

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

*SEÇİLEN BİR Al-Mg-Si ALAŞIMININ (AlMgSi0.5 ; ETİAL 60) ISIL
İŞLEMLERLE ÖZELLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ*

MERKUT ŞENDENİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA 2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***SEÇİLEN BİR Al-Mg-Si ALAŞIMININ (AlMgSi0.5 ; ETİAL 60) ISIL
İŞLEMLERLE ÖZELLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ***

MERKUT ŞENDENİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 04.05.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali BAYRAM
(Danışman)

Prof.Dr. Agah UĞUZ

Prof. Dr. Recep EREN

ÖZET

Alüminyum metali bilhassa korozyon dayanımının yüksekliği, hafifliği, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği özellikleri dolayısıyla endüstriyel gelişime paralel olarak büyük önem kazanmıştır.

Mukavemetinin düşük olması alaşımlandırma ve alaşımlara uygulanan, uygun ısı ı işlemlerle telafi edilmeye çalışılmıştır; mukavemet / ağırlık oranı alaşımlı çeliklerle mukayese eder duruma yükseltilmiştir. Bu özellikleri ile alüminyum ve alaşımları imalat sanayiinin vazgeçilmez malzemeleri olmuş, kullanım alanları genişlemiştir.

Bu çalışmada önemi vurgulanan alüminyum alaşımları bir örnek (AlMgSi0.5-Etial60) üzerinde yaşlandırma parametreleri ve bağı olarak mekanik özellik (sertlik ve çekme dayanımı) değişimleri incelenmiştir. AlMgSi0.5-Etial60 alaşımı ekstrüzyonda en çok kullanılan üretim malzemesi olduğu için ve homojenleştirme işlemi de içeren yaşlandırma işlemi bu alaşımlara uygulanabilecek temel sertleştirme işlemi olması dolayısıyla seçilmiştir. Isıl işlem parametrelerinin, ürünlere sonradan uygulanacak yüzey işlemleri (anodik oksidasyon örneğinde) kalitesine etkisi irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Homojenleştirme, yaşlandırılma sertleştirme, Ekstrüzyon, mekanik özellikler

ABSTRACT

The aluminum metal has become a high importance to parallel with industrial improvement because of particularly its high corrosion resistance, light, high electricity and heat conductivity .

Because of its low resistance, it has been studied to compensate by alloy and suitable heat treatment on alloys; resistance/weight ratio was increased for being comparable state with steel alloys. With those features of aluminum and its alloys have become essential materials for manufacture industry and the usage field are enlarged.

In this study, aging parameters and mechanical features (hardness and pulling resistance) in consequence of aging parameters were studied on a sample (AlMgSi 0,5 – Etial 60). This alloy was chosen because it is the most used production material for extrusion and because the aging which also contains homogenizing treatment is the basic harden treatment to those kind of alloys .

It was examined the effect of heat treatment parameters on the quality of product for surface works .

Key Words : Homogenizing, aging hardening, Extrusion, mechanical properties

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
1. Giriş.....	1
2. Kaynak Araştırması.....	3
2.1 Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri	3
2.2 Alüminyumun Üretimi.....	5
2.3 Alüminyum Alaşımları	6
2.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Yapısına Göre Sınıflandırılması.....	8
2.3.2 Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlem Durumuna Göre Sınıflandırılması.....	8
2.3.3 Mimari Uygulamalar İçin Üretilen Profiller.....	9
2.4 Alüminyum Profillerinin Anodik Oksidasyonu.....	9
2.4.1 Profilere Anodik Oksidasyon Öncesi Yapılan İşlemler.....	9
2.4.1.1 Parlatma Polisaj İşlemi.....	10
2.4.1.2 Zımparalama İşlemi.....	10
2.4.1.3 Satınaj İşlemi.....	10
2.4.1.4 Endüstriyel Eloksal.....	10
2.4.2 Anodik Oksidasyon Yöntemi.....	11
2.5 Alüminyum Profillerinin Renklendirilmesi.....	11
2.5.1 Boyama.....	11
2.5.2 Eloksallı Alüminyumun Renklendirilmesi.....	12
2.5.2.1 Tek Etaplı Renklendirme	12
2.5.2.2 İki Etaplı Renklendirme.....	12
2.6 Alüminyum Alaşımları İçin Temper (Isıl işlem/Kondisyon) Göstergeleri.....	13
2.7 Alüminyum Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesi.....	16
2.7.1 Alüminyum Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesinin Gelişimi.	16
2.7.2 Çökelme Sertleşmesinin Isıl İşlem Safhaları.....	17
2.7.2.1 Katı Çözeltiye Alma.....	18
2.7.2.2 Suverme.....	19
2.7.2.3 Yaşlandırma.....	20
2.7.3 Çökelme Sertleşmesinde Mukavemet Arttırıcı Mekanizmalar.	21
2.7.4 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırılabilir Alaşımların Yeri.	21
2.8 Yaşlandırılabilir Alüminyum Alaşımları.....	22
3. Materyal ve Yöntem.....	24
3.1 Eital60 ve Standartlardaki Eşdeğerleri.....	24
3.2 Uygulama Yerine Göre Farklı Standartlar.....	29
3.3 Uygulama Yerine Göre Üretici Firmaların Pazarladığı Farklı Alaşımlar.....	30
3.4 6000 Serisi Alüminyum Alaşımları ve Genel Özellikleri.....	30
3.5 Etial60'ın Özellikleri.....	32
3.6 Etial60'ın Dökümü.....	33
3.6.1 Etial60'ın Kimyasal Bileşiminin Özelliklerine Etkisi.....	33
3.6.2 Döküm Sonrası Yapı.....	37
3.6.3 Katı Çözeltiye Alma.....	39
3.7 Homojenleştirme.....	40

4 Deney Çalışmaları.....	45
4.1 Etial60'ın Homojenleştirilmesi.....	45
4.2 Ekstrüzyon.....	48
4.2.1 Etial60 Alaşımının Ekstrüzyonu.....	50
4.2.2 Ekstrüzyon Yapılabilirlik.....	51
4.2.3 Ekstrüzyon Deneyleri.....	52
4.3 Etial60 Alaşımında Yaşlanma.....	55
4.4 Etial60 Alaşımının Ekstrüzyonun Yüzey Kalitesi.....	57
5 Araştırma Sonuçları ve Tartışma.....	60
5.1 Homojenleştirme İşlemi Yapılan Numunelerdeki Bulgular.....	60
5.2 Çözünme Hızları ve Faz Değişimleri İle İlgili Bulgular.....	62
5.3 Homojenleştirmeden Sonraki Soğuma Hızının Etial60'ın Ekstrüzyon Parametrelerine Etkisi.....	62
5.4 Homojenleştirme Sonrası Soğuma Hızının Mikro Yapıya Etkisi.....	65
5.5 Ekstrüzyon Deneyi Sonuçları.....	66
5.6 Anodik Kaplamada Karşılaşılan Problemler.....	69
5.6.1 Normal Anodik Kaplama.....	70
5.6.2 Parlak Anodik Kaplama.....	72
Kaynaklar.....	73
Teşekkür.....	75
Özgeçmiş.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil.2.1 Yaşlandırılabilir bir alaşımın yaşlandırma safhalarının şematik gösterilişi
- Şekil.2.2 Başlıca alüminyum alaşımları
- Şekil.3.1 AA 6063'ün çekme dayanımının Mg_2Si miktarı ile değişimi
- Şekil.3.2 Mg_2Si miktarı ve fazla silisyumun çekme dayanımına etkisi
- Şekil.3.3 Döküm yapıda tane sınırlarındaki çökelti
- Şekil.3.4 Döküm yapıda tane sınırlarında ve içindeki çökelti
- Şekil.3.5 Döküm-kalıp ara yüzeyindeki çökelti
- Şekil.3.6 Homojenleştirilen ve $10^{\circ}C/dak$ hızla soğuyan numunenin TEM mikrografı (x6875)
- Şekil.3.7 Homojenleştirilen ve $9.3^{\circ}C/dak$ hızla soğuyan numunenin TEM mikrografı (x6875)
- Şekil.3.8 Homojenleştirilen ve $7.8^{\circ}C/dak$ hızla soğuyan numunenin TEM mikrografı (x6875)
- Şekil.3.9 Homojenleştirilen numunelerdeki çökelti büyük büyütmede çekilmiş mikrografı (x13750)
- Şekil.3.10 a) $550^{\circ}C$ da $\frac{1}{2}$ saat
b) $550^{\circ}C$ da 8 saat homojenleştirilen numunelerin mikro yapısı
- Şekil.3.11 a) $590^{\circ}C$ da $\frac{1}{2}$ saat;
b) $550^{\circ}C$ da 8 saat homojenleştirilen numunelerin mikro yapısı
- Şekil.3.12 $580^{\circ}C$ da 2 saat homojenleştirilen ve
a) $5^{\circ}C/dak$.
b) $2^{\circ}C/dak$ hızla soğutulan numuneler (x6875)
- Şekil.4.1 Homojenleştirme fırınında değişik pozisyonlardaki kütüklerin ısınma eğrileri
- Şekil.4.2 Mg_2Si 'in alüminyum içindeki çözünürlüğü
- Şekil.4.3 Etial60'ın yaşlandırma sertleşmesi
- Şekil.4.4 Etial60 zaman-sıcaklık-çökeltme diyagramı
- Şekil.5.1 Homojenleştirme koşullarının ekstrüzyon yüküne etkisi
- Şekil.5.2 $AlFeSi$ çökeltisinin yüzde alanlarının homojenleştirme süresi ile değişimi
- Şekil.5.3 $R=30$ ekstrüzyon oranında ekstrüzyon yükünün basma hızı ve homojenleştirme sonrası soğuma hızı ile değişimi
- Şekil.5.4 $R=75$ ekstrüzyon oranında ekstrüzyon yükünün basma hızı ve homojenleştirme sonrası soğuma hızı ile değişimi
- Şekil.5.5 Etial60 alaşımında homojenleştirme sıcaklığı ve demir yüzdesinin anodik kaplamanın ışık yayılımı üzerindeki etkisi

ÇİZELGELER DİZİNİ

- Çizelge.2.1 Alüminyumun; değişik uygulama alanlarındaki kullanımında önemli olan özellikler
- Çizelge.2.2 Başlıca alüminyum alaşımları ve bileşenleri
- Çizelge.3.1 Etial 60'a benzer bileşimdeki diğer standart alaşımlar
- Çizelge.3.2 Etial 60'a benzer bileşimdeki alaşımların ülkelere göre dağılımı
- Çizelge.3.3 Etial 60'a benzer bileşimdeki standart alaşımların adları
- Çizelge.3.4 Etial 60'a eşdeğer diğer standart alaşımların değişik temperlerdeki mekanik özellikleri
- Çizelge.3.5 Dekoratif anaçlı anodik kaplama ile ilgili standartlar
- Çizelge.3.6 Bazı alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının özellikleri
- Çizelge.3.7 Etial60'ın fiziksel özellikleri
- Çizelge.3.8 AlFeSi alaşımlarında gözlenen fazlar ve kristal yapısı
- Çizelge.3.9 Döküm yapıda gözlenen fazlar ile kristalleşme özellikleri
- Çizelge.4.1 Homojenleştirme işlemi yapılan kütüklerin 450°C ile 200°C arasındaki soğuma hızları
- Çizelge.4.2 Yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları (R=30).
- Çizelge.4.3 Yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları (R=75)
- Çizelge.4.4 Homojenleştirilen takozlarla yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları
- Çizelge.4.5 550°C 'da 6 saat süreyle homojenleştirilen ve havada soğutularak ekstrüzyon deneyleri yapılan takozlarda elde edilen sonuçlar.
- Çizelge.4.6 Yaşlandırma deneyi sonuçları
- Çizelge.5.1 Homojenleştirilmesi yapılan kütüklerin homojenleştirme koşulları ve mekanik özellikleri
- Çizelge.5.2 Yapılan deneylerde uygulanan soğutma hızları

1. GİRİŞ

Alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra tabiatta en fazla bulunan bir elementtir. Metaller içerisinde de yer kabuğunun % 8 ini oluşturarak bileşikler halinde ve diğer metallerden daha fazla bulunur. Buna karşılık metal olarak 19. Yüzyılın ilk yarısında elde edilebilmiştir. Bunun nedeni ise alüminyumun doğada çok kararlı kimyasal bileşik olan alüminyum oksit şeklinde bulunması ve bu bileşiğin indirgenmesinin yüksek enerji gerektirmesidir. Bunu sağlayacak teknolojik yöntemler ise ilk kez 19. Yüzyılda gerçekleştirilebilmiştir.(Weissbach 1967).

Alüminyum yüzyıl öncesine kadar çok az kullanılan bir metal iken, bugün en fazla kullanılan metaller arasındadır.

Maliyetinin biraz yüksek olması ile birlikte ucuz görünen diğer metallere üstünlükleri vardır. Hafif ve birim ağırlığa göre yüksek mukavemetli olmasının getirdiği emniyeti yanında yüzeyine çok çeşitli görünüm verilebilmesi, korozyona uğramaması, bakımının çok kolay ve ucuz olması imalatının kısa sürede yapılabilmesi alüminyumun üstün özelliklerindedir.

Alüminyum bozulma ve çözünmeye uğramayan, stabil bir malzeme olması ekolojik olarak ta tercih edilmesini sağlamıştır. Tekrar kullanılabilmesi ve tekrar kullanım için az enerji gerektirmesi de çevrenin korunması için önemli bir tercih nedenidir.

Kullanım alanlarının bu denli yaygın oluşu alüminyumu temel endüstrinin vazgeçilmez malzemesi haline getirmiştir.

Saf alüminyum mukavemet açısından çok yetersiz olduğundan endüstride alaşımlandırılarak kullanılırlar. En önemli alaşım elementleri ise silisyum, magnezyum ve bakırdır. Alüminyumun özellikleri içerisinde bulunan alaşım elementlerine büyük oranda bağlılık gösterir.

Al alaşımlarının mukavemetlerinin artırılmasında, ısıl işlemlerle yapı içinde ikinci fazların sağlanması (özellikle yaşlandırma sertleştirilmesi) başvurulan önemli bir yöntemdir. (Aluminum T.,1984) İkincil fazların oluşumu ve miktarı ise matriks malzemesinin çökelti oluşturacak alaşım elemanını (sıcaklığa bağlı olarak) eritebilmesi ile sınırlı olduğu açıktır.

Yaşlandırma ile özellik iyileştirmesine fırsat veren AlMgSi0.5-Etial 60 alaşımının imalat sanayiinde büyük oranda kullanım alanı vardır. Özellikle alüminyum

Çökelme sertleştirmesi işlemi Al- alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde çok sık başvurulan bir ısıl işlem türü olarak karşımıza çıkar.

Etial 60 alaşımı en çok kullanılan ekstrüzyon alaşımıdır. Homojenleştirme işlemi ekstrüzyon ve sonrasındaki özellikler üzerinde ekstrüzyon yapılabilirliği ve eloksal işlemi gibi çok etkili olan ve yaşlandırma işlemi çerçevesinde ele alınması gereken bir ısıl işlem olarak yaklaşılmalıdır.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyum yer kabuğunun yaklaşık % 8 ini oluşturarak, doğada bileşikler halinde ve diğer metaller den fazla bulunurlar.

Alüminyum metalinin cevherden elde edilmesi çok uzun ve karmaşık aşamalar içerir. Buna karşın teknik özelliklerinin üstünlüğü nedeniyle alüminyum giderek dünyada daha çok kullanılmaktadır. 20. Yüzyılın başlarında 7000 ton dolaylarında olan dünya alüminyum tüketimi şimdilerde 20 milyon ton civarındadır. Demir esaslı malzemelerden sonra en çok kullanılan metaldir.

Yüksek dayanım/ ağırlık oranı, mükemmel korozyon direnci iyi elektrik ve ısı iletkenliği, şekillendirme işleme kolaylığı, kendine özgü ısıl işlem gibi başka metallerin bir arada yada ayrı ayrı sunamadığı özelliklere sahiptir.

Bugün hemen hemen her yerde yararlandığımız alüminyumun kullanım alanları özetle şöyle sıralanabilir:

- Yapı, elektrik, karayolu, petrol ve diğer mühendislik uygulamalarında,
- Meşrubat, besin, ecza, kimya ve atom endüstrisinde,
- Sıfır altı sıcaklıklarda çalışacak yapı ve donanımlarda,
- İçten yanmalı motorlarda ve diğer motor dışı otomotiv endüstrisinde,
- Demiryolu donatımlarında, denizcilik ile ilgili uygulamalarda, uçak ve uzay çalışmalarında,
- Askeri araç ve ekipmanlarda,
- Yataklama, alet, takım, cihaz ve diğer mekanik uygulamalarda,
- Elektronik endüstrisinde,
- Ev araçları, mobilya vb. uygulamalar ile tüketim ürünlerinde,
- Ambalaj işlemleri, boya ve boya malzemeleri sanayiinde,
- Metalürji ve kimyasal reaksiyonlarda.

Tüketim alanlarının çeşitliliği sonucu alüminyum temel endüstrinin vazgeçilmez yapı taşı özelliğini korumaktadır.

Yer kabuğunda demire göre çok daha fazla bulunmasına karşın demirin ifade ettiği değere ulaşamamıştır. Bunun sebeplerini şöyle sıralamak mümkündür;

- Alüminyum parçalanması mümkün olmayan birçok mineralin bileşiminde vardır.
- Alüminyum ilk olarak 130 sene önce teknik olarak üretilmeye başlanmıştır. Demir ise ilk çağdan beri tanınmaktadır.
- Alüminyum sertleştirildikten sonra bile takım malzemesi olarak kullanılamaz.

Alüminyumun alaşımlarının genel özellikleri:

- Alüminyum hafiftir; yoğunluğu, çeliğin 1/3 kadardır.
- Alüminyum havaya, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan birçok sıvı ve gaza dayanıklıdır.
- Yüksek yansıtma özelliğine sahiptir. Gümüşümsü yüzeyiyle birlikte bu özellik alüminyuma, iç ve dış mimari uygulamalara uygun dekoratif özellikler sağlar. Alüminyum yüzeyindeki parlak plastiklerle ve uyguna anodik işlemlerle korunabilir. Bir çok halde doğal olarak oluşan temiz oksit tabakası yüzeyi korumak için yeterlidir.
- Alüminyum alaşımları, normal yapı çeliklerinin mukavemetine eşit veya daha fazla dayanıma sahip olabilir.
- Alüminyum, şok yüküne maruz bazı konstrüksiyonlarda değerlendirilen, yüksek elastik özelliğine sahiptir. Dayanıklılığı, bir çok ticari çeliklerde olduğu azaldığı gibi, düşük sıcaklıklarda belirgin olarak azalmaz.
- Alüminyum kolaylıkla işlenir ve şekillendirilir. Örneğin 1/100 mm kalınlığından daha ince folyo haline getirilebilir.
- Alüminyum elektriği ve ısıyı hemen hemen bakır kadar iyi iletir.

Alüminyum uygulamalarının çoğunluğu yukarıda belirtilen özelliklerinin sonucudur. Fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilaveten Çizelge.2.1 alüminyumun değişik uygulamalar için kullanıldığı çeşitli şekilleri listelemektedir.

Kötü özellikleri :

- Düşük mukavemet ve akma sınırı,
- Bazı karakterli maddelere karşı dayanıksızlık,
- Kaynak ve lehimleme kabiliyeti ancak dekaplan ve özel usullerle mümkündür.

Alüminyumun yüzeyinde havanın teması sonucunda kendiliğinden oluşan fakat yoğun bir oksit tabakası (Al_2O_3) teşekkül eder. Bu tabaka alüminyumu diğer etkilere korur. Yani alüminyum bu maddelere karşı dayanıklı değildir (Çakmak 1983).

Çizelge.2.1 Alüminyumun; değişik uygulama alanlarındaki kullanımında önemli olan özellikler (Altenpohl 1965)

Uygulama Alanı	Özellikleri				Yarı Ürün Tipi					
	Düşük Yoğunluk	İyi Isı ve/veya Elektrik iletkenliği	Korozyona Direnç	Dekoratif Görünümü (Yüzey işleme veya işlemsiz)	Döküm veya Dövme	Levha	Darbeli Ekstrüzyon	Profil Ekstrüzyon Ürünleri	Kablo, Tel	Folyo
Nakliye	•		o	o	o	o		o		
Mimari	o		o	•		o		o		
Ambalaj	+	+	•	•		o	o			o
Elektrik Endüstrisi	+	•	o				o	o	o	o
Ev Eşyaları	o	•		o		o				o
Makinalar ve Cihazlar	•	o	o	o	o	o		o		
Kimya ve Gıda Endüstrisi	o	o	•	o	+	o		o		o
+ Arzu Edilir		o Önemli			• Çok Önemli					

2.2 Alüminyumun Üretimi

Alüminyumun üretimi beş aşamada gerçekleştirilir;

Birinci aşama; Cevherin çıkarılmasını amaçlayan maden işletmeciliğidir. Doğada saf olarak bulunmayan alüminyum, bir çok mineralin bünyesinde yer almaktadır. Ekonomik bakımdan işlenmesi en uygun olanı ise içinde alüminyum hidroksit bulunan boksit cevheridir.

İkinci aşama; Cevherden saf alüminanın (Al_2O_3) elde edilmesidir. Birkaç örnek dışında dünyada alümina üretimi için uygulanan yöntem “Bayer Prosesi” dir. Proseste öğütülmüş boksit ısı ve basınç altında sudkostik ile reaksiyona sokulur. İşlem sonucu sodyum alüminat çözeltisi yabancı maddelerden arındırıldıktan sonra dekompoza edilir. Bu işlem sonucu oluşan alüminyum hidrat kalsine edilerek alümina haline getirilir.

Üçüncü aşama; Elektroliz işlemidir. Elektroliz hücresinde doğru akım yardımıyla alüminadan sıvı alüminyum elde edilir.

Dördüncü aşama; Sıvı alüminyuma istenilen katkı elementleri ilave edilerek değişik boyut ve ölçülerde döküm işlemleri yapılır.

Beşinci aşama; Kullanım yerlerinin gereklerine göre şekillendirme yapılır. Levha, folyo, tel, profil vb. ürünler elde edilir.

2.3 Alüminyum Alaşımları

Saf elementlerin özellikleri sınırlıdır. Bu nedenle malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için alaşımlar yapma ihtiyacı doğmuştur. Alüminyumda da alaşım elementlerinin birinci görevi; yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük olan akma sınırını yükseltmektir. Bu özelliği kazandıran elementler; manganez, magnezyum, silisyum, bakır ve çinko olup düşük miktarlarda bile istenilen amaca ulaşabilir(Oğuz 1990).

Alüminyum alaşımlarının başlıcaları ve bunların nominal bileşimleri Çizelge.2.2 de verilmiştir. Burada şekillendirilebilir alaşımların simgeleri Aluminum Association'ınkilidir. Döküm alaşımları ise önce endüstri (Alcoa) işaretlemesi, sonra da parantez içinde simgeleri Aluminum Association'ın tanımlamalarıdır.

Kübik yüzey merkezli alüminyum kristal kafesleri, yapısına ancak küçük oranlarda bu elementlerden alabilir ve karışım kristalleri teşkil edebilir. Yabancı atomlar kristal kafesi içerisinde kaynamaya karşı direnci artırırlar. Yani akma sınırını yükseltirler. Şekil değiştirme kabiliyeti ise etkilenmez. Bu elementlerin oranlarının daha yüksek olması halinde alüminyum atomlarından ve alaşım elementlerinin çözünmeyen kısımlarından sert ve kırılğan kristal çeşitleri oluşur. (metaller arası=intermetalik bileşikler) Böylelikle mukavemet daha da yükselir ancak şekil değiştirme kabiliyeti kaybolur. Bu nedenle dövme alaşımlarına az alaşım elementi ilave edilir. (Toplam olarak %3-8) Alüminyum-Silisyum (Al-Si) alaşımı istisnai bir durum teşkil eder. %13 silisyumda bir ötektik alaşıma sahip olan bu alaşım en çok tanınan alüminyum döküm alaşımıdır.

