

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Alüminyum
Alaşımının Isıl İşlemi
(Yüksek Lisans Tezi)

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Hazırlayan : Muhsin DOĞAN
Yönetici : Prof. Dr. Ruşen GEZİCİ

İstanbul 1989

ÖZET

Bu tez çalışması; alüminyum ve alüminyum alaşımlarının üzerinde uygulanabilecek bir takım ısıtma işlemleri ve elde edilebilecek sonuçları ihtiva etmektedir.

Yapılan bu araştırmada alüminyum alaşımlarına uygun ısıtma ortamlarında (hava fırınları, tuz banyoları gibi), tavlama, stabilizasyon, homogenleştirme, gerilme-giderme, çözündürme ve yeniden billurlaştırma gibi ısıtma işlemleri uygulayarak alaşıma, iyi elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği, manyetik hassasiyet, yansıtıcılık ve iyi işlenebilirlik v.s. gibi özellikler kazandırılabilineceği görülmüştür.

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtma işlemlerinin önemli bölümünü yaşlandırma (çökeltme) ısıtma işlemi oluşturmaktadır. Bu yaşlandırma ısıtma işlemi neticesinde alüminyum alaşımına; iyi çekme dayanımı, akma dayanımı, korozyona karşı dayanıklılık ve sertlik gibi yüksek mekanik özelliklerinin kazandırılabilineceği görülmüştür.

Netice olarak ısıtma işlemi uygulanan alüminyum alaşımlarının bir takım olumlu mekanik özellikler kazandırılabilineceği tesbit edilmiştir.

SUMMARY

This thesis preparing contains some results and applicatinable heat treatments onto aliminium and its alloys.

It's seen a few caractristics at/in this search such a good electrical conductivity, heat conductivity, mechanic sensibility, reflectivity will be obtained to aliminium and its alloys by applying heat treatments these are tempering, stabilization, homogenization, stepdown trasformer, dissociating and crystalization in a good heat condition.

The precipitate is the important part of the heat treatment applied to aliminium alloys. The precipitate at the end of the heat treatment make goin aliminium alloys some high mechanic characteristics such a tensile strenght, flowing strenght, endurance and hardness agains to corrosion.

As a result, it's observed that aliminium alloys applied heat treatment will have some positive mechanic characteristics.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında her türlü yardımlarını esirgemeyen hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Ruşen GEZİCİ'ye içten teşekkürlerimi sunarım.



TABLÖLAR

- II.2. Tipik Tavlama Isıl İşlem Çevrimleri
- II.5. Alüminyum Tavlama Ve GERilme Giderme Çevrimleri
- II.8. Tipik Eriyik Isıl İşlem Çevrimleri
- II.10. Tipik Çökeltme (Yaşlandırma) Isıl İşlem Çevrimleri
- III. Alüminyum Isıl İşlem Cevrileri (Kumda Döküm)
- III. Alüminyum Isıl İşlem Çevrimleri (Kokilda Döküm)

ŞEKİLLER

- I.1. Dünya alüminyum üretimi
- II.2. Tavllanmış (Normal olarak) 1100 alaşımının mikro yapısı.
- II.2. Tavllanmış (Yanlış olarak) 2024 alaşımının mikro yapısı.
- II.2. Tavllanmış alaşımın mikro yapısı.
- II.2. Isıl işlemlili yapı.
- II.7. 356 Alüminyum alaşımının döküldüğü hali.
- II.7. 355 Alaşımında çözündürme işleminde ötektik ergime.
- II.10.1.Faz diyagramı.
- II.10.2.Zonlar.
- II.10.2.A-Q' ve B-Q yapısı.
- II.10.2.Yaşlanma süresine bağlı olarak malzemenin sertlik mukavemetindeki değişim.
- II.10.3.Çökeltme olayı.
- II.10.3.Yaşlanma sırasındaki ara durum.
- II.10.3.Suni yaşlanma (Şematik)
- II.10.3.Tabii yaşlanma (Şematik)
- II.10.4.Çökelti fazı içeren malzemede dislokasyon ilerlemesi.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
TABLolar	IV
ŞEKİLLER	V
İÇİNDEKİLER	VI
GİRİŞ	1
BÖLÜM I	
ALÜMİNYUM	
I.1. Alüminyumun Endüstrideki Yeri	2
I.2. Alüminyumun Özellikleri	4
I.3. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi	5
I.4. Saf Alüminyuma İlave Edilen Bazı Alaşım Elementleri	6
I.5. Alüminyum Alaşımlarının Sembolleştirilmesi	8
I.6. Isıl İşleme Tabi Tutulabilen Ve Tutulamayan Alaşımlar	10
I.6.1. Isıl İşleme Tabi Tutulabilen Alaşımlar	10
I.6.2. Isıl İşleme Tabi Tutulamayan Alaşımlar	12
BÖLÜM II	
ALÜMİNYUM ISIL İŞLEMİ	
II.1. Isıl İşlemin Metalurji Yönünden Tetkiki	14
II.2. Tavlama	16
II.3. Stabilizasyon (Dengeleştirme)	22
II.4. Homogenleştirme	22
II.5. Gerilme - Giderme Tavlaması	23
II.6. Yeniden Billurlaştırma	25

II.6.1. Yeniden Billurlaştırmanın Tesirleri	25
II.6.2. Soğuk Şekil Değiştirmenin Tesirleri	25
II.6.3. Yeniden Billurlaştırmanın Kanunları	25
II.6.4. Tane Büyüklüğü	26
II.6.5. Tane Büyüklüğüne Tesir Eden Faktörler	26
II.7. Çözündürme Isıl İşlemi	29
II.8. Katı Eriyiğe Alma	32
II.9. Su Verme	34
II.10. Yaşlanma Isıl İşlemi	36
II.10.1. Yaşlanmanın Olması İçin Gereken Şartlar	36
II.10.2. Çökelti Fazının Oluşumu	37
II.10.3. Çökeltme (Yaşlandırma) Sertleşmesi	40
II.10. 4. Yaşlanma Sertleşmesinin Sebepleri	46
II.10.5. Yaşlanmanın Malzeme Yapısına Etkisi	49
II.10.6. Aşırı Yaşlanma	49
II.10.7. Yaşlanma Sertleşmesinin Geciktirilmesi	49

BÖLÜM III

ISIL İŞLEM

III.1. Isıl işlem Ortamları	52
III.1.1. Hava Fırınları	52
III.1.2. Tuz Banyoları	52

BÖLÜM IV

SONUÇ	54
-------------	----

KAYNAKLAR	55
-----------------	----

EKLER

EK-I. Isıl İşlem Çevrim Tabloları	56
---	----

EK-II. Isıl İşlem Uygulanmış Tipik Yapılar	58
--	----

ÖZGEÇMİŞ	60
----------------	----

GİRİŞ

Günümüzde, kullanım amacına ve yerlerine göre hafif fakat mekanik özellikleri yüksek alaşımlara ve metallere olan ihtiyaç çok artmıştır. Bu sebeble üstün özelliklerinden dolayı (hafiflik, iyi işlenirlik, ısı ve elektrik iletkenliği, mekanik özellikler v.s.) alüminyum ve alaşımları endüstride büyük önem kazanmıştır.

Son yıllarda alüminyum ve alaşımlarının kullanımı büyük bir hızla artmış, alüminyum ve alaşımları endüstrinin her dalına girmiştir. Böylesine hızla önem kazanan alüminyum ve alaşımları üzerinde yapılan çalışmalargit-tikce hızlanmakta, yeni alüminyum alaşımları yapılmakta ve daha önce yapılanların özellikleri geliştirilmektedir. Bu amaçla uygulanan metodlardan birisi de ısıl işlemler olup, bunların uygulanmasıyla alaşıma çok yönlü özellikler kazandırılmaktadır.

Bu araştırmadaki amaç; Türkiye'de de oldukça önem kazanan alüminyum alaşımları hakkında az da olsa bilgi vermek, bu alaşımlara uygulanan ısıl işlemler ve bu uygulanan ısıl işlemlerle değişen olumlu özellikler hakkında bilgi vermektir.

BÖLÜM I

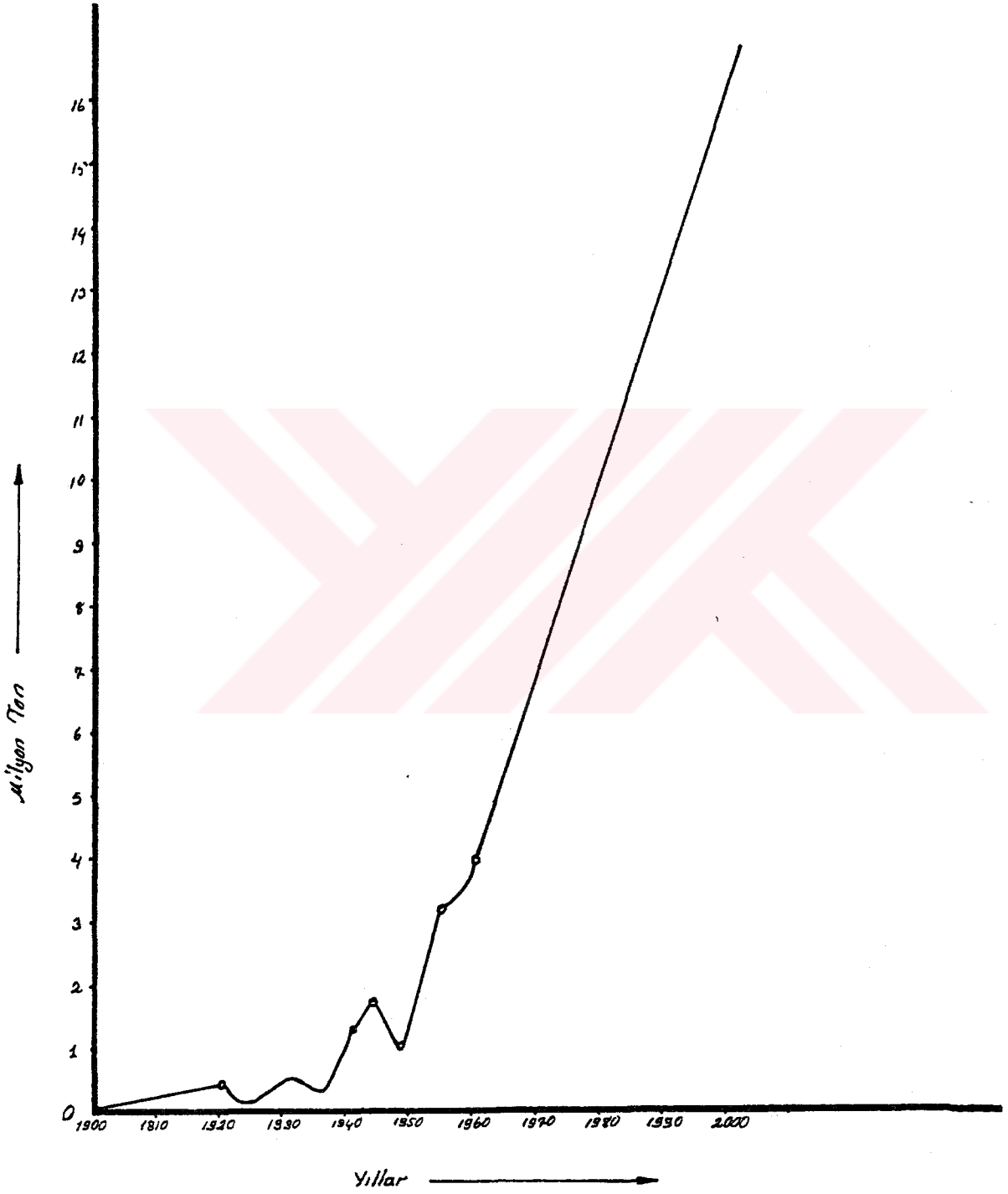
ALÜMİNYUM

I. 1. Alüminyumun Endüstrideki Yeri

Alüminyumun endüstri dallarına girişi; bakır, çinko ve kurşuna oranla yeni sayılır. Endüstrideki hızlı gelişme, hafif fakat mekanik özellikleri iyi malzemelerle duyulan ihtiyaç alüminyumu birinci sıraya çıkartmıştır. Alüminyum alaşım yapma tekniğinin geliştirilmesi ile kullanım alanlarının artmasını sağlamıştır. Hafif oluşu, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, atmosferik korozyona dayanıklılığı, şekillendirilme kolaylığı ve diğer metallerle yüksek çekme mukavetine sahip alaşımlar meydana getirebilmesi en büyük avantajlarından. Geniş kullanım alanlarının bulunuşunun bir sebebi de alüminyum cevherinin bol oluşudur.

İkinci Dünya Savaşı'ndan 1957 yılına kadar alüminyum endüstrisi olğan üstü bir büyüme göstermiş ve üretilen alüminyumun hepsi tüketilmiştir. Bundan sonra üretim miktarı tüketim miktarının üzerine çıkmıştır. Böylece, fiatlarda bir düşüş kaydedilmiştir. Buna karşılık, üretim maliyetinin artması, alüminyuma yeni pazarlar aranmasına neden olmuş ve bunun sonucu olarak da alüminyum bir çok endüstri dalında diğer metallerin yerini almıştır. Alüminyum tüketim alanlarının artması, içine kapalı milli endüstriler yerine uluslararası bir endüstrinin doğmasına sebep olmuştur. Bu geçiş süreci çok kısa olup teknolojik gelişmeler ile gayet iyi sonuçlar vermiştir. Dökme alaşımların bileşimlerinin hassas olarak değiştirilmesi lityum ilavesi ile (AICDA, 1958) büzlme direncinin, bakır ilavesiyle sıcak direncin artırılması alaşımlara geniş uygulama alanları tanımıştır.

Alaşımların bileşimleri, kaynağa elverişlilik, anobizasyonla renklen-



Şekil 1 : Dünyada alüminyum üretimi (4)

dirme ve yatakların korozyona direnci incelendi. Bütün alüminyum alaşımlarının soğuk dirençleri incelendi ve gevrek olmadıkları görüldü. Fakat alaşımların alçak sıcaklıklarda ıslah edilmesinin malzemenin kırılğan bir hal almasına yol açtığı görüldü. Son yıllarda berilyumun alüminyuma etkisi incelendi. Berilyum alüminyum ile katı eriyik yaparak malzemenin bir yaşlanma sonucunda sertleşmesini sağlar ve iyi bir mukaveket kazandırır.

I. 2. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum yer kabuğunda %8 oranında bulunur. Esas olarak boksitten elde edilir. 1886 da endüstriyel olarak Amerika'da Hall, Fransa'da Herold tarafından üretilmiştir.

Alüminyumun özellikleri:

Sembol	: Al
Atom no	: 13
Atom ağırlığı	: 26.97
Yoğunluğu	: 25 °C 'de 2.6978 g/cm ³
Ergime noktası	: 660.2 °C
Buharlaştırma noktası	: 2450 °C
Isıl genişmesi	: 23.6 x 10 ⁻⁶ (20 - 100 °C)
Özgül ısısı	: 0.224 cal/gr. (100 °C)
Ergime gizli ısısı	: 94.5 cal/gr.
Elektrik iletkenliği	: %64.94 IACS
Elektrik direnci	: 2.6548 mohm/cm 20 °C 'da
Elektrik d. sıcaklık sbt.	: 0.0429 20 °C 'da
Manyetik hassasiyeti	: 06 x 10 ⁻⁶ CGS
Yansıtıcılık	: Tungsten flamadan gelen beyaz ışık için % 90
Kristal yapısı	: YHK (a = 4.091 Å)

Elastik modülü	: $6.3 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$
Çekme dayanımı	: 10.4 kg/mm^2
Akma dayanımı	: 2.6 kg/mm^2
% Uzama	: 60
Sertlik	: 17 (BHN)

Alüminyumun fiziksel özellikleri çok az miktarda da olsa diğer elementlerin ilavesinden büyük ölçüde etkilenir. Yukarıdaki özellikler %99.996 safiyetteki alüminyum içindir.

Alüminyum korozyona dayanıklıdır, yüzeyinde oluşan Al_2O_3 tabakası korozyonu önler ve metali korur. Alüminyum saflaştıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Ayrıca dayanma soğuk işleme önemli ölçüde arttırılabilir⁽⁵⁾.

I. 3. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi

Alüminyum iyi olan bir çok özelliklerinin yanısıra dökme ve mekanik özellikleri çok kötüdür. Bu kötü özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla Alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Saf alüminyuma döküm sırasında alaşım elementleri ilave edilmesinin iki sebebi vardır. Bunlar:

- 1- Akışkanlığı arttırmak, sıcak yırtılma meylini azaltmak ve benzeri özellikleri geliştirmek.
- 2- Elde edilen alaşımın korozyona dayanıklılık, sertlik, mukavemet, işlenebilirlik ve kaynak edilebilirlik gibi mekanik özelliklerini geliştirmektir.

Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri belirli yüzdeler içinde kalmaktadır. İstenerek ilave edilen alaşım elementlerinin yanında diğer bazı elementler de bulunabilir. Bu empüritelerin belirli bir yüzde max. miktarı geçmemesi istenir.

I. 4. Saf alüminyuma İlave Edilen Bazı Alaşım Elementleri

I. 4. a. Bakır

Alüminyumun yanında alaşım elementi olarak kullanılan en eski elementtir. Alaşım elementi olarak %3-12 oranında kullanılır. Alaşımlara sertlik kazandıran başlıca elementtir. Isıl işleme tabi tutulmuş ve tutulmamış halde iken alaşımın kopma mukavemetini arttırır. İlave edilen miktarlarla orantılı olarak mukavemet artışı sağlanır. Döğme alaşımlarda %3-5 oranında kullanılır. %5'den fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü arttırır. Ayrıca elektrik iletkenliğini ve korozyon direncini düşürür.

Döküm alaşımlarında %12 'ye kadar kullanılır. %10 'dan fazla bakır bulunan alaşım gevrek bir yapıdadır. %12 Cu 'lu bir alaşımda çekme mukavemeti 9.1 kg/mm^2 'den 14 kg/mm^2 'ye çıkar.

Bakır değişik sıcaklıklarda alüminyum içinde değişik miktarlarda çözünmesi alüminyum alaşımlarına ısıl işleme tabi tutulabilme ve ısıl işlemle sertleşebilme özelliğini verir.

