

T. Yaman

T 1728

+

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

ETİAL-145 ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE ULTRASON UYGULAMARININ  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE KLASİK DÖKÜMLE  
KARŞILAŞTIRILMASI

Kamer YAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2004

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİAL-145 ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE ULTRASON UYGULAMALARININ  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE KLASİK DÖKÜMLE  
KARŞILAŞTIRILMASI

Kamer YAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

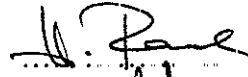
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez ~~27.11/2005~~ tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (90) not takdir edilerek  
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Narin ÜNAL  
(Danışman)



Prof. Dr. Hikmet RENDE



Yrd. Doç. Dr. Şevki Yılmaz GÜVEN



2004

## ÖZET

# ETİAL-145 ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE ULTRASON UYGULAMALARININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE KLASİK DÖKÜMLE KARŞILAŞTIRILMASI

Kamer YAMAN

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Narin ÜNAL

Aralık 2004, 74 Sayfa

Bu çalışmada, yüksek silisyum oranı nedeniyle, genellikle içten yanmalı motorların pistonlarının yapımında kullanılan, Etial-145 alüminyum alaşımının, farklı sürelerde ultrasonik dalga uygulaması yöntemi ile ve farklı sıcaklıklarda dökümleri yapılmış ve mikro yapılarda ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışmada ayrıca, her bir döküm numunesine yaşlandırma ısıl işlemi ve mikro yapıları arasında belirgin farklılık görülmüş numunelere de aşınma deneyleri uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda, dökümlerin farklı sıcaklıklarda yapılmasının mikro yapı ve mekanik özelliklerde farklılık yaratmadığı, ancak döküm esnasında farklı sürelerde ultrasonik dalga uygulamalarının mikro yapılarda önemli değişiklikler meydana getirdiği ve sertlik değerlerinde artışa neden olduğu ancak aşınma özelliklerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Alüminyum alaşımları, çökelme yaşanması ısıl işlemi,  
ultrasonik dalga uygulaması

**JÜRİ:** Prof. Dr. Narin ÜNAL

Prof. Dr. Hikmet RENDE

Yrd. Doç. Dr. Şevki Yılmaz GÜVEN

## ABSTRACT

### A STUDY ON EFFECTS OF ULTRASONIC APPLICATIONS ON THE CASTING OF ETIAL-145 ALLOY AND COMPARISON WITH CLASSICAL CASTING METHODS

Kamer YAMAN

M.Sc. Thesis; Department of Mechanical Engineering

Adviser: Prof. Dr. Narin ÜNAL

December 2004, 74 Pages

The Etial-145 aluminum alloy is generally used in production of internal combustion engine pistons because of its high silisium content. In this study, the mechanical and wear properties in microstructure of Etial-145 was studied with different casting methods in different temperatures and periods such as ultrasonic wave application. Also in the study, ageing procedure was applied to all casting samples and wear experiment was applied to the samples which showed differentiation in micro structure

As a conclusion of the study, casting of Etial-145 in different temperatures was shown no differentiation in microstructure or mechanical properties however the casting procedure with the method of ultrasonic wave application in different periods result important differentiations in micro structure and caused increase in hardness values but on the other hand the wear properties of the samples negatively affected from ultrasonic wave application.

**KEY WORDS:** Aluminum alloys, ageing, ultrasonic wave application

**COMMITTEE:** Prof Dr. Narin ÜNAL

Prof Dr. Hikmet RENDE

Asst. Prof. Dr. Şevki Yılmaz GÜVEN

## ÖNSÖZ

Ülkemizde, alüminyum-silisyum esaslı pistonlar üretilmekte ve ihraç edilerek dünyadaki önemli marka otomobillerde kullanılmaktadır. Ancak üretim yapan firmaların, araştırma laboratuvarlarına sahip olmadıkları, araştırma laboratuvarı olan firmaların da rutin testler dışındaki gerekli testleri yapmadıkları belirlenmiştir.

Çalışmada Seydişehir Alüminyum tesislerinde üretilen ve daha sonra çeşitli firmalarca piston dökümü üretiminde kullanılan Etial-145 alaşımına, mikro yapıyı, dolayısıyla bazı mekanik özellikleri ve aşınma dayanımını değiştirmesi beklenen çeşitli işlemler uygulanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar, bilme katkıda bulunacağı gibi üretimde en dayanıklı malzemenin, en ucuza nasıl elde edilebileceği konusunda bilgi vereceğinden ülke ekonomisine yarar sağlayacağı kanısındayım.

Çalışma konumun belirlenmesinde ve çalışmamın her aşamasında destek ve görüşlerini esirgemeyen danışmanım, Prof. Dr. Narin ÜNAL'a (A.Ü. Müh. Fak.), değerli yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI'ya (İ.T.Ü. Kimya - Metalurji Fak.), yardımlarından dolayı Muhittin BİLGİN' e (T.B.M.Y.O. Makine atölyesi, A.Ü. ) ve çalışmam süresince her zaman yanımda olan ve bugünlerimi borçlu olduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER ve KISALTIMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI .....	2
2.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri .....	2
2.1.1. Alüminyum alaşımlarının özellikleri .....	4
2.1.2. Alaşım elementleri ve özellikleri .....	6
2.1.2.1. Magnezyum (Mg) .....	6
2.1.2.2. Silisyum (Si) .....	7
2.1.2.3. Çinko (Zn) .....	7
2.1.2.4. Bakır (Cu) .....	8
2.1.2.5. Nikel (Ni) .....	8
2.1.2.6. Titanyum (Ti) .....	8
2.1.2.7. Zirkonyum (Zr) .....	8
2.1.2.8. Krom (Cr) .....	9
2.1.2.9. Demir (Fe) .....	9
2.1.3. Alaşımların sınıflandırılması .....	9
2.1.3.1. İşlenmiş alaşımlar .....	9
2.1.3.2. Döküm alaşımları .....	11
2.1.3.3. Isıl işlenebilir alaşımlar .....	13
2.1.3.4. Isıl işlenemeyen alaşımlar .....	18
2.1.4. Alüminyum alaşımlarına uygulanan temel işlemlerin simgesel gösterimi .....	20
2.1.4.1. F üretim .....	20
2.1.4.2. O tavlama .....	20
2.1.4.3. H mukavemet kazandırma .....	21
2.1.4.4. W su verme .....	21
2.1.4.5. T ısıl işlem .....	22
2.2. Isıl İşlem ve Özellikleri .....	23
2.2.1. Çözeltiyeye alma ısıl işlemi .....	25
2.2.2. Su verme işlemi .....	27
2.2.3. Yaşlandırma .....	30
2.3. Ultrason Dalgaları ve Bazı Uygulama Alanları .....	36
2.3.1. Kavitasyon .....	37
2.3.2. Sonokimyası .....	39
2.3.3. Ultrasonun bazı metalurjik proseslerde kullanımı .....	41
2.3.3.1. Sıvılarda gaz giderme .....	41
2.3.3.2. Üretim prosesleri .....	42
2.3.3.3. Kurutma .....	42
2.3.3.4. Metallerin dökümü .....	42
3. MATERYAL ve METOT .....	45
3.1. Materyal .....	45
3.1.1. Diğer standartlardaki karşılıkları .....	45
3.1.2. Diğer ülkelerdeki ticari karşılıkları .....	45



3.1.3. Kimyasal bileşimi	46
3.1.4. Standart ürünler	46
3.1.5. Belirgin özellikleri	46
3.1.6. Tipik kullanım alanları	46
3.1.7. Döküm karakteristikleri	47
3.1.8. Mekanik özellikleri	47
3.1.9. Tipik fiziksel özellikleri	48
3.1.10. Diğer karakteristikleri	49
3.2. Metot	49
3.2.1. Döküm yöntemleri	49
3.2.1.1. Farklı sıcaklıklarda döküm	50
3.2.1.2. Ultrasonik dalgalarla döküm	50
3.2.2. Dökümlerin Mg analizi	51
3.2.3. Numune hazırlama	51
3.2.4. Isıl işlemler	51
3.2.5. Sertlik ölçümleri	51
3.2.6. Aşınma deneyleri	52
4. BULGULAR	54
4.1. Farklı Sıcaklıklardaki Döküm Numuneleri	54
4.2. Ultrasonik Dalgalar Yardımıyla Yapılan Döküm Numuneleri	58
4.3. Dökümlerin Mg Analizi Sonuçları	61
4.4. Aşınma Deneyi Sonuçları ve Mikroyapıları Karşılaştırılan Numuneler	67
5. SONUÇ	71
6. KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler :

Al	: Alüminyum
Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
Zn	: Kalay
Si	: Silisyum
Cu	: Bakır
Ni	: Nikel
Ti	: Titanyum
Zr	: Zirkonyum
Cr	: Krom
HCl	: Hidroklorikasit
MPa	: Megapascal
In	: inç
GHz	: Gigahertz
MHz	: Megahertz
Atm	: Atmosfer
K	: Kelvin

### Kısaltmalar :

A Ü. Müh. Fak	: Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İ.T.Ü.	: İstanbul Teknik Üniversitesi
T.B.M.Y.O.	: Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu
GP zonları	: Guinier-Preston zonları
ASA	: Amerikan Standartlar Birliği
AA	: Alüminyum Birliği
Pfz	: Precipitate free zone
Mfp	: Mean free path
u (ultrasonik)	: 740°C'de, 300 s ultrasonik titreşim uygulanmış döküm numunesi
uy (ultrasonik yaşlanmış)	: 740°C'de, 300 s ultrasonik titreşim uygulanmış, ardından yaşlandırılmış döküm numunesi
n (normal)	: 740°C'de dökümü yapılmış döküm numunesi
ny (normal yaşlanmış)	: 740°C'de dökümü yapılmış ardından yaşlandırılmış döküm numunesi
f (fabrika)	: Pistondan kesilmiş parça numunesi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. A ve B metallerine ait ikili faz diyagramı.....	25
Şekil 2.2. Alaşımda aşırı doymuş $\alpha$ katı çözeltisinin yaşlanması ile oluşan bozunma ürünleri .....	33
Şekil 2.3. Kristal kafeslerin uyum ve uyumsuzluk durumları.....	35
Şekil 3.1. Ultrasonik dalgalar yardımıyla yapılan dökümün şematik resmi .....	50
Şekil 3.2. Salınım hareketli (reciprocating) aşınma deney cihazının şematik şekli.....	52
Şekil 4.1. 640 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X) .....	54
Şekil 4.2. 640 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (1500X) .....	55
Şekil 4.3. 740 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (1500X) .....	55
Şekil 4.4. 740 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X) .....	56
Şekil 4.5. 830 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X) .....	56
Şekil 4.6. 830 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (5000X) .....	57
Şekil 4.7. 950 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X) .....	57
Şekil 4.8. 950 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (5000X) .....	58
Şekil 4.9. 30 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (1500X) .....	59
Şekil 4.10. 60 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (500X) .....	59
Şekil 4.11. 90 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (500X) .....	60
Şekil 4.12. 120 s. ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (500X) .....	60
Şekil 4.13. 300 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (1500X) .....	61
Şekil 4.14. 740 °C' de dökümü yapılmış (n) (1000X) .....	62
Şekil 4.15. 740 °C' de dökümü yapılmış (n) (5000X) .....	62
Şekil 4.16. 740 °C' de dökümü yapılmış ardından yaşlandırılmış (ny) (300X) .....	63
Şekil 4.17. 740 °C' de dökümü yapılmış ardından yaşlandırılmış (ny) (5000X) .....	63
Şekil 4.18. 740 °C de dökümü yapılmış, 300 s ult. titreşim uyg. döküm (u) (1000X) ..	64
Şekil 4.19. 740 °C de dökümü yapılmış, 300 s ult. titreşim uyg. döküm (u) (5000X) ..	64
Şekil 4.20. 740 °C de dökümü yapılmış, 300s ult. titreşim uyg. ardından yaşlandırılmış döküm (uy) (1500X) .....	65
Şekil 4.21. 740 °C de dökümü yapılmış, 300s ult. titreşim uyg. ardından yaşlandırılmış döküm (uy) (5000X) .....	65
Şekil 4.22. Fabrika dökümü (500X).....	66
Şekil 4.23. Fabrika dökümü (1500X).....	66
Şekil 4.24. Toplardaki aşınma izleri .....	68
Şekil 4.25. Üç boyutlu aşınma iz pröfilleri .....	69
Şekil 4.26. Sürtünme katsayısı (s) .....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Elementlerin katı Al içindeki en yüksek çözünürlükleri	6
Çizelge 3.1.	Etial-145 alaşımının kimyasal bileşimi	46
Çizelge 3.2.	Etial-145 alaşımının döküm karakteristikleri	47
Çizelge 3.3.	LM13-TF ısıt işlemleri görmüş, Etial-145 alaşımının mekanik özellikleri	47
Çizelge 3.4.	LM13-TF7 ısıt işlemleri görmüş Etial-145 alaşımının mekanik özellikleri	47
Çizelge 3.5.	LM13-TE ısıt işlemleri görmüş Etial-145 alaşımının mekanik özellikleri	48
Çizelge 3.6.	Etial-145 alaşımının fiziksel özellikleri	48
Çizelge 3.7.	Etial-145 alaşımının diğer özellikleri	49
Çizelge 4.1.	Farklı sıcaklıklardaki döküm numunelerinin sertlik değerleri	54
Çizelge 4.2.	Ultrasonik dalgalar yardımıyla yapılan döküm numunelerinin sertlik değerleri	58
Çizelge 4.3.	Dökümlerin Mg analizi sonuçları	67
Çizelge 4.4.	Numunelerin aşınma iz alanları	67
Çizelge 4.5.	Numunelerin aşındırma deneyinde kullanılan toprakların iz alanları	68

## 1.GİRİŞ

Alüminyum hafifliği, plastik şekil değiştirme kabiliyetinin ve korozyon dayanımının yüksek oluşu, yüksek elektriksel özellikleri ve manyetik olmayışı gibi avantajları ile demir-çelikten sonra kullanılan ikinci metal olma özelliğini kazanmıştır. Ancak alüminyumun, saf haldeyken döküm kabiliyeti iyi değildir ve sertlik/çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri düşüktür. Bu nedenle alüminyum, silisyum ve diğer bazı metaller ile alaşımlandırılır. Silisyumun en büyük etkisi döküm kabiliyetini arttırmasıdır. Silisyum ilavesi ile alaşımın akıcılığı ve mekanik özellikler artarken, özgül ağırlık ve ısıl genleşme katsayısı azalmaktadır.

Günümüzde Alüminyum-Silisyum alaşımları, otomotiv endüstrisinden havacılık sanayine kadar geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Otomotiv sektöründe genel olarak alüminyum kokil döküm pistonlar kullanılmaktadır. En çok kullanılan piston alaşımları ise %10-22 silisyum içerenler olup bunlarda Cu, Mg ve Ni elementleri de bulunmaktadır. Bu elementlerle alaşımlanan alüminyumun ısıl genleşme katsayısı düşmekte, aşınma dayanımı artmaktadır. Ayrıca nikel, oluşturduğu metaller arası bileşikler ile yüksek sıcaklıkta kararlılığı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, çeşitli işlemler ile mikro yapıyı değiştirerek bu değişikliklerin mekanik özelliklere ve aşınma davranışına etkilerini incelemektir. Mikroyapıyı değişikliğe uğratan ilk işlem döküm yöntemidir. Dökümler farklı sıcaklıklarda ve ultrasonik dalgalar yardımı ile olmak üzere iki grupta yapılmıştır. Döküm esnasında ultrasonik dalga uygulamasının belirlenen en önemli etkisi, döküm yapısında meydana gelen homojenleşmedir. Döküm numunelerinin tamamının sertlik ölçümleri yapılmış ardından tüm numunelere çökme yaşanması ısıl işlemi uygulanmıştır. Isıl işlem sonunda, beklendiği gibi sertlik değerleri artmıştır. Son olarak da aşınma davranışlarının farklı olması beklenen numunelere aşınma deneyi uygulanmıştır. Aşınma deneyleri sonuçlarına bakıldığında, beklendiği gibi çökme yaşanması ısıl işlemi uygulanan numunelerin aşınma dayanımları artmıştır.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri

Alüminyum ve alaşımları, dünyada demir esaslı malzemelerden sonra ikinci sırada gelen en önemli metal malzeme grubunu teşkil eder. Ayrıca hafif metaller arasında da gerek arı halde ve gerekse alaşım olarak en çok kullanılanıdır (Topbaş 1993). Alüminyum (Al) ve alaşımlarının sağladığı birçok özellik, alüminyumu zamanla mühendislik uygulamalarında çok yönlü, ekonomik ve çekici bir malzeme haline getirmiştir. Düşük yoğunluğuna rağmen sağladığı yüksek mukavemet, en önemli özelliğidir. Yoğunluğu aynı hacimdeki çelik ve bakırın yaklaşık üçte biri kadardır (Boyer ve Gall 1992). Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı, çekme ve akma mukavemeti çeliğinki kadar yüksek olmamasına rağmen ağırlık başına mukavemet çelikten büyüktür (Ünal 1991). Ağırlığının az oluşu, alaşımlama ve ısıl işlemler ile elde edilen mukavemetle birleştiğinde uzay araçları, uçak gibi hareket eden hafif yapılarda uygulama alanları yaratmaktadır.

Alüminyum; atmosfer şartlarında, su ve tuzlu suda, bazı kimyasallar ve çözeltileri içinde yüksek yenim direncine sahiptir (Boyer ve Gall 1992). Normal atmosfer koşullarında oksijen ile reaksiyona girerek kendi yüzeyinde doğal bir koruyucu bir film tabakası oluşturur. Ortalama  $635 \cdot 10^{-9}$  cm kalınlığında olan bu alümina tabakası alüminyumu korozyondan korur. Anotlama, boyama, laklama gibi uygulamalar alüminyumu korozif etkilere karşı korur (Car 1999). Ayrıca anodizasyon(eloksal) işlemi ile bu koruyucu tabakaların kalınlığı arttırılabilir. Ancak alkali eriyikler bu oksit tabakasını bozduğundan koruyuculuk etkisi kaybolur. Bu nedenle yapılarda harç, sıva gibi kireç içeren malzemelerin alüminyum elemanlarla temas etmemesi gerekir (Onaran 1999).

Alüminyumun yüksek elektrik ve ısıl iletkenliği, onun birçok uygulamada kullanımını sağlar. Mükemmel elektrik iletkenliği nedeniyle alüminyum, elektrik enerjisi iletim ve dağıtımının başlıca elemanları olan yalıtılmış hava hattı, yer altı güç kabloları ve ek malzemelerde, yakın zamanlarda bu alanlarda kullanılan bakırın yerini almıştır.

Alüminyumun diğeri bir özelliğı de ısı ve ışık yansıtıcısı olmasıdır. Bu özelliğı sayesinde aydınlatma aksamalarında ve ısı yataklarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Toksit ve bulaşıcı olmayan alüminyumun neredeyse alternatifsiz olduğı diğeri bir kullanım alanı da gıda ve ilaç ambalaj uygulamalarıdır. 0.007 mm kalınlığında dahi alüminyum folyo tam olarak ışık, aroma ve gaz geçirgensizliğe sahiptir

Masif olarak yanmaz özellikte olan alüminyum mikro parçalar haline getirildiğinde büyük ısı açığa çıkararak yanar. Bu özelliğı nedeniyle roketlerde yakıt olarak kullanılabilir. Diğeri metallere göre %100 dönüşümlüdür (Car 1999)

Bu avantajlarının yanı sıra alüminyum alaşımlarının kullanımını kısıtlayan önemli bir faktör vardır ki bu da düşük erime sıcaklığı (660 °C) ve buna bağılı düşük sürünme sıcaklığıdır (300 °C'ın üzerinde sürünme hızı artar) (Unal 1991).

Alüminyum, artırılarak elektrik iletkenliğini, korozyon direncini, işlenebilirlik ya da elektrokimyasal özelliklerini azaltan safsızlıklardan uzaklaştırılabilir (Boyer ve Gall 1992)

Alüminyumun bazı fiziko-kimyasal özellikleri şöyledir:

- a) Yoğunluk: Hem sıvı hem katı alüminyumun yoğunluğu artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. Örneğin; %99.75 saflıktaki alüminyumun 20 °C'deki yoğunluğu 2.703 g/cm<sup>3</sup> iken %99.971 saflıktaki alüminyumun aynı sıcaklıktaki yoğunluğu 2.6996 g/cm<sup>3</sup>'tür
- b) Ergime noktası: Alüminyumun ergime noktası artan saflıkla birlikte artar. Örneğin; %99.2 saflıktaki alüminyumun ergime noktası 657 °C iken %99.996 saflıktaki alüminyumun ergime noktası 660.24 °C'dir.
- c) Kaynama noktası: Metalik alüminyumun kaynama noktası ve buhar basıncı üzerine çok farklı değerler verilmektedir. Açıklanmış son neticelere göre alüminyumun kaynama noktası 750 mmHg sütununda 2497 °C ve vakumda 1607



°C'dir

- d) Isı genleşmesi: %99.952'lik çok saf alüminyum için 20 °C'den 600 °C kadarki sıcaklık diliminde lineer ısı genleşmesi denklemi,  $L_t = L_o [1 + (22.58 t + 0.000989 t^2) 10^{-6}]$  dir. Burada  $L_o$  başlangıçtaki uzunluk  $L_t$  ise  $t$  °C'deki uzunluktur. %99.996 saflık dereceli alüminyum için 20 ila 500 °C sıcaklık diliminde de  $L_t = L_o [1 + (23.22 t + 0.0046 t^2 + 0.000078 t^3) 10^{-6}]$  denklemi geçerlidir. Bu iki denklemin karşılaştırılması ile alüminyumun lineer genleşmesinin artan saflık derecesi ile az da olsa büyüdüğü anlaşılmaktadır.
- e) Isıl iletkenliği: Alüminyumun ısı iletkenliği artan saflık derecesiyle büyür. Örneğin; %99.489 Al'lu bir metal için 200 °C'de 0.5 ve %99.7 Al'lu bir metal için 0.531 cal/cm s. °C'dir. Maliyet ve ağırlık değerleri birlikte ele alındığında diğer metallere daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olduğu sonucuna varılır.
- f) Elektrik iletkenliği: Bu değer de saflık derecesiyle artmaktadır ve farklı sıcaklıklarda farklı değerler almaktadır. Bir örnek vermek gerekirse; ergiyük elektrolizi sıcaklıklarında (930-950°C) özgül elektrik direnci yaklaşık  $30 \cdot 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ 'dir. Bu değer, aynı miktardaki bakırın %63'ü kadardır (Car 1999)

### 2.1.1. Alüminyum alaşımlarının özellikleri

Alaşımlama, ergimiş haldeki metale saf alaşım metallerinin ya da önceden hazırlanmış alaşımların ilavesiyle tamamlanır. Ergimiş haldeki metal doğrudan arındırma biriminden gelebilir ya da katılaştırılıp daha sonra tekrar ergitilebilir.

İhtiyaç duyulan özelliklerin eldesi için yapılan bileşim değişiklikleri; ana metalin saflığını artırma ve alaşımlama ile gerçekleştirilir. Bazı durumlarda zararlı elementler uzaklaştırılır ve yararlı olanlar ilave edilir.

Alaşımlamanın ilk sebebi mekanik özellikleri (mukavemet, sertlik, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı gibi) artırmaktır. Bu özellikler üzerindeki etkiler farklı alaşım

elementlerine göre değişir. Ve bunlar alaşım faz diyagramları, mikroyapı ve katılaşma, termomekanik geçmiş, ısıl işlem ve/veya soğuk işleme sonucu oluşan yapı ile ilişkilidir. İşlenmiş rnlerin (işlenmiş alaşım) retimi için alaşımdaki maksimum alaşım elementleri toplamı yaklaşık %11'dir.

Yoğunluk, erime sıcaklığı aralığı, ısıl genleşme katsayısı, elektrik ve ısıl iletkenlik bir ya da daha fazla alaşım elementinin ilavesiyle değiştirilebilir

Her artan ilave için bu özelliklerdeki değişimin oranı elementlere özgüdür ve bazı durumlarda katı zelti ya da ikinci bir fazın oluşumuna bağlıdır.

Malzeme zelliklerindeki esas farklılıklar, ilave edilen elementlerle ilişkili olmasına rağmen, bir çok alaşım elementi % 1 gibi çok küçük miktarlarda ilave edilseler bile özelliklerde önemli değişiklikler yaparlar. Mekanik zellikler açısından elementlerin doğru kombinasyonlarının sağlanması önemlidir. Etkileşimler oldukça karmaşıktır ve verilen element, ihtiyaç duyulan özelliklerin kombinasyonlarına ve ya özelliklerine bağlı olarak yararlı ya da zararlı olabilir (Boyer ve Gall 1992).

Yumuşak faz yapısına sahip ve bu nedenle kullanım alanı sınırlı olan saf Al malzemenin özelliklerini iyileştirmek amacıyla en fazla Cu, Mg, Mn, Zn ve Si gibi alaşım elementleri kullanılmaktadır (Köksal 2004). Kullanılan bütün elementlerin çok az miktarı ya da kombinasyonları, bir çok alaşım bileşiminde üretim ve ısıl işlem boyunca tane boyutu kontrolü, yeniden kristallenme davranışlarını kapsar. Tane boyutu kontrolünün; gerilmeli-yenim çatlaklarına karşı direnç, kırılmalara karşı dayanıklılık ve iyi şekillendirme özelliklerini sağlamak gibi amaçları vardır. Özel alaşımlarda, bu elementlerin ek olarak mukavemet, yorulma direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet gibi özellikler üzerine etkileri vardır. Tane boyutu kontrolünün sağlanmasında elementler dispersoid olarak adlandırılan düzgün dağılmış partiküller halinde ktrlmelidir. Elementlerin mukavemet üzerindeki etkileri; alaşım elementi atomlarının ve çözücü durumdaki alüminyumun atom çapları arasındaki farkın artmasıyla artma eğilimindedir (Boyer ve Gall 1992).