Her ne kadar alüminyumun oksijene büyük eğilim var ise de oksijen, alüminyumun korozyona dayanımını yükseltir. Bunu sağlayan da metalin yüzeyinde

oluşup onu daha ileri bir oksitlenmeden koruyan, nüfuz ettirmez oksit filmidir. Alüminyum oksidi çok sert olduğundan, oksit filmi aşınmaya mukavemeti de artırır.

Çizelge.2.2 Başlıca alüminyum alaşımları ve bileşenleri (Ulucak , 1995)

Saf alüminyum nispeten yumuşak ve düşük mukavemetli olup, çekme mukavemeti; 90 N/mm^2 dir. Endüstriyel uygulamalarda bu yüzden alaşımlandırılarak kullanılırlar.

Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliği yüksektir. Yaklaşık bakırınkinin % 61'i kadardır. Bu oran, element ilavesi ile düşer. Yüksek ısı iletme özelliğinden dolayı içten yanmalı piston ve silindir kafaları gibi bazı uygulamalarda önemli olmaktadır.

Ticari alüminyumun ısı genleşme katsayısı, Çelik ve dökme demirinkinin yaklaşık iki katı kadardır. Silisyum dışındaki elementlerin bu katsayı üzerindeki etkisi azdır. Bazı silisyumlu alüminyum alaşımları motor pistonlarında olduğu gibi alçak ısı genleşme katsayısının arandığı yerlerde kullanılır(Higgins 1987).

2.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Yapısına Göre Sınıflandırılması

Alüminyum'a çeşitli özellikler vermesi için çeşitli metaller karıştırılır. İlave edilen metallere göre sınıflandırma yapılır. Bir alaşım 4 rakamdan oluşan notasyon ile tanımlanır. Birinci rakam, alüminyum ilâve edilen esas metali gösterir. A.B.D normlarına göre ;

1XXX	: Alaşımsız alüminyum
2XXX	: Bakır'lı alüminyum alaşımı
3XXX	: Manganezli alüminyum alaşımı
4XXX	: Silisyum'lu alüminyum alaşımı
5XXX	: Magnezyum'lu alüminyum alaşımı
6XXX	: Silisyum ve magnezyum'lu alüminyum alaşımı
7XXX	: Çinko'lu alüminyum alaşımı

2.3.2 Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlem Durumuna Göre Sınıflandırılması

Alüminyum yarı mamul veya mamuller üretildikten sonra belirli fiziksel özelliklere sahip olmaları için bazı işlemlerden geçirilirler. Genel olarak alüminyum alaşımları iki gruba ayrılırlar :

- 1- Isıl İşlem uygulanabilir alaşımlar (yaşlandırılabilir Al-alaşımları)
- 2- Isıl İşlem uygulanamayan alaşımlar

Her iki grup için, tatbik edilen işlemleri tanımlamak amacı ile kullanılan notasyonlar mevcuttur.

2.3.3 Mimari Uygulamalar İçin Üretilen Profiller

Tüm Dünyada, mimari amaç için üretilen profiller, genellikle 6XXX alaşımlarından, ekstrüzyon yöntemi ile üretilir ve görünümünün bozulmaması, yıllarca korunması için anodik oksidasyon (eloksal) ile renkli veya renksiz olarak kaplanırlar. Bu alaşımlar arasında da en yaygın kullanılanlar, birbirlerine son derece yakın kimyasal bileşime fiziksel özelliklere sahip olan 6063, 6060 veya AlMgSi0,5 alaşımlarıdır.

2.4 Alüminyum Profillerin Anodik Oksidasyonu

Mimari amaçla üretilen alüminyum profillerin görünüş bakımından cazibeli olmaları tercih edilir. Kullanım yerinde uzun yıllar görünümünün ve renginin bozulmaması istenir. Gerçekte, alüminyumun kendi tabiatı icabı varolan tabii oksit tabakası, alüminyumu hiçbir işleme gerek kalmadan yıllarca korozyona karşı korursa da, bu tabakanın (ki 1-2 mikron kalınlıktadır) kalınlığının daha da arttırılarak (10-25 mikron) görünümünün korunması garantiye alınır. Bu işlem, İngilizce kökenli "anodik oksidasyon" (anodizing, anodic oxidation) veya Almanca kökenli "eloksal" (eloxal) olarak tanınır. Bu yazımızda, her iki ifade de aynı şekilde kullanılmaktadır.

Anodik oksidasyon yapılması elektrolitik bir işlemdir ve birçok metotları vardır. Prensip, alüminyum profiller, asitli bir elektrolit içine anot olarak daldırılırlar. Anot ile katot arasına belli bir gerilim (doğru akım) tatbik edilir. Elektrolit çözünmeye uğrar ve profilin yüzeyinde bir oksit tabakası oluşur. Bu tabaka cam gibi saydamdır. Alüminyum, korozyondan koruyan bu tabakadır.

Mevcut olan birçok anodik oksidasyon metodu içinde, yeryüzünde en yaygın olarak kullanılan "Sülfürik Asitli Doğru Akım Metodu" dur(Ulucak 1995).

2.4.1 Profillere Anodik Oksidasyon Öncesi Yapılan İşlemler

Anodik oksit tabakası saydam olduğundan, profil yüzeyini gösterir. Yüzeyin mat veya parlak olması isteniyor ise anodik oksidasyon öncesi bu işlemler yapılmalıdır.

2.4.1.1 Parlatma Polisaj İşlemi

Profillerin yüzeyinin parlatılması için özel bezlerden imal edilen fırçalar yüzeye özel cilası ile tatbik edilerek parlatma yapılır. Eğer yüzeyde aşırı çizgi var ise, parlatma fırçaları bunları temizleyemediğinden, parlatma öncesinde özel sisal fırça veya bant zımpara işlemi ile çizgiler giderilir, sonra parlatma yapılır.

2.4.1.2 Zımparalama İşlemi

Zımparalama işleminin iki amacı olabilir :

- Parlatma öncesi, yüzeyde olan çizgileri gidermek
- Değişik tip zımparalar kullanılarak, yüzeye özel desenli çizgiler yerleştirmek.

2.4.1.3 Satınaj İşlemi

Satınaj işlemi; mat görünümü, fiziksel metot ile vermek için, yüzeyi özellikle çok sayıda çizgi ile donatmakta kullanılır. Paslanmaz çelik telli daire fırçalar ile yapıldığı gibi, Scotchbrush olarak tanınan özel daire fırçalar ile de tatbik edilebilir. (Her iki tip fırçanın makinası ayrıdır.) Kullanılan fırçaların özelliklerine göre yüzey görünümü değişik olabilir.

2.4.1.4 Endüstriyel Eloksal

Bu yüzey görünümü için, eloksal öncesi hiçbir mekanik (fiziksel) işlem yapılmaz. Profil, doğrudan eloksal tesisine gelir, sadece kostik banyosunda belirli süre tutularak bir matlık temin edilir. Elde edilen bu matlık, çoğunlukla yüzey çizgilerini yok etmekte yeterlidir. Maliyeti düşük olduğundan çoğu Batı ülkelerinde tercih edilen yüzey tipidir.

2.4.2 Anodik Oksidasyon Yöntemi

Profiller, anodik oksidasyon elektrolitine daldırılıp cereyan verilmeden önce bir dizi kimyasal işlemlerden geçirilirler. Bu işlemler :

- a) **Yağ alma** : Profillerin yüzey temizliğini temin içindir.
- b) **Kostikleme** : Yağ alma işleminde temizlenemeyen pislik ve yağların temizlenmesi ve gereğinde yüzeye matlık vermek için uygulanır.
- c) **Nötralizasyon** : Kostik işleminde oluşan reaksiyon çamurunu temizler.
- d) **Anodik Oksidasyon (Eloksal)** : 2.4 maddesinde açıklanan işlem ile koruyucu oksit tabakası yüzeye kaplanır. Oksit tabakasının da uzun ömürlü olmasını temin etmek için "tespit işlemi" yapılır.
- e) **Tespit İşlemi (Sealing)** : Profiller, PH değeri ayarlanmış kaynar su banyosunda veya özel bir kimyasal bileşim içeren özel bir emprenye banyosunda belirli bir bekletilir. Bu şekilde eloksal tabakasının gözenekleri hacmen büyür ve gerek fiziksel gerekse de kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı artar.

Yukarıda özetlenen tüm işlemler arasında, profiller yıkanarak, işlemin kaliteli olması ve kimyasalların birbirlerine karışmaması temin edilir(Ulucak 1995).

2.5 Alüminyum Profillerin Renklendirilmesi

Alüminyum'un gümüşü beyaz renginin yanı sıra, çeşitli renklerde hazırlanmış profiller mimari ve dekorasyon sahalarında kullanılmaktadır.

Genel olarak renklendirme birbirine alternatif olan iki metot ile yapılır.

- Boyama
- Eloksallı alüminyum için renklendirme

2.5.1 Boyama

Boyama işlemi, ağaç, demir-çelik ve diğer malzemelere yapılan boyama gibidir. Alüminyum profillere, kimyasal konversiyon (kromatlama veya kromatlama muadili kaplama) işlemi yapılır ve sonra "yaş boyama" (powder coating) (lâke) metotlarından birisi ile istenen renklerde boyanır.

2.5.2 Eloksallı Alüminyumun Renklendirilmesi

Eloksallı alüminyumun renklendirilmesi, en yaygın olan yöntemdir. Çünkü, eloksal tabakası, bugün için bilinen tüm alüminyum koruma metotları içinde en iyi, en dayanıklı olanıdır.

Alüminyum profillerin eloksal ile renklendirilmesi de birbirine alternatif olan iki yöntem ile yapılabilir :

- Tek-etaplı renklendirme,
- İki-etaplı renklendirme

2.5.2.1 Tek Etaplı Renklendirme

Bu yöntem, Entegral Anodik Renklendirme (Integral Colour Anodizing) olarak tanınır ve daha çok A.B.D. de kullanılır. Eloksal banyosu aynı zamanda renklendirme banyosu işini görür. Bu banyonun elektroliti, normal eloksal banyosuna göre değişiktir ve ayrıca çok daha yüksek voltajda çalıştırıldığından daha çok enerji sarf eder. Ayrıca, elde edilebilen renk profilin alaşımına bağlı olduğundan kısıtlı şartlar altında çalışılır. Tüm bu nedenler ile A.B.D. firmaları da iki-etaplı renklendirme yöntemine geçiş yapmaktadırlar.

2.5.2.2 İki Etaplı Renklendirme

İsminden anlaşılacağı gibi, anodik oksidasyon ve renklendirme için iki ayrı banyo kullanılır. Profilin önce anodik oksidasyon yapılması şarttır. Daha sonra profil yıkanır ve renklendirme banyosuna girerek, istenen renk tatbik edilir. Bu yöntemle renklendirme ikiye ayrılır :

- Daldırma ile Boyama
- Elektrolitik Renklendirme

Daldırma İle Boyama: Renklendirme banyosu (Boyama Banyosu), çeşitli firmaların pazarladığı özel bileşimli boyanın sulu bir çözeltisidir. Bu yöntem ile boyamada, renk verici pigmentler, eloksal tabakasının gözenekleri arasına emilir ve tabakanın üstünden bir miktar altına kadar tabakaya nüfuz ederler.

Boya banyosundan çıkan profile, yıkandıktan sonra tespit işlemi uygulanır.

Elektrolitik Renklendirme: Bu yöntemde, renklendirme banyosu, bazı metal tuzlarının sulu bir çözeltisidir ve elektroliz yolu ile renklendirme yapıldığından elektrotları bulunur. Profil banyoya konur ve profil ile elektrotlar arasından alternatif akım geçirilir. Çözelti içindeki metal iyonları harekete geçerek, eloksal tabakasına nüfuz ederler. Bu yöntemde, absorpsiyon yerine elektriksel güç kullanıldığından, renk verici pigmentler, tabakanın en derin sınırına, profil yüzeyi ile eloksal tabakası ara sınırına kadar inerler. Böylece, elektrolitik yöntem ile elde edilen renkler, daldırma yöntemi ile elde edilen renklere oranla, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı çok daha dayanıklıdır.

Elektrolitik renklendirme için, çok sayıda ticari kimyasal mevcuttur. Bunlardan en eskisi Alcan Aluminium lisansı ile yapılan ANOLOK yöntemidir. ANOLOK 54x prosesinde Kobalt (Co) metalinin tuzunun kullanılır. Burada, renk verici pigment Co elementidir ve gerek laboratuvar, gerek ise endüstriyel uygulamaların gösterdiği netice, Kobalt ile elde edilen renklerin, diğer metal tuzları (kalay-bakır, nikel vs.) ile elde edilen renklere göre her bakımdan daha uzun ömürlü ve daha iyi kaliteli olduğudur.

Bununla birlikte, Co prosesinin başlangıçta lisanslı bir proses olması ve Co fiyatlarının stabil olmaması yüzünden, Kalay (Sn) bileşiklerini kullanan yöntemler, dünyada en yaygın kullanılan yöntem olmuşlardır.

2.6 Alüminyum Alaşımları İçin “Isıl İşlem/Kondisyon” Gösterimleri

Döküm veya biçimlendirilmek suretiyle elde edilen, Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısı işlem durumları, ilave edilen bir veya birkaç harf ile belirtilmektedir.

Esasen 4 tür ısı işlem göstergesi kullanılmaktadır. Bunlardan (O) tavlı ; (F) fabrikasyondan sonraki hali ; (H) rekristalizasyon sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan plastik şekillendirme sonucu sertlik ve mukavemetin artışı (T) ısı işlem halini göstermektedir. (W) solüsyona alma ısı işleminden sonraki kalıcı olmayan

yapıyı göstermekle beraber, şayet zamanı verilmiş ise o takdirde belirli bir ısı işlem ifade edilmiş olmaktadır(Ersümer ,1960).

Çeşitli ısı işlemlerin niteliklerine ait açıklamalar aşağıda verilmiştir.

F - Fabrikasyondan sonraki hali (üretildiği gibi) : Bu kondisyon; Mukavemet veya sertliğini değiştirmek amacıyla hiçbir ilave işlem yapılmaksızın, imâl edildikten sonraki fiziksel yapısını belirtmektedir. Biçimlendirilen alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin hiçbir garantisi yoktur. Döküm hali için, örneğin 43-F işareti kullanılmaktadır(Kolobnev 1961).

O - Tavlı, rekristallize olmuş hali : Biçimlendirilebilen alüminyum alaşımlarının en yumuşak kondisyonudur(Kolobnev 1961).

H - Genellikle, yassı ürünler (levha/sac) için kullanılan bir notasyondur. Soğuk haddeleme (Rekristalizasyon sıcaklığının altında yapılan plastik şekillendirme) sonucu ve kısmi bir yumuşama elde etmek üzere ilave ısı işleminin yapılmamasına rağmen biçimlendirilebilen alüminyum alaşımlarında elde edilen mukavemet ve sertlik artışını ifade eder. (H) dan sonra ekseriya iki veya daha fazla rakam vardır. İlk rakam, esas işlemleri ifade eder. Daha sonraki rakamlar, plastik şekillendirme sınırları içindeki nihai fiziksel özelliklerini belirtir. Bu rakamların ifade ettiği özellikler aşağıda belirtilmiştir :

H 1 : Plastik şekillendirme sınırları içinde sadece şekil verilmiştir. İkinci rakam, yapılan soğuk işlemi ifade etmektedir. Şöyle ki ; 8 rakamı erişilebilen en sert hali ifade eder. Böylece (H18) Bu sonucu gösterir. En sert ile yumuşak arasındaki orta sertlik (H14) şeklinde ifade edilir. Aynı şekilde dörtte bir sertlik ise (H12) şeklinde belirtilir. Üçüncü rakam, ekseriya ayrı özellikleri belirtmek için kullanılır. Şöyle ki ; (H141), (H14) sağladığı aynı minimum özellikleri vermekle beraber maksimum değerler standart değerlere daha çok yakındır. Üçüncü rakam, (H14) den daha farklı değerleri ifade etmekle beraber (H13) veya (H15) in yerine kaim olacak ölçüde değildir. Çok sert özellikler, üçüncü rakam olsun veya olmasın, ikinci rakam olarak (9) kullanıldığı zamanı belirtilirler. (H112) işareti "kontrollü" olarak, F-ısı işlem halinin garanti edilmiş mekanik özelliklerini gösterir(Kolobnev 1961).

H 2 : Plastik şekillendirmeden sonra kısmi tav halini ifade eder. Alaşımın plastik şekil alma sonucu belirli bir mukavemet ve sertlik sağladıktan sonra kısmen tav yapılarak bu değerlerin istenen sınırlar içine indirilmesi demektir. Bu durum, ilk

rakamın 2 olarak yazılması ile belirtilir. İstenen kalıcı mukavemet ve sertlik (H1) de olduğu gibi ikinci rakam ile belirtilir. Örneğin : H28 tam sert, H24 yarı sert'i ifade eder. Oda sıcaklığında yaşlanma yumuşaması sağlayan alaşımların H2 hali H3 ün fiziksel özelliğine eşit olmaktadır. Diğer alaşımlar bahis konusu olduğunda, H2 hali yaklaşık olarak H1'in fiziksel özelliklerine eşit olmakla beraber, uzama kat sayısı biraz daha fazladır(Kolobnev 1961).

H 3: Plastik şekillendirme ve bilahare stabilizasyon hali. Magnezyum ihtiva eden alüminyum alaşımları düşük sıcaklıklarda ısıtılmak suretiyle stabilize edilerek mukavemetleri biraz azaltılırken onların şekil alma özellikleri artırılmaktadır. Bu işlem yapılmaz ise, bahis konusu değişiklik oda sıcaklığında çok uzun sürede meydana gelir. Bu işlem (H) dan sonraki üçüncü rakam ile ifade edilmektedir. Plastik şekillendirme işlemi de (H) dan sonraki iki veya ilk rakam ile ifade edilir(Kolobnev 1961).

W : Solüsyona alma ısıl işleminden sonraki kalıcı olmayan yapıyı ifade eder. Bu hal doğal yaşlanmadan (natural aging) ötürü, yaşlanma süresinin verilmesi ile belirtilmiş olur. Örneğin 2024 W (1/2 saat), 7075 W (2 ay) vb.

I : F,O,H halleri dışında, yapıda stabilizasyon sağlanması amacıyla uygulanan ısıl işlemleri belirtmektedir. Bu harf plastik şekillendirme yapılsın veya yapılmasın yapının stabil hale gelmesi için uygulanacak ısıl işlemi ifade eder. T harfinden sonra 2'den 9'a kadar rakam eklenebilir. Bu rakamlar uygulanacak belli başlı işlemleri gösterirler. 6061-T6 rumuzu alındığında, bahis konusu alaşım için esas işleme ilave olarak değişik özellikleri sağlayacak şekilde ayrı işlemlerin uygulanması istendiğinde bu esas rumuza ilaveler yapılmaktadır. Şöyle ki ; 6061-T62'de olduğu gibi. Oda sıcaklığında tabii yaşlanma, esas ısıl işlemler yapılırken veya yapıldıktan sonra uygulanabilmektedir. Süre, metalürjik açıdan önem taşıyorsa o zaman kontrol edilir. Fakat aksi halde belirtilmemiş olur(Kolobnev 1961).

T : T notasyonu, ısıl işlem yapılarak elde edilen temperleri ifade eder. Isıl işlemlerinin değişik türleri, aşağıdaki harf ve rakam göstergeleriyle ifade edilmektedir.

T1 : Sıcak işlemden sonra soğutulur ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T2 : Sıcak işlemden sonra soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T3 : Solüsyona alma ısıl işlemi uygulanır, soğuk işlemden geçirilir, ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir

- T4: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, yapay yaşlanma ile sertleştirilir (Termik)
- T5: Sıcak işlemden sonra soğutulur ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir (Termik)
- T6: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir (Termik)
- T7: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve aşırı yaşlanma yapılır.
- T8: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, soğuk işlemden geçirilir, ve yapay yaşlanma yapılır (Termik)
- T9: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, yapay yaşlanma yapılır (termik) ve soğuk işlemden geçirilir.
- T10: Sıcak işlemden soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve yapay olarak yaşlandırılır (Termik).

Solüsyona alma ısıl işlemi: Alüminyum alaşımı bünyesindeki alaşım elemanlarını katı çözeltiliye almak için malzemenin 520 ° C veya üzerinde belirli bir süre tutulup ani olarak soğutulması. Bazı alüminyum alaşımlarında (örneğin 6060/6063/AlMgSi0.5) ekstrüzyon gibi sıcak bir prosesten sonra malzemenin hava ya da su ile ani soğutulması, solüsyona alma ısıl işlemi sonucunu verir.(Ulucak 1995)

Doğal yaşlandırma: Alüminyum alaşımının oda sıcaklığında bekletilmesiyle, katı çözeltili içindeki alaşım elemanlarının katı çözeltiliden ayrılıp çökerek "çökme sertleşmesi" mekanizması ile malzemenin sertliğinin artması.(Ulucak 1995).

Yapay yaşlandırma: Doğal yaşlandırma ile elde edilemeyecek kadar yüksek sertlik değerlerinin bir ısıl işlem fırında belirli sıcaklık ve sürede yapılması. (Örnek: 6060/6063/AlMgSi0.5 alaşımı için 180 °C sıcaklıkta 5 saat). (Ulucak 1995)

2.7 Alüminyum Alaşımlarında Çökme Sertleşmesi

2.7.1 Alüminyum Alaşımlarında Çökme Sertleşmesinin Gelişimi

Bir metalin plastik deformasyona karşı direncini arttırmak için üç önemli metot vardır. Bunlar : soğuk şekil verme, katı eriyik oluşturma ve çökme sertleşmesidir. Metalik malzemelerde yüksek mukavemet elde edilebilmesi için bu metotlardan bir veya daha fazlası bir arada kullanılabilir. Bunların ilk ikisi çok eskiden beri bilinir. Sonuncusu olan çökme sertleşmesi ise 1906-1909 yılları arasında Alfred Wilm'in gözlemleri ve deneyleri sonucu ortaya çıkmıştır. Wilm çeliktekine benzer tarzda

alüminyuma yüksek sıcaklıklarda su verme ile alüminyumun sertleşebilirliğini araştırmış ve duraliminyuma 500 ° C da su verdikten sonra zamanla sertliğinin arttığını tesadüfen keşfetmiştir. (Martin 1968)

Duraliminyumun sertleşmesinin esas sebebini Wilm anlayamamasına karşın, Merica ve arkadaşları çığır açan araştırmalarında sıcaklık düştükçe alüminyumda bakırın katı eriyebilirliğinin düştüğünü gözlemlediler. Yüksek sıcaklıklarda alaşımın homojen bir katı eriyik olacağını ve bu aşırı doymuş katı eriyikte çökeltme ile düşük sıcaklıklarda yeni bir fazın oluşacağını bununda sertleşmeye imkan vereceğini ileri sürdüler. (Martin 1968)

Çökeltme sertleşmesinin keşfinden sonra alüminyum esaslı alaşımlar (özellikle alüminyum bakır alaşımları) üzerinde çok geniş olarak çalışıldı. fakat optik mikroskopun yetersiz olması nedeniyle yaşlanmanın ilk safhalarında vuku bulan yapısal değişimleri anlamada az bir ilerleme sağlandı. Ancak 1930 lu yılların sonlarına doğru Guiner ve Preston'ın birbirlerinden bağımsız olarak yaptıkları X-ışınları difraksiyon tekniği çalışmaları çökeltme sertleşmesinin anlaşılmasına yeni bir boyut kazandırmıştır. (Martin 1968)

Mott ve Nabarro'nun açıklamalarına rağmen 1940-1950 yılları arasında yaşlanma olayının anlaşılmasında önemli bir ilerleme sağlanamamıştır. 1950'li yıllarda çalışmalr çökeltme mekanizmaları üzerindeki çalışmalardan, mukavemet artırma mekanizmaları hakkındaki açıklayıcı çalışmalara yöneldi. Böylece bütün karmaşıklığı ile birlikte aşırı doymuş katı çözültiden çökeltme işleminin sonucunun anlaşılması hemen hemen elli yıl aldı. Yaşlandırılmış alaşımların mikro yapılarının incelenmesi transmisyon elektron mikroskopisindeki uygulamalarla hız kazanmıştır. 1960'lı yıllarda çalışmalr çökeltme sertleşmesi mekanizmalarını anlamada etkili katkılar yapıldı. Bu çalışmalr ile istif hataları (kusurları) ile mukavemetlendirme ve koherant (uyumlu) mukavemetlendirmenin ayrıntılı ilk teorileri oluşturuldu. (Ardell 1985, Martin 1968)

2.7.2 Çökeltme Sertleşmesinin Isıl İşlem Safhaları

Çökeltme sertleşmesi, denge diyagramında solvüs eğrisi içeren alaşım sistemlerine uygulanabilir. (Şekil.2.1) Gerekli şart alaşım elementi eritebilirliğinin sıcaklık düştükçe azalmasıdır ki bu durumda aşırı doymuş katı eriyik elde edilebilir.