I. 4. b. Silisyum

Alüminyumda Cu'dan sonra en önemli alaşım elementi silisyumdur. Silisyum sıvı alüminyumun akışkanlığını arttırır. Silisyum en fazla %13 oranında bulunabilir. Özellikle magnezyum ile karıştırıldığında ısıl işlem uygulanabilen alaşımlar yapar. Fakat bu alaşımların çekme mukavemetleri çok yüksek değildir. $13.6 - 15.4 \text{ kg/mm}^2$ arasında değişmektedir. Mukavemet artışı silisyum artışı ile orantılıdır.

%5 Si 'lu malzeme özellikle ince ve karışık şekilli parçalar için kullanılabilir. Korozyon direnci yüksek olan bu malzemenin işlenebilme kabiliyeti azdır. Silisyum oranı %5 'den fazla ise iri köşeli olan silisyum kristallerinin oluşumunu önlemek ve kristallerin yuvarlak şekil almasını

sağlamak için sıvı metalin sodyumla modifiye edilmesi gerekir. %13 silisyumlu alüminyum alaşımı deniz ve otomotiv endüstrilerinde Al-Cu alaşımlarından daha fazla korozyon direnci ve şok direnci istenen parçalarda kullanılır. Silisyum bulduran dövme alaşımları suni yaşlanmadan sonra mukavemet artışı gösterirler. Yüksek silisyumlu alaşımlarda %1.5 'a kadar Fe bulunabilir. Demir artışı kırılğan ve iri kristalli yapı meydana getirir. Al-Si alaşımlarının ısı iletimi düşüktür. Bu özellik içten yanmalı motor pistonları gibi bazı parçalarda avantaj sağlar.

I. 4. c. Magnezyum

Magnezyum önemli alaşım elementlerinden birisidir. Al-Mg alaşımları ısıl işlem uygulanabilecek alaşımlardan istenen karakteristikte bir katı eriyiğe sahiptir. %8 'den fazla Mg ihtiva eden Al-Mg alaşımları ısıl işleme tabi tutulacak özellikleri iyileştirilebilir. Dövme alaşımlarda %1-6 Mg şekil verme kolaylığı için kullanılır. Genel olarak Mg ilavesi mukavemeti , haddelenebilme kabiliyeti ve işlenebilirliği arttırır. Magnezyumun alüminyuma alaşım elementi olarak ilavesi curuf yapma eğilimi sebebiyle güçlük çıkarır. Bu nedenle yüksek Mg'li alaşımlarda curuf oluşumunu önlemek amacıyla bir miktar Berilyum ilavesi yapılır. Berilyum oksidasyona kısmen engel olur. Genel olarak Al-Mg alaşımlarının korozyon direnci yüksektir. Fakat, yüksek miktarlarda Mg ihtiva eden alaşımlarda Mg'nin düşük sıcaklıklarda sınırlı olan erirliği sebebiyle fazı tane sınırlarında çökelmeye meyleder. Oda sıcaklığında yavaş olan çökeltme 70-100°C arasında hızlanır. Bu olay alaşımın gerilimli korozyona karşı direncini azalttığından %3'den fazla Mg ihtiva eden alaşımların yüksek sıcaklıklarda ve korozif ortamlarda kullanılmaması gerekir. AlMg alaşımlarının mekanik özellikleri belirli bir süre sonra bir miktar azalmış olur. Yaşlanma yumuşaması denilen bu hadiseyi önlemek için alaşımın özellikleri kararlı bir hale getirilir.

I. 4. d. Çinko

Çinko, yüksek mukavemeté sahip Al-Zn alaşımları yapar. 7075 ve 7078 alaşımlarının temel alaşım elementidir. Zn ilavesiyle bütün alüminyum alaşımlarının kopma mukavemeti artar. Haddelenebilme kaabiliyeti gelişir. Genellikle magnezyum ile birlikte karıştırılarak ilave edilince haddeleme kaabiliyetini arttırdığı gibi yüksek çekme ve darbe mukavemeti de kazandırır. Çinko alüminyum alaşımlarında %20 'e varan miktarlarda kullanılabilir(x).

I. 5. Alüminyum Alaşımlarının Sembolleştirilmesi

Bu sistem, alaşım işaretlendirme sisteminden daima bir harf ilavesiyle ayırt edilir. Bundan başka bazı işaretler sadece dövme mamüllere, bazıları yalnız dökme mamüllere, bazıları da her ikisine birden tatbik edilmiş olduğunu gösterir.

F. Dövme haliyle kalmış(Dövme mamüller).

O. Tavlanmış, yeniden billurlaştırılmış(Dövme mamüller).

H. Sertleştirilmiş(Dövme mamüller).

H1. Yalnız sertleştirilmiş.

H2. Sertleştirildikten sonra kısmen tavlanmış.

H3. Sertleştirildikten sonra dengeli hale getirilmiş.

W. Herhangi bir ıslah ameliyesine maruz bırakılmadan, dengesiz bir temperleme ile ısıl işleme tabi tutulmuş (Dövme mamüller).

T. "F.O.H.) 'dan maada, dengeli bir temperleme ile ısıl işleme tabi tutulmuş.

x- Alaşım elementleri hakkında daha geniş bilgi için A.S.M. yayını "Source Book on Selection and fabrication of aluminum Alloys Volume I 1978" 'e bakınız.

- T2. Tavlanmış(Dökme mamüller).
- T3. Isıl işleme tabi tutulduktan sonra soğuk dövme mamüller.
- T4. Isıl işleme tabi tutulmuş(Dövme veya dökme mamüller).
- T5. Suni olarak yaşlandırılmış(Dövme veya dökme mamüller).
- T6. Isıl işleme tabi tutulduktan sonra suni yaşlandırılmış(Dövme veya dökme mamüller).
- T7. Isıl işleme tabi tutulduktan sonra dengeli bir hale konmuş(Dökme mamüller)
- T8. Isıl işleme tabi tutulmuş, soğuk dövme ve sonra suni olarak yaşlandırılmış(Dövme mamüller).
- T9. Isıl işleme tabi tutulmuş, suni olarak yaşlandırılmış ve sonra soğuk olarak dövülmüş(Dövme mamüller)
- T10. Suni olarak yaşlandırılmış ve sonra soğuk olarak dövülmüş(Dövme mamüller)

Not: Bu (T) işaretlerinin üzerinde bir veya daha fazla tam sayı bulunduğu takdirde esas tretmanlardan farklı varyasyonlarla ısıl işlemlere tabi tutuldukları anlaşılır⁽¹⁾.

I. 6. Isıl İşleme Tabi Tutulabilen Ve Isıl İşleme Tabi Tutulamıyan Alaşımlar

Alüminyum alaşımları, en büyük yüzde miktarı alüminyum olmak üzere 1-9 kadar yabancı elamanları ihtiva edebilir. Bu elamanlardan bazıları, alaşıma arzu edilen özellikler vermek için bilinerek katılır; bazıları da tasfiye edilemeyen madde olarak bulunur.

Alüminyum alaşımlarındaki (Bakır gibi) bazı elamanların mevcudiyeti mukavemeti ve sertliği ısı ile arttırılabilen metalik bir yapı meydana getirir; fakat bazende alaşım elamanı olarak katılan elamanlar ısı ile işleme tabi tutulamayan haller meydana getirir. Dolayısıyla, ısı ile işleme karşı gösterdikleri hassasiyete göre dövme veya dökme alüminyum alaşımları; ısı ile işleme tabi tutulabilen ve ısı ile işleme tabi tutulamıyan alaşımlar diye iki gruba ayrılır.

I. 6. 1. Isıl İşleme Tabi Tutulabilen Alaşımlar

I.6.1. a. Dövme Alaşımlar

Dövme alaşımlar arasında ısı ile işleme tabi tutulabilenler grubuna dahil olanlar: 2011, 2014, 2017, 2018, 2024, 2025, 4032, 6151, 6061, 6063, ve 7075 'dir.

Dökme alaşımları arasında bu gruba 122, A 132, D 132, 142, 195, B 195 119, 133, 355 B 356 dahil olmaktadır.

Bu alaşımların ihtiva ettikleri elemanlar veya eleman grupları, yüksek sıcaklıklarda büyük ölçüde katı halde erime özelliklerine haiz olmakla beraber, düşük sıcaklıklarda bu özellikler sınırlı olmaktadır. Bu önemli karakteristik, alaşımı ısı ile işleme tabi tutulabilen bir hale koymaktadır. Bu gruba yüksek bakır yüzdeli yatak alaşımları (2014, 2017, 2024 ve 2025) magnezyum-silikat alaşımları (6051, 6081) ve yüksek çinko yüzdeli yatak alaşımları 7075 dahil bulunmaktadır. Bu alaşımların mukavemeti

evvela ısıtma işlemi arttırılmaktadır. Isıtma işlemi iki kısımdan ibarettir: Evvela yüksek sıcaklıklardan soğutucu ortamda su verme, sonra ya çökeltme veya alçak sıcaklıklarda yaşlandırma.

Bu alaşımlar genel olarak, bazı hususi hallerde plastik deformasyon ile tamamlananın ısıtma işlemleri ile mukavemet kazanırlar. Tavlanmış malzeme "O" temperi olarak gösterilmektedir. Bu çökeltme ısıtma işleminden hemen sonra malzeme "FQ" temperi yani; yeni su verilmiş durumda bulunmaktadır.

2017 ve 2024 alaşımları oda sıcaklığında çökeltme ile sertleşen (çökeltme sertleştirilmesi) alaşımlar olduğundan, tabii yaşanan alaşımlar diye tanınmaktadır. Suni yaşlandırma tetmana icap ettiren alaşımlar ise; oda sıcaklığında, sertleşme derecesi alaşıma göre değişen ve belirli bir dereceye kadar sertleşen alaşımlardır.

Tabii yaşlandırma ile tam mukavemet ve sertliğe erişebilen alaşımlara "T4" temper işareti verilir; şayet "T4" malzemesi üzerinde, mekanik özellikleri ıslah için yeter derecede soğuk şekil değiştirme yapılmış ise, "T3" işareti verilir. Isıtma işlemi ile suni olarak yaşlandırılan malzeme "T6" ile işaretlenir. İlaveten yapılan dengeleştirme ısıtma işlemi veya soğuk şekil değiştirme için malzeme "T7" ile "T9" temperleri ile işaretlenir. Son plastik deformasyondan sonra hiç bir işleme tabii tutulmayan yani; dövme haliyle kalmış "F" işareti verilir.

I.6.1. b. Dökme Alaşımlar

Isıtma işlemi tabii tutulabilen alaşımlar, plastik deformasyon neticesinde husule gelen sertleşmeyi ve ısıtma işleminin tevlit ettiği değişiklikleri ortadan kaldırmak için tavlanır.

Plastik deformasyon neticesinde husule gelen beklemeyi ortadan kaldırmak için 340-350 °C sıcaklıkta bir fırında bir saat bekletmeden sonra havada soğutmak kafidir. Maksimum derece yumuşaklık istenildiği takdirde

ıslıl işlemin neticelerini ortadan kaldırmak için de yine aynı sistemi tatbik etmek kafi gelmektedir.

Kısmen veya tam olarak, bir ıslıl işlemin neticelerini ortadan kaldırmak ve maximum yumuşaklık elde etmek isteniyorsa, 400-430°C sıcaklıktaki bir fırında 2 saat bekletildikten sonra 260° C ye ininceye kadar satte 10 derecelik bir soğutma hızı lazımdır. buna rağmen yüksek tavlama sıcaklıklarının malzemenin çekilme özelliğine büyük derecede tesir ettiklerini gözönünde bulundurmak lazımdır. Bakır veya diğer eriyebilen elamanların difüzyonu fazla olur. Yüksek çinko yüzdesi ihtiva eden 7075 tipi yatak alaşımlarında, ıslıl işlem veya soğuk şekil değıştirme neticesinde husule gelen değışiklikleri ortadan kaldırmak için, 415° C de bekletmek lazımdır. Busıcaklıkta 2 saat beklettikten sonra 235°C ye kadar havada soğutmak ve yine 6 saat 235°C de bekletmek lazımdır. 235°C lik ıslıl işlem (stabilizasyon) dengeleştirmek maksadıyla ve eriyebilen kısımların katı eriyikte çökebilmesi için yapılır.

I. 6. 2. ıslıl İşleme Tabi Tutulamayan Alaşımlar

I. 6. 2. a. Dövme Alaşımlar

Bu alaşımların mukavemeti, son tavlama işleminden sonra tatbik edilen, soğuk şekil değıştirme derecesine bağılıdır. Bu şekilde elde edilen özellikler muhtelif tavlamalar ile kayıp olurlar ve sonradan soğuk şekil değıştirme tatbik edilmedikçe tekrar elde edilemezler. "O" sembolü ile gösterilen yumuşak veya tavlanaarak gerilme giderilmiş temperden 1100 ve 3003 içnde "H39" olarak gösterilen çok sert tempere kadar sıralanan 6 temper mevcuttur. Ayrıca dövme.haliyle alaşımların "F" temperi vardır. "F" temperi değışik derecede gerilme-sertleşmesi lie elde edilmektedir. İnce kısımlar tavlama temperine,kalın kısımlar ise "H14" (Yarı sert) temperine takriben yaklaşan özllikleri haizdir.

Tamamı ile tesbit edilmiş mekanik özellikler arzu edildiği takdirde "F" temperi kullanılmaz. Dövme haliyle kalmış malzemeler için kolaylıkla üniform özellikler elde edilebilir zannedilirse, hakikatte bu özellikler garanti değildir.

I. 6. 2. b. Dökme Alaşımlar

Yüksek sayfiyetli alüminyum ve 1100,3003,5052, 5056 gibi ısıl işleme tabi tutulamıyan laşımlar, soğuk şekil değiştirmeden dolayı husule gelen sertleşmeyi ortadan kaldırmak üzere tavlanır. (1)

B Ö L Ü M II

ALÜMİNYUM ISIL İŞLEMİ

Isıl işlem, metallerde istenen özellikleri geliştiren bir ısıtma işlemi veya şilemler zinciridir. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi sırasında oluşan özellik değişimi, çözünme ; belirli alaşımlama bileşenlerinin çökmesi yoluyla olur. Çökelerek sertleşen alüminyum alaşımları 3 ana faz ihtiva eder; çözündürme, su verme ve yaşlandırma.

Isıl şilemler dökümlerin gerilim gidermesinde veya kararlılaştırılmasında da kullanılır. Bu temperin uygulandığı dökümler, çözündürme işlemi uygulanmamış ve gerilim giderilmesi tasarlanmış dökümlerdir.

II. I. Isıl İşlemin Metalurji Yönünden Tetkiki

Isıl işleme mütemayil olan alaşımlar, başlıca alaşımlandırıcı elementin katı haldeki çözünürlüğünün, normal sıcaklıklara kıyasla yüksek sıcaklıklarda, önemli bir artış gösterdiği alaşımlardır. Isıl işlemin başlıca hususiyetlerinin daha iyi bir şekilde anlaşılması için ilk olarak bir metalin diğer bir metal, ile ne oranda katı eriyik teşkil edebileceğinin mütaale edilmesi gerekir. Alüminyum gibi bir metal, sıvı halde hakiki bir çözelti teşkil etmek üzere bir veya daha fazla metali (Bakır gibi) çözüdürebilir. (Örneğin böyle bir durumda hiç bir metalin ayrı olarak görünemeyeceği homojen bir karışım meydana gelir.) ilave edilen metal katılaşma esnasında ana metal ile birlikte sıkı bir bileşik meydana getirebilir. Bu şekilde meydana gelmiş bir alaşım bileşimi "Katı eriyik" olarak adlandırılır. Genellikle bir katı eriyiğin özellikleri, sistemde fazla miktarda mevcut olan metalin özelliklerine benzer. Fakat bu özellikler, sistemde çözünmüş olan ikinci metalin miktarına bağlı olarak değişirler.

Bazı metaller, katı eriyik teşkil etme özelliklerine ilaveten, metaller arası kimyasal bileşiklerde meydana getirebilirler. Bunların özellikleri ekseri sistemi teşkil eden ana elementlerin özelliklerinden bariz şekilde farklıdır. Bu bileşkenlerin kimyasal bileşimleri muhakkak surette sabit değildir ve bazı belirli limitler arasında değişebilir. Böylece bakır ve alüminyum $CuAl_2$ terkiminde olan bu cins metaller arası bileşik meydana getirir. Buna benzer şekilde magnezyum ve silisyum da Mg_2Si bileşiminde olan metaller arası bileşik teşkil ederler. Genel olarak metaller arası bileşikler sert ve gevrek olurlar. Fakat bir alaşımın içinde dağılmış vaziyette bulduklarında ona değerli özellikler kazandırırılar. (Bilhas-sa sistemin mukavemet değerini yükseltirler.)

Böyle bir alaşımın ısııl işleminde, metaller arası bileşiklerde mevcut elementler, ana kütle tarafından katı eriyik bünyesine dahil edilebilirler. Böyle bir işlem sonucunda farklı ve çoğu zaman son derece değerli özelliklere haiz bir alaşım meydana getirirler. Bu cins alaşımlar, yeterli bir süre içinde belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında bileşkenler çözünür. Bu şartlar altında metal suretle soğutulursa (Suda su verme) çözülmüş malzemenin çoğu çözelti içinde kalır. Suni olarak zenginleştirilmiş olan bu katı eriyik kararlı değildir ve elementin (veya kimyasal bileşiğin) fazlası katı eriyikten çökelmeye temayül eder.

Çökeltme, oda sıcaklığında kendiliğinden vuku bulabilir. (Tabi olarak yaşanan alaşımlarda olduğu gibi) veya fiili olarak ancak sıcaklığın yükseldiği zaman meydana gelebilir. (örneğin; çökeltme ısııl işlemin tatbiki ile) Çökeltilmiş tanelerin büyüklüğü, normal olarak mikroskop altında görülemeyecek derecede küçktür. Fakat çökeltme olayından önceki tane büyüklüğü veya aglomerasyon derecesi, sertleştirilmiş malzemenin mukavemetini tayin eden başlıca faktördür.

