atmosferlerinde bu malzemeler çukurcuk korozyonu ile duyarlılık gösterirler.

Alüminyum alaşımlarını korozyona karşı korumada başvurulan etken bir önlem alüminyum ile giydirmedir. Genellikle çift taraflı giydirilen tabakaların kalınlığı parça kalınlığının %4'ü kadardır. 20 yıllık kullanım sonunda giydirilmiş tabakanın kalınlığından en çok % 30 kaybettiği saptanmıştır. Çizelge 3.5'te alüminyum ve alaşımlarının atmosferik korozyondaki çekme dayanımı kayıpları verilmiştir (Davis, 1999)..

Çizelge 3.5 Alüminyum ve alaşımlarının atmosferik korozyondaki çekme dayanımı kayıpları (Davis, 1999).

Atmosfer türü	Süre (yıl)	Malzemeye göre % çekme dayanımı kayıpları				
		1100-H14	3003-H14	6051-T4	2017-T3	2017-T3 (giydirilmiş)
Kırsal	19,15	0	0	0	2	0
	20,15	0	0	2	3	1
Endüstri	20,14	13	19	24	24	6
	20,55	10	10	19	23	6
Deniz	18,15	31	20	37	56	6
	20,37	5	2	14	17	3
	19,67	3	0	10	8	0

Aşağıdaki Çizelge 3.6’da alüminyum ve alaşımlarının çeşitli atmosferlerdeki korozyon hızları belirtilmiştir.

Çizelge 3.6 Al. ve alaşımlarının çeşitli atmosferlerdeki ortalama aşınma miktarları (µm) (Davis, 1999).

Atmosfer türü	Süre (yıl)	Malzeme				
		1100-H14	3003-H14	6051-T4	2017-T3	2017-T3 (giydirilmiş)
		Ağırlık kaybından hesaplanan ortalama aşınma, µm				
Kırsal	19,15	1,50	0,25	0,25	1,50	0,25
	20,15	1,50	1,75	1,50	2,00	1,50
Endüstri	20,14	-	-	-	-	-
	20,55	14,75	19,00	18,00	24,75	1,50
Deniz	18,15	11,50	12,00	9,15	44,50	11,50
	20,37	5,50	7,00	6,75	-	-
	19,67	-	-	1,50	-	1,00

Döküm alüminyum alaşımlarından düşük mukavemetli döküm alaşımları yüksek derecedeki korozyona dayanımı ile saf alüminyuma yaklaşır. Orta mukavemetli döküm alüminyum alaşımlarının yaşlandırılmış ve tavlanmış halleri, saf alüminyum ve düşük dayanımlı dökme alüminyum alaşımlarından daha az korozyon dayanımına sahiptirler. Yüksek mukavemetli dökme alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımları orta mukavemetli alaşımlardan çok daha az, fakat buna rağmen düşük mukavemetli alaşımlardan biraz daha azdır. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında en geniş kullanılanı, düşük korozyon dayanımı olan duralumindir. Lokal ve tane sınırı korozyonuna duralumin de çok rastlanır. En tehlikeli korozyon, mukavemet kaybı ile ilgili olarak tane sınırı korozyondur. Tane sınırı korozyonunun nedeni, 100°C'nin üzerindeki ısıtmadan sonra yavaş sertleştirme yaparak homojen katı çözültiden CuAl_2 'nin çökertilmesidir. Yüksek alaşımlı magnalyum, korozyona duraluminden daha dayanıklıdır. Bunun nedeni, daha fazla elektronegatif olan magnalyumdaki güçlendirici bileşen Mg_2Al_3 'tür. Bu tip olaylarda yüzeydeki kalıntılar, hızlı bir şekilde çözünür ve alaşımın yüzeyi eş potansiyel hale gelir. Bununla beraber, eğer magnalyumdaki anodik kalıntılar yüzey boyunca çökerse; -örneğin, tane sınırları boyunca- o da tane sınırı korozyonuna duyarlı hale gelir.

Bakır içeren diğer alüminyum alaşımları da kullanılmaktadır. Bunlar en az korozyona dayanıklı dökümlerdir ve daha küçük saldırgan ortamlar için düşünülmüştür.

Alaşım dökümlerin korozyon özellikleri de döküm kalitesine bağlıdır. Gözenekli dökümler, daha fazla korozyona uğrar. Pürüzlülüğün azaltılması korozyon dayanımını arttırır (Temel, 2001).

Dövme alüminyum alaşımlarından 1XXX serisi içerisinde bulunan alaşımların bir çok ortamdaki korozyon dayanımları çok yüksektir. Korozyon dayanım değeri, alaşıma katılan alaşım miktarının artması ile ters orantılı olarak azalma gösterir. 1XXX serisi alaşımların içinde bulunan empüritelerin hepsi korozyon dayanımını azaltıcı etki yapmazlar. Hatta, bu alaşım serisi içindeki bazı alaşımların içinde bulunan empüriteler, korozyon dayanımını arttırıcı etkiye sahiptir.

Ana alaşım elemanı bakır olan 2XXX serisi alaşımlar taneler arası korozyon, tabaka korozyonu ve gerilimli korozyon çatlamasına hassastırlar.

3XXX serisinde bulunan alaşımlar yüksek korozyon dayanımlarından dolayı gıda sektöründe ve mimaride kullanılır.

5XXX serisi dövme alüminyum alaşımları yüksek korozyon dayanımları ile inşaat malzemeleri yapımında, kimya sanayiinde, besin depolama işlemlerinde ve deniz ortamlarında kullanılır. Gerilmeli korozyon çatlamasına duyarlılığı azaltmak için yoğun şekil değiştirmeden kaçınmak gerekir.

6XXX serisi alaşımların kolay işlenebilmesi ve yüksek korozyon dayanımı önemli üstünlükleridir. Alaşım içindeki bakır oranının artması korozyon dayanımını düşürür.

Isıl işlemle sertleştirilebilen 7XXX serisi dövme alüminyum alaşımları korozyon dayancı bakımından bir çok kullanım alanı için yeterli olmakla beraber diğer alaşımların gerisindedir. Önemli üstünlükleri sayılan yüksek mekanik dayanımlarından, taneler arası korozyon ve gerilimli korozyon çatlamasına yol açabilecek etken ortamlarda da yararlanabilmek için, 7XXX serisi alaşımlar, alaşım 1100 ve 6XXX serisi alaşımlar giydirilerek kullanılırlar (alclad). Giydirilen malzemeler ana alaşımı katodik olarak korurlar ve korkulan korozyon türlerine karşı dayanımı önemli ölçüde arttırırlar (Davis, 1999).

3.4 7075 Alüminyum alaşımı

Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarından 7075 alüminyum alaşımı hafifliği ve T6 ısıtılma şartlarında eriştiği yüksek dayanım özellikleri nedeniyle uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Alaşım 7075 ilk kez 1943'te geliştirilmiştir. Diğer 7000 serisi alaşımları gibi çökelme ile sertleştirilir. Genel olarak levha formunda üretilir. Artan kullanım sonucu dövme ve ekstrüzyon mamulleri ve kalın levha üretimi de yaygınlaşmıştır. Bu alaşımın kimyasal bileşimi Çizelge 3.7'de görülmektedir.

Çizelge 3.7 Ticari saflıkta 7075-Al alaşımının kimyasal bileşimi (TS 412, 1987).

Alaşım Elementi	% Oranı
Zn	5,1-6,1
Mg	2,1-2,9
Cu	1,2-2
Fe	0,5
Cr	0,18-0,28
Mn	0,3
Ti	0,2
Si	0,4
Al	Balans

Ayrıca az miktarda Zr ve Ag içerir. Alaşımda Cr, Mn, Ti, Zr ve Ag kristalleşme davranışını kontrol etmek ve çökeltileri modifiye etmek için kullanılan elementlerdir.

Al-Zn-Mg alaşımının yaşlandırma işleminde gümüşün etkisi %0,05 Ag ilavesi ile 100°-200°C aralığındaki yaşlandırma işlemleri sonucunda iyi mukavemet sağladığı, η' nün homojen çekirdeklenme sıcaklığını yükselterek değiştirdiğini, keza alaşımın plastisitesinde artış oluşturduğu gözlenmiştir. Gümüşün gerilmeli korozyon çatlağına olumlu etki yaptığı ve maksimum etkinin yaşlandırma sonucunda oluşacağı ifade edilmiştir (Löffler vd., 1990).

Al-Zn-Mg alaşımının ayrışma işleminde % 0,002 ve %0,10 Si etkisi 100°-225°C arasında görülmüştür. Alaşımdaki silisyum, Zn-Mg bileşiğinin oluşuma benzer şekilde Mg-Si partiküllerinin oluşumunu gerçekleştirmektedir. 140°C de kısmi dönüşüm ile Mg-Si partiküllerinin var olduğu görülmüştür. %0,1 Si içeren alaşımda 150°C de direk su verme sırasında sertlikte artış tespit edilmiştir. Sertlikteki artış Mg_2Si partiküllerinin

oluşmasındandır. Fe-Si kümeleri, Si veya Mg-Si kümeleri η' nün çekirdekleşme yerleri olarak önemlidir. Fe-Si gibi metaller arası partiküllerin varlığı ise kırılma tokluğunu olumsuzca etkilediklerine dikkat çekilmektedir (Löffler vd., 1990).

Titanyum, Al-Zn-Mg alaşımında, ayrışma işlemine ve çöktisiz zonların genişliğine etkisiyle tanınır. Titanyum ilavesi alaşımlarda çöktisilerin kabalaşmasını geciktirir. Bunun nedeni, çöktisilerin kinetiği açısından, titanyum matristeki eriyen atom difüzyonuna inhibitör gibi davranmasındandır. Çöktisiz zonların genişliğinin az olması Ti atomları ile atom boşlukları arasındaki kuvvetli etkileşim olmasından kaynaklanmaktadır (Löffler vd., 1990).

% 0,01-2,0 Cu değerleri arasında çok farklı bakır içeriğine sahip Al-Zn-Mg alaşımları üretilmiştir. Bakır anodik ve çok aktif olan çöktisileri etkileyerek onları daha asil yapar. Özellikle yavaş suverme hızlarında gerilmeli korozyon çatlağına dayanım, homojen deformasyon ve uyumsuz çöktisilerin üretilmesiyle artırılabilir. Alaşıma az miktarda bakır ilavesi (% 0,63 Cu) eriyen atom /atom boşluğu şekillenmesini hızlandırır. Boşlukça zengin kümelenin oluşması ise η'' çöktisilerinin çekirdekleşme hızını artırır.

% 2,5 Mg gibi büyük miktarlarda magnezyum içeren alaşımlarda bakır, krom ve manganez ilavesi alaşımın suverme hassasiyetini arttırmaktadır. %1 Mg gibi az miktarlarda Mg, ise alaşımlarda suvermeye duyarsızlık sağlar. Yüksek Mg içeren alaşımlarda Cu, Cr, Mn suverme esnasında uyumsuz fazların oluşmasını hızlandırır. Empürite atomların kümeleri alaşımda η' çöktisilerinin heterojen olarak oluşması için çekirdek yerleri olarak rol oynarlar. Ayrıca zirkonyum, hafniyum ve nadir toprak alkali elementlerinin az miktarları (yaklaşık %0,1) alaşımın yapısı ve özellikleri üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir (Ay, 1989).

7075 Al alaşımının önemli fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 7075 Al alaşımının önemli fiziksel ve mekanik özellikleri (Asm, 1997).

a)7075 alaşımının fiziksel özellikleri :

Yoğunluğu (20°C' da)	2,80 g/cm ³
Elastiklik Modülü	73000 MPa
Ergitme aralığı	475-640°C
Özgül ısı (0-100°C arasında)	0,23 cal/gr°C
Ergime sıcaklığı	638°C
Solidus sıcaklığı	476°C
Isıl genleşmesi (20-200°C' da)	24,3 μ inch/inch/°C

b)7075 alaşımının mekanik özellikleri :

	<u>ıplak Alaşım</u>			<u>Kaplı Alaşım</u>	
	<u>Q</u>	<u>T6</u>		<u>Q</u>	<u>T6</u>
Çekme dayanımı (MPa)	231	583		224	534
Akma dayanımı (MPa)	105	513		98	471
% Uzama	17	11		17	11
Sertlik (VSD)	60	150		...	...
Kesme dayanımı (MPa)	154	337		154	323
Yorulma Sınırı (MPa)	...	167		...	...

7075 alüminyum alaşımının iyi genel mekanik davranışına rağmen, atmosferik rutubet gibi düşük aktiviteli ortamlarda dahi gerilmeli korozyona hassas olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle ticari 7075 alaşımı levhalar genellikle “Alclad” denilen ve her iki tarafına korozyona dayanıklı bir alüminyum alaşımı tabaka giydirilmiş ürünler şeklinde piyasaya sunulur.

Saf alüminyum veya diğer bir alüminyum alaşımı giydirilmiş bir alüminyum alaşımı çekirdekten oluşan Alclad rnler metalürjik birleştirme ile elde edilir. Bunlar katodik koruma prensibinin bir uygulamasını temsil ederler. Çekirdek alaşım arzu edilen mekanik özellikleri sağlar, kaplama alaşımı ise korozyona çok dayanıklı ve çekirdek alaşıma elektrokimyasal koruma sağlayacak şekilde bir anodik yüzey teşkil eder. Kapslama için en yaygın kullanılan alaşımlar 7072 (%1 Zn) ve 1230 (%99,3 Al) dur. Koruyucu kapslama toplam metal kalınlığının sadece %1,5-10’u gibi küçük bir yüzdesi kadardır. Kapslamanın mr kalınlığının ve koroziyon ortamının şiddetinin bir fonksiyonudur (Asm, 1997).

7075 alüminyum alaşımı için genellikle her iki yüzeye çekirdeğin %1,5-4,0’ kalınlığında 7072 kapslama uygulanır.

4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

Çökelme sertleştirmesi olarak da adlandırılan “Yaşlandırma”, demirdışı metallere uygulanan tek faz matris içinde sert ikinci bir faz taneciklerinin dağınık bir şekilde çökmesi sonucu malzeme mukavemetini arttırmada en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çökelme sertleşmesinin ana mekanizması çözünen atomların uyumlu bir topluluk oluşturmasını sağlamaktır. Bu oluşum ile bir araya toplanan çözünen atomlar bir taraftan matris kristal yapısına uyum gösterirken, atom boyutları arasındaki farktan dolayı büyük miktarda deformasyon ve gerilmeler üretir (Ardell, 1985).

Çökelme sertleştirmesi aşırı doymuş katı fazdan zaman ve sıcaklık etkisiyle yeni bir fazın çökmesi sonucu malzemenin sertlik ve mukavemetinin artmasıdır. Çökelme sertleştirmesi, denge diyagramlarında solvüs eğrisi içeren alaşım sistemlerinde ve sadece solvüs eğrisinin sınırladığı katı eriyik bileşimlerinde meydana gelebilir. Yani alaşım elementinin çözünme miktarı sıcaklıkla artmalıdır. Alüminyum alaşımlarının çoğunda bu koşulun var olmasına rağmen, bunların bazıları çok az çökelme sertleştirmesi gösterir. Örneğin Al-Mn, sisteminde ötektik sıcaklıkta manganez alüminyum içerisinde %1,8 çözünür. Denge diyagramında alüminyum katı eriyiyle beraber oluşan faz $AlMn_6$ fazıdır. %1,9-4,1 Mn içeren sıvı çözeltiden esas olarak ayrılan $MnAl_6$ dir. Bu faz katı eriyik içinde disperse olarak dağılır. Disperse olmuş fazın ısı ile işlemle mukavemeti etkilemesi söz konusu değildir. Bu nedenle alaşım soğuk işlemle sertleştirilebilir. Al-Cu, Al-Zn, gibi ikili alaşımlar ve Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Si gibi üçlü alaşımlarda ise çökelme sertleştirmesiyle malzemenin sertlik ve mukavemetinde önemli değişiklikler oluşur ve yaşlandırma işlemi sonucunda mekanik özellikler değişmektedir (Hatch, 1994).

Yaşlandırma olayı ilk olarak Almanya’da Alfred Wilm tarafından bakır, magnezyum, demir ve az miktarda silisyum içeren alüminyum alaşımının sertliğini gözlerken keşfedildi. Yaşlandırma işlemi için akla yatkın ilk açıklamaya göre artan sıcaklıkla katı eriyik oluşumu artmakta ve su verildikten sonra zamanla aşırı doymuş katı eriyikten yeni çökelti fazları oluşmaktadır.

Wilm’in keşfinden ve açıklamalarından sonra, 1920-1930 yılları arasında araştırmacılar tarafından yaşlandırma mekanizması incelenmiştir. Ancak o devirde eldeki mevcut cihaz ve aletlerle katı eriyikten çökeltilerin ayrışma prosesini saptamak mümkün olmamıştır. O yıllarda metalografik çalışmalarda kullanılan optik mikroskoplarla çok küçük olan çökeltilerin belirlenmesi olanaksız olduğundan, yapılan çalışmalar katı eriyikten çökeltilerin ayrışma işlemi hakkında bilgi verirken, yaşlandırma sonucunda oluşan mukavemetin nedenini

açıklayamamaktır. 1934 yılında dislakasyonun keşfi yaşlandırma sertleşmesine yeni boyutlar kazandırmıştır (Ay, 1989).

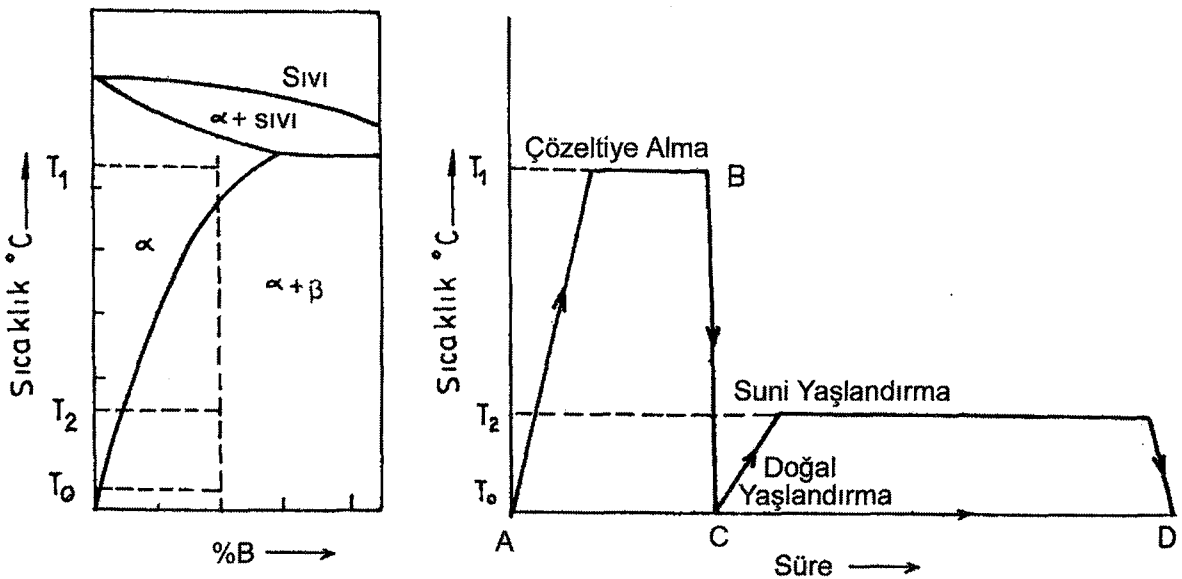
Yaşlandırma olayı, oda sıcaklığında meydana gelirse “Doğal Yaşlandırma”, oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda oluşursa “Yapay Yaşlandırma” adını alır. Yapay yaşlandırma tek bir sıcaklıkta yapılabileceği gibi iki aşamalı olarak iki farklı sıcaklıkta da yapılabilmektedir. İki aşamalı olarak yapılan yaşlandırma işlemine “Dubleks Yaşlandırma” denilmektedir.

Alaşımlara uygulanan yaşlandırma işlemi farklı olmasına rağmen, hemen hemen bütün araştırmacıların uyguladıkları işlem sırası aşağıdaki şekildedir:

- Çözeltiye alma ısıl işlemi
- Su verme işlemi
- Yaşlandırma (çökeltme) işlemi. (Doğal yaşlandırma veya yapay yaşlandırma)

4.1 Çözeltiye Alma Isıl İşlemi

Çökeltme yaşlandırmasının ilk kademesinde yapılan çözeltiye alma işleminde amaç, yüksek sıcaklıktaki çözünürlüğün artmasından faydalanarak yapıdaki bileşik ve çökeltileri tek faz içinde çözündürerek aşırı doymuş tek fazlı bir katı eriyik elde etmektir. Alüminyum alaşımlarının çözeltiye alma ısıl işlemi 420-520°C aralığında yapılmaktadır. Çözündürme oranını artırmak ve maksimum çözündürmeyi sağlamak amacıyla çözeltiye alma sıcaklığının olduğunca yüksek tutulmasında fayda vardır. Şekil 4.1’ de yaşlandırma uygulanabilen alaşıma ait bir denge diyagramı ve yaşlandırma işleminin kademeleri görülmektedir.



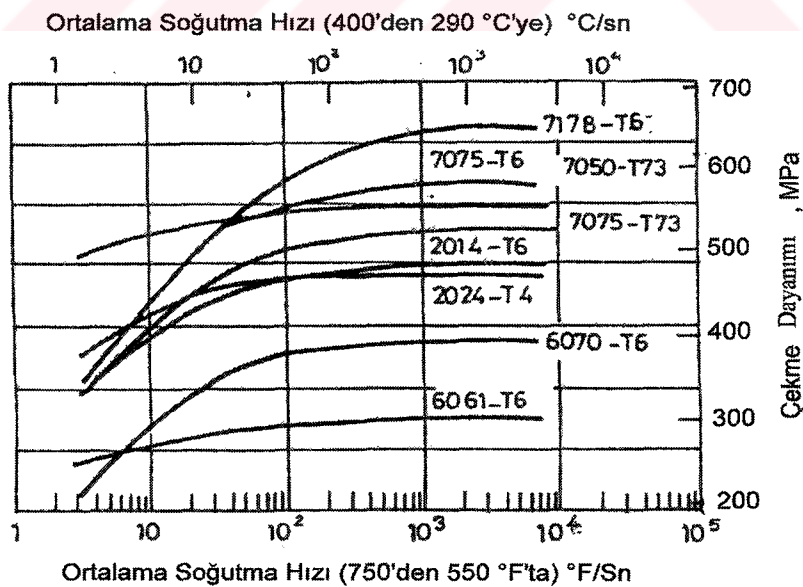
Şekil 4.1 a) Yaşlandırma yapılabilen bir alaşıma ait denge diyagramı. b) Yaşlandırma işleminin kademeleri (Ay, 1989).

Şekildeki alaşım önce solvüs eğrisinin üzerindeki T_1 gibi bir sıcaklığa ısıtılır ve bu sıcaklıkta ikinci faz (β) katı eriyik içinde tamamen eriyinceye kadar tutulur.

Çözeltiye alma işleminde sıcaklık kadar o sıcaklıkta tutma süresi de önemlidir. Çözeltiye alma işlemi tuz banyosunda veya fırında yapılabilir. Çözeltiye alınacak parçanın kalınlığına bağlı olarak tutma süresi dakika olarak standartlarda verilmiştir (Astm, 2001; Ay, 1989).