(Polmear 1981) Neticede zaman ve sıcaklığın etkisi ile aşırı doymuş katı eriyikten yeni bir fazın çökmesi sağlanır.

Çökeltme sertleşmesi ısı işleminin en genel şekilde aşağıdaki safhaları gösterir:

1-Katı çözeltiliye alma

2- Su verme

3-Yaşlandırma

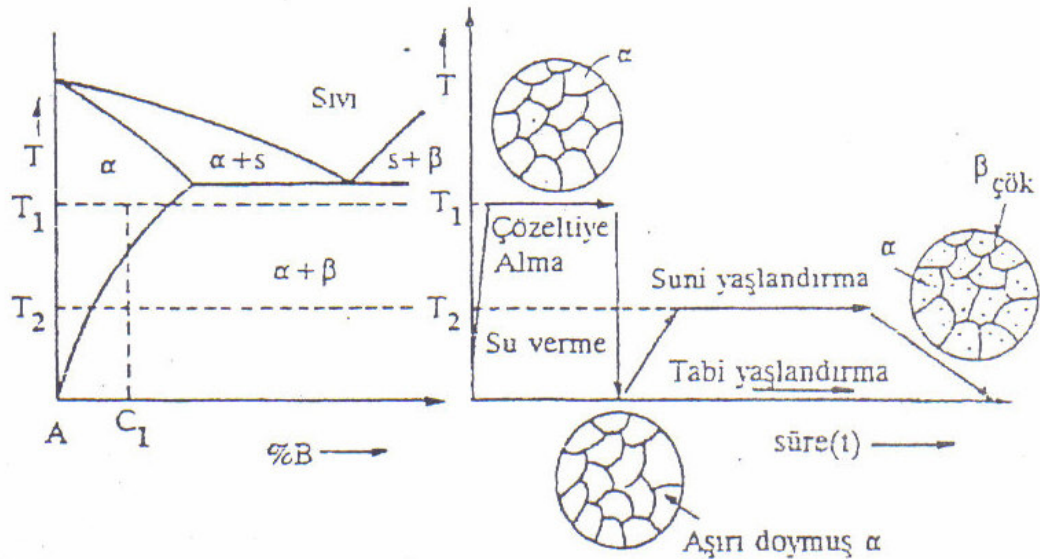
a) Tabii yaşlandırma

b) Suni yaşlandırma

2.7.2.1 Katı Çözeltiliye Alma

Katı çözeltiliye alma ısı işleminin, çözünen elementin katı eriyik içerisine girmesini sağlamak için uygun bir sıcaklıkta uzun süre tutma ile gerçekleşir.

Şekil.2.1 de görüldüğü gibi C_1 kompozisyonundaki alaşım önce katı eriyik elde etmek için T_1 sıcaklığına ısıtılır ve bu sıcaklıkta β fazının tamamen çözüneceye kadar beklenir. Bu işlem katı çözeltiliye alma ısı işleminin bir safhasıdır.



Şekil.2.1 Yaşlandırılabilir bir alaşımın yaşlandırma safhalarının şematik gösterilişi

Homojen bir katı eriyik elde etmek için kafi derecede yüksek sıcaklıkta tutmak gerekir. Basit bir ikili sistem denge diyagramında katı çözeltiliye alma sıcaklığını kolayca

belirtmek mümkün olmasına karşın impürite ve alaşım elementlerinin mevcudiyeti katı eriyebilirlik limitlerinin gerçek değerlerini ve denge veya denge dışı sıcaklıklarını değiştirirler. Diğer taraftan alaşım kompozisyonlarında ve katı çözeltiliye alma işlemi esnasında tuz banyosu veya fırın içindeki sıcaklık dağılımlarının üniform olmasının mümkün olması sebebiyle pratikte kullanılan katı çözeltiliye alma sıcaklıkları teorik olarak maksimum sıcaklığın altında olmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus alaşımın ötektik ergime sıcaklığını geçmemek gerekir. (Hatch 1984, Metals H. 1971).

Ötektik ergimeye karşı emniyet açısından ergime sıcaklığının ~ 3 °C altında kalmalıdır. Alaşımın ötektik ergime sıcaklığının aşılması durumunda tane sınırları ergimesi meydana gelir ki buda malzemelerde kırılmalık yapar. Buda tehlikeli durum tahribatsız muayene ile belirlenemez. (Metals H.1971).

Diğer taraftan difüzyon hızını artırılması açısından, alaşım kompozisyonuna bağlı olarak en düşük sıcaklık solvüs çizgisinin kestiği noktanın ~ 2 °C yukarısında almalıdır. (Metals H. 1971). Katı çözeltiliye alma sıcaklığı alaşımın mekanik özelliklerine etki etmektedir. (Hatch 1984, Martin 1968, Metals H. 1971). Çözeltiliye alma sıcaklığı arttıkça malzemenin akma, çekme mukavemetleri değerlerinde artış sağlanmaktadır.

Isıtma genelde hava ortamında yapılır. Fakat ergimiş tuz banyolarında ve akışkan yatakta yapılan ısıtmalar yüksek ısıtma hızları sağlar. Bu sebeple avantajlıdır. Katı çözeltiliye alma zamanı ürünün tipine, alaşımına, üretim şekline ve parça kalınlığında bağlıdır.

2.7.2.2 Suverme

Su vermenin amacı çözeltiliye alma sıcaklığında oluşturulan katı çözeltiliden hızlı soğutma ile oda sıcaklığında aşırı doymuş katı eriyik elde etmektir. Burada esas olan sadece çözünen atomları çözeltilide tutmak değil zon oluşumu için gerekli ve düşük sıcaklıklarda difüzyon gerçekleşmesine yardımcı olan boş yerlerin sayısını maksimum miktarda korumayı da sağlar. (Hatch 1984)

Kazanılabilecek en yüksek mukavemet ve de en iyi tokluk ve mukavemet kombinasyonları yüksek su verme hızları ile gerçekleştirilebilir. Korozyon ve gerilmeli

korozyon çatlaklarına direnç de diğer karakteristiklerdir. Bunlar yüksek su verme hızları ile iyileştirilebilir. (Hatch 1984, Mondolfo 1976)

Suverme esnasında istenmeyen çökeltilerden kaçınmak için iki şartın sağlanması gerekir: (Metals H.1971)

1- Çok hızlı çökelmenin meydana geldiği 400°C dan 290°C sıcaklık aralığında yavaş ön soğutmaya engel olmak için fırından su verme ortamına nakil zamanı kafi derecede kısa olmalıdır.

2- 400°C dan 290°C sıcaklık aralığındaki soğutma esnasında hiçbir çökeltinin meydana gelmemesi için su verme ortamının hacmi, ısı absorblama kapasitesi ve akış hızı parça için gerekenden büyük olmalıdır.

2.7.2.3 Yaşlandırma

Su verildikten sonra oda sıcaklığında aşırı doymuş katı eriyik halinde olan alaşımlar oldukça sünek bir özelliğe sahip olup plastik şekil verme için çok uygundur. Ancak alaşımlar solvüs eğrisi altındaki herhangi bir sıcaklıkta belirli bir süre tutulması sonucu ikinci faz çökeltileri oluşur. Alaşımın sertliği ve mukavemeti artar. Bu olaya yaşlandırma ve çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi denir.

Bu alaşımların oda sıcaklığında birkaç gün bekletilmesi sonucu ikinci faz çökeltileri oluşur. Bunun neticesinde bu alaşımlar birçok uygulama alanları için elverişlidirler. Oda sıcaklığında düşük çökeltme reaksiyonu gösteren alaşımlar kullanılmadan evvel daima bu ısıl işlem uygulanır. (Metal H. 1971)

Yaşlandırma işlemlerinde zaman ve sıcaklık çevrimi dikkatli bir şekilde göz önüne alınmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda ve uzun sürelerde yapılan yaşlandırmalar sonucu birbirinden uzakta ve sayıları az kaba taneli çökeltiler oluşur. Amaç optimum çökelti boyutu ve dağılımını veren zaman-sıcaklık çevrimi seçmektir. Şanssızlıktır ki, çekem mukavemeti gibi özelliği maksimize etmek için gereken çevrim, akam mukavemeti veya korozyon direnci gibi bir özelliği maksimize etmek için gerekenden farklıdır. (Metal H.1971)

Sonuç olarak 100°C nin altında yapılan yaşlandırma işlemleri tabii yaşlandırma, yüksek sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma işlemleri suni yaşlandırma olarak kabul edilir.

Yaşlandırma neticesinde oluşan çökelti partiküllerin cinsinin, miktarının ve büyüklüğünün malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Genellikle bu ısıl işlem malzemelerin mukavemetlerinin artırılması amacıyla uygulanır. Ancak burada çökeltme sertleşmesi yoluyla malzeme mukavemeti artışının kısada olsa teorik açıklanmasının verilemesi yerinde olacaktır.

2.7.3 Çökeltme Sertleşmesinde Mukavemet Arttırıcı Mekanizmalar

Çökeltme sertleşmesi ile mukavemet arttırma mekanizması, yaşlandırma sonucu oluşturulan intermetalik faz partiküllerinin dislokasyon hareketlerini sınırlaması ile malzemelerin plastik deformasyon direncini arttırma esasına dayanır.

2.7.4 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırılabilir Alaşımların Yeri

Alüminyum düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci gibi üstün özelliklerinden dolayı makine, taşıt ve yapı endüstrisinde geniş olarak yararlanılmaktadır.

Alüminyumun diğer metallere göre daha hafif oluşu ve aynı hacme sahip çelik, bakır ve pirincin yaklaşık 1/3 katı ağırlığındadır. Aynı ağırlıktaki malzemeler esas alındığında bir çeliğe göre 8 kat daha rijit, 3 kat daha mukavemetli olmuş olur.

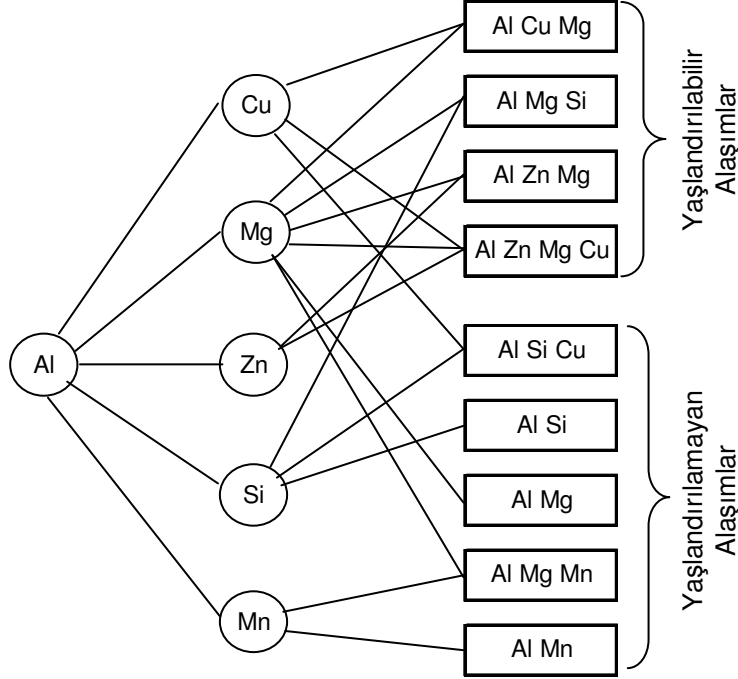
Saf halde çok yumuşak olan alüminyum , alaşımlandırma, soğuk haddeleme ve ısıl işlem gibi yöntemlerle mukavim hale getirilir.

Alaşım elementleri alüminyumun mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde çok önemli rol oynamalarına rağmen, çoğu kere sadece mukavemet arttırmak için alüminyuma ilave edilirler. (Hatch 1984)

Alüminyum alaşımlarının mukavemetini arttırmada genel olarak iki metot kullanılır. (Hatch 1984)

- 1- Katı eriyik içerisinde alaşım elementlerini çözmek ve uyumlu küçük partiküller olarak çökertmek,
- 2- Katı eriyik içerisinde alaşım elementlerini disperse etmek ve alaşıma soğuk işlem uygulamak.

Genel olarak alüminyum alaşımları ve bu alaşımlara uygulanan işlemler Şekil.2.2 de görülmektedir.



Şekil.2.2 Başlıca alüminyum alaşımları (Hatch 1984)

Bu alaşım sistemlerine ilaveten alüminyum alaşımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için antimon, arsenik, berilyum, bor, indiyum, kadmiyum, kalsiyum, krom, nikel, seryum ve titanyum gibi elementlerle alaşımlandırılabilir. (Hatch 1984)

2.8 Yaşlandırılabilir Alüminyum Alaşımları

Alüminyumda sekiz elementin katı eriyebilirliği % 1 den fazladır. Fakat bu elementlerin düşük sıcaklıklarda katı eriyebilirlikleri çok düşüktür. Bu özelliklerden dolayı yaşlandırma ile çökelti partikülü oluşturarak alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin iyileştirmesine fırsat verilir. (Hatch 1984)

Bu alaşım elementlerinden gümüş, galyum ve germaniyumun çok pahalı olması ve lityum'un proses (işlem) güclüğü nedeniyle özel alaşımlarda kullanılır. Diğer dört

element çinko, magnezyum, bakır ve silisyum yaşılandırılabilir ticari alüminyum alaşımlarını oluşturulmasında kullanılır. (Hatch 1984)

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Etial 60 Ve Standartlardaki Eşdeğerleri

Bileşim Etial 60 a yakın standart alaşımlar Avrupa ülkeleri ile ABD, Kanada ve Japonya'yı içerecek şekildedir. Ülkemizde Seydişehir ürün kataloğunda Etial 60 alaşımının AA 6063 ve DIN AlMgSi0.5'e karşılık olduğu belirtilmiştir. Diğer Avrupa ülkelerinin standartlarında belirlenmiş olan ve bileşimi Etial 60'a yakın alaşımların bileşimleri Çizelge3.1 de listelenmiştir. AA 6063 kodlu alaşımının bileşimi ISO AlMg0.5Si ile aynıdır ancak, dört rakamlı AA kodları alfanümerik kodlara göre daha basit olduğundan daha yaygın olarak kullanılmaktadır. AA 6063 alaşımının bileşimi ile Etial 60'ın bileşimi arasında bazı farklılıklar vardır. Bu nedenle standartlara ait literatür taranırken yalnız AA6063'e eşdeğer olan standartlar taranmış, konuya ışık tutabilmesi açısından benzer bileşimdeki diğer alaşımlar da taranarak daha geniş bir liste oluşturulmuştur. Bu alaşımlar bileşimlerine göre gruplandırılarak Çizelge.3.1 de gösterilmiştir. Her bileşimin geçerli olduğu ülkeler Çizelge.3.2 de, alaşım kodlarına göre hazırlanmış bir liste Çizelge.3.3 de, değişik temper durumlarındaki mekanik özellikler Çizelge.3.4'de bulunabilir.

Bu alaşımlar arasında kontrollü alaşım elementlerinden olan silisyum yüzde 0.2 ile 0.7 arasında, magnezyum ise yüzde 0.35 ile 0.9 arasında oynamaktadır. Bu bileşim aralığı MgSi bileşiğinin alaşımdaki yüzdesi olarak hesaplandığında yüzdesi olarak hesaplandığında yüzde 0.55 ile 1.4 arasında olduğu görülmekte, bunun yanı sıra stokiyometrik Mg₂Si oranına göre yüzde 0.19 ile 0.5 arasında fazla silisyum bulunmaktadır. Kontrollü kalıntı elementi demir için bazı standartlarda alt ve üst limitler belirlenmiş, diğerlerinde ise yalnız üst limitle yetinilmiştir. Üst demir limiti genelde yüzde 0.3 civarında olup bazı standartlarda yüzde 0.5 e kadar çıkmaktadır. Yukarıda bahsi geçen fazla silisyum alaşımdaki bu demir tarafından AlFeSi fazları olarak öncelikle bağlanacaktır. Dolayısıyla demirin yüksek olduğu standartlarda Mg₂Si oluşumuna yeterli silisyum bırakabilmek için silisyum miktarı daha yüksek tutulmuştur. Kalıntı elementlerinden titanyum ile çinkonun genelde yüzde 0.1 ile 0.2 nin altında olmaları istenmekle birlikte, bazı kalıntılar grubuna dahil edilmiştir. Diğer kalıntıların toplamı yüzde 0.15 in olması gerektiğinden, bu alaşımlarda titanyum ve çinkonun yüzde 0.05'den daha da düşük olması gerekebilecektir. Kalıntı elementlerinden bakır ile yüzde

Çizelge.3.1 Etal 60'a benzer bileşimdeki diğer standart alaşımlar (Gall ve Boyer 1985)

No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğerleri(1)	Ülkeler(2)
1	0.20-0.60	0.35	0.10	0.10	0.45-0.90	0.10	0.10	0.10		2,10,12,13
2	0.30-0.70	0.35	0.10	0.10	0.40-0.90	-	0.2	0.02-0.2		16
3	0.50-0.60	0.30	0.10	0.10	0.45-0.60	0.05	0.15	0.10		11
4	0.30-0.60	0.2-0.4	0.05	-	0.40-0.60	-	0.05-0.15	-		4
5	0.30-0.70	0.35	0.10	0.10	0.45-0.90	0.10	0.20	-	Ti-Zr=0.20	9
6	0.30-0.60	0.10-0.30	0.10	0.10	0.35-0.60	0.05	0.15	0.10		1,3,5,6,7,10
7	0.30-0.70	0.5	0.10	0.30	0.40-0.90	0.10	0.20	0.2		14,16
8	0.35-0.70	0.3	0.05	0.10	0.40-0.80	0.05	0.20	0.1		15,3
9	0.30-0.60	0.35	0.10	0.10	0.45-0.90	0.10	0.10	0.10		10
10	0.30-0.70	0.5	0.10	0.10	0.40-0.90	-	0.20	0.15		17
11	0.30-0.70	0.5	0.10	0.30	0.40-0.90	0.10	0.20	-	Ti-Zr=0.20	18,19
Etal60	0.30-0.70	0.3	0.1	0.2	0.40-0.90	0.05	0.10	0.10		

- (1) Bütün standart alaşımlarda diğer kalıntı elementlerinin herbiri % 0.05, toplamı %0.15'den az olmalıdır. 4 ve 12 nolu alaşımlar için bu limitler belirtilmemiştir.
- (2) Ülkeler Çizelge.3.2 de gösterilmiştir.

0.05 ile 0.1 in altında olması istenilirken mangan limitleri arasındaki fark geniş olup yüzde 0.1 ile 0.3 arasında oynamaktadır.

Çizelge.3.2 Etial 60'a benzer bileşimdeki alaşımların ülkelere göre dağılımı
(Gall ve Boyer 1985)

No	Ülke	Alaşımların		Standart
		Adı	Bileşimi ⁽¹⁾	
1	Avusturya	AlMgSi0.5	7	ÖNORM M 3426, 3430
2	ABD	AA 6063	1	AA, ASTM, ASME, ASM
3	Almanya	AlMgSi0.5	7,9 ⁽²⁾	DIN 1725
		3.3206	7,9 ⁽²⁾	
4	Çek Cumhuriyeti	424405	4	CSN 424405
5	Fransa	6060	7	NF A 50-411
6	İngiltere	6063	1	BS 1471-1475
7	İtalya	3569-66	7	UNI P-AlMgSi
8	ISO	Al-Mg0.5Si	1	ISO R 209
9	İspanya	L 3441	6	UNE 38337
10	İsveç	4103	7	SIS (4103) (4104)
		4104	11	
11	İsviçre	AlMgSi0.5	3	VSM 10905
12	Japonya	A 6063	1	JIS A 6063
13	Kanada	6063	1	CSA HA
14	Macaristan	AlMgSi	8	MSZ 3747-1
15	Norveç	17310	9	NS (17310)
16	Polonya	PA 38	2	PN H-88026
17	Rusya	1310	11	GOST 4784
18	Türkiye	AlMgSi	12	TS 412
19	Yugoslavya	AlMgSi0.5	12	JUSC.C2.100
(1) Bileşimler Çizelge.3.1 de verilmiştir.				
(2) Bileşim limitleri değişik kaynaklarda farklıdır.				