Çökeltilmiş tanelerin boyutu vedolayısıyla malzemenin özellikleri

çökelme ısıl işlemi şartlarını değiştirmek suretiyle kontrol edilebilir. Yaşlanma yolu ile sertleşen bütün alaşımlar, eritme ısıl işlemi ve su vermeyi müteakip oda sıcaklığında muhafaza edildiklerinde sertlik ve çekme mukavemetinde bir artış gösterirler. Alüminyum-Bakır-Magnezyum alaşımında bu sertleşme çok kısa bir süre sonunda başlar ve esas sertleşme ilk 24 saat zarfında meydana gelir. Bununla beraber, alüminyum-magnezyum-silisyum, oda sıcaklığında sertleşme vuku bulur. Sertleşmede önemli bir artış elde etmek için bir kaç hafta beklemek icabeder. Bu sebepten ötürü yaşlanma sertleşmesini hızlandırmak amacıyla bu gibi alaşımlar çökelme ısıl işlemine tabi tutulurlar. Alüminyum alaşımlarının ısıl işleme tabi tutulabilmelerinin, $CuAl_2$ ve Mg_2Si gibi metalografik bileşiklerin sıcaklıkla değişen çözünürlüklerinin sebebiyle imkan dahiline girdiği aşıkardır. Alaşımlar ısıtıldıklarında, bu bileşkenler katı eriyik bünyesine dahil olurlar. ve sisteme su verildiği zaman, önce çözelti halinde kalırlar. Fakat bilehare mikroskop altında görülmeyecek parçacıklar halinde çökeliirler ve bunun neticesi olarakta alaşımı sertleştirir ve mukavim hale getirirler. (7)

II. 2. Tavlama

Herhangi bir metalin soğuk olarak işlemi (Haddedeledi olduğu gibi) düzenli bir atom yapısına sahip kristal tanelerini fazla sayıda daha küçük kristallere ve kristal parçalarına ayırır. Aynı zamanda kayma (veya simetri düzlemi boyunca kayma) düzlemlerinin sayısı azlır ve gerilme altındaki metalin plastik akışa karşı mukavemeti artar. O zaman metale deformasyon sertleşmesi verilmiş olur. Bu işlem sonunda metal eskisinden daha mukavim ve sert olur.

Eğer metal belli bir sıcaklığın üzerine ısıtılırsa (tavlaniırsa) bozulmuş, deformasyon sertleşmesine uğramış tanelerin yerini tetricen, yeni, düzgün ve tekrar düzenli bir atom yapısına sahip taneler alır. Böyle bir olay kendini evvela en çok işlem görmüş bölgede gösterir,

Bu işleme "Yeniden kristalleşme" (Yeniden billurlaşma) adı verilir. Soğuk işleme tabi tutulmuş yapının bütün taneleri yeni ve düzgün taneler haline gelinceye kadar devam eder. Yeniden kristalleşmenin vuku bulduğu sıcaklık mertebesi bir alaşımın sabit özelliği olmayıp istihsal şartları ve ısıtma süratine bağlı olarak değişir.

Yeniden kristalleşme işlemi tamamlandığı zaman, yeni teşekkül eden taneler metalin bileşimi ve önceki işlenme tarzı ile tayin olunan bir büyüklüğe sahip olurlar. Fakat sisteme yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde bir ısıtma tatbik edilirse, tanelerden bazıları diğerlerinden daha fazla büyümeye temayül eder. Böylece tane büyüklüklerinde genel bir artış meydana gelir. Tavlamanın son safhalarında meydana gelecek aşırı tane büyümesi ancak malzemenin pratik şartlarda tatbik edilen daha çok, daha uzun müddet ısıtılması sonucu ortaya çıkar.

Pratik tatbikatta alüminyum alaşımlarının çoğunda, tavlama fırınının ilk sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, teşekkül edecek tane büyüklüklerinin o derece küçük olacağı sonucuna varmıştır. Böyle bir olay sıcak bir fırına verilen şarjın daha soğuk bir fırına verilecek şarjdan çok daha çabuk ısınmasından ileri gelmektedir. Yeniden kristalleşme olayı sonunda malzemenin çekme mukavemeti ve sertliğinde bir düşüş ve sünekliğinde bir artış meydana gelir. Böylece metal yumuşak bir hale getirilmiş olur. Tavlama şartları malzemenin daha ileri bir soğuk işleme tabi tutulmasını mümkün kılar.

Çok saf alüminyum (999.996 safiyetinde olan) yüz derece gibi düşük bir sıcaklıkta yeniden kristalleşebilir. Daha yüksek bir safiyette olan alüminyum metali ise oda sıcaklığında yeniden kristalleşebilir. Bir alüminyum alaşımının yeniden kristalleşme sıcaklığının mertebesi genellikle malzemenin bileşimi ve görmüş olduğu soğuk işlem miktarına bağlı olarak değişir. Mangenezin alüminyuma alaşımlandırıcı element olarak ilavesi, yeni-

den kristalleşme sıcaklığında fevkalade bir artışa sebebiyet verir. (Artış 60°C civarındadır)

Tavlamanın gayesi genellikle daha sonra tatbik edilecek soğuk işlemler için metali yeteri derecede yumuşatmaktan ibarettir. Böylebir işlemin tatbikinde, tanelerin aşırı büyüklükte meydana gelmesi muhakkak surette önlenmelidir. Zira teşekkül eden büyük taneler mukavemette bazı kayıplara ve metalin yeniden işlenmesinde portakal kabuğu gibi pürüz bir yüzeyin meydana gelmesine sebebiyet verir. Tatbikatın şekline bağlı olarak uygulanan şartlar ve düzgün bir imalat, metale $0,02 - 0,10$ mm çapında tane boyutlarına sahip yeknasak ve ince bir yapı temin eder. Hemen hemen bütün alşımları (Isıl işleme tabi tutulabilen) 350°C civarında ıstmak, soğuk işlem neticesi meydana gelen defrmasyon sertleşmesini bertaraf etmeye yeterlidir.

Her ne kadar saf alüminyumun mekanik özellikleri soğuk işlemin tatbiki ile değiştirilebilirse de, uygun metaller arası alaşımlandırıcı bileşkenlerin mevcut olmayışı sebebiyle, saf metalin eritme veya çökeltme ısıl işlemine tabi tutulamıyacağını gözönünde bulundurmak gerekir. Bununla beraber alüminyum (Ve alaşım) dökümleri, döküm kalıplarında soğuma esnasında bileşkenin içinde meydana gelen artık gerilmeleri, (Katılaşma esnasında metal bünyesi içinde kalması sebebiyle) yok etmek gayesiyle tavlama işlemine tabi tutulur. Bu artık gerilmeler n.ş.a. boyutlarda göze çaracak bir değişiklik olmaksızın, denge haline erişirler. Bununla beraber, talaş kaldırma işlemi veya normalden daha yüksek bir sıcaklığa çıkılması neticesi sistemin dengesinde meydana gelebilecek bozukluklar, malzemenin derhal veya ileri tarihlerde kullanılması halinde eğilme ile neticelenebilir. Bunun sonucu olarak döküler, sistemde mevcut gerilmenin bertaraf edimesi için $200 - 250^{\circ}\text{C}$ e kadar ısıtıp yavaş bir şekilde soğutulmak suretiyle bir işleme tabi tutulurlar. Bu tavlama ameliyesine "Kendini toparlama" denir(7).

TABLO-1

Tipik TAVLAMA ISIL İŞLEM Çevrimleri

Dövme alüminyum alaşımları

Alaşım	Isıl işlemden sonra yumuşatma (2)			Soğuk işlemi ortadan kaldırma		
	Bekletme sıcaklığı °C	Bekletme müddeti saat	Soğutma hızı (1)	Bekletme sıcaklığı °C	Bekletme müddeti saat	Soğutma hızı (1)
1100(4)	—	(3)	—	335 — 350	1/2 — 2	A veya B
3003	—	(3)	—	390 — 400	1/2 — 2	A veya B
3004	—	(3)	—	390 — 400	1/2 — 2	A veya B
5050	—	(3)	—	335 — 350	1/2 — 2	A veya B
2011	400 — 425	2	B	335 — 350	1/2 — 2	A
2014	400 — 425	2	B	335 — 350	1/2 — 2	A
2017	400 — 425	2	B	335 — 350	2	A
2024	400 — 425	2	B	335 — 350	2	A
A2024	400 — 425	2	B	335 — 350	2	A
5052	—	(3)	—	335 — 350	2	A veya B
5056	—	(5)	—	335 — 350	2	A veya B
6061	400 — 425	2	B	335 — 350	2	A
6063	400 — 425	2	B	335 — 350	2	A
7075	355 — 370	2	C	355 — 370	2	C

1) Tavlamadan sonra soğutma hızı:

A) Havada soğutma.

B) 250°C ye kadar, fırında saatte 28°C hızla soğuttuktan sonra havada soğutma.

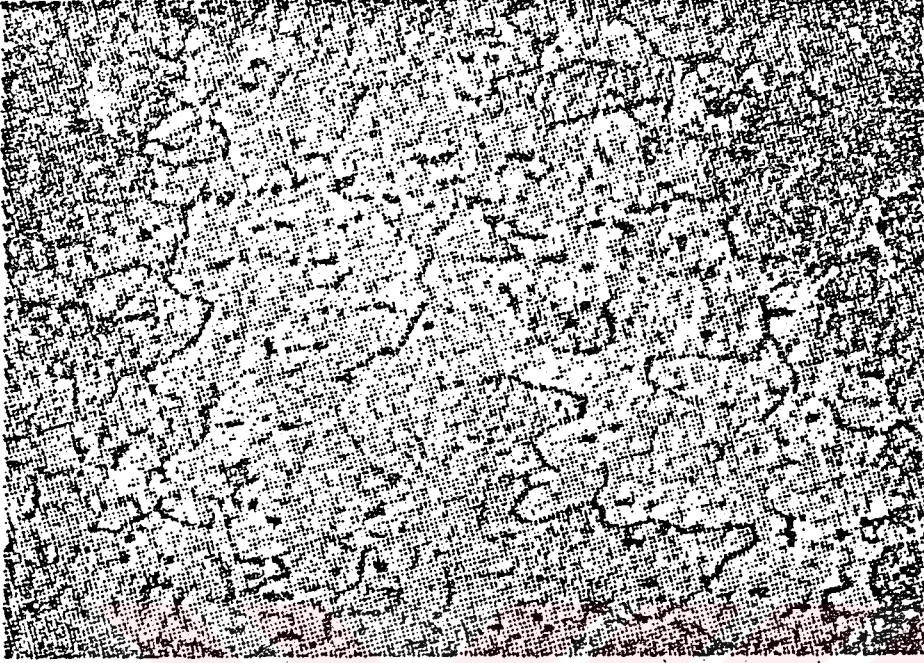
C) Havada 235°C ye kadar soğutup 235°C de 4 saat beklettikten sonra oda sıcaklığına kadar soğutma.

2) Maksimum şekil verme, ancak mekanik işlemden sonra parçayı yeniden tavlama ile mümkündür.

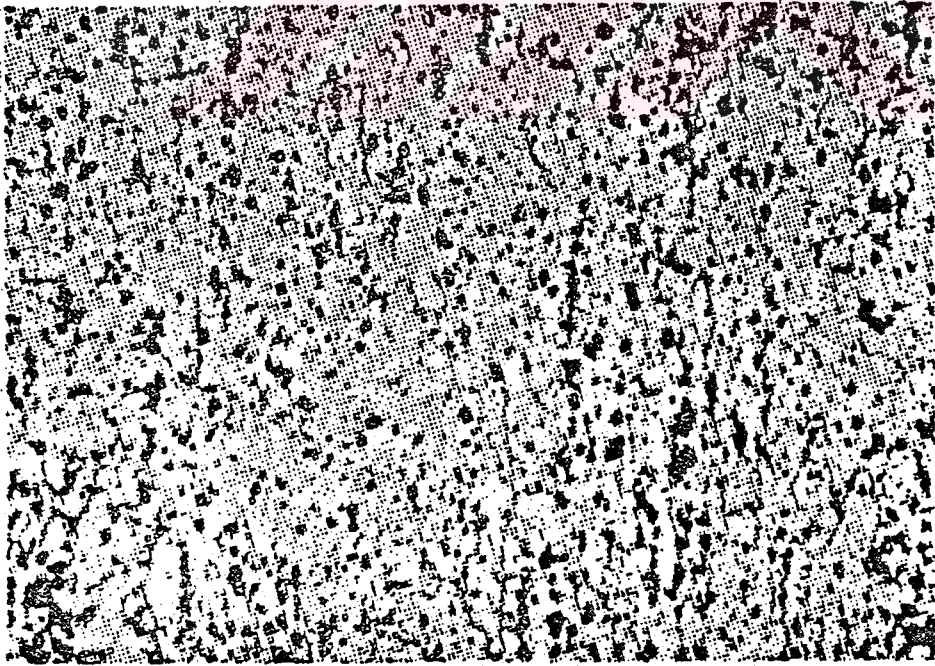
3) Isıl işleme tabi tutulamıyan alaşım.

4) Pratikte 2S yerine 3S ve 4S tavsiye edilir.

Tavlannış Bazı Alüminyum Alaşımlarının Tipik İç Yapıları

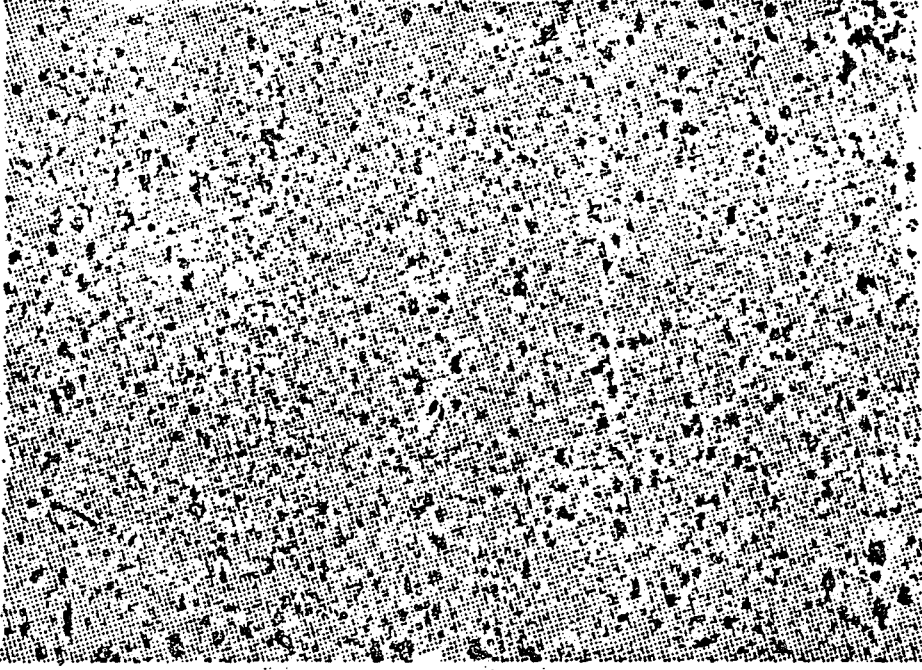


şekil. 2. Tavlannış (normal olarak) 1100 alaşımının mikroyapısı
Dağlanmış (HCl—HF) X 250



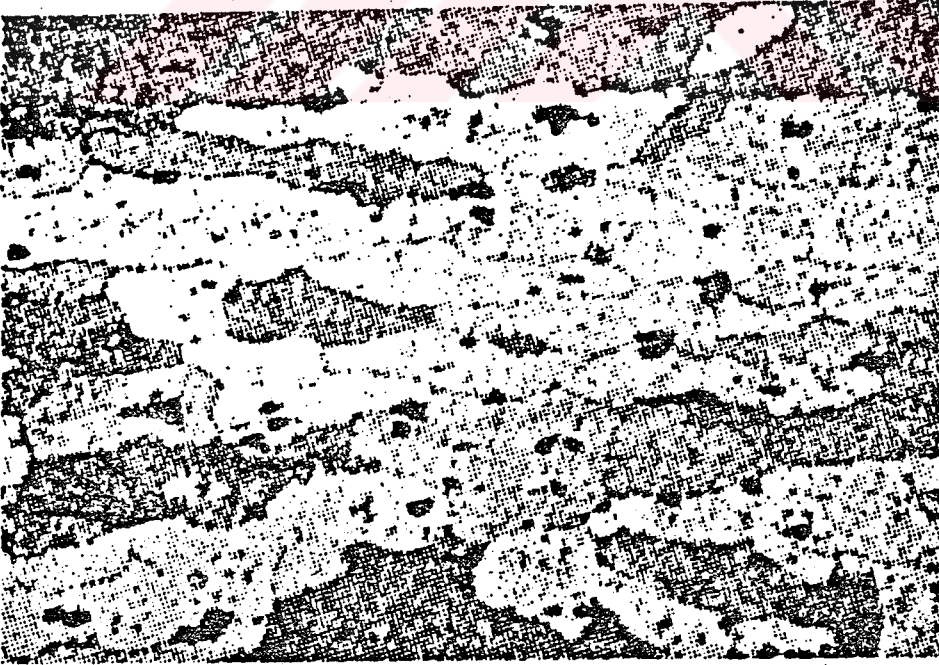
şekil. 3 . — Tavlannış (yanış olarak) 2024 alaşımının mikroyapısı
Dağlanmış (Keller) X 250

Tipik Yapılar



Şekil. 4 . — Tavlanmış (doğru olarak) 2024 alaşımının mikroyapısı

Dağlanmış (Keller)	%0,5 HF	X 250
	2,5 HNO ₃	
	1,5 HCl	



Şekil. 5 . — Isıl işlemlili (eriyik) 2024
Dağlanmış (Keller) X 500

II. 3. Stabilizasyon (Dengeleştirme)

Stabilizasyon, soğuk halde döğülmüş , ısıl işleme tabi tutulamıyan yalnız Alüminyum-Magnezyum alaşımlarına (5005,5050,5052 ve 5056) tatbik edilen bir işlemdir.Bu grup alaşımlar, ısıl işleme tabi tutulamıyan alaşımlar arasında en yüksek mukavemete ve sertliğe sahip olup, aynı zamanda soğuk şekil değıştirme arasında en yüksek iç gerilmeleri gösterirler.

Bu çok yüksek derecede iç gerilmeler, dengesiz bir halde meydana gelir. Buna göre, soğuk şekil değıştirilmiş temper halindeki alüminyum-magnezyum alaşımları, iç gerilmelerden bir kısmının ortadan kaldırılması halinde, uzun müddet oda sıcaklığında kaldıkları takdirde, yumuşamaya ve mukavemetlerinden bir miktar kaybetmeğe maruzdur. Malzemeye başka işlemler tatbik edilecekse, kontrosüz özelliklerin değışmesi genel olarak kabul edilmez.