4.2 Suverme İşlemi

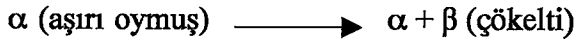
Çözeltiye alma işlemini takiben suverme işleminde soğuma hızı yavaş olursa alaşımın özelliklerini kötü yönde etkileyen iri çökeltiiler oluşur. Bu nedenle, soğutma işleminin T_1 çözünme sıcaklığında meydana gelmiş katı eriyiğin, oda sıcaklığına indiğinde aşırı doymuş katı eriyik olarak kalmasını sağlayacak şekilde hızlı soğutma ile yapılması gerekmektedir. T_1 sıcaklığında yapı tamamen α 'ya dönüştükten (Şekil 4.1) sonra alaşım aniden soğutulur. Ani soğuma β fazının çökmesine imkan vermez ve aşırı doymuş α katı eriyiği elde edilir. Ayrıca ani soğuma sonucu yapıda yüksek miktarda artan boşluklar mevcuttur (Hatch, 1994). Böylece elde edilen aşırı doymuş katı çözelti yavaş soğumuş katı çözeltiden daha yüksek dayanıma sahiptir. Suverme zamanı parça kalınlığına bağlı olarak standartlarda verilen süreleri aşmamalıdır. Alüminyum alaşımları suverme hızına karşı hassastır, Şekil 4.2'de görüleceği gibi, suverme hızının artması mukavemetin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.2 Çeşitli Al alaşımlarının soğuma hızının mukavemete etkisi (Shastri vd., 1981).

4.3 Yaşlandırma (çökeltme) İşlemi

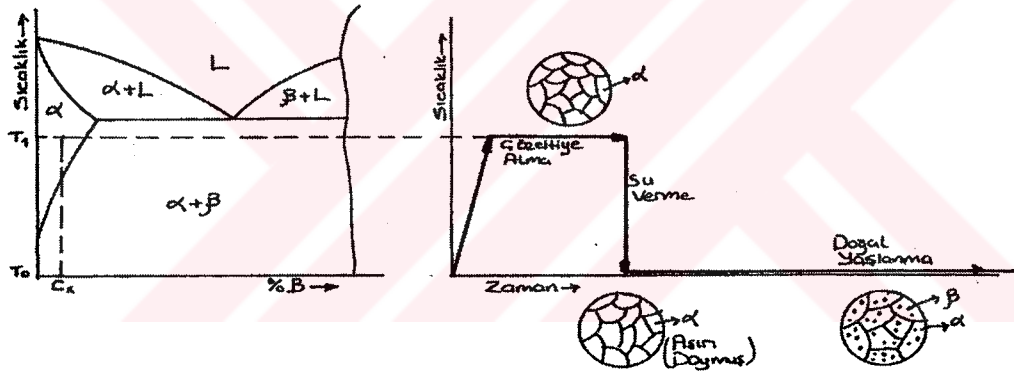
Aşırı doymuş katı eriyik içerisinde erimiş halde bulunan ikinci faz, sıcaklık ve zamanın etkisi ile kararlı bir faz olarak çökeler. Yani ;



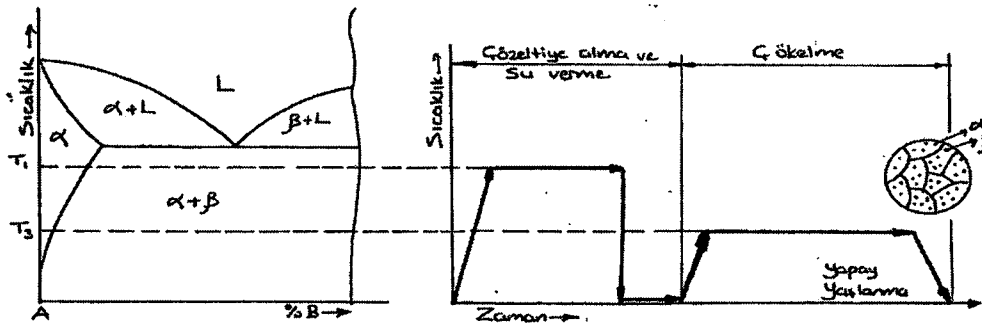
dönüşümü oluşur.

Bu dönüşüm için önce β fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi gerekir. Alaşım eğer ani soğumadan sonra oda sıcaklığında tutulursa difüzyon hızı çok yavaş olduğundan β çökelti fazı genellikle oluşmaz veya oluşması çok zaman alır. Çökeltme oda sıcaklığında meydana gelebiliyorsa bu alaşımlara doğal yaşlanan malzeme adı verilir (Şekil 4.3a).

Difüzyon hızını arttırmak amacıyla, ani soğutulmuş alaşım eğer T_3 gibi yüksek bir sıcaklıkta tutulursa çökeltme olayı daha kısa bir zamanda meydana gelir buna da yapay yaşlandırma denilir (Ural, 1994).



a) Doğal yaşlandırma kademeleri.

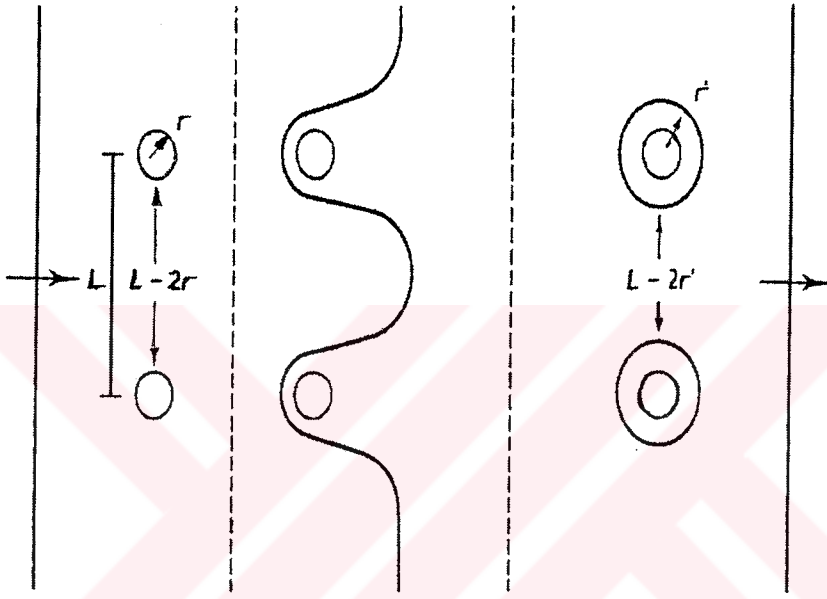


b) Yapay yaşlandırma kademeleri.

Şekil 4.3 Yaşlandırma işlem kademeleri (Ay, 1989).

4.3.1 Yaşlandırma Aşamasında Çökelti Fazının Oluşması

Çökeltme sertleşmesinde çöken partiküller dislokasyon hareketine engel oldukları zaman malzemenin sertliği artar. Matris malzeme içinde hareket eden dislokasyonlar sert ve yüksek kayma modülüne, dolayısı ile daha yüksek kayma mukavemetine sahip taneciklere rastlayabilirler. Çökelmiş tanecikler tarafından hareketi durdurulan dislokasyon Şekil 4.4' de görüldüğü gibi çökelti partiküllerini aşmak için uygulanan gerilmeye bağlı olarak bel vererek geçmeye çalışır (Bargel ve Schulze, 1995).



Şekil 4.4 Çökelti fazı içeren malzemede dislokasyon ilerlemesi.

Dislokasyonların bel vermeleri için gerekli gerilme

$$\tau = \frac{2.G.b}{\ell} \quad (4.1)$$

dir.

Burada

G , kayma modülü;

b , burges vektörü;

ℓ , çökelti arası mesafedir.

Yukarıdaki Şekil 4.4'den de anlaşılacağı gibi ayrıışmış fazın belirli bir hacim oranı için taneciklerin boyutu ne kadar küçük ise parçacıklar arası uzaklık ℓ o kadar küçük, dolayısı ile gerekli gerilmede o derece büyük olur. Buna bağlı olarak da malzemenin mukavemetinde artış olur.

Dislokasyon çizgileri parçacıklar arasından bel vererek geçtikten sonra tekrar tam ve sürekli hale gelir ve geride tanecikler etrafında oluşan halkalar bırakırlar. Her ilave dislokasyon kendi arkasında yeni halkalar bırakır. Bu halkaların sayısı arttıkça boyutları büyür ve aralarındaki uzaklık azalır. Böylece ardışık dislokasyonları bu aralardan geçirmek için gerekli gerilmede sürekli olarak yükselir (Bargel ve Schulze, 1995).

Yukarıda ifade edildiği gibi çökeltme sertleşmesi mekanizmasında çökelen tane boyutu çok önemli bir etkidir. Tane boyutunun sertleşmeye olan etkisi Hall –Petch bağıntısı ile şu şekilde ifade edilmiştir:

$$\sigma_y = \sigma_i + k_y \cdot d^{1/2} \quad (4.2)$$

Burada;

σ_y , akma gerilmesi;

σ_i , taneler içindeki dislokasyonların hareketine karşı sürtünme gerilmesi;

k_y , sabit;

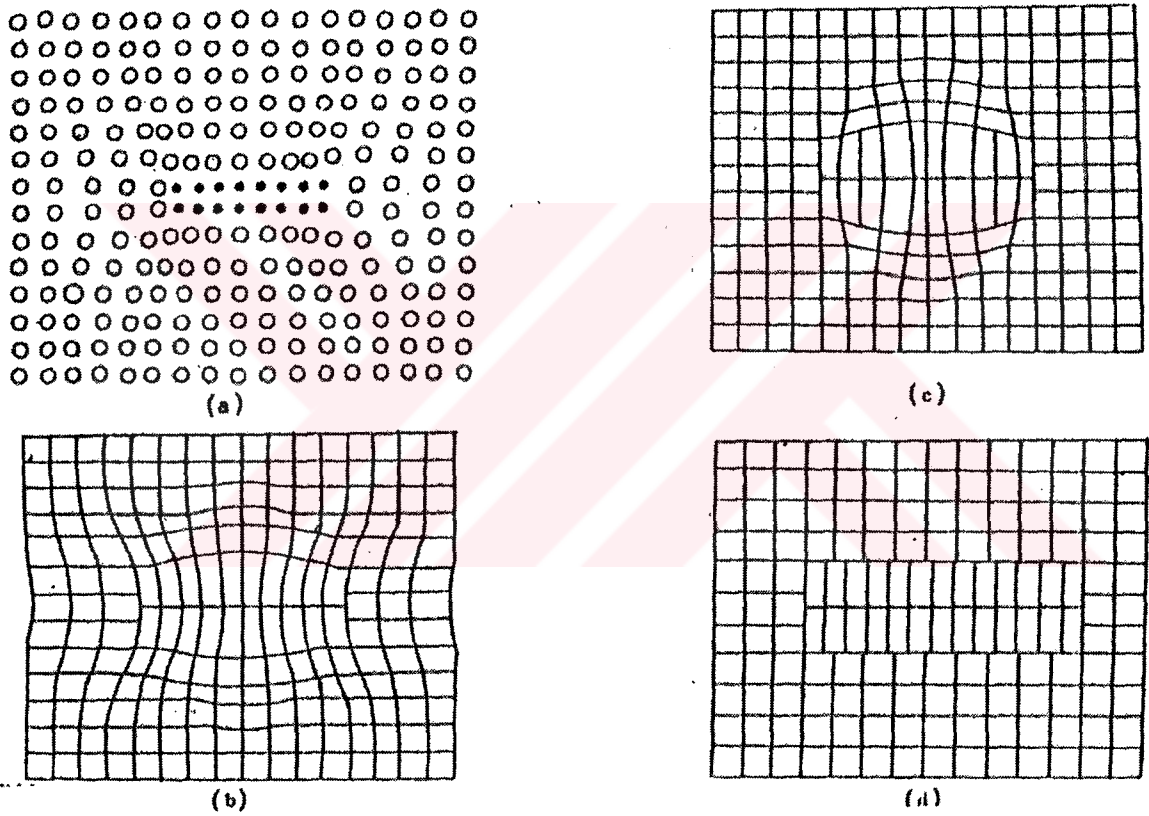
d ise tane çapıdır.

Görüldüğü gibi tane çapı ne kadar küçük ise σ_y akma gerilmesi o kadar büyük olacaktır.

Çökelen partiküllerin şekillerine bağlı olarak matris ile oluşturdukları ara yüzeyler uyumlu,yarı uyumlu veya uyumsuz olarak tanımlanır. Matris ile çökeltinin kafes parametreleri tamamen uyarsa ara yüzey uyumludur. Tersine matris ve çökelti fazları arasında hiçbir uyum söz konusu değilse ara yüzey uyumsuzdur (Bargel ve Schulze, 1995)..

Çökelen partiküller küçük ve kafes yapıları matris yapısına uyumlu olduğu zaman çökeltme sertleşmesi en etkin düzeyine ulaşır. Çevreyle uyumlu partikülde nispeten daha az sayıda atom bulunur. Bundan dolayı ikinci fazın belirli bir toplam miktarı için uyumlu partiküllerin sayısı çok daha yüksek olacaktır. Aynı zamanda partikül sayısı çok olduğu için aralarındaki uzaklık da son derece küçük olmaktadır.

Çökelti fazının incelenmesi X-ışınlarının bulunmasından sonra gelişmiştir. İlk çalışmalar ticari önemleri nedeniyle alüminyum alaşımlarında yapılmıştır. Bakır, çinko, gümüş gibi alaşım elementlerinin atom numaralarının alüminyumdan büyük olması nedeniyle bunların çökeltilerinin X-ışınları veya elektron mikroskobu ile izlenmesi oldukça kolaydır. 1938’de Guinier ve Preston adlı iki araştırmacı % 4,5 Cu içeren Al alaşımında X-ışınları ile çökeltilerin ilk kademelerine ait araştırmalar yapmışlardır, bu nedenle bugün literatürde bu çökeltiler, araştırmacıların isimlerine ithafen GP bölgeleri olarak anılmaktadır. Şekil 4.5’de Al-Cu alaşımında çökelti fazının oluşumu görülmektedir (Ardell, 1985; Van vd., 1981).



Şekil 4.5 Al-Cu alaşımında yaşlandırma sırasında oluşan çökelti fazının kademeleri (Ardell, 1985).

a) GP-1 bölgesi, b) GP-2 bölgesi, c) θ' yapısı, d) θ yapısı

Çökelti fazının çekirdeklenmesi Şekil 4.5(a)'da görüldüğü gibi Cu atomlarının bir araya gelmesiyle başlar. Çökelme eğer matris atomlarının yerini alarak gerçekleşmişse, kafeste çökelen atomlarla matris atomları arasında yatay ve dikey yönde uyumluluk vardır. Disk şeklindeki bu çökelti tamamen uyumlu olup, çökelti ile matrisin arasındaki uyumsuzluk, sadece atom çapları arasındaki farktır. Çekirdeklenme kademesindeki bu çökelti GP-1 bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölgenin boyutları yaklaşık olarak $100^0\text{\AA}$ (50 atom) çapında, $10-15^0\text{\AA}$ (2-3 atom) yüksekliğindedir. GP-1 bölgesinin Al-Cu alaşımında, Al matrisinin (100) düzlemlerine çöktüğü saptanmıştır.

Yaşlandırmanın başlangıcında, alaşımın sertlik artışının az miktarda olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi GP-1 bölgesinin boyutlarının dislokasyon hareketine engel olmayacak derecede küçük olmasıdır. Sertlikte meydana gelen az miktardaki artış farklı atom boyutlarının oluşturduğu gerilme alanından doğmaktadır. Dislokasyonlar hareket ederken bu gerilme alanına rastladıklarında zorlanırlar.

GP-1 bölgesi yaşlandırma süresi arttıkça büyüme imkanı bularak GP-2 bölgesine dönüşür. Bu durumda çökelti boyutu $1500^0\text{\AA}$ çapında ve $150^0\text{\AA}$ yüksekliğindedir. Bu çökelti Al-Cu sisteminde tetragonal yapıdadır; bu nedenle bazen GP-2 bölgesi yerine “ara çökelti” kabul edilir ve θ'' ile simgelenir. Çökelti, matris ile Şekil 4.5 (b)'de görüldüğü gibi yarı uyumludur. Yani kafesle uyumluluk sadece tek yöndedir.

Çökelti GP-2 bölgesine tekabül eden büyüklüğe ulaştıkça sertlikte maksimum artış olur. Bu durumda çökelti dislokasyon hareketine engel olacak büyüklüğe ulaşır ve çökelti arası mesafe azaldığı için sertlikte maksimum artış elde edilir. Sonuç olarak, çökelme sertleşmesinin yaşlandırma kademesinde alaşım mekanik özelliklerindeki en yüksek artış, ancak çökeltinin belirli bir boyuta ulaşması ve matrisle uyumlu veya yarı uyumlu olması halinde elde edilebileceği söylenebilir.

Matrisle uyumlu veya yarı uyumlu olan GP-1 ve GP-2 bölgeleri, kendilerine göre çok daha büyük bir kafes bölgesinde gerilmelere ve dolayısı ile sertlik artışına neden olurlar. Özellikle kafes parametreleri farklı iki kristal yapının uyumlu olması atom düzlemlerinin çarpılarak gerilmesine yol açar.

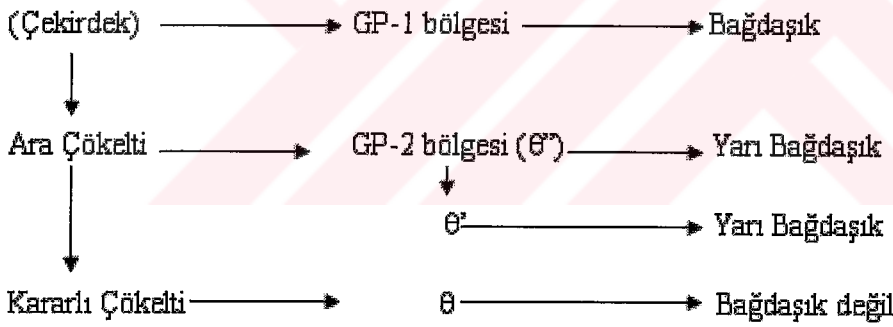
GP-2 (veya θ'') bölgesi eğer daha uzun süre yaşlandırmaya tabi tutulursa çökelti, Al-Cu alaşımındaki tetragonal yapıdaki sırasıyla θ' ve θ yapılarına dönüşür ki bunlar CuAl_2 ara fazıdır. Bu kademede çökeltinin boyutları çok büyüdüğünden optik mikroskopla bile kolayca gözlemlenebilir. Oysa GP-1 ve GP-2 bölgeleri ancak elektron mikroskobu ile ayırt edilebilir.

θ' yapısı GP-2 bölgesinin yapısına benzer olup doğrudan doğruya çökeltiler etrafında oluşan dislokasyon halkalarının yardımı ile meydana gelirler. Bu durumda matrisle olan uyum bozulur ve sonuç olarak metal yumuşamaya başlar.

Yaşlandırma süresinin artması ile sertlik ve mukavemette meydana gelen azalmaya “aşırı yaşlandırma” denir. Aşırı yaşlandırma halinde çökelti ile matris ara yüzeyindeki uyumsuzluk nedeni ile ara yüzeydeki dislokasyonlar, deformasyon esnasında öncelikle hareket eder ve bu da sertliğin düşmesine neden olur.

θ' yapısı Şekil 4.5 (c)'de görüldüğü gibi kısmen uyumludur. Buna karşın θ yapısı uyumlu değildir. Yani çökelti ile matris atomları arasında her iki yönde uyumsuzluk vardır (Şekil 4.5.d). θ yapısında çökeltiler büyümeye ve kabalaşmaya başlar. Partiküller birleşerek daha büyük partiküller oluştururken θ partiküllerinin sayısı azalır ve komşu partiküller arasındaki mesafe artar. Bu nedenle sertlik daha düşüktür (Ardell, 1985; Van vd., 1981).

Yaşlandırma olayında çökelti fazının oluşum kademeleri özetlenirse, bu kademeler sırası ile,



şeklindedir.

4.4 Yeniden Çözeltiye Alma (Retrogression) ve Yeniden Yaşlandırma (Reaging) İşlemi (RRA)

7075 Alüminyum alaşımına uygulanan klasik ısıt işlemlerle ilgili bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 7075 Al alaşımında uygulanan klasik ısıt işlemler ile ilgili değerler (Asm, 1997).

Alaşımın ısıt işlem durumu *	Yaşlandırma sıcaklığı	Yaşlandırma zamanı
	(°C)	(saat)
7075 (0)	----	----
7075-T6	121	24
7075-T73	107+178	8+8

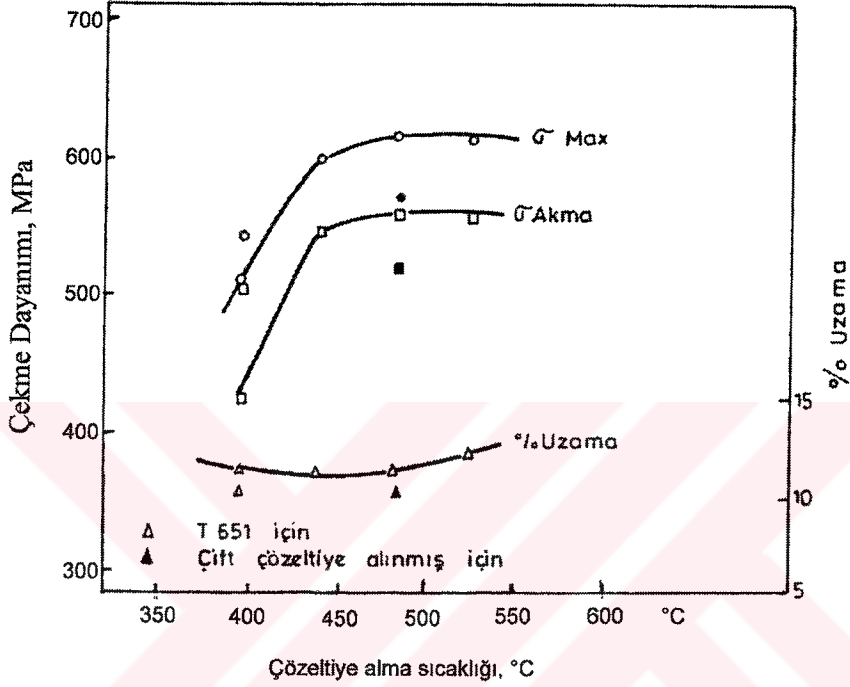
* Çözeltiye alma ısıt işlemi (465°C’de 1 saat tutma) + derhal su verme işleminden sonraki değerler.