Çizelge.3.3 Etial 60'a benzer bileşimdeki standart alaşımların adları (Gall ve Boyer 1985)

Alaşım Adı	Bileşim No ⁽¹⁾	Ülke
A 6063	1	Japonya
Ab 31	11	Rusya
AlMgSi	8	Macaristan
	12	Türkiye
Al-Mg0.5Si	1	ISO
AlMgSi0.5	7	Avusturya
	7,9	Almanya
	3	İsviçre
	12	Yugoslavya
L 3441	6	İspanya
PA 38	2	Polonya
3.3206	7,9	Avusturya, Almanya
1310	11	Rusya
3569-66	7	İtalya
6060	7	Fransa ⁽²⁾
6063	1	ABD, İngiltere ⁽³⁾
		Japonya, Kanada ⁽⁴⁾
4103	7	İsveç
4104	11	İsveç
17310	9	Norveç
(1) Bileşimler Çizelge.3.1 de verilmiştir.		
(2) Eski adı A-GS		
(3) Eski Adı H9		
(4) Eski Adı GS 10		

Çizelge.3.4 Etial 60'a eşdeğer diğer standart alaşımların değişik temperlerdeki mekanik özellikleri (Gall ve Boyer 1985)

Standart	Temper	Çekme ⁽¹⁾ Dayanımı MPa	Akma ⁽¹⁾ Dayanımı (%0.2)MPa	Uzama		Et Kalınlığı mm
				A ⁽²⁾	B ⁽³⁾	
ASTM	0	130 ⁽⁴⁾	-	18	16	Hepsi
BS	0	150 ⁽⁴⁾	-	13	15	≤200
ASTM	T1	115	60	12	10	≤12.50
ASTM	T1	110	55	-	10	12.50-25.00
BS	M	100	-	12	13	≤200
ASTM	T4	130	70	14	12	≤ 12.50
ASTM	T4	125	60	-	12	12.50-25.00
BS	TB	130	70	14	16	≤ 150
BS	TB	120	70	-	13	150-200
DIN	F13	127	69	15	-	
ASTM	T5	150	110	8	7	≤ 12.50
ASTM	T5	145	105	-	7	12.50-25.00
BS	TE	150	110	7	8	≤ 25
ASTM	T6	205	170	8	-	≤ 3.20
ASTM	T6	205	170	10	9	3.20-25.00
BS	TB	185	160	8	-	≤ 150
BS	TB	150	130	-	6	150-200
DIN	F22	216	157	12	-	Hepsi
DIN	F25	245	196	10	-	Hepsi
(1) Minimum değerler						
(2) 50 mm deki uzama						
(3) Çapın 5 katındaki uzama						
(4) Maksimum Uzama						

3.2 Uygulama Yerine Göre Farklı Standartlar

AA 6063 alaşım anodik kaplama için uygun bir alaşımdır. Ancak dekoratif amaçlı anodik kaplamada farklı bölgeler oluşmasını önlemek için alaşım hazırlanmasında bazı özel önlemlerin alınması gerekir. Anodik kaplama kalitesinde alaşım olarak belirlenen bir grup alaşımın bileşiminde ve bunlara uygulanan metalürjik işlemlerde farklılıklar vardır. DIN 1748 standardında alaşım anodik kaplama açısından iki gruba ayrılmaktadır. Standart kalitedeki malzemeye korozyon direnci, elektrik izolasyonu, aşınma dayanımı ve boya öncesi zemin hazırlamak için anodik kaplama yapılabilmektedir. Ancak dekoratif amaçlı anodik kaplamada standart kalitedeki malzeme yerel olarak renk ve görünüş farklılığı gösterebilmektedir. Dekoratif amaçlı anodik kaplamaya uygun olan malzeme anodik kaplama kalitesindeki malzeme olarak belirlenmiş, bu alaşımı standart alaşımdan ayırmak için koduna EQ harfleri eklenmiştir. BS 1615 Standartta değişik dökümlerden veya aynı dökümden olup ekstrüzyon, dövme gibi farklı işlemler görmüş malzemelerde anodik kaplama tabakasının görünümünde, renginde, kalınlığında, aşınma direncinde, korozyon direncinde ve elektrik izolasyonunda farklılıklar görülebileceği, bu uygulamalarda özel anodik kaplama kalitesinde malzeme ile çalışması gerektiği belirtilmiştir. Anodik kaplama kalitesini etkileyen metalürjik faktörler ilerideki bölümlerde daha detaylı olarak ele alınacaklardır. Standartlarda görülen dört ayrı iletken alaşım Çizelge.3.6 da gösterilmiştir(Hufnagel 1982). İletken alaşımlar ile standart alaşımlar arasındaki en büyük fark iletken alaşımda bakır ve krom limitlerinin düşük oluşu, diğer kalıntı elementlerinin her birinin yüzde 0.03 den az toplamının ise yüzde 0.1 den daha az olmasının istenilmesidir.

Çizelge.3.5 Dekoratif anaçlı anodik kaplama ile ilgili standartlar

Ülke	Standart
Avusturya	ÖNORM C 2531
Fransa	A 91-450 (1967)
Almanya	DIN 17611 (1981)
İngiltere	BS 3987 (1974)
İtalya	UNI 4522-66 (1966)
Portekiz	NP 1482 (1977)
İspanya	UNE 38010 (1972)
İsviçre	SN 37250

3.3 Uygulama Yerine Göre Üretici Firmaların Pazarladığı Farklı Alaşımlar

Ticari alaşımlarda mekanik özellikleri arttırmak için Mg_2Si oranı yükseltilmektedir. Ancak bu magnezyum ve silisyum oranlarında dengeli bir artış olmayıp silisyumun oldukça fazla tutulduğu, böylece silisyumun oluşturduğu katı çözültü sertleşmesinden de yararlanıldığı görülmektedir. Ekstrüzyon yapılabirliği arttırmak için mekanik özelliklerden fedakarlık yapılmakta, Mg_2Si ve fazla silisyum oranları düşürülmektedir. Anodik kaplama kalitesinin kritik olduğu durumlarda magnezyum, silisyum ve demir oranları arttırılmakta, ancak bu durumda sertleşen alaşımın ekstrüzyon yapılabirliği azalmaktadır. Parlak yüzey elde etmek için demir oranı oldukça düşük tutulurken, bakır oranının kontrollü arttırıldığı görülmektedir.

3.4 6000 Serisi Alüminyum Alaşımları ve Genel Özellikleri

Alüminyum ve birçok alaşımının en önemli özelliklerinden birisi, diğer malzemelere göre daha kolay şekillendirilebilir olmasıdır. Ticari saf alüminyum hafif, yumuşak, sünek, işlenilebilirliği ve korozyon dayanımı yüksek bir malzemedir. Alüminyum dayanımı soğuk şekillendirme uygulanarak ve magnezyum, silisyum, bakır, çinko gibi elementler ilave edilerek arttırılabilir. Alüminyum ve çoğu alaşımının ekstrüzyon yapılabirliği diğer bir çok metale göre daha fazla olduğundan uçak endüstrisinde ve mimari uygulamalarda önemli yer tutmaktadırlar. Yumuşaktan serte doğru bir dizi alüminyum alaşımının ekstrüzyon yapılabirliği, mekanik özellikleri ve kimyasal bileşim sınırları Çizelge 3.6 da gösterilmiştir.

Bir ingotun şekillendirilebilme özellikleri alaşımın kimyasal bileşimi, metalin yapısı ve uygulanan ısı ve mekanik işlemlerle belirlenir. Örneğin, homojenleştirilen ingotların ekstrüzyonu homojenleştirilmemiş ingotlara oranla daha düşük basınç uygulanarak gerçekleştirilebilir. Homojenleştirme, ingotun döküm sonrası yapısını

Çizelge.3.6 Bazı alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının özellikleri (Barry 1977)

AA Alaşımı	Göreceli Ekstrüzyon Basıncı ⁽¹⁾	Tipik Ekstrüzyon Hızı	Temper Durumu	U.T.S. (Mpa)	% 0.2 Akma (Mpa)	% Uzama (50.8 mm)
1050	1.0	33-100 ⁽²⁾	F	73	24	53
6063	1.25	25-57	T6	228	200	12
6061	1.5	8-25 ⁽³⁾	T6	303	283	15
2024	2.15	2-4 ⁽³⁾	T4	545-559 ⁽⁴⁾	414-434 ⁽⁴⁾	12
7075	2.1	1-2 ⁽³⁾	T6	607-634 ⁽⁴⁾	559-586 ⁽⁴⁾	8-9 ⁽⁴⁾

(1) 1050 1.0 olarak alındığında

(2) Karmaşık, içi boş kesitlerle daha basit şekilleri kapsayan bir aralık gösterilmiştir.

(3) Karmaşık şekillerle daha basit şekilleri kapsayan bir aralık gösterilmiştir.

(4) 2024 ile 7075 için özellikler kesit kalınlığına bağlıdır.

AA Alaşımı	Kimyasal Bileşim Sınırları (Yüzde ağırlık Olarak) ⁽⁵⁾								
	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn	Cr	Diğer Elementler	
								Herbiri	Toplam
1050	0.05	0.40	0.05	0.05	0.25	0.05	-	0.03	-
6063	0.10	0.35	0.45-0.9	0.10	0.20-0.60	0.10	0.10	0.05	0.15
6061	0.15-0.40	0.7	0.8-1.2	0.15	0.40-0.80	0.25	0.04-0.35	0.05	0.15
2024	3.8-4.9	0.50	1.2-1.8	0.30-0.9	0.50	0.25	0.10	0.05	0.15
7075	1.2-2.0	0.50	2.1-2.9	0.30	0.740	5.1-6.1	0.18-0.28	0.05	0.15

(5) Bileşim için bir aralık verilmeyen elementlerin maksimum değerleri verilmiştir.

değiştirmek amacıyla yapılan bir yüksek sıcaklık uygulamasıdır. Böylece, hem sıcak deformasyon daha kolay yapılabilir, hem daha yüksek bir dayanım elde edilir, hem de ürün yüzeyinin daha temiz olması sağlanır. Alüminyum-Magnezyum-Silisyum (Al-Mg-Si) veya Alüminyum-Magnezyum Silisür (Al-Mg₂Si) alaşımları olarak bilinen alaşımlar alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde en sık kullanılan alaşımlar olup, AA 6000 serisi alaşımlar olarak sınıflandırılırlar. Yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarından olan 6000 serisi alaşımları iyi ekstrüzyon yapılabilirlikleri, yüksek korozyon dayanımları, iyi kaynak edilebilirlikleri, sıcak şekillendirmeden sonra temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edilmek için uygulanan süreçlerin düşük maliyetli olması ile tanınırlar. Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum ürünlerin yüzde 80'inden fazlasını 6000 serisi alaşımlar , yüzde 70'ini de bu alaşımlardan AA 6063 (Etial60) alaşımı oluşturmaktadır.

Ekstrüzyon sürecinde en yüksek üretim hızında en iyi yüzey ve mekanik özelliklerinden elde edilmesi amaçlandığından, ingotun dökümünden başlayarak homojenleştirilmesi, ekstrüzyon sırası ve sonrası işlemlerinin dikkatli kontrolü gereklidir.

3.5 Etial 60'ın Özellikleri

Etial 60 ekstrüzyon ürünleri düzgün yüzeyli ve korozyona dayanıklı olmalarının yanında iyi mekanik özelliklere de sahiptirler ve mimari uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Etial 60 alaşımında alaşım elementi olarak ve silisyum kullanılır ve birleşerek Mg₂Si çökeltilerini oluştururlar. Alaşımda demir kontrollü safsızlık, diğer elementler ise az miktardaki safsızlıklar olarak bulunur.

Etial60'ın fiziksel özellikleri ise Çizelge.3.7 de verilmiştir.

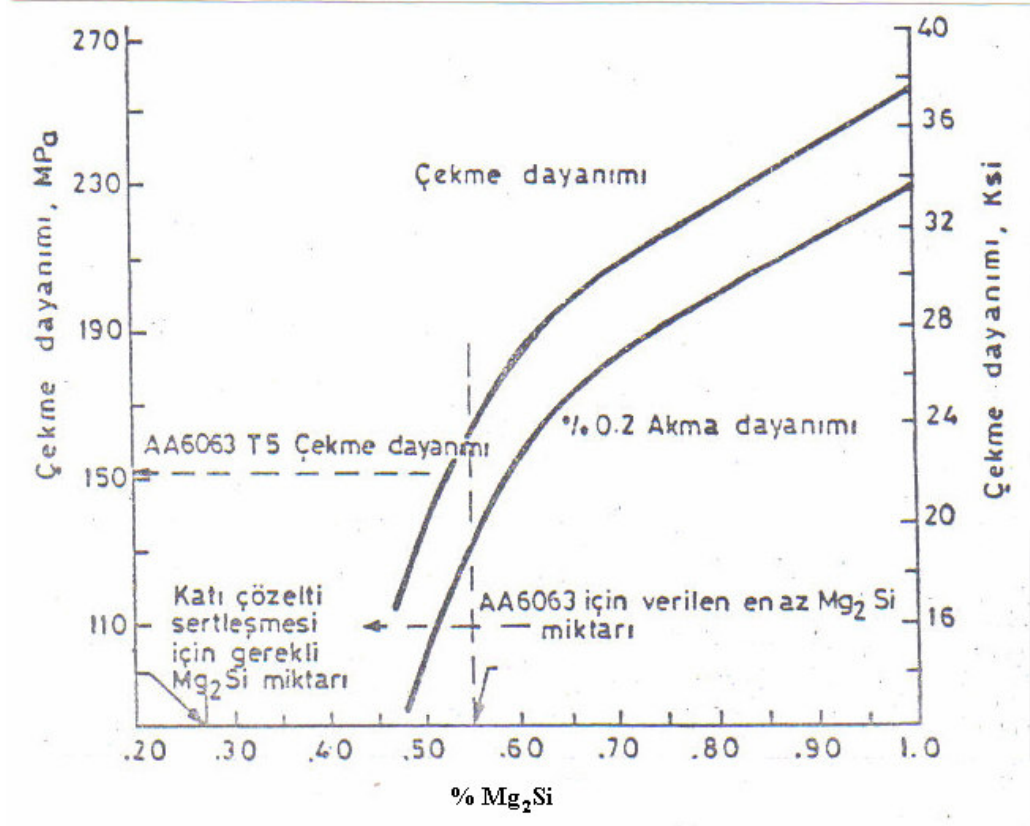
Çizelge.3.7 Etial60'ın fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık	:	2,71 g/cm ³
Elastisite Modülü	:	7000 Kg/mm ²
Rijidite Modülü	:	2650 Kg/mm ²
Ergime Aralığı	:	600-650 °C
Özgül Isı 0-100 °C arası	:	0,21 cal/g °C
Lineer Genleşme Katsayısı 20-100 °C arası	:	23x10 ⁻⁶ /°C
25 °C ta ısısal iletkenlik	:	0,48 cal/cm.s.°C
Özgül elektrik direnci 20 °C ta	:	0,033 Ohm.mm ² /m

3.6 Etial 60'ın Dökümü

3.6.1 Etial 60'ın Kimyasal Bileşiminin Özelliklere Etkisi

Etial 60'ın mekanik özelliklerinin Mg_2Si miktarı ile iyileşmekte buna karşılık ekstrüzyon yapılabilirlik azalmaktadır.(Waiters 1985). Şekil 3.1'de Etial 60 daki Mg_2Si miktarının değişimi ile dayanımın değişimi görünmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi Mg_2Si miktarı yüzde 65'in altına indiğinde malzemenin dayanımı hızla azalmaktadır.

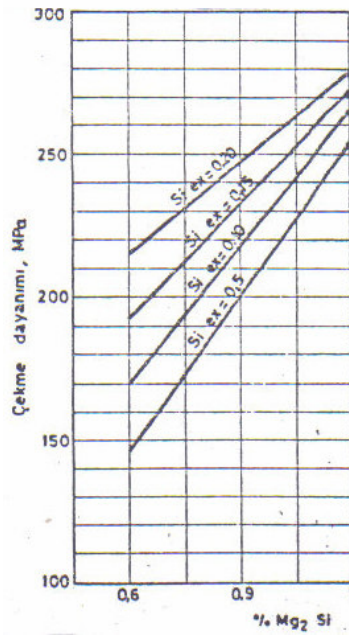


Şekil.3.1 AA 6063'ün çekme dayanımının Mg_2Si miktarı ile değişimi (Waiters 1985).

6000 Serisi alaşımlarda magnezyum ve silisyum 1:1.73 oranında stokiyometrik olarak birleşerek denge diyagramının kararlı α fazı olan Mg_2Si çökeltilisini oluşturmaktadırlar. Bu oranda silisyum lehinde bir artış olursa dayanım , magnezyum lehindeki bir artışa oranla, daha fazla artmaktadır. Ayrıca, ekstrüzyon yapılabilirlik de magnezyum artışı ile olumsuz yönde etkilenmektedir(Zoller 1965, Baumgarten 1984). Bu durumda, daha yüksek bir dayanım elde edebilmek için, alaşımın magnezyum miktarını arttırmaktansa silisyum miktarını arttırmalıdır. Ancak, buna karşılık da

süneklik ve toklukta görülecek azalmalar ve silisyum çökmesi sonucunda oluşabilecek siyah noktalar (dark spots) göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 3.2’de Mg_2Si miktarı ve fazla silisyum çekme dayanımına etkisi görülmektedir. Fazla silisyum yaşlandırma süreci sırasında da çekirdeklenme hızını arttırarak çökelti morfolojisini düzenlemekte ve böylece de dayanımı arttırmaktadır.

Etial 60’da katı çözelti sertleşmesi olabilmesi için gerekli olan Mg_2Si miktarı %32’dir. Silisyum ise demir ile birleşmeyi magnezyum ile birleşmeye tercih eder. Eğer malzemedeki silisyum miktarı alaşım için belirlenen alt sınırdan olursa silisyum bir kısmı demir ile birleşeceğinden magnezyumun tamamı Mg_2Si oluşturamayacaktır. Bunun sonucu olarak da alaşımın dayanımı Etial 60 için belirlenmiş olan dayanım değerlerinin altında kalacaktır .Bu nedenle, alaşımda her zaman magnezyum ile tamamıyla birleşmeye yetecek kadar silisyum bulunmalıdır .



Şekil.3.2 Mg_2Si miktarı ve fazla silisyumun çekme dayanımına etkisi (Fensen 1987)

Döküm sonrası soğuma, homojenleştirme sonrası soğuma ya da daha sonraki termo-mekanik işlemler sırasında alüminyum alaşımlarındaki en önemli safsızlık olan demir, alüminyum ve silisyum ile birleşerek çeşitli fazlar oluşturur. Bu fazlar da malzemenin toparlama, yeniden kristalleşme, doku, şekillendirilebilirlik, yüzey temizliği ve elektrik direnci gibi özelliklerini etkiler. Seyreltik Al-Fe-Si alaşımlarının yavaş soğuması sırasında oluşan kararlı metallerearası bileşikler $\theta-Al_3Fe_4$, Al_8Fe_2Si ve

β -Al₅FeSi fazlarıdır. Bunlardan başka, alaşımın soğuma hızına ve bileşimine bağlı olarak bazı kararsız fazlar da oluşabilir. Çizelge.3.8’de, yapılan çeşitli çalışmalarda gözlenmiş olan fazlar görülmektedir(Liu 1984). Sürekli dökülen AlMgSi0.5 alaşımları üzerinde yapılan bir çalışmada diğer kristalleşme özellikleri ile birlikte faz yapısı da incelenmiştir. Sürekli dökümle üretilen bir kütüğün homojenliği ara yüzey geometrisi ile tanımlanır. Sözü geçen çalışmada aynı ara yüzey geometrisinin kütüğünün tane büyüklüğü ve hücre yapısının aynı olmasını sağladığını, ancak katı çözeltili konsantrasyonu ve fazların değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Kristalleşme özellikleri ile döküm yapıda gözlenen fazlar Çizelge.3.9’de görülmektedir. Buna göre döküm yapıda genellikle Al-Fe-Si fazları görülmekte, katılaşma zamanı uzadıkça Mg₂Si fazları ortaya çıkmaktadır.

Çizelge.3.8 AlFeSi alaşımlarında gözlenen fazlar ve kristal yapısı (Liu 1984)

Faz	Yapı	Kafes Parametreleri, nm
Al	Ymk	a=0.404
θ -Al ₁₃ Fe ₄	c-merkezli	a=15.49
	Monoklinik	b=0.808
		c=1.247
		β =107
α -AlFeSi	Hmk	a=1.256
Al ₆ Fe	c-merkezli	a=0.649
	Ortorombik	b=0.744
		c=0.879
Al _m Fe	Hmt	a=0.884
		c=2.160
Al _p Fe	Hmk	a=1.03
Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	c-merkezli	a=0.8909
	Monoklinik	b=0.5146
		c=1.5697
		β =113.9
q ₁ -AlFeSi	c-merkezli	a=1.27
	Ortorombik	b=3.62
		c=1.27
q ₂ -AlFeSi	Monoklinik	a=1.25
		b=1.23
		c=1.93
		β =109

Al-Mg-Si alaşımlarında mangan, krom, zirkonyum gibi dispersoid oluşturan elementler bulunurlarsa, homojenleştirme işlemi sırasında dispersoidler oluşacaktır. (Schwellinger 1984) Bu parçacıklar ekstrüzyon sırasında ince bir alt tane yapısı oluşumunu sağlayarak yeniden kristalleşmeyi önler ve ekstrüzyondan sonra lifli yapı korunur. Bu altyapı sonraki yaşlandırma işlemi ile oluşacak dayanım artışının daha fazla olmasını sağlar. Ancak, dispersoid oluşturan elementler, alışıma su vermeye daha duyarlı yapar. Bu da yaşlandırma işleminden sonraki soğuma hızının azalması durumunda, yaşlandırma işlemi ile elde edilebilecek dayanımda azalmayla sonuçlanır. Altyapı oluşumu, su verme duyarlılığının artmasının neden olacağı kaybı, sünekliği ve tokluğu artırarak karşılar.

Çizelge.3.9 Döküm yapıda gözlenen fazlar ile kristalleşme özellikleri
(Liu 1984)

Katılma Süresi (sn)	Soğuma Hızı °C/sn	Döküm Yapıda Gözlenen Fazlar
13.4	6.12	α (kübik) ⁽¹⁾ + az γ ⁽²⁾ + Mg ₂ Si
11.7	8.28	α (kübik) ⁽¹⁾ + az γ ⁽²⁾ + Mg ₂ Si
9.53	9.87	α (kübik) ⁽¹⁾ + α (hekzagonal) ⁽³⁾
8.25	13.83	α (kübik) ⁽¹⁾ + çok
7.42	15.75	α (kübik) ⁽¹⁾ + az
6.66	20.67	α (kübik) ⁽¹⁾

(1) Fe % 31.9, Si % 5.6

(2) Fe % 35, Si % 15

(3) Fe % 31, Si % 9

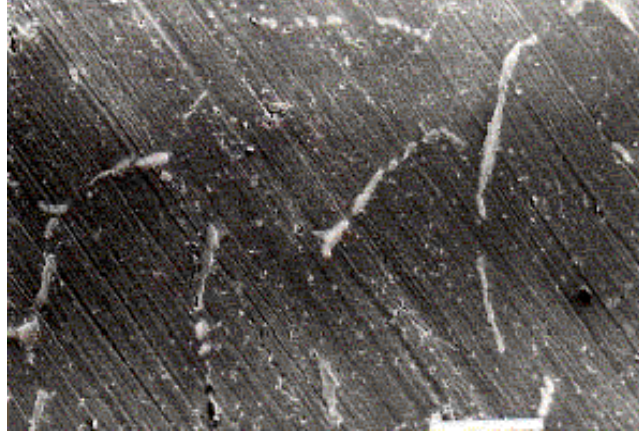
Krom, mangan, zirkonyum, demir ve bakırın Al-Mg-Si alaşımlarında tokluğu nasıl etkilediğini araştıran bir çalışmada (Scharf 1984) akma dayanımı arttıkça çentik duyarlılığının azaldığı görülmüştür. Katı çözültideki bakırın tokluğa hiçbir etkisi yokken mangan ve zirkonyum katılması ile tokluk artmaktadır. Al-Mg-Si alaşımlarına bakır katılmasının alaşımın tokluğuna belirgin bir etkisi olmadığı ancak dayanımı artırdığı gözlenmiştir. Alaşımın dayanımını artırdığı bilinen silisyum ve bakırın etkisi toplanabilir özellik göstermektedir. Ancak, bakır sünekliği olumlu yönde etkilerken fazla silisyum sünekliğin azalmasına neden olmaktadır. Literatürdeki transmisyon elektron mikroskop (TEM) incelemeleri de bakır ilavesinin çökelti morfolojisini değiştirerek yaşlanma özelliğini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi, hem denge miktar hem de fazla silisyum içeren alaşımlara bakır

ilavesi avantajlıdır. Bakır ilavesi denge miktarda silisyum içeren alaşımlarda kırılmanın taneler boyunca olmasını sağlar. Fazla silisyumun önemli miktarı tane sınırlarında elementel silisyum olarak çökerek taneler arası kırılmaya neden olmaktadır. Ayrıca silisyum Mg_2Si çökelti morfolojisini etkileyerek (incelterek) dayanımın artmasına, buna karşılık sünekliğin azalmasına da neden olmaktadır. Bakır da Mg_2Si çökelti morfolojisini etkileyerek dayanımı artırmakta ancak sünekliği azaltmamaktadır. Bu durum çok açıkça anlaşılabilmiş değildir.