Dolayısıyla alçak sıcaklıkta kısa süreli bir ısıl işleme dengeli hale geçilmesi lazımdır. Bu stabilize edilmiş temperlerde, gerçekte mekanik özellikler maximumdan biraz düşük değerlerde olabilir; fakat buna karşılık ileride bir özellik değışmesi sözkonusu olamaz. Bu tretmana stabilizasyon denir. Kullanılan sıcaklık 180°C civarındadır. Stabilizasyon tretmanı genel olarak malzemenin ilk imalatçısı tarafından tatbik edilir. (7)

II. 4. Homogenleştirme

Elde edilen ingot, homogenleştirme denilen özel bir ön ısıtma tekniğı ile homogen bir hale sokulabilir. Bu maksatla, malzeme 480°C ile 540°C arasında ısıtılır ve katı halde diffüzyon meydana gelebilecek kadar uzun bir müddet bekletilir. Katı halde diffüzyon terimi; her ikisinde katı halde bulunmak şartıyla madenler arası bir bileşiğın bir değerinde yayınması (diffüzyon) veya karışması halinde kullanılır. Bazı sıvılar bazı katıları eritebildiğı gibi, bazı katılarda diğer katıları eritebilir.

Alaşım, bu yüksek sıcaklıkta bekletildiği takdirde, alaşım elamanları ve bileşikleri ingot dahilinde yayılmakla beraber tanelerin yapısı da değişikliğe uğrar. Katılaşma sırasında, meydana gelen ilk kristaller takriben saf alüminyum olduğu, sonradan meydana gelen kristallerde ise gittikçe artan alaşım elamanları bulunduğu hepimizce malumdür. Buna göre tanelerin içinde bulunan kristaller, dışında bulunan kristallerden hayli farklı olarak merkezi yapıyı meydana getirmiş olur. Homogenleştirme ile alaşım malzemesi bakımından zengin olan dış kristaller iç yapıda difüze olduklarından, arzu edilmeyen merkezi yapının oluşumu önlenmiş olur.

Katı diffüzyon olayı oda sıcaklığında çok az ve yavaş yüksek sıcaklıklarda ise daha fazla ve çabuk meydana gelebildiğinden, homogenleştirme mümkün olduğu kadar yüksek sıcaklıklarda, yani alüminyum alaşımlarında bulunan elamanların ergime sıcaklığının hemen altında yapılmalıdır. Genel olarak kullanılan homogenleştirme sıcaklıkları 480°C - 540°C arasındadır (7).

II. 5. Gerilme Giderme Tavlaması

Dökme alüminyum alaşımlarını tavlama suretiyle, iç gerilmeler giderilir ve tane büyümesi önlenir. Her ne kadar tavlama işlemi genel olarak mekanik özellikleri esaslı olarak değiştirmese de, çekme mukavemeti hafifçe azalır; buna mukabil süneklik artar.

Gerilimin etkisini gidermek için yapılır. Malzeme $340 \pm 8^{\circ}\text{C}$ ısıtıldıktan sonra oda sıcaklığına soğutulur. Homogen bir ısıtma için malzeme işlem sıcaklığında en az bir saat bekletilir. Tane büyümesi ve oksidasyon açısından sıcaklığı 413°C 'nin üzerine geçmemesi istenir. Tane büyümesini önlemek için hızlı ısıtma yapılır. Soğuma esnasında kısmi ergime olayından kaçınmak ve distorsiyonu önlemek için havada veya fırında nisbeten yavaş soğuma yapılır (5).

TABLO -2
Alüminyum TAVLAMA ve GERİLME GİDERME Çevrimleri
Kumda, Kokilde ve Basma Döküm

Tretman	Tatbikat	Maksat	Sıcaklık °C	Zaman Saat	Su verme tipi
Tavlama	Kumda veya Kokilde döküm	Gerilme giderme, tane büyümesini önleme	340 — 350	2 — 3	Havada soğutma
Gerilme giderme	Basma döküm	İç gerilmeleri azaltma	175 — 280	4 — 6	Sakin havada soğutma
Tavlama	Basma döküm	Sünekliği artırma	260 — 370	4 — 6	Fırında veya havada soğutma

II. 6. Yeniden Billurlaşma

II.6. 1. Yeniden Billurlaştırmanın Tesirleri

Soğuk halde dövülmüş malzeme yeter derecede yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında, soğuk şekil değiştirme neticesinde meydana gelmiş olan parçalanmış partiküller, malzemenin tabii tutulduğu şekil değiştirme derecesi yeterli ise, yeniden gerilmesiz tanecikler meydana getirirler. Buna yeniden billurlaştırma denir.

Soğuk şekil değiştirme esnasında meydana gelmiş olan yüksek enerjili noktalar, yeni tanelerin meydana gelmesinde soğuk şekil değiştirme neticelerini yeter derecede değiştirip, malzemenin başlangıçtaki özelliklerine yaklaşan özellikler meydana getirmeye çalışır.

II.6.2. Soğuk Şekil Değiştirmenin Tesirleri

Soğuk şekil değiştirme derecesi önemlidir. Soğuk şekil değiştirme derecesi yeterli değil ise, yeniden billurlaşma meydana gelmez. Kullanılan sıcaklık derecesinde yeniden billurlaşmayı meydana getirecek kadar tam soğuk şekil değiştirme varsa, elde edilen malzeme gayet iri taneli bir yapıya sahip olur. Yeter derecede soğuk bir şekil değiştirmenin mevcudiyeti ince taneli malzemenin meydana gelmesini sağlar.

II.6.3. Yeniden Billurlaştırmanın Kanunları

Yeniden billurlaştırmanın tanınmış dört kanunu vardır:

- 1- Soğuk şekil değiştirme derecesinin artması, yeniden billurlaştırmayı meydana getirmek için gerekli sıcaklık derecesini azaltır.
- 2- Yeniden billurlaştırma sıcaklığında bekletme süresinin artması, gerekli olan sıcaklık derecesini düşürür.
- 3- Yeniden billurlaştırma sıcaklığında veya daha yüksek ısıtma, meydana gelecek olan tanelerin büyüklüğüne tesir eder.

4- Soğuk şekil değiştirme derecesi ve kullanılan sıcaklık, oluşan tanelerin büyüklüğüne tesir eder.

II.6.4. Tane Büyüklüğü

Bir çok derin çekme işlemlerinde; genel olarak orta veya inceye doğru tane büyüklüğüne haiz bir malzeme istenmektedir. İri taneli malzeme genellikle, ince tanelere nazaran daha büyük bir pilastik şekil değiştirme kaabiliyetine haiz olmakla beraber; bu tipte bir malzeme mevzii deformasyonlara daha fazla karşı kaldığından, portakal kabuğu denilen ve pratikte arzu edilmeyen yüzey manzarasına sahip olur.

II.6.5. Tane Büyüklüğüne Tesir Eden Faktörler

Yeniden billurlaştırmaya tabi tutulan bir malzemenin son tane büyüklüğü yeniden billurlaştırma işleminden evvelki tane büyüklüğüne ve tanelerin büyüme hızına bağlıdır. Bunlar ise aşağıda gösterilen birçok faktörlerin tesiri altındadır:

- 1- Başlangıçtaki tane büyüklüğü.
- 2- Soğuk şekil değiştirme derecesi.
- 3- Isıtma hızı.
- 4- Son sıcaklık derecesi.
- 5- Yüksek sıcaklıkta bekletme müddeti.
- 6- Malzemenin terkibi.

1) Başlangıçtaki tane büyüklüğü:

Başlangıçtaki tane büyüklüğünün yeniden billurlaştırma işlemine tesiri ancak küçük soğuk şekil değiştirme derecelerinde kendini gösterir. Belirli bir soğuk şekil değiştirme derecesinde elde edilen sertleşme derecesi, iri taneli malzemeler için daha az olmak üzere, malzemenin tane büyüklüğüne tabidir. Eşit sertleşme hallerinde başlangıçtaki tane büyüklüğünün

son tane büyüklüğüne pek fazla tesiri yoktur. Ancak plastik şekil değiştirme derecesi az olduğu hallerde , başlangıçtaki malzemenin tane büyüklüğünün son tane büyüklüğüne kayde değer derecede tesiri vardır.

Bazı şekil veme işlemleri, yeniden billurlaştırmada iri taneli bir saha meydana gelmesine ve malzemenin yalnız bir kısmının bir dereceye kadar işlenmesine sebep olur. Fakat alaşım için seçilen uygun bir temperleme ve aralıklı ısı işlemlerle soğuk şekil değiştirmenin kontrolü ile bu olayın önüne geçilir.

2) Soğuk şekil değiştirme derecesi:

Limitli fakat kritik derecede bir soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulan malzeme, yeniden billurlaştırmadan sonra anormal derecede büyük tanelere sahip olur. Bundan dolayı, aralıklı ısı işlemlere tabi tutulan ve soğuk şekil değiştirme dereceleri kontrol altına alabilen metotlar kullanılır. Fakat buna rağmen bazı hallerde malzemenin bir kısmının, yeniden billurlaşma neticesinde iri taneler verecek şekilde, kritik bölgeye gelebilecek kadar şertleşmeye tabi tutulduğu vakidir.

Mesela: Profil elde etmek için kullanılan ekstrüzyon usulü, ısı işlemden sonra malzemenin bünyesinde hem yeniden billurlaşmış ve hem de billurlaşmamış yapılar bulunduran bir işlemdir.

Isı işleme tabi tutulabilen ekstrüzyonla elde edilmiş büyük profillerden bazılarında kenarlarda taneler yeniden billurlaşmış ince bir şekilde bir şerit içeriye doğru yeniden billurlaşmış tanelerden müteşekkil geniş bir tabakaya ve nihayet merkezde yeniden billurlaşmamış bir kısma rastlanır.

Anormal derecede büyük taneleri meydana getiren soğuk dövme derecesi genel olarak çok fazla değildir. İşlenen alaşım soğuk işlemin tipine, ısıtma hızına ve ısı işlem esnasında elde edilen maksimum sıcaklığa tabidir.

3) Isıtma hızı:

Isıl işlem esnasındaki ısıtma hızı, soğuk şekil değiştirme derecesine tabi olarak bir çok alaşımların tane büyüklüğüne tesir eder. Tabi olarak küçük bir soğutma hızı, normalden büyük bir toparlanma periyodunca tesir edeceğinden, yeniden billurlaşma ile elde edilen tanelerin boyutları biraz büyük olur. Yeniden billurlaştırmayı meydana getirecek olan gerilmelerden bazıları toparlanma periyodu esnasında ortadan kalkar.

4) Son sıcaklık derecesi:

Yeniden billurlaştırmadan sonra taneler büyüme eğilimindedirler. Bu büyüme tanelerin en alçak enerjili durumu almak istemeleri yüzündendir.

Teorik olarak son sıcaklığın yükseltilmesi, tanelerin büyümesine yardım eder. Fakat, alüminyum alaşı alaşımlarında yüksek bir ısıtma hızı kullanmak suretiyle kazanılan avantajlar, alçak bir sıcaklık kullanma avantajlarını tamamen örtmektedir.

Buna rağmen çoğunlukla, muhtelif ısıl işlemlerin kullanılmasında yeniden billurlaştırmadan sonra meydana gelen tanelerin büyümesinden başka faktörler kontrol edilir. Çünkü son tane büyüklüğü, daha büyük faktörler tarafından tanzim edilir.

5) Yüksek sıcaklıkta bekletme süresi:

Yüksek sıcaklıkta bekletme süresinin uzatılması, tanelerin büyümesine yardım eder. Buna rağmen alaşımlara tatbik edilen ısıl işlem şekilleri tetkik edilirken, tanelerin büyümesinden çok daha pratik öneme sahip olan konular incelenmektedir. Fakat ileride anlatılacak bazı metalurjik sebeplerden dolayı, normal derecede uzun ısıtma periyodları kullanılır.

6) Malzemenin terkibi:

Muhtelif alaşımların karakteristikleri ısıl işleme tabi tutulmuş olan

malzemenin son tane büyüklüğü çok önemli bir rol oynar. 1100 gibi bazı alaşımlar için, ısıtma hızı kritik olarak kabul edilmez. Fakat 3003 gibi diğer alaşımlar için ince taneli bir yapı istenildiği takdirde, hızlı bir ısıtmanın seçilmesi zaruridir. Muhtelif ısıtma işlemleri için tavsiye edilen dereceler bu karakteristikleri göz önünde tutmaktadır⁽¹⁾.

II. 7. Çözündürme Isıl İşlemi

Çözündürme ısıtma işleminin amacı; alüminyum anayapı (matriz) içindeki sertleştirici eriyenlerin; Mg_2Si , $CuAl_2$ 'nin pratik olarak maksimum yoğunluğunu (konsantrasyonunu) elde etmektir. Bu elementlerin eriyebilirlikleri, bilhassa ötektik erime noktasının hemen altında olmak üzere, sıcaklıkla çok belirgin bir şekilde artmaktadır. İdeal çözündürme sıcaklığı ötektik erime sıcaklığına çok yakın olacaktır. Bu sıcaklığa ulaşmada kritik problemler vardır. Eğer ötektik sıcaklık aşılsa, tane sınırlarında erime (sıvılaşma veya yanma) oluşur. Alaşım kırılabilir olur veya mekanik dayanımını yitirir. Bu durum sadece metal bilimsel çalışma ile ortaya çıkarılabilir. Hasarın tekrar giderilmesi mümkün değildir. Bazı alaşımlama bileşimlerinin ilavesiyle katılaşma özelliklerinin değişmesi yüzünden, bileşim ötektik sıcaklığının altında eriyebilir. Bu bileşenlerin erimesi karmaşık ötektik oluşturabileceklerinden mekanik özellikler üzerine de zararlı olabilirler.

Çözündürme ve homojenleştirme işlemleri difüzyona daha bağımlıdır. Çözündürme işlemi için gereken süre, dökümün kalınlığına, alaşıma ve dökümün katılaşma hızına bağımlıdır. Bu faktörler çökelen fazların boyut ve dağılımını belirler. Ağır ve yavaş soğuyan kesitlerde kaba bileşenler ve büyük hücre boyutları sergilenir. Yayınma yavaştır. Yeterli çözündürme zamanı tanınmalıdır. İnce ve hızlı soğuyan kesitlerde ise bileşenler daha incedir. Bu yüzden daha az çözünme süresine ihtiyaç duyarlar.

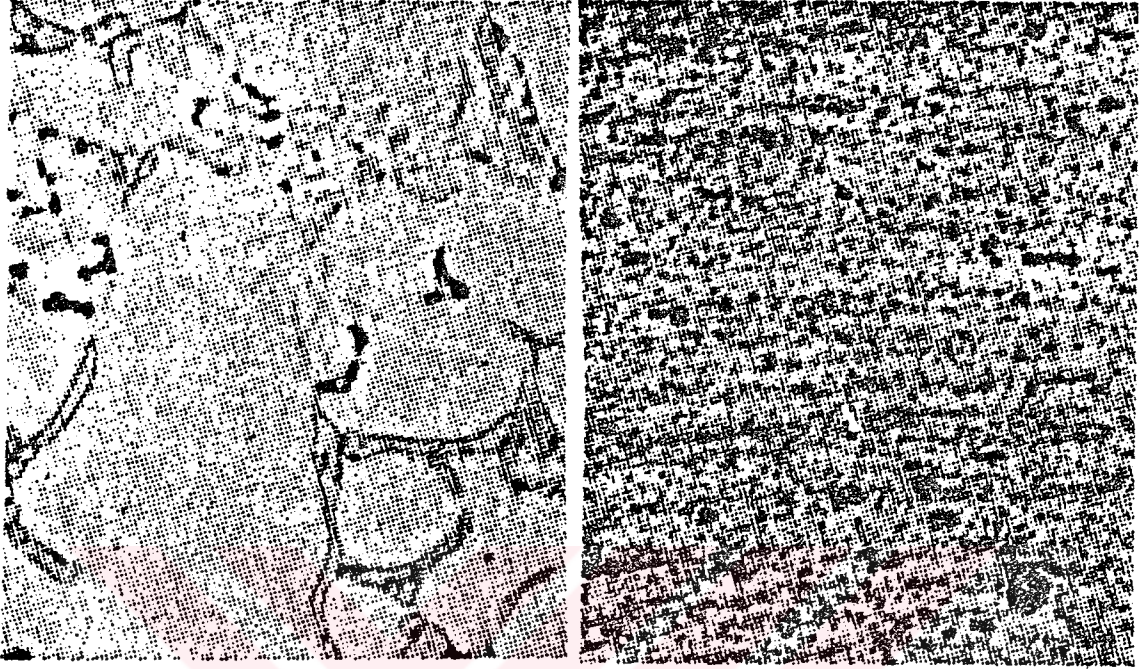
Tipik olarak bir çok kum dökümler için çözündürme zamanı olarak 12 saat tavsiye edilir.

Üretim amaçları doğrultusunda, daha kısa çözündürme süresi isteği ile çözündürme işleminin daha fazla tamalanmış olarak gerçekleştirilmesi düşüncesi dengelenmeli, bu sayede daha etkin yaşlandırma ve daha iyi mekanik özellikler elde edilmelidir.

Çözündürme işleminde, farklı şekilli dökümlerden ve farklı ısıtılacak parti büyüklüğünden kaynaklanan sıcaklık değişimleri hesaba alınmalıdır. Isıtılma süresi, sözü geçen sıcaklıktaki süre olarak ele alınmalıdır, fakat o sıcaklığa erişme zamanını ihtiva etmemelidir. Isıtılma sepetlerinin uygun biçimde yüklenmesi hava dolaşımına katkıda bulunacak ve sıcaklık eş dağılımı artacaktır.

Dökümlerin çözündürme işlemi özel önlemler gerektirir. Çözündürme işlemi katı çözelti sıcaklığına çok yakın olacak şekilde, yetiri kadar homojen biçimde bütün alaşım bu sıcaklığı içine sindirmelidir. (Parçanın tümü bu sıcaklıkta bulunmalıdır.) Dökümlerin ısıtılma işleminde çözündürme ısıtılma işlemi döküm yapısında bulunan bazı metalurjik değişimlerin ortaya çıkması yüzünden kritiktir. Düşük katılaşma hızları, yolluk ve besleyici gibi bazı döküm değişkenlerinin bileşimi, ona eş dağılımlı olmayan bir yapı verir. Bütün alüminyum alaşımları kalıpta mikrosegregasyona mağruzdur. Bu segregasyon dallantı kolları içinde bir yoğunluk gradyanı oluşturuyorsa bu arzu edilen bir durumdur. Veya aksine mikrosegregasyon kırılğan ötektik bileşenlerin dendritler arası sınırlarda toplanmasına sebep oluyorsa, dökümün dayanımına ters yönde etkide bulunurlar.

Çözündürme işlemiyle, erime ve yayınma yoluyla bu segregasyona uğramış bileşikler hemen hemen bir katı çözelti oluşturacak şekilde yeniden dağıtılırlar.