7075 alüminyum alaşımı 121°C’de 24 saat yaşlandırıldığında T6 durumu elde edilmekte, 107°C’de 8 saat ve 178°C’de 8 saat yaşlandırıldıklarında T73 durumu elde edilmektedir. T6 ısıt işlemi ile en yüksek mukavemet elde edilirken yapı gerilmeli korozyona hassas olmaktadır. T73 ısıt işlemi ile ise T6’ ya göre daha düşük mukavemet ve daha yüksek gerilmeli korozyon dayanımına sahip yapı oluşturulmaktadır. T6 ve T73 ısıt işlemlerinin istenilen özelliklerinin optimizasyonunu sağlayabilmek için 1974 yılında, “Retrogresyon ardından Yeniden Yaşlandırma - RYY (Retrogression and Reaging-RRA)” olarak bilinen, iki aşamalı bir ısıt işlem, Cina tarafından geliştirilmiştir. Retrogresyon ardından Yeniden Yaşlandırma işlemi, aşağıdaki gibi uygulanır:

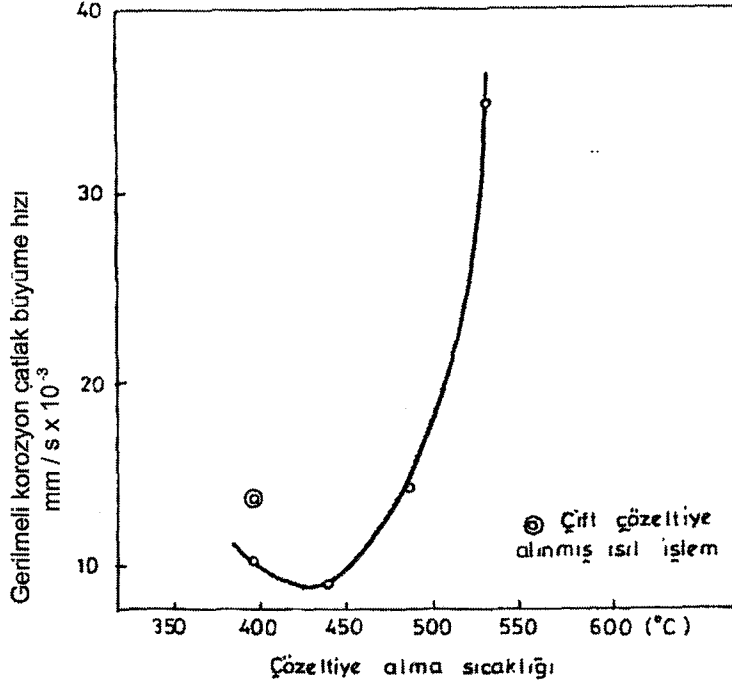
- Alaşıma yapay yaşlandırma ısıt işlemi (T6) uygulanır.
- Retrogresyon Aşaması: Bu, alaşımın kısa süreli olarak, yaşlandırma sıcaklığının üzerinde, çözündürme sıcaklığının altında bir sıcaklıktaki bir ortamda tutulmasıdır.
- Yeniden Yaşlandırma Aşaması: Alaşım T6 yaşlandırma sıcaklığında yeniden yaşlandırılır

Alüminyum alaşımı için çözeltiye alma sıcaklığı alaşımın bileşimine ve istenen özelliklere göre değişmektedir. 7075 alüminyum alaşımı için çözeltiye alma sıcaklığı genellikle 465°C’ dir. Shastry ve arkadaşları (1981) yaptıkları çalışmaya göre, çözeltiye alma sıcaklığına bağlı olarak akma ve çekme mukavemeti 393-438°C aralığında artmış ve sıcaklığın daha fazla artırılması önemli bir değişiklik oluşturmamıştır (Şekil 4.6). Benzer şekilde gerilmeli korozyon çatlağı büyüme hızı (Şekil 4.7) 438°C’ye kadar azalmış ve sonra artan sıcaklık ile hızla artmıştır. Tane sınırlarında eriyen element konsantrasyonunun artması, korozyon potansiyelini yükseltir ve taneler arası çatlak ilerleme hızını artırır. Auger elektron

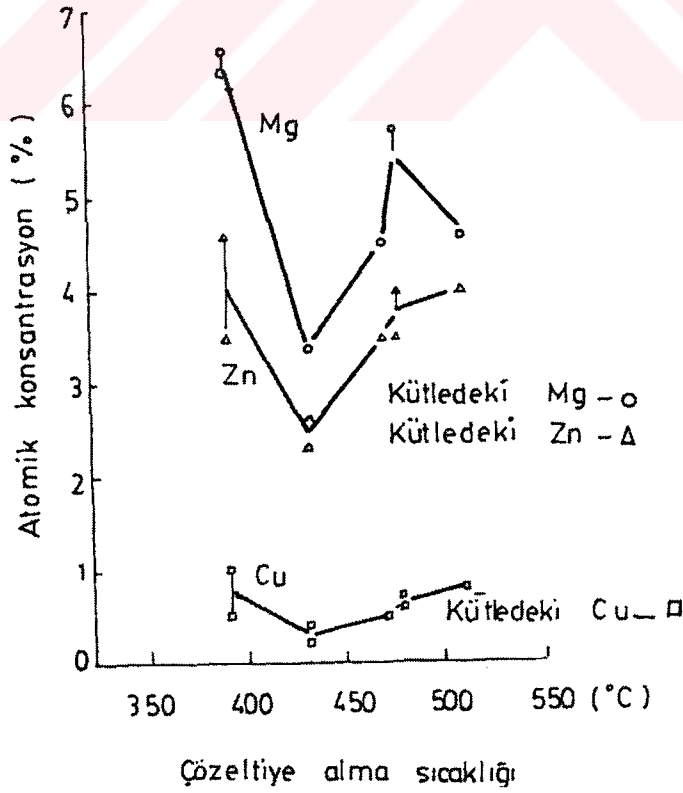
spektroskopisi ile yapılan çalışmaya göre 436°C'ye kadar tane sınırında eriyen element konsantrasyonu azalmakta, 482°C'den yüksek sıcaklıklarda ise artmaktadır (Şekil 4.8). Yapılan çalışmalar neticesinde 7075 Alüminyum alaşımı için 465°C optimum çözeltiye alma sıcaklığı olarak uygundur.



Şekil 4.6 7075-T6 Al alaşımının akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama özelliklerine çözeltiye alma sıcaklığının etkisi (Shastry vd., 1981).

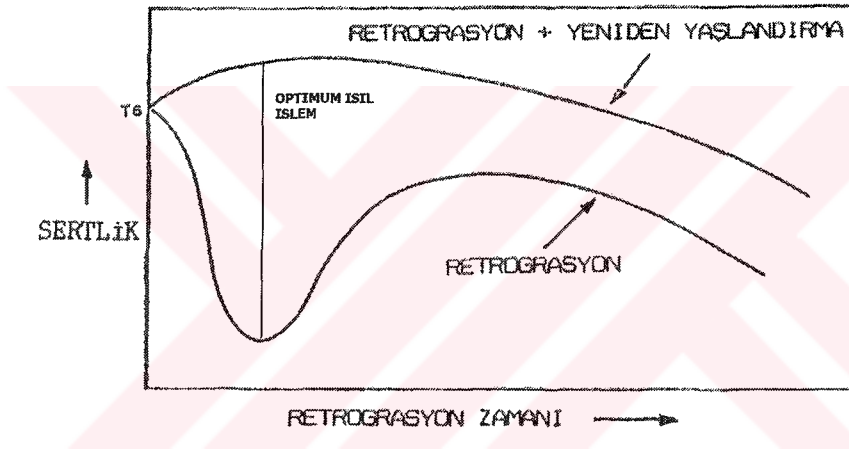


Şekil 4.7 7075-T6 Al alaşımında çözeltiye alma sıcaklığı ile gerilmeli korozyon çatlak hızının değişimi (Shastry vd., 1981).



Şekil 4.8 Cu, Zn ve Mg atomik konsantrasyonlarının, 7075Al alaşımının kırılma yüzeyinde, çözeltiye alma sıcaklığı ile değişimi (Shastry vd., 1981).

RYY ısıt işlemleri, Cina tarafından ilk olarak 7075 alüminyum alaşımına uygulanmıştır. Bu işlem, yukarıda açıklandığı üzere, malzemeye T6 durumunda uygulanmakta ve malzemeyi 200-280°C arasında kısa süreli ısıttıktan sonra, yeniden yaşlandırmayı içermektedir. Cina'nın yaptığı çalışmada, retrogresyon işlemi ile sertliğin kısa süre içinde en düşük bir değere düştüğü, daha sonra bir miktar arttığı ve tekrar azaldığı gözlenmiştir. Kısa süreli retrogresyon işleminden sonra yapılan yeniden yaşlandırma işleminin malzeme dayanımını T6 durumundaki değere getirdiği gözlenmiştir. Cina'ya göre retrogresyon ile en düşük sertlik sağlanır ve malzeme bu durumda tekrar yaşlandırılırsa, T6 dayanımının yanısıra, T73 gerilmeli korozyon direnci de elde edilebilir (Şekil 4.9) (Cina ve Ranish, 1974; Cina ve Zeidess, 1992).



Şekil 4.9 Retrogresyon ve RYY ısıt işlemleri esnasında sertliğin retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi (Cina ve Ranish, 1974).

Minimum sertlik değerine ulaşmak için geçen retrogresyon süresi, retrogresyon sıcaklığına bağlı olarak değişir. Cina'nın ince (1-1,5 mm kalınlıkta) numunelerle 200-280°C arasındaki retrogresyon sıcaklıklarında yaptığı çalışmada süre 5-60 saniye arasında değişmektedir. Bu sürenin çok az olması bulunan retrogresyon sürelerinin kalın parçalar için kullanımını engellemektedir (Geçkinli ve Tuncer, 1983). Wallace ve arkadaşları (1998) tarafından yapılan çalışmada ise kalın kesitli numuneler kullanılmış ve buna bağlı olarak, retrogresyon eğrisindeki en düşük değere, çeşitli retrogresyon sıcaklıkları için 2-15 dak. sonunda ulaşılmıştır.

4.5 Al – Zn – Mg Alaşımlarında Yaşlandırma Aşamasında Çökelti Fazının Oluşması

Al-Zn-Mg alaşım sisteminde Zn ve Mg miktarlarına bağlı olarak oluşacak kararlı faz η ve T kararlı fazlardır. Oluşan çökelti fazları $MgZn_2$ (η fazı), $Mg_3Zn_3Al_2$ veya $(AlZn)_{49}M_{32}$ (T fazı) şeklindedir.

Yaşlandırma işleminde, aşırı doymuş yapıdan kararlı fazların oluşması genel olarak,

Aşırı doymuş (α) $\longrightarrow$ GP zonları $\longrightarrow$ Geçiş fazı $\longrightarrow$ Kararlı fazlar

şeklinde olduğu kabul edilmiş olmasına rağmen, 7000 grubu alüminyum alaşımları için yaşlandırma işlemi esnasında oluşan çökelti fazlarının oluşma evreleri hakkında çeşitli görüşler ileri sürülmüştür. Bunlar,

Aşırı doymuş (α) $\longrightarrow$ α + GP zonları $\longrightarrow$ α + η' $\longrightarrow$ α + η

Aşırı doymuş (α) $\longrightarrow$ α + GP zonları $\longrightarrow$ α + η

Aşırı doymuş (α) $\longrightarrow$ α + η' $\longrightarrow$ α + η

Aşırı doymuş (α) $\longrightarrow$ α + η

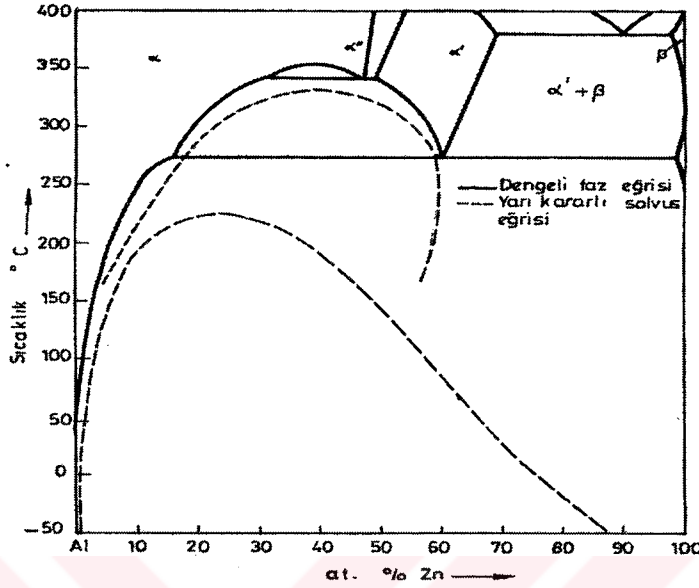
şeklinde özetlenilebilir (Van vd., 1981). Yaşlandırma işlemi sonucunda oluşan çökelti fazlarının sırası nasıl değişirse değişsin, alaşımın özellikleri üzerinde büyük etkiye sahip oldukları bilindiğinden, fazların ayrı ayrı özellikleri bilinmelidir.

4.5.1 GP Zonları

GP zonları, yaşlandırmanın ilk safhasında oluşan çok küçük ($<3nm$), çözünen elementçe zengin kümelerdir. GP zonlarının bileşimi alaşımın bileşiminden bağımsız olmakla beraber GP zonları yarı kararlı olarak oluşmaktadırlar. Bu durum herhangi bir denge diyagramında gösterilen fazlardan daha az kararlı olmalarına rağmen Al-Zn ikili denge diyagramında (Şekil 4.10) noktalı çizgiler GP zonlarının oluşum alanının sınırlarını gösterir.

7075 Alüminyum alaşımında, GP zonları düşük sıcaklıklarda ($T \leq 75^\circ C$) aşırı yaşlandırma sonucunda oluşan ilk ayrışma ürünüdür. Al-Zn-Mg alaşımlarında bileşimi Al-MgZn₂ faz alanı içindedir. Küreseldir ve YMK yapıda bulunur. GP zonları $75^\circ-150^\circ C$ aralığında X-ışınları çalışmalarının sonuçlarına göre (100) matris düzlemlerine paralel ve alternatif olarak dizilmiş Zn- , Mg- ile zenginleşmiş tabakalardan oluşmuştur. GP zonlarının Zn ve Mg içeriği Zn/Mg oranına bağlı olarak değişmektedir. $0,5 \leq Zn/Mg \leq 12$ aralığında zonun Zn konsantrasyonu yaklaşık % 40 Zn oranına ulaşırken, Mg konsantrasyonu % 20 Mg - % 60 Mg aralığında

değişmektedir. Zn/Mg oranı > 2 ise GP zonunun Zn içeriği oda sıcaklığında % 40 Zn'yu aşabilmektedir, Zn/Mg oranının yüksek değerleri için Al-Zn ikili alaşımlarda ulaşılan değer olan %70 Zn değerine ulaşılmaktadır (Shewmon, 1989).



Şekil 4.10 Al-Zn denge diyagramı (Shewmon, 1989).

Al-Zn-Mg alaşımlarında GP zonunun oluşma ve ayrışma sıcaklığı alaşımın bileşimine bağlıdır. Mg konsantrasyonuna bağlı olarak alaşımların temel özellikleri önemli değişiklik göstermediğinden, yarıkararlı faz diyagramlarında Zn konsantrasyonu kullanılmaktadır.

GP zonlarının oluşumu, çekirdeklenme ve büyüme teorilerine göre homojen çekirdeklenme sonucunda meydana gelmektedir. GP zonlarının çekirdeklenmesi, su vermeden hemen sonra matriste Zn ve Mg atomlarının toplanmasının tamamlanmasından sonra oluşmaktadır. Bu prosesin hızı, magnezyum atomlarının toplanma ve eriyen atomları saran boşluklar veya eriyen atom kümeleri ile kontrol edilmektedir. Zonların büyümesi, küçük zonların çözünmesi ve çözünen zonlara ait atomların daha geniş boyutlu zonlar ile birleşmesiyle oluşmaktadır. Büyüme zonların toplam sayısını azaltmakta ve ortalama çaplarını artırmaktadır. Bununla beraber bu büyüme esnasında zonun ortalama bileşimi ve zonların ortalama hacmi sabit kalabilir. Aşırı doymuşluğun azalmasıyla ve ayrıca uyumlu deformasyonlar ile işlem yavaşlamaktadır (Hatch, 1994; Shewmon, 1989).

4.5.2 η' Fazı

GP zonlarını içeren alaşım, yaşlandırma sıcaklığında daha uzun süre tutulursa yeni bir çökelti çekirdeklenir ve büyür. Matrisle en az bir arayüzeyi uyumlu olan (yarı uyumlu) bu ara çökelti Al-Zn-Mg alaşımlarında η' olarak adlandırılırlar. Alaşımın serbest enerjisinin ancak zamanla azalabilmesinden dolayı bu yeni çökelti daha yavaş çekirdeklenirse bile GP

zonlarından daha karardır. Bu yeni keltirer geçiş fazlarıdır. Bu keltirerin kristal yapıları matrisin kristal yapısından farklıdır. GP zonlarından daha büyük olsalar da alaşımı, aynı alaşımdaki GP zonlarından daha çok sertleştirirler.

Al-Zn-Mg alaşımlarında Al-MgZn₂ faz alanı içinde bulunan η' geçiş fazının ilk defa Graft tarafından gözlenildiği ve Graft'a göre hekzagonal yapıda ve $a = 4,96 \text{ \AA}$ ve $c = 8,68 \text{ \AA}$ kafes parametresinde olduğu açıklanmıştır (Shewmon, 1989).

4.5.3 η ve T Kararlı Fazları

Al-Zn-Mg alaşımlarında kararlı faz olarak MgZn₂ formülü ile gösterilen η fazı, hekzagonal kristal yapısında, kafes parametresi $a = 5,16 - 5,21 \text{ \AA}$, $c = 8,49 - 8,55 \text{ \AA}$ dır.

η fazı uyumsuzdur ve genellikle uyumsuz veya yarı uyumlu bir arayüzeyde ekirdekleşmektedir. η fazı alüminyum matris ile uyumsuz sınırlar oluşturmaktadır. Düşük sıcaklıklarda Mg / Zn oranı $1/3 - 1/2$ aralığında kararlı η fazı oluşmaktadır.

Kararlı faz olan T fazı, yüksek sıcaklıklarda oluşmakta ve bileşimi çok yüksek çinko ve magnezyum içermektedir. Bileşimi % 20-35 Mg, % 22-65 Zn ile geniş bir aralıktadır. (AlZn)₄₉Mg₃₂ veya Mg₃Zn₃Al₂ formülü ile karakterize edilir. Yaklaşık 190°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda oluşmaktadır. Kübik sistemde bulunur. Çinkonun artmasıyla kafes parametresi 14,29Å° dan 14,71Å° a değişmektedir. Alüminyum matris ile uyumsuz sınırlar oluşturmaktadır. Al-Zn-Mg alaşımlarında düşük sıcaklıklarda T fazının oluşum aralığı daralmakta ve 200°C'den yüksek sıcaklıklardaki yaşlandırma işlemlerinde oluşmaktadır. Bundan dolayı bazı araştırmacılar düşük sıcaklıklarda oluşan η fazına ara faz adını vermektedirler. T fazının kritik çekirdekleşme boyutu büyüktür, iri çökelti yapısına uygun şekilde, büyük partiküllü olarak aşırı yaşlanmış alaşımlarda bulunmaktadır. Alaşım sisteminin mukavemet artışında hiçbir önemli rolü yoktur (Shastry vd., 1981; Cina ve Zeidess, 1992).

4.5.4 kelti İçermeyen Zon (PFZ)

kelti içermeyen zon, yaşlandırma ile sertleştirilebilen alaşımlarda tane sınırı başta olmak üzere, alt tane sınırları ve iri dispersoidler civarında gzlenilir. kelti içermeyen zonun oluşumu, suverme esnasında tane sınırlarında atom boşlukların toplanmasıyla, keltirerin ekirdekleşeceği yerlerin ve çözünen atomların azalmasıyla meydana gelir. PFZ, Al-Zn-Mg alaşımının mekanik özellikleri ve gerilmeli korozyon özelliklerinde etkilidir. Tane sınırının civarındaki atom boşluklarının kısmi yok olması PFZ'nin oluşumu için önemlidir. Tane sınırlarının civarları evre alanlar kadar yaklaşık aynı doymuşluğa sahip olsalar bile PFZ

oluşmaktadır. PFZ'nin genişliği çözeltiye alma sıcaklığı ve çözeltiye alma zamanına, suverme hızına ve yaşlandırma sıcaklığına bağlıdır. Bu deneysel olarak 120°C ve 180°C' de yaşlandırma işlemi yapılarak incelenmiş ve 120°C' de dar PFZ genişliği görülürken 180°C' de daha geniş PFZ genişliğini gözlenmiştir .

Yaşlandırma esnasında çökeltilerin oluşması, matristeki eriyen atom konsantrasyonunun hızla düşmesine neden olmaktadır. PFZ içindeki eriyen atom konsantrasyonu ise uzun süre yaşlandırma sonucunda bile matristekinden yüksek kalabilmektedir. Konsantrasyon gradyanları tane sınırına doğru ve tane içlerine doğru difüzyonla ilerlemektedir. Bunun sonucunda tane sınırında ve PFZ sınırındaki çökeltilerin ortalama boyutları tane içindeki çökeltilerin ortalama boyutlarından büyük olmaktadır.

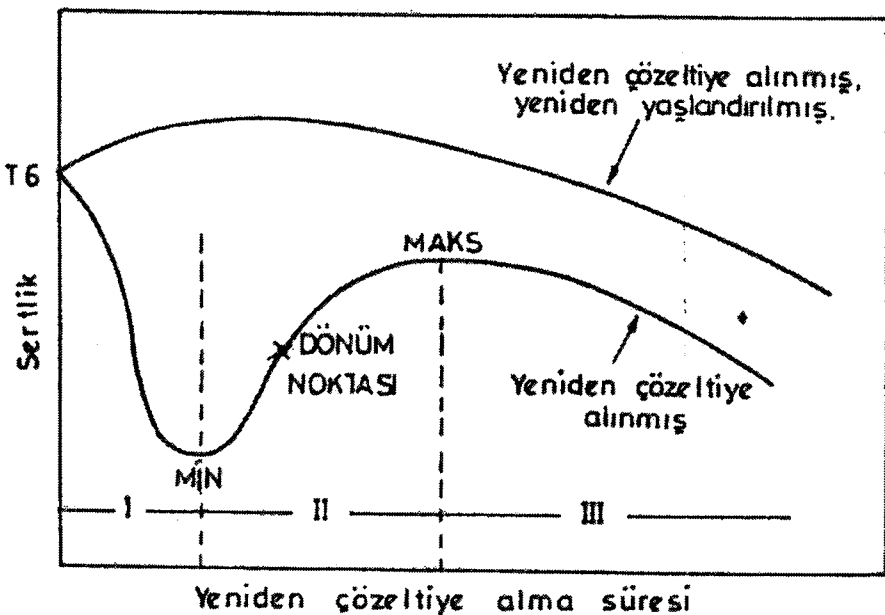
Matriste ve PFZ deki eriyen atom içeriğinin değişik olması, $\sigma_M - \sigma_{PFZ}$ arasında fark olmasına neden olabilmekte ve bu fark taneler arası kırılmayı kolaylaştırabilmektedir (Geçkinli ve Tuncer, 1983).

4.6 RRA Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi

RRA işleminin mekanik özelliklere etkisini belirleyebilmek için bütün araştırmacılar çekme dayanımı ve sertlik ölçme deneyleri yapmışlardır.

Çizelge 4.2 7075 Al alaşımının klasik T6 ve T73 ısıt işlemlerine ait mekanik özellikler (Asm, 1997).