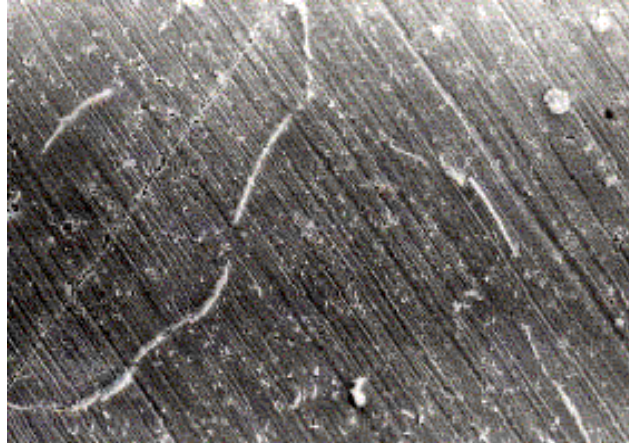
3.6.2 Döküm Sonrası Yapı

Homojenleştirme işlemi sırasında oluşacak değişikliklere bir başlangıç oluşturduğu için ilk önce döküm sonrası yapı belirlenmiştir. Burada güdülen diğer bir amaç da döküm sırasında mikro yapıda arzu edilmeyen oluşumların yer alıp almadığının saptamak olmuştur. Bunun için döküm sonrası biyetlerin kenar ve orta kısmından alınan numuneler SEM, TEM ve optik mikroskopta Beatty (1981) tarafından incelenmişlerdir.

Döküm sonrası yapıda kimyasal bileşim açısından iki tür çökelti görülmüştür. Bunlar $AlMgSiFe$ içeren fazlardır. Bu çökelti tane sınırları boyunca uzanan sürekli ince uzun fazlar halindedirler. Ayrıca tane içlerinde de ince uzun $AlFeSi$ fazlara rastlanmıştır. Magnezyum ayrı Mg_2Si çökelti oluşturmamış, alüminyum ve demir ile birlikte $AlMgSiFe$ fazlarında yer almıştır. Şekil.3.3 ve 3.4 deki mikrograflarda ise çökelti tipik görüntüleri verilmiştir. Biyetlerin dış kenarlarında yapılan incelemeler döküm-kalıp ara yüzeyine yakın bölgede çökelti morfolojisinin değiştiğini göstermiştir. Şekil.3.5 da görüntülenen bir bölge yaklaşık 50 mikron kalınlığındadır. (Beatty 1981)



Şekil.3.3 Döküm yapıda tane sınırlarındaki çökeltiler (Beatty 1981)

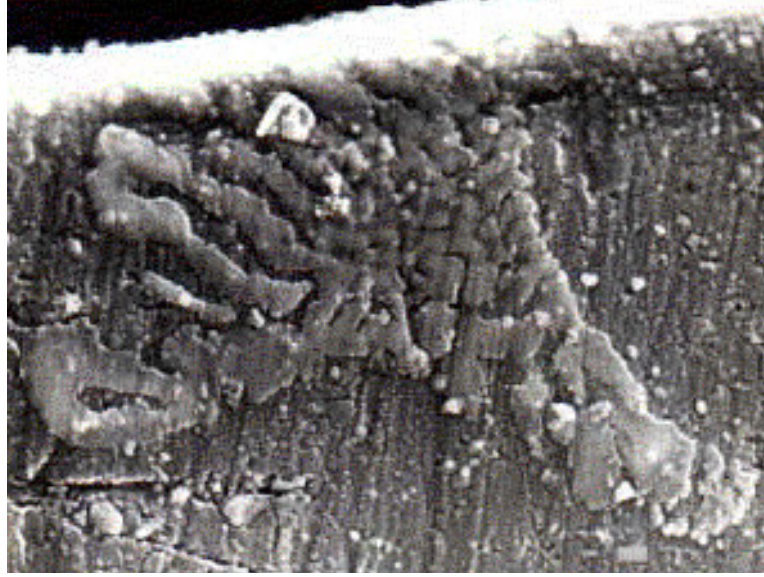


Şekil.3.4 Döküm yapıda tane sınırlarında ve içindeki çökeltiler (Beatty 1981)

3.6.3 Katı Çözeltiye Alma

Homojenleştirme işleminde ilk aşama alaşım içindeki çökeltilerin katı içinde çözündürülmesidir. Bu işlemin hızlı yapılabilmesi için sıcaklığın yüksek tutulması gereklidir. Öte yandan ötektik bölgelerin erimesinin de kesinlikle önlenmesi gerektiğinden kullanılacak sıcaklıklara bir üst limit getirilmektedir. Literatürde Etial60 alaşım için çok değişik homojenleştirme sıcaklıkları önerilmektedir. Homojenleştirme süresi ise parça ebatlarına göre değişmektedir. Genellikle laboratuvar

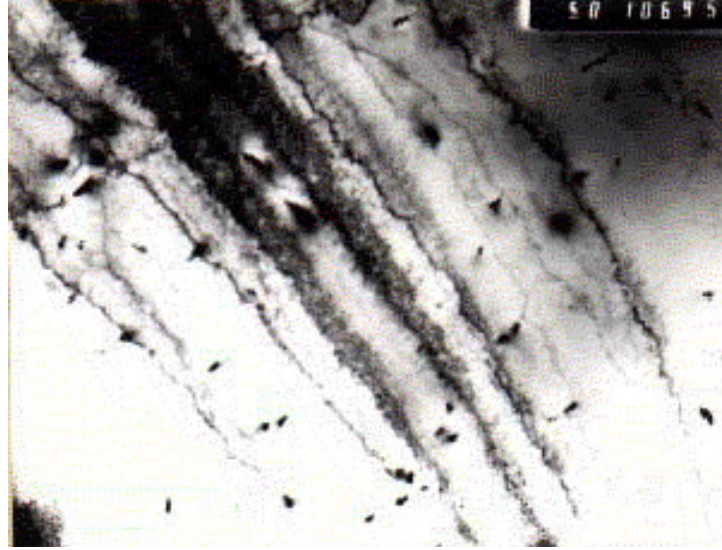
apındaki deneylerde görülen en yüksek homojenleştirme sıcaklığı 580°C da 2 ile 4 saatlik srelerdir.



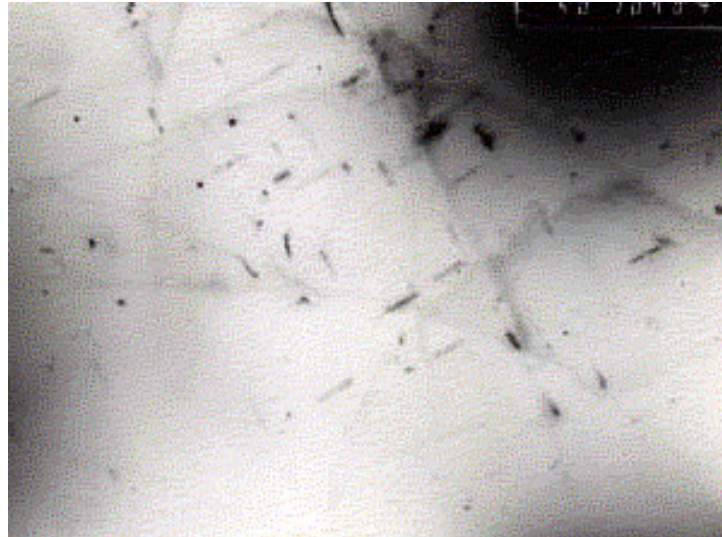
şekil.3.5 Döküm-kalıp ara yüzeyindeki okeltiler (Beatty 1981)

3.7. Homojenleştirme

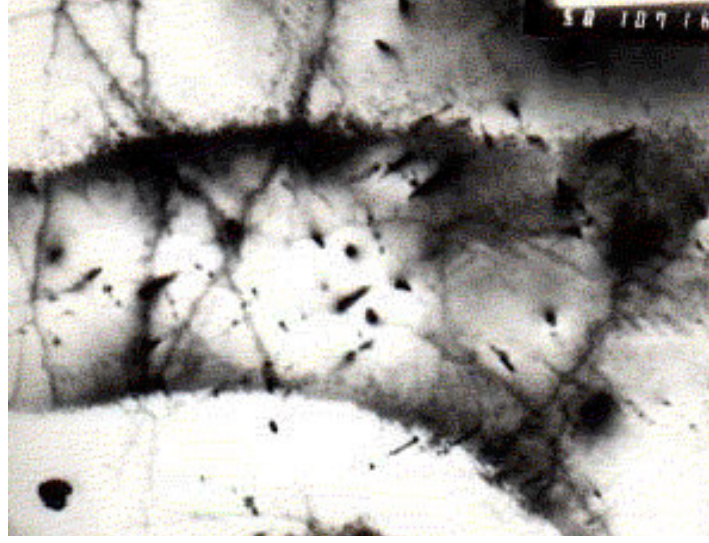
Homojenleştirmeden sonraki soğuma hızının iç yapı üzerine etkileri Beatty (1981) tarafından yapılan bir araştırmada mikro yapıları SEM ve TEM de incelenmiş, tipik TEM mikrografı Şekil.3.6- 3. de gösterilmiştir.



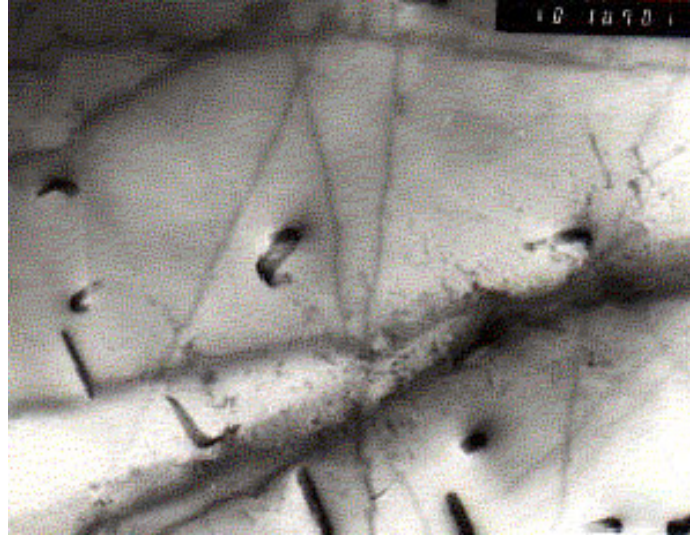
Şekil.3.6 Homojenleştirilen ve 10°C/dak hızla soğuyan numunenin TEM mikrografı (x6875) (Beatty 1981)



Şekil.3.7 Homojenleştirilen ve 9.3°C/dak hızla soğuyan numunenin TEM mikrografı (x6875) (Beatty 1981)



Şekil.3.8 Homojenleştirilen ve 7.8 °C/dak hızla soğuyan numunenin TEM mikrografı (x6875) (Beatty 1981)



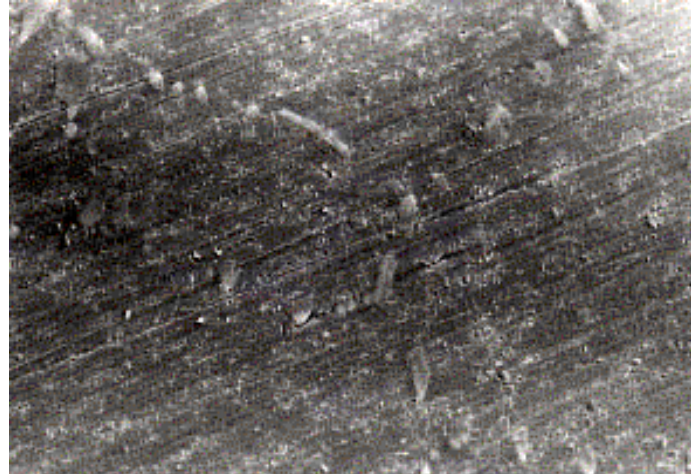
Şekil.3.9 Homojenleştirilen numunelerdeki çökeltilerin büyük büyütmede çekilmiş mikrografı (x13750) (Beatty 1981)

Mg_2Si fazının çözünmesi için değişik sıcaklıklarda gerekli en kısa süreyi belirlemek üzere Beatty (1981) tarafından yapılan bir deneyde benzer numunelerin mikro yapıları SEM ve TEM'de incelenmiştir. Döküm yapıdaki çökeltilerde görünen

magnezyumun hızla çözüldüğü, denenen en düşük sıcaklık olan 550°C da en kısa süre olan ½ saatten sonra dahi bu çökeltilerdeki magnezyumun tamamen çözülmüş olduğu görülmüştür. AlFeSi fazların $\beta \rightarrow \alpha$ ya dönüşümü ise daha yavaş olan bir olaydır. Bu dönüşüm, çökeltinin şeklinin ince uzundan daha kısa ve yuvarlağa değişimi ile belirlenmektedir. $\beta \rightarrow \alpha$ dönüşümü mikrograflarda kalitatif olarak belirlenmiştir. Dönüşüm oranlarının daha hassas bir şekilde yüzde olarak belirlenebilmesi için oldukça karmaşık görüntü analiz yöntemlerinin kullanılması gerekecektir. Şekil.3.10 ve Şekil.3.11 de 550°C ve 590°C da değişik sürelerle homojenleştirilmiş numunelerdeki AlFeSi fazları ve bunların morfolojilerindeki değişim örneklenmiştir.(Beatty 1981)



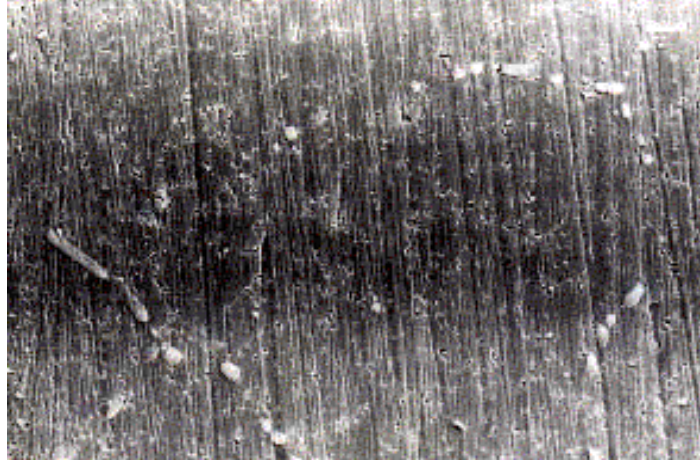
(a)



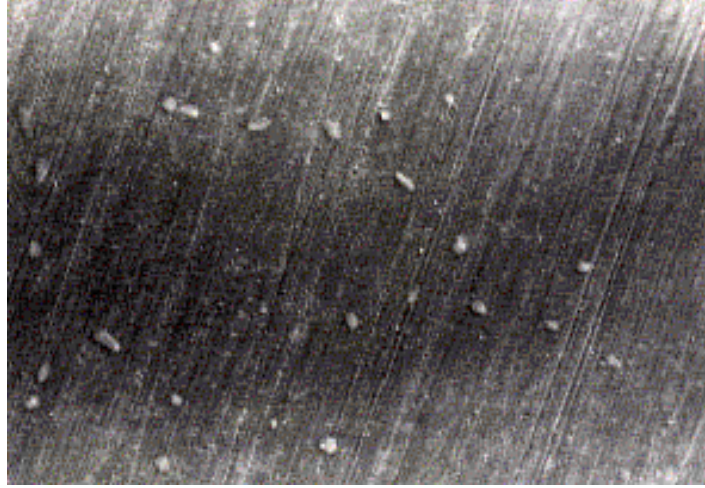
(b)

Şekil.3.10 a) 550 °C da ½ saat;

b)550 °C da 8 saat homojenleştirilen numunelerin mikro yapısı (Beatty 1981)



(a)



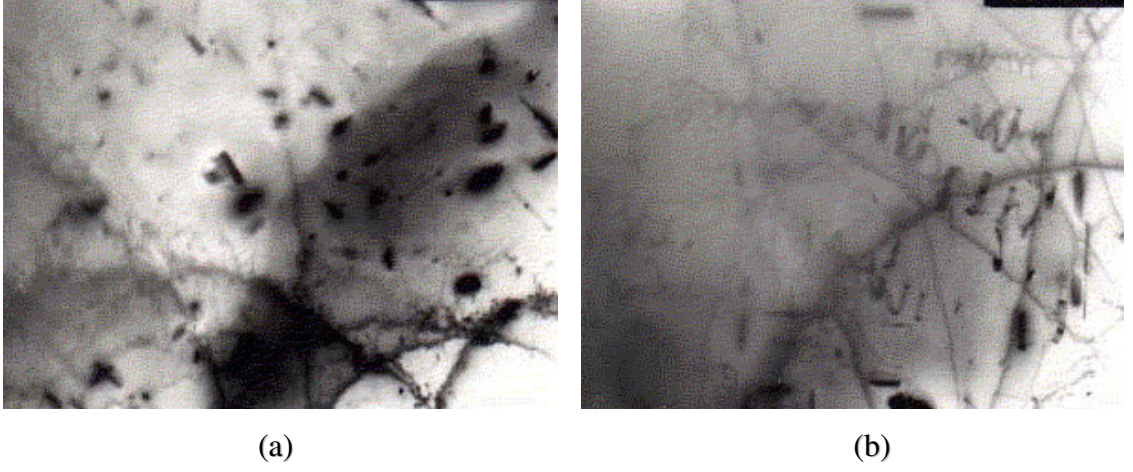
(b)

Şekil.3.11 a) 590 °C da ½ saat;

b) 590 °C da 8 saat homojenleştirilen numunelerin mikro yapısı (Beatty 1981)

Şekil.3.12’de literatürdeki 5°C/dak hızla ve 2°C/dak. hızla soğuyan numunelerin TEM mikrografları görülmektedir. Küçük büyütmelerde belli yönlerde çökelmiş gibi bir görünümü olan çökeltilerin daha büyük büyütmelerde kurdele gibi bir yapıda oldukları gözlenmiştir. Literatürde bu kurdelemsi çökeltilerin Mg_2Si den oluşan amorf Si-O-H fazı olduğu yazılmaktadır.(Jensen 1987). Bu sözü geçen makaleye göre Mg_2Si çökeltiler HNO_3 - methanol çökeltisi ile TEM için inceltme sırasında Si-O-(H) fazına dönüşmektedirler. Bu dönüşüm sırasında oluşan az miktardaki $Mg(OH)_2$ ise elektrolitte

çözünmektedir. Mg_2Si parçacıkların amorf faza dönüşümü sonucunda oluşan gerilmeler nedeniyle de ince uzun parçalar kıvrılmaktadırlar. Bu değerlendirme ışığında Mg_2Si fazların dağılımı ve büyüklüğü hakkında bir fikir edinmenin mümkün olduğu görülmekte ancak kristalografik yönelme hakkında bir bilgi edinilmemektedir



Şekil.3.12 580°C' da 2 saat homojenleştirilen ve

a) 5 °C/dak.

b) 2 °C/dak hızla soğutulan numuneler (x6875) (Jensen 1987).

4. DENEY ÇALIŞMALARI

4.1 Etial 60'ın Homojenleştirilmesi

Daha önce de belirtildiği gibi homojenleştirilmiş takozların ekstrüzyon yapılabilirliği homojenleştirilmemiş olanlara oranla daha fazladır.(Reiso 1984) Homojenleştirme işleminde amaç, dentritik yapıdaki konsantrasyon farklılıklarını giderilmesi, katılma sırasında oluşan dengesiz fazların çözülmesi ve alaşımın ekstrüzyon parametrelerinin olumlu yönde etkileyen denge parçacıklarının oluşturulmasıdır. Karmaşık alaşım sistemlerinde dengesiz bileşiklerin yanında malzemenin sünekliliğini azaltan çözünmez denge fazlarda bulunur. Homojenleştirme işlemi ile bu fazların yuvarlaklaşması sağlanarak süneklilik artırılır.

AlMgSi ve AlMgSi0.5 alaşımlar üzerinde yapılan bir çalışmada homojenleştirmede üç evre olduğu gösterilmiştir. Birinci evrede dengesiz fazların çözülmesi ile dentrit kolları arasındaki konsantrasyon dengelemesi bir arada yer almaktadır. İkinci evrede mikro konsantrasyondaki farklılıkların eşitlenmesi sürerken AlFeSi fazların parçalanması başlar. Üçüncü evrede ise parçalanma hızlanır ve aynı zamanda mikroporozite oluşumu başlar.

Elektron mikroprob analizi (EMPA) ile döküm yapı üzerinde yapılan bir çalışmada (Stefaniay 1983) AlMgSiFe, MgSi ve AlSiFe fazlarının mikro yapıda eşit olmayan bir dağılım gösterdikleri saptanmıştır. MgSi'nin konsantrasyonu ise Mg₂Si'nin stokiyometrik oranı olan 1:1.73 den farklıdır. Homojenleştirme ile magnezyum ve silisyum dentrit kolları arasında eş dağılımı sağlanmaktadır. AlFeSi fazlarının hacimsel oranı ise ısıtma işlemi sonucunda pek değişmemekte ancak parçalanmaktadır. 6000 serisi alaşımlardan 6061 alaşımında da çözünmez demir bileşiklerinden ince uzun görünüşlü β-AlFeSi'ler yuvarlak görünüşlü α-AlFeSi'ye dönüşürse ekstrüzyon yapılabilirliğin arttığı görülmüştür. (Beatty 1977)

EMPA ve elektrik direnci deneyleri ile dengesiz AlMgSi ve AlMgFe fazların homojenleştirme işlemi sırasında ilk ½ saat içerisinde çözüldükleri saptanmıştır.(Lendvai 1981) Ancak, dentritlerdeki magnezyum ve silisyum konsantrasyon gradyanı 570°C da 2.5 saat bekleme süresi sonunda eşitlenmektedir. Isıtma işlemi sırasında AlFeSi fazların da kimyasal bileşimi değişerek kararlı AlFeSi (Fe/Si ≈

4) fazı oluşmaktadır. Tane sınırlarında bulunan bu fazların şekillerinin ince uzundan parçalanarak yuvarlağa dönüşümü de aynı sürenin sonunda yavaşlamaktadır.

Bu aşamadaki amaç ise homojenleştirme işlemini çok daha hassas bir şekilde kontrol edilebilir bir ortamda tamamlamak, alaşımın ekstrüzyon yapılabilirlik açısından Etial 60 için en uygun homojenleştirme koşullarını saptamak olmuştur.

Homojenleştirme işlemi için fırın 610°C a ayarlanmakta, malzeme ise 580°C a ısınmaktadır. Bu sıcaklıkta tutma süresi biyet çapına göre değişmekte olup 2-3 saat kadardır. Soğuk fırına şarj yapıldığında fırının 580°C a ısınması 8-9 saat almakta, iki saat tutma süresi buna eklenince fırında geçen toplam süre sonunda fırından çıkartılan numuneleri tabii olarak soğutulduklarında çok yavaş soğudukları görülmüş, bunun yerine soğuma hızını arttırmak için bir duş sistemini kurulmuştur. Homojenleştirme işlemi biten biyetler 15-20 dakika içinde duşun altına yerleştirilmekte, duş açıldıktan 2-2,5 saat sonra biyetler tamamen soğumuş olmaktadır.