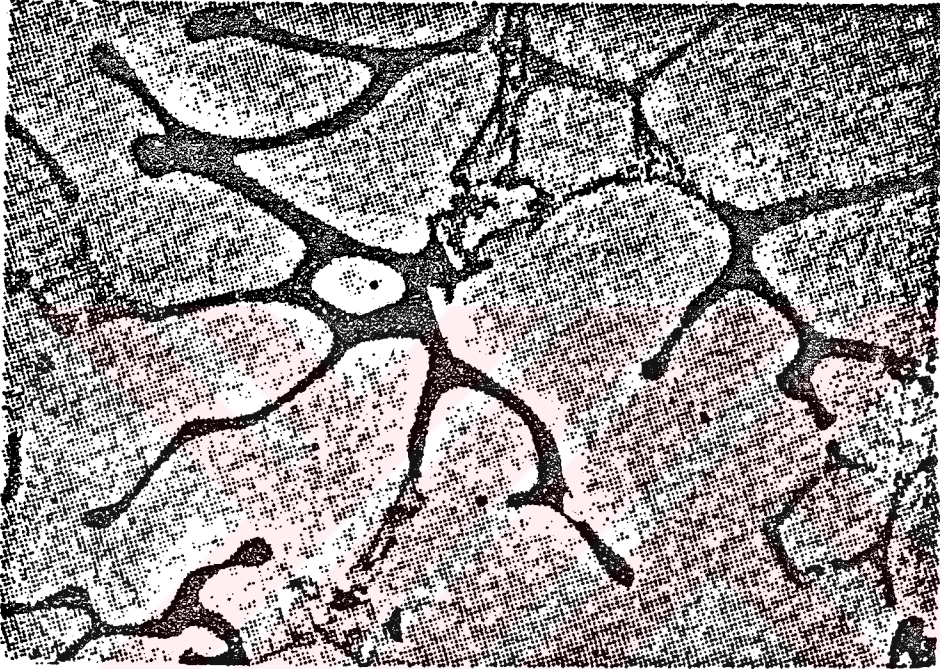
Şekil: 6. bu ince yapı 356 alüminyum alaşımının döküldüğü halini⁽¹⁾ ve aynı alaşımın T-6 işleminden sonraki halini göstermektedir.

Büyük miktarda dallantılar arası bileşiklerin bulunması yolluklandırma tekniğinin değiştirilmesinin çaresinin bulunması gerektiğini gösterir.

Çözündürme işlemi ile bağıntılı bir hata da yüksek sıcaklık oksidasyonudur. Yuvarlatılmış küçük boşlukların oluşumu, metal içindeki yarık ve çatlaklar ile yüzey kabarcıkları bu durumun delilidir. Problem; çözündürme sıcaklığında, nem yüklü atmosfere maruz kalmanın sonucudur. Bu durum, nemsiz atmosfer kullanmak veya fırın atmosferini değiştirmek için buharlaştırıcı flor tuzları kullanmakla hafifletilebilir.

Çözündürme ısıl işleminin etkinliği metalografik çalışmalarla doğrulanabilir. Metalurjik değerlendirme ile etkin bir çözündürme ısıl işleminde bulunan eriyen maddeler ($MgAl$, Mg_2Si , $CuAl_2$) 'in varlığı açığa çıkar.

Erimeyen bileşenler bir rozet iskeleti şeklinde çevrilmiş (Yuvarlanmış-ro-unded) olarak bulunurlar. Son olarak, metalurjik değerlendirme yüksek sıcaklık oksitlenmesi veya ötektik erime gibi uygun olmayan çözündürme işleminin zararlı etkilerini de gösterir.



Şekil: 7 bu 355. alaşımında çözündürme işleminde ötektik erimeyi sergilemektedir. Tane sivilaşması ve bütün (tam) rozetlerin bulunmasına dikkat etmek gerekir⁽⁶⁾.

II. 8. Katı Katı Eriyiğe Alma

Alüminyum alaşımlarının ısı işlemleri için önce aşırı doymuş bir katı eriyik oluşturmak lâzımdır. Bunun için alüminyum içindeki erirliği, düşük sıcaklıklarda az, buna karşılık yüksek sıcaklıklarda fazla olan alaşım elementlerinin erirliği, alaşımı yüksek sıcaklıklara çıkarmak yoluyla arttırmaktır.

TABLO -3

Tipik ERİYİK ISIL İŞLEM Çevrimleri

Dövme alüminyum alaşımları

Alaşım No.	Bekletme Sıcaklığı °C	Su verme (1)	Bekletme zamanı						Dövülmüş saat		Temper İşareti (2) (3)
			Dövülmemiş dakika						kalınlık		
			Kalınlık						← 50 mm	50 → mm	
			← 8 mm	8 - 32 mm	32 - 64 mm	64 → mm					
2011	500 - 510	Su	—	—	30	60	—	—	—	11S-T4	
2014	500 - 510	Su	—	—	30	60	1/2 - 6	2 - 12	—	14S-T4(4)	
2017	500 - 510	Su	20	20	30	60	—	—	—	17S-T4	
2018	505 - 515	Su	—	—	—	—	1/2 - 6	2 - 12	—	18S-T4	
2218	505 - 515	Su	—	—	—	—	1/2 - 6	2 - 12	—	B18S-T4	
2024	490 - 510	Su	30	30	40	60	—	—	—	24S-T4	
A 2024	490 - 510	Su	20	20	40	60	—	—	—	A24S-T4	
2025	510 - 520	Su	—	—	—	—	2 - 6	2 - 12	—	25S-T4	
4032	505 - 515	Su	—	—	—	—	1/2 - 6	2 - 12	—	32S-T4	
6151	510 - 520	Su	—	—	—	—	1/2 - 6	2 - 12	—	A51S-T4	
6061	515 - 525	Su	20	30	40	60	—	—	—	61S-T4	
6063(5)	515 - 525	Su	20	30	40	60	—	—	—	63S-T4	
7075	460 - 475	Su	20	30	40	60	1/2 - 6	2 - 12	—	75S-W	

1) Dövülmüş malzemeler hariç, diğer alaşımlara soğuk su. Deformasyonu önlemek için dövülmüş malzemelere sıcak su veya hava.

2) Dengeli (stabil) şartlar dahilinde.

3) Isıl işlem tipi, kullanılan taraftan gösterilecek işaret.

4) Ekstrüzyon için en doğru temper T-4 dir.

5) Maksimum özellikler arzu edildiği takdirde, suni yaşlandırmadan enaz 24 saat evvel tabii yaşlandırma.

A) İki yüzü, saf alüminyum ile kaplanmış, levha halinde alüminyum alaşımı (Alclad).

Katı eriyiğe alma işlemleri, alaşımın yeterli bir yüksek sıcaklığa ısıtılma ve akabinde su vermeyi kapsar. Ötektik başlangıç sıcaklığının aşılmasına dikkat edilmelidir. Alt sıcaklık sınırı ise, katı eriyiğe alma işleminin tamamlandığı sıcaklıktan biraz yüksek olmalıdır.

Eğer alaşımın ötektik ergime sıcaklığı aşılsa, tane sınırlarında ergime oluşur ve malzeme kırılabilir olur. Eriyebilen elemanların alüminyum içinde katı eriyik halinde kalması için işlem sıcaklığı itina ile seçilmelidir. Çözünabilen alaşımların difüzyonunu engellemek ve tane büyümesine fırsat vermemek için ısıtma hızı yeter derecede yüksek olmalıdır⁽²⁾.

II. 9. Su Verme

Çözünabilen elemanların katı eriyik haline geçmelerinden sonra yeniden çökelmelerine engel olmak veya geciktirmek amacıyla malzemeye su vermek gerekir. Su verilmezse katı eriyikler tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde çökerek şekil değiştirme kabiliyetini azaltır, taneler arası korozyon mukavemeti düşer.

Su verme esnasında çökeltme olması için fırın ile su ortamı arasındaki zaman az olmalı ve su verme ortamının ısı absorbe etme katsayısı çok düşük olmalıdır. Pratikte su verme işlemi normal olarak azami su verme gecikmesi ve azami su sıcaklığı ile kontrol edilir. İkinci faktör ise 400-260 °C bölgesinde soğuma hızını kontrol eder.

Parçalar fırında su verme ortamına ister mekanik olarak isterse de otomatik olarak gönderilsin; bu süre azami su verme gecikmesini aşmamalıdır. Standart su verme gecikmesi, fırın kapısının açılmaya başlaması ile veya şarjın herhangi bir noktasının banyo yüzeyinde görülmesiyle başlayan ve şarjın son noktasının su verme ortamına dalmasıyla biten süredir. İzin verilen maksimum zaman sıcaklık ve oda sıcaklığındaki havanın hızına ve parçaların kesitlerine bağlıdır. Su verme gecikmesini kronometreli saatlerle tesbit

etmek mümkündür⁽⁵⁾.

Başka bir kaynakta ise pratik olarak su verme, çözündürme işleminden sonra genellikle kaynayan suya daldırılarak dökümlere su verilir. Isıl işlem zincirinde su verme önemli bir adımdır. Etkin bir su verme ile yüksek sıcaklıkta oluşan katı çözelti oluşumları oda sıcaklığında aynen kalır. Çözündürme ısıl işlemi esnasında oluşan katı çözelti aniden soğuyarak aşırı doymuş katı çözeltiyi oluşturur.

Su verme işleminde kritik faktörler su verme aralığı ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı fırın kapaklarının açılıp, yükün daldırılmasına kadar geçen zaman olup, mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Su verme aralığı olarak 10-20 saniyelik gibi süreler arzu edilendir. Su verme aralığı, erken çökelmeyi olabilecek 399-260°C sıcaklığa yavaş soğumayı önleyecek kadar, yeterince kısa olmalıdır.

Aynı kıstaslar orta su vermeye de uygulanabilir. Su verici hızlı soğuma sağlamak için yeterli hacim ve ısı kapasitesine sahip olmalıdır. Aynı biçimde, ayırılabilir çökeltileri önlemek için 399-260°C aralığı boyunca yavaş soğumadan kaçınmalıdır. Daha hızlı su verme, çözündürme işleminin kalıcılığını daha fazla arttıracak, bu da daha sonra çökelti sertleşmesinin daha etkin olarak yapılmasını sağlayacaktır. Ulaşılabilecek en yüksek dayanıma en hızlı su verme hızıyla erişilebilir. Su verme hızını sınırlayan etkenler ani su vermeye maruz kalan dökümlerdeki bozunmalar (Distorsiyon) ve kalıcı gerilmelerdir. Su verme için su kullanılırken su verme suyunun sıcaklığı genellikle kaynama noktası civarında olur. Özel durumlarda mekanik özellikleri geliştirmek için 65°C gibi oldukça düşük su sıcaklıkları kullanılabilir. Su verme hızının denetlemede kullanılmak üzere sentetik su vericilerde kullanılabilir.

Su vermede, su verici döküm bütün yüzeyleri ile temas edecektir. Su

verme tankında bir miktar çalkalama ısı transferini arttırır ve buhar cep-
lerinin oluşumunu giderir. Hava veya buhar kapabilecek, içeriye doğru dö-
nük yüzeyler su vermeyi bölgesel olarak geciktirecek bu bölgelerde daha
düşük dayanım oluştururlar. Şurası çok önemlidir ki; eş-olmayan soğuk eğ-
rilmiş veya çatlamış dökümler yaratabilirler.

Su vermenin sebep olduğu distorsiyon çoğunlukla boyutsal olarak red-
dedilen dökümler sonucunu doğurur. Dayanımı arttırma işlemlerinin genel-
likle bu problemi gidermeleri arzu edilir. Dayanımı arttırma proseslerin-
de kırılmalardan sakınmak için, dayanımı arttırma işlemi mümkün olduğu ka-
dar su vermeden hemen sonra olmalıdır. Bu işlem genellikle 24 saat içinde
yapılmalıdır⁽⁶⁾.

II. 10. Yaşlanma Isıl İşlemi

Aşırı doymuş bir katı fazdan zaman ve sıcaklık etkisiyle yeni bir fa-
zın oluşmasına yaşlanma adı verilir. Katı eriyiğe alma ısıl işleminden son-
ra uygulanan su verme sonucu alüminyum alaşımları tam sertlik ve mukave-
metlerine ulaşamazlar. Bu alaşımlarda max. sertlik ve mukavemeti elde et-
mek için alaşım yaşlandırılır. Sertleşme, ikinci faz çökeltilerinin kris-
tal içi kaynamalarını ve kayma düzlemlerini kilitlediği için veya latiste
gerilim meydana getirdiğinden oluşur.

II. 10. 1. Yaşlanmanın Olması İçin Gereken Şartlar

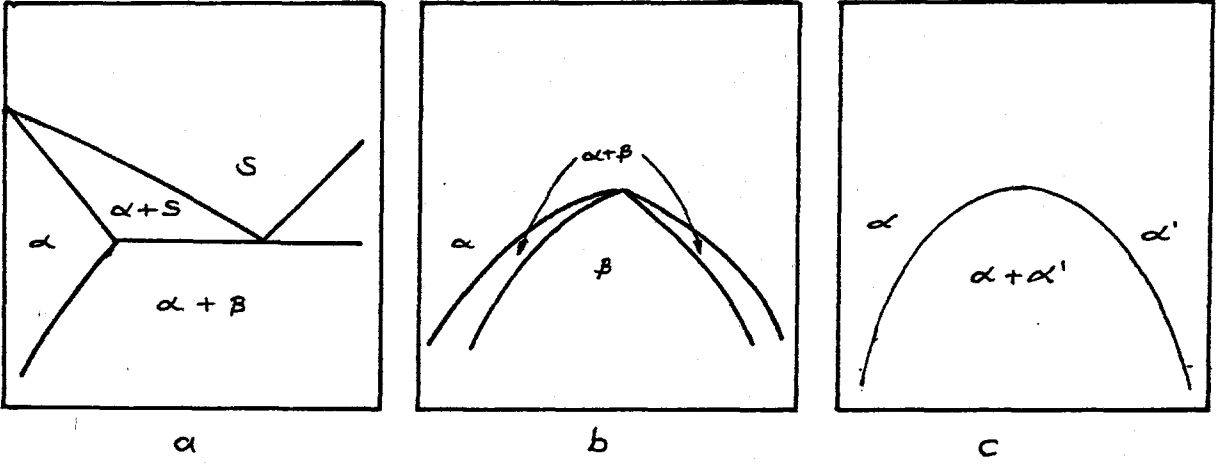
Bir alaşımda çökelme sertleşmesinin olabilmesi için;

1- Alaşımın denge diyağramı şekil. 8. 'de görülen hallerden birisini ih-
tiva etmelidir.

a- Yatık solvüs eğrisi

b- Yüksek sıcaklıkla eriyen ara fazlı katı eriyik

c- Kritik sıcaklık altında katı eriyik karışım



Şekil.8. Sıcaklığın düşmesiyle katı haldeki erirliğin azalmasını belirleyen faz diyagramları⁽⁵⁾

- 2- Çöken faz ile matris arasında bir latis benzerliği olmalıdır.
- 3- Çökelecek ikinci fazı oluşturacak olan geçiş latisinin meydana gelmesi.

Çökeltme işlemi oda sıcaklığında uzun bir süre bekleme sonucu olmuşsa buna tabii yaşlanma denir. Belirli bir sıcaklıkta belirli bir süre bekleme sonucu olan çökeltmeye ise suni yaşlanma denir.

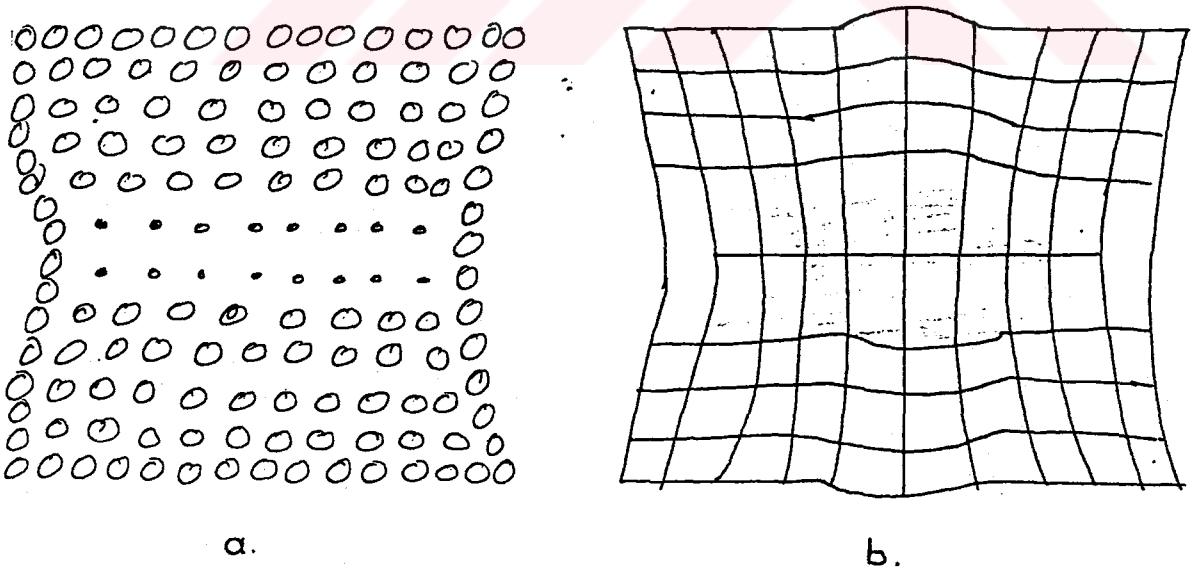
II. 10. 2. Çökelti Fazının Oluşumu

Yaşlanma üzerine çeşitli teoriler mevcuttur. Bugün en iyi açıklamayı yapan teori "Koherans Kafes Teorisi" 'dir. Buna göre alaşımlardaki kimyasal elamanların yer yer konsantra olmasıyla oluşan statistik çalkalanmalar sonucu çökeltinin ilkel çekirdekleri oluşur. Bu çekirdekler eriyen metal atomları yönünden zengindir. Bu sebeple, çekirdeklerin büyümesi de

ancak eriyen atomların bu çekirdeklere yayınmasıyla mümkündür. Çökelpnenin yayınma ile kontrol edilebilir olması, çökelpme ısı işlem sıcaklığı yükseldikçe çökelpme hızının niçin arttığını açıklamak için yeterlidir.

Çökelpnenin ilk safhalarında ikinci faz tamamen oluşmakta, fakat ikinci fazınine benzer bir kristal yapısı katı eriyikle sıkı temas halinde büyümektedir. İki yapı arasındaki atom dizilişi uygun ise katı eriyik distorsiyona uğramaktadır. Bu küçük boyutlu çökelti parçacıkları ilk olarak 1938 'de Guinler-Preston tarafından x ışınları ile bulunmuştur. Bundan dolayı bu ön kademe çökeltilerine literatürde GP Zonları denir.