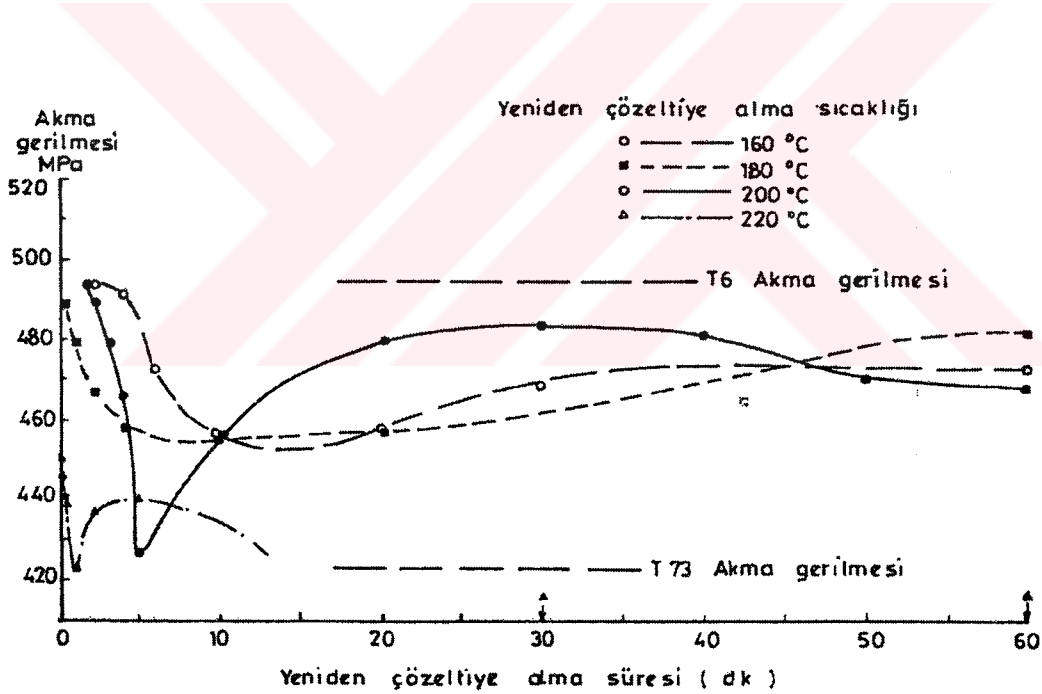
Isıl işlem	σ_{akma} (MPa)	$\sigma_{çekme}$ (MPa)	% uzama (50 mm'de)
T6	505	570	11
T73	435	505	13



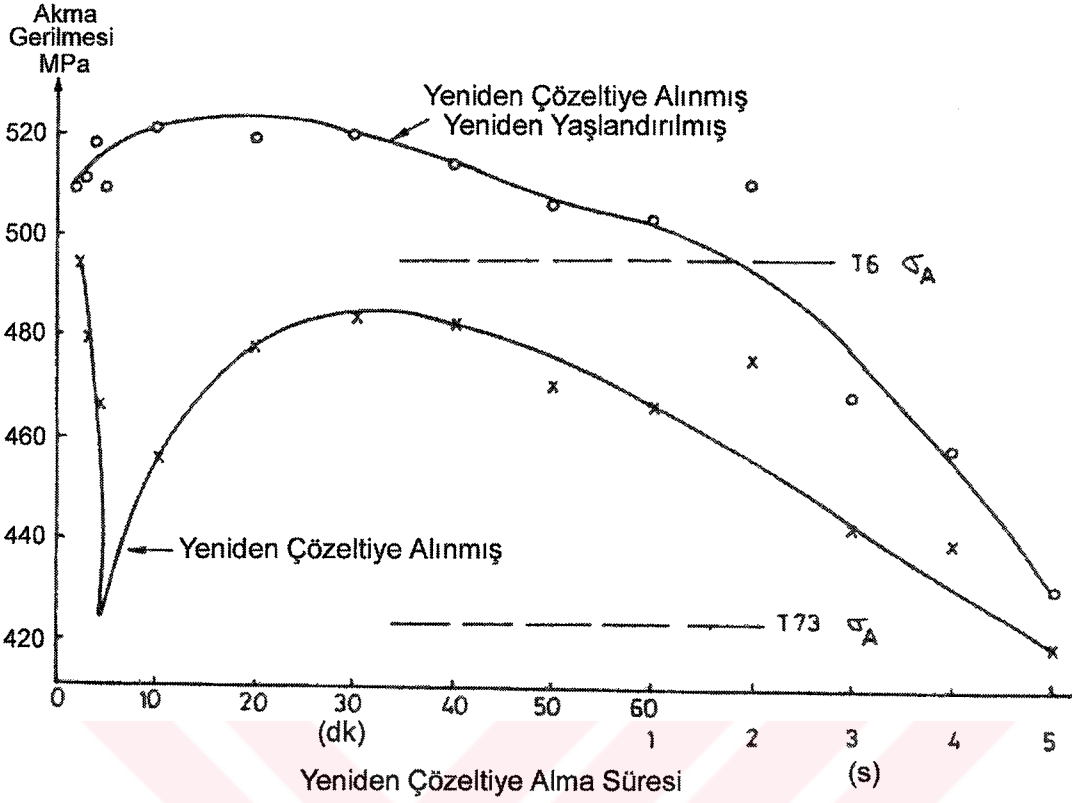
Şekil 4.11 RRA işlemi esnasında sertlikteki değişimin şematik gösterilişi (Wallace vd., 1998).

Yeniden çözeltiye alma eğrisi Şekil 4.11’de görüldüğü gibi üç kısma ayrılmıştır. Birinci kısımda sertlik çok hızlı bir şekilde minimuma düşer. İkinci kısımda sertlik artan yeniden çözeltiye alma süresi ile bir miktar artış gösterir ve ikinci maksimum değere ulaşır, üçüncü kısımda ise sertlik hızlı bir şekilde azalır. Cina’ya (1974) göre optimum işlem , kısa süre yeniden çözeltiye alma işlemi yapılarak sertlikte minimum değere ulaşılmalı ve bu işlemi yeniden yaşlandırma işlemi takip etmelidir. Böylece mukavemet T6’nın mukavemet seviyesine (hatta bir miktar üzerine) çıkartılabilmektedir. Yeniden çözeltiye alma süresinin artışı, yeniden yaşlandırma işleminde mukavemetin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 4.12).

Yeniden çözeltiye alma ve RRA işlemleri sonucunda elde edilen mukavemet değerleri, sertlik değerlerine paralellik göstermektedir. Şekil 4.13’ de 200°C’ de Yeniden çözeltiye alma işlemi uygulanan malzemenin yeniden yaşlandırma sonucunda akma mukavemeti, yaklaşık 60 dakika Yeniden çözeltiye alma zamanına kadar T6’nın minimum akma mukavemeti üzerindedir (Wallace vd., 1991).



Şekil 4.12 60 dakikaya kadar Yeniden Çözeltiye Alma sürelerinde yeniden çözeltiye alma işlemi uygulanmış 7075-T6'nın akma dayanımının değişimi (Wallace vd., 1991).



Şekil 4.13 200°C’de yeniden çözeltiye alınmış ve yeniden yaşlandırılmış 7075-T6’ya ait akma dayanımı-çözeltiye alma sıcaklığı süresi eğrisi (Wallace vd., 1991).

4.7 RRA Isıl İşleminin Gerilmeli Korozyon Çatlamasına Etkisi

7000 serisi alaşımlar, maksimum mukavemete yaşlandırıldıklarında taneler arası kırılmalığa neden olan gerilmeli korozyon çatlamasına çok duyarlıdır. Aşırı yaşlandırılmış alaşımlar ise gerilmeli korozyon çatlamasına karşı dirençli olmakla beraber mukavemet değerleri %15 kadar düşüktür. Yaşlandırma işlemleri sonucunda önemli mikro yapı değişikliği, tane sınırı partikül boyut ve dağılımı, eriyen atom konsantrasyonu, PFZ’ nin genişliği ve matriks çökeltilerinin boyut ve dağılımında oluşur. Yaşlandırılan alaşımlarda gerilmeli korozyon çatlak hassasiyetinin nedenlerini saptamak için yapılan çalışmalar, tane sınırlarının mikro yapısı üzerinde yoğunlaşmıştır (Shastry vd., 1981; Narasimha 1988).

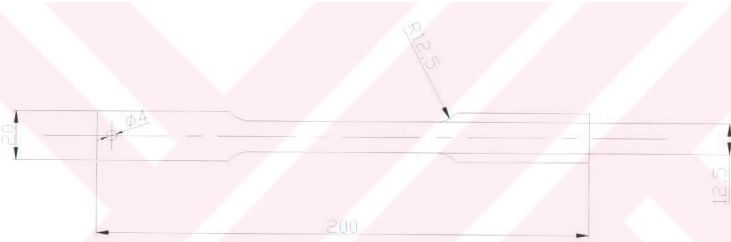
Tane sınırında çökeltilerin boyutunun artmasının gerilmeli korozyon direnci üzerinde pozitif etkisinin, tane sınırı çökeltiler-matris arayüzeyinde hidrojenin mevcudiyetine bağlanmaktadır. Bu nedenle alaşım üzerinde hidrojenin etkisi ayrıntılı bir şekilde incelemeyi gerektirmektedir. Hidrojen gevrekliğinin gerilmeli korozyon çatlağına etkisi tartışmaları ise halen devam etmektedir (Narasimha 1988).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

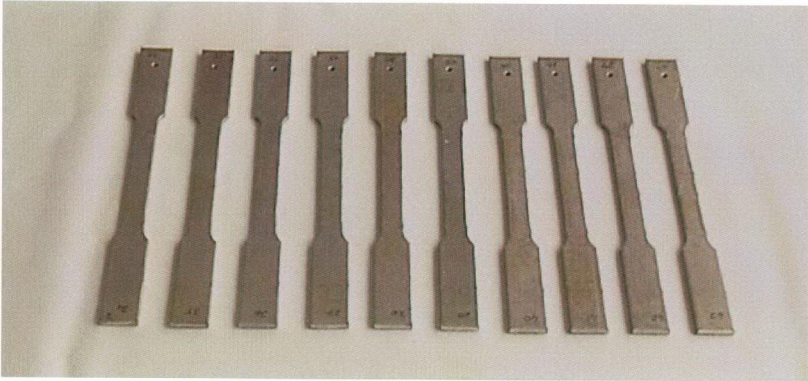
Deneyisel çalışmalarda, THY Bakım Müdürlüğü'nden temin edilen ve ALCOA firması tarafından üretilen, her iki yüzeyi 7072 giydirilmiş 7075-T0 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. 600x600x3 mm boyutlarında levha haldeki malzemeden standartlara uygun olarak çekme dayanımı ve sertlik ölçüm deneyleri için numuneler çıkarılmıştır.

5.1 Çekme Dayanımı Deneyi

Çekme dayanımı deneyleri için numuneler TS EN 485-2 standardına göre CNC Punch tezgahında hassas bir şekilde hazırlanmıştır (Şekil 5.1). Numunelere uygulanacak ısıt işlemler esnasında tuz banyosuna daldırılmasını sağlamak amacıyla bir uçlarından Ø4mm çapında delik açılmıştır (Şekil5.2).



Şekil 5.1 TS EN 485-2 standardına göre çekme dayanımı deneyi numuneleri.



Şekil 5.2 Çekme dayanımı deneyi numuneleri.

Deney 6ncesinde 6ncelikle numunelerin a genişliği ve b kalınlığı dijital kumpas yardımıyla hassas olarak 6l66lerek L_0 6l66l6 boyu, ilgili form6llerden hesaplanmış ve hazırlanan numunelerin 6zerine işaretlenmiştir. Hazırlanan 43 adet numune ısıt işlemsiz, T6, T73 ve 200°-220°C RRA ısıt işlemi uygulanmış halde 6ekme dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. 5000 N maksimum y6k kullanılan deney cihazının kadrasında okuma aralığı 10 N'dur. Numunelerin 6ekme dayanımı deneyleri Mohr & Federaff AG marka hidrolik 6ekme makinesinde ger6ekleştirilmiştir (şekil 5.3).



şekil 5.3 Mohr & Federaff AG marka 6ekme makinesi.

6ekme deneyleri Metal6rji M6hendisliği B6l6m6, Mekanik Deneyler laboratuvarında yapılmıştır.

6ekme dayanımı deneyi sonucunda elde edilen değerler 6izelge 5.1 ve 6izelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 R200° ve RRA 200°C numunelerin çekme dayanımı deneyi değerleri.

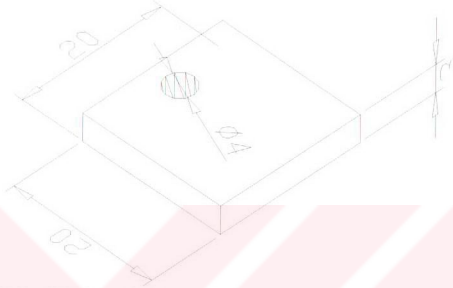
Uygulanan ısıt işlem	Retrogresyon Süresi	do		Ao (mm ²)	Lo (mm)	Lk (mm)	Rm MPa	Rp0,2 MPa	% uzama
T0	-	12,43	3,08	38,28	34,96	38,5	208,84	95,06	10,00
T6	-	12,56	2,99	37,55	34,62	42	484,42	426,25	20,00
T73	-	12,41	2,99	37,11	34,42	39,5	423,01	381,88	12,86
T6+R200	2 dakika	12,62	3	37,86	34,76	41,5	204,70	173,2068	18,57
T6+R200	3 dakika	12,48	3	37,44	34,57	41	220,10	200,0874	17,14
T6+R200	4 dakika	12,33	3,05	37,61	34,65	42	208,69	143,4725	20,00
T6+R200	5 dakika	12,39	3	37,17	34,45	39,5	226,97	142,9193	12,86
T6+R200	8 dakika	12,35	3,01	37,17	34,45	39,5	369,46	303,4823	12,86
T6+R200	10 dakika	12,42	2,99	37,14	34,43	38,5	390,97	318,0733	10,00
T6+R200	15 dakika	12,45	2,96	36,85	34,30	39	385,99	357,3981	11,43
T6+R200	20 dakika	12,47	3,01	37,53	34,62	40,5	365,90	325,2457	15,71
T6+R200	30 dakika	12,38	3,01	37,26	34,49	39,5	394,89	334,6502	12,86
T6+R200	40 dakika	12,31	2,99	36,81	34,28	42	239,87	176,7489	20,00
T6+RRA200	2 dakika	12,37	3,01	37,23	34,48	40	216,05	172,84	14,29
T6+RRA200	3 dakika	12,32	2,97	36,59	34,18	40,5	225,21	180,17	15,71
T6+RRA200	4 dakika	12,3	3	36,90	34,32	39	223,32	170,77	11,43
T6+RRA200	5 dakika	12,56	3,22	40,44	35,93	38,5	203,75	135,83	10,00
T6+RRA200	8 dakika	12,5	3,18	39,75	35,62	41	202,37	139,13	17,14
T6+RRA200	10 dakika	12,52	3,18	39,81	35,65	39,5	199,58	124,74	12,86
T6+RRA200	15 dakika	12,54	3,18	39,88	35,68	41	214,02	125,9	17,14
T6+RRA200	20 dakika	12,52	3,18	39,81	35,65	40,5	236,54	124,5	15,71
T6+RRA200	30 dakika	12,52	3,18	39,81	35,65	40	204,51	120,3	14,29
T6+RRA200	40 dakika	12,53	3,17	39,72	35,61	40	204,99	108,53	14,29

Çizelge 5.2 R220° ve RRA 220°C numunelerin çekme dayanımı deneyi değerleri.

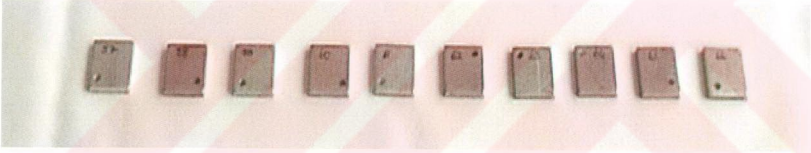
Uygulanan ısıtılma işlemi	Retrogresyon Süresi	do		Ao (mm ²)	Lo (mm)	Lk (mm)	Rm MPa	Rp0,2 MPa	% uzama
T6+R220	1 dakika	12,52	3,15	39,44	35,48	39,5	208,95	120,3021	12,86
T6+R220	2 dakika	12,56	3,15	39,56	35,54	41	198,36	102,3805	17,14
T6+R220	3 dakika	12,53	3,14	39,34	35,44	40,5	206,95	125,4245	15,71
T6+R220	4 dakika	12,53	3,14	39,34	35,44	39,5	209,44	139,6292	12,86
T6+R220	5 dakika	12,51	3,17	39,66	35,58	38	205,32	132,8539	8,57
T6+R220	6 dakika	12,59	3,15	39,66	35,58	41	200,36	103,4132	17,14
T6+R220	7 dakika	12,53	3,17	39,72	35,61	41,5	197,58	111,1402	18,57
T6+R220	10 dakika	12,48	3,13	39,06	35,31	40,5	203,42	47,86369	15,71
T6+R220	15 dakika	12,52	3,16	39,56	35,54	40	250,44	175,3061	14,29
T6+R220	20 dakika	12,45	3,15	39,22	35,38	39,5	240,14	123,1475	12,86
T6+RRA220	1 dakika	12,53	3,15	39,47	35,50	42	251,03	183,6818	20,00
T6+RRA220	2 dakika	12,53	3,13	39,22	35,38	43	242,63	114,9302	22,86
T6+RRA220	3 dakika	12,59	3,16	39,78	35,64	42,5	226,85	116,6671	21,43
T6+RRA220	4 dakika	12,55	3,15	39,53	35,52	38,5	434,42	277,2981	10,00
T6+RRA220	5 dakika	12,48	3,14	39,19	35,37	36,5	207,78	103,8898	4,29
T6+RRA220	6 dakika	12,51	3,15	39,41	35,47	41	246,45	151,6642	17,14
T6+RRA220	7 dakika	12,57	3,11	39,09	35,33	40	362,16	251,4996	14,29
T6+RRA220	10 dakika	12,5	3,15	39,38	35,45	42	201,81	73,3839	20,00
T6+RRA220	15 dakika	12,47	3,14	39,16	35,35	39,5	202,94	88,78426	12,86
T6+RRA220	20 dakika	12,46	3,13	39,00	35,28	42	206,26	71,74351	20,00

5.2 Sertlik Ölçme Deneyi

Sertlik ölçme deneyleri için 600x600x3 mm boyutlarındaki levhadan 20x20x3 mm boyutlarında pullar CNC Punch tezgahında hassas olarak kesilmiştir (Şekil 5.4). Numunelere uygulanacak ısıt işlemler esnasında tuz banyosuna daldırılmasını sağlamak amacıyla bir uçlarından Ø4mm çapında delik açılmıştır (Şekil 5.5).

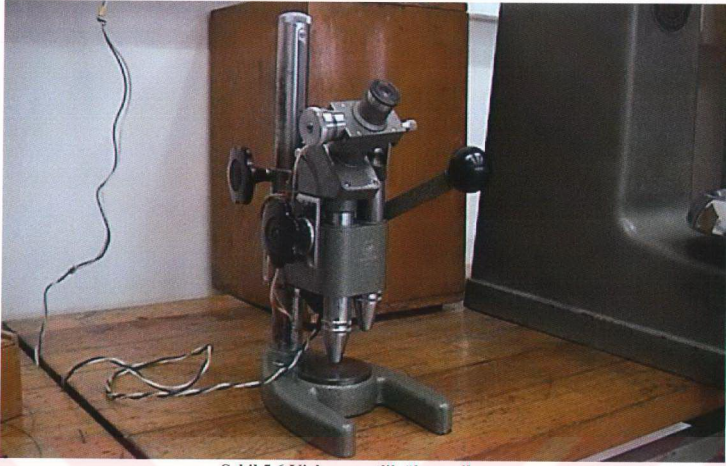


Şekil 5.4 Sertlik ölçme deneyleri için hazırlanan pul şeklindeki numuneler.



Şekil 5.5 Sertlik ölçme deneyi numuneleri.

Isıl işlemler sonrası, iç yapı değişikliği nedeni ile meydana gelen değişimler sertlik ölçümleri ile saptanmaya çalışılmıştır. Bu nedenle, ısıt işlemlerde yüzeyde oluşabilecek kusurlar ve malzeme yüzeyinde varolan 7072 Alclad kaplama göz önüne alınarak numuneler, 180, 240, 320, 400, 600 numaralı su zımparasından geçirilmiştir. Böylece malzeme yüzeyinden en az 0,1 mm malzemenin mekanik yolla kaldırılması sağlanmıştır. Sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçme metoduna göre yapılmıştır. Sertlik ölçme deneyleri Şekil 5.6'de resmi görülen Praha Mecopta marka sertlik ölçme cihazında gerçekleştirilmiştir ve 98 N yük kullanılmıştır. Yük, numunelere 30 saniye boyunca uygulanmış daha sonra cihaz bünyesindeki x12 büyütme özellikli optik mikroskop vasıtası ile iz köşegenleri her iki yönde de ölçülerek ortalaması alınmıştır. Hazırlanan 43 adet numunelerin her biri için üç ölçüm yapıp ortalaması alınarak sertlik değeri hesaplanmıştır.



Şekil 5.6 Vickers sertlik ölçme cihazı.

Sertlik ölçümleri Metalürji Mühendisliği Bölümü, Mekanik Deneyler laboratuvarında yapılmıştır.

Sertlik ölçüm deneyi sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 R200° ve RRA 200°C numunelerin sertlik ölçüm deneyi değerleri.

Uygulanan ısıtıl işlem	Retrogresyon Süresi	Sertlik Değeri (VSD)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
T0	-	58,20	61,10	60,70	60
T6	-	187,60	184,30	183,10	185
T73	-	158,70	162,50	161,80	161
T6+R200	2 dakika	177,20	173,40	171,40	174
T6+R200	3 dakika	176,90	175,20	172,90	175
T6+R200	4 dakika	169,30	175,40	171,30	172
T6+R200	5 dakika	168,70	167,60	173,70	170
T6+R200	8 dakika	177,40	171,80	169,80	173
T6+R200	10 dakika	180,10	173,50	177,40	177
T6+R200	15 dakika	181,20	179,60	179,20	180
T6+R200	20 dakika	169,80	173,80	175,40	173
T6+R200	30 dakika	168,50	170,90	170,60	170
T6+R200	40 dakika	169,30	166,70	165,00	167
T6+RRA200	2 dakika	177,60	174,90	175,50	176
T6+RRA200	3 dakika	180,20	178,60	175,20	178
T6+RRA200	4 dakika	185,30	188,40	187,30	187
T6+RRA200	5 dakika	181,50	183,70	186,80	184
T6+RRA200	8 dakika	188,30	190,10	185,60	188
T6+RRA200	10 dakika	184,60	186,90	183,50	185
T6+RRA200	15 dakika	177,80	178,30	180,90	179
T6+RRA200	20 dakika	178,60	179,40	179,00	179
T6+RRA200	30 dakika	175,80	174,20	181,00	177
T6+RRA200	40 dakika	174,60	177,80	175,60	176

Çizelge 5.4 R220° ve RRA 220°C numunelerin sertlik ölçüm deneyi değerleri.

Uygulanan ısı işlem	Retrogresyon Süresi	Sertlik Değeri (VSD)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
T6+R220	1 dakika	166,40	163,80	164,80	165
T6+R220	2 dakika	176,30	173,40	172,30	174
T6+R220	3 dakika	166,10	169,70	168,20	168
T6+R220	4 dakika	171,50	173,90	170,60	172
T6+R220	5 dakika	176,20	179,10	175,70	177
T6+R220	6 dakika	159,60	157,90	165,50	161
T6+R220	7 dakika	158,10	161,50	157,40	159
T6+R220	10 dakika	158,20	153,60	153,20	155
T6+R220	15 dakika	149,70	153,40	149,90	151
T6+R220	20 dakika	149,30	148,90	157,80	152
T6+RRA220	1 dakika	184,60	179,40	176,00	180
T6+RRA220	2 dakika	177,20	181,30	178,50	179
T6+RRA220	3 dakika	176,60	174,90	176,50	176
T6+RRA220	4 dakika	169,40	175,10	177,50	174
T6+RRA220	5 dakika	174,30	171,20	164,50	170
T6+RRA220	6 dakika	166,70	168,50	159,80	165
T6+RRA220	7 dakika	161,60	163,80	169,60	165
T6+RRA220	10 dakika	163,70	169,40	158,90	164
T6+RRA220	15 dakika	157,80	159,30	153,90	157
T6+RRA220	20 dakika	145,60	149,60	148,80	148

5.3 Isıl İşlemler

Her iki yüzü 7072 giydirilmiş 7075-T0 Alüminyum alaşımı malzemeden hazırlanan çekme dayanımı deneyi ve sertlik ölçme deneyi numunelerine T6, T73, T6+RRA 200°C ve T6+RRA 220°C ısıtım işlemleri uygulanmıştır. Bu üç ısıtım işlemine ait sıcaklık ve süreler Çizelge 5.5’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.5 Uygulanan ısıtım işlem sıcaklık ve süreleri.