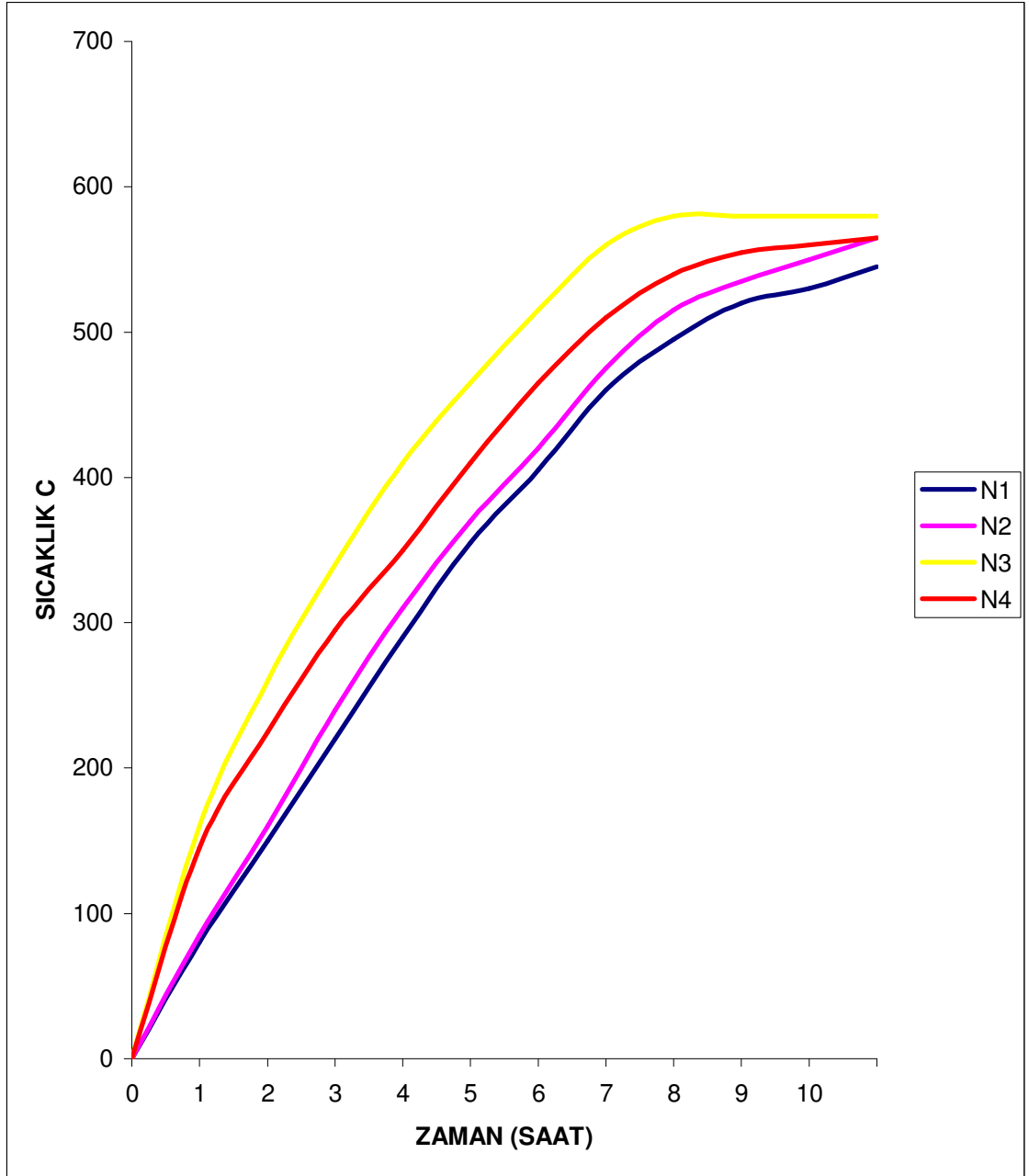
Homojenleştirme fırını içindeki sıcaklık dağılımını ve duş altındaki soğutma sırasındaki farklı soğuma hızlarının rakamsal değerlerini ölçmek ve farklarının homojenleştirilen biyetlerin mikro yapıları ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek için homojenleştirme işlemi sırasında, dört ayrı biyette sürekli sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Bu biyetlerin homojenleştirme fırını içindeki sıcaklıkları zamana göre Şekil.4.1'de gösterilmiştir. N3 kodu ile gösterilen biyet fırınının sıcak tarafında yer aldığından, bekleme süresine gelmeden bir saat önce 580°C ye ulaşmıştır. Aynı yükseklikte fakat fırının fanlar tarafındaki yarısında yer alan N2 kodlu biyet 580°C ye ancak bekleme süresinin sonunda çıkmıştır. Fırının fanlar tarafındaki yarısında konteynerin üstünde yer alan N4 kodlu biyet bekleme süresi başlangıcında gereken sıcaklığa ulaşmıştır. Yine fırının fanlar tarafındaki yarısında fakat konteynerin altında yer alan N1 kodlu biyet ise en düşük sıcaklıkları göstermiş, bekleme süresinin bitiminde dahi 545°C ye ısınabilmiştir.

Biyetlerde 450 ile 200°C arasında ölçülen soğuma hızları Çizelge.4.1 de gösterilmiştir. Bunlardan başka, biyetler homojenleştirme fırınından boşaltılırken bir biyet suya atılarak ani soğutulmuş, başka bir biyet ise havada tabii soğumaya bırakılmıştır. Bu biyetlerde sıcaklık ölçümü yapılamamıştır. Suyu atılan kütüğün Çizelge.4.1 de gösterilenlerden daha yüksek hızla soğumuş olması beklenmektedir.

Havada tabi olarak soğuyan kütüğün Çizelge.4.1 daki rakamlardan daha yüksek bir hızla soğumuş olabileceği unutulmamalıdır. Duş altındaki biyetler topluca bir arada olduklarından, daha büyük olan toplu kütleleri nedeniyle, püskürtülen suya rağmen, havada tek başına soğuyan biyetten daha yavaş soğuyor olabilirler.

Şekil.4.1 Homojenleştirme fırınında değişik pozisyonlardaki biyetlerin ısınma eğrileri



Çizelge.4.1 Homojenleştirme işlemi yapılan biyetlerin 450°C ile 200°C arasındaki soğuma hızları

Biyet No	Soğuma Hızı (°C/dak)
N1	10.1
N2	9.1
N3	8.2
N4	7.7

4.2 Ekstrüzyon

Uçak endüstrisinin gelişmesiyle önem kazanan ekstrüzyon, uçak tasarımcıları için çeşitli kesitlerde profillerin elde edilmesini sağlayan en ekonomik üretim yöntemi olmuştur. Bu yöntemin avantajları zamanla yapı ve mimari tasarımcıları tarafından da fark edilmiş ve ekstrüzyon ürünlerine olan talep hızla artmıştır.

Ekstrüzyon en çok hafif metal endüstrisinde kullanılan bir imalat yöntemidir. Ekstrüzyon, silindir şeklindeki bir döküm ingotun (biyet) kovan olarak adlandırılan bir alıcı içinde sıkıştırılarak bir kalıptan geçirilmesi suretiyle, kesit alanının daraltılmasını içeren bir metal şekillendirme yöntemidir. Bu yöntemle, hem ekonomik hem de istenilen özelliklerde bir ürün üretilebilmesi için yöntem değişkenleri ile ürün özellikleri arasındaki ilişkilerin iyi bilinmesi gerekir. Bunun yanı sıra, ekstrüzyon öncesinde ve sonrasında uygulanan işlemler (ısı, mekanik, kimyasal v.b.) de ürün özelliklerini değiştirmektedir.

Düz kalıp kullanılarak ve yağlamasız yapılan alüminyum ekstrüzyonun da, basılan metal kesmelere uğrayarak ürünü oluşturur. Bu kesmelerin doğurduğu artık iş ve plastik şekil değiştirme işi üründe sıcaklık artışına neden olur. Sıcaklık artışını malzemenin şekil değiştirme direnci, takoz sıcaklığı ve boyu, ekstrüzyon hızı ile oranı ve takım sıcaklıkları etkiler. Bu değişkenler ekstrüzyon sırasında yapılan işi ve ısı kayıplarını kontrol ederler. Yapılan şekil değişimi işi ekstrüzyon oranının, hızının ve takoz boyunun artırılması ile artar, takoz sıcaklığının artırılması ve malzeme dayanımının azalması ile azalır. Isı kayıpları takoz sıcaklığı ile takım sıcaklıkları arasındaki farka ve ekstrüzyon hızı ile takoz boyunun belirlediği işlem süresine bağlıdır.

Ekstrüzyon sırasında meydana gelen bu sıcaklık artışı AA 2000, 6000, 7000 serisi gibi alüminyum alaşımlarında üründe yırtılmalara sebep olduğu gibi aynı zamanda ürün yüzeyinde istenmeyen iri taneli bir yapının oluşmasına yol açar. Sıcaklık artışının kontrol edilebilmesi için ekstrüzyon öncesinde uygulanan ve malzemenin yüksek sıcaklık dayanım özelliklerini etkileyen homojenleştirme, soğutma gibi işlemler ile ekstrüzyon yöntem değişkenliklerinin optimizasyon söz konusudur.

Ekstrüzyon ekonomik bir üretim yapılması birim zamanda daha çok ürün elde edilmesi ile mümkündür. Bunu sağlamak için kullanılan malzemenin ekstrüzyon yapılabilirliğinin (extrudability) artırılması gerekir. Ekstrüzyon yapılabilirlik, bir ekstrüzyon ürününde yırtılma olmadan uygulanabilecek en yüksek ekstrüzyon hızı olarak tanımlanabilir. Alüminyum alaşımlarında kimyasal bileşim ve ingot homojenleştirmenin ekstrüzyon yapılabilirlik üzerinde önemli etkisi vardır.

Alüminyum profillerin ekstrüzyon yöntemi ile üretimi için 3 esas gerekir.

- a- Alüminyum Biyet (billet, biyet)
- b- Ekstrüzyon Presi
- c- Ekstrüzyon Kalıbı

Genel olarak, ekstrüzyon, alüminyum biyetin, presin sağladığı büyük kuvvet ile, kalıp içerisinden geçirilerek, kalıbın şekline sahip olan profilin elde edilmesi; olarak tanımlanabilir. Alüminyum ekstrüzyonu sıcak olarak yapılır ; biyetler 420-470°C ısıtılır, kalıplar 450°C ısıtılmış olmalıdır ve presten çıkan profilin sıcaklığı 500°C nin üzerindedir.

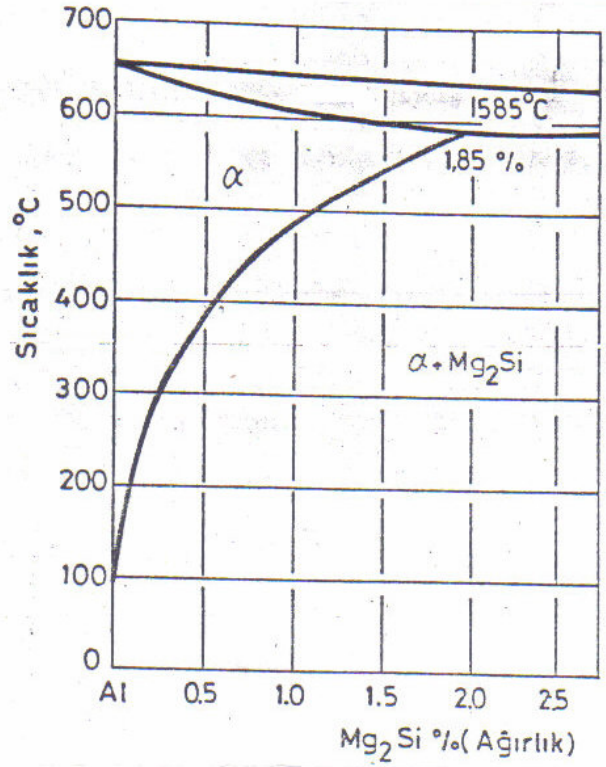
Ekstrüzyon, aynı zamanda, bir kesit düşürme işlemidir. Alüminyum biyetin kesiti, alüminyum profilin kesitine dönüştürülmektedir. Bu nedenle, kullanılan biyetin kesiti, üretilecek profil kesitine yüzey ölçümü olarak ne kadar yakın ise, işlem o kadar kolay olur. Bu gerçek, profil kalıplarının dizaynına, üretim yapılan presin seçimine (kuvvetine, kovan çapına) gibi birçok teknik alternatifi ortaya çıkarır. Sonuç olarak, ince ve küçük kesitli profillerin üretimi için küçük ölçüde biyet ve dolayısı ile ona uygun kuvvette pres gereklidir. Büyük profiller için de büyük ölçülerde kalıp, biyet ve pres gereklidir. Küçük profiller, büyük preslerde, büyük biyetler kullanılarak üretilmek istendiğinde, zaman ve enerji kaybına, verim düşüklüğüne neden olunur. Buna karşılık, büyük kesitli profiller ise küçük preslerde, küçük biyetler ile çoğu zaman hiç üretilmez.

Ekstrüzyon presinden çıkan profil soğutulur, soğuk germe işlemi yapılır ve istenen boyda kesilir. Daha sonra detayları verilen ısıl işlemler (sipariş özelliğine göre) tatbik edilir. (Bu notasyonlardan T işaretli olanlar kullanılır).

Hangi ölçüdeki profillerin, şekil ve ölçü toleranslarına sahip olacağı çeşitli standartlarda belirtilmiştir. Standartlarda gösterilen ölçülerin dışında üretim yapmak, müşteri ile üretici arasındaki anlaşmaya bağlıdır. Ancak, standartlardan çok daha dar toleranslar ile profil üretmenin maliyetinin her zaman normalden çok daha fazla olduğu unutulmamalıdır.

4.2.1 Etial 60 Alaşımının Ekstrüzyonu

Üç elementli bir sistem olan AlMgSi alaşımlarının çoğunluğu Al-Mg₂Si-Si üçlü sisteminin içindedir. Mg₂Si' nin alüminyum içindeki çözünürlüğü Şekil.4.2 de gösterilmektedir(Altıntaş 1984). Buradan da görüleceği gibi çözünürlük sıcaklığın azalmasıyla azalmaktadır. Örneğin, Mg₂Si 'nin alüminyum içindeki çözünürlüğü 585⁰C'da yüzde ağırlık olarak 1.85 iken, bu değer 500⁰C'da yüzde 1.05 , 400⁰C'da yüzde 0.53 ve 300⁰C'da yüzde 0.30 olmaktadır.



Şekil.4.2 Mg₂Si'in alüminyum içindeki çözünürlüğü (Altıntaş 1984)

Etial60 alaşımından sürekli dökülen takozlar 560°C-580°C' da homojenleştirilirler. Yaşlanma sertleşmesinde kontrol fazı olan Mg₂Si homojenleştirme sırasında tamamen çözünür. Takozların havada soğutulması esnasında Mg₂Si fazının bir kısmı çok ince çökelti oluşturur. Bu durum yalnızca son mekanik özellikleri olumsuz olarak etkiler. Diğer taraftan, bu kısmı Mg₂Si çökeltisi ekstrüzyon yapılabilirliği artırır, çünkü bu durumdaki yüksek sıcaklık akma gerilmesi tamamen çözeltiye alınmış durumdakinden yaklaşık yüzde 10 daha düşüktür. Takozların homojenleştirilmesi aynı zamanda malzemenin son dayanımını da etkiler. Daha önce de belirtildiği gibi takozların homojenleştirilmesiyle, homojenleştirilmemiş takozlara oranla daha yüksek dayanım değerlerine ulaşılması sağlanır.

AlMgSi0.5 profilinin uzunluğu pres büyüklüğüne bağlıdır ve 50m' ye kadar olabilir. Profiller çıkış tablasında otomatik kavramalı çekicilerle hareket ettirilir. Daha sonra ise yüzde 1-3 gerilmeyle doğrultma işlemine tabi tutulur.

Etial60 profilinin çekme dayanımı ekstrüzyon edilmiş halde en az 140 N/mm² dir. Çekme dayanımı, profilleri hızla oda sıcaklığına soğutmadan sonra yapılan yaşlandırma ile en az 220 N/mm² ye yükseltilir.

4.2.2 Ekstrüzyon Yapılabilirlik

Alüminyum alaşımlarında ekstrüzyon yapılabilirlik kavramı tanımlanması zor olmakla beraber, genellikle, istenilen ürün özelliklerini elde etmek için (özellikle Etial60 alaşımında yüzey kalitesi) ekstrüzyon basıncı ve hızının bir fonksiyonu olarak düşünülür. Ekstrüzyon yapılabilirlik, daha basit olarak, yüzey yırtılması olmadan uygulanabilecek en yüksek ekstrüzyon hızı olarak da ifade edilebilir.

Ekstrüzyon basıncı takozun şişirilmesi sırasında hızla artarak en yüksek değerine ulaşır ve metalin kalıp içerisinden akmasıyla birlikte önce hızla düşer, daha sonra takozun kısalmasıyla yavaş ve doğrusal olarak düşer. Pres kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle, basıncın düşürülmesi için alınacak önlemler ekstrüzyon hızının artırılmasını sağlayacaktır. Ekstrüzyon basıncını kalıp (dolayısıyla ekstrüzyon oranı, kalıp tasarımı, profil kesiti), alaşımın yapısı, takoz sıcaklığı ve takoz boyu etkilemektedir. Ekstrüzyon basıncı için şunlar söylenebilir:

1. Homojenleştirilmiş Etial60 alaşımı takozlar döküm takoza oranla yüzde 6-10 daha az basınç gerektirir
2. 400-500°C arasında takoz sıcaklığındaki her 10°C 'lık artış yüzde 4-6 daha az basınç sağlar.
3. Ortası boş profil kalıpları, dolu kesit kalıplara oranla daha çok basınç gerektirir. Etial60 alaşımında bıçaklı (bridge) kalıpla yüzde 20, örümcek (spider) kalıpla yüzde 20-40, kamaralı (porthole) kalıpla ise yüzde 30-45 oranında basınç artışı olur.
4. Pres kovanı ve özellikle kalıplar takoz sıcaklığını bölgesel olarak düşürebilir. Kalıp değiştirilirse veya temizleme süresi uzun sürerse takoz sıcaklığında meydana gelebilecek düşüş Etial60 alaşımı için basıncın yüzde 15'e kadar yükselmesine sebep olur.

Ekstrüzyon hızında elde edilebilecek yükselme profil kesitinin karmaşıklığına ve presin hız kapasitesine büyük ölçüde bağlıdır. Ortası boş kesitli profillerle, dolu kesitli profiller arasında oldukça büyük hız farklılıkları gözlenir, ekstrüzyon hızı alaşımın sıcak kırılgenliğiyle sınırlanmasının yanı sıra, ekstrüzyon sıcaklığı ve profil et kalınlığı ile de etkilenir. Genelleme yapmak gerekirse, profil kesiti karmaşıklaştıkça, et kalınlığı azaldıkça ve profil köşe yarı çapları azaldıkça profil yüzeyinin yırtılması kolaylaşır. Kalıp ağzında oluşan sürtünme kalıp-ürün ara yüzeyinde metal akışını engellediğinden, profil kesitinin iç kısımları daha hızlı hareket eder. Bu hız farklılıkları metalin dayanımını aşan çekme gerilmelerine neden olarak metalde çatlamalara yol açar.

4.2.3 Ekstrüzyon Deneyleri

Ekstrüzyon deneylerinin yapılmasında güdülen amaç, Etial60 alaşımına homojenleştirme sonrası uygulanan soğutma hızının ekstrüzyon yapılabilirliği ne derecede etkilediğini araştırmaktır. Homojenleştirilen ve soğutulan takozlar, 30 ve 75 ekstrüzyon oranı (R) için üç ayrı ekstrüzyon hızı uygulanarak basılmıştır. Ekstrüzyon hızları zımba ilerlemesi-zaman eğrisi yardımıyla kontrol edilmiştir. Presin hız kapasitesi göz önüne alınarak en yüksek hız 15 mm/s , diğer hızlar ise 5 ve 10 mm/s olarak uygulanmıştır. Takoz ilk sıcaklığı ve kovan sıcaklığı sabit tutulmuştur. 450°C takoz sıcaklığı ve 400°C kovan sıcaklığı kullanılan deneylerde kalıp ilk sıcaklığı ise 182-197°C arasında tutulmuştur. 30 ekstrüzyon oranının kullanıldığı deneyler her

soğuma hızı için 75 ekstrüzyon oranının kullanıldığı deneyler ise H1 ve H2 soğuma hızı için yapılmıştır. Ekstrüzyon deneylerinin sonuçları R=30 için Çizelge.4.2'de, R=75 için Çizelge.4.3 de verilmiştir. Çizelge.4.2 ve 3.12 incelendiğinde her iki ekstrüzyon oranında da her soğuma hızı için ekstrüzyon hızı arttıkça ekstrüzyon yükünün arttığı görülmektedir

Çizelge.4.2 Yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları (R=30).

Soğuma Kodu	Takoz No	Ekstrüzyon Hızı (mm/sn)	Ekstrüzyon Yüğü (ton)
H1	1	5	292
H1	2	10	302
H1	3	15	310
H2	1	5	285
H2	2	10	296
H2	3	15	306
H3	1	5	277
H3	2	10	293
H3	3	15	300

Çizelge.4.3 Yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları (R=75)

Soğuma Kodu	Takoz No	Ekstrüzyon Hızı (mm/sn)	Ekstrüzyon Yüğü (ton)
H1	1	5	382
H1	2	10	395
H1	3	15	403
H2	1	5	366
H2	2	10	388
H2	3	15	400

Takozlar R=30 ve R=75 ekstrüzyon oranları kullanılarak yalnız 5 mm/sn ekstrüzyon hızıyla basılmıştır. Takoz ilk sıcaklığı ve kovan 450°C ve 400°C olarak uygulanmıştır. Takozların ekstrüzyon deneylerinin sonuçları Çizelge.4.4 'de verilmiştir. Çizelge.4.4'deki yükler incelendiğinde yüklerin R=30 için birbirine çok yakın olduğu, R=75 içinse yüklerde bazı farklılıklar olduğu görülmektedir. Her iki oran içinde sertliği en düşük olan N3 kodlu takozlarda ekstrüzyon yükü en düşüktür.

Çizelge.4.4 Homojenleştirilen takozlarla yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları

Ekstrüzyon Oranı	Soğuma Kodu	Ekstrüzyon Yüğü (Ton)
30	N1	289
30	N2	282
30	N3	278
30	N4	284
75	N1	363
75	N2	378
75	N3	350
75	N4	365

Homojenleştirme fırınında sıcaklığın değişim gösterdiği, homojenleştirme sırasında 580°C olarak ayarlanan fırında bazı bölgelerde sıcaklığın 545°C olarak gerçekleştiği yapılan ölçümler sonucunda anlaşılmıştır. Homojenleştirme sıcaklığındaki bu değişikliğin ekstrüzyon yapılabilirliği etkileyip etkilemediğini incelemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. 550°C 'da 6 saat süreyle homojenleştirilen ve havada soğutulan (H2 soğuma kodu) üç takoz 75 ekstrüzyon oranı uygulanarak üç değişik ekstrüzyon hızıyla basılmış ve yükler kaydedilmiştir. Ekstrüzyon hızları sırasıyla 5, 10 ve 15 mm/sn, takoz sıcaklığı 450°C ve kovan sıcaklığı da 400°C olarak bir önceki deneylerdeki parametrelerle aynı seçilmişlerdir. Deney sonuçları Çizelge.4.5'de gösterilmişlerdir. Elde edilen deney yükleri 580°C 'da homojenleştirilen ve havada soğutulan takozların yükleri ile karşılaştırıldığında homojenleştirme sıcaklığındaki azalmanın ekstrüzyon yapılabilirliği pek etkilemediğini göstermektedir.