Alaşımlamada kullanılan elementlerin Al içindeki çözünürlükleri iyidir ve artan sıcaklıkla çözünürlük artar.

Çizelge 2.1. Elementlerin katı Al içindeki en yüksek çözünürlükleri (www.angelfire.com)

Element	Sıcaklık	En Yüksek Çözünürlük
	(0°C)	% Ağırlık
Cu	548	5,65
Mg	450	17,4
Mn	658	1,82
Si	577	1,65
Zn	443	70

### 2.1.2. Alaşım elementleri ve özellikleri

Alaşımında kullanılan ana elementler Mg, Si, Zn, Cu ve Mn' dir. Nikel (Ni) , kobalt (Co), krom (Cr), titanyum (Ti) ve zirkonyum (Zr) ilave elementler olarak kullanılır (Mazzolani 1985).

#### 2.1.2.1. Magnezyum (Mg)

Magnezyumun alüminyum içindeki en yüksek çözünürlüğü %17,4 'tür, fakat işlenmiş alaşımlardaki Mg içeriği 5,5 % 'den fazla değildir. Al-%10Mg döküm alaşımlarında, Mg' nin çökmesi oda sıcaklığında gerçekleşir.

%7 'den daha az miktarda Mg içeren alaşımlar oda sıcaklığında kararlıdır, fakat daha yüksek sıcaklıklarda bu özellikler kaybolur. %5 Mg içerikli işlenmiş alaşımlar normal şartlarda kararlıdır (Hatch 1984 ve Mazzolani 1985).

%0,75 'nin üzerindeki mangan (Mn) ilave edilen Al-Mg alaşımları, yüksek mukavemete ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Mn, daha düşük Mg içeriğine izin verirken alaşımların kararlılığını iyileştirir (Hatch 1984). Mg yaşlanma ısıl işlemine, katı çözeltili sertleşmesi yaratarak, uygun bir yapı kazandırır (Yılmaz 2002).

#### 2.1.2.2. Silisyum (Si)

Mukavemeti artırır. Magnezyum ile birleştirildiğinde çökeltme sertleşmesini sağlar ve ergime sıcaklığını düşürür. işlenmiş alaşımlarda; Si, Mg ile birlikte, daha fazla miktarlarda  $Mg_2Si$  üretmek için 6xxx serisinde kullanılır. Si ilavesi (%0,5-4,0) Al-Cu-Mg alaşımlarında çatlak oluşturma eğilimini azaltır (Hatch 1984 ve Mazzolani 1985). Ayrıca Si korozyon direncini de arttırmaktadır (Yılmaz 2002)

Si içerikli alaşımlara az miktarda Mg ilavesi sistemi ısıl işlenebilir hale getirir. Fakat  $Mg_2Si$ ' nin oluşumu için istenenden daha fazla miktardaki Mg, bileşiğin katı çözünlüğünü düşürür (Hatch 1984)

Al-Si alaşımlarının, kabaca yumuşak ve sünek alüminyum fazı ile sert ve kırılğan silisyum fazından meydana gelen karma bir malzeme olduğu söylenebilir (Ermiş, Yaman, Küçükkaragöz ve Çiğdem 2003)

#### 2.1.2.3. Çinko (Zn)

Mukavemeti artırır. Bazı durumlarda gerilmeli korozyona karşı dayanıklılığı artırır. Al-Zn alaşımlarının kullanımı korozyon çatlakları oluşumundan dolayı azalmıştır. Al-Zn alaşımlarına Mg ilavesi, özellikle %3-7,5 Zn içeren sistemlerde mukavemeti geliştirir. Diğer taraftan; artan oranlarda ilave edilen Zn ve Mg korozyon direncini düşürür. Zn dökülebilirliği düşürücü bir etki yapar (Yılmaz 2002)

Al-Zn-Mg sistemine bakır (Cu) ilavesi ile, küçük fakat önemli miktarlardaki krom ve mangan ile birlikte, yüksek derecelerde mukavemete ulaşılır.

Bu alaşım sistemlerinde Zn ve Mg yaşlandırma işlemlerini kontrol eder Cu ilavesi doyumluk derecesini artırarak yaşlandırma sonucu sağlanan özelliklerin gelişimini sağlar (CuMgAl<sub>2</sub> fazının çekirdeklenmesiyle) (Hatch 1984).

#### **2.1.2.4. Bakır (Cu)**

Bakırın %12'ye kadar olan değeri dayanımı artırır. %12'den fazlası ise gevreklik meydana getirir. Genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği arttırmaktadır

#### **2.1.2.5. Nikel (Ni)**

Yüksek sıcaklık şartlarında mukavemeti artırır. Al içerisindeki çözünürlüğü %0,04 'den fazla değildir. Bu miktarın üstünde çözünmez halde kalır. Al-Cu ya da Al-Si alaşımlarına yüksek sıcaklıklardaki sertlik ve mukavemet gelişimi ve genişleme katsayısını düşürmek için ilave edilir (Hatch 1984).

#### **2.1.2.6. Titanyum(Ti)**

Tane boyutunun küçülmesini sağlar.

#### **2.1.2.7. Zirkonyum (Zr)**

İşlenmiş alaşımlarda yeniden kristallenme sıcaklığını artırmak ve tane yapısını kontrol etmek amacıyla kullanılır (Mazzolani 1985)

### 2.1.2.8. Krom (Cr)

Yenim direncini artırır. % 0,35 'i geçmeyen oranlarda bir çok alaşımda kullanılır. Tane boyutunu kontrol etmek için, ısıl işlem süresince Al-Mg-Si ya da Al-Mg-Zn alaşımlarında yeniden kristallenmeyi önlemek için, Al-Mg alaşımlarında ise tane büyümesini önlemek için kullanılır (Hatch 1984).

### 2.1.2.9. Demir (Fe)

Şayet düşük yüzdelerde kullanılırsa saf alüminyumun mukavemetini artırıcı bir ilavedir (Mazzolani 1985). Dökümlerin sıcak çatlama eğilimini azaltır (Yılmaz 2002).

### 2.1.3. Alaşımların sınıflandırılması

Al alaşımlar üretim yöntemlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar:

#### 2.1.3.1. İşlenmiş alaşımlar

Tekrar ergitilmeksizin sıcak ya da soğuk işlenmelidirler. Haddeme, dövme, presleme gibi işlemlerle şekil verilebilir alaşımlardır (Ünal 1991). Levha ve darçıkım tomrukları gibi tomruk şekilleri çoğunlukla doğrudan soğutmalı döküm yöntemi ile yarı sürekli olarak dökülür. Levha tomruklarında tomruğun haddeyle temas edecek yüzeylerinden haddelenmeden önce 10 mm kadar alınır. Bu işleme traşlama denir ve üretilecek levha veya sacın temiz bir yüzeyi olması için uygulanır. Daha sonra tomruklar yüksek bir sıcaklıkta, 10-24 saat ön ısıtılarak veya benzeşikleştirilerek atom yayınının tomruğun bileşimini bir biçimli hale getirmesi sağlanır. Ön ısıtma en düşük erime sıcaklığına sahip bileşenin altındaki bir sıcaklıkta yapılmalıdır. Yeniden ısıtılan tomruklar, dörtlü, ters dönüşlü sıcak haddeme haddesinde sıcak haddelenir. Tomruklar genellikle önce 8 cm'ye kadar inceltir ve daha sonra yeniden ısıtılarak bir ara haddeme haddesinde kalınlıkları 15-20 mm'ye düşürülür. Bundan sonraki inceltmeler çok takımlı sıcak haddeme haddelerinde yapılarak

kalınlık 2 mm'ye kadar indirilir. İnce saclar üretilecekse genellikle birden fazla ara tavlama gerektirir (Smith 2001).

İşlenmiş alaşımlar için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme dizisi, Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen simgeleme dizisidir. Daha önceleri Amerikan Alüminyum Birliği tarafından kullanılan bu simgeleme 1957 yılında standartlaştırılmıştır. Bu dizide, her alaşım dört rakamlı sayısal bir simge ile gösterilir ve bu simgenin ilk rakamı temel alaşım elementini göstermektedir (Yılmaz 2002).

1xxx serisi saf alüminyum ( en az %99) belirtir. 1xxx serisinde, 10xx serisi alaşımsız kompozisyonu belirtir (metal sadece doğal safsızlıklara sahiptir). Son iki rakam asgari alüminyum yüzdesini gösterir. İkinci rakam 0' dan farklı bir rakamla (1 'den 9'a kadar) ifade edilirse bir ya da daha fazla safsızlık belirtilmiş olur (Hatch 1984). Soldan ikinci rakam özel olarak denetlenen katışkı (empurite) elementlerin sayısını belirtir. Örneğin; 1042 simgesiyle gösterilen alaşımın arı alüminyum olduğu ve arılık değerinin de en az %99,42 olduğu söylenir. Ayrıca, %1.0-%0.42 = %0.58 içinde özellikler denetlenen hiçbir elementin bulunmadığını gösterir (Yılmaz 2002). Bu grupta deformasyon sertleşmesi ile az da olsa mukavemet elde edilebilir (Oğuz 1990).

2xxx'den 7xxx'e kadar olan alaşımlar, asıl alaşım elementine göre adlandırılmışlardır. İkinci rakam, 1xxx serisi ve 2xxx'den 8xxx'e kadar olan seriler için safsızlık limitindeki değişimi ifade eder. İkinci rakam 0 ise orijinal alaşım belirtilmiştir, 1 'den 9'a kadar değişiyorsa orijinal alaşımın değişiklikleri belirtilmiş olur. Amaçlanan kompozisyonun önceden varolan bir alaşımın değişimi mi yoksa yeni bir alaşım mı olduğuna karar verilmelidir. Son iki rakam, çok fazla önemi olmamakla beraber gruptaki farklı alüminyum alaşımları belirtir (Hatch 1984). Örneğin, 5065 alaşımı, özellikle denetlenen hiçbir katışkı element içermeyen Al-Mg alaşımıdır.

### 2.1.3.2. Döküm alaşımları

Tekrar ergitilip kalıplanabilirler, son şekillerini doğrudan doğruya dökümle alırlar (Ünal 1991). Alüminyum alaşımları olağan durumlarda üç ana yöntemle dökülür:

Kum kalıba döküm, alüminyum alaşımlarının döküm yöntemleri içinde en basiti ve en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu döküm yöntemi genellikle, az sayıdaki döküm parçalarının, karmaşık maçaları olan parçaların, büyük boyuttaki parçaların ve yapı elemanlarının dökümünde kullanılır.

Kalıcı kalıpta döküm yönteminde, erimiş metal kalıcı kalıba (genellikle metal bir kalıp) yerçekimi, düşük basınç veya merkezkaç kuvvet etkisi ile doldurulur. Kum kalıba döküm yöntemine göre, hızlı soğumanın etkisiyle, daha ince tane yapısı, daha yüksek dayanım elde edilir ve büzülme, gaz gözenekleri daha azdır. Buna karşılık kalıcı kalıplarda boyut sınırlaması vardır ve karmaşık parçaların bu yöntemle dökülmesi çok güçtür.

Basınçlı döküm, erimiş metali yüksek basınç altında, metal kalıplara basarak yapılan yüksek üretim hızındaki bir döküm yöntemidir. Kalıbın iki yarısı, uygulanacak basınca dayanacak şekilde bir arada tutulur. Metal katılaştıktan sonra yarılar birbirinden ayrılır ve sıcak döküm parçası kalıptan itilerek çıkarılır. Daha sonra kalıp yarıları bir araya getirilerek döküm işlemi tekrar edilir. Basınçlı dökümün üstün tarafları, yüksek hızda ve hemen hemen bitmiş durumda parçaların üretilmesi, parçaların boyutsal toleranslarının diğer döküm yöntemlerinde üretilen parçalara göre çok daha iyi olması, düzgün bir yüzey elde edilmesi, hızlı soğumanın ince bir tane yapısı oluşturması ve işlemin kolaylıkla otomatikleştirilebilmesidir.

Alüminyum döküm alaşımları ayrıca, sıkıştırımlı döküm olarak adlandırılan ve basınçlı dökümle kalıpta dövmenin bir birleşimi olan yöntemle dökülebilmektedir. Döküm işlemindeki sıvı metalin kalıbı doldurması ve dövme işlemindeki dikey pres hareketinin bir araya gelmesiyle oluşmuş bir yöntem olarak ortaya çıkar.



Sıkıştırılmalı dökümün ana prensibini, doğru ölçülmüş hacimdeki sıvı metalin istenilen sıcaklıktaki kalıba konması ve üst kalıbın inerek veya pistonun yukarı çıkarak metalin katılaşması esnasında, basınç uygulaması oluşturur. Diğer döküm yöntemlerine göre, uygulanan yüksek basınçtan dolayı gözenek oranı daha az ve daha küçük taneli mikro yapıya sahip parçalar üretilebilir. Günümüzde pistonlar, jantlar, rulman parçaları, bilezikler, bağlantı milleri, varil başlıkları, fren diskleri gibi parçalar üretilebilmektedir (Ündey, Sarıdikmen ve Kuşkonmaz 2004).

Alüminyum döküm alaşımlarının simgelenmesi, işlenmiş alaşımların simgelenmesine benzer. Yine dört rakamlı bir simge vardır fakat üçüncü rakamdan sonra bir nokta vardır.

1xx.x için ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun %99.00'dan sonraki saflık derecesini belirler. Son rakam sıfır ise bu , parça dökümleri; 1 ise ingotları; rakamların önünde 1.x varsa bu da alaşımın deneme aşamasında olduğunu gösterir (Yılmaz 2002).

2xx.x'den 8xx.x'e kadar olan seriler, yüzde miktarı en fazla olan alaşım elementine göre sınıflandırılmışlardır. İkinci iki rakam özel alüminyum alaşımını ifade eder ya da alüminyum için saflığı belirtir. Diğerlerinden nokta ile ayrılmış olan son rakam ise üretim şeklini yani döküm ya da ingot oluşunu belirtir.

Orijinal alüminyumdan değişiklikler ve/veya alüminyum için safsızlık limitleri, sayısal adlandırmadan önce gelen seri halindeki harflerle belirtilir (Hatch 1984).

Alüminyum alaşımlar ısıtılma durumlarına göre de iki gruba ayrılırlar.

### 2.1.3.3. Isıl işlenebilir alaşımlar

Isıl işlenebilir alüminyum alaşımlar üç alaşım tipini içerir. Bunlardan en iyi bilineni ve ticari olarak ilk kullanılanı Al-Cu-Mg alaşımlarıdır. Diğer iki sistem Al-Mg-Si ve Al-Zn-Mg'dir.

Bu üç sistemin sahip olduğu ortak özellik sıcaklıkla değişebilen çözünürlük özelliğidir. Bunun önemi; şayet alaşım çözelti işlemi sıcaklığına ısıtılırsa alaşım elementleri katı çözeltiliye alınır. Metal hızlıca soğutulduğunda, örneğin soğuk suda soğutulduğunda, alaşım elementleri doygun katı çözeltilide muhafaza edilir ve yalnızca oda sıcaklığında veya yapay yaşlandırma için kullanılan sıcaklıklarda yavaşça çökeltirler. Bu çökeltme özelliklerinde fark edilir bir artışa eşlik eder (Mazzolani 1985).

Isıl işlenebilir alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda Al içinde önemli miktarlarda çözünebilen Cu, Mg, Si ve Zn elementlerinin bir ya da daha fazlasını içerir. Mn, Cr ya da Zr yeniden kristallenmeyi önlemek için ilave edilebilir (Hatch 1984).

Isıl işlem mekanik işlemler üzerindeki etkisinin yanı sıra, döküm alaşımının fiziksel özelliklerini de etkiler.

#### a) Alüminyum-bakır alaşımları

Cu; Al için, çözünürlüğünden ve mukavemet kazandırma etkisinden dolayı önemli alaşım elementlerinden biridir.

Asıl alaşım elementlerinin yanında, safsızlık olarak demir içerirler. Yeniden kristallenme sıcaklığını artırmak ve mukavemeti yükseltmek için Mn içerirler. Silisyum tüm alaşımlarda bazen safsızlık olarak bazen de ilave olarak bulunur. İlk bulunan Al-Cu işlenmiş alaşımı 2025 tir. (Al-%4.5Cu) Bu alaşım Si ve Mn ilaveleri içerebilir fakat; bunlar çökelti sertleşmesine katkıda bulunmazlar.

Çökelme reaksiyonu aşağıdaki gibidir:

Doygun Katı Çözelti → Uyum → Gösteren GP (Guinier-Preston) Bölgesi → Uyum Gösteren  $\theta'$  → Yarı Uyum Gösteren  $\theta''$  → Uyum Göstermeyen  $\theta'$

Bu alaşımlarda oda sıcaklığında gözlenen sertleşme, oluşan GP bölgesinde yoğunlaşan bakır atomlarının sonucudur. Bu, disk şeklinde ve iki boyutlu bakırca zengin bölgeyi içerir. Bu bölgenin uzunluğu 3-5 nm'dir ve oda sıcaklığında yaşlandırma süresi ile değişmez. 100°C ve daha yüksek sıcaklıklarda GP bölgesi yok olur ve GP2 ya da  $\theta''$  olarak meydana gelen üç boyutlu ve düzenli atomlardan oluşan bir yapı meydana gelir. Geçiş fazı ( $\theta'$ ) kararlı faz ile aynı bileşimdedir ve GP2 den sonra oluşan katı çözelti kafesi ile, GP2' den sonra oluşan katı çözelti kafesi, uyum gösterir. Fakat fazla sıcaklık ve sürede aynı anda ortaya çıkar. En son durumda  $\theta'$ , uyum göstermeyen dengeye ( $\text{CuAl}_2$ ) dönüşür.

Bu yapıların sertlik ile ilişkisi iki sıcaklıkta yaşlandırılan %4 bakır alaşımı için şekilde verilmiştir. Bazı sıcaklıklarda örneğin 130°C' de GP1' in oluşumundan sonraki ilk sertleşme ikinci durum olan GP2' den ayırt edilebilir.

GP2' nin miktarı azami seviyeye ulaştığında, azami sertlik ve mukavemet oluşur.  $\theta'$  miktarı arttıkça, tane büyümesi matriste oluşan gerilimin çökelti arası sürekliliğini azaltır. Bu azalmayla birlikte GP2' nin de azalması aşırı yaşanmaya sebep olur. Meydana geldiğinde alaşım maksimum mukavemet durumundan çok uzaklaşmış olur (Mazzolani 1985).

#### **b) Alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları**

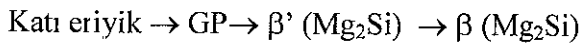
Bu alaşım sistemleri yapısal mühendislik için kullanılan genel amaçlı alaşımlardır. Hem işlenmiş, hem de döküm ürünleri için kullanılan ısıtılabilir alaşımların ana sınıfıdır. Genelde ekstrüzyon ya da plaka halinde üretilirler. Isıl işlem, 540°C ya da daha yüksek

sıcaklıklardan soğutma ve ardından oda sıcaklığında doğal yaşlandırma yada 160-200°C' de yapay yaşlandırmayı içerir. Bu sistemdeki bazı alaşımlarda, ekstrüzyondan sonra havada soğutma, Mg<sub>2</sub>Si 'nin katı çözeltide muhafaza edilmesi için yeterlidir ve istenen özellikler suda soğutma gerekmeksizin sağlanabilir. Mg<sub>2</sub>Si' nin Al içindeki çözünürlüğü, artan Si ile birlikte düşer

Magnezyum ve, silisyum ilaveleri içeren alaşımlar, 6xxx alaşımlarıdır. Bu elementler Mg<sub>2</sub>Si şeklinde oluşurlar ya da silisyum daha fazla olabilir. Silisyumun fazla olması mukavemette artışı sağlar fakat korozyon direncini düşürür. Bu sınıftaki bir çok alaşım mukavemet artışı ve tane boyut kontrolü için Mn ve Cr her ikisini birden içerir. Ayrıca Cu mukavemet artışı için, yararlı bir ilavedir. Bu alaşımlarda mukavemet eldesi oda sıcaklığında uzun bir sürecin sonunda oluşur.

200°C' nin üzerindeki kısa yaşlandırma sürelerinde çok ince ve iğne şekilli bölgelerin oluştuğu gözlenmiştir.

Elektron mikroskopunda bu bölgelerin yaklaşık 6 nm genişliğinde ve 20-100 nm uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bir başka araştırmada bu bölgelerin başlangıçta küresel şekilli olduğu ve yaşlandırma eğrisinin maksimum mukavemet bölgesinin yakınlarında iğne şekline dönüştükleri gözlenmiştir. Yaşlandırma daha çok bölgenin üç boyutlu olarak gelişerek Mg<sub>2</sub>Si' ye benzer yapıdaki çubuk şekilli tanelerin oluşumuna sebep olur. Daha yüksek sıcaklıklarda geçiş fazı, β' , Mg<sub>2</sub>Si dengesine dönüşür. β'' fazının, β' Mg<sub>2</sub>Si ile aynı yapıda olduğu düşünülmektedir, fakat; yaklaşık %20 Al içerdiğine dair kanıtlar vardır. Normal çökelme sırası aşağıdaki gibidir:



### c) Alüminyum-çinko-magnezyum ve alüminyum-bakır-magnezyum -çinko alaşımları

7xxx serisi alaşımlarıdır. Isıl işlenebilir alaşımların önemli bir sınıfıdır ve her durumda çinko (Zn) İlave edilen ana elementtir.

Al-Zn-Mg alaşımları, her iki elementin yüksek çözünürlüğünden etkilenirler. Al ile dengedeki fazlar,  $MgZn_2$  (M-fazı),  $Mg_3Zn_3Al_2$  (I-fazı) ve  $Mg_5Al_3$  ( $\beta$ -fazı) olarak gösterilebilir. İlk faz  $MgZn_2$  -  $Mg_4Zn_7Al$  kompozisyonu aralığındadır.

T fazı; %74Zn-%16Mg' dan %20Zn-%31Mg' ye kadar geniş bir kompozisyon aralığındadır.  $\beta$ -fazı yalnızca Mg içeriğinin Zn içeriğinden daha fazla olduğu durumlarda gözlenir

En yüksek oda sıcaklığı mukavemeti Al-Zn-Mg-Cu alaşımları tarafından sağlanmaktadır. Etkileyici gerilme özellikleri ve iyi üretim özelliklerine rağmen ticari değildirler. Çünkü korozyon çatlaklarına karşı dirençleri iyi değildir.

Al-Zn-Mg alaşımlarını oda sıcaklığından düşük yaşlandırma sıcaklıklarına, hızlıca soğutma yaklaşık küresel şekilli GP bölgesinin oluşumunu sağlar. Yaşlandırma süresinin artışı ile GP bölgesinin boyutları artar ve alaşım mukavemeti de artar. Oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda, yüksek Zn-Mg oranlarında GP bölgesi  $\eta'$  veya M' olarak bilinen geçiş çökeltilerine dönüşür. Hegzagonal  $\eta'$  çökeltilerinin ana düzlemi  $\{111\}$  matris düzlemleri ile uyum gösterir. Fakat çökeltilerin c düzlemi ve matris arasındaki ara yüzey uyum göstermez. Yüksek mukavemeti geliştiren yaşlandırma süresi ve sıcaklığı, T6 işleminin özellikleri, 2-3,5 nm genişliğindeki bölgeyi meydana getirir. Yüksek yoğunluktaki Zn atomlarına sahip olduğu şüphesiz olmakla birlikte bölgenin doğası hala kesin değildir. Yapılan araştırmalarda bölgenin yapısının Zn ve Mg içeriklerine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

$\eta'$  geçiş fazı Al + I bölgesinde meydana gelir. Artan süre ve yükselen sıcaklıkla birlikte  $\eta'$  (  $MgZn_2$ )' ye dönüşür ya da T' nin denge fazı olduğu durumlarda I (  $Mg_3Zn_3Al_2$ ) 'nin yerine geçer. Düşük Zn-Mg oranlarında alaşımda T' nin oluşması için aşırı yaşlandırma süreleri ve sıcaklıkları gerekmektedir. Çökelti sırası kompozisyona bağlıdır.

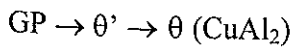
GP bölgesi homojen bir şekilde çekirdeklenir ve matriste çeşitli çökelti ler oluşur. Bununla beraber yüksek açılı tane sınırlarının oluşumu serbest enerjiyi değiştirir. Öyle ki; hem soğutma işlemi hem de yüksek sıcaklıklarda yaşlandırma (GP bölgesi çözünme sıcaklığı) boyunca heterojen çekirdeklenme meydana gelir.

Bu heterojen çekirdeklenen çökelti ler mukavemete katkıda bulunmazlar ve sonuçta homojen çekirdeklenen için gerekli olan çözelti miktarını azaltarak mukavemeti düşürürler.