Isıtım işlem türü	Sıcaklık ve süre
T6	: 465°C’de 1 saat çözeltiye alma + oda sıcaklığında su verme + 120°C’de 24 saat yaşlandırma
T73	: 465°C’de 1 saat çözeltiye alma + oda sıcaklığında su verme + 107°C’de 8 saat yaşlandırma+ 178°C’de 8 saat aşırı yaşlandırma
T6+RRA200 (her retrogresyon süresi için 1 numune)	: T6 ısıtım işlemi görmüş numuneleri 200°C’de farklı sürelerde (2, 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40 dakika) yeniden çözeltiye alma (tuz banyosunda) + oda sıcaklığında su verme + 120°C’de 24 saat yaşlandırma
T6+RRA220 (her retrogresyon süresi için 1 numune)	: T6 ısıtım işlemi görmüş numuneleri 220° C’de farklı sürelerde(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15, 20 dakika) yeniden çözeltiye alma (tuz banyosunda) + oda sıcaklığında su verme + 120°C’de 24 saat yaşlandırma

Çekme dayanımı deneyi ve sertlik ölçüm deneylerinde farklı numuneler kullanılması tercih edildiğinden her ısıtım işlem durumu için hem çekme numunesi hem de sertlik numunesi ısıtım işlemlere tabi tutulmuştur. T0, T6 ve T73 temper durumundaki malzemenin mekanik özelliklerini belirleyebilmek için ham malzemeden birer adet çekme ve sertlik numunesi hazırlanmıştır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma sırasında meydana gelen değişiklikleri belirleyebilmek için T6 ısıtım işlemine tabi tutulmuş bir grup numuneye sadece retrogresyon (yeniden çözeltiye alma) işlemi, yine T6 ısıtım işlemi görmüş diğer bir grup numuneye ise retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler görecekları işlemlere göre numaralandırılmıştır.

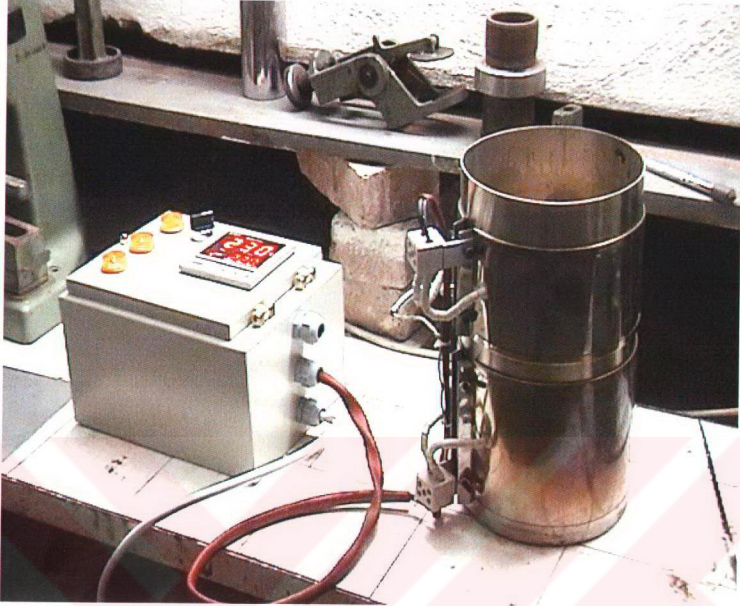
Çözeltiye alma, yaşlandırma ve yeniden yaşlandırma işlemleri için elektrikle çalışan 1200°C ısıtım kapasiteli direnç fırını (Şekil 5.7) kullanılmıştır. Yeniden çözeltiye alma işlemleri, ısıtım işlemleri sırasında fırın kapaklarının açılıp kapanmasından dolayı oluşacak ani soğumaları önlemesi, numunelerin tüm kesitinde homojen sıcaklık elde etmeyi ve iyi bir sıcaklık kontrolüne izin vermesi nedeniyle tuz banyosu içerisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7 1200°C kapasiteli direnç fırını.

Tuz banyosu için 170 mm çapında, 330 mm yüksekliğinde paslanmaz silindirik bir kabın etrafı iki adet elektrikli rezistans ile sarılarak deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 5.8). Bu silindirik kabın gövdesine, tabandan yaklaşık olarak 170 mm yükseklikten bir delik açılarak Fe-konstant termokopulun içine yerleştirileceği kovan kaynatılmıştır. Sıcaklık kontrolü cihazın kumanda panosu üzerindeki programlanabilir dijital pirometre vasıtası ile yapılmıştır. Tuz banyosu içerisine termometre asılarak sıcaklık kontrolü yapılmış ve sıcaklık hassasiyetinin maksimum $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ile sağlandığı tespit edilmiştir. Isıl işlem deneylerinde tuz banyosu olarak kullanılan tuzun özellikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Su verme ve soğutma işlemleri şebeke suyu içinde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8 Isıl işlemlerde kullanılan tuz banyosu ve kontrol panosu.

Çizelge 5.6 Isıl işlemlerde kullanılan tuzun özellikleri.

Tuzun kimyasal bileşimi	: %10 NaNO_3 + %30~50 NaNO_2 + %50~60 KNO_3
Çalışma sıcaklığı	: $163^\circ \sim 540^\circ\text{C}$
Ergime noktası	: 135°C
Renk	: Açık sarı
Pota	: Paslanmaz çelik
Uygulandığı alanlar	: Alüminyum ısıt işlemleri, sementle olmuş çeliğin sertleştirilmesi, alaşımlı ve karbonlu çeliklerin menevişlenmesi.

Bütün ısıt işlemler Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilimdalı laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

5.4 Mikroyapı İncelemesi

Sertlik ölçme deneyinde kullanılan pullardan 5x5 mm boyutlarında parçalar kesilerek Beuhler marka numune hazırlama cihazında, incelencek kesitler üstte kalacak şekilde bakalit içerisine gömülmüştür (Şekil 5.9). Numuneler retrogresyon ve retrogresyon ardından yeniden yaşlandırmanın farklı kademelerinden seçilmiştir (Şekil 5.10).

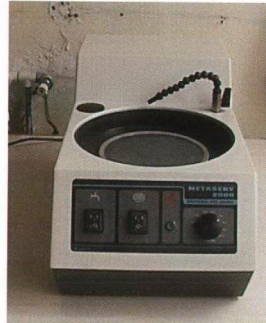


Şekil 5.9 Beuhler marka numune hazırlama cihazı.



Şekil 5.10 Bakalit içine gömülmüş değişik sürelerde retrogresyon ve retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi görmüş numuneler.

Bakalit içerisine gömülen numuneler farklı numaralarda ve devir hızlarında Metaserve 2000 cihazında zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.11 Metaserve 2000 zımparalama cihazı.

Çizelge 5.7 Kullanılan zımpara numaraları ve devir hızları.

Zımpara No	Devir Hızı
320	500 d/d
400	450 d/d
600	400 d/d
800	350 d/d
1000	300 d/d

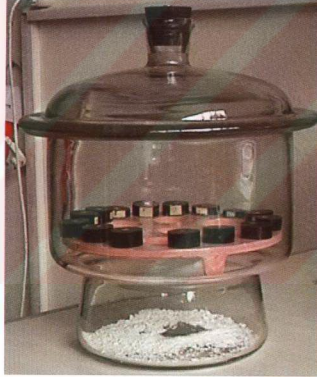
Zımparalanan numuneler uhada kromoksit ile 200 d/d' da parlatıldıktan sonra öncelikle 6 mikronluk elmas pasta ile daha sonra 1 mikronluk elmas pasta ile parlatılmıştır.

Parlatma işlemi tamamlanan numuneler son olarak Keller Ayracı ile dağlanmıştır. Keller ayracı olarak hazırlanan çözeltinin bileşimi izelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8 Keller Ayracı Bileşimi.

<i>Madde</i>	<i>Yüzde Oranı</i>
HF	% 1
HCl	% 1,5
HNO ₃	% 2,5
H ₂ O	% 95

Keller ayracı ile dağlanan numuneler kurutulduktan sonra mikroskopta inceleme yapılana kadar desikatör içinde muhafaza edilmiştir. Numunelerin rutubetten korunması için desikatör içerisine CaCl₂ konulmuştur (şekil 5.12).

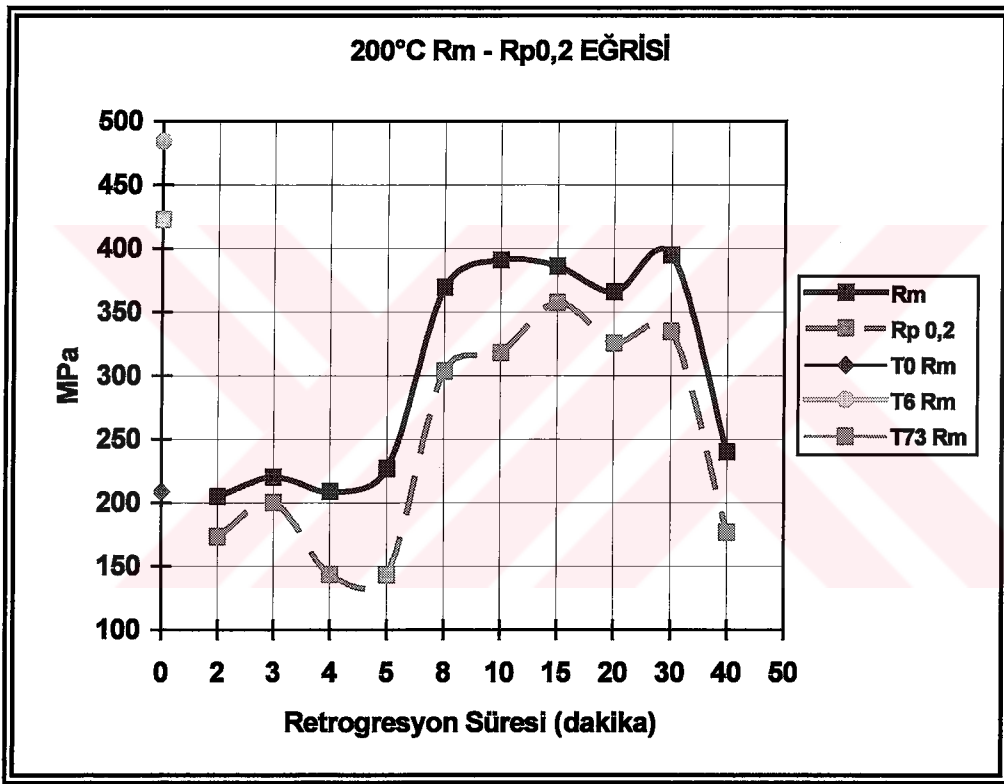


şekil 5.12 Desikatör içinde numuneler.

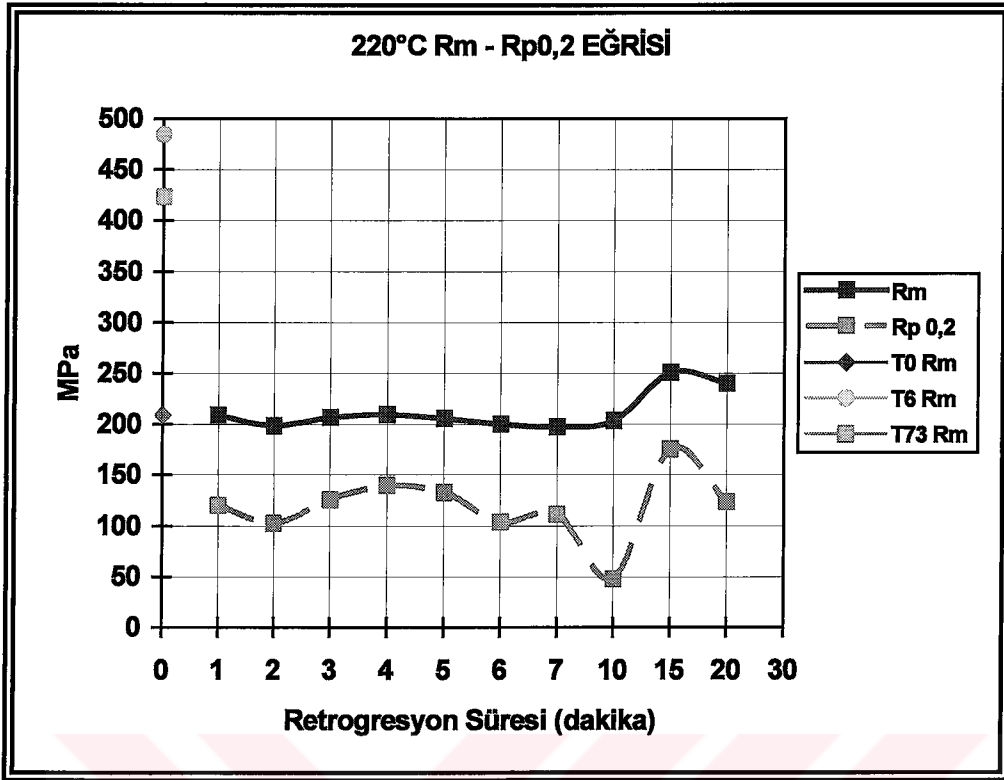
6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

6.1 Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

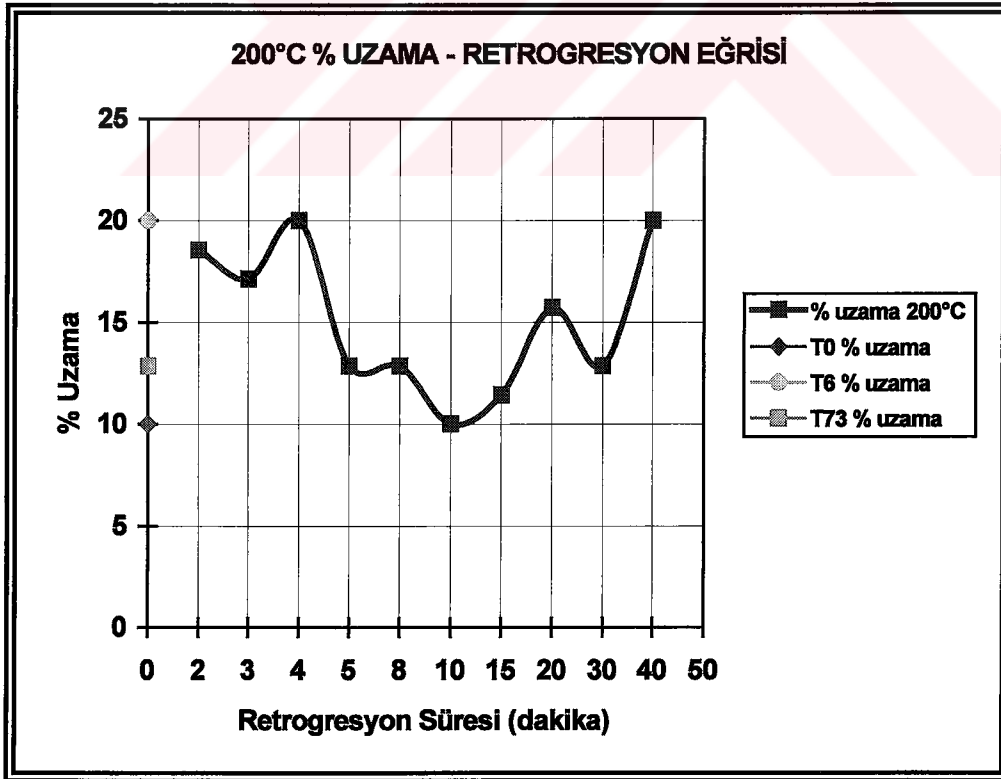
7072 giydirilmiş 7075-T0 Alüminyum alaşımından alınan numunelere ilk olarak T6 yapay yaşlandırma ısısal işlemi uygulanmıştır. Yapay yaşlandırılmış numuneler gruplanarak 200 ve 220°C’de farklı sürelerde retrogresyona tabi tutulmuş. Elde edilen çekme dayanımı deney sonuçları Şekil 6.1 ve 6.2’de grafiksel olarak verilmiştir.



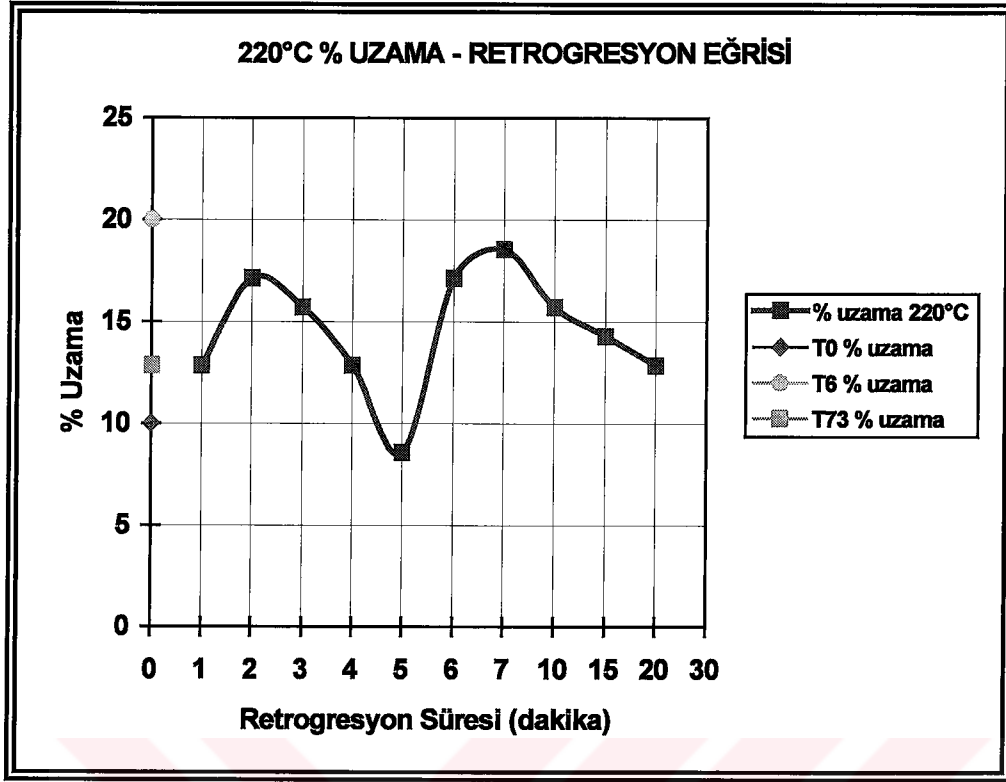
Şekil 6.1 a) 200°C Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.



Şekil 6.1 b) 220°C Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.



Şekil 6.2 a) 200°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.

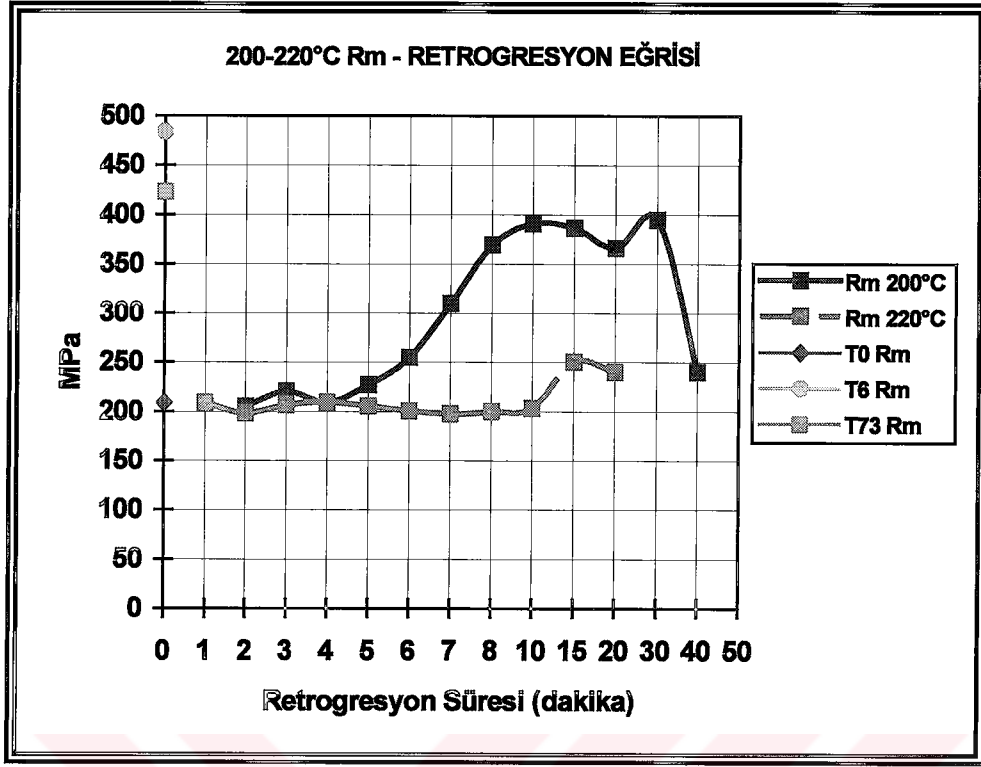


Şekil 6.2 b) 220°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.

Şekil 6.1’de iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen retrogresyon işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresiyle dayanım değişimi eğrileri incelendiğinde ilerleyen retrogresyon süresinin dayanım değerlerinde önceleri artışa, sonraları ise düşmeye neden olduğu görülmektedir.