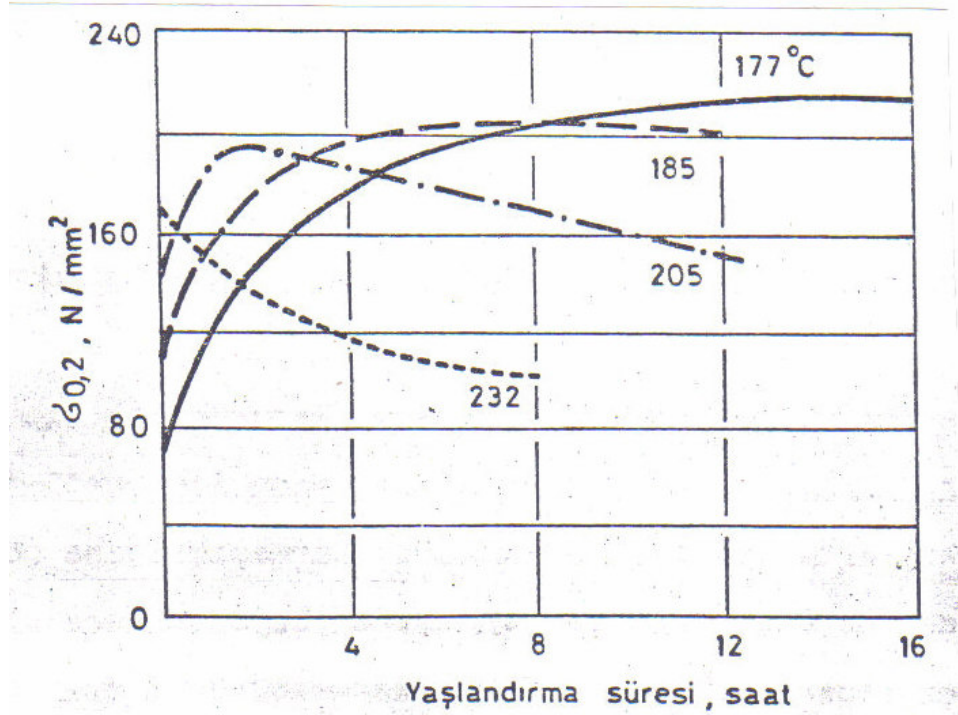
Çizelge.4.5 550°C 'da 6 saat süreyle homojenleştirilen ve havada soğutularak ekstrüzyon deneyleri yapılan takozlarda elde edilen sonuçlar.

Takoz No	Basma Hızı (mm/sn)	Ekstrüzyon Yüğü (Ton)
1	5	367
2	10	383
3	15	401

4.3 Etial60 Alaşımında Yaşlanma

Ekstrüzyonda kullanılan Al-Mg-Si alaşımlarının çoğu katı çözeltili bölgesinde (α) bulunur. Silisyum ve magnezyum ötektik sıcaklıkta çözünürlüğü yüzde 1.85 olan Mg_2Si bileşimini meydana getirir. Malzemenin dayanımı, artan Mg_2Si konsantrasyonu ile artar, ancak uzama azalır. Yaşlandırma sertleşmesi yapılabilen Al-Mg-Si alaşımlarında dayanım değeri yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlıdır. Şekil.4.3'de Etial60'ın çeşitli sıcaklıklardaki yaşlanma sertleşmesi görülmektedir. Akma dayanımı ($\sigma_{0.2}$) yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bu alaşım için optimum yaşlandırma sıcaklığı $180^\circ C$, süresi ise yaklaşık 8 saattir.

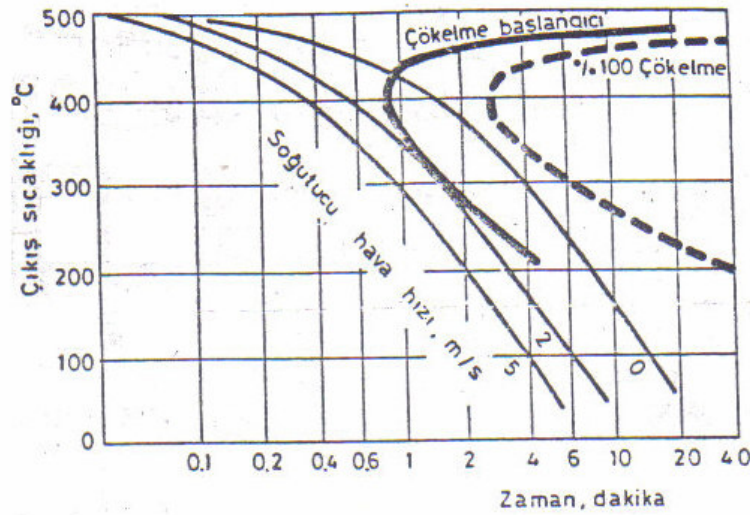
Etial60'ın sertleştirilebilmesi için bir çözünme işlemi gerektirmeden doğrudan doğruya pres çıkışında ürünün tam dayanıma ulaşması mümkündür. Bunu sağlamak için takoz sıcaklığı ve basma hızı ürünün çıkış sıcaklığı çözünme sıcaklığında olacak şekilde seçilmelidir.



Şekil.4.3 Etial60'ın yaşlandırma sertleşmesi (Altuntaş 1984)

Takozların döküm halindeki yüzeyleri iyi olduğundan herhangi bir yüzey işlemi yapılmadan ekstrüzyon yapılabilir. İnce bir yüzey tabakası ekstrüzyon sırasında sıyrılarak artık ile birlikte kaldırılır. Pratikte uygulanan takoz sıcaklığı $460-480^\circ C$ dir.

Profil çıkış hızı ise profil kesitinin karmaşıklığına göre 35-80 m/dak arasında değişir. En yüksek ekstrüzyon hızına ulaşabilmek için, takoz sıcaklığı mümkün olduğu kadar düşük tutulur. Çökelmeyi en düşük düzeyde tutabilmek için takozların işlem sıcaklığına hızla ısıtılması gereklidir. Isıtmada gaz veya endüksiyon ocağı kullanılmasının sebebi budur. Takoz sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı koordine edilerek ekstrüzyon sırasında şekil değiştirme bölgesindeki sıcaklığın çözelti sıcaklığının üstünde ($\approx 520^{\circ}\text{C}$) olması sağlanır. Böylece ince Mg_2Si çökeltileri tekrar çözünürler. Bu sırada pres çıkışı soğutma işlemi uygulanır. Soğutma su veya havayla sağlanabilir. Genel olarak, soğutma hızı çözülmüş Mg_2Si parçacıklarının miktarıyla orantılıdır. AlMgSi0.5 ' in kritik soğutma hızı çıkan profilin suda soğutulmasını gerektirecek kadar fazla değildir. Bu nedenle profil havada soğutulabilir ve böylece profilin çarpılması da önlenmiş olur. Çıkış tablasında hava konveksiyonu ile $520-540^{\circ}\text{C}$ ' dan 200°C ' a soğutma, müteakip yaşlanma sertleşmesi için yeterlidir. Pres çıkışında soğutulan üründeki Mg_2Si 'nin çökme eğiliminin fazla olduğu sıcaklık aralığı 425°C ile 270°C arasındadır. Dolayısıyla, soğutmanın bu aralıkta özellikle çabuk yapılması gerekir. Tam sertleşme için ortalama $70^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ ' lık bir soğutma hızı yeterlidir. Şekil.4.4' da görülen zaman-sıcaklık-çökme diyagramı çeşitli soğuma hızlarındaki çökme halini özetlemektedir.

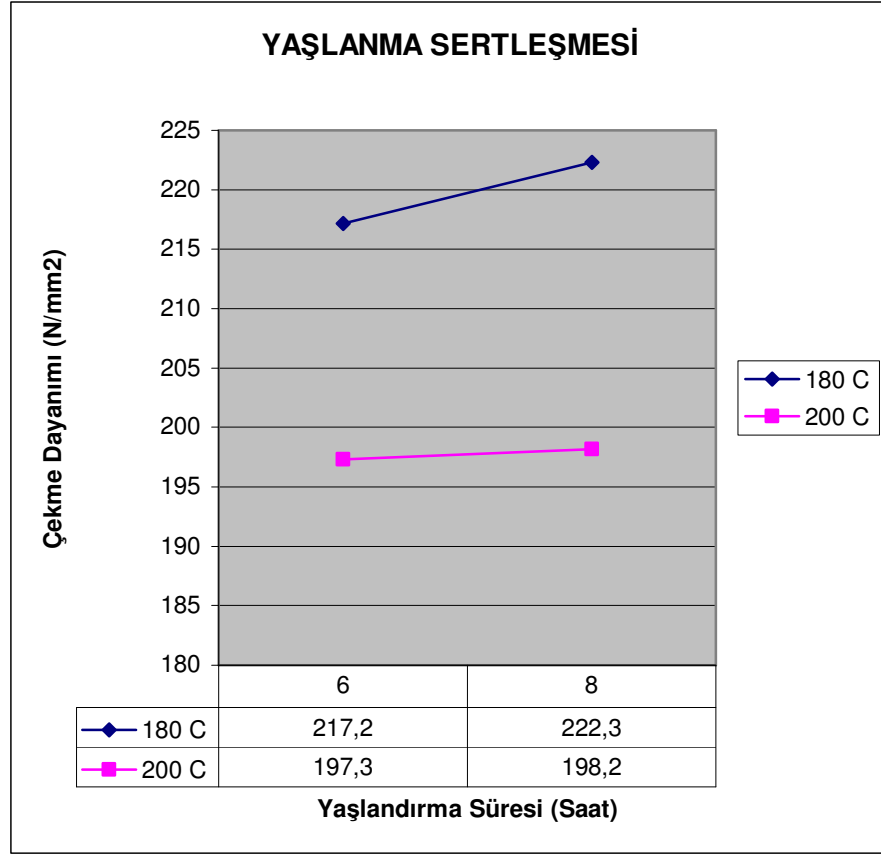


Şekil.4.4 Etial60 zaman-sıcaklık-çökme diyagramı

Yaşlandırma deneyi için 4 değişik numune alınmıştır. 1 ve 2 Nolu numuneler 180°C 'de 8 saat, 3 ve 4 Nolu numuneler 200°C 'da 6 saat yaşlandırma işlemi

uygulanmıştır. Bu işlem sonucundaki sertlik değerleri ve çekme mukavemetleri Çizelge.4.6de verilmiştir.

Çizelge.4.6 Yaşlandırma deneyi sonuçları



Numune No	Yaşlandırma İşlemi	Sertlik [HB]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]
1	180°C 'de 8 saat	71	217,2
2	180°C 'de 8 saat	72	222,3
3	200°C 'de 6 saat	63	197,3
4	200°C 'de 6 saat	64	198,2

4.4 Etial60 Alaşımının Ekstrüzyonunda Yüzey Kalitesi

Kimyasal olarak parlatılmış ve anodik kaplaması yapılmış profiller otomobillerde, evlerde ve mobilya yapımında kullanılmaktadır. Normal kalite için Al99.75 bazlı, iyi kalite parlak yüzey için ise Al99.9 bazlı alaşım kullanılır. Yaşlanma sertleşmesi gösteren alaşımlarda en yüksek parlaklık seviyesini elde etmek oldukça zordur, çünkü anodik kaplama tabakasının net görünmesine sebep olan Mg₂Si fazının

üretiminde değişik kademelerinde heterojen olarak çökeltme tehlikesi mevcuttur. Bu yüzden üretimin bütün kademeleri Mg_2Si çökeltmesini önlemek için dikkatle ayarlanmalıdır. Parlak yüzey görünümü Mg_2Si çökeltmelerinin yanı sıra ikincil katılaşmış $AlFeSi$ fazıyla da engellenebilir, bu nedenle her iki hata kaynağının da üretimde göz önüne alınması gerekir. Alınması gereken ilk önlem, $AlFeSi$ fazının hücre ve tane sınırlarında düzgün dağılımını sağlayacak şekilde dökümü kontrol etmektir. Heterojen çökeltmeler endüstriyel ısıtma pratiklerinde yüksek homojenleştirme sıcaklıklarında bile hemen hemen çözünmezler. Eğer başlangıçta bu çökeltmeler çok iriyse ısıtma işleminden sonra kalırlar, ekstrüzyon sırasında ise parçalanarak parlaklığı engellerler. $580^{\circ}C$ ' da uzun süreli yapılan ısıtma işlemleri çökeltmelerin kısmen çözünmeleri sağlar ve bu da profilin parlaklığını olumlu etkiler. Elektron mikroskop incelemeleri bu çökeltmelerin magnezyum içermeyen $Al-Fe-Si$ fazı olduğunu göstermiştir. Etial60 alaşımına, parlak yüzey görünümü için yüksek sıcaklıkta uygulanan homojenleştirme sırasında yaşlanma sertleşmesi için gerekli Mg_2Si fazı tamamıyla çözünür. Takozların suda hızlı soğutulmasıyla bu katı çözelti halinin korunması sağlanır. Parlaklık aynı zamanda parçacık boyutunun belli bir değeri aşmasıyla da bozulur. Bu yüzden hızlı soğutma ve ekstrüzyon sıcaklığına ısıtma sırasında yalnızca ince Mg_2Si çökeltmelerinin oluşması, böylelikle ekstrüzyon sırasında deformasyon bölgesinde oluşan $500^{\circ}C$ civarındaki sıcaklıkta çözünmelerinin sağlanmasına dikkat edilmelidir. Deformasyon sırasındaki sıcaklık artışı yardımıyla oluşan bu katı çözeltinin korunması için profilin kalıp ağzından çıktıktan sonra suyla hızlı soğutulması gerekmektedir. İnce et kalınlığına sahip fakat karmaşık kesitli profillerde, suda soğutma nedeniyle ortaya çıkan boyut değişimlerini önlemek için hava üfleyerek soğutma denemeleri parlak yüzey üzerinde istenmeyen bölgelerin oluşmasına sebep olmuştur. Çekme kontrollü çekicilerin kullanılması ince kesitlerin çarpılmasını önlemektedir. Parlak yüzey takozları parlak yüzeyi bozabilecek yüzey segregasyonu ve safsızlıkları yok etmek için genellikle tornalama işlemine tabi tutulurlar.

Etial60 alaşımının en kolay anodik kaplama yapılabilen alaşımlardan birisidir. Ancak kaliteli bir anodik kaplama elde edebilmek için alaşımın bileşiminde ve üretim parametrelerinde bazı düzenlemeler gerekir. Normal anodik kaplama ışığı belli bir oranda yayarak (diffuse) yansır ve bunun sonucunda karakteristik görünümünü alır. Bu yansıma şekli aynı zamanda kalıp çizgileri gibi ekstrüzyon hatalarını da kamufle eder.

Öte yandan giderek daha yaygın olarak kullanılmasına başlanılan bir başka anodik kaplama tipi ise parlak (bright) anodik kaplamadır. Işığı doğrudan yansıtan bu anodik kaplama tipi krom veya nikel kaplama gibi bir görünüm verir. Parlak anodik kaplama yüksek saflıktaki alüminyum üzerinde en iyi neticeyi vermektedir. Bununla beraber düşük alaşımlı parçalarda da kabul edilebilir kalitede kaplama elde edilebilmektedir.

Bu iki tip anodik kaplama için kaplama öncesinde parça yüzeyinde farklı özellikler aranır. Normal anodik kaplamanın ışığı yayarak yansıtabilmesi için yüzeyde mikroskobik ölçekte pürüzler arzu edilir. Bu pürüzler dağlama yolu ile elde edilir ve aynı zamanda alaşımın içindeki çökeltisinde istenilen pürüzleri oluşturmada katkıları sağlanabilir. Ancak çökeltilerin katkısının kontrollü bir şekilde olması şarttır. Aksi halde ileride de değinileceği gibi, kaplama problemleri belirebilir. Parlak anodik kaplamanın ışığı bir ayna gibi yansıması istenildiğinden yüzeyin düz ve pürüzsüz olması gereklidir. Dolayısıyla alaşımdaki çökeltilerin oluşturacağı pürüzler istenmez.(Franz 1970)

5.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1 Homojenleştirme İşlemi Yapılan Numunelerdeki Bulgular

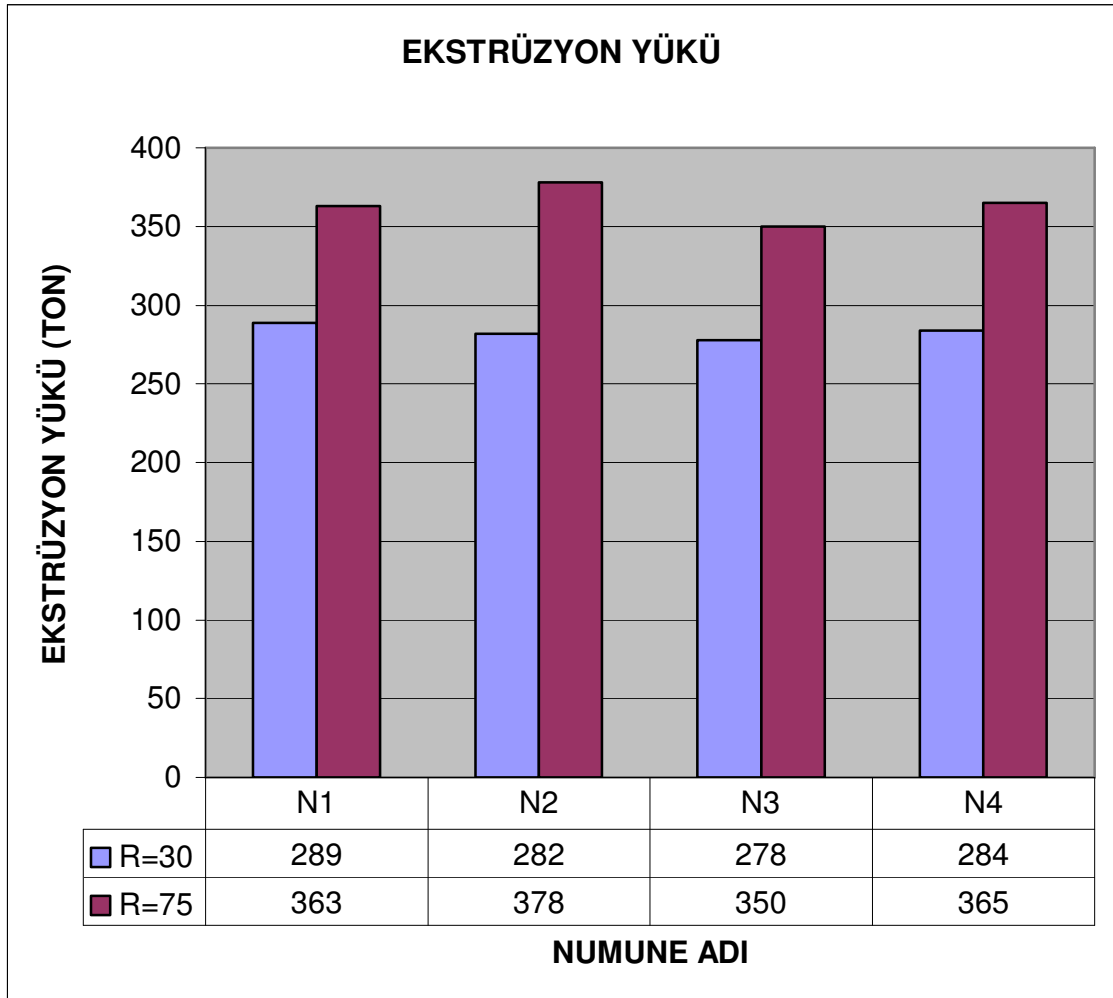
Homojenleştirilen numunelerin mekanik özellikleri Çizelge.5.1 de özetlenmiştir. Bu dört biyetten yalnız N3 kodlu kütüğün diğerlerinden farklı olduğu, geriye kalan üç kütüğün ise birbirine benzer mekanik özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge.5.1 Homojenleştirilmesi yapılan biyetlerin homojenleştirme koşulları ve mekanik özellikleri

Biyet No	Soğuma Hızı (°C/dak)	Sertlik (Brinell)	Akma dayanımı (N/mm ²)	Kopma dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
N1	10,1	47	65	164	26
N2	9,1	48	69	169	26
N3	8,2	54	82	187	31
N4	7,7	47	63	156	28
Havada Soğutulan		47	67	160	27
Suda Soğutulan		54	80	184	27
Standart Minimum Değerler		-	59	147	12

Çizelge.5.1 deki biyetlerin mekanik özellikleri standartlarda öngörülen minimum değerleri geçmektedir. Bu biyetlerin soğuma hızları literatürde görülen soğuma hızlarından daha yüksektir. Dolayısıyla arzu edilen daha ince bir Mg₂Si dağılımı elde edildiği varsayılabilir. Ayrıca bir miktar magnezyum ve silisyum katı çözeltilde kalmış olması da beklenebilir. Değişik konteynerlerdeki biyetlerin farklı hızla soğudukları saptanmıştır. Bilhassa duşların önünde ilk sırada yer alan konteynerlerdeki biyetlerin oldukça hızlı soğuduğu görülmektedir.

Homojenleştirme fırını içinde 45°C a kadar değişen sıcaklık farklılıkları olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık farkı magnezyum ve silisyum katı çözeltiliye alınması yönünden önemli bir problem yaratmayabilir. Ancak homojenleştirme sırasında AlFeSi çökeltilerinin morfolojilerinde yer alacak değişikliğin de daha sonraki ekstrüzyon hızını etkileyebileceği literatürde yer almaktadır. Fırındaki sıcaklık farkı AlFeSi fazlarının şekil ve dağılımın, bu ise ekstrüzyon hızını etkileyebilir. Şekil 5.1 de homojenleştirilen numunelerin 30 ve 75 ekstrüzyon oranları ile yapılan deneylerdeki ekstrüzyon yükleri görülmektedir. Özellikle ekstrüzyon oranı R=75 olan deneylerdeki N3 kodlu numunenin ekstrüzyon yükü en azdır. Sonuç olarak homojenleştirme sıcaklığı olan 580°C ye ulaşmış en az 2 saat bekleyen bir biyetin ekstrüzyon yapılabilirliği artmaktadır.