Soğutma oranını düşürmekte çözelti atomlarının heterojen çekirdeklenmesine fırsat vermenin bir diğer yoludur. Yavaş soğutma boşlukların boş yüzeylere göç etmesine izin verir. GP bölgesinin homojen çekirdeklendiği yerde boşlukların sayılarındaki azalma sıcaklığı azaltır. Düzenli yaşlandırma sıcaklığı, hızlıca soğutulan malzemelerde homojen çekirdeklenmeyi sağlar. Yavaş soğutmadan sonra azalan mukavemet homojen çekirdeklenmeyi arttırmak için yaşlandırma sıcaklığı azaltılarak asgari seviyeye indirilebilir (Mazzolani 1985).

#### d) Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımları

Cu ve Mg' nin her ikisini de içeren alaşımlar genelde yeterli miktarda Silisyum da içerirler. Fakat, çökelti sertleştirmesi reaksiyonları Al-Cu-Mg alaşımına göredir. Sistemde yüksek oranlarda çökelti sertleştirmesi sırası:



Düşük oranlarda sertleştirme ise:  $GP \rightarrow CuMgAl_2$

Silisyum içeren çökelti reaksiyonları  $Mg_2Si$  ya da  $Al_4CuMg_5Si_4$  ile aynı kompozisyonda oluşabilirler fakat; Cu' nun ana element olarak bulunduğu alaşımlarda, ana sertleştirme elemanı değildirler.

Al-Cu alaşımlarına magnezyum ilavesi doğal yaşlandırma sertleşmesini hızlandırır ve etkisini artırır. Doğal yaşlandırma süresince bölgenin oluşumunun güçlü olduğuna dair kanıt olmasına rağmen şekli ve boyutları kesin değildir.

Mg ve Cu atomu guruplarının  $\{110\}$  matris düzlemi üzerinde biriktiği düşünülmektedir. Magnezyumun ilavesiyle bu işlemin hızlanması, boşluk hataları ve iki atom arasındaki boşluklar ve iki atom arasındaki karmaşık etkileşimlerin sonucudur.

2024-T4 alaşımını yüksek sıcaklıklarda yaşlandırma sonucu, S' ( $Al_2CuMg$ ) geçiş fazı oluşur. Aşırı yaşlandırma sonucu ise S ( $Al_2CuMg$ ) fazı oluşur ve uyum yok olur.

Katı eriyik  $\rightarrow$  GP  $\rightarrow$  S' ( $Al_2CuMg$ )  $\rightarrow$  S ( $Al_2CuMg$ )

#### 2.1.3.4. Isıl işlenemeyen alaşımlar

Isıl işlem yapılamayan alaşımlar, Al ile Mn ve ya Mn'nin tek tek oluşturdukları alaşımlardır (Mazzolani 1985).

##### a) Alüminyum-magnezyum alaşımları (5xxx serisi)

Isıl işlenemeyen alaşımların önemli bir sınıfıdır. Ana alaşım elemanı magnezyumdur. %6' dan fazla magnezyum içeren alaşımlarda çökeltme sertleşmesi oluşmaktadır. Bu serideki alaşımlar iyi kaynak karakteristiğine ve deniz şartlarında iyi korozyon direncine sahiptir (Yegorava 1978). %10 oranında magnezyum içeren alaşımlar ise tavlama işleminden sonra, bütün alüminyum döküm alaşımları içinde, çekme mukavemeti, uzama

ve darbeye karşı mukavemet bakımından en yüksek özelliğe sahiptir (Çakmak 1984)

Isıtma durumunda mukavemetteki artış Mg içeriği ile orantılıdır. Şekilde gerilme mukavemetinin Mg içeriğine bağlı değişimi verilmiştir. Bu alaşımlara hızlıca sertleştirme işlemi yapılabilir ve Mg içeriği ne kadar fazla ise sertleştirme işlemi o kadar hızlı olur. Daha yüksek Mg içerikli alaşımlarda, tane sınırlarında korozyon direnci düşük olan  $\beta$  fazı ( $Mg_2Al_3$ ) çökeltisi oluşma eğilimi vardır. Bu çökeltme oda sıcaklığında düşüktür fakat  $70 - 100^\circ C$ 'de daha hızlıdır (Varley 1970). %2.5 Mg ve % 0.2 Cr içeren 5052 alaşımı, grubun en önemli sanayi alaşımıdır. Tavlanmış durumda bu alaşımın çekme dayanımı yaklaşık 193 MPa'dır ve sac halinde, özellikle otobüs, kamyon ve deniz taşıtlarında kullanılır (Smith 2001)

#### **b) Alüminyum -mangan alaşımları(3xxx serisi)**

Manganın (Mn) Al içinde maksimum çözünebilirliği % 1,82 oranındadır. Bu çözünürlük demir gibi safsızlıkların bulunmasıyla daha da düşer.

Azami Mn miktarı %1,25 oranında bulunur ve azla miktarda bulunması  $MnAl_6$  gibi tehlikeli bileşiklerin oluşumuna sebep olabilir. Mangan, alüminyumun dayanımını katı çözelti güçlendirmesi ile artırır. Mn varlığı sadece mukavemeti artırmakla kalmaz aynı zamanda yeniden kristallenme sıcaklığını yenim direncine zarar vermeden yükseltir (Varley 1970)

Bu grupta en önemli alaşım 3003 alaşımıdır, aslında %1.25 mangan katılmış 1100 alaşımıdır. Tavlanmış durumda çekme dayanımı 110 MPa civarında olup iyi şekillendirmenin istendiği yerlerde çok maksatlı bir genel alaşımıdır



### c) Alüminyum- silisyum alaşımları (1xxx serisi)

Bu alaşımlarda alüminyum en az %99.0 olmaktadır ve demir ile silisyum ana alaşım elementleridir. Yüksek dayanım için buna ek olarak %0.12 oranında bakır katılır. 1100 alaşımının tavllanmış durumda çekme dayanımı 90 MPa civarındadır ve çoğunlukla şekillendirilen sac olarak kullanılır (Smith 2001)

#### 2.1.4. Alüminyum alaşımlarına uygulanan temel işlemlerin simgesel gösterimi

Alaşımın ısı işlem durumu, kimyasal kompozisyon sembolünü izleyen birtakım sembollerle ifade edilir. Bu sembol, ulusal adlandırmaya göre farklılıkları olan, harfler ve rakamlarla belirlenir (Mazzolani 1985).

Aşağıdaki semboller Alüminyum Birliği (AA) tarafından hazırlanmıştır.

##### 2.1.4.1. F üretim

Bu sembol, soğuk işleme oranı ve ısı işlem kontrolü olmaksızın soğuk işleme, sıcak işlem ve döküm süreci ile şekillendirilmiş ürünleri kapsar. İşlenmiş ürünlerde mekanik özellik limiti yoktur (Boyer ve Gall 1992, Hatch 1984, Mazzolani 1985).

##### 2.1.4.2. O tavlama

İşlenmiş ürünlere ve döküm ürünlerine boyutsal kararlılığı sağlamak için uygulanır. Mukavemet düşüktür (Hatch 1984 ve Mazzolani 1985). (Yalnızca sertleştirme işlemi yapılabilen ürünlerde geçerlidir.)

#### 2.1.4.3. H mukavemet kazandırma

Soğuk işlem ile mukavemeti artırılabilen alaşımları ve hafif tavlama işlemlerinin izlendiği durumları belirtir. Isıl işlemle ya da ısıl işlem olmaksızın mukavemeti artırılmış ürünleri içerir. Genellikle yassı ürünler (levha/sac) için kullanılan bir notasyondur

'H' harfinden sonra ana işlemleri ifade eden ard arda gelen rakamlar yer alır.

H1: Sadece sertleştirme işlemi yapılmıştır. Isıl işlem yapılmaksızın istenilen mukavemetin elde edildiği ürünleri içerir. H1 'den sonra gelen rakam sertleştirme işleminin derecesini ifade eder. 1 en yumuşak, 8 en sert durumu belirler. Buna göre 2 çeyrek sert, 4 yarı sert, 6 üç çeyrek sert, 8 en sert durumdur (Yılmaz 2002).

H2: Sertleştirme işlemi yapılmış ve kısmen tavlammıştır. Son hali istenilenden daha fazla sertleştirilmiş olan ve daha sonra tavlama ile sertliği istenilen seviyeye düşürülen ürünleri içerir. H2'den sonra gelen rakam tavlama işleminden sonraki sertlik derecesini belirtir.

H3: Sertleştirme işlemi yapılmış ve stabilize edilmiştir. Sertleştirme işlemi yapılmış ve mekanik özellikleri düşük sıcaklık ısıl işlemi ile kararlılık kazandırılmış ürünleri kapsar. H3 'ten sonraki rakamlar kararlılık kazandırma işleminden sonraki mukavemet derecesini ifade eder (Boyer ve Gall 1992, Hatch 1984)

#### 2.1.4.4. W su verme

Çözeltiye alma işleminden sonra oda sıcaklığında soğutulan ve yaşlandırılan alaşımların kararsız (kalıcı olmayan) halidir. Bu sembolün ardından doğal yaşlandırma süresini içeren rakam gelir. Örneğin; 2246-W-8 simgesi 8 saatlik yaşlanma sonucu bu alaşımın, taşıyacağı özellikleri gösterir. (Çok sık kullanılmaz.)

#### 2.1.4.5. T ısıl işlem

'T' harfinden sonra l' den 10' a kadar numaralar yer alır.

T1: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış kararlı hal. Döküm ya da ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden sonra soğuk işleme yapılamayan ve mekanik özellikleri oda sıcaklığında yaşlandırma işlemiyle kararlılık kazandırılmış ürünleri kapsar.

T2: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden soğutulmuş, soğuk işlenmiş, doğal yaşlandırılmış kararlı haldir. Ekstrüzyon işlemi gibi bir sıcak işlemden sonra yapılan soğutma işleminin ardından, mukavemeti sağlamak için soğuk işlenen ve oda sıcaklığı yaşlandırılmasıyla mekanik özellikler açısından kararlılık kazandırılan ürünleri içerir

T3: Kararlı hal için; çözelti ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlem yapılmış ve doğal yaşlandırılmış sistemlerdir. Çözelti ısıl işleminden sonra mukavemeti sağlamak için soğuk işlenmiş ve oda sıcaklığında yaşlandırma ile mekanik özellikler açısından kararlılığı sağlanmış ürünleri içerir

T4: Kararlılık sağlanması için; çözelti ısıl işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış sistemdir. Çözelti ısıl işleminden sonra soğuk işlenmemiş ve oda sıcaklığı yaşlandırılmasıyla mekanik özellikler açısından kararlılık kazandırılmış ürünleri kapsar.

T5: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden sonra soğutulan ve yapay yaşlandırılan sistem. Döküm ya da ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden sonra çözeltiye alınmadan ve çökelti ısıl işlemi ile mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı sağlanan ürünlerdir.

T6: Çözelti ısıl işlemi ve yapay yaşlandırılmış sistem. Çözelti ısıl işleminden sonra soğuk işlem yapılmamış ve çökelti ısıl işlemiyle mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı

sağlanan ürünleri içerir

T7: Çözelti ısıtma işlemi ve kararlılık işlemi yapılmış sistemlerdir. Yaşlandırma ısıtma işlemi yapılmış, aşırı yaşlandırılmış ürünleri içerir. Yenim direnci gibi özel özellikler sağlar.

T8: Çözelti ısıtma işlemi, soğuk çalışma ve yapay yaşlandırılma işlemleri yapılmış sistemlerdir. Çözelti ısıtma işleminden sonra mukavemet sağlamak için soğuk işlem yapılmış ve çözelti ısıtma işlemi ile mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı sağlanmış sistemlerdir.

T9: Çözelti ısıtma işlemi, yapay yaşlandırma ve soğuk işlem yapılmış sistemlerdir. Yaşlandırma ısıtma işleminden sonra mukavemet sağlamak için soğuk işlem yapılmış ürünleri kapsar.

T10: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden soğutulan, soğuk işlem yapılan ve yapay yaşlandırılan sistemlerdir. Ekstrüzyon işlemi gibi sıcak çalışma işleminden soğutulduktan sonra mukavemet sağlamak için soğuk işlem yapılan ve çökelti ısıtma işlemi ile mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı sağlanan ürünleri içerir (Hatch 1984 ve Mazzolani 1985).

## 2.2. Isıl İşlem ve Özellikleri

Isıl işlem, genel olarak mekanik ve fiziksel özellikleri değiştirmek amacıyla malzemelere uygulanan ısıtma ve soğutma işlemlerini kapsar. Alüminyum alaşımlarının özelliklerini geliştirmek veya değiştirmek için uygulanan işlemler çeşitlidir. Esas işlemler; tavlama, çözeltiye alma ve yaşlandırma. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarının ısıtma işlemi özel bir anlam taşır ve ağırlıklı olarak yaşlandırma işlemini kapsar (Geçkinli 2002).

Çökeltme yaşlandırması ancak denge diyagramında solvüs eğrisi bulunan alaşımlarda ve sadece solvüs eğrisinin sınırladığı katı eriyik bileşimlerinde meydana gelebilir. Bu alaşımın

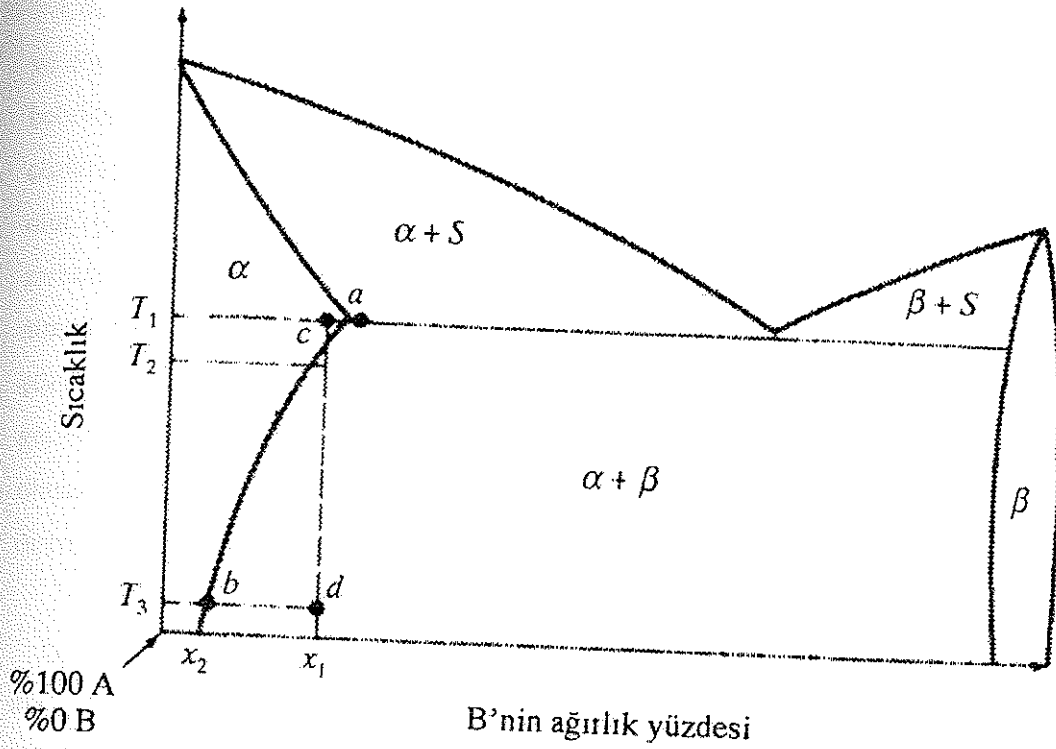
sıcaklık düştükçe çözünürlüğü azalan bir uç katı çözeltilsinin var olması anlamına da gelebilir (Smith 2001). Bu nedenle alüminyum alaşımlarının bazıları yaşlandırılabilir. Bununla birlikte, bir çok alüminyum alaşımı solvüs eğrisi içermesine rağmen ısı işlemi sonucu mekanik özelliklerde önemli bir gelişme elde edilemediğinden ısı işleme uğratılmaz. Örnek olarak Al-Si ve Al-Mn alaşımları gösterilebilir. Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarından 2xxx, 7xxx serisi alaşımlar ve bunlara son yıllarda eklenen Al-Li alaşımları özellikle havacılık endüstrisinde kullanıldığından bu alaşımların ısı işleme teknolojik açıdan önem taşır. Bu alaşımların kullanımında mukavemet, tokluk, yorulma gibi mekanik özelliklerin yanı sıra gerilmeli korozyon direnci gibi özellikler ön plana çıkmaktadır.

Yaşlanma sadece alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini etkilemez. Aynı zamanda korozyon ve iletkenlik özelliklerine de etki eder (Geçkinli 2002).

Isıl işlenebilir alaşımlar oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda denge çözünürlük sınırının üstünde olan birçok çözünür alaşım elementini içerir. Bu miktar, ötektik sıcaklıkta çözünebilir azami değerden daha az yada daha çok olabilir.

Çökme yaşlanması adı verilen ısı işleme amacı, ısı işlem gören metalin biçim değiştirebilir ana fazı içinde, yoğun ve ince çökelmiş parçacıklar dağılımı elde etmektir. Çökelen parçacıklar dislokasyonlara engel oluşturarak dayanımı artırır (Smith 2001).

Çökme yaşlanması sürecini şekildeki A ve B metaline ait ikili bir faz diyagramı üzerinde açıklayalım.



Şekil 2.1. A ve B metallerine ait ikili faz diyagramı (Smith 2001)

### 2.2.1. Çözeltiyeye alma ısıl işlemi

Şekildeki faz diyagramında  $\alpha$  katı çözeltisi, çözücü boyunca a noktasından b noktasına ilerlerken yaşlanabilirliğin şartını sağlar şekilde azalan katı çözünürlük göstermektedir. Çökelme yaşanması ısıl işleminin ilk aşamasıdır. Bu işlemin amacı, çökecek fazı içeren aşırı doymuş tek fazlı bir katı çözelti elde etmektir. Bunun için alaşım önce, solvüs eğrisinin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta yapıda yer alan II. faz (örneğin;  $\beta$ ),  $\alpha$ -katı fazı içinde tamamen çözününceye kadar tutulur. Yapının tamamı  $\alpha$ 'ya dönüştükten sonra alaşım aniden soğutulur. Alüminyum alaşımlarında çözeltiyeye alma sıcaklığı tipik olarak 465-565 °C'dir. Örneğin; 7075 alaşımında çözeltiyeye alma sıcaklığı 460-473°C'dir.

Çözeltiye alma sıcaklığı, alaşımın ergimesine yol açmayacak şekilde seçilmelidir. Üçlü ve dördü sistemlerde çözeltiye alma sıcaklığı diğer elementlerin etkisi göz önüne alınarak belirlenir. Örneğin; Al-Li alaşımlarında magnezyum, lityumun, alüminyum içerisindeki çözünürlüğünü azaltır. Al-Cu sisteminde magnezyum, ötektik sıcaklığının düşmesine neden olur. Çözeltiye alma sıcaklığının, çökeltilerin sayısına, boyutuna, morfolojisine ve aynı zamanda tane sınırlarının bileşimine etki ettiği saptanmıştır. Bunun sonucu olarak çözeltiye alma sıcaklığı alaşımın nihai özelliklerine etki etmektedir. Yapılan araştırma sonuçları çözeltiye alma sıcaklığı arttığında genellikle akma ve çekme mukavemetinin arttığını fakat gerilmeli korozyon direncinin düştüğünü göstermiştir. Çözeltiye alma sıcaklığının yüksek olması halinde ise tane sınırlarında çökelti fazlarının oluştuğunu ve bunun da korozyon direncini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir (Geçkinli 2002).

Çözeltiye alma işleminde ısıtma hızı da önem taşır. Örneğin; %4 Cu içeren alüminyum alaşımında yer alan  $Al_2Cu$  fazı, yavaş bir şekilde ısıtıldığında  $500^{\circ}C$ 'e ulaşıldığında tamamen çözünmüş olur. Buna karşılık ısıtma hızlı yapılırsa yapıda tamamen çözünemez. Bu yapıdaki alaşım, ötektik sıcaklığına veya üzerine ısıtıldığında matris ile  $Al_2Cu$  fazının ara yüzeyinde ergime meydana gelecektir. Bu durumda alaşıma su verildiğinde yapıda ince ötektik rozetleri oluşur. Çözeltiye alma sıcaklığı normalden düşük tutulduğunda ikinci fazın tamamen çözünmesi mümkün olmayacak ve malzeme yumuşayacaktır.

Çözeltiye alma süresi parçanın kalınlığına bağlıdır. İnce levhalarda süre bir dakikanın altında, fakat büyük döküm parçalarında 20 saate kadar olabilir. Genellikle, her 25 mm kalınlık için bir saat süre yeterlidir. Fırının içerisindeki yük miktarı ve sıcak havanın sirkülasyonu da süreye etki eden faktörlerdir. Genellikle parçalar arasındaki minimum mesafe 50 mm olmalıdır. Ancak, karmaşık şekilli ve büyük parçalar için mesafenin daha fazla olması gerekir.

Çözeltiye alma işleminde alüminyum alaşımlarında oksidasyon meydana gelir. Oksidasyon aslında fırın atmosferinde yer alan hidrojenin alüminyuma difüzyonudur. Bazen buna kükürt bileşikleri ve refrakterlerden gelen diğer maddelerin kontaminasyonu da

Çözeltiye alma sıcaklığı, alaşımın ergimesine yol açmayacak şekilde seçilmelidir. Üçlü ve dördü sistemlerde çözeltiye alma sıcaklığı diğer elementlerin etkisi göz önüne alınarak belirlenir. Örneğin; Al-Li alaşımlarında magnezyum, lityumun, alüminyum içersindeki çözünürlüğünü azaltır. Al-Cu sisteminde magnezyum, ötektik sıcaklığının düşmesine neden olur. Çözeltiye alma sıcaklığının, çökeltilerin sayısına, boyutuna, morfolojisine ve aynı zamanda tane sınırlarının bileşimine etki ettiği saptanmıştır. Bunun sonucu olarak çözeltiye alma sıcaklığı alaşımın nihai özelliklerine etki etmektedir. Yapılan araştırma sonuçları çözeltiye alma sıcaklığı arttığında genellikle akma ve çekme mukavemetinin arttığını fakat gerilmeli korozyon direncinin düştüğünü göstermiştir. Çözeltiye alma sıcaklığının yüksek olması halinde ise tane sınırlarında çökelti fazlarının oluştuğunu ve bunun da korozyon direncini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir (Geçkinli 2002)

Çözeltiye alma işleminde ısıtma hızı da önem taşır. Örneğin; %4 Cu içeren alüminyum alaşımında yer alan  $Al_2Cu$  fazı, yavaş bir şekilde ısıtıldığında  $500^{\circ}C$ 'e ulaşıldığında tamamen çözülmüş olur. Buna karşılık ısıtma hızlı yapılırsa yapıda tamamen çözünemez. Bu yapıdaki alaşım, ötektik sıcaklığına veya üzerine ısıtıldığında matris ile  $Al_2Cu$  fazının ara yüzeyinde ergime meydana gelecektir. Bu durumda alaşıma su verildiğinde yapıda ince ötektik rozetleri oluşur. Çözeltiye alma sıcaklığı normalden düşük tutulduğunda ikinci fazın tamamen çözünmesi mümkün olmayacak ve malzeme yumuşayacaktır.

Çözeltiye alma süresi parçanın kalınlığına bağlıdır. İnce levhalarda süre bir dakikanın altında, fakat büyük döküm parçalarında 20 saate kadar olabilir. Genellikle, her 25 mm kalınlık için bir saat süre yeterlidir. Fırının içersindeki yük miktarı ve sıcak havanın sirkülasyonu da süreye etki eden faktörlerdir. Genellikle parçalar arasındaki minimum mesafe 50 mm olmalıdır. Ancak, karmaşık şekilli ve büyük parçalar için mesafenin daha fazla olması gerekir.

Çözeltiye alma işleminde alüminyum alaşımlarında oksidasyon meydana gelir. Oksidasyon aslında fırın atmosferinde yer alan hidrojenin alüminyuma difüzyonudur. Bazen buna kükürt bileşikleri ve refrakterlerden gelen diğer maddelerin kontaminasyonu da



eklenir. Kükürt, alüminyumun yüzeyinde oluşan doğal oksit tabakasını parçalayarak hidrojenin alaşıma yayınmasına neden olur.

Kontaminasyonu önlemek için fırının içersinde fluoborat bileşiği kullanılır. Bu madde alüminyumun yüzeyinde koruyucu bir film oluşturarak alaşımı korur. Buna rağmen bazı alaşımlarda oksitlenme meydana gelebilir. Diğer taraftan, özellikle amonyum fluoborat bileşikleri iyi bir şekilde sızdırmazlığı iyi olmayan fırınlarda işçiler için, bacalı fırınlarda da çevre için zararlıdır.

Alüminyum alaşımlarını korumanın diğer bir yolu alaşımı ısıtılardan önce anodize etmektir. Ancak, bu işlem maliyeti arttırır.

Alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta tutulması ile yüzeyde blister ve iç kısımda boşluklar oluşabilir. Bu kusurlar, alaşımın ekstrüzyon veya haddelenmesi esnasında işlem yönünde dizilerek sorun yaratabilir. Özellikle, 7xxx ve 2xxx serisi alaşımların ekstrüzyonunda bu durumla karşılaşılabilir. Blister ve boşluk oluşumu, malzemenin yorulma özelliklerine olumsuz yönde etki eder.