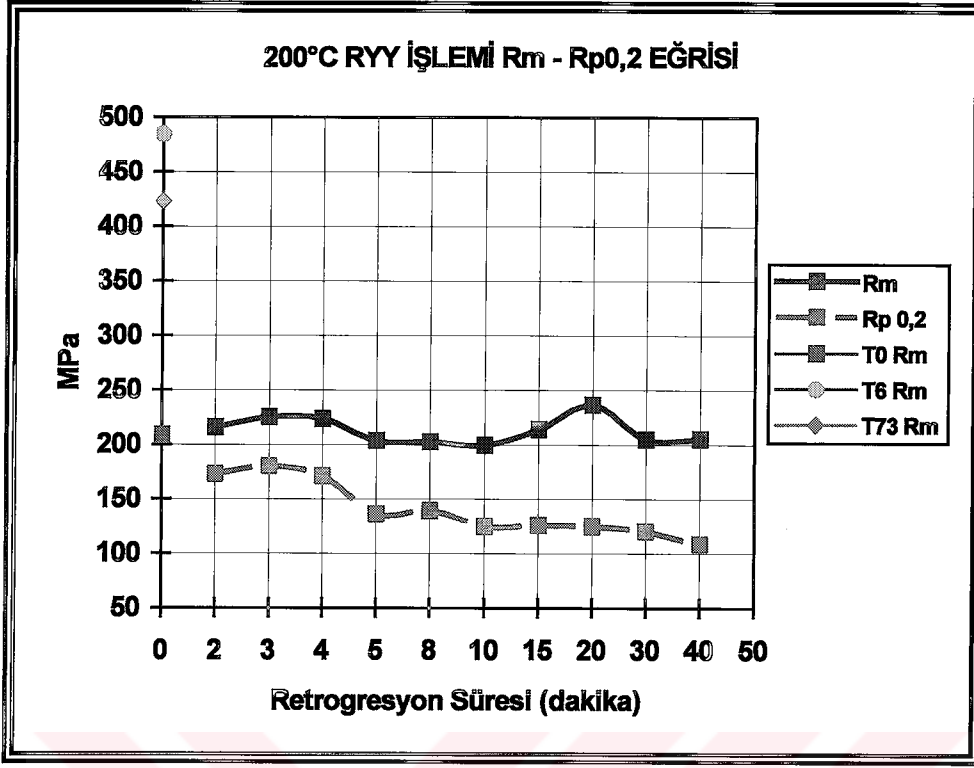
Buna göre dayanım düşüşünün gerçekleştiği süre 200°C için 30 dakika olurken 220°C için 20 dakika olarak belirlenmiştir. Uygulanan retrogresyon sıcaklığının artışına bağlı olarak dayanım değerindeki artma eğiliminin azaldığı söylenebilir.

Şekil 6.3’de karşılaştırma amacıyla 200°C ve 220°C’de yapılan retrogresyon işleminden elde edilen R_m değerleri T6 ve T73 ısıtma işlem değerleri ile birlikte verilmiştir.

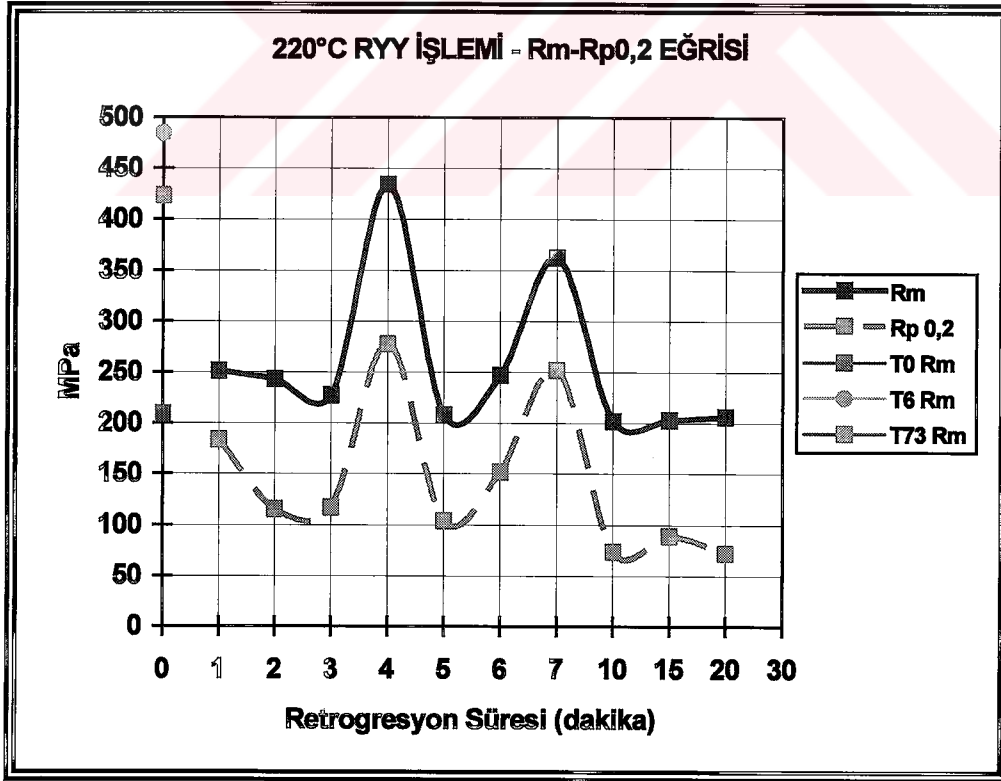


Şekil 6.3 200 ve 220°C Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.

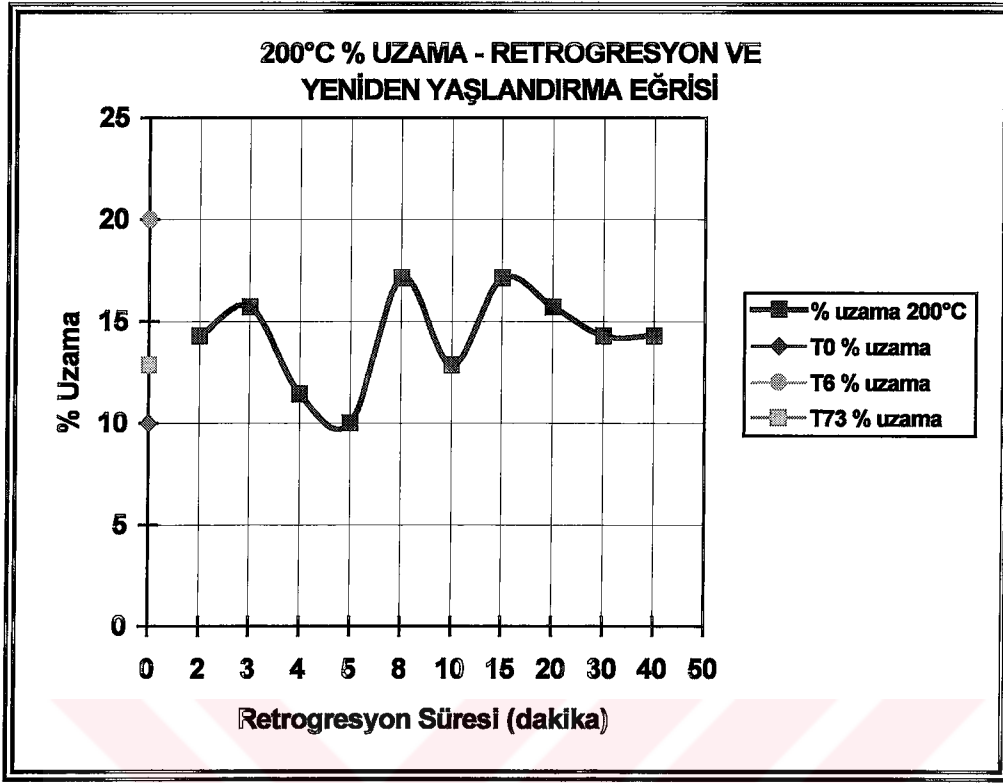
Değişik sıcaklık ve sürelerde retrogresyon geçirmiş olan numuneler daha sonra 120°C’de 24 saat yeniden yaşlandırılmış ve çekme dayanımı deneyleri tekrar yapılarak Şekil 6.4 ve 6.5’de verilen RYY eğrilerine ulaşılmıştır.



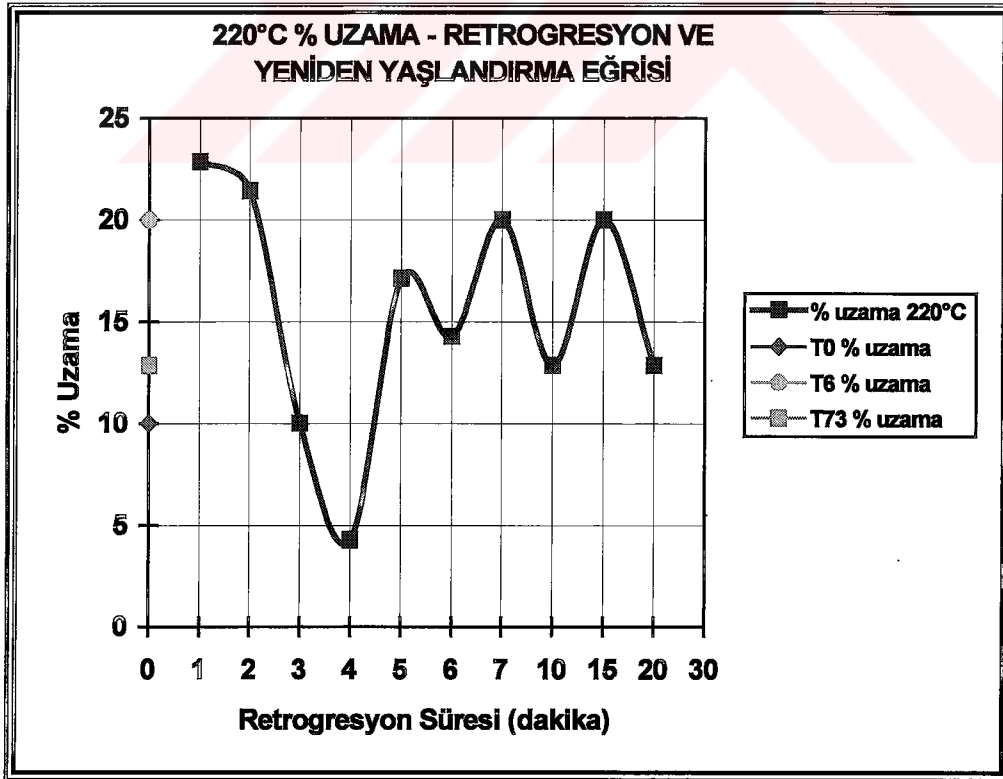
Şekil 6.4 a) 200°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.



Şekil 6.4 b) 220°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – dayanım değişimi grafiği.



Şekil 6.5 a) 200°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.

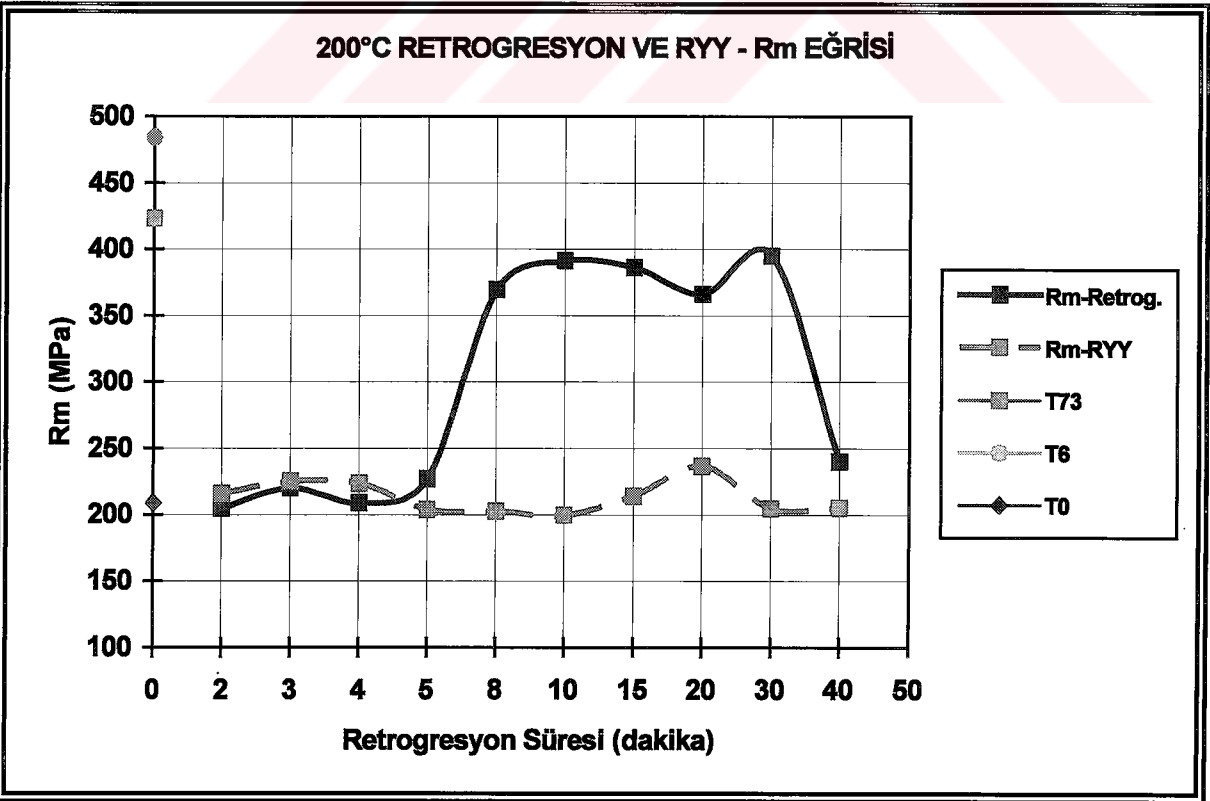


Şekil 6.5 b) 220°C Retrogresyon süresi – % uzama grafiği.

Şekil 6.4'deki RYY sonrası elde edilen Retrogresyon süresiyle dayanımın değişimi incelendiğinde, 200°C'de gerçekleştirilen RYY işlemi için, T6 ve T73 ısıtma işlemi durumundaki çekme dayanımı değerlerine göre çok düşük değerler elde edildiği dikkati çekmektedir. 220°C'de retrogresyondan sonra yapılan yeniden yaşlandırmada ise T6 ısıtma işlemi durumundaki dayanım değeri elde edilememekle beraber, retrogresyonun 4. dakikasında T73 ısıtma işlemi durumundaki çekme dayanımı değeri aşılmıştır. Retrogresyonun 5. dakikasında minimum çekme dayanımı değeri elde edilirken retrogresyonun 7. dakikasında ikinci bir en iyi çekme dayanımı değeri elde edilmiştir. 220°C'de yapılan RYY ısıtma işleminde elde edilen çekme dayanımı değerlerinde, 200°C'de yapılan RYY işlemine benzemeyen sert düşüşler gözlenmektedir.

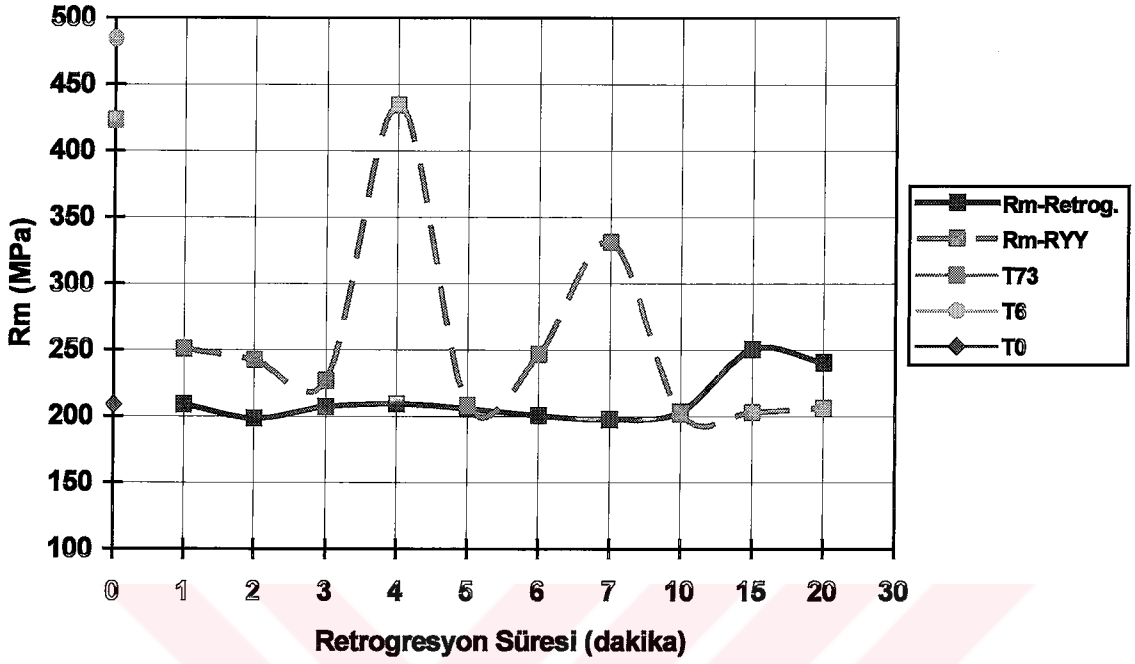
Aşağıda Şekil 6.6'da her bir retrogresyon sıcaklığı için elde edilen Dayanımın Retrogresyon süresiyle değişimi eğrileri birlikte verilmiştir.

Şekil 6.7'de RYY sonucu ulaşılan dayanım değişimi eğrileri tüm retrogresyon sıcaklıkları ile birlikte verilmiştir.



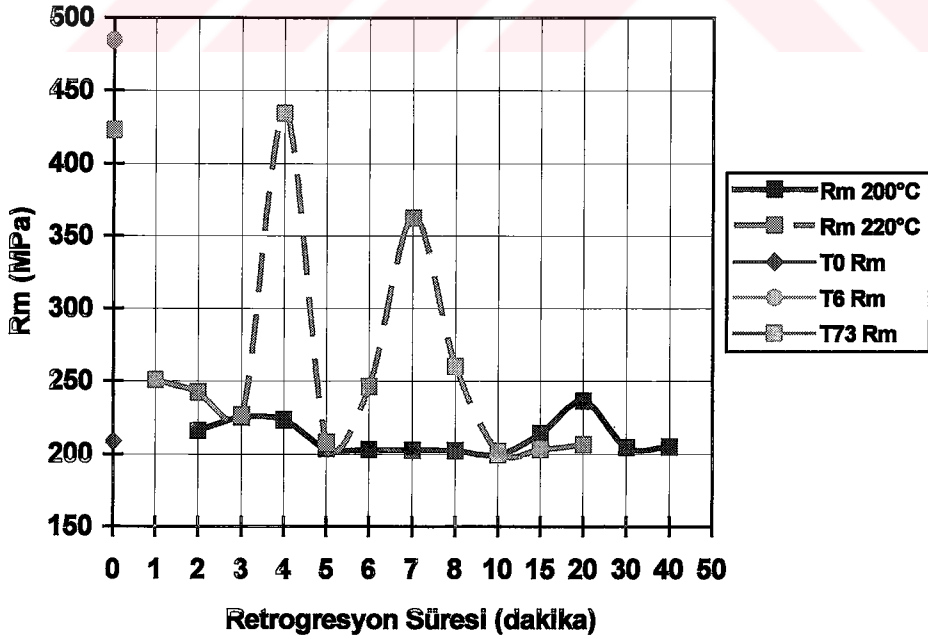
Şekil 6.6 a) 200°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında dayanımın retrogresyon süresiyle değişimi.

220°C RETROGRESYON VE RYY - Rm EĞRİSİ



Şekil 6.6 b) 220°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında dayanımın retrogresyon süresiyle değişimi.

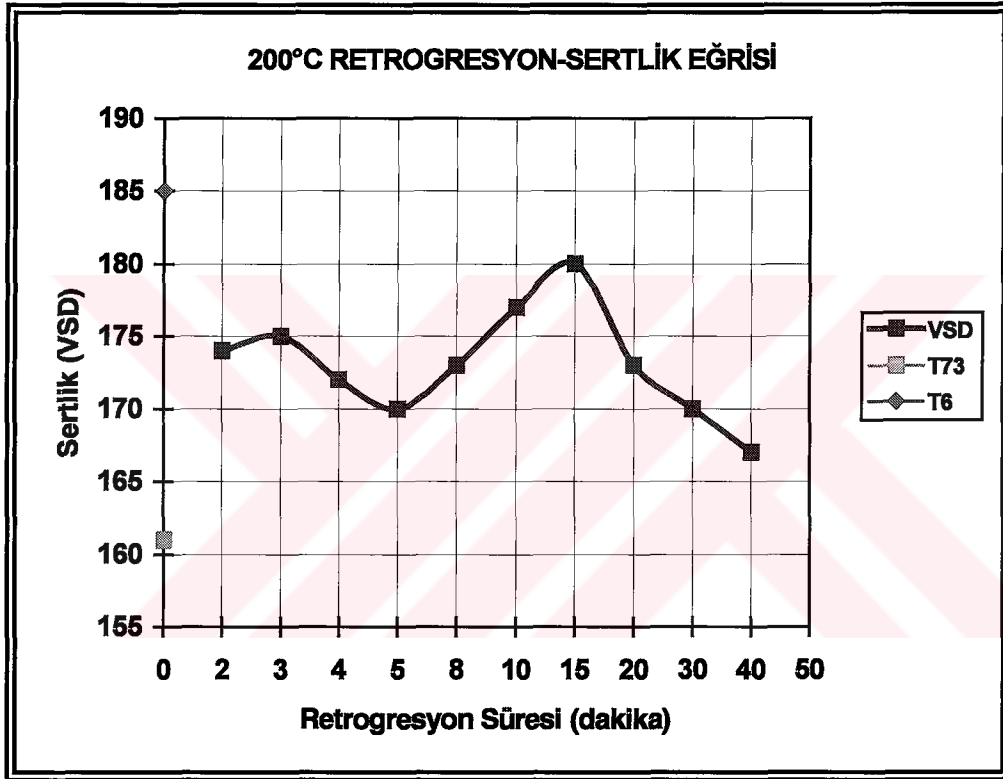
200-220°C Rm - RYY EĞRİSİ



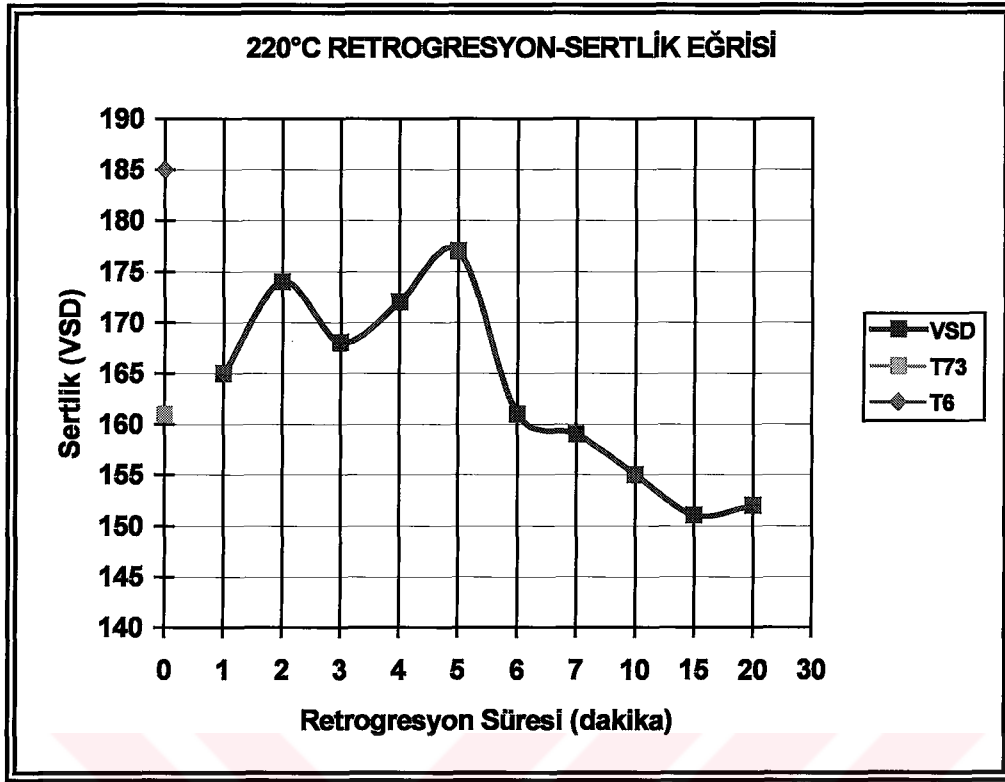
Şekil 6.7 200 ve 220°C'de RYY işlemi için dayanımın retrogresyon süresiyle değişimi.