Çökelpnenin başlangıcında katı eriyik içinde dağılmış bulunan B atomları şekil 9 'de görüldüğü gibi bir araya gelerek fazın çekirdeğini oluştururlar. Çökelpme, matriks atomlarının yerini alarak gerçekleşmişse, latis- te çökelen atomlarda matriks atomları arasında yatay ve düşey yönde uygunluk mevcuttur. Bu tip çökelti tamamen koheran olup GP-1 zonu olarak adlandırılır. Koheran çökeltide yegane uygunsuzluk atom çapları arasındaki farktır.

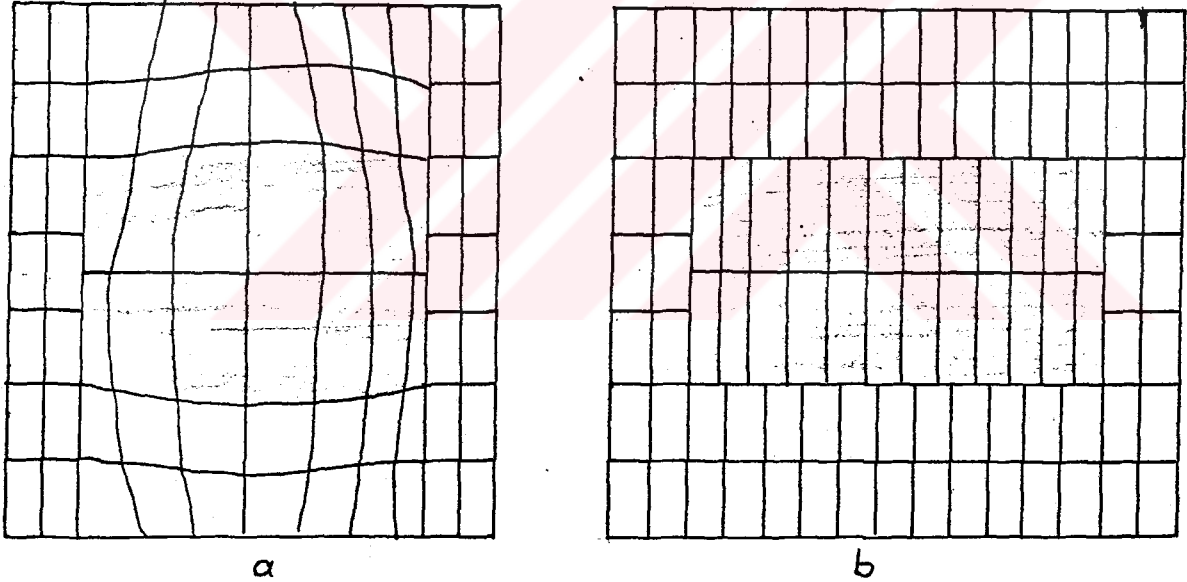


Şekil.9. a- GP-1 zonu b- GP-2 zonu⁽²⁾

Bu çökeltinin boyutları 100°A çapında ve $10-15^{\circ}\text{A}$ yüksekliğindedir.

Bu durumda çökeltinin boyutu 1500°A çapında ve 150°A yüksekliğindedir. Çökelti matriks ile şekil.10. b'de görüldüğü gibi yarı koherandır. Yani uygunluk sadece tek yönlüdür.

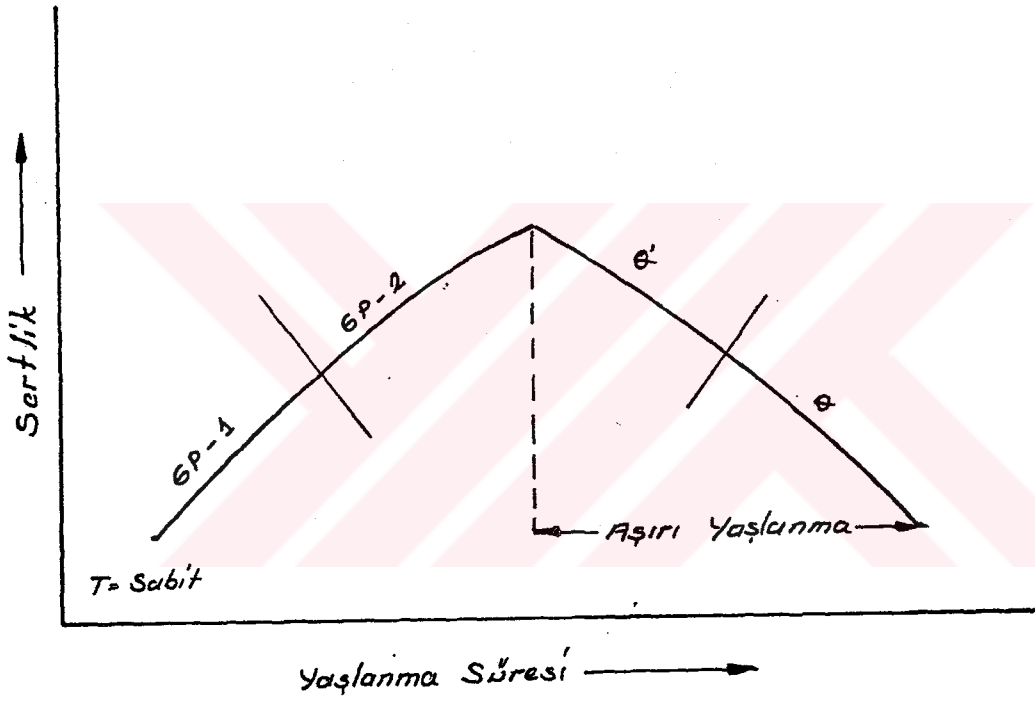
GP - 2 zonu eğer daha uzun süre yaşlanmaya tabi tutulursa, çökelti yapısı θ' ve θ yapılarına dönüşür. Bu durumda çökeltinin boyutları çok büyümüştür. Bu durum optik mikroskopla kolayca görülebilir. θ' ve θ yapısındaki çökelti şekil 10 'da görüldüğü gibi koheran değildir. Yani; her iki yönde de matrikste bir uygunluk mevcut değildir.



Şekil.10. a- θ' yapısı b- θ yapısı (2)

Çökeltinin başlangıcında çökelti boyutları çok küçük olduğundan deformasyon sırasında dislokasyon hareketine engel teşkil etmezler ve bu sebeple malzemenin sertliğinde önemli bir değişiklik olmaz. Fakat çökeltinin boyutları arttıkça; çökelti dislokasyon hareketi için engel teşkil ederler ve malzemenin mukavemeti artar.

Şekil 11. 'de görüldüğü gibi GP-1 ve GP-2 zonlarının oluşmasıyla malzemenin sertliğinde artış meydana gelir. Fakat yaşlanma süresi uzadıkça sertlikte bir düşme meydana gelir. Bu durumda çökeltinin yapısı θ' veya θ 'dır. Yaşlanma süresinin artması ile sertlik veya mukavemette meydana gelen yaşlanmaya "aşırı yaşlanma" denir.



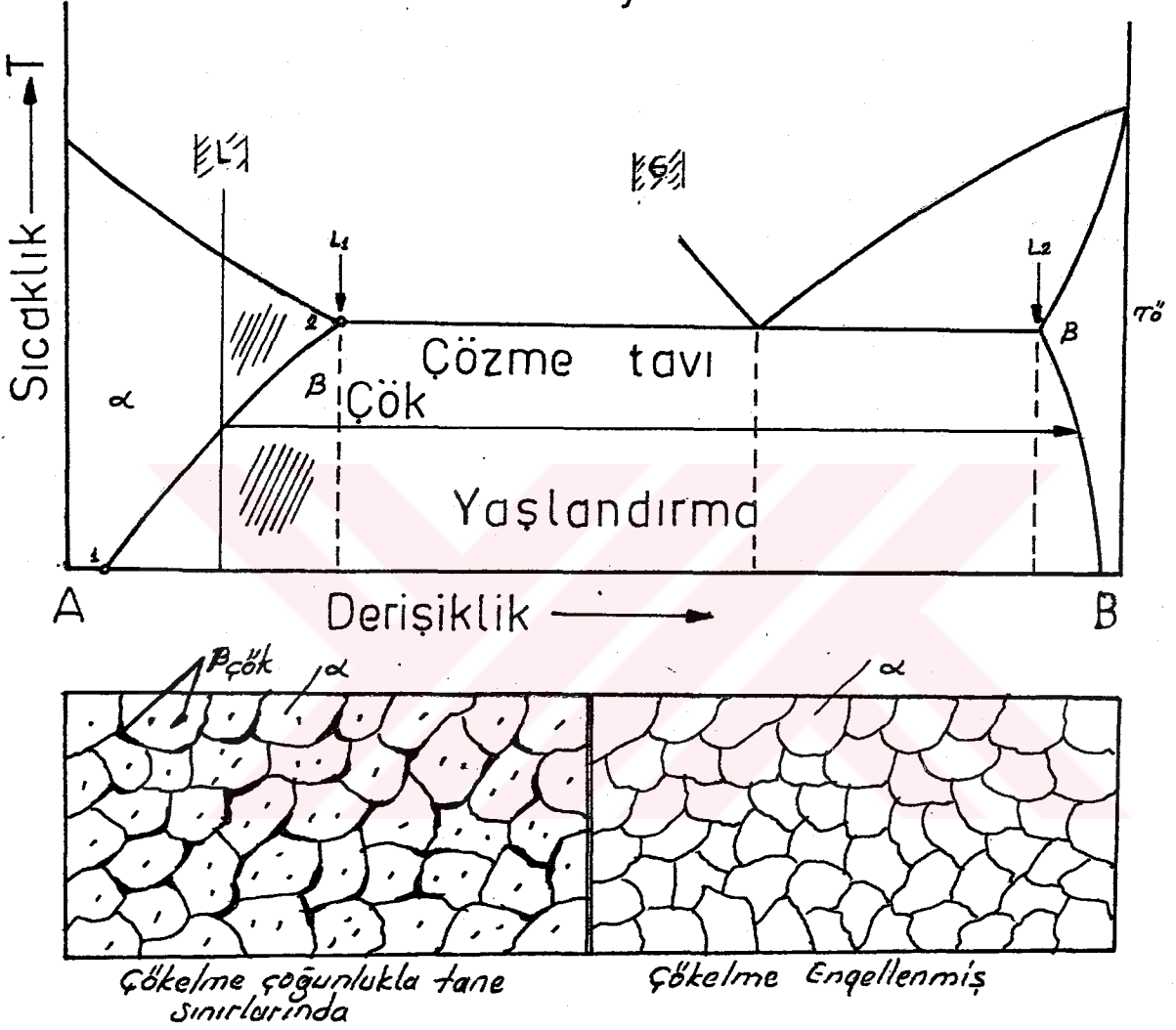
Şekil.11. Yaşlanma süresine bağlı olarak malzemenin sertlik veya mukavemetindeki değişim⁽²⁾

II. 10. 3. Çökeltme (Yaşlanma) Sertleşmesi

Katı bir fazdan solvüs çizgisinin (şekil12.1-2 eğrisi) geçilmesi sırasında başka bir katı fazın ayrışması kolayca engellenebilir. Böylece kristal kafesi gerilerek malzemenin dayanımı artar. Bu olay özellikle bazı demir dışı alaşımlar için büyük önem taşıyan çökeltme sertleşmesinin temelini oluşturur. Söz konusu sertleştirme metodunun uygulanabileceği sistemlerde

solvüs çizgisinin bulunması ve çözünürlüğün T düştükçe azalması gerekir. Fakat önemli bir sertlik artışına erişmek için bu şart her zaman yeterli olmayabilir.

Şekil: 12. Çökelme olayı



Çökelme sertleştirme işlemi genel olarak aşağıdaki üç aşamadan oluşur:

- 1- Çözündürme tavi: KÇ 'de çözünen bileşenin miktarını arttırmak amacıyla alabildiğince yüksek, ancak bulunabilecek artık ötekiğin erimesi tehlikesinden ötürü Tö 'nün altındaki bir sıcaklıkta yapılır.
- 2- Su verme: Çözme tavını izleyen hızla soğutma çökelmeyi engeller. Burada yüksek sıcaklıkta çözünen bileşen oda sıcaklığında da çö-

zeltide kalır. Böylece elde edilen aşırı doymuş KÇ yavaş soğumuş KÇ'den belirgin olarak daha yüksek dayanıma sahiptir (katı çözeltili sertleşmesi).

- 3- Yaşlandırma: Alaşım su vermeden sonra solvüsün altındaki bir sıcaklıkta belirli süre bekletilerek aşırı doymuş duruma göre önemli sertlik (dayanım) artışları sağlanabilir. Söz konusu davranış işlemin bu son aşamasında oluşan kümelerin, yarı veya tam kararlı çökelmiş fazların tür, büyüklük ve dağılımına bağlıdır. Bu durum solvüs çizgisi ile ilgili şartın etkin bir sertleştirme için yetersizliğini, mesela; çökeltilerin karmaşık kristal yapıya sahip (çoğunlukla arafaz) olması, çok ince bir dağılım göstermesi gibi ek şartın gerekliliğini açıklamaktadır.

Uygun bir alaşımda katı çözeltili ne kadar çok aşırı doymuşsa, yalnız katı çözeltili sertleşmesi değil, asıl önemli olan çökeltme sertleşmesi de o kadar kuvvetli olur. Buna göre solvüs çizgisinin yatık olması ve en yüksek dayanım artışlarının L_1 ve L_2 alaşımları için elde edilmesi gerekir. Ancak dövme malzemelerde ötektik yapının az da olsa istenmemesi sebebiyle L bölgesindeki alaşımlar tercih edilir (şekil.12.).

Prensip olarak dövme alaşımları yanında döküm alaşımlarına da çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilir. Bunun için döküm özellikleri iyi olan (katılaşma aralığı küçük) ve çökeltme sertleşmesine daha elverişli α -KÇ'yi yeterli ölçüde ihtiva eden G bölgesinde (şekil.12.) alaşımlar seçilir. Aşırı doymuş KÇ yaşlanma sırasında denge durumuna yaklaştırmaya çalışır. Bunun gerçekleşme nisbeti yayınma şartlarına, yani; yaşlanma sıcaklığı ve süresine bağlıdır. Mesela, aşırı doymuş α -KÇ'den β fazının çökeltmesiyle denge yapısına ulaşıncaya kadar aşağıdaki ara durumlardan geçilir:

Aşırı doymuş KÇ'nin (şekil.13.a.) mertebeye olarak 100°C 'ın altındaki

sıcaklıklarda yaşlanması (tabii yaşlanma veya soğuk çökme sertleşmesi) sonucu kümeler oluşur. Ana kafes ile bağdaşık olan bu kümeler kendilerine göre çok daha büyük bir kafes bölgesinde gerilmeler (özellikle kafes parametreleri farklı iki kristal yapının bağdaşık olması, yani kafeslerinin uyum ve süreklilik göstermesi, atom düzenlemelerinin çarpılarak gerilmesine yol açar.) ve dolayısıyla sertlik artışına neden olurlar. Çökme sertleşmesinde belirgin bir soğuk-sıcak geçişi yoktur. Alaşıma bağlı olarak bağdaşık bölgeler çok değişik sıcaklıklarda meydana gelir.

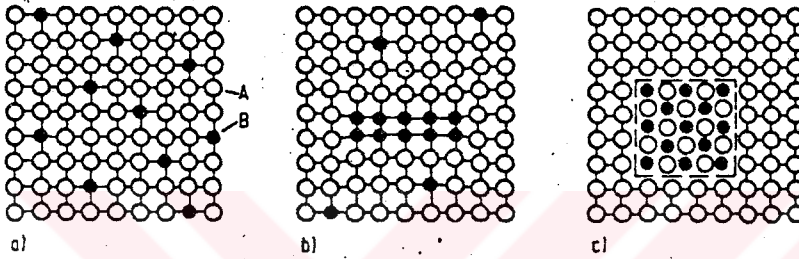
Yüksek sıcaklıklardaki yaşlanmalarda ise (yapay yaşlanma veya sıcak çökme sertleşmesi) başlangıçta oluşan kümeler, ana kafesten çoğunlukla bağdaşık olmayan faz sınırları ile ayrılmış olan çökeltilere dönüşür. Burada yaşlanma olayının alaşımın çeşitli noktalarındaki gelişmesinde zaman farkları olabileceği, çökeltelerin ana kafesle bağdaşıklıkları kaybolmadan önce yarı bağdaşık durumdan geçebilecekleri ve bileşimlerinin de denge yapısındaki farklılık gösterebileceği göz önünde tutulmalıdır.

Genel olarak parçacıklar (kümeler, çökelti v.b.) ihtiva eden bir matrisin dayanımı, bu parçacıkların büyüklüğüne ve aralarındaki ortalama uzaklığa (λ) bağlıdır. Mesela akma sınırının ($1/\lambda$) ile orantılı olduğu söylenebilir.

Bağdaşıklık sebebiyle oluşan ve daha fazla ağırlık taşıyan sertleşmeye parçacık etkisinden ileri gelen sertleşme eklenir. Yapay yaşlanmada ise hemen hemen yalnız parçacık etkisi vardır. Artan yaşlanma sıcaklığı ile olayın hızlanmasına karşılık çökelti birbiriyle birleşerek sayıları azalır. Parçacıklar arası uzaklık arttığı için dislokasyonlar bunların çevresinden daha kolay dolanabilirler. Dolayısıyla dayanım artışı da küçülür. Bu davranışı ve ayrıca belirli bir yaşlanma süresinden sonra dayanımın (sertliğinin) maksimumdan geçerek azaldığını göstermektedir. Denge yapısının oluşmaya başlamasından ileri gelen bu olguya aşırı yaşlanma denir. Çö-

keltiller normal ışık mikroskopuyla ancak bu durumda seçilebilir. Soğuk çökeltme sertleşmesinde pratik olarak aşırı yaşlanma görülmez. Böylece belirli bir yaşlanma sıcaklığında en yüksek dayanıma, ancak optimum yaşlanma süresi ile ulaşılabilir.

Çökeltme sertleşmesi bakımından alüminyum alaşımlarından özellikle aşağıdaki sistemlere ait olanlar büyük önem taşır.