### 2.2.2. Su verme işlemi

Alüminyum alaşımlarında su verme işlemi, çökelme yaşanması ısıtılmasının ikinci basamağıdır ( $\approx e^{-Q/RT}$ ). Alaşımın çözeltiye alma sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulmasıdır. Ani soğuma,  $\alpha$  içersinde ikinci fazın çökmesine imkan vermez ve aşırı doymuş  $\alpha$ -katı çözeltisi elde edilir. Bu hali ile  $\alpha$ -fazı kararsızdır.

Malzeme içersindeki denge halindeki atom boşluklarının miktarı sıcaklıkla eksponensiyel olarak artar. Dolayısıyla, çözeltiye alma işleminde atom boşluklarının miktarı, düşük sıcaklıktaki miktarına kıyasla yüksektir. Bu durumda malzeme yüksek sıcaklıktan aniden soğutulduğunda denge koşulları sağlanamadığından, atom boşluklarının fazlası yapı içersinde kalır. Dolayısıyla, ani soğuma sonucu yapıda bol miktarda atom

boşlukları da oluşur. Bu fazlalık, su verme sonucu oluşan atom boşlukları (*quenched-in vacancies*) olarak tanımlanır ve zaman içerisinde yapıdan uzaklaşır. Su verme sonucu oluşan atom boşluklarının fazlası bir araya gelme eğilimi gösterir ve dislokasyon halkalarının oluşmasına neden olur. Atom boşluklarının fazla olduğu bu bölgeler, çökelti fazının heterojen olarak çekirdeklenmesine müsaittir. Yapıda yer alan fazla atom boşlukları aynı zamanda düşük sıcaklıklarda yayınma hızının artmasını sağlar. Böylece, çökelti fazının hem çekirdeklenme ve hem de büyüme hızı artar.

Su verme işleminde genellikle parçalar soğuk suya daldırılır. Bu durumda dövme ve döküm parçaların su verilmesi hariç su verme işleminden sonra suyun sıcaklığının  $38^{\circ}\text{C}$  'in üzerine çıkmaması için önlem alınır. Suda su verme halinde soğuma hızı, 25 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımı plaka için yaklaşık olarak  $200^{\circ}\text{C}/\text{saniye}$ dir. Su vermenin ilk saniyelerinde parça yüzeyinde oluşan su buharından kaynaklanan lokal ısınmalara karşı, su verme ortamı karıştırılmalı veya parçalar su verme ortamında hareket ettirilmelidir. İnce levha ve ekstrüzyon ürünlerine soğuk su püskürtülür. Bu durumda su verme hızı, birim zamanda kullanılan su miktarı ile veya su püskürtülen levhaların ilerleme hızı ile kontrol edilir.

Soğuk su ile ani soğutma, ince ve kalın bölgeleri bulunan parçalarda deformasyona neden olur. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliği yüksek olduğundan parçaların ince kısımlarında ısı kaybı fazladır ve bu nedenle parçaların ince ve kalın kısımlarında meydana gelen sıcaklık gradyanı parçanın deformasyonuna neden olur. Büyük ve kompleks şekilli parçalar,  $65-80^{\circ}\text{C}$  suda daha yavaş soğutulur. Maksimum boyutsal kararlılık için bazı dövme ve döküm parçaları fan ile soğutulur. Su verme ortamı olarak gliserin-su karışımı ve polimerlerden de yararlanır. Yavaş soğutma, bakır içermeyen Al-Zn-Mg alaşımlarının gerilmeli korozyon direncini artırır. Bazı alaşımlarda su verme aşamasında da çökelti fazı teşekkül edebilir. Fırından çıkartılan parçaların su verme ortamına ulaşma süresi kısa olmayınca parça hızlı çökeltmenin meydana gelebileceği sıcaklığa ulaşır. Örneğin; 7075 alaşımı için kritik sıcaklık aralığı  $400-290^{\circ}\text{C}$ ' dir.

Su verme sırasında çökelti fazının meydana gelmemesi gerekir. Bunun için göz önüne alınması gereken diğer parametreler; parçanın büyüklüğü, ısı absorplama kapasitesi ve su verme ortamındaki ısı akımıdır. Su verme ortamı bu parametreler dikkate alınarak seçilmelidir.

Su verme hızı, nihai özellikler üzerine etki eder. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında yüksek bu özelliğin yanı sıra tokluk ve korozyon direnci birlikte optimize edilir.

Bu işlem yalnızca çözünen atomları çözeltide tutmak için değil, ayrıca GP bölgesi oluşumu için gereken düşük sıcaklık difüzyonunu artırmak için, boş kafes bölgelerinin asgari sayıda sağlanması için de uygulanır. Tane sınırlarında, ya da diğer tanelerde çökelen çözünen atomlar, boşlukların düzensiz bölgelere taşınması gibi asıl amaçlarını kaybederler ve mukavemete ulaşmada başarısız olurlar.

En yüksek sertlik ve mukavemete ulaşmak için hızlı soğutma oranları gereklidir. Korozyon direnci ve gerilme-yenim çatlakları en yüksek soğutma hızı ile sağlanan diğer özelliklerdir. Ürünün kalınlığı arttıkça gerekli olan en yüksek soğutma hızı azalır. Soğutma hızı, parçanın yüzey durumundan etkilenir. En düşük oranlar, temiz yüzeylerde ve dağlanmış yüzeylerde ya da kaplanmış yüzeylerde görülür (Mazzolani 1985).

Isıl işlenebilir bir çok alaşım soğutma işleminden sonra oda sıcaklığında yaşlandırma sertleşmesi gösterir. Oran ve sertleşme bir alaşımdan diğerine farklılık gösterir. Oda sıcaklığı yaşlandırmasına eşlik eden mikro yapısal değişimler (uzun sürede yaşlandırılan 7xxx alaşımları dışında) belirlenemez; çünkü sertleşme etkileri katı çözeltideki GP bölgesi yapısının oluşumu ile ilgilidir. 2024 ve 2036 alaşımlarında yaşlanma daha hızlı gerçekleşirken, 6061, 6009 ve 6010 alaşımları daha yavaş yaşlanır.

GP bölgesinin çekirdeklenmesi ve büyümesi, soğutma işleminden sonra, çözünen atomların bazı alüminyum atomları ve boşluklarla bir araya gelmesiyle aniden başlar.

Çökelme oranı, normal difüzyon sabitinin izin verdiği orandan daha hızlı olur. Bu hızlı çekirdeklenme, soğutma sonucu ortaya çıkan aşırı boşluk konsantrasyonundan dolayıdır (Varley 1970).

### 2.2.3. Yaşlandırma

Bu aşama yaşlandırma ısı işlemi üçüncü ve son aşamasıdır. İnce dağılmış çökeltilerin oluşabilmesi için çözeltiye alma ısı işlemi uygulanmış ve su verilmiş alaşım numunesini yaşlandırmak gerekir. Oluşan ince ve dağılmış çökeltiler, biçim değiştirme sırasında dislokasyonların ya çökeltileri kesmek ya da etrafından dolanmak zorunda bırakarak hareketini engeller. Dislokasyon hareketlerinin biçim değiştirme sırasında engellenmiş olması da dayanımı artırır (Smith 2001).

Yaşlandırma sonucu aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünmüş halde bulunan ikinci faz, sıcaklık ve zamanın etkisiyle çökeler. Bu dönüşüm için  $\beta$  fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi gerekir. Alaşım eğer ani soğutmadan sonra oda sıcaklığında tutulursa yayınma hızı çok yavaş olduğundan  $\beta$  çökelti fazı genellikle oluşmaz veya oluşması uzun zaman alır. Çökelme oda sıcaklığında meydana gelebiliyorsa bu alaşımlara doğal olarak yaşlanan malzeme adı verilir. Yayınma hızını arttırmak amacıyla ani soğutulmuş alaşım oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta yeterince tutulursa, çökelme daha kısa zamanda meydana gelir ki bu işlem yapay yaşlandırma olarak adlandırılır.

Bir çok ısı işlenebilir alaşım soğutma işleminden sonra oda sıcaklığında sertleşme yaşlanması gösterir. Tüm 2xxx, 6xxx ve 7xxx alaşımlarının bazıları doğal yaşlandırılır. T3 ve T4 sistemlerinde yapılan işlemleri içerir. Sertleşme oranı ve derecesi, bir alaşımdan diğerine değişir. Oda sıcaklığında yaşlanma ile birlikte gözlenen mikroyapısal değişimler, uzun sürede yaşlandırılan 7xxx alaşımları dışında, belirlenemez; çünkü sertleşme etkileri yalnızca katı çözelti içinde oluşan bölge ile ilgilidir. 6061, 2024, 7075 alaşımlarında oda sıcaklığında yaşlandırma sonunda meydana gelen değişimler şekilde verilmiştir. 2024 ve

2036 alaşımlarında sertleşme, oda sıcaklığında bir günde gerçekleşir. Mekanik zelliklerin kararlılığı ise dört gün sonunda oluşur. 6061 alaşımının yaşlanması çok yavaştır fakat; okelti ısıtıl işlemi ile (yapay yaşlandırma) hızlandırılabilir. 7075 alaşımı ve diğer 7xxx serisi alaşımları kararsızlıklarından dolayı, oda sıcaklığında sınırsız süre ile yaşlandırılırlar.

okelmenin mekanik özellikler üzerine etkileri, soğutulan malzemenin yaklaşık 95-205 °C'ye tekrar ısıtılmasıyla hızlandırılabilir. Bu etkiler yalnızca reaksiyon oranının değiştirilmesi ile değil aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yapı değişimi sonucu da meydana gelir. T6, T7 ve T8 sistemlerini içerir. T7, T6' dan daha yüksek sıcaklıklarda yaşlandırmayı içerir. T8' de ise ek olarak soğuk işlem aşaması vardır.

Soğuk işlem, dislokasyon ve boşlukların artmasını ve daha ince okeltelerin oluşmasını sağlar. Böylelikle daha homojen bir dağılım elde edilecektir.

Soğuk işlem, 2024 alaşımlarında mukavemet ve dayanıklılığın artmasını sağlar. 7075 alaşımlarında ise dislokasyonlarda iri  $\eta'$  okeltelerinin çekirdeklenmesine ve sonuçta da mukavemetin azalmasına yol açar.

Yaşlandırma sıcaklığına ısıtma oranı da özellikleri etkileyen bir faktördür. Bu oran tane sınırlarındaki okeltisiz zon (pfz - precipitate-free zone) bölgesinin genişliğini etkiler.

Yaşlandırma sonunda belirli büyüklüğe ulaşan taneler azami mukavemet sağlarlar. Fakat taneler arası bağlanmalar (looping) başlar ve eğer taneler arası uzaklık yani mfp (mean free path) kk olursa bu zorlaşır. Böylelikle latiste devamlılık sağlanmış olur. Tane büyüklüğü ve hacim oranı mfp' yi etkiler.

### **okelti fazının oluşma aşamaları**

Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarında yer alan okelme reaksiyonları karmaşık reaksiyonlardır. okelti fazının etüdü, X-işinlerinin keşfinden sonra gelişme göstermiştir.

İlk defa 1938'de Guinier ve Preston adlı iki araştırıcı, % 4,5 Cu içeren Al alaşımında X-ışınları ile çökeltilerin etüdüünü yapmıştır. Bu nedenle, literatürde ön kademe çökeltileri bu iki araştırıcının isimlerine izafeten GP zonları olarak tanınır (Geçkinli 2002). Yani, GP zonları, çökeltili sertleşebilen bir alaşımın aşırı doymuş katı çözeltisinin , az miktarda etkinleşme enerjisinin var olduğu nispeten düşük bir sıcaklıkta yaşlandırılması durumunda , ayrılan atomların oluşturduğu kümelerdir (Smith 2001).

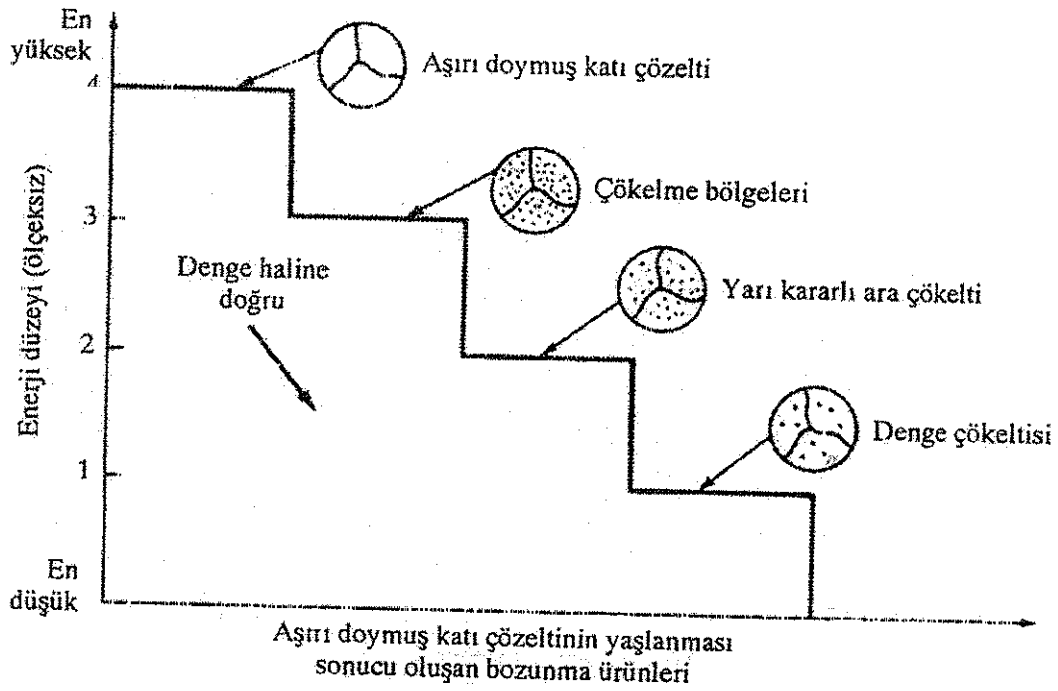
Bir çok kristal katıda bir çok kafes noktası atomlarla dolu değildir, bu boş kafes noktaları boşluklar (vacancy) olarak adlandırılır. Atom boşlukları, GP bölgesinin oluşumunda önemli role sahiptirler. GP bölgesinin oluşumu homojen çekirdeklenme işlemi ile kristal kafesinde meydana gelir. Yapılan araştırmalar; bu işlem için kritik bir boşluk konsantrasyonunun gerektiğini ve ökelmanin çekirdeklenme modelinin içerdiği boşluk çözünen atom demetlerinin, çözünme sıcaklığı ve soğutma oranının etkileri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Boşluk konsantrasyonu çözünme sıcaklığı ile artar ve hızlı soğuma ile oda sıcaklığına kadar korunur. Soğuma yavaşsa oda sıcaklığına ininceye kadar difüzyonla boşluk konsantrasyonunda azalma olur.

Yeni fazın çekirdeklenmesi; tane sınırları, dislokasyonlar ve ara faz sınırları gibi boşluktaki devamsızlıklardan etkilenir. Çünkü bu bölgeler katı çözelti matrisinden daha fazla düzensiz ve daha yüksek enerjiye sahiptir, hem geçiş hem de denge çökeltileri olarak ekirdeklenirler. Soğutma süresince bu kontrolsüz durumda çökelen çözünenler, oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıkta, sonuçta elde edilmek istenen çökelleme için uygun değildir. Bu nedenle soğutma süresince meydana gelen çökelleme, özelliklerin gelişimini etkiler. İşlemin ilk aşamalarında, yüksek sıcaklık ökellemesiyle meydana gelen ökelmanin, ince dağıtılmış taneler üzerine etkisi, soğutma oranına göre değişir. şayet yeterince hızlı bir soğutma yapılmazsa büyüme olabilir

Aşırı doymuş katı çözelti durumundaki bir alaşım, yüksek enerjili konumdadır. Bu enerji durumu nispeten kararsızdır ve istemli bozunmayla daha düşük enerji konumundaki yarı kararlı duruma veya denge fazlarına geçmek isteyecektir. GP zonlarının oluşma nedeni de

budur. Yarı kararlı fazların veya denge fazlarının çökmesi için itici güç, bu fazların oluşması sonucu, sistemin enerjisinin azalmasıdır.

Şekildeki A-B alaşımında bölgeler A atomlarının çoğunlukta olduğu ana faz içinde B atomlarıyla zengin bölgeler olacaktır.



Şekil 2.2. Alaşımında aşırı doymuş  $\alpha$  katı çözeltisinin yaşlanmasıyla oluşan bozunma ürünleri (Smith 2001)

Aşırı doymuş katı çözeltilerde bu bölgelerin oluşumu şekilde alttan üçüncü enerji düzeyindeki daire içinde gösterilmiştir. Yaşlanmanın daha da ilerlemesi durumunda, yaşlanma sıcaklığı yeterli etkinleşme enerjisini verecek düzeyde ise, bölgeler daha kaba (veya daha büyük boyutta) yarı kararlı ara çökeltilere dönüşecek veya bu tür çökeltiler öncekilerin yerini alacaktır. Bu durum daha alttaki 2 no'lu enerji düzeyinde gösterilmiştir. Son olarak, yaşlanma devam ettiğinde (genellikle daha yüksek bir sıcaklık gerekmektedir),

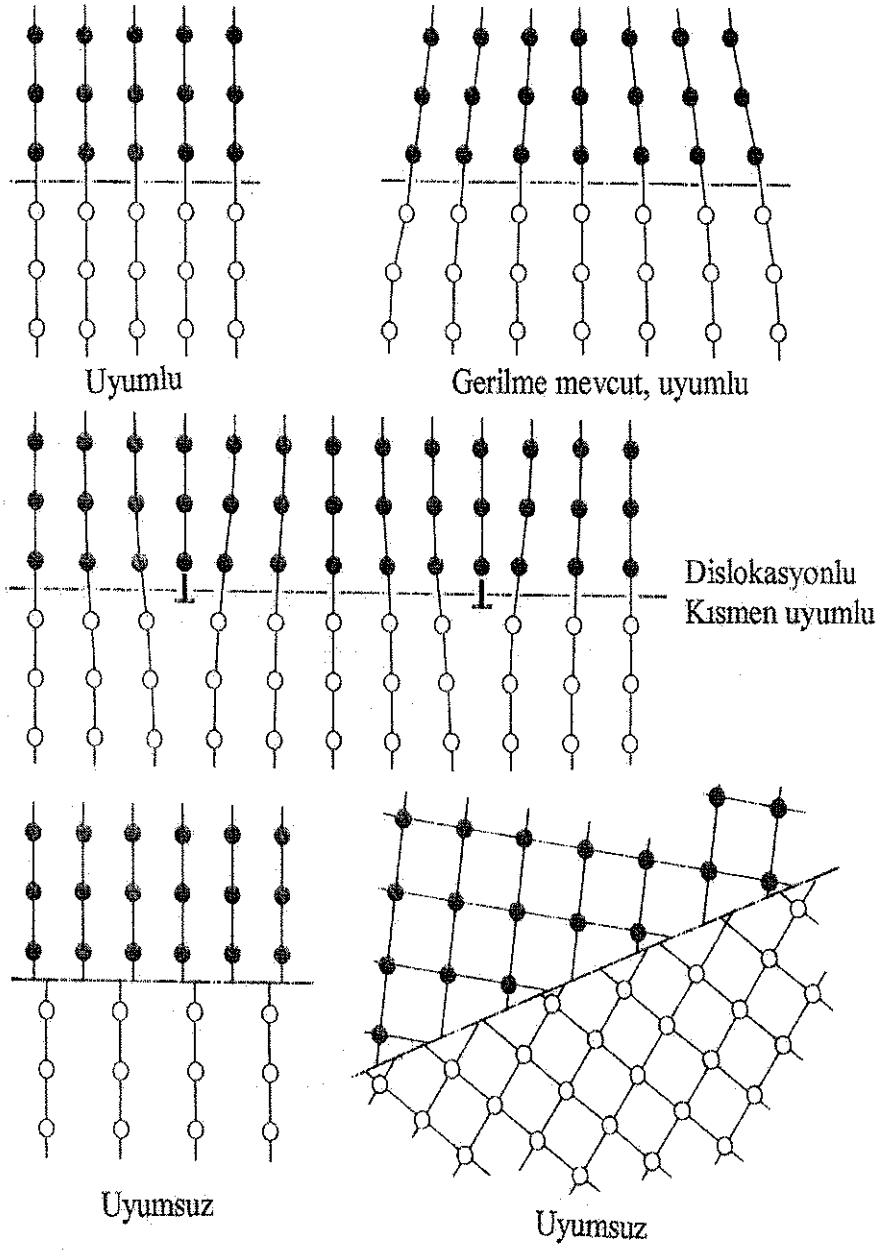
yeterli etkinleşme enerjisi varsa ara çökeltiler yerini şekilde 1 no'lu enerji düzeyinde gösterilen denge çökeltilerine bırakacaktır.

Geçirimli elektron mikroskopunda incelenen çökelmiş yapılar, boşlukların yoğunlaşmasıyla ya da plastik deformasyonun başlamasıyla oluşan dislokasyonların çökelme için gerekli olan çekirdeklenme bölgeleri olduğunu göstermektedir.

%4 Cu içeren alüminyum alaşımında yaşlanma sonucu meydana gelen yapılar şöyledir;

- GP1 bölgeleri, düşük yaşlanma sıcaklıklarında  $\alpha$  katı çözeltisi içinde ayrımlaşan bakır atomları tarafından oluşturulur. GP1 bölgeleri, birkaç atom kalınlığında (0.4-0.6 nm) ve yaklaşık 8-10 nm çapında, disk şeklindeki ayrımlaşma bölgeleri olup, anafazın {100} kübik düzlemleri üzerinde meydana gelir. Bakır atomlarının çapları alüminyumun çapından yaklaşık %11 küçük olduğundan, bölgelerin etrafındaki anafaz kafesi gerinerek tetragonal biçim alır. Bakır atomları kafesteki alüminyum atomlarının yerini aldığından, GP1 bölgelerinin uyumlu olduğu söylenir. GP1 bölgeleri yarattıkları gerinme alanlarıyla elektron mikroskobu altında görünebilirler.
- GP2 bölgeleri ( $\theta''$  fazı), tetragonal yapıdadır ve Al-%4 Cu alaşımının {100} anafazı düzlemlerine uyumludur. Boyutları yaşlanmanın ilerlemesine bağlı olarak 1 ile 4 nm kalınlığı ve 10 ile 100 nm çapı arasında değişir.
- $\theta'$  fazı, anafazla uyumsuzdur, ayrışık olarak ve özellikle dislokasyonlar üzerinde çekirdeklenir. (uyumsuz çökeltide çökelen parçacık anafazdan daha farklı bir kristal yapıya sahiptir).  $\theta'$  fazı dörtgenli yapıda olup 10'dan 150 nm'ye kadar değişen bir kalınlıktadır.
- $\theta$  fazı, denge fazıdır ve uyumsuzdur.  $\text{CuAl}_2$  bileşimindedir. Bu fazın yapısı hacim merkezli tetragonal olup  $\theta'$  'den veya doğrudan anafazdan oluşur (Smith 2001).





Şekil 2.3. Kristal kafeslerin uyum ve uyumsuzluk durumları (Bürgele 1998)

### 2.3. Ultrason Dalgaları ve Bazı Uygulama Alanları

Ultrasonu anlayabilmek için önce sesi tanımak gerekir. Ses fiziksel olarak elastik bir ortamda basınç dalgalarının yayılımı sonucu oluşur. Ortam genelde havadır, ama sıvı ortamda da yayılım mümkün olabilir. Yalnız vakumda yayılım kesinlikle gerçekleşmez' George, Lucas'ın da söylediği gibi, uzayda ses yoktur. Basınç dalgaları bazı mekanik bozulmalar sonucu üretilir. Ses aynı zamanda bir güç transferidir. Mekanik enerji, bu bozulmalar sonucu radyasyonla yayınarak dalga formuna dönüşür. Mekanik titreşimler, titreşim basınç dalgalarını oluştururlar ve dalganın temas halinde olduğu ortama ve cisimlere bu enerjiyi aktarırlar.

İnsanın işitme gücü sınırlıdır. Eğer titreşim frekansları çok çok yüksekse bunları duyamayız. İnsan kulağının normalde duyabileceğinden daha yüksek frekanslara sahip titreşim dalgalarına ultrason dalgaları diyoruz. Bu dalgalar piezoelektrik kristallerin ( $BaTiO_3$ , kuvars) elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmesi sonucu oluşur. Piezoelektrik kristallere bir elektrik alan uygulandığında boyutsal değişimler meydana gelir. Boyutsal değişim, bulunduğu ortamı titreştirir. Elektrik akımının frekansı yüksekse elde edilen titreşimin frekansı da yüksektir.

Ultrason dalgaları 18.000 - 20.000 cps (Hertz) den daha yüksek frekansları içerir. İnsanın işitme gücü saniyede 18.000 titreşim veya 18 kHz'in ötesine geçemez. Ama bazı memeliler insanların aksine rahatlıkla duyabilirler. Yarasalar ve balinalar 100 kHz'in üstüne çıkan frekanslarla haberleşir ve konumlarını birbirlerine bildirebilirler. Ultrason dalgaları ultrasonik uygulamalarda kullanılabilir ve yüksek genlikteki ultrason dalgalarına sonik adı verilir. Çok büyük dalga boyuna sahip olanlar birçok alanda ışık olarak kendini gösterir.