6.2 Sertlik Ölçme Deneyi Sonuçları

7072 giydirilmiş 7075-T0 Alüminyum alaşımından alınan numunelere ilk olarak T6 yapay yaşlandırma ısı işlemi uygulanmıştır. Yapay yaşlandırılmış numuneler gruplanarak 200 ve 220°C’de farklı sürelerde retrogresyona tabi tutulmuş. Elde edilen sertlik ölçme deney sonuçları Şekil 6.8’de grafiksel olarak verilmiştir.



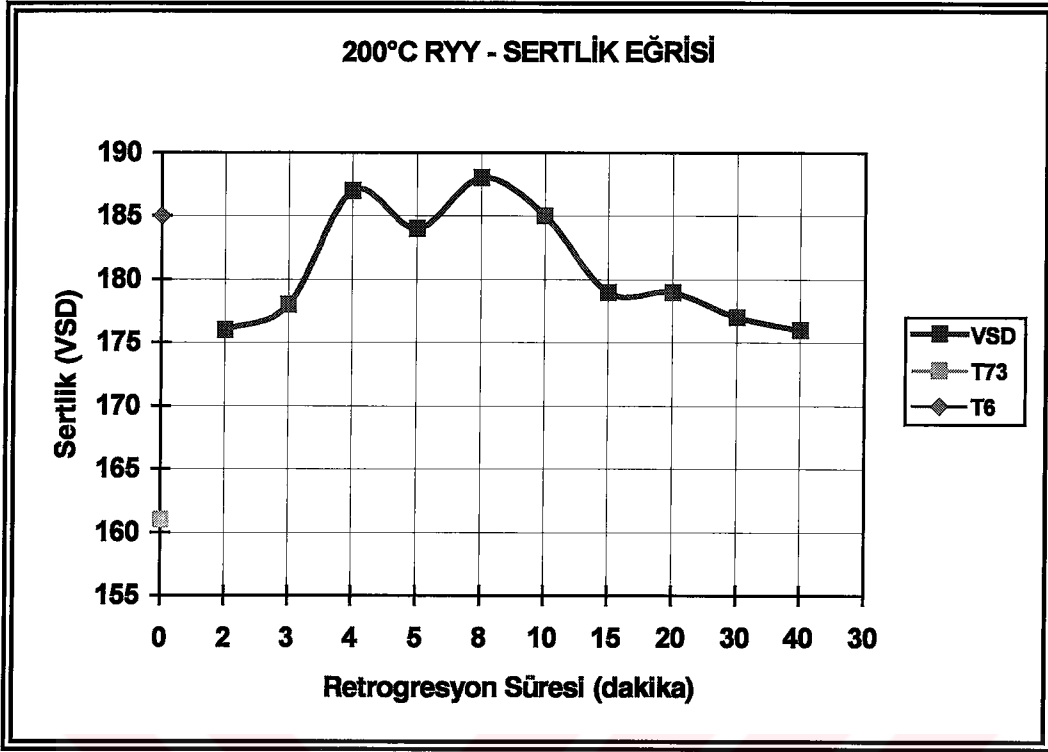
Şekil 6.8 a) 200°C Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.



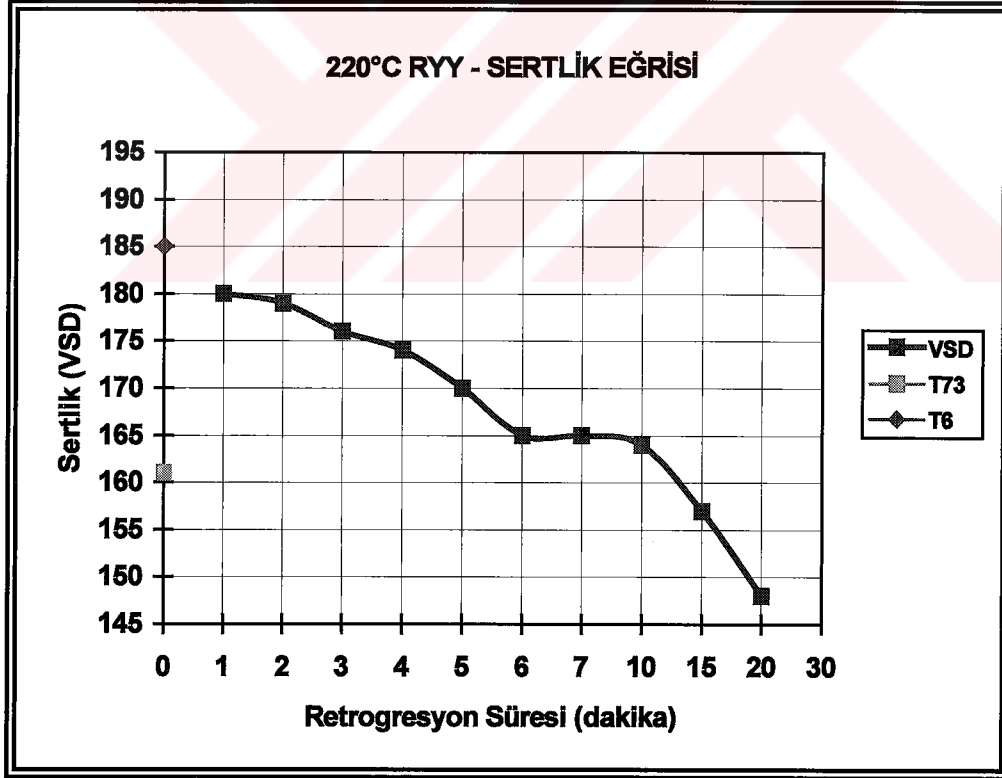
Şekil 6.8 b) 220°C Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.

Retrogresyon eğrilerinde, sertlik değerlerinin, azalan retrogresyon sıcaklığı ile arttığı görülmektedir. 200°C’de retrogresyonda sertlik 167 VSD’ne, 220°C’de retrogresyonda 151 VSD’ne düşmektedir. 7075 alaşımı için aşırı yaşlandırma ısı işlemi de (T73) yapılmıştır ve karşılaştırma amacıyla yapılan T73 numunesinden elde edilen sertlik, 161 VSD olup, yukarıdaki sertlikleri bu değer ile birlikte düşünmek yerinde olacaktır.

Değişik sıcaklık ve sürelerde retrogresyon geçirmiş olan numuneler daha sonra 120°C’de 24 saat yeniden yaşlandırılmış ve sertlik deneyleri tekrar yapılarak Şekil 6.9’da verilen RYY eğrilerine ulaşılmıştır.



Şekil 6.9 a) 200°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.



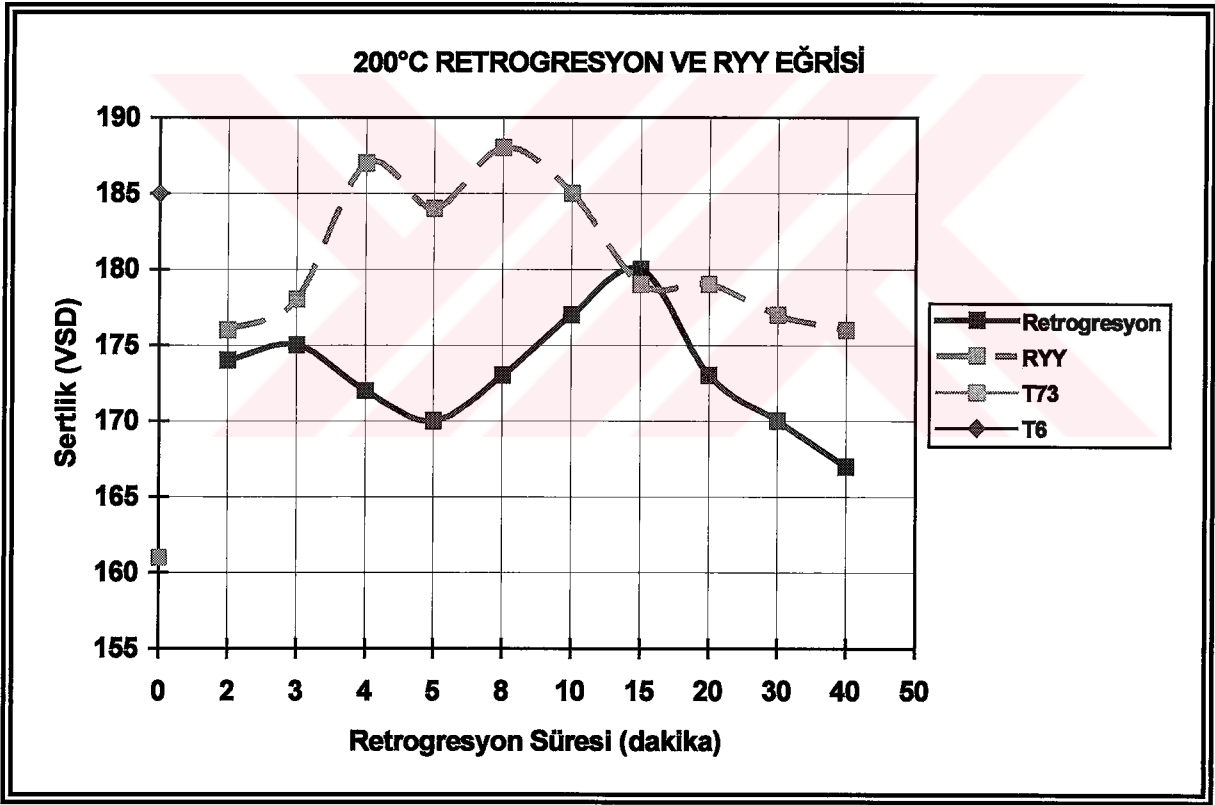
Şekil 6.9 b) 220°C RYY işlemi sonucu elde edilen Retrogresyon süresi – sertlik değişimi grafiği.

Şekil 6.9’da görüldüğü gibi, T6 sertliğinin geri kazanılması, 200-220°C aralığında sıcaklık değerine bağlıdır. 200°C’ de gerçekleştirilen RYY ısıtılmasında, T6 ısıtılma işlem durumundaki sertlik değeri 4 dakikalık retrogresyon sonrasında yakalanırken, maksimum

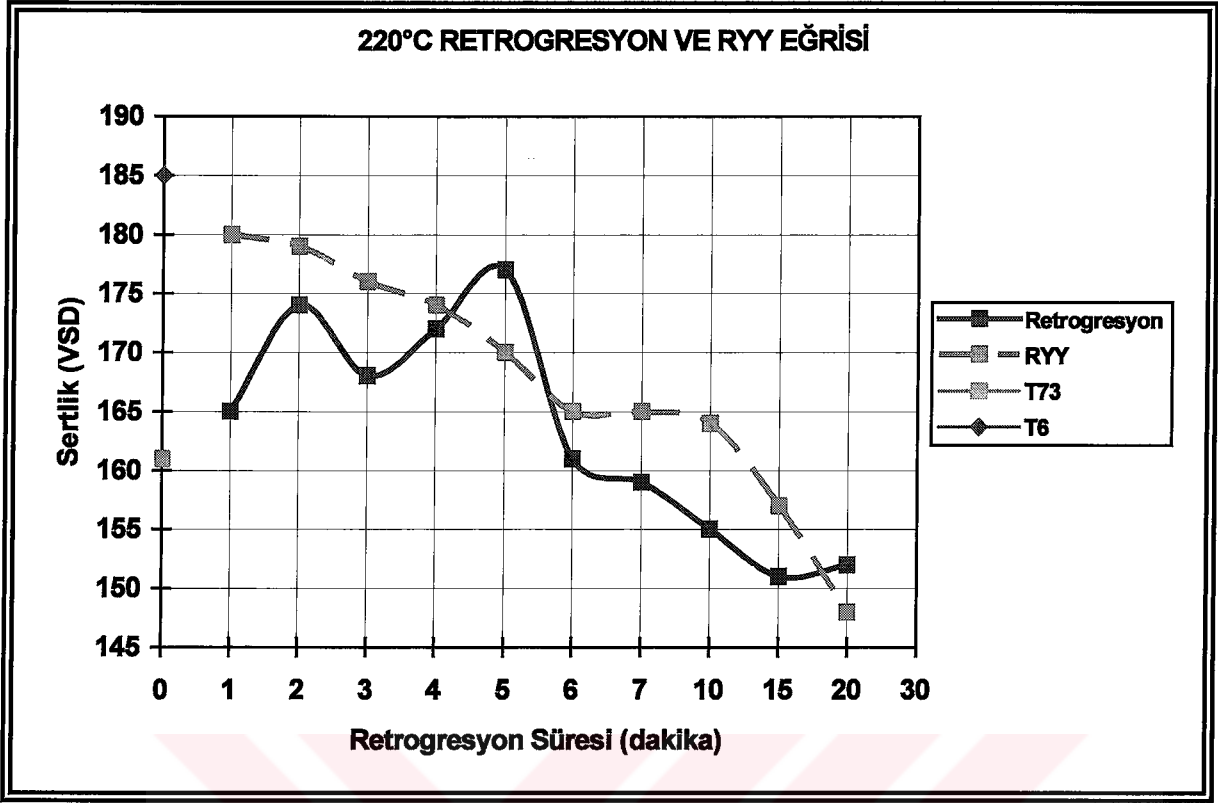
sertlik değeri olan 188 VSD 8 dakikalık retrogresyon sonrasında elde edilmektedir. 220°C’de gerçekleştirilen RYY işleminde ise T6 ısıl işlem durumundaki sertlik değeri elde edilemediği gibi sürekli düşen bir eğilim gözlenmektedir.

Aşağıda Şekil 6.10’da her bir retrogresyon sıcaklığı için elde edilen Sertliğin Retrogresyon süresiyle değişimi eğrileri birlikte verilmiştir.

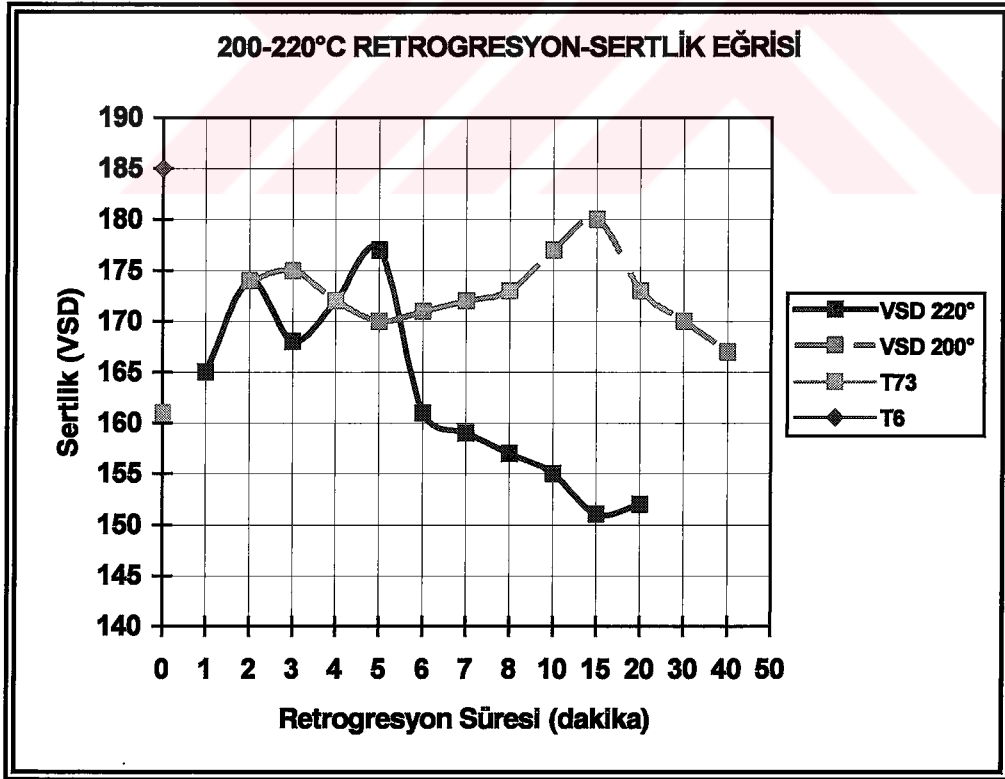
Şekil 6.11’de Retrogresyon sonucu ulaşılan, Şekil 6.12’de ise RYY sonucu ulaşılan sertlik değişimi eğrileri tüm retrogresyon sıcaklıkları ile birlikte verilmiştir.



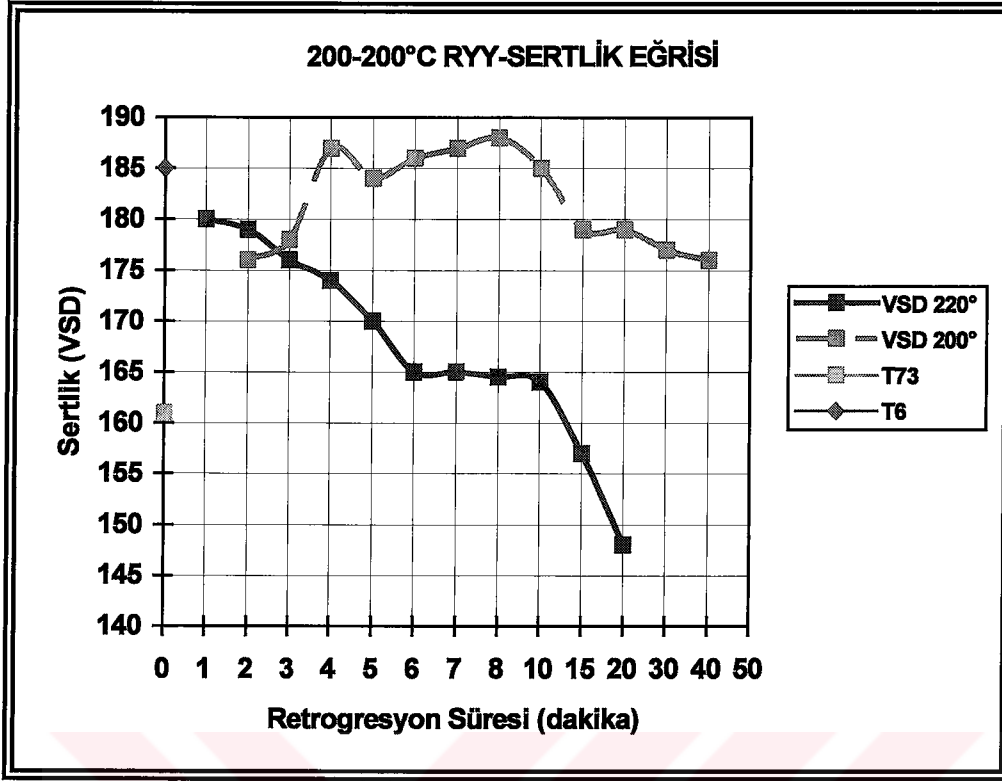
Şekil 6.10 a) 200°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi.



Şekil 6.10 b) 220°C için Retrogresyon ve RYY işlemleri esnasında sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi.



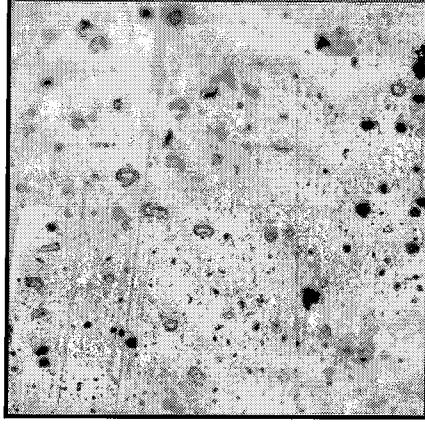
Şekil 6.11 200 ve 220°C'de Retrogresyon için sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi.



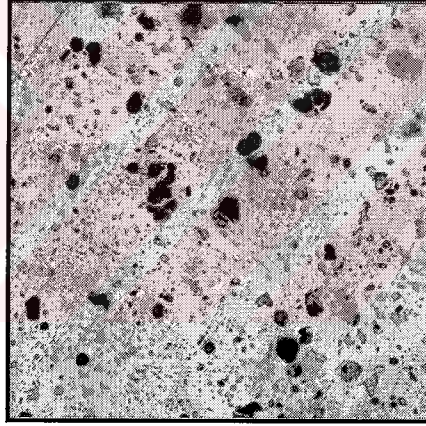
Şekil 6.12 200 ve 220°C'de RYY için sertliğin retrogresyon süresiyle değişimi.

6.3 Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Mikroyapı incelemesi için bakalit içerisine gömülen ve yüzey parlatma işlemlerine tabi tutulan numunelerin, X1000 büyütmeli optik mikroskoptan alınan mikrografları aşağıda verilmiştir.

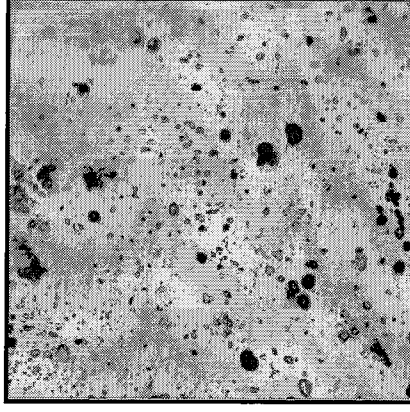


Şekil 6.13 T6 ısıt işlem görmüş numunenin mikrografı.

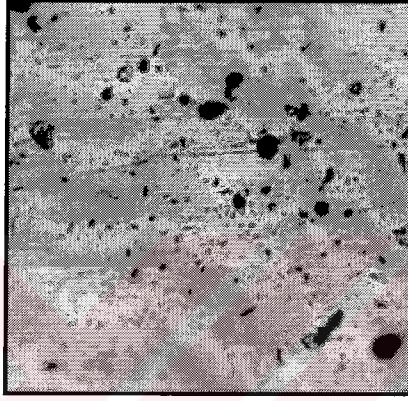


Şekil 6.14 T73 ısıt işlem uygulanmış numunenin mikrografı.

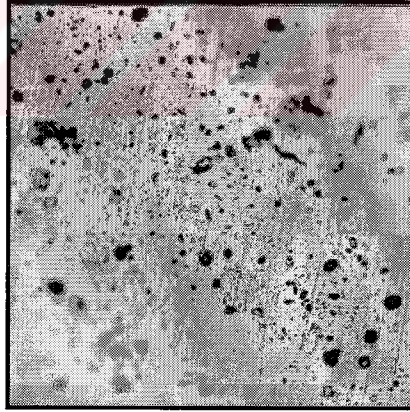
Şekil 6.13’de mikrografı görülen numune 185 VSD ve 485 MPa’lık çekme dayanımı değerine sahip olup T6 ısıt işlemi görmüştür. Şekil 6.14’de ise 161 VSD ve 423 MPa’lık çekme dayanımı değerine sahip T73 ısıt işlem durumundaki numunenin mikrografı verilmiştir. Her iki mikrogaf, sertlik ve çekme dayanımı değerleri ile birlikte karşılaştırıldığında, T73 ısıt işlem durumunda malzemenin T6 ısıt işlem durumuna göre sertliğinin ve çekme dayanımının daha düşük olmasına sebep olan iri taneli bir mikroyapıya sahip olduğu Şekil 6.14’den görülmektedir.



Şekil 6.15 200°C’de 2 dakika retrogresyon işlemi uygulamis numunenin mikrografi.