Şekil 13. -Yaşlandırma sırasındaki çeşitli ara durumların şematik gösterilişi

a) B atomları ile aşırı doymuş katı çözelti.

b) Kümelerin (CLUSTER) oluşması, bağdaşıklık, yüksek kafes gerilmeleri, homojen iç yapı: Doğal yaşlanma (soğuk çökeltme sertleşmesi).

c) AB çökeltmelerinin oluşması (%50A, %50B), bağdaşık olmayan faz sınırları, düşük kafes gerilmeleri, heterojen iç yapı: Yapay yaşlanma (sıcak çökeltme sertleşmesi).

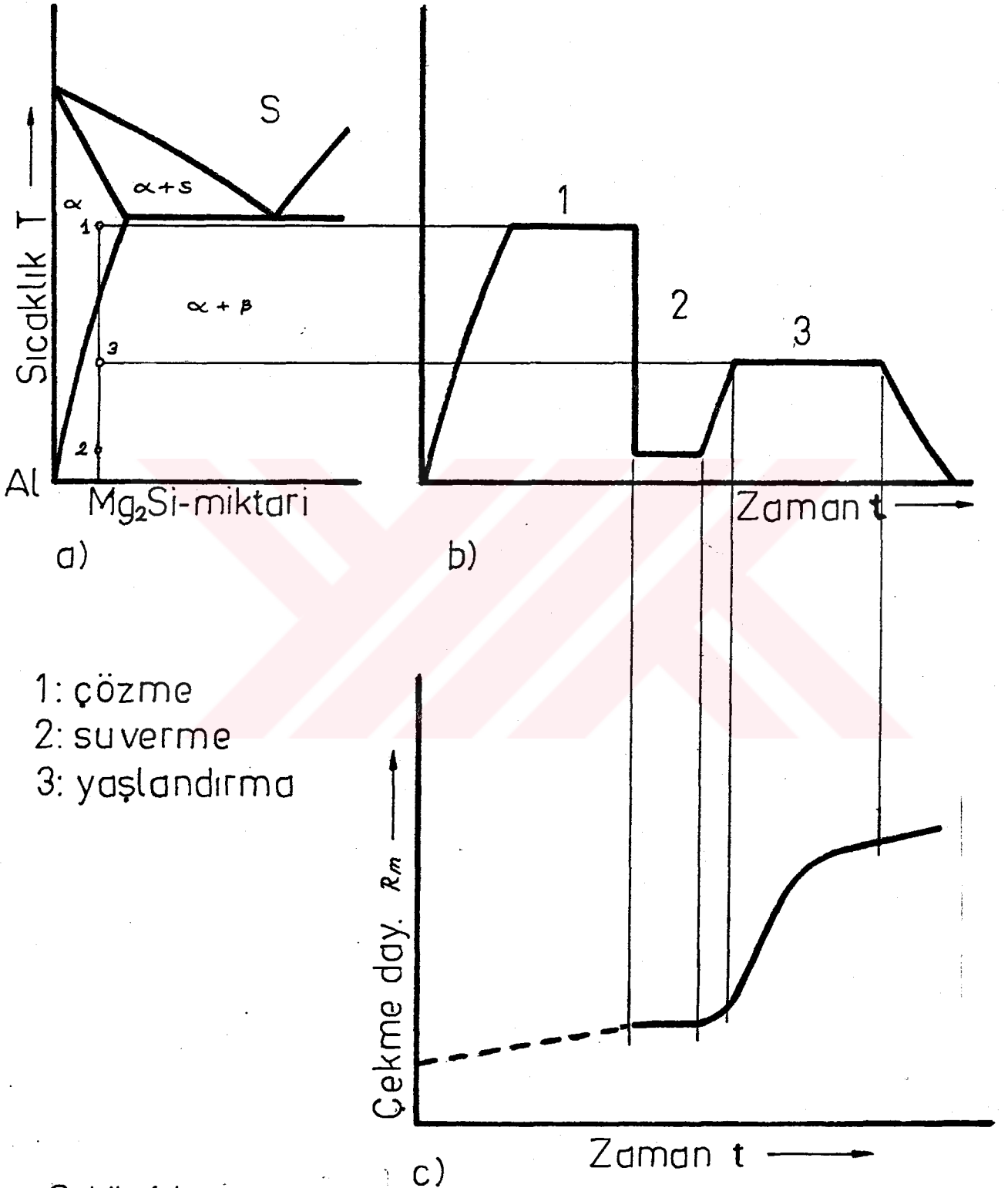
Genellikle çökeltme sertleşmesi aşağıdaki alaşımlarda da iyi sonuç

verir:

- AlCuMg alaşımı
- AlZnMgCu alaşımı
- AlMgSi alaşımı
- AlZnMg alaşımı

Bu çökeltme işlemi yardımıyla belirli büyüklük ve dağılımda çökeltilen fazlar, dislokasyon hareketlerini engelleyerek dayanım artışı sağlar.

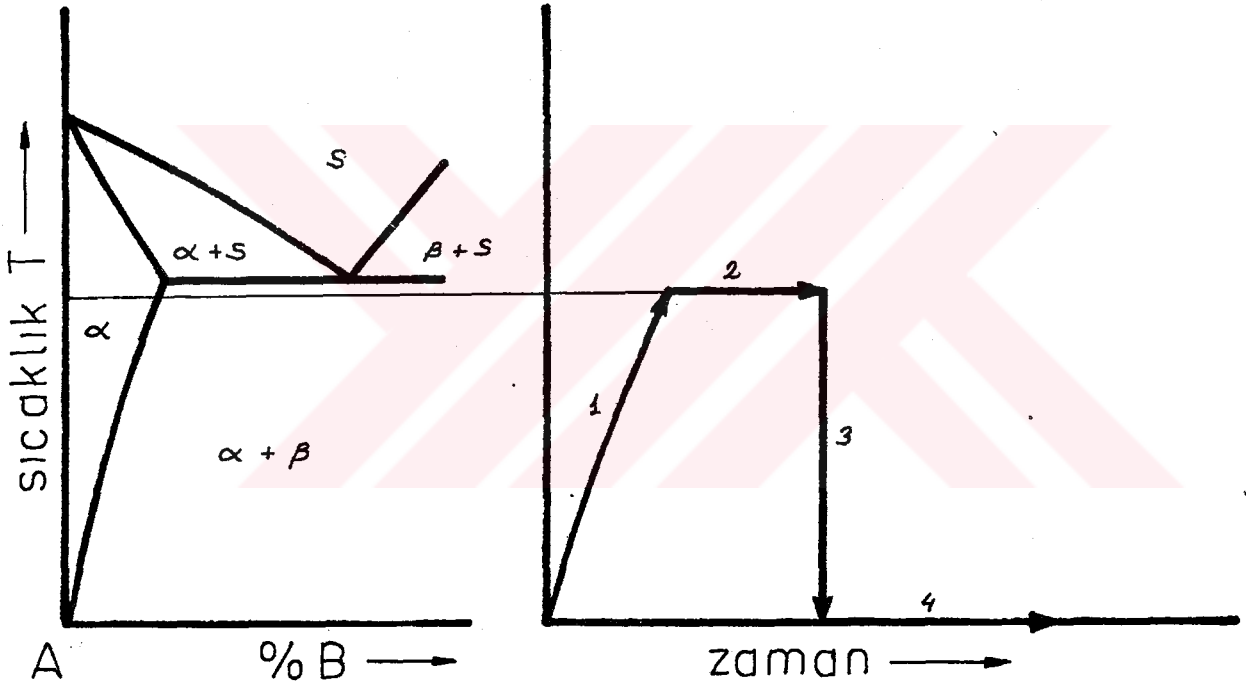
(suni yaşlanma)



Sekil :14. Bir alüminyum alaşımında çökelme sertleştirme işlemi (şematik)

- a) Al-Mg-Si sisteminin Al-Mg₂-Si kesiti
- b) Sıcaklık - Zaman diyagramı
- c) Dayanım (sertlik) artışı

(tabii yaşlanma)



- 1) Isıtma
- 2) Katı eriyiğe alma
- 3) Su verme
- 4) Tabii yaşlanma

Sekil: 15. Tabii çökeltme sertlestirmesi

Alüminyum alaşımlarında söz konusu çökeltilerin yapısı yaklaşık 1 nm aralarındaki uzaklık ise 10...20 nm dolayındadır. Böylece 1 mm³ hacmindeki alaşımda çökelmiş parçacık sayısı 10¹⁰ ile 10²⁰ değerine ulaşır.

Burada örnek olarak alüminyum -mağnezyum- silisyum sistemi için ele alınan ısıtıl işlemin ilk adımı, 520 °C 'da yapılan çözme tavidir. Çözme tavinin süresi, döküm iç yapısından veya daha önceki ısıtıl işlemlerden gelebilecek iri Mg₂Si çökeltilerinin α -KÇ içinde tümüyle çözünmesine yeterli olmalıdır. Bu olay genellikle 1/2 ile 2 saat arasında gerçekleşir.

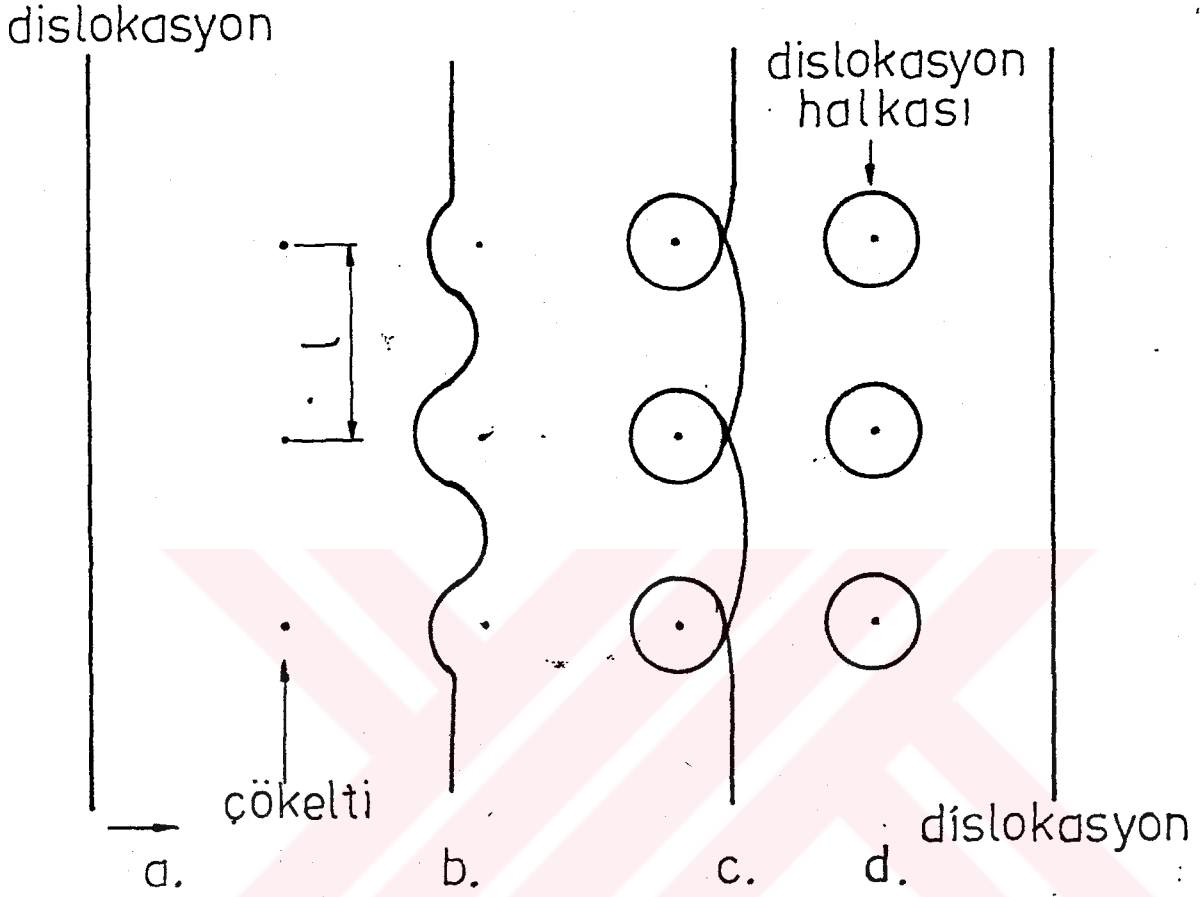
İkinci adım malzemeye su verilerek oda sıcaklığında aşırı doymuş α -katı çözeltilisinin elde edilmesidir (şekil /4 a, nokta 2). Aşırı doymadan ileri gelen sertlik artışı önemsiz olduğundan, parçayı gerekiyorsa bu durumda soğuk şekil verebilir. Son adım olan yaşlandırma (şekil /4 a, nokta 3), 125 °C ile 175 °C arasında seçilecek sıcaklığa göre, 4 saatten 3 güne kadar değişen sürelerde uygulanır. Isıtıl işlemin sıcaklık-zaman diyagramı ve sağladığı dayanım artışı, (şekil /4 b, ve c 'de şematik bir biçimde gösterilmiştir)⁽⁷⁾.

II. 10. 4. Yaşlanma Sertleşmesinin Sebepleri

Çöken partiküller dislokasyon hareketine engel oldukları zaman malzemenin sertliği artar. Çökelti partikülleri genellikle matristen daha serttir ve deformasyon esnasında dislokasyon hareketini engeller. Bu durumda çökeltiler arasında kalan dislokasyon parçası çökelti partiküllerini aşmak için uygulanan gerilime bağlı olarak hareket eder ve partiküllerin çevresini sarar. Dislokasyonlar her yönde hareket ettiği için çökelti etrafındaki halka sayısı artar ve malzemede dislokasyon yoğunluğunun artışına sebep olur (şekil. 16.).

İnce çökelti fazı ihtiva eden malzemede mukavemet veya sertliğin artmasının başlıca sebepleri:

- 1- Dislokasyon yoğunluğunun artması,
- 2- Dislokasyon hareketlerinin zor olması.



Sekil: 16. Çökelti fazı içeren malzemede dislokasyon ilerlemesi

Dislokasyon hareketi için gerilim miktarı teorik olarak

$$\tau_a = \frac{2Gb}{L}$$

a- Kayma modülü

b- Burgers vektörü

L- Çökelti arası mesafe

Bu bağıntıya göre çökelti mesafe azaldıkça dislokasyon hareketini engelleyici etkileri o kadar artmakta ve buna bağlı olarak da malzemenin

mukavemetinde artış olmaktadır.

Aşırı yaşlanma bölgesindeki 4.1 bağıntısı geçerlidir. Çünkü çözelti ile matriks ara yüzeyindeki dislokasyonlar öncelikle hareket ederler ve bu da mukavemetin düşmesine sebep olur. Eğer çözelti aşırı derecede büyük ise dislokasyonlar çökeltiyi keserek mukavemetin düşmesine sebep olur.

II.10.5. Yaşlanmanın Malzeme Yapısına Etkileri

Yaşlanma, malzemenin gerek mikro yapısında, gerekse mekanik özelliklerinde değişiklikler meydana getirir. Çökelme sertleşmesi ile mekanik özelliklerin değişimi zamanın bir fonksiyonudur.

II. 10. 6. Aşırı Yaşlanma

Çöken parçacıkların birbirleriyle birleşmeleri ve büyümeleri sonucu, dislokasyon hareketine engel olmazlar. Ancak mekanik özelliklerde düşme görülür. Buna aşırı yaşlanma denir. Bu durumda dislokasyonlar taneler arasından kıvrılarak geçerler. Bu kıvrılma esnasında eğrilik yarıçapı ne kadar büyük olursa elastisite limiti de okadar küçük olur.

II. 10. 7. Yaşlanma Sertleşmesinin Geciktirilmesi

Eritme ısı işlemine tabi tutulmuş malzemeyi düşük sıcaklıklarda (-6 ile -10°C mertebesinde) depolamak suretiyle yaşlanma sertlenmesi geciktirilebilir veya durdurulabilir. Bu özellik pratik yönden aşağıda bahsedilen şekilde istifade edilir. Yaşlanma sertleşmesi sürekliliği azaltır ve bu sebepten ötürü herhangi bir soğuk işlemin tatbiki ile yürütülecek imalat metalin hâla yumuşak olduğu bir zaman içinde yapılmalı ve 2-3 saat zarfında (yani; yaşlanma sertleşmesi önemli bir alana yayılmadan önce) tamamlanmalıdır. Böyle bir işlem mümkün veya müsait olmayabilir ve bu surette alaşımın imalat safhasında dar boğazların (sıkışmaların) meydana gelmesine sebebiyet verebilir. Eritme ısı işlemine tabi tutulmuş alüminyum alaşımı-

nı, sıfırın altındaki sıcaklıklarda depolamak suretiyle, donmadan dolayı yaşlanmaya mani olmuş (geciktirilmiş) olur. Daha sonra malzeme ihtiyaç duyulduğu zaman depodan alınabilir ve kolaylıkla işlenebilme şartları altında imal edilebilir.



TABLO-4

Tipik ÇÖKELTME (YAŞLANDIRMA) ISIL İŞLEM Çevrimleri

Dövme alüminyum alaşımları

Alaşım	Yaşlandırma sıcaklığı °C	Yaşlandırma müddeti Saat	Temper işareti (1)
2011	160 — 165	14	11S—T6
2014	170 — 175	10	14S—T6(2)
2017	Oda sıcak.	96	17S—T4
2018	170 — 175	10	18S—T61
2218	235 — 240	6	B18S—T72
2024(4)	Oda sıcak.	96	24S—T4
2024	190 — 195	12	24S—T61(3)
2024	190 — 195	9	24S—T88(3)
2025	170 — 175	10	25S—T6
4032	170 — 175	10	32S—T6
6151	170 — 175	10	A51S—T6
6061	160 — 165	18	61S—T6
6061	175 — 180	8	61S—T6
6063	175 — 180	4	63S—T5(6)
6063	175 — 180	8	63S—T6
7075(5)	120 — 125	24	75S—T6

- 1) Isıl işlem tipi, kullanan tarafından gösterilecek işaret.
- 2) Ekstrüzyon için en doğru temper T. 6 dır.
- 3) Arzu edilen özelliklerin elde edilmesi için, yaşlandırmadan evvel ve eriyik ısıl işlemi müteakip, soğuk işlem tatbiki lâzımdır.
- 4) Alclad 24S, aynen 24S gibi yaşlandırılmıştır. Dolayısıyla temper sonuçları da aynıdır.
- 5) Eriyik ısıl işlemi tamamlandıktan enaz 24 saat sonra yaşlandırmaya başlanacaktır.
- 6) Kontrollü ekstrüzyon şartları ekseriyetle, yaşlandırmanın üstünde olan T5-özelliklerinin iyileştirilmesi için istenir.