Birçok varsayım, özellikle de yüksek frekans aralığı ile ilgili olanlar, hala açıklanamamıştır. Klasik teori ile gözlemlenmiş gerçeklerin uyuşmadığı halen birçok alanda görülmektedir.

Yüksek frekanslar kısa dalga boylarına sahiptirler. Kısa dalga boyları cisimlerden yansyarak, onlarla ilgili daha fazla bilgi edinmemizi sağlar.

Çok yüksek frekansları üretmek ve ölçmek zordur. Ultrason dalgalarının kullanılabilirliğinin daha üst bir sınırı olabilir, ama bilim adamları şu ana kadar 10 gigahertz (GHz, saniyede 1 trilyon titreşim) sınırına kadar kullanmışlardır.

Düşük frekanslar ise, 1 MHz veya daha az, belli bir enerji girişi için daha büyük dalga boyları ve genliklere sahip olanlar, ortamda daha büyük bir bozulmaya sebep olurlar.

Ultrason dalgaları son yıllarda çok büyük önem kazanmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi, ultrason dalgaları sahip oldukları ayırt edici özellikler sayesinde endüstri, sinyalleşme, tıp ve daha birçok alanda kullanılabilir.

En düşük frekans aralığında, ultrason dalgaları katı içinde 8 in., sıvı içinde 2,4 in., havada 0,63 in. yol alırlar. Maksimum frekans aralığında, katıdaki dalga boyu  $3,2 \times 10^{-4}$  in 'e, sıvılarda  $1 \times 10^{-4}$  in., gazlarda  $0,24 \times 10^{-4}$  in.'e ulaşır. Gelecekte daha yüksek frekanslı daha kısa dalga boylu dalgaların üretilmesi mümkün olabilir.

10.000 - 100.000 cps frekanslar endüstriyel uygulamalarda, ses ölçümlerinde, deniz altı sinyalleşmesinde ve iletişiminde kullanılırken, 10.000 - 20.000.000 cps frekanslar hatalı malzemelerin test edilmesinde, tahribatsız muayenelerde, kimyasal arıtmada, tıp alanında vb. kullanılır. Ayrıca bütün frekanslar maddenin fiziksel özelliklerini araştırmak için uygundur.

### 2.3.1. Kaviteasyon

Doğru koşullar altında, ultrason dalgalarının sıvı içinde yayınımlı, içi gaz ve su buharı dolu kabarcıkların oluşumuna ve bu kabarcıkların bozunumuna veya çözelti içinde oyuklar oluşmasına sebep olur. Bu kabarcıkların bozunumu (patlaması) çok enteresan kimyasal

etkiler oluşturabilecek kadar tehlikelidir

Sıvılar içinde daima bir miktar gaz erimiş halde bulunur. Her sıvı temasta bulunduğu gazları soğurmak ve eritmek özelliğine sahiptirler. Bu olay Henry Kanununa (1802) tabidir: Bir sıvıda erimiş gazın ağırlığı, erimemiş gazın sıvı üzerine yaptığı basınçla doğru orantılıdır. Erimiş gaz hacminin yaklaşık olarak değişmediği kabul edilir. Bundan ötürü sular da daima bir miktar hava vardır. 10° C'de ve 760 mm civa basıncı altında bir m<sup>3</sup> suda erimiş hava hacmi 20 litre civarındadır. Suda basınç atmosfer basıncından aşağı düşünce veya suyun sıcaklığı artınca, erimiş havanın bir kısmı serbest kalır. Serbest kalan hava ile birlikte su buharı da sudan ayrılır.

Harekette bulunan bir sıvı kütlelerinin gelişigüzel bir noktasında, mutlak basınç herhangi bir sebepten ötürü sıvının sıcaklığına karşılık gelen sıcaklıktaki çözünen gazın buhar basıncına eşit olan bir değere yaklaştıkça, bu noktadaki erimiş havanın sıvıdan ayrılması ve bu sıvının kısmen buhar haline geçmesi olayları gittikçe önem arz eder. Bu suretle, bu gibi noktaları saran bölgelerde, homojen bir sıvı kütlesi yerine, buhar ve hava kabarcıkları içeren bir sıvı kütlesi ile karşılaşılır. Türbin kanatları gibi yüksek hıza sahip makine parçalarının bazı bölgelerinde, bu olayla karşılaşılır. Bu olaya Euler kaviteyasyon adını vermiştir.

Yukarıda da anlatıldığı gibi kaviteyasyon, oyuk oluşturmak demektir. Burada sıvıdaki kabarcıklar kastedilmektedir. Suyun kaynaması kaviteyasyona güzel bir örnektir. Suyun sıcaklığı kaynama noktasına ulaşır ulaşmaz daha fazla kabarcık meydana getirerek buhar fazına geçer.

Kabarcık oluşumu için mutlaka bir çekirdek gereklidir. İnç'in bir milyonda biri boyutunda, zaten sıvının kendi bünyesinde var olan kabarcıklar çekirdek görevi üstlenebilirler. Aynı zamanda toz parçacıkları, sıvının yapısında bulunabilecek hata veya boşluklar bir kabarcığın oluşabilmesi için merkez rolü üstlenirler.

Ultrasonik dalgalar burada devreye girerler çünkü basınç değişimleri sonucu mekanik dengesizlikler meydana gelir. Bu dengesizlikler sıvının basıncının üstünde veya altında, pozitif veya negatif etki edebilirler. Basıncıta meydana gelebilecek bir azalma mikroskobik boyutların altında kabarcıkların oluşumuna imkan verirken, sıvı basıncındaki herhangi bir artış da kabarcığın büyümesine engel olur ya da oluşmuş kabarcığın patlamasına sebep olur.

Büyümeye başlamış olan kabarcıkların ani patlaması kavitasyonun karakteristik özelliğidir. Bu patlamalar kabarcığın merkezinde ani sıcaklık ve basınç değişimlerine sebep olur. Kabarcıkların oluşumunda merkez rolü üstlenen çekirdekler patlama sonrasında da varlıklarını sürdürürler ve yeni kabarcıkların oluşmasına imkan sağlarlar.

Birçok ultrasonik uygulamada asıl işi yapan ses dalgaları değil, kavitasyon kabarcıklarının; patlaması sonucu meydana gelen yüksek ani basınçtır. Biliyoruz ki kavitasyon kabarcığının oluşumunda ses dalgaları etkilidir, fakat rolü daha çok, düşük seviyede enerji sağlamaktır. Kabarcık ses dalgaları etkisinde büyüyerek  $10^{-3}$  veya  $10^{-2}$  inç boyutuna erişebilir. Ama patladığında boyutu maksimum  $10^{-5}$  veya  $10^{-6}$  inç kadardır. Patlama esnasında kabarcık merkezinde basıncın bu kadar yüksek olmasının sebebi budur. Daha önce de söylediğimiz gibi kavitasyon kuvveti patlayan kabarcığın merkezinde en büyüktür.

### 2.3.2. Sonokimyası

Sonokimyası ultrason dalgaları sebebiyle oluşur. Normal koşullarda oluşturulan reaksiyonlar ultrason dalgaları sayesinde hızlandırılır veya tamamı ile farklı ürünler meydana gelir. Bunun sebebi kavitasyonun fiziksel ve kimyasal etkileri olabilir. Ultrason dalgalarının fiziksel etkileri sayesinde yüzey alanı artırılarak katalizörün aktifliği artırılmış olur. Aynı zamanda ayraçların uygun karışımı da reaksiyonları hızlandırır. Ultrason dalgalarının kimyasal etkilerine bakıldığında ise, kavitasyon sonucu oluşmuş yüksek aktiviteye sahip temel yapılar sebebiyle reaksiyon oranlarının arttığı gözlemlenir.

Ultrason uygulandığında daha kısa oluşum süreleri ve daha yüksek reaksiyon hızları mümkün olur. ultrason ve optimum bir enerji girişi, ultrason kullanılmayan proseslere nazaran, reaksiyon oranlarını en az beş kat arttırır.

Ultrason enerjiyi kimyasal sistemlere taşıyan yeni bir yoldur. Son on yıldır ucuz ve sağlam ekipmanlar sayesinde ultrason dalgalarının kimyasal sentezlerde kullanımını arttırmıştır. Birçok fiziksel ve kimyasal etki, sıvı içindeki kavitasyondan ileri gelir.

Bu kavitasyon kabarcıkları sonokimyasının temelini oluşturur. Bu kabarcıklar ses dalgaları tarafından oluşturulan gerilimlere maruz kalırlar. Bu olay, kabarcıkların gevşeme periyodu boyunca büyümesine, sıkışma periyodu esnasında da ie doğru bir patlamaya maruz kalmasına sebep olur. Bu kabarcıklar su buharı ve gazla doludur, böyle bir ie patlama sonucu yeni maddeler oluşur. Bu ie doğru patlamalar sonokimyasının şaşırtıcı bölümünü oluşturur.

Ara yüzeylerde bulunan kabarcıklar asimetric davranışlar gösterirler, çok dalgaları sonucu oluşan sıvı mikrojetler ara yüzeye doğru hareket ederler. Bu da oyuklanma, kırılma veya yüzeyden katı taneciklerin kopmasına sebep olurlar. Yoğun bir mekanik uygulama metalik yüzeylerdeki pasif katmanların uzaklaşmasına sebep olduğu gibi, metalik yüzeyler üzerinde yoğun hataların oluşumuna da sebep olabilir.

İçe doğru patlayan her kabarcık bir mikroreaktör gibi davranır. Patlama anında, yerel sıcaklık  $5000\text{ }^{\circ}\text{K}$ , basınç ,1000 atm civarındadır, ve  $> 109\text{ K/sn}$  gibi muazzam ısınma ve soğuma hızlarına ulaşılır. Kavitasyon esnasında yüksek enerjili kimyasal reaksiyonlar oluşur, aynı zamanda oluşan yüksek sıcaklık ve basınç kabarcıkta ani bir ışığın belirmesine sebep olur. buna da sonoluminesans adı verilir.

### 2.3.3. Ultrasonun bazı metalurjik proseslerde kullanımı

#### 2.3.3.1. Sıvılardan gaz giderme

Ultrason dalgası uygulanan bütün difüzyon proseslerinin tamamlanabilmesi için belli bir zaman geçmesi gerekir. Başlangıçta reaksiyonlar çok hızlı gerçekleşir, daha sonra üstel olarak ilerler. Difüzyon hızının ultrason dalgaları sayesinde artması konusunda birçok varsayım önerilmiştir. Genel olarak bu olay, sıcaklık gradyanının değişimine, mikroakıma, mikro karıştırmaya, radyasyon basıncına ve en önemlisi kavitasyona bağlıdır.

Alexander, ultrason dalgalarının sıvı-katı arasındaki Nernst difüzyon tabakasının sürtünmesini azalttığını ve dolayısıyla difüzyonun hızlandığını varsaymıştır. Nyborg ise, kavitasyon olmasa bile, mikro akım sayesinde ses ortamında oluşan kabarcıkların bu işi üstlendiğini söyler. Yine de kavitasyonun en etkin rolü oynadığını, kabarcık oluşumu için gerekli en ideal yerin ara yüzeyler olduğunu söyler. Her türlü olasılık göz önüne alındığında birçok mekanizmanın etkin rol oynadığı açıktır.

Sıvıdan gazın uzaklaştırılabilmesi de bir difüzyon prosesi ile gerçekleşir. Sıvı içindeki gaz, ses dalgalarının etkisiyle oluşmuş, bir çekirdek etrafında büyüyen kabarcıklara dönüşür. Bu difüzyon prosesinde gaz akışı bir yönde diğerine nazaran daha büyüktür. Bunun sonucunda da sıvının, etrafındaki kabarcıklara nazaran daha az gaz içerdiği görülür. Kabarcıkların civarında gaz konsantrasyonu olduğu müddetçe bu proses devam eder.

Özellikle ergimiş metallerde gaz giderme olayı çok rağbet gören bir uygulamadır ve birçok laboratuvar araştırması yapılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda akustik sistemlerin çalışması zordur ve çevirici (transducer) elemanın titreşim genliği artan sıcaklıkla yok olduğundan ısının çok fazla yükselmemesine dikkat etmek gerekir. Dahası, sesin maddelerde yayınma hızı ısıyla değişir. Yapıdaki sıcaklık değişimi veya sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi, rezonans şartlarında sistemin işleyişini zorlaştırmaktadır.

Vakum fırınları ergimiş metalde düşük basınç oluşturmada daha gelişmiş olduklarından, ve yukarıda bahsedilen dezavantajlardan dolayı ultrason teknikleri gaz giderme işleminde çoğu zaman ticari bir öneme sahip değillerdir.

### **2.3.3.2. Üretim prosesleri**

Bazı maddelerin yayınıminde ultrason dalgaları yardımcı olabilir, bu dalgalar yüzeyi arttırdıkları için üretim oranını da paralelinde arttırırlar. Ara yüzeylerdeki difüzyon oranları ultrasonik titreşimler kullanılarak önemli miktarlarda arttırılabilir.

### **2.3.3.3. Kurutma**

Ses dalgasının hızına yakın, yüksek hızlı taneler, toz, tabaka veya fiber formundaki malzemeleri kurutmakta kullanılır. Bu üretim prosesinde, yüzeye yakın bölgelerde nem konsantrasyonu gradyanı değiştirilerek kurutma sağlanır. Gradyanlar ses dalgalarının havayı hareketlendirmesi ile değiştirilir. Bu kurutma metodu, ısıya karşı hassas malzemelerde bir avantaja sahiptir ama ürünün zarar görmemesi için yüksek hızlı hava akımlarından kaçınılmalıdır.

### **2.3.3.4. Metallerin dökümü**

Ultrasonik enerjinin katılaşmakta olan metale 3 temel etkisi vardır. Bunlar;

- 1 - Gaz Giderme
- 2 - Tane inceltmesi
- 3 - Homojenleştirmedir

Gaz giderme ultrasonik dalganın negatif yarısında sıvı basıncının azalması sonucu oluşur. Gerçek ergiyik, her zaman kaviteasyon ve gaz giderme için potansiyel çekirdek olan ince inklüzyonlar içerir.



Sıvılardan gazların ayrıştırılması ve ergime sıcaklığı düşük olan ergiyikler ultrason etkisi altında ilk olarak 1930'lerde incelenmiştir. Hafif alaşım ergiyiklerinden ultrasonik yolla gaz ayrıştırma mekanizması ve endüstriyel uygulamalar 1960'da araştırılmaya başlanmıştır. Bu araştırmalar göstermiştir ki; Al ve Mg bazlı ergiyiklerden H<sub>2</sub>'nin etkin olarak uzaklaştırılması sadece ultrasonik muamele ile kavitasyon oluşturulduğunda gerçekleşir.

Ultrasonik dalganın negatif yarısında sıvı basıncının azalması sonucu, ergiyikten difüzyon yolu ile uzaklaşan gazlar sayesinde, belli bir çekirdek etrafında kabarcıklar oluşmaya ve büyümeye başlar. Kabarcıklar yeteri kadar büyüdüğünde yüzeye çıkıp yüzerler. Böylece bazı gazlardan kurtulmuş oluruz.

Görülmüştür ki; sıvı metalden ultrasonik yolla gaz ayrıştırılması, sulu çözeltiler ve organik sıvılardakine göre farklılık gösterir. Bu kavitasyon çekirdeğinin yapısının farklılığından kaynaklanmaktadır ve bu yüzden ilk haline dönme ve akustik kavitasyonun gelişimi için farklı şartlar gerekmektedir.

Su ve organik sıvı halinde, kavitasyon çekirdeği, katı inklüzyonlar ve çok ince gaz kabarcıkları olarak kendini gösterir. Bunun tersine, metalik ergiyiklerde kavitasyon çekirdeğini sadece ince katı parçacıklar (esas olarak oksitler, mesela alüminyum ergiyiklerinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oluşturur. Ultrasonik olarak oluşturulan kavitasyon, gaz giderme verimini % 30 - 60 oranında artırır. Optimum şartlar altında ultrasonik olarak gaz giderme yöntemi ile ingot ve dökümlerdeki H<sub>2</sub> muhtevası yarıya düşürülebilir, yoğunluk ve plastisite artırılabilir.

Tane inceltmesi, ultrasonik titreşimler ve buna eşlik eden kavitasyon etkileri sonucu, dendritlerin düzenli büyüme paternini parçalayarak bozması sonucu gerçekleşir. Benzer veya daha az etkili sonuçlar, daha düşük frekanslarda sallamak veya şiddetli karıştırma ile de elde edilebilir. Parçalanma prosesi aynı zamanda kristalizasyon prosesi için ilave çekirdek oluşumunu sağlar. Bu tanenin incelmesini sağlar, çünkü bu çekirdekler ergiyikte termal konveksiyon veya akustik akımla taşınırlar. Küçültülmüş tane boyutu mekanik

özellikleri geliştirir, mukavemet ve tokluk artar.

Homojenleştirme ultrasonik titreşimlerin oluşturduğu tane küçülmesi ile paralel olarak oluşur. Burada etkili olan mekanizma, kavitasyon prosesinden doğan oldukça yüksek ani yerel basınç sinyalleridir. Yerel sinyallerin özelliğinden dolayı kabarcıklar çok küçük ve stabildir. Mikroporozite ve mikrosegregasyon, yani, farklı bileşimlerdeki gaz veya metalin dendritler arasına yerleşmesi, bu olay sayesinde azaltılır. Makrosegregasyonlar pek fazla etkilenmemektedir, döküm parçanın merkezindeki porozitelerin büyümesi, açığa çıkan gaz miktarı arttıkça, azalmaktadır.

Bir ergiyiği ultrasonik olarak karıştırmak için iki metod kullanılabilir. Biri ergimiş metal bulunduran potayı sallamak, diğer yöntem de ergiyik içine batırılmış bir mili titreştirmektir. Metal katılaşırken mil yavaş yavaş dışarı çekilir. Bu karışımın titreştirilmesi sırasında karşılaşılan temel problem transdüser ile ergiyik çiftinde rezonans durumunun meydana gelmesidir. Sistemdeki sıcaklık değişimleri ses hızını değiştirir, bu da rezonans frekanslarını değiştirir.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan temel malzeme kimyasal bileşimi çizelge 3 1' de verilen Etial-145 alüminyum alaşımıdır.

##### 3.1.1. Diğer standartlardaki karşılıkları

NF: A-Si2N2G      BS: LM 13      ALCAN: 162  
G- AlSi12CuMgNi/AlSi12Ni1 Silofont 74

##### 3.1.2. Diğer ülkelerdeki ticari karşılıkları

Amerika	A-132
İngiltere	Alminal C13
İngiltere	LO-EX
Almanya	EC124
Avusturya	Kolbenlegierung
Avusturya	S-22
İtalya	SAI L 30
İtalya	Stantufont-87
İtalya	LO-EX
İtalya	Termafond S 122

### 3.1.3. Kimyasal bileşimi

Çizelge 3.1. Etial-145 alaşımının kimyasal bileşimi (Car 1999)

%	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn	Al	Diğer
Etibank	0.6	11.0-13.0	0.8-1.5	0.2	0.8-1.3	0.2	0.8-1.3	1.0	0.05	0.15	kalan	0.15
Alcan	0.8	11.0-13.0	0.5-1.3	0.5	0.8-1.5	0.1	0.7-2.5	0.2	0.1	0.1	kalan	0.15

### 3.1.4. Standart ürünler

14 Kg lık külçe halinde Etibank Alüminyum işletmesinde üretilmektedir.

### 3.1.5. Belirgin Özellikleri

En belirgin özellikleri düşük ısıl genleşme ve yükselen sıcaklıklarda iyi mukavemetle birlikte yüksek aşınma dayanımıdır. İyi dökülebilirliğe sahiptir. Ayrıca iyi yataklama özelliklerine sahiptir. Ancak 250 °C' de dayanım değeri yarıya düşer.

### 3.1.6. Tipik kullanım yerleri

Kum ve kokil kalıba dökümlerde ve piston yapımında yaygın olarak kullanılır. Dizel ve benzin motorlarının her çeşidinde pistonlarla birlikte, yüksek sıcaklıkta çalışan diğer motor parçalarında da kullanılır.

### 3.1.7. Döküm karakteristikleri

Çizelge 3 2. Etial-145 alaşımının döküm karakteristikleri (Car 1999)

Akışkanlık	İyidir, kısmen ince kesitler dökülebilir.
Basınçta geçirmezlik	İnce, sızdırmaz dökümlere uygundur.
Sıcak yırtılma	Sıcak yırtılmaya karşı dayanım çok iyidir.
Tipik döküm sıcaklığı	700 °C 'dir. Döküm parçasının istenen özelliklerine göre artırılıp azaltılabilir.
Model çekme payı	%1.3

Etial 145 alaşımı kalın kesitlerde, iç çekilme boşlukları oluşturmaya meyillidir. Bu nedenle etkin beslenmeye ihtiyaç gösterir.

### 3.1.8. Mekanik Özellikleri

Çizelge 3 3. LM13-TF ısı işleme görmüş, Etial-145 alaşımının mekanik özellikleri (Car 1999)

LM13-TF	Kum döküm	Kokil döküm
%0.2 akma gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	160-190	270-300
Çekme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	170-200	280-310
Uzama (%)	0.5	1
Darbe direnci (Nm)		1.4
Brinell sertliği	100-150	100-150
Yorulma sınırı (5x10 <sup>7</sup> çevrim, N/mm <sup>2</sup> )	85	100
Elastisite modülü (x10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	73	73
Makaslama direnci ( N/mm <sup>2</sup> )		190

Çizelge 3 4. LM13-TF7 ısı işleme görmüş Etial-145 alaşımının mekanik özellikleri

LM13-TF7	Kum döküm	Kokil döküm
%0.2 akma gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	130	190
Çekme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	140	200
Uzama (%)	1	1
Darbe direnci (Nm)		1.4
Brinell sertliği	65-90	65-90
Yorulma sınırı (5x10 <sup>7</sup> çevrim, N/mm <sup>2</sup> )	70-110	70-110
Elastisite modülü (x10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	71	71

Çizelge 3.5. LM13-TE ısıt işleme görmüş Etial-145 alaşımının mekanik özellikleri

LM13-TE	Kokil döküm
%0.2 akma gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	
Çekme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	210
Uzama (%)	1
Darbe direnci (Nm)	
Brinell sertliği	90-130
Yorulma sınırı (5x10 <sup>7</sup> çevrim, N/mm <sup>2</sup> )	70-110
Elastisite modülü (x10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	71
Makaslama direnci (N/mm <sup>2</sup> )	

TF- 515-525°C'de 8 saat ısıtma, ardından sıcak suda su verme ve 160-180 °C'de 4-16 saat tutma ısıt işleme

TF7- Çözeltiye alma ısıt işleme, su verme ve stabilizasyon (dengeleştirme) görmüş malzemelerin 200-250 °C'de 4-6 h ya da ulaşılacak istenen sertlik değerine göre daha uzun süre bekletilmesi

TE- Çökeltme yaşanması ile sertleştirilmiş malzemenin 160-180 °C'de 4-16 h ısıtılması işleme

### 3.1.9. Tipik fiziksel özellikleri

Çizelge 3.6. Etial-145 alaşımının fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık	2.69 g/cm <sup>3</sup>
Ergitme aralığı	535-590 °C
Özgül ısı	0.21 cal/g. °C
Lineer genişleme katsayısı (20-100 °C)	19.10 <sup>-6</sup>
Isısal iletkenlik	0.28 cal/cm.s. °C
Özgül elektrik direnci	0.06 Ohm. mm <sup>2</sup> /m

### 3.1.10. Diğer karakteristikleri

Çizelge 3.7. Etial-145 alaşımının diğer özellikleri

Korozyon dayanımı	İyi
Anodik oksidasyon	Sadece yüzey korumak amacı ile
İşlenebilme	İyi

Atmosfer altında Etial-145 alaşımı, korozyona karşı yüksek dayanım gösterir.

Anodik oksidasyonda sülfirik asit yöntemi başarıyla uygulanır ve işlem sonunda koyu gri renk elde edilir. Yağ absorplayan yüzeylerde, pistonlarda yataklama kalitesini arttırmak için zaman zaman anodik oksidasyon önerilir.

Etial-145 alaşımının , sadece silisyum ihtiva eden alaşımlara göre, işlenme sırasında kalem sarma eğilimi daha azdır. İşlenme sırasında adi çelik takımlar daha çabuk aşınmaya eğilimlidir. Ucu karbür kaplı takımlarla, meyilli açılarda ve kısmen düşük kesme hızları iyi sonuçlar verir. Kesme yağları ve soğutucu kullanılmalıdır. Elmas uçlar genellikle yüzey bitim aşamasında kullanılır.