Şekil 6.16 200°C’de 15 dakika retrogresyon işlemi uygulamis numunenin mikrografi.

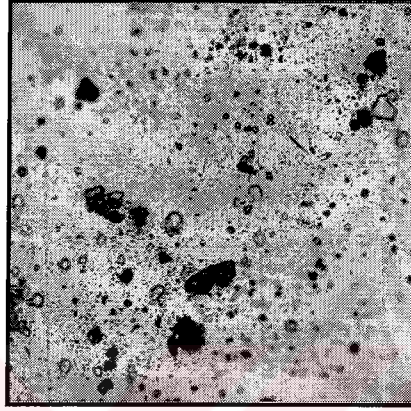


Şekil 6.17 200°C’de 40 dakika retrogresyon işlemi uygulamis numunenin mikrografi.

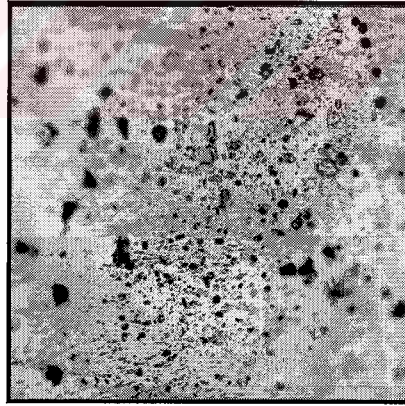
200°C’de farklı sürelerde gerçekleştirilen retrogresyon işlemine tabi tutulan numunelerin mikrografları sırasıyla Şekil 6.15, 6.16 ve 6.17’de verilmiştir.

200°C’de gerçekleştirilen retrogresyon işleminde sertlik ve çekme dayanımı değerlerinde, retrogresyon süresine bağlı olarak değişimler saptanmıştır.

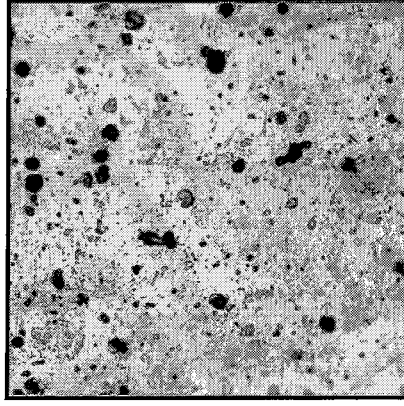
Retrogresyon işleminin ilk anlarındaki numunenin çekme dayanımı 205 MPa iken (Şekil 6.15) 15 dakikalık retrogresyon işlemi sonunda 386 MPa çekme dayanımı ve 180 VSD'nin elde edildiği numunenin mikrogafi Şekil 6.16'da görülmektedir. Retrogresyon süresi 40 dakikaya çıktığında ise sertlik değeri 167 VSD'ne, çekme dayanımı değeri de 240 MPa'a düşmüştür (Şekil 6.17).



Şekil 6.18 200°C'de 2 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunenin mikrogafi.



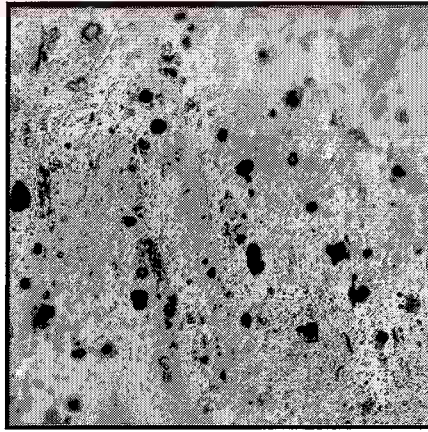
Şekil 6.19 200°C'de 8 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunenin mikrogafi.



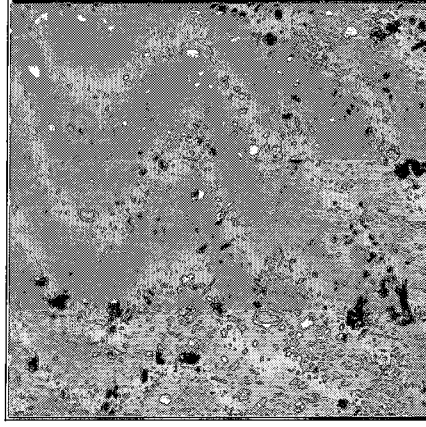
Şekil 6.20 200°C’de 40 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi uygulamış numunenin mikrografı.

200°C’de retrogresyon ardından yapılan yeniden yaşlandırma işleminin farklı anlarından alınmış numunelerin mikrografları sırasıyla Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20’de verilmiştir.

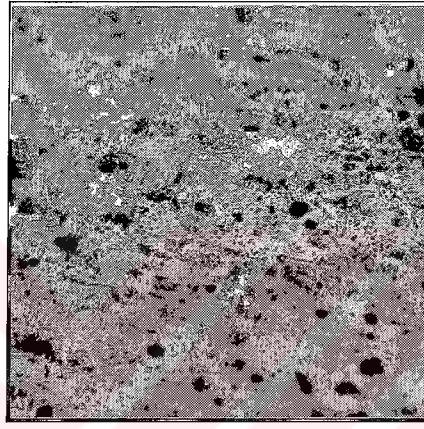
Sertlik değerinin 176 VSD’ne düştüğü numunenin iri taneli iç yapısının mikrografı Şekil 6.18’de görülmektedir. Şekil 6.19’da 188 VSD’ne sahip numunenin iç yapısında bazı iri taneler görünmesine rağmen oldukça ince taneli bir yapıya sahiptir. Şekil 6.20’de ise tane sayısının daha az olduğu ve bunun sonucunda malzemenin yumuşayarak sertlik değerinin 176 VSD’ne düştüğü iç yapı görülmektedir.



Şekil 6.21 220°C’de 2 dakika retrogresyon işlemi uygulamış numunenin mikrografı.



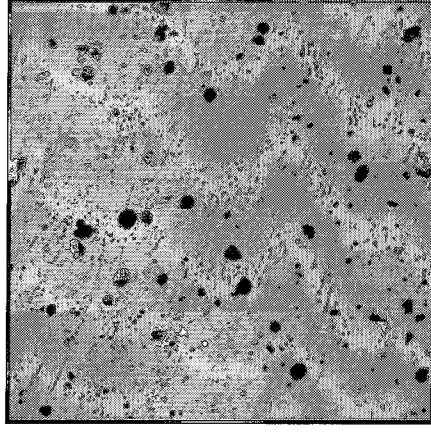
Şekil 6.22 220°C’de 5 dakika retrogresyon işlemi uygulanmış numunenin mikrografı.



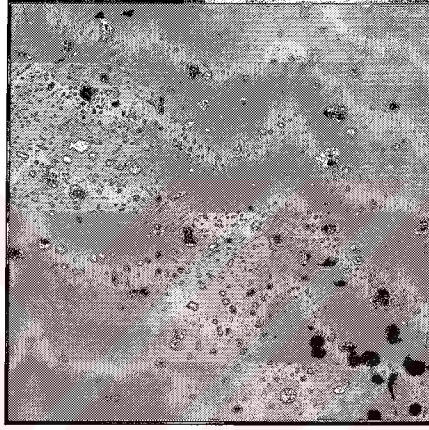
Şekil 6.23 220°C’de 15 dakika retrogresyon işlemi uygulanmış numunenin mikrografı.

220°C’de farklı sürelerde retrogresyon uygulanmış numunelerin mikroagrafları Şekil 6.21, 6.22 ve 6.23’de verilmiştir.

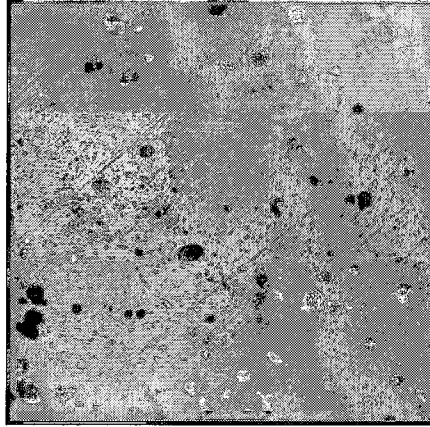
Şekil 6.21’de 174 VSD’ne sahip numunenin, Şekil 6.22’de iç yapısı görülen 177 VSD’ne sahip numuneye göre daha iri taneli ve tane sayısının daha az olduğu iç yapısı görülmektedir. Şekil 6.23’de ise Keller ayracının iyi sonuç vermemesi sonucu karanlık bir görüntü elde edilirken 151 VSD’ne sahip yapı görülmektedir.



Şekil 6.24 220°C’de 1 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunenin mikrorafı.



Şekil 6.25 220°C’de 5 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunenin mikrografı.



Şekil 6.26 220°C’de 15 dakika retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunenin mikrografı.

220°C’de farklı sürelerde retrogresyon ardından gerçekleştirilen yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin mikrogramları yukarıda Şekil 6.24, 6.25 ve 6.26’da verilmiştir.

200°C’de retrogresyon ardından gerçekleştirilen yeniden yaşlandırma işleminde sertlik değerleri ilerleyen retrogresyon sũreleri ile azalan bir karakter gũstermiřtir. Yukarıda şekil 6.24, 6.25 ve 6.26 birlikte değerlendirildiğinde retrogresyon sũresi ilerledikçe tane boyutu bũyũmekte olduğu gũrũlmektedir.



7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7072 Alclad 7075 Alüminyum alaşımına uygulanan RYY ısıtıl işleminin mekanik özelliklere etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen çekme dayanımı ve sertlik ölçüm sonuçları bu konuda daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarına göre küçük sapmalar göstermiştir. Bu sapmaların kaynağının yaşlandırma işlemleri esnasında kullanılan fırınlarda sıcaklık hassasiyetinin tam olarak sağlanamaması olduğu düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda :

1. Numunelerin 200°C' de gerçekleştirilen retrogresyon ısıtıl işlemi neticesinde elde edilen 395 MPa'lık çekme dayanımı ile T73 ısıtıl işlemi durumundaki çekme dayanımına yakın bir dayanım elde edilmiştir.
2. 220°C' de gerçekleştirilen retrogresyon ısıtıl işlemi sonucunda elde edilen maksimum 250 MPa'lık çekme dayanımı değeri ile T73 ısıtıl işlemi durumundaki çekme dayanımı değeri dahi yakalanamamıştır.
3. 200°C'de Retrogresyon uygulanmış numuneler yeniden yaşlandırma işlemine tabi tutulduğunda elde edilen çekme dayanımı değerleri T73 ısıtıl işlemi durumundaki çekme dayanımı değerinden çok uzaklaşarak yatay bir seyir izlemiştir.
4. 220°C'de Retrogresyon uygulanmış numuneler yeniden yaşlandırma işlemine tabi tutulduğunda elde edilen 435 MPa'lık çekme dayanımı değeri ile T73 ısıtıl işlemi durumundaki çekme dayanımı değerini aşarken, T6 ısıtıl işlemi durumundaki çekme dayanımı değerine de oldukça yakın bir dayanım elde edildiği saptanmıştır.

Elde edilen bu bilgilerin ışığında çekme dayanımını arttırmak için uygulanması gereken optimum RYY sıcaklığı 220°C ve optimum Retrogresyon süresinin 4 dakika olduğu saptanmıştır.

5. Numunelerin 200°C' de gerçekleştirilen retrogresyon ısıtıl işlemi neticesinde, T6 ısıtıl işlemi durumundaki sertlik değerine yakın değerler elde edilirken, T73 ısıtıl işlemi durumundaki 161 VSD'lik sertlik değeri bütün retrogresyon süreleri için aşılmıştır.

6. 220°C’ de gerçekleştirilen retrogresyon ısıt işlemleri sonucunda elde edilen maksimum 177 VSD ile T73 ısıt işlemleri durumundaki sertlik değeri aşılmış fakat T6 ısıt işlemleri durumundaki sertlik değeri elde edilememiştir.
7. 200°C Retrogresyon uygulanmış numuneler yeniden yaşlandırma işlemine tabi tutulduğunda elde edilen sertlik değerleri T6 ısıt işlemleri durumundaki sertlik değerinin üzerinde sonuçlar vermektedir.
8. 220°C’de Retrogresyon uygulanmış numuneler yeniden yaşlandırma işlemine tabi tutulduğunda elde edilen sertlik değerleri ile T6 ısıt işlem durumundaki sertlik değerine yaklaşılamamakla beraber sürekli düşüş gösteren bir karakter gözlenmiştir.

Elde edilen bu bilgilerin ışığında sertliği arttırmak için optimum RYY sıcaklığı 200°C ve optimum Retrogresyon süresinin 8 dakika olduğu saptanmıştır.

9. Tane sayısı ve boyut büyüklüğü, tane dağılımına göre hem retrogresyon hem de retrogresyon ardından yeniden yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş numunelerin sertlik ve çekme dayanımlarının değiştiği yapılan mikroyapı incelemelerinden görülmektedir.

7072 Alclad 7075 Alüminyum alaşımının hem çekme dayanımı hem de sertliğinin iyileşebilmesi için optimum RYY sıcaklığının 220°C ve optimum Retrogresyon süresinin 4 dakika olması gerektiği belirlenmiştir.

Mekanik özellikleri iyileştirebilmek amacıyla uygulanan ısıt işlem maliyette bir artış doğurmaktadır. Ancak insan hayatının paha biçilemez olması, uçağın bakım süresince servis dışı kalmasından doğan işletme kayıpları gibi büyük maliyetlerin yanında malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirme yönünde yapılacak harcamaların makul ve katlanılması güç olmayacak rakamlar olacağı açıktır. Bu nedenle de büyük kapasiteli uçakların gövdesinde kullanılan 7072 Alclad 7075 Alüminyum alaşımına RYY ısıt işleminin optimum sıcaklık ve süre içinde uygulanmasının malzeme özelliklerini iyileştirici rol oynadığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akdoğan, A., (2001), "Uçak Malzemelerinin Tahribatsız Muayene Yöntemleri", Makine & Metal Dergisi, 116: 27-29.
- Aran, A., (1988), "Optimization Of The Strength And Intergranular Corrosion Properties Of The 7075 Al Alloy By Rra", Z.Metallkde., 170-172
- Ardell, A.J., (1985), "Precipitation Hardening", Met.Trans.A, 16:2131-2165.
- Askelad, D.R., (1994), The Science And Engineering Of Materials, Pws Publishing Company, Boston.
- Asm Specialty Handbook, (1997), Aluminum And Aluminum Alloys, Ohio.
- Astm B 918-01, (2001), "Standart Practice For Heat Treatment Of Wrought Aluminum Alloys".
- Ay, N.Ü., (1989), "7075alüminyum Alaşımlarında Rra Isıl İşleminin Mikroyapıya Etkisi Ve Kinetik Analiz", İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens., İstanbul.
- Bargel, H.J., Schulze, G., (1995), (Çevirenler: Güleç, Ş., Aran, A.), Malzeme Bilgisi Cilt II, İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Cına, B., Ramış, B., (1974), "New Technique For Reducing Susceptibility To Stress Corrosion Of High Strength Al Alloy", Int. Conf. On Aluminum Industrial Products Proc., Asm, Pittsburg.
- Cına, B., Zeidess, F., (1992), "Advance In The Heat Treatment Of 7000 Type Aluminum Alloys By Retrogression And Reaging", Materials Science Forum, 102-104: 99-108.
- Davis, J.,R., (1999), Corrosion Of Aluminum And Al Alloys, Asm International, Ohio.
- Doruk, M., (1982), Korozyon Ve Önlenmesi, Odtü Yayın No:70, Ankara.
- Geçkinli, A., E., Tuncer, S., K., (1983), "7075 Alüminyum Alaşımlarında Retrogresyon Kinetiği", II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, Seydişehir,371-383.
- Gosh, K., Das, K., Chatterjee, U.K., (1999), "Influence Of Retrogression And Reaging Treatments On An Al-Cu-Mg-Zn Alloy", Journal Of Material Process Technology, 92: 54-59.
- Hatch, J.E., (1994) Aluminum Properties And Physical Metalurgy, Asm, Ohio.
- Hayden, H.W., Moffat, W.G., Wulff, J., (1993), (Çevirenler : Onaran, K., Ermen, B., Malzemelerin Yapı Ve Özellikleri, Cilt III, İTÜ Rektörlüğü.
- Löffler, H. Kovacs, I., Lendvai, J., (1990), "Review Decomposition Processes In Al-Zn-Mg Alloy", Journal Of Material Science, 18: 2215-2240

Narasimha Rao, (1988), "Influence Of Aging Treatment On The Grain Boundary Precipitation And Chemistry In 7075 Al Alloy", Metallurgical Trans. A, 12: 1356-1359, 1988.

Peel, C.J., (1986), "Aluminum Alloys For Airframes-Limitations And Developments, Materials Science And Technology, 2: 1169-1175.

Shastri, C.R., Levy, M., Joshi, A., (1981), "The Effect Of Solution Treatment On Solute Concentration At Grain Boundaries In 7075 Aluminum Alloy", Corrosion Science, 21: 673-688.

Shewmon, P.G., (1989), Transformation In Metals, Mc Graw Hill Book Company.

Temel, A., (2001), "Alüminyumun Elektrokimyasal Ve Korozyon Karakteristiği", Makine & Metal Dergisi, 114: 37-41.

Topbaş, M.A., (1992), Korozyona Dayanıklı Malzemeler, İstanbul.

TS 412, (1987), "Bıçimlenebilen Alüminyum Ve Alüminyum Alaşımları Kimyasal Bileşimi", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 1321, (1986), "Hafif Metal Ve Alaşımlarına Uygulanan Temper İşlemlerin Kısa Gösterilişi", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ural, K., (1994), "A study Of Optimization Of Heat-Treatment Conditions in Retrogression And Reaging Treatment Of 7075-T6 Aluminum Alloy", Journal Of Materials Sciences Letters, 13: 383-385.

Van, C.M., Wei, W.Y., Jhn, M.T., (1981), "Studies Of A Thermomechanically Treated Al-Zn-Mg Alloy", Journal Of Mater. Sci., 16: 1097-1102.

Van H., Kent R., (1996), Aluminum, Asm, Vol. II., Ohio.

Wallace, W., Beddoes, J.C., De Malherbe, M., C., (1991), "A New Approach To The Problem Of Scc in 7075-T6 Aluminum", Canadian Aeronautics And Space Journal, 27: 222-232.

Wallace, W., Holt, R.T., Butler, C., (1998), "Retrogression And Reaging Revisited", Key Engineering Materials, 145: 1043-1052.

EK 1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÇEŞİTLİ STANDARTLARDAKİ KISA GÖSTERİMİ

ETİBANK	AA	U.K .BS	ISO	GOST	DIN	Werkstoff	FRANSA AFNOR	İTALYA UNI	İSVEÇ	İSVİÇRE
ETİAL 5	1050A	1B	Al99,5	A5	Al99,5	3,0255	A5	4507	14-4007	Al99,5
ETİAL 7	1070			A7	Al99,7	3,0275		4508		
	1080A	1A	Al99,8		Al99,8	3,128	A8	4509	14-4004	
ETİAL 0	1200	1C	Al99,0	A0	Al99	3,0205	A4	3567-66	14-4010	Al99,0
	1350	1E	Al99,5		E-Al	3,0257	A5L		E-AL99,5	
ETİAL 20	2011	FC1	AlCu6BiPb		AlCuBiPb	3,1655	A-U5PbBi	6362	14-4355	AlCu6BiPb
ETİAL 21	2014h15	H15	AlCu4SiMg		AlCuSiMn	3,1255	A-U4SG	3581	14-4338	AlCuSiMn
ETİAL 22	2017			Amr6	AlCuMg1		A-M4G	3579		
	2117				AlCu2,5Mg0,5					
ETİAL 24	2024		AlCuMg1	1163	AlCuMg2	3,1355	A-U4G1			AlCu4Mg1,5
	2218				AlCuMgNi2					
ETİAL 30	3003		AlMn1Cu	A31M	AlMnCu	3,0517	A-M1	3568		AlMn
	3103	N3			AlMn1	3,0515		7780	14-4054	AlMn
	3105									
ETİAL 31	3004				AlMn1Mg1	3,0526	A-M1G			
	3005				AlMn1Mg0,5	3,0525	A-MG0,5			
ETİAL 50	5005	N41	AlMg1		AlMg1	3,3315	A-G0-6	5764-66	14-4106	AlMg1
					AlMg2Mn0.8	3,3527				
ETİAL 52	5052			AlMr2	AlMg2,5	3,3523	A-G2,5C	3574		
	5754				AlMg3	3,3535	A-G3M	3575		
	5056A	N6	AlMg5		AlMg5	3,3555	A-G5	3576		
	5083	N8	AlMg4,5Mn		AlMg4,5Mn	3,3547	A-G4,5MC	7790	14-4140	AlMg5
	5086				AlMn4Mn	3,3545	A-G4MC			AlMg4
ETİAL 53	5154	N5	AlMg3,5	AMr3	AlMg3,5	3,3535	A-G3	3575		AlMg2,7Mn
	5251	N4	AlMg2		AlMg2Mo3	3,3525	A-G2M	3574		AlMg2
	5454	N51	AlMg3Mn		AlMg2,7Mn	3,3537	A-G2,5MC	7789		AlMg2,7Mn
	5657				AlMg0,8Si					
	5754				AlMg3,5	3,3535	A-G3M			
	6061	H20	AlMg1SiCu	AB			A-GSUC	6170		
ETİAL 60	6063/6060	H9	AlMg0,5Si		AlMgSi0,5	3,3206	A-GS	3569	14-4104	AlMgSi0,5
ETİAL 61	6082/6351	H30	AlSi/MgMn	A35	AlMgSi	3,2315	A-SGM0,7	3571	14-4212	AlMgSi0,6
ETİAL 64	5101A/6463	91E	AlMgSi		EA1MgSi0,5	3,3207		3570		AlMgSi0,5
	7020	H17			AlZn4,5Mg1	3,4335	A-Z5G	7791		AlZn4,5Mg1
	7022				AlZnMgCu0,5	3,4345				
	7075		AlZn6MgCu	B95	AlZnMgCu1,5	3,4365	A-Z5Gu	3735		AlZn6MgCu1,5
	7079									
	7175			B9504						
ETİAL 110	319	LM4					AS5U3			
	355,1	LM16	AlSi5Cu1					3600		
ETİAL 120	B443/4043	LM18	AlSi5		AlSi5					
ETİAL 140	A413,2	LM6	AlSi12		AlSi12	230	AS13	4514		
	A413,1	LM2	AlSi12CuFe		AlSi12CuFe	231	AS12U	5079		
ETİAL 141	413	LM20	AlSi12Fe		GD-AlSi12		AS12			

ETIAL 145		LM13					AS12UN			
ETIAL 150			GAISI12Cu					5076		
ETIAL 160	B380,1	LM24	AlSi8Cu3Fe		AlSi8Cu3	226	AS9U3	5075		
ETIAL 171	A360,2		AlSi10Mg		AlSi10Mg	239	AS10G	3051		
ETIAL 175	F332	LM26								
ETIAL 180		LM2								
ETIAL 220		L91	AlCu4Si		AlCu4,5					
ETIAL 221		LM11	AlCuTi		AlCu4Ti		A-U5GT			
	308,1	LM21	AlSi5Cu3			225		7364/4		



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.09.1978

Doğum yeri Finike

İlkokul 1983-1988 Cengiz Topel İlköğretim Okulu, Finike

Ortaokul – Lise 1988-1996 Saint Michel Fransız Lisesi, İstanbul

Lisans 1996-2001 Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurum

2002-2004 Sönmez Metal End.Tic. A.Ş.