BÖLÜM III

ISIL İŞLEM

III. Isıl İşlem Ortamları

Alüminyum alaşımlarının ısıl işleminde kullanılan sıcaklıklar 120°C ile 550°C arasında değişmektedir. Bu büyük sıcaklık aralığında sıcaklık kontrolünün gerekli oluşu, kullanılan ısıtma ortamı malzemelerini sınırlandırır. Genel olarak iki tip ısıtma ortamı kullanılır.

1- Gaz ortam (hava fırınları)

2- Tuz banyoları

III. 1. 1. Hava Fırınları

Suni yaşlandırma ve tavlama için idealdirler. İmalat, bakım ve çalışma masrafları düşüktür. Gerekli metalurjik kontroller yapılabilir. Özellikle büyük parçalar olduğu zaman, bu fırınlar kolaylıkla katı eriyiğe alma ısıl işlemine adapte edilebilirler. Tuz banyolarına göre ön masrafları fazladır.

Tavlama ve katı eriyiğe alma ısıl işlemi için en uygun hava fırınları; hava sirkülasyonlu fırınlardır. Bu tip fırınlarda sirküle edilen havanın hızı, hızlı ısıtmayı ve uniform sıcaklığı temin edecek kadar yüksektir. Yanma ürünleri fırın atmosferi ile dışarı atılır. Yakıt olarak gaz, elektrik fuel-oil kullanılabilir. Bu yakıtlardan elektrik normal bir ortam meydana getirdiğinden birçok işlemlerde tercih edilir.

III. 1. 2. Tuz Banyoları

Tuz banyoları katı eriyiğe alma ısıl işlemi için idealdirler. Her boyutta parça banyoya verilebilir. Tuz banyolarının ön masrafları düşüktür.

Fakat işlem sonucu parça üzerine yapışma sebebiyle tuz kaybolmakta ve maliyet yükselmektedir.

Tuz banyolarında ısıtma hızı yüksektir. Sıcaklık dağılımı üniform olup kolaylıkla kontrol edilebilir. Bütün avantajları su verme hızının yavaş olması sebebiyle geri planda kalır. Bunun sebebi banyodan çıkan parçaların üzerine tuzun yapışmasıdır.

Tuz banyoları parlatmalara mani olacak şekilde dikkatle dizayn edilmelidir. Parçalar banyoya konulurken tamamen kuru olmalıdır. Parça üzerinde bulunan su buhara dönüşerek tehlikeli olabilir.

Alüminyum alaşımlarının ısıtma işlemlerinde kullanılan çeşitli tuz karışımları mevcuttur. Bütün tuz karışımlarına inhibitör olarak dikromat bileşikleri kullanılır. Tuz banyolarında yakıt olarak gaz, yağ, kömür ve elektrik kullanılır⁽¹⁾.

BÖLÜM IV

SONUÇ

Alüminyum alaşımlarının ısıt işlemleri sonucunda mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. İstenen değerde özelliklerin elde edilebilmesi için ısıt işlem uygulanan alaşımın üretimi, deformasyon miktarı ve ısıt işlemin uygulandığı ortamın özellikleri çok iyi kontrol edilmelidir. Çok hassas işlerde kullanılacak (Uçak ve uzay endüstrisi gibi) parçaların ısıt işlemleri esnasında sıcaklık veya bekleme süresi belirlenen limitlerin dışına çıkarsa istenen özellikler değişebilmektedir. Bunun sonucu; yetersiz özellikteki malzemenin kullanımı çok tehlikeli olmaktadır. Bunun için malzemenin üretim ve hazırlama kademelerinde çok iyi kalite kontrolü yapılmalıdır. Isıt işlem sonucu alüminyum alaşımlarına bir takım olumlu, istenilen mekanik özellikler kazandırılır.

TABLO-5

Alüminyum ISIL İŞLEM Çevrimleri

Kumda döküm

Alaşım ye ısı işlem	Eriyik ısı işlemi			Suni yaşlandırma işlemi	
	Zaman saat(1)	Sıcaklık °C(2)	Su verme(3)	Zaman saat(4)	Sıcaklık °C(2)
112 — T2	—	—	—	2 — 4	315
122 — T61	12	510	Su	10 — 12	155
142 — T21	—	—	—	2 — 4	345
142 — T571	—	—	—	22 — 26	170
142 — T77	6	515	Hava	1 — 3	225
195 — T4	12	505	Su	—	245
195 — T6	12	505	Su	3 — 5	155
195 — T62	12	505	Su	12 — 16	155
319 — T6	12	505	Su	2 — 5	155
355 — T51	—	—	—	7 — 9	225
355 — T6	12	525	Su	3 — 5	155
355 — T61	12	525	Su	8 — 10	155
355 — T7	12	525	Su	7 — 9	225
355 — T71	12	525	Su	4 — 6	245
256 — T51	—	—	—	7 — 9	225
356 — T6	12	535	Su	2 — 5	155
356 — T6	12	535	Su	7 — 9	225
356 — T71	12	535	Su	2 — 4	245

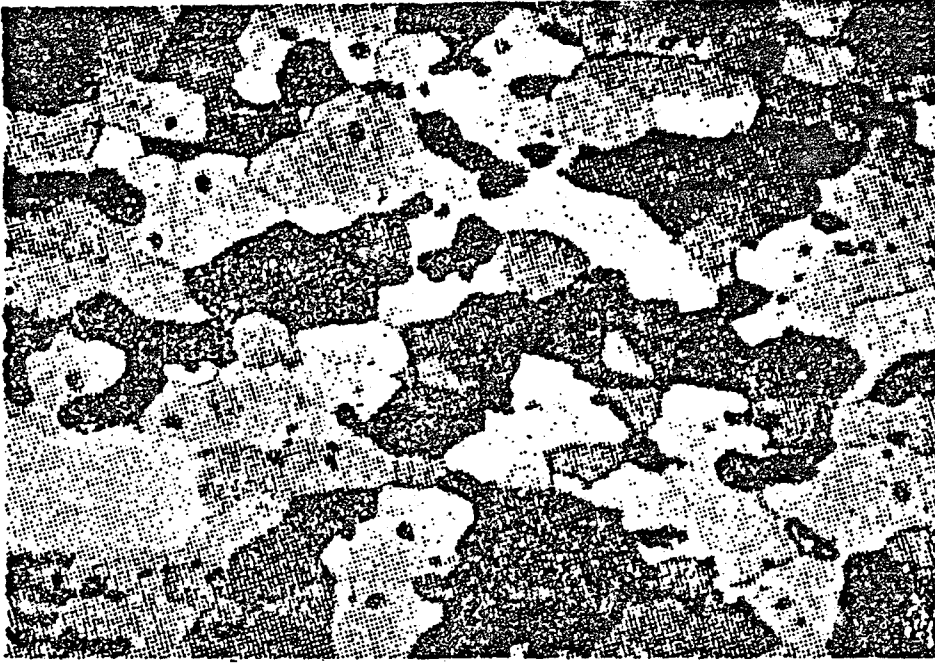
- 1) Malzemeyi özel sıcaklığına kadar ısıtıp, belirli bir sürede bekletmekle, arzu edilen orta özellikte bir dökme alaşım elde edilir. Dökme alaşımın hususiyetine bağlı olarak, bekletme zamanı azaltılabilir veya arttırılabilir.
- 2) Kontrol cihazlarıyla sıcaklığı sabit tutmalıdır. Fırındaki sıcaklık varyasyonu $\pm 5^{\circ}\text{C}$ geçmemelidir.
- 3) Sıcaklığı $65-100^{\circ}\text{C}$ arasında değişen soğutma suyu kullanılabilir. Su vermeden doğan iç gerilmeleri ve deformasyonu minimum kılmak için kaynar su tavsiye edilir.
- 4) Her dökme alaşımın kendine mahsus gereken sıcaklıkta bekletme süresi vardır. Tipik sertlik değerleri elde etmek için esaslı bir seçim yapılmalıdır.

TABLO-6
Alüminyum İSİL İŞLEM Çevrimleri
Kokilde döküm

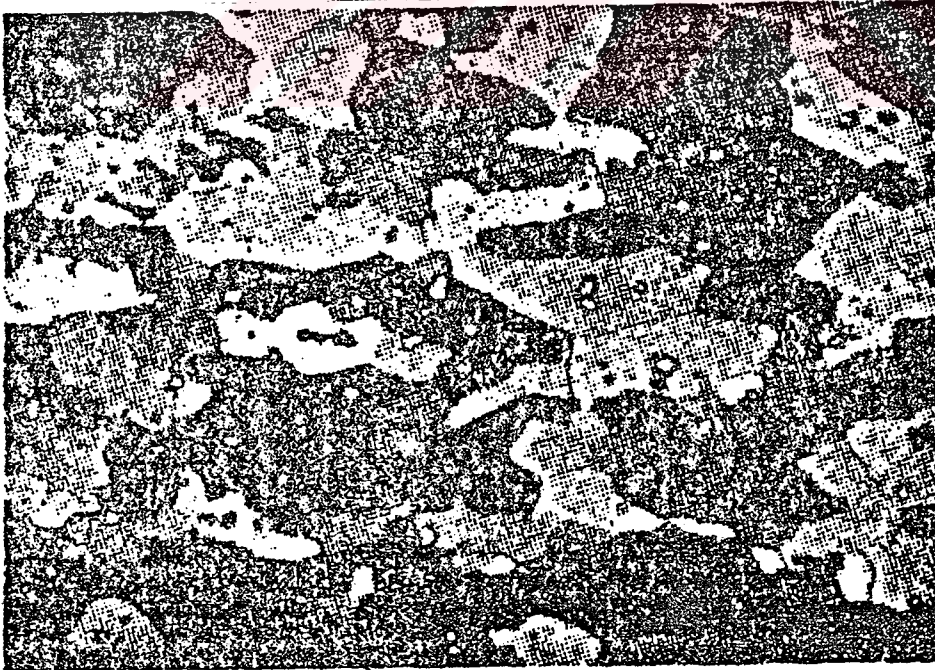
Alaşım ve. Isıl işlem	Eriyik ısı işlemi			Suni yaşlandırma işlemi	
	Zaman saat(1)	Sıcaklık °C(2)	Su verme(3)	Zaman saat(4)	Sıcaklık °C(2)
122 — T52	—	—	—	5 — 7	155
122 — T551	—	—	—	18 — 22	170
122 — T65	8	510	Su	7 — 9	170
A132 — T551	—	—	—	14 — 18	170
A132 — T65	8	515	Su	14 — 18	170
132 — T5	—	—	—	7 — 9	205
142 — T571	—	—	—	22 — 26	170
142 — T61	6	515	Su	3 — 5	205
B195 — T4	8	510	Su	—	—
B195 — T6	8	510	Su	5 — 7	155
B195 — T7	8	510	Su	4 — 6	260
319 — T6*	8	505	Su	2 — 5	155
333 — T5	—	—	—	7 — 9	235
333 — T6	8	505	—	2 — 5	155
333 — T7	8	505	—	4 — 6	260
355 — T51	—	—	—	7 — 9	225
355 — T6	8	225	Su	3 — 5	155
355 — T62	8	225	Su	14 — 18	170
355 — T7	8	225	Su	7 — 9	225
355 — T71	8	525	Su	4 — 6	245
356 — T6	8	535	Su	3 — 5	155
356 — T7	8	535	Su	7 — 9	225

- 1) Malzemeyi özel sıcaklığına kadar ısıtıp, belirli bir sürede bekletmekle, arzu edilen orta özellikte bir dökme alaşım elde edilir. Dökme alaşımın hususiyetine bağlı olarak, bekletme zamanı azaltılabilir veya artırılabilir.
- 2) Kontrol cihazlarıyla sıcaklığı sabit tutmalıdır. Fırındaki sıcaklık varyasyonu $\pm 5^{\circ}\text{C}$. geçmemelidir.
- 3) Sıcaklığı $65-100^{\circ}\text{C}$ arasında değişen soğutma suyu kullanılabilir. Su vermeden doğacak iç gerilmeleri ve deformasyonu minimum kılmak için kaynar su tavsiye edilir.
- 4) Her dökme alaşımın kendine mahsus gereken sıcaklıkta bekletme süresi vardır. Tipik sertlik değerleri elde etmek için esaslı bir seçim yapılmalıdır.

Isıl İşlem Uygulanmış Tipik Yapılar

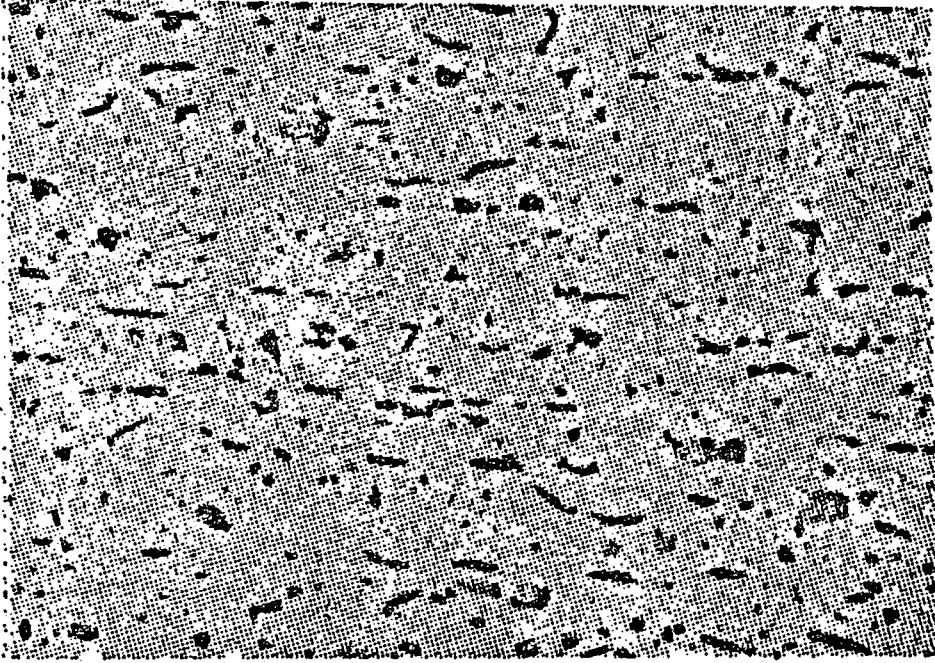


**Şekil. 17 — Isıl işlemli (normal tavllanmış) 2014 alaşımının mikroyapısı
Dağlanmış (Keller) X 500**

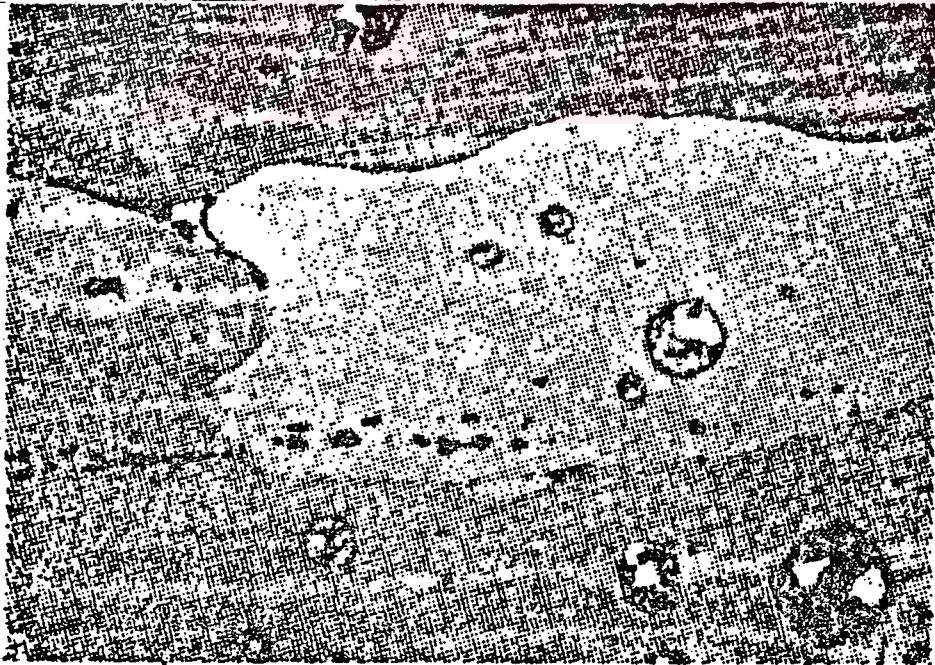


**Şekil. 18 — Isıl işlemli (az tavllanmış) 2014 alaşımının mikroyapısı
Dağlanmış (Keller) X 500**

Tipik Yapılar



Şekil 19 — Isıl işlemli (aşırı-tavlı) 2024—0 alaşımının mikroyapısı
Dağlanmış (%0,5 HF) X 500



Şekil 20 — Isıl işlemli (hatalı) 2014 Rozet şeklinde ötektik
Dağlanmış (Keller) X 500

KAYNAKLAR

- 1- ERSÜMER, A., Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri, İ.T.Ü. Yayını No 43, (1960).
- 2- GEÇKİNLİ, E., Malzeme Bilgisi Ders Notları, (1976)
- 3- A.S.M. Yayını, Source Book on Selection and Fabrication of Aluminium, alloys Volume I, (1978).
- 4- SAVRAN, Ender, Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri, MML Tezi İ. T.Ü., (1978).
- 5- KARAKIŞLAK, M. Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemi, Tez, İ.T.Ü.,(1980)
- 6- Metalurji Müh. Odası Yayını, Alüminyum Isıl İşlemi, (1978).
- 7- DENNIS, W., (Çeviri: Doç. Dr. H. Erman TULGAR), Demirden Gayrı Metaller Metalurjisi.
- 8- BERGEL, Prof.Dip. İng. H. J., Prof. Dr. İng. G. SCHULZE, (Çeviri: Prf. Dr. Şefik GÜLEÇ, Doç. Dr. Ahmet ANAN), Malzeme Bilgisi, TÜBİTAK Yayını, Cilt 1-2,

ÖZGEÇMİŞ

Malatya 03.08.1962 doğumlu olup, ilk, orta ve liseyi Adana Osmaniye' de okuduktan sonra 1980-81 öğretim yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalurji Eğitimi Bölümü'ne kayıt yaptırdı. Aynı Fakülteyi 1984-85 öğretim yılında bitirdikten sonra, İstanbul Küçükköy End. Meslek Lisesi'ne meslek dersleri öğretmeni olarak atandı. Halen aynı okulda görevde devam etmektedir.