## 3.2. Metod

### 3.2.1. Döküm Yöntemleri

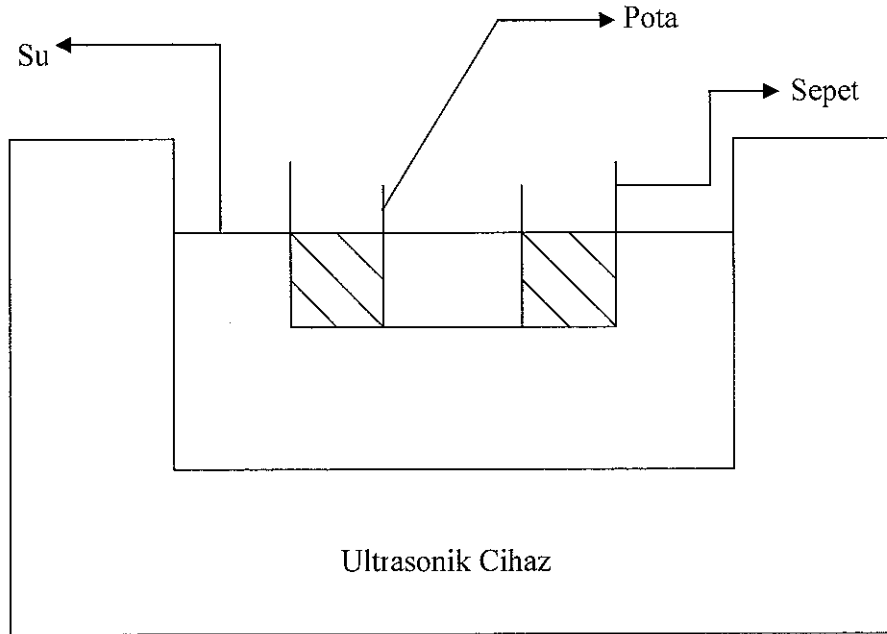
Malzemeyi ergitme işlemleri, grafit potada gerçekleştirilmiştir. Ergitilen alaşımlar, sabit sıcaklıktaki metal bir kalıba (çap; 40 mm, uzunluk; 50mm konik) dökülmüştür. Dökülen tüm parçalarda kalıp sıcaklığı aynıdır. Döküm sonrası parçalar kalıptan 10 dakika sonra çıkarılmıştır.

### 3.2.1.1. Farklı sıcaklıklarda döküm

Dökülen parçalardan dördü 640, 740, 830 ve 950 °C fırın sıcaklıklarında dökülmüştür.

### 3.2.1.2. Ultrasonik dalgalar yardımıyla döküm

Malzeme, sabit 740 °C fırın sıcaklığında eritilmiştir. Metal kalıp ise, .....marka bir ultrasonik temizleme cihazının içindeki metal sepete oturtulmuştur. Cihazın içi, metal kalıbın yarısı kadar yükseklikte, 60 °C su ile doldurulmuş ve malzeme kalıba dökülmeden hemen önce, cihaz çalıştırılmıştır. Ard arda yapılan dökümlerde, cihazın çalıştırılma süreleri 30, 60, 90, 120 ve 300 s olarak değiştirilmiştir, ancak fırın sıcaklığı sabit 740 °C'de tutulmuştur.



Şekil 3.1. Ultrasonik dalgalar yardımı ile yapılan dökümün şematik resmi



### 3.2.2. Dökümlerin Mg analizi

Farklı sıcaklıklarda yapılan döküm numunelerine ve 530 °C' de farklı sıcaklık döküm numunelerinin fırında bekleme süresine yakın sürede fırında bekletilmiş numuneye, atomik absorpsiyon cihazında, Mg analizi yapılmıştır.

### 3.2.3. Numune hazırlama

Döküm numunelerinden kesilen parçaların yüzeyi 80-800 arası kaba zımpara ile düzeltilmiştir. Zımparalama işleminden sonra, numuneler önce Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile daha sonra da elmas pasta (6µm) ile parlatılmışlardır ve farklı işlemlerde kullanılmak üzere dört parçaya ayrılmışlardır. Daha sonra bu numuneler seyreltik NaOH çözeltisi (1g NaOH+100 cm<sup>3</sup> saf su) ile dağlanmışlardır. Dağlanan numuneler, ilk olarak optik mikroskobunda, daha sonra tarama elektron mikroskobunda incelenmiştir.

### 3.2.4. Isıl işlemler

Her numuneden alınan birer parça numune , çökme yaşanması ısıl işlemine tabi tutulmuştur. 510 °C' 8 saat çözeltiye alma işlemine tabi tutulan numunelere oda sıcaklığında su verilmiştir. Ardından 205 °C'de 10 saat yapay yaşlandırılmışlardır. Yaşlandırma süresinin 10 saat olarak seçilmesinin nedeni, yapılan deneylerde, 10 saatlik yaşlandırma süresinin aşılması durumunda tanelerin irileşmeye başlaması, dolayısıyla sertlik değerinin düşmeye başlamasıdır. Yaşlandırma işleminin sonunda numuneler havada soğutulmuşlardır. Mikroskop taraması öncesi numuneler tekrar parlatılmışlardır.

### 3.2.5. Sertlik ölçümleri

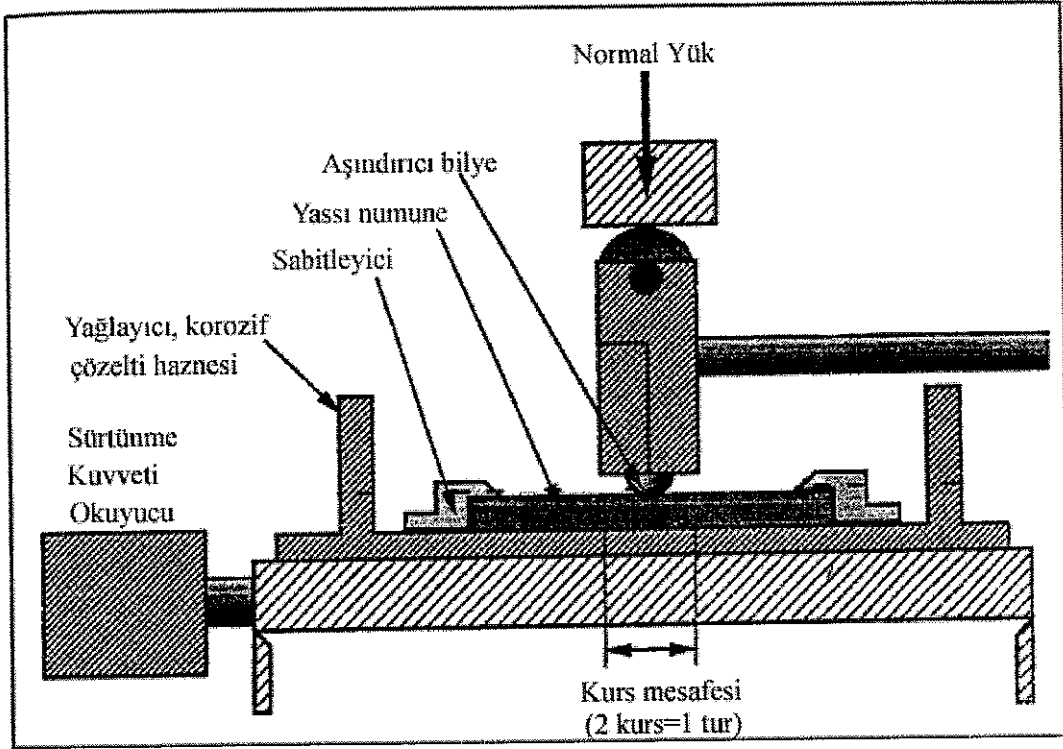
Her bir numunenin sertlikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Laboratuvarlarında RB yöntemi ile ölçülmüştür.

### 3.2.6. Aşınma deneyleri

Aşınma deneyleri salınım hareketli (reciprocating) aşınma test cihazında (Şekil 3 2) kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sırasında karşı malzeme olarak 10 mm çapında alümina biye kullanılmıştır. Deneyler süresince sürtünme kuvveti ve dolayısı ile sürtünme katsayısı sürekli olarak kaydedilmiştir. Aşınma deneyleri bittikten sonra ise aşınma izlerinin yüzey profilleri Perthometer S8p tipi cihaz ile dört kademedede ölçülmüştür ve yüzey profilleri vasıtasıyla aşınma iz alanları hesaplanmıştır.

Aşınma deneyleri  $20\pm 2$  °C sıcaklık ve  $\%50\pm 2$  nem seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde kayma hızı ( $0.026 \text{ ms}^{-1}$ ) olup, toplam kayma mesafesi 60 m'dir. Aşınma deneyleri 190 g. yük altında yapılmıştır.

Aşınma deneylerinde, mikro yapıları ve sertlikleri arasında belirgin farklıklar görülen 740 °C' de dökülmüş numune (normal döküm), 740 °C' de dökümü yapılmış ve ardından çökelme yaşanması ısıl işlemine tabi tutulmuş numune (normal yaşlanmış), 740 °C' de 300s ultrasonik dalga uygulaması ile dökümü yapılmış numune (ultrasonik), 740 °C' de 300s ultrasonik dalga uygulaması ile dökümü yapılmış ve ardından çökelme yaşanması ısıl işlemine tabi tutulmuş numune (ultrasonik yaşlanmış) ve bir fabrikanın piston yapımında kullanmak üzere dökümü yaptığı, kimyasal bileşiminde Etial-145 alaşımına göre biraz daha fazla Fe bulunan numune (fabrika) kullanılmıştır.



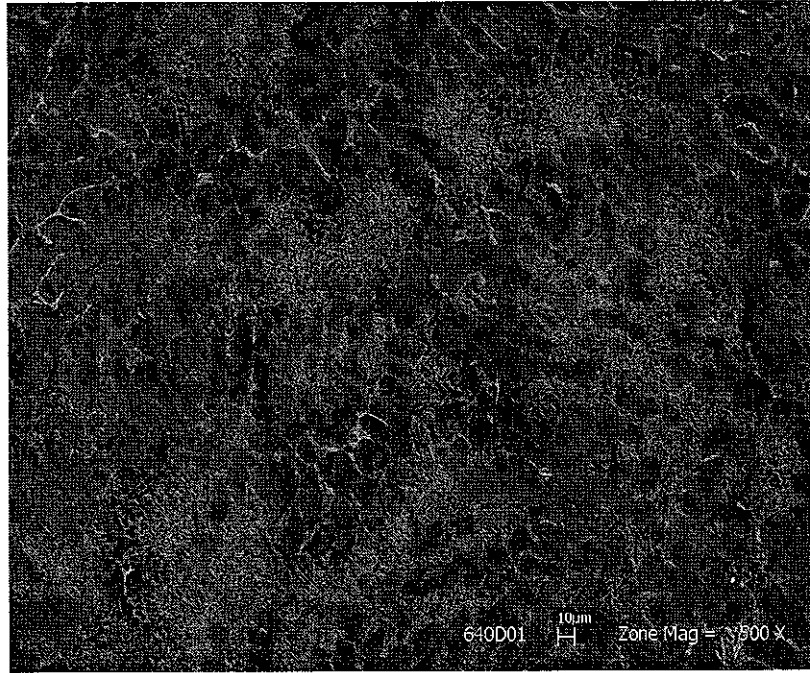
Şekil 3 2. Salınım hareketli (reciprocating) aşınma deney cihazının şematik şekli

#### 4. BULGULAR

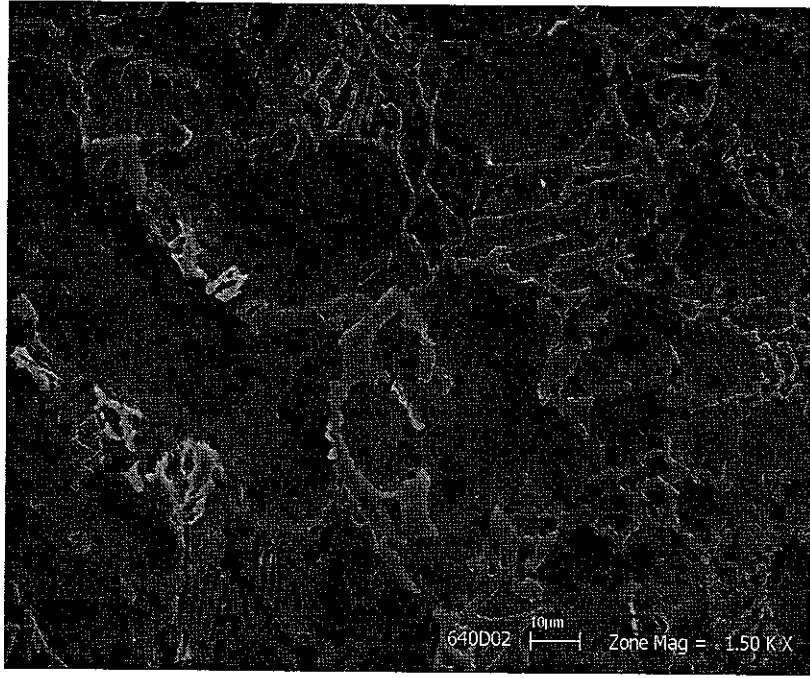
##### 4.1. Farklı Sıcaklıklardaki Döküm Numuneleri

Çizelge 4 1. Farklı sıcaklıklardaki döküm numunelerinin sertlik değerleri

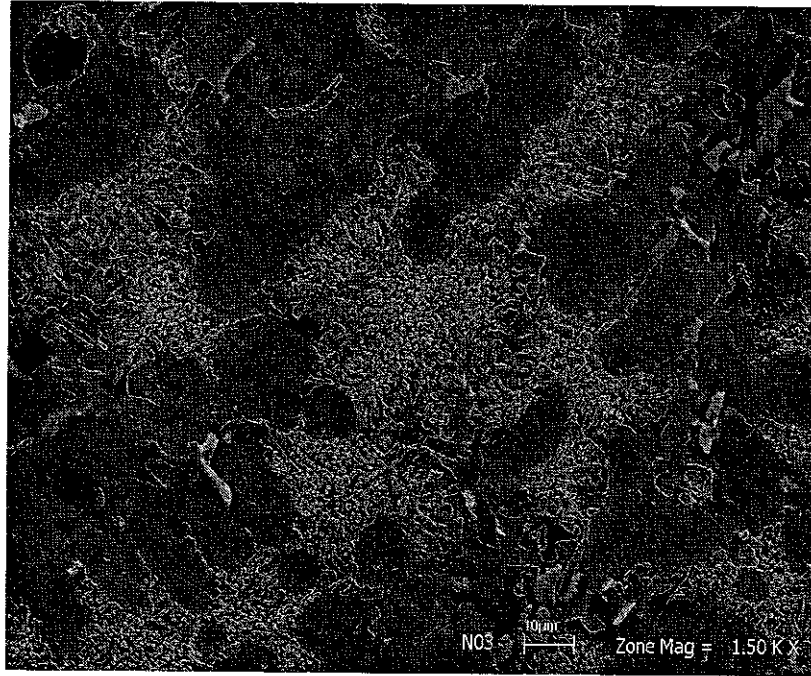
Numune	Sertlik (RB)
640 ° C' de dökümü yapılmış numune	40,9
740 ° C' de dökümü yapılmış numune	41,2
830 ° C' de dökümü yapılmış numune	41,9
950 ° C' de dökümü yapılmış numune	41,1



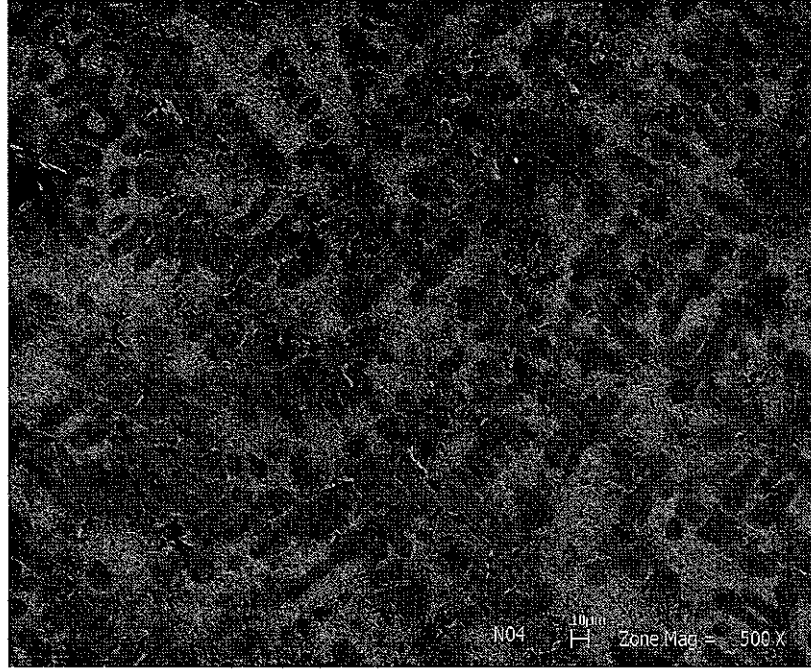
Şekil 4 1. 640 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X)



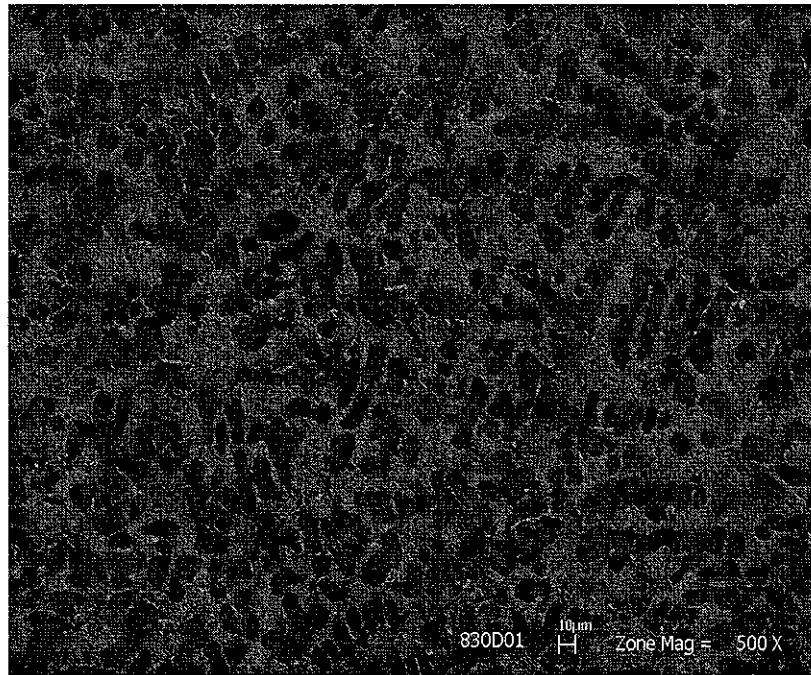
Şekil 4.2. 640 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (1500X)



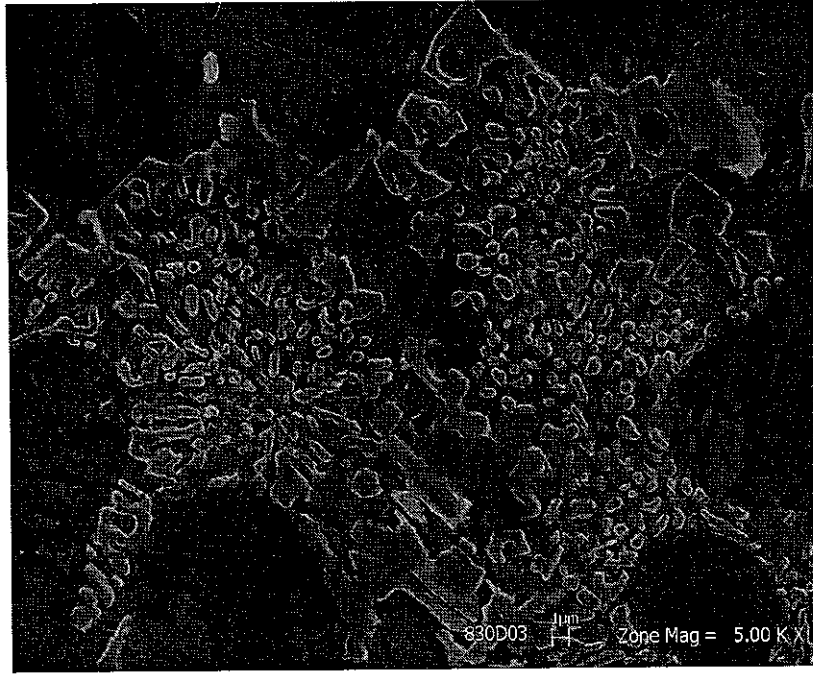
Şekil 4.3. 740 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (1500X)



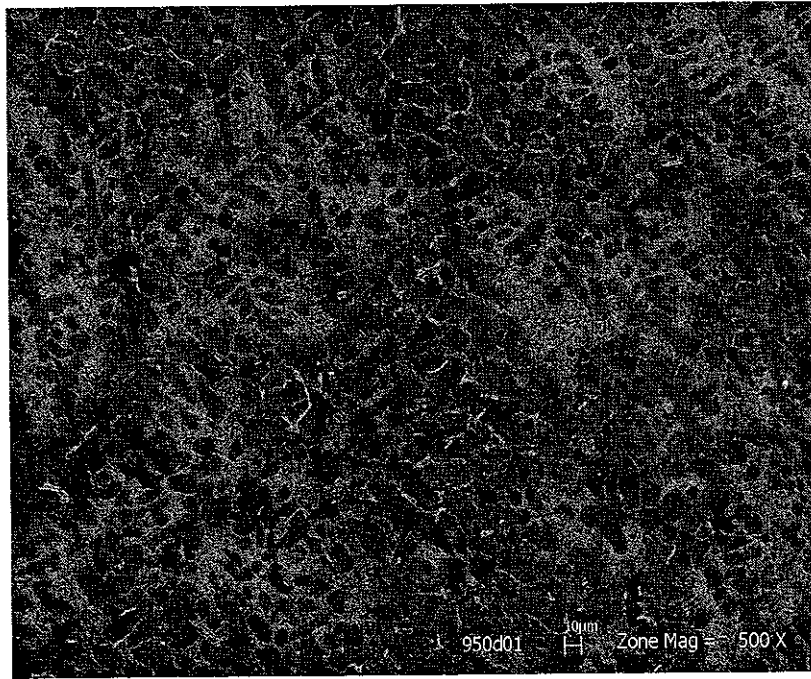
Şekil 4.4 740 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X)



Şekil 4.5 830 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X)



Şekil 4.6. 830 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (5000X)



Şekil 4.7. 950 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (500X)



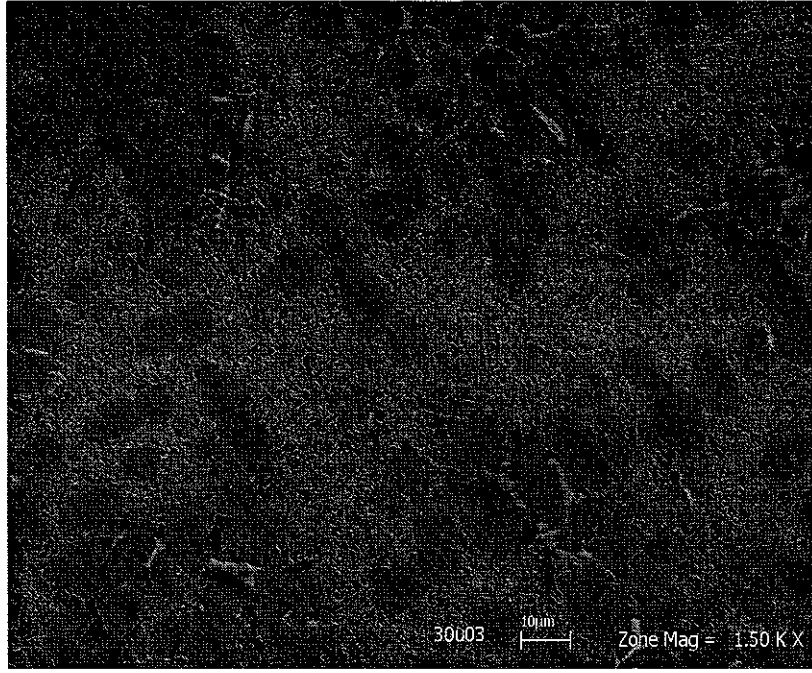
Şekil 4 8. 950 °C' de dökümü yapılmış numuneye ait bir görüntü (5000X)

#### 4.2. Ultrasonik Dalgalar Yardımıyla Yapılan Döküm Numuneleri

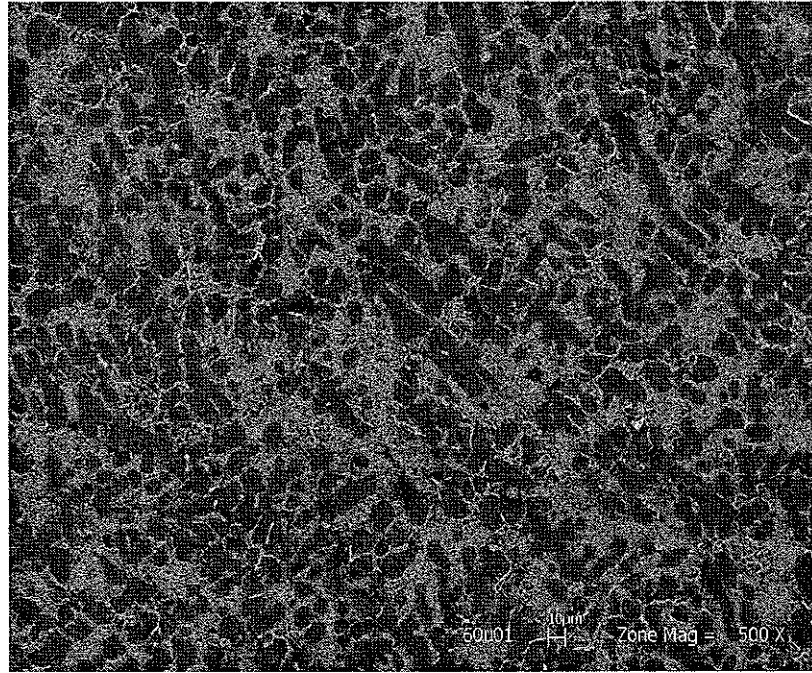
Çizelge 4.2. Ultrasonik dalgalar yardımıyla yapılan döküm numunelerinin sertlik değerleri

Numune	Sertlik (RB)
Döküm esnasında, 300 s ultrasonik dalga uygulanmış numune	58,64
Döküm esnasında, 240 s ultrasonik dalga uygulanmış numune	57,5
Döküm esnasında, 120 s ultrasonik dalga uygulanmış numune	56,7
Döküm esnasında, 90 s ultrasonik dalga uygulanmış numune	56,8
Döküm esnasında, 60 s ultrasonik dalga uygulanmış numune	55,6
Döküm esnasında, 30 s ultrasonik dalga uygulanmış numune	55,4

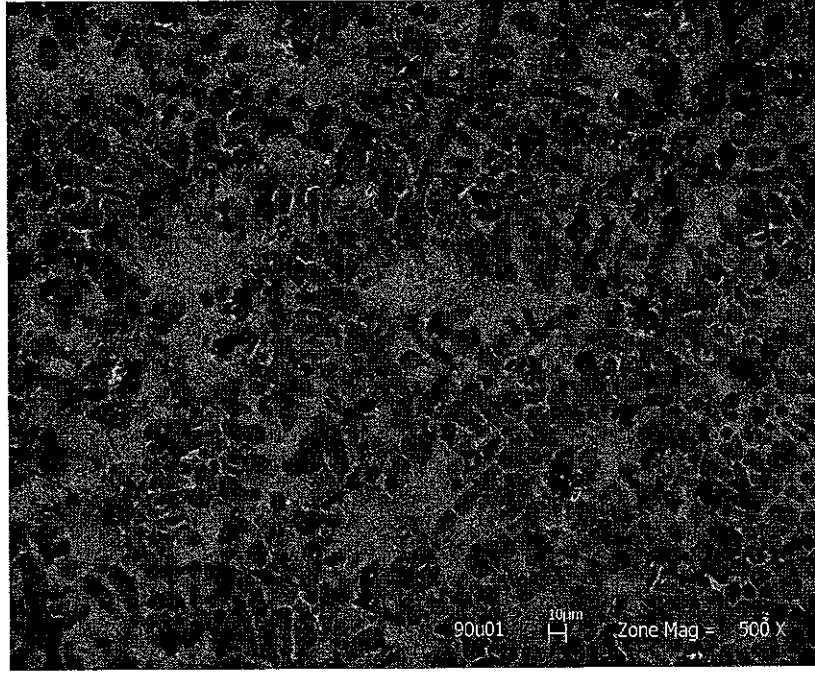




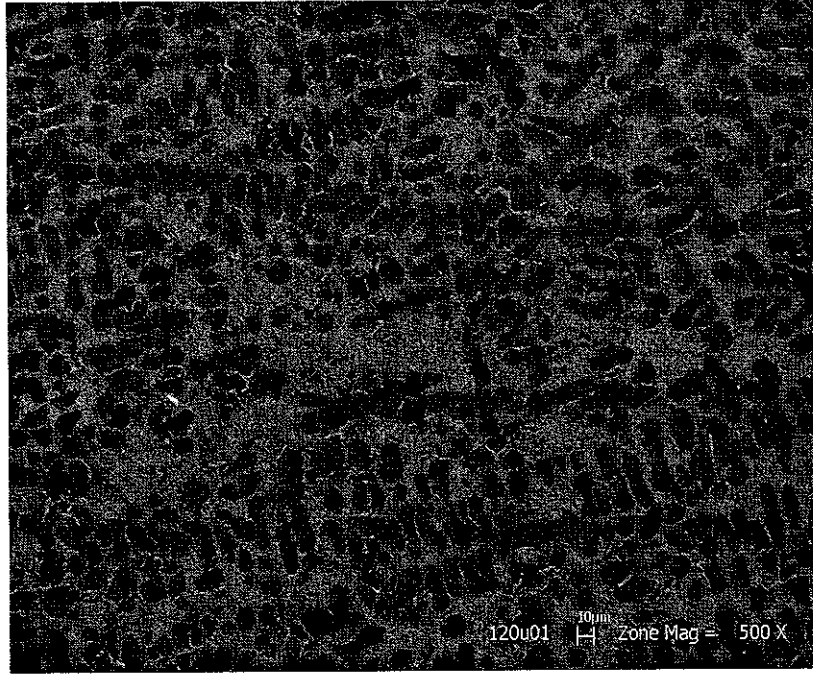
Şekil 4.9. 30 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (1500X)



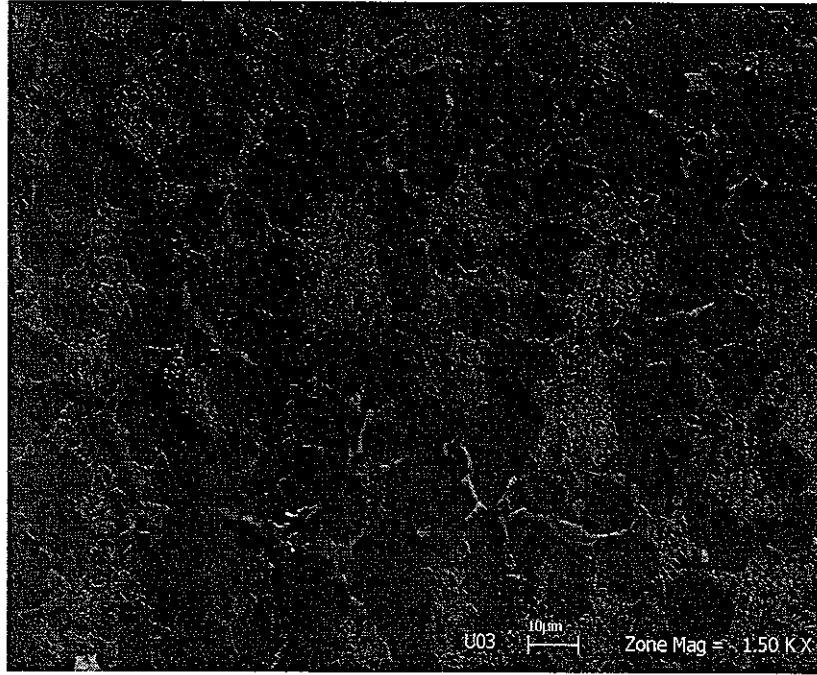
Şekil 4.10. 60 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (500X)



Şekil 4.11. 90 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (500X)



Şekil 4.12. 120 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (500X)



Şekil 4.13. 300 s ultrasonik dalga uygulanmış döküm numunesi (1500X)

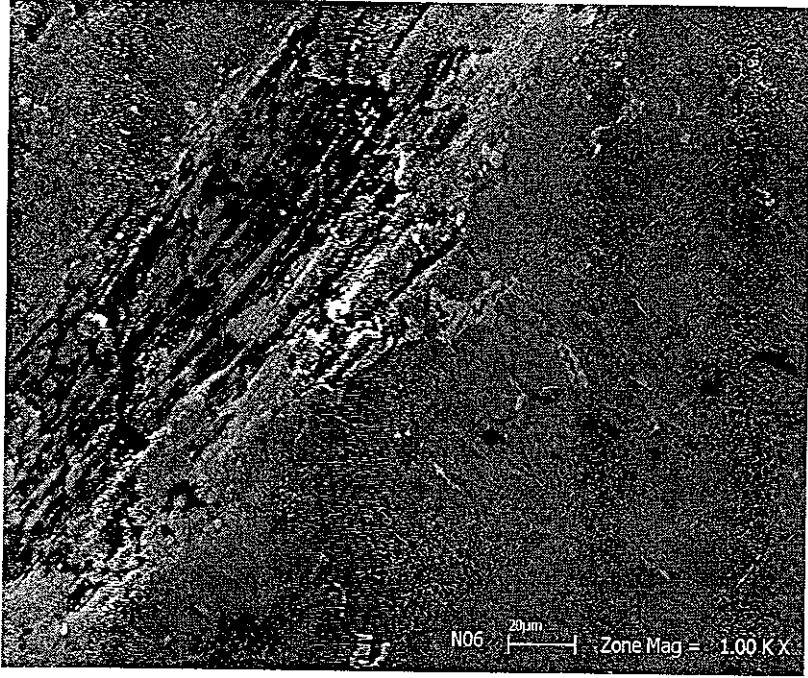
#### 4.3. Dökümlerin Mg Analizi

Atomik absorpsiyon cihazında yapılan Mg analizlerinde elde edilen sonuçlar çizelge 4.3' de verilmiştir. HCl içerisinde çözünmeden kalan katı kısmın  $Mg_2Si$  olduğu düşünülmektedir. Yükselen sıcaklık ile çözelti içindeki Mg miktarları azalmıştır.

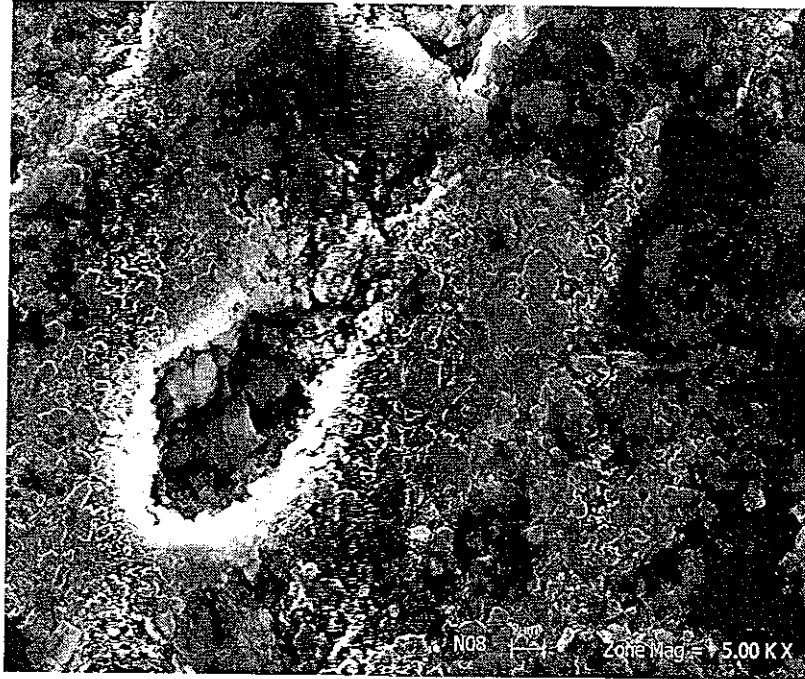
Çizelge 4.3. Dökümlerin çözeltiye geçen kısımlarının Mg analizi sonuçları

Numune Döküm Sıcaklığı	Değer (ppm)
530 °C	5.61
640 °C	4.04
740 °C	3.86
830 °C	2.74
950 °C	1.94

#### 4.4. Aşındırma Deneyi Sonuçları ve Mikro yapıları Karşılaştırılan Numuneler

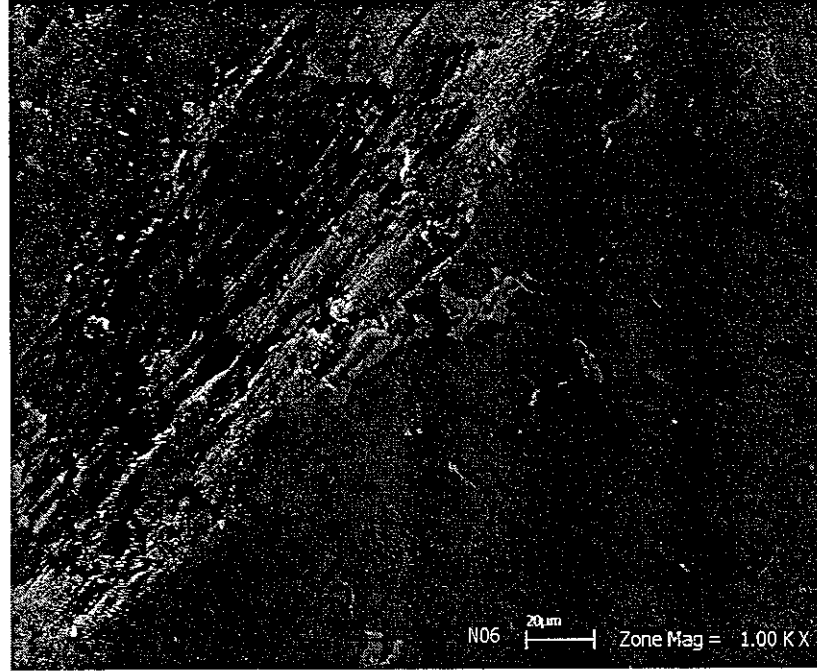


Şekil 4 14. 740 °C de normal döküm (1000X)

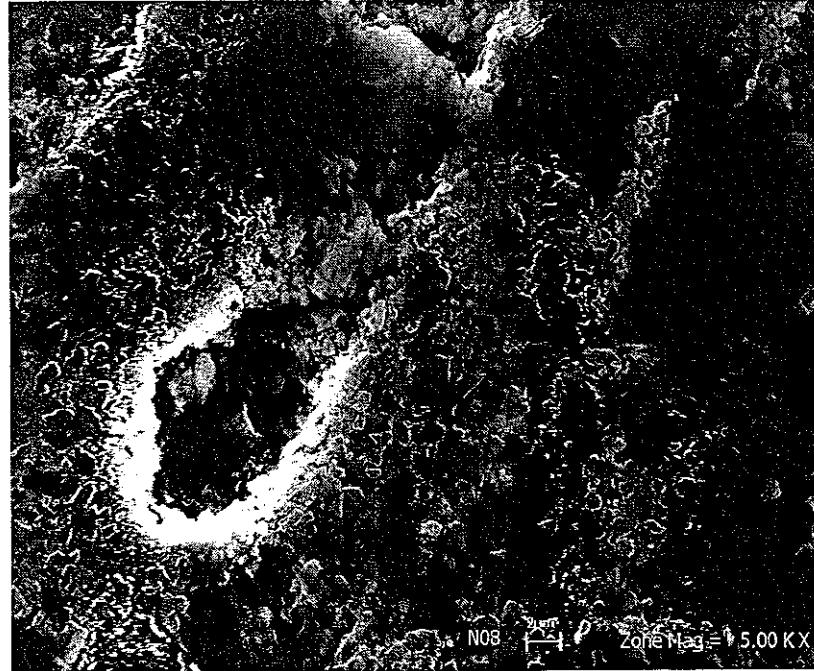


Şekil 4 15. 740 °C de normal döküm (5000X)

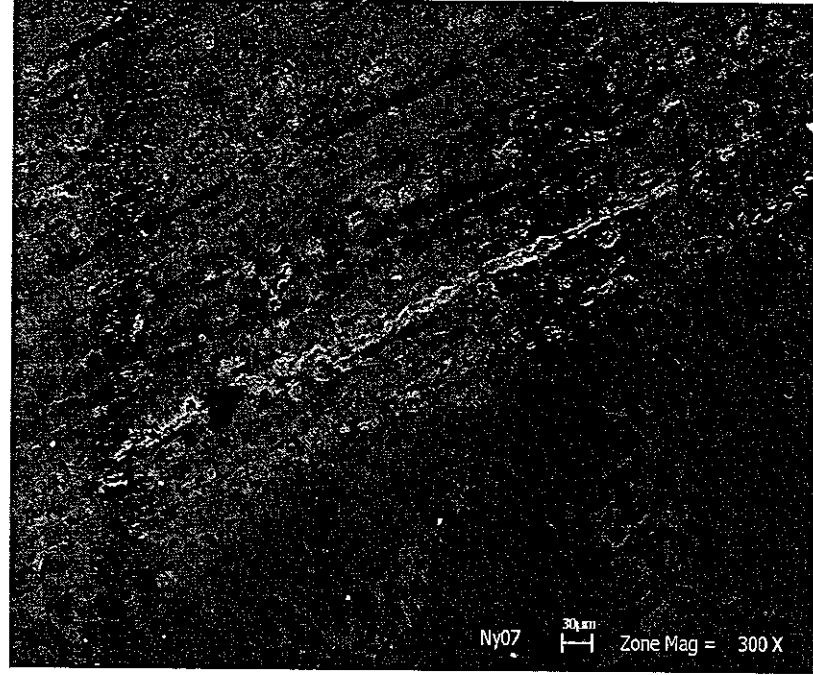
#### 4.4. Aşındırma Denevi Sonuçları ve Mikro yapıları Karşılaştırılan Numuneler



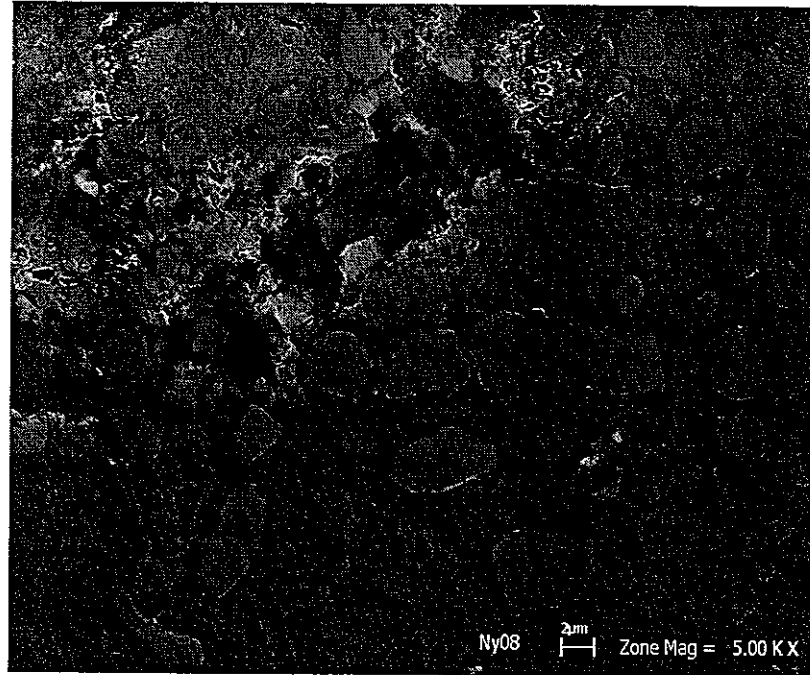
Şekil 4.14 740 °C de dökümü yapılmış (n) (1000X)



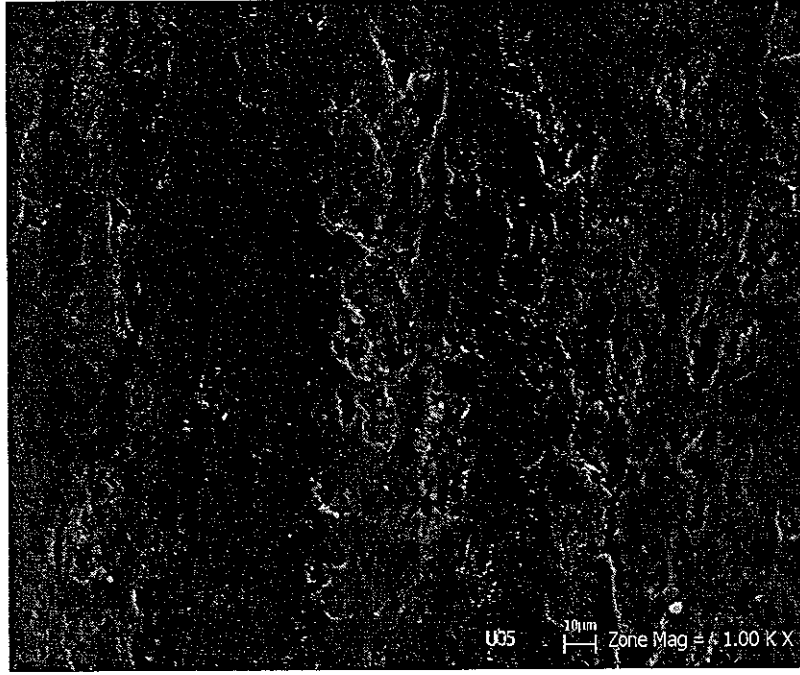
Şekil 4.15. 740 °C de dökümü yapılmış (n) (5000X)



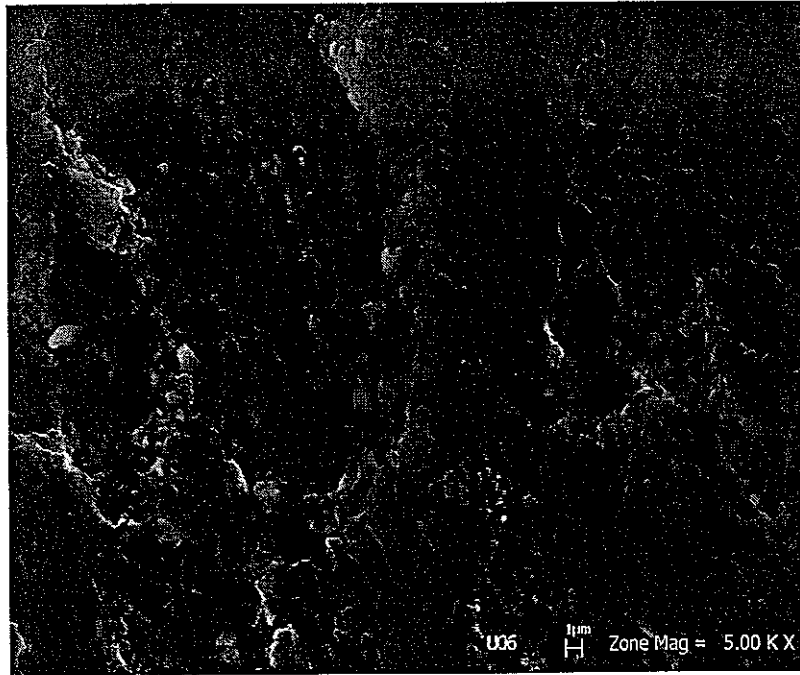
Şekil 4.16. 740 °C de dökümü yapılmış ardından yaşlandırılmış (ny) (300X)



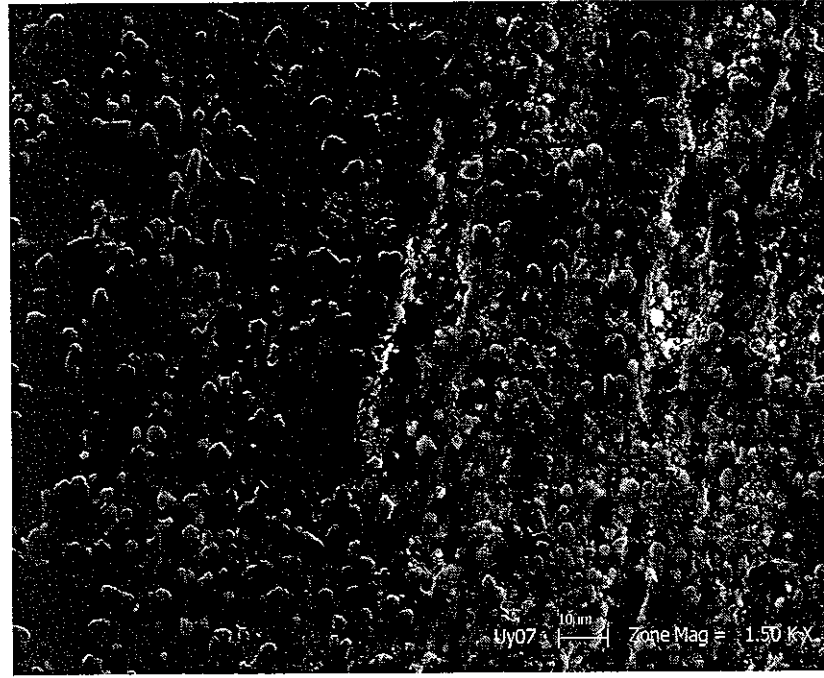
Şekil 4.17. 740 °C de dökümü yapılmış ardından yaşlandırılmış (ny) (5000X)



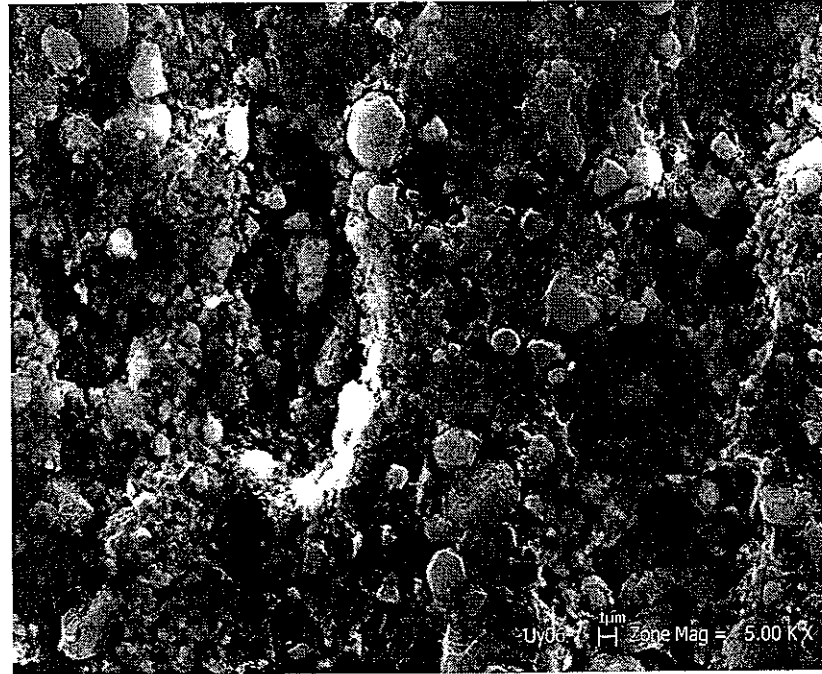
Şekil 4.18. 740 °C de dökümü yapılmış, 300 s ult. titreşim uyg. döküm (u) (1000X)



Şekil 4.19. 740 °C de dökümü yapılmış, 300 s ult. titreşim uyg. döküm (u) (5000X)

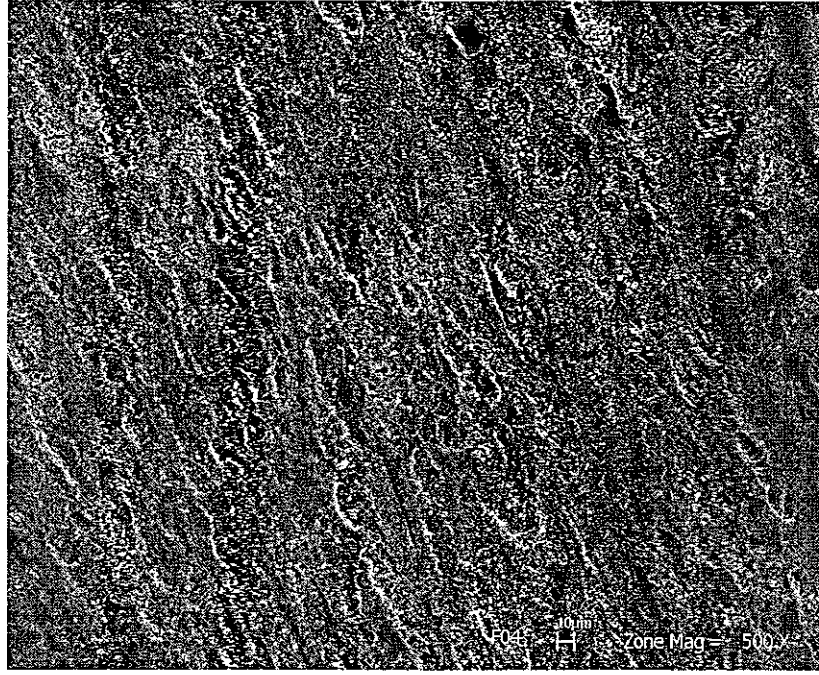


Şekil 4.20. 740 °C de dökümü yapılmış, 300s ult titreşim uyg ardından yaşlandırılmış döküm (uy) (1500X)

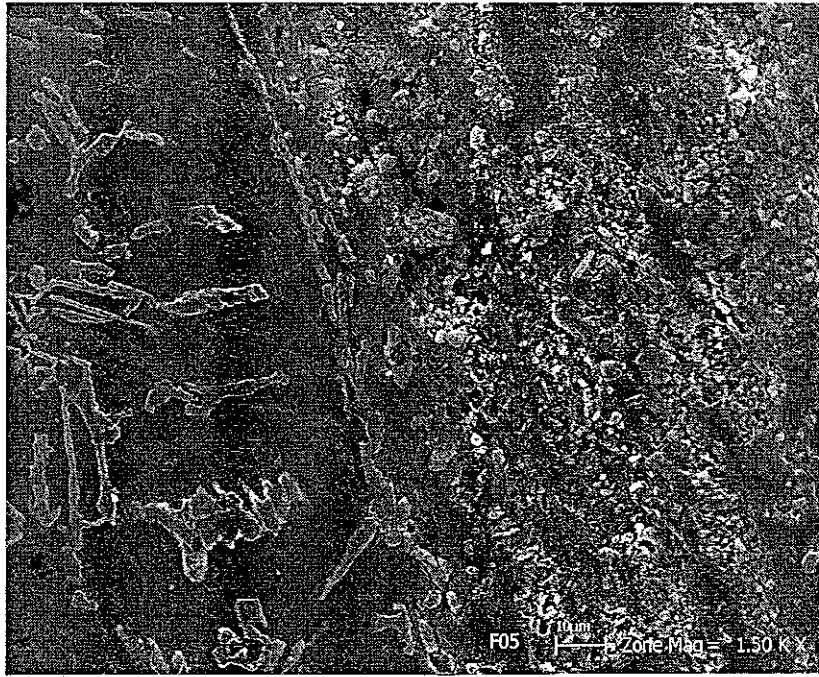


Şekil 4.21. 740 °C de dökümü yapılmış, 300 s ult titreşim uyg ardından yaşlandırılmış (uy) (5000X)





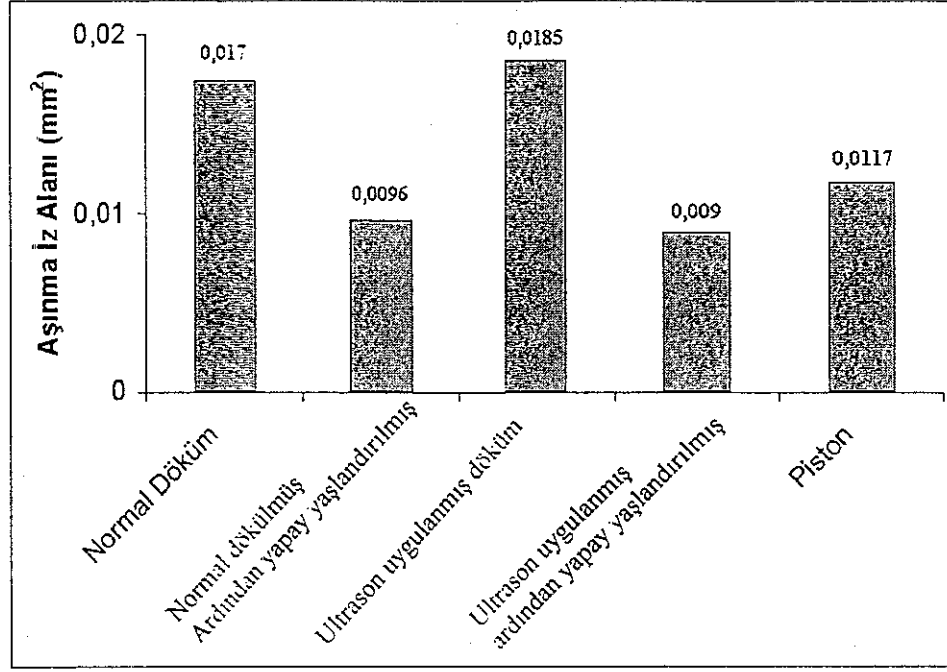
Şekil 4.22 Fabrika dökümü (500X)



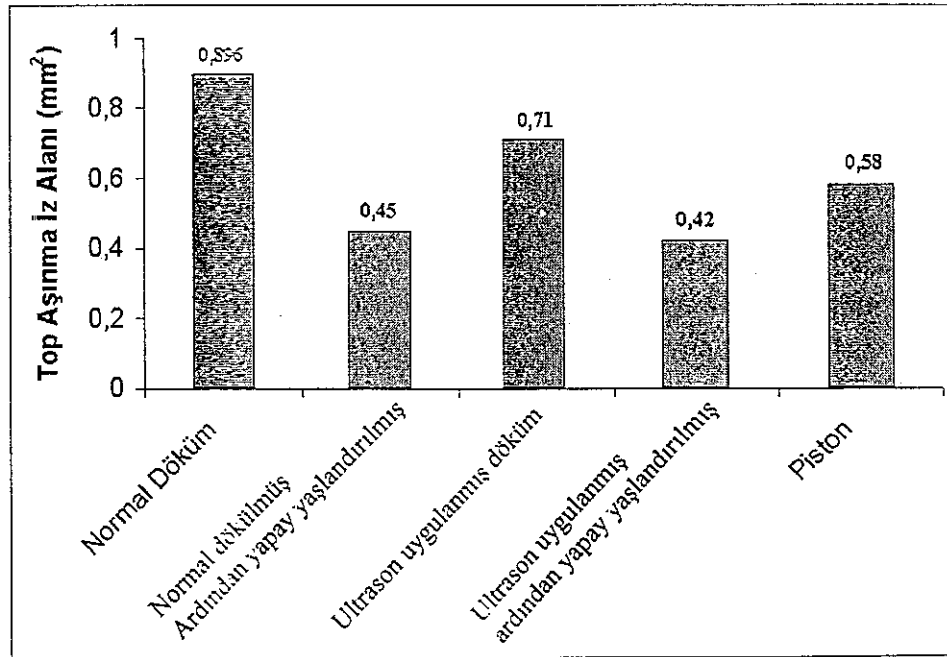
Şekil 4.23. Fabrika dökümü (1500X)

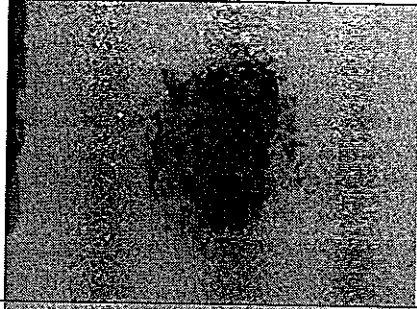
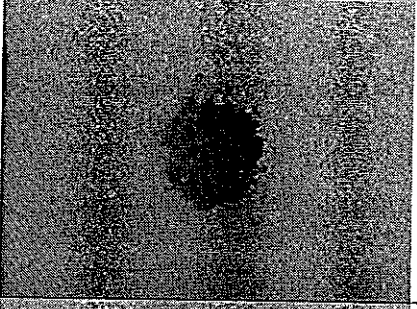
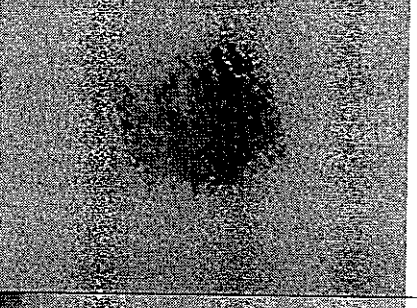
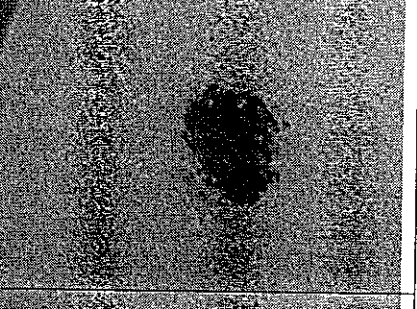
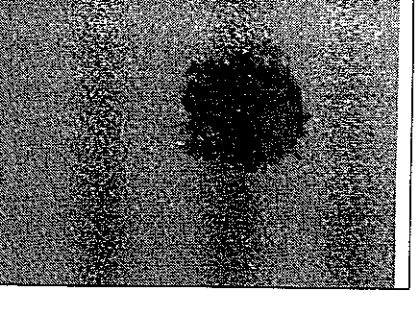
#### 4.4. Aşındırma Deneyleri Sonuçları

Çizelge 4.4. Numunelerin aşınma iz alanları

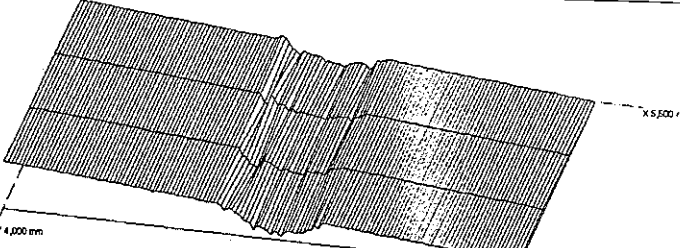
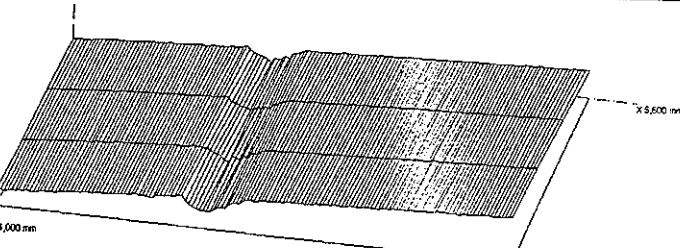
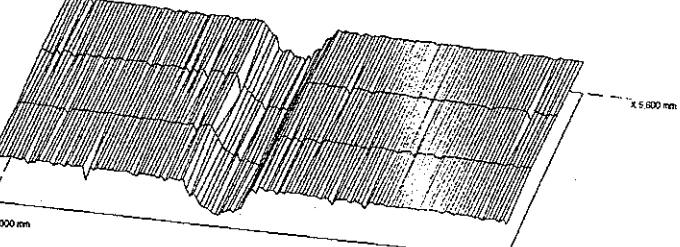


Çizelge 4.5. Numunelerin aşındırma deneyinde kullanılan topların iz alanları

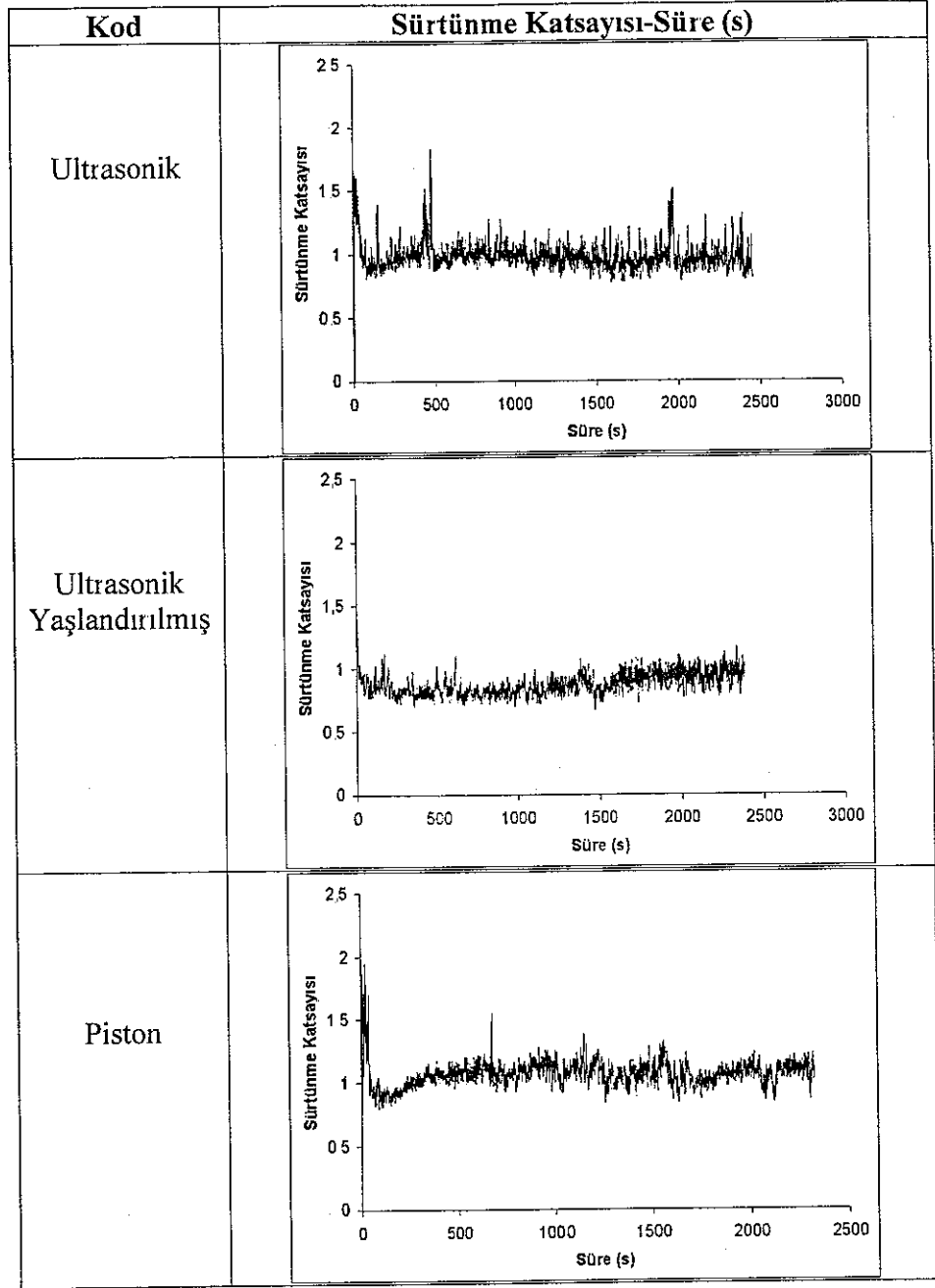


Kod	Top Aşınma Yüzeyi
Normal Döküm	
Normal Yaşlandırılmış	
Ultrasonik	
Ultrasonik Yaşlandırılmış	
Piston	

Şekil 4.24. Toplardaki aşınma izleri

Kod	3 Boyutlu Aşınma İz Profili
Ultrasonik	
Ultrasonik Yaşlandırılmış	
Piston	

Şekil 4.25. Üç Boyutlu Aşınma İz Profilleri



Şekil 4.26. Sürtünme Katsayısı-Süre (s)

## 5. SONUÇ

Çalışma kapsamında yapılan döküm numunelerinin sertlik değerlerine bakıldığında farklı sıcaklıklarda yapılan döküm numunelerinin sertlik değerleri arasında kayda değer bir farklılık olmadığı ve ayrıca optik ve elektron mikroskobunda yapılan incelemelerde mikro yapılarda numuneler arasında homojenlik bakımından da fark olmadığı görülmüştür. Bu numunelerin sertlik değerleri ortalama yaklaşık 41,2 RB'dir.

Farklı sıcaklıkta yapılan döküm numunelerine uygulanan çökelme yaşanması ısı işleminin sonucunda beklendiği gibi sertlik değerleri artmıştır ve yaklaşık 51,8 RB değerine yükselmiştir.

Ultrasonik dalgalar yardımı ile yapılan dökümlerin sertlik değerlerinde önemli artış görülmüştür. Döküm numunelerinin mikro yapıları incelendiğinde, ultrasonik dalgaların, alüminyum dendritlerinin parçalanmasına ve ötektik yapının, dendritler arasında homojen olarak dağılmasına neden olduğu ve sertlik değerlerinin bu nedenle arttığı sonucuna varılabilir. Ancak ultrasonik dalgaların farklı süreler ile uygulanmasının sertlik değerlerinde önemli sayılabilecek bir farklılığa neden olmadığı görülmüştür. Bu numunelerin sertlik değeri ortalama yaklaşık 56,7 RB'dir. Ultrasonik dalga uygulaması sertlik değerlerini yaklaşık %27 oranında arttırmıştır.

Ayrıca, döküm esnasında kalıbın etrafında buhar kılıfı oluşmaktadır. Ultrasonik dalga uygulaması ile döküm yapılması durumunda, oluşan buhar kılıfının parçalandığı, kalıbın daha hızlı soğuduğu ve sertliklerin bu nedenle arttığı da söylenebilir.

Ultrasonik dalgalar yardımıyla yapılan döküm numunelerine çökelme yaşanması ısı işleminin uygulanması sonucu sertlik değerlerinde çok az düşme görülmüştür. Ölçülen değerlerin ortalaması yaklaşık 54,78 RB'dir. Sertlik değerlerinde, çökelme yaşanması ısı işleminin uygulanması ile değişiklik olmamasına rağmen, özellikle 300 s ultrasonik titreşime maruz kalan döküm numunesinin yapısında önemli derecede homojenleşme gözlenmiştir.

Aşınma davranışlarına göre karşılaştırılan numunelerde, aşınma deneyi sonuçlarına göre, en az aşınma gösteren numune ultrasonik dalgalar yardımıyla (300 s) dökümü yapılan ve ardından çökme yaşanması ısıl işleme tabi tutulan numunedir (Uy). En fazla aşınma gösteren numune ise ultrasonik dalgalar yardımıyla (300 s) yapılan döküm numunesidir (U). En az aşınma gösteren, ultrasonik dalgalar yardımı ile yapılmış, ardından, çökme yaşanması ısıl işleme tabi tutulmuş numunenin aşınma davranışı, adezyon aşınması olarak yorumlanmıştır. Ultrasonun uygulamasının ardından uygulanan çökme yaşanması ısıl işlemi, daha önce de belirtildiği gibi, numunenin homojenleşmesini sağlamıştır. Alaşım içerisindeki sert silisyum partiküllerinin homojen olarak dağılması ile partiküllerin yumuşak ana kütleyi, aşınmaya karşı koruduğu söylenebilir. Daha yumuşak olan ana kütle de plastik davranışla adezyon aşınması göstermiştir. Ayrıca çökme yaşanması ısıl işlemi sonucu alüminyum kristalleri içine çökmüş, çok küçük sert silisyum kristallerin de ana kütleyi koruduğu söylenebilir. Döküm esnasında ultrasonik dalga uygulaması yapılmış ancak ısıl işleme tabi tutulmamış numunede ise aşınma sırasında meydana gelen oyukların, homojen olarak dağılmadığı görülmektedir ve oluşan bu oyuklar aşınma sırasında numuneden parça koptuğunu göstermektedir. Bu da abrazyon aşınması olarak yorumlanmıştır.

740 °C'de yapılan döküm (normal) numunesinin, elektron mikroskobu fotoğraflarına bakıldığında, abrazyon aşınması gösterdiği belirlenmiştir. Aynı numunenin çökme yaşanması ısıl işleme tabi tutulması sonucunda, aşınmanın şekil değiştirip adezyon aşınması haline geldiği belirlenmiştir. Çünkü çökme yaşanması ısıl işlemi, numunenin daha sünek hale gelmesini, dolayısıyla daha az aşınmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak, döküm esnasında sadece ultrason uygulamanın, çökme yaşanması ısıl işlemini, sertlik açısından gereksiz kıldığı ve ekonomik fayda sağladığı belirlenmiştir. Ancak, ultrason uygulaması, aşınma dayanımının azalmasına neden olmuştur. Numunelere çökme yaşanması ısıl işlemi uygulanması ile de beklendiği gibi sertlik değerleri artmış ve aşınma davranışları olumlu yönde değişmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- BOYER, E. H. ve GALL, L. 1992. Metals Handbook, Desk Edition, Aluminum Society For Metals Park, 6 1-6.11, Ohio.
- BÜRCEL, R. 1998. Handbuch Hochtemperatur – Werkstofftechnik. 67 ss. Vieweg Verlag.
- CAR, E. 1999. Alüminyum Üretimi Birincil ve İkincil Üretim Süreçleri, Alüminyum Alaşımaları, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu, Yayın no:2, İstanbul.
- ÇAKMAK, H. F. 1983. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımalarının Özellikleri, Etibank Alüminyum Tesisleri Yayını, 165 ss. Seydişehir – Konya.
- ERMİŞ, H., YAMAN, B., KÜÇÜKKARAGÖZ, S. ve ÇİĞDEM, M. 2003. Etial-145 Al-Si (AA332) alaşımının modifikasyonu II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler e-kitabı. Seydişehir.
- GEÇKİNLİ, E. 2002. Alüminyum ve Alaşımalarının Isıl İşlemi. II. Isıl İşlem sempozyumu. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi. İstanbul.
- HATCH, E. J. 1984. Aluminum Alloys, Aluminum, American Society for Metals, Metals Park 283 pp. Ohio.
- KARAHAN, T. 2000. Ultrason Dalgalarının Metalurjik Proseslerin Kinetiğine Etkisi Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- KÖKSAL, N. S. 2004. Alüminyum Alaşımaların ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Metal Makine Dergisi, Temmuz-Ağustos 2004 Sayısı, 202-204 ss. İstanbul
- KUŞKONMAZ, N., SARIDİKMEN, H. ve ÜNDEY, M. 2004. The Assessment of The Effects of Pressure and Application Period In Squeeze Cast Prototyped Etial – 160 Al – Si Alloy Bomb Bodies , Journal of Engineering and Natural Sciences, pp. 109 – 117.
- MAZZOLANI, M. F. 1985. Classification of Alloys, Aluminum Alloy Structure Institute of Construction Technology, University of Naples. pp. 4 – 25, Boston
- OĞUZ, B. 1989. Demir Dışı Metaller Kaynağı, Oerlikon Yayın Evi, Erdinç Basım Evi, İstanbul
- ONARAN, K. 1999. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımaları, Malzeme Bilimi, 383 ss. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul
- SMITH, W. F. 2001. Çeviren ve Uyarlayan: KINIKOĞLU, N. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, 492 – 507 ss. İstanbul
- ULUCAK, T. [www.angelfire.com / al /aluminum / 6063 metalurji. htm](http://www.angelfire.com/al/aluminum/6063metalurji.htm)
- ÜNAL, N. 1991. Alüminyum ve Alaşımaları, Malzeme Bilgisi. 122ss. Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Yayın No: 37, Antalya
- VARLEY, C. P. 1970. Aluminum Alloys, Heat Treatment, The Technology of Aluminum and Its Alloys, 136 pp., London.
- YEGORAVA, L. S., KALNKIN, G. 1978. Alüminyum ve Alaşımaları, Çeviri: Mehmet Aksun, EATGB Tercüme Yayınları, No: 147, 161 ss. Seydişehir – Konya.



YILMAZ, B. 2002. Alüminyum Alaşımalarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 ss. Isparta

## ÖZGEÇMİŞ

Kamer YAMAN 1980 yılında İzmir' de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir' de tamamladı. 1997 yılında Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başladı ve 2001 yılında mezun oldu. 2002 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı' nda yüksek lisans eğitimine başladı ve 2002 yılının ağustos ayında araştırma görevlisi kadrosuna atandı. Halen görevine devam etmektedir.