Şekil.5.1 Homojenleştirme koşullarının ekstrüzyon yüküne etkisi

5.2 Çözünme Hızları ve Faz Değişimleri İle İlgili Bulgular

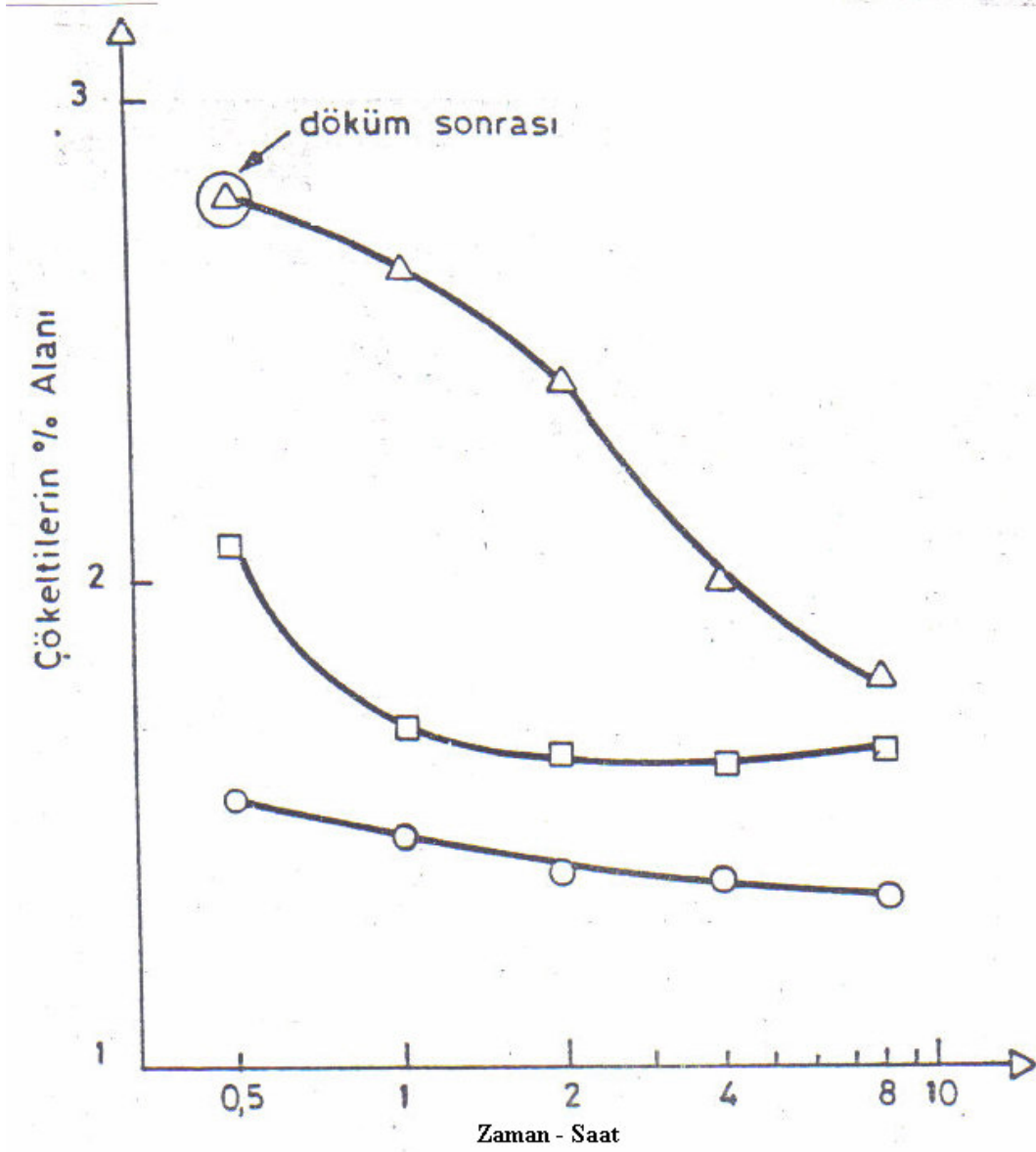
Döküm yapıdaki çökeltelerde görünen magnezyumun hızla çözüldüğü, denenen en düşük sıcaklık olan 550°C da en kısa süre olan ½ saatten sonra dahi bu çökeltilerdeki magnezyumun tamamen çözülmüş olduğu görülmüştür. AlFeSi fazların $\beta \rightarrow \alpha$ ya dönüşümü ise daha yavaş olan bir olaydır. Bu dönüşüm, çökeltinin şeklinin ince uzundan daha kısa ve yuvarlağa değişimi ile belirlenmektedir. Homojenleştirme sıcaklığı ve homojenleştirme süresi ile birlikte dönüşümün arttığı görülmektedir.

Homojenleştirme sırasında yer alan bir diğer olaysa AlFeSi fazların daha yavaş gerçekleşen çözümleridir. Homojenleştirme işlemi 580°C ve 590°C da yapılan numunelerdeki AlFeSi çökeltilerin alan yüzdeleri görüntü analizi teknikleri ile Beatty (1977) tarafından ölçülmüşlerdir. Bu numunelerdeki çökelti yüzdesinin homojenleştirme süresi ile değişimi Şekil.5.2 deki grafikte gösterilmiştir. Bu şekilde 510°C için iki ayrı eğri verilmiştir. Birincisinde numune 560°C a ani olarak ısıtılmış, ikincisinde ise 8 saatte lineer bir hızla ısıtılmıştır. İki eğri arasındaki bu fark 8 saatlik ısınma süresi içinde büyük oranda bir çözünmenin gerçekleştiğini göstermektedir. Çökeltilerdeki magnezyum da bu ısınma süresi içinde çözüldüğü tahmin edilmektedir. (Beatty 1977)

5.3 Homojenleştirmeden Sonraki Soğuma Hızının Etial60'ın Ekstrüzyon Parametrelerine Etkisi

Etial 60 takozların homojenleştirmeden soğuma hızlarının ekstrüzyon yükü, mekanik özellikler ve ürün yüzey kalitesi, dolayısıyla da presin üretkenliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle, deformasyon parametreleri ve mekanik özellikler de seçilen soğutma hızı ile belirlenir.

550°C nin üzerindeki sıcaklıklarda magnezyum ve silisyumun katı çözeltiliye alınması ve yapı içerisinde dengeli dağılımı kolaylıkla sağlayabilmektedir. Ancak homojenleştirmeden sonraki soğutma hızı çok yavaşsa örneğin 1.6° C/dak dan daha düşükse çok miktarda iri Mg₂Si çökelecektir.(Barry 1977) Bu durumda deformasyon direnci azalacak ekstrüzyon hızı artacak ancak ekstrüzyon ürünün mekanik özellikleri



Şekil.5.2 AlFeSi çökeltilerinin yüzde alanlarının homojenleştirme süresi ile değişimi (Beatty 1977)

Δ 560 °C'a ani ısıtılarak gösterilen sürelerle bu sıcaklıkta tutulan numuneler

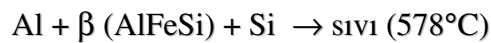
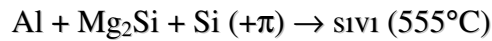
□ 560 °C'a 8 saatte lineer hızla ısıtıldıktan sonra gösterilen sürelerle bu sıcaklıkta tutulan numuneler

○ 590 °C'a 8 saatte lineer hızla ısıtıldıktan sonra gösterilen sürelerle bu sıcaklıkta tutulan numuneler

yetersiz olacaktır. Buna karşılık 8.5° C/dak gibi çok hızlı bir soğutma hızı uygulandığında Mg₂Si ile aşırı doymuş bir katı çözelti elde edilecektir. Bu durumda da deformasyona direnç artacak ve ekstrüzyon hızı azalacaktır. Bu nedenle ekstrüzyon sırasında kolayca çözünebilecek ve pres çıkışında tamamıyla katı çözeltiliye geçebilecek büyüklükte Mg₂Si parçacıkları oluşacak uygun bir soğutma hızı bulunmalıdır.

Seçilen herhangi bir ekstrüzyon hızında ekstrüzyon sıcaklığı artan şekil değişim direnci ile artmaktadır. Malzemenin şekil değişimine direncide homojenleştirmeden sonraki soğutma hızı veya katı çözeltideki magnezyum ve silisyum miktarı ile artmaktadır. Ekstrüzyon sıcaklığı da ekstrüzyon hızı arttıkça artacaktır. Reiso ekstrüzyon sırasındaki yırtılmaları açıklamak içinde bir model önerilmiştir. Mg₂Si parçacıkları iri olduğu zaman yırtılma iç kısımlarda Mg₂Si çözeltide olduğunda ise yırtılmalar ekstrüzyon yüzeyinde olmaktadır. Yüzeydeki yırtılmalar birinci tür yırtılma iç kısımdaki yırtılmalar ikinci tür yırtılma olarak adlandırılmıştır.

Kalıp yüzeyine yakın bölgelerde, gerilmelerin en yüksek değerine ulaştığı yerlerde Mg₂Si parçacıkları gerilme yoğunlaşmasına ve yırtılmasına neden olacaklardır. Bunun sonucu olarak ya yüzeyin altındaki boşluklar ortaya çıkacak, ya da Mg₂Si fazı diğer elementlerle birleşerek düşük sıcaklıkta eriyen ötektik bölgeler oluşturacaktır. Homojenleştirme sıcaklığından soğuma sırasında takozun tane sınırlarındaki AlFeSi fazları Mg₂Si fazının çökmesi için çekirdeklenme noktaları teşkil edebilirler. Soğuma hızı yeterince yavaş ise AlFeSi parçacıkları etrafında MgSi fazları büyüyecektir. Takozun ekstrüzyon sıcaklığına yeniden ısıtılması sırasında yüksek ısıtma hızları uygulanacağından ve ekstrüzyon sırasındaki sıcaklık artışları hızlı olacağından çözeltiliye geçmeye yeterli zaman olmayacaktır. Bu nedenle ötektik erimeye yol açılacaktır. Yer alabilecek ötektik tepkimeler şunlar olabilir.



Bu durumda malzemenin dayanımı önemli ölçüde azalacağından beklenenden daha düşük bir hızda yırtılma görülecektir.

Soğuma hızı düşürüldüğünde daha fazla sayıda ve daha iri Mg₂Si bileşiği oluşacaktır. Bu durum, alaşım için katı çözeltide daha az magnezyum ve silisyum

kalması ve matris dayanımının daha düşük olması demektir. Böylece yırtılma sıcaklığına ulaşılmadan daha yüksek hızda ekstrüzyon yapılabilir.

Anlatılan modelden (Reiso 1984) ve diğer çalışmalardan anlaşılacağı gibi ekstrüzyon için en uygun takoz mikro yapısında, ekstrüzyon süreci sırasında kolayca çözeltiye geçebilecek büyüklükte Mg_2Si çökelti bulunmalıdır. İstenilen büyüklükte çökelti oluşumu homojenleştirmeden sonraki soğutma hızının iyi kontrol edilmesi ya da alaşımın bileşiminin değiştirilmesi ile sağlanabilir. Amaç, fazların çökeltme hızını arttırmaktır. Ancak bileşimde bir değişiklik yaparken ekstrüzyon yapılabirlik ya da diğer mekanik özelliklerde meydana gelebilecek değişiklikler göz önüne alınmalıdır.

5.4 Homojenleştirme Sonrası Soğuma Hızının Mikroyapıya Etkisi

Homojenleştirme işlemi uygun sıcaklık ve sürede gerçekleştirildikten sonra belirli bir hızda soğutulan biyetlerde ekstrüzyon için en uygun mikro yapının elde edilmesi gerekir. Ticari uygulamalarda genel olarak kullanılan sıcaklık olan $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ da 6 saat süreyle homojenleştirme işlemi yapılarak çözünmenin ve $\beta \rightarrow \alpha$ dönüşümünün tamamlanması amaçlanmıştır.

Homojenleştirme işlemi $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu fırınında yapılmış ve biyetler üç ayrı hızda soğutulmuşlardır. Soğutma ön deneylerinden sonra, hızlı soğutma olması nedeniyle su püskürtme, durgun hava ve $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ fırında soğutma şekli seçilmiştir. H1, H2 ve H3 soğuma kodlarıyla tanımlanan biyetlerin soğuma hızları Çizelge.5.2'de görülmektedir.

Çizelge.5.2 Yapılan deneylerde uygulanan soğutma hızları

Biyet Kodu	Soğutma Hızı $^{\circ}\text{C}/\text{dak}$
H1	430-700
H2	5
H3	2

Buna göre H3 ve H2 soğuma hızında soğuyan numuneler karşılaştırıldığında $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$. hızla soğuyan numunedeki çökeltilerin $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$. hızla soğuyan numuneye oranla daha fazla olması beklenmelidir. Bu araştırma süresinin kısıtlılığı nedeniyle

numunelerde TEM incelemeleri yapılamamış, fakat literatürler verilerek bunların doğruluğu benimsenmiştir.

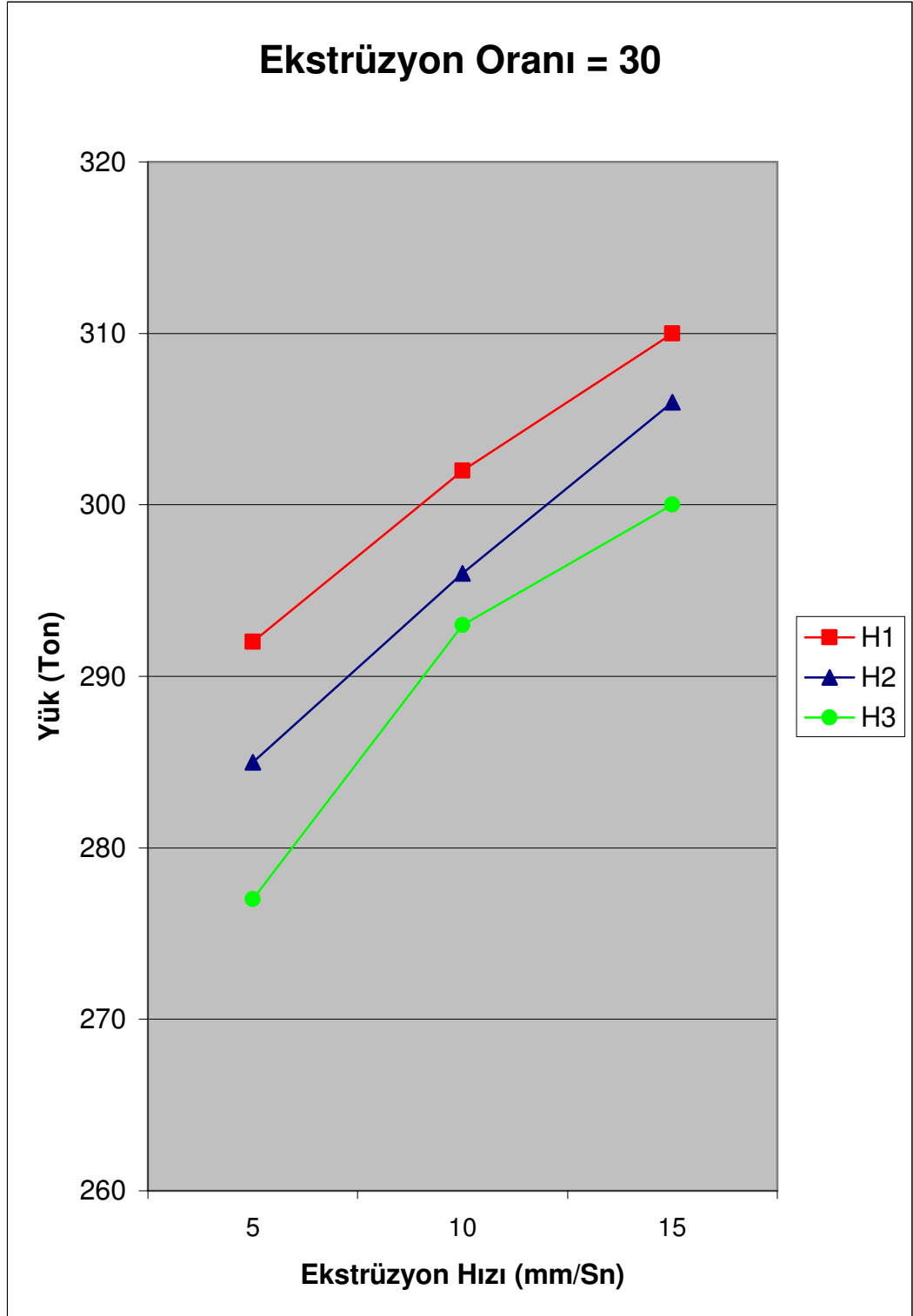
5.5 Ekstrüzyon Deneylerinin Sonuçları

Yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları incelendiğinde, soğuma hızının azalmasıyla ekstrüzyon yükünün azaldığı görülmektedir. Bu sonuç mikro yapı incelemeleri ve literatürle de uyumaktadır. Mg₂Si çökeltilerinin büyüklüğü soğuma hızı azaldıkça artmakta, bu da ekstrüzyonun daha düşük yüklerle gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Soğuma hızının azalmasıyla yükün azalması ekstrüzyon yapılabilirlik açısından değerlendirilirse, düşük soğuma hızının ekstrüzyon yapılabilirliği artırdığı söylenebilir. Ancak soğuma hızının ekstrüzyon yapılabilirlik üzerindeki etkisini daha iyi açıklayabilmek amacıyla, karşılaştırmanın ekstrüzyon hızı bazında yapılması gereklidir. Bu nedenle, 30 ve 75 ekstrüzyon oranında yapılan deneyler için log hız-yük eğrileri çizilmiştir. (Şekil.5.3, 5.4) Hız-yük eğrileri incelendiğinde sabit bir ekstrüzyon yükünde, düşük soğuma hızının yüksek soğuma hızına oranla daha yüksek bir ekstrüzyon hızı sağladığı açıkça görülmektedir. Hız artışı bazında yapılan bu karşılaştırma ekstrüzyon yapılabilirlik hakkında oldukça iyi bir fikir vermektedir. Soğuma hızının kontrol edilemediği durumlarda, ekstrüzyon hızının önemli ölçüde düşmesi beklenebilir.

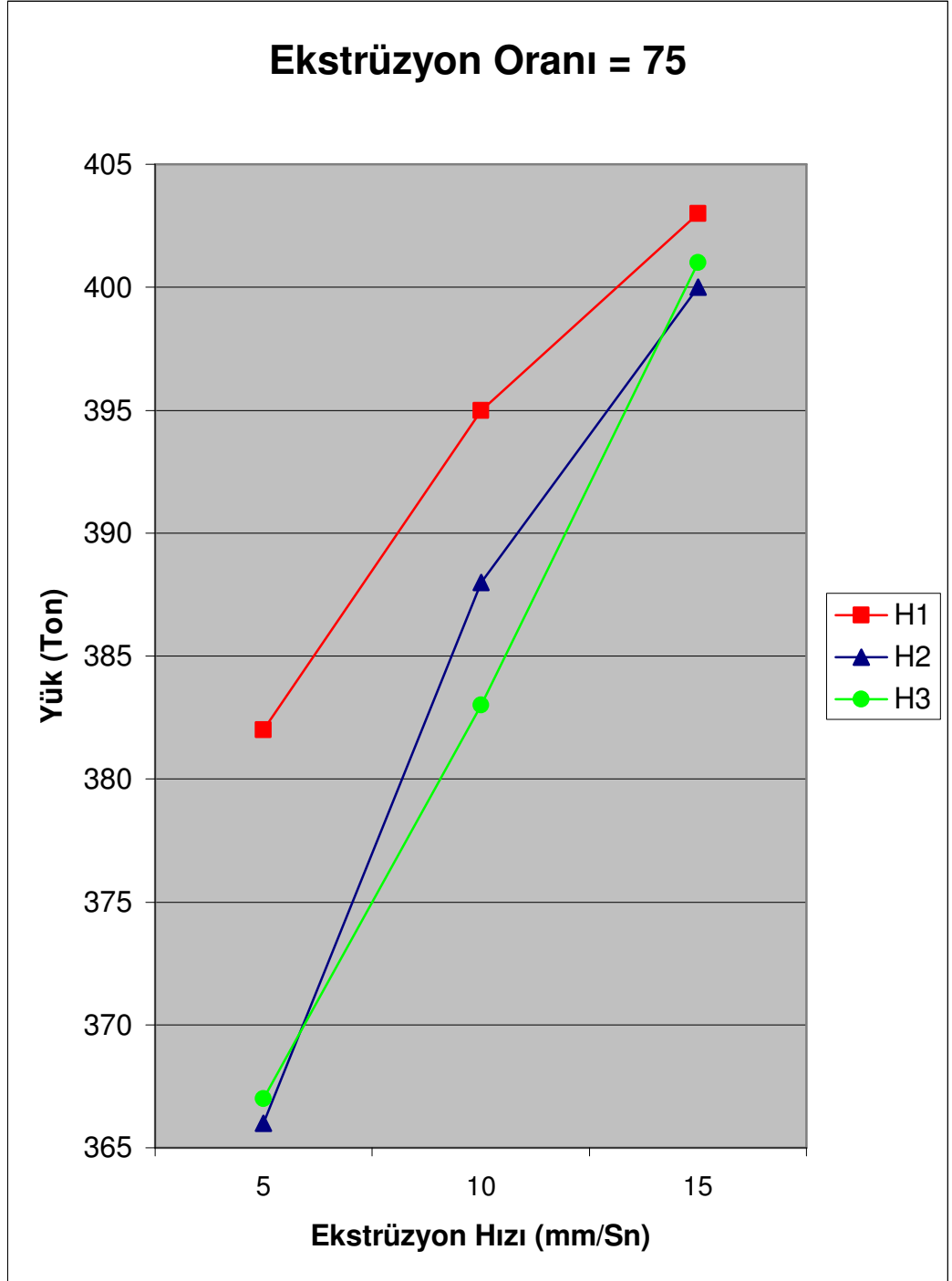
İki yavaş soğuma hızı H2 (5°C/ dak) ile H3 (2°C/dak) arasında yapılan karşılaştırmadan da görüldüğü gibi, birbirine yakın iki hızda bile yavaş soğuma ekstrüzyon hızını arttırmaktadır. Ancak burada göz önüne alınması gereken nokta Mg₂Si çökeltilerinin çok yavaş soğuma sonucunda ekstrüzyon sırasında çözünmeyecek kadar irileşmelerine engel olunmasıdır.

Bu bilgilerin ışığında, yavaş soğuma ile, ekstrüzyon için daha uygun bir mikro yapı elde edildiği söylenebilir. Ancak çökeltilerin daha fazla irileşmesine engel olunmalıdır.

Yapılan deneylerde homojenleştirme sonrasında suda soğutulan numunelerin yaşlanma sertleşmesine çok duyarlı hale geldikleri görülmüştür. Bu biyetler homojenleştirme işleminden sonra ekstrüzyona gitmez ve depolanırlarsa sertlikleri zamana bağlı olarak giderek artacaktır. Bu durumda da biyetlerin ekstrüzyon yapılabilirliği azalacaktır.



Şekil.5.3 R=30 ekstrüzyon oranında ekstrüzyon yükünün basma hızı ve homojenleştirme sonrası soğuma hızı ile değişimi



Şekil.5.4 R=75 ekstrüzyon oranında ekstrüzyon yükünün basma hızı ve homojenleştirme sonrası soğuma hızı ile değişimi

Homojenleştirme işlemi 550°C ve 580°C gibi farklı sıcaklıklarda yapılmış numunelerde laboratuvar koşullarında ekstrüzyon hızı açısından önemli bir farklılık görülmemiştir.(Şekil.5.4). Literatürdeki mikro yapı incelemeleri Mg₂Si çökeltilerin homojenleştirme sıcaklığına ısınırken çözündüklerini (580°C'a sekiz saatte ısıtılan endüstriyel uygulamada), bekleme süresinde ise AlFeSi fazların morfolojilerinde değişimler olduğunu göstermiştir. Dolayısı ile 550°C ve 580°C 'lık sıcaklıkların her ikisinde de Mg₂Si fazların çözünmüş olması, buna karşılık ikisindeki AlFeSi fazların α/β oranının ve dendrit kolları arasındaki konsantrasyon gradyanının farklı olması beklenebilir. Uygulanan ekstrüzyon koşullarında α/β oranındaki farklılık ekstrüzyon hızını etkilememiştir. Endüstriyel uygulamalarda daha yüksek ekstrüzyon hızları ve oranları kullanıldığında α/β oranı daha önemli hale gelebilir.

5.6 Anodik Kaplamada Karşılaşılan Problemler (Kafe 1984)

Anodik kaplamada en sık karşılaşılan problemlerden birisi kaplama renginin sabit bir tonda olmaması, yerel olarak koyu ve açık renkli bölgelerin oluşmasıdır. Problemin nedeni ekstrüzyon presi çıkışında parçanın değişik bölgelerinin farklı hızla soğuması ve bunun Mg₂Si çökelti boyutlarını ve dağılımını etkilemesine bağlanmıştır. Yerel olarak farklı hızda soğumanın değişik nedenleri olabilir; değişik et kalınlığındaki kısımları içeren parçalarda soğuma hızı et kalınlığına bağlı farklılıklar gösterecektir. Ayrıca ekstrüzyon presinden çıktıktan sonra konveyör üzerinde soğumaya bırakılan parçaların konveyörün metal aksamı ile temas eden noktaları daha hızlı soğuyacaktır.

Anodik kaplama tabakası üzerinde uzunlamasına bantlar oluşması değişik nedenlere dayanabilir:

1-Oksit veya karbon gibi yabancı maddeler ekstrüzyon öncesinde alaşıma buharlaşırsa, ekstrüzyon sonrası yüzeyde bantlar oluştururlar ve bu bantlar üzerindeki anodik kaplama farklı bir görünüm verir.

2-Ekstrüzyondan sonraki taşıma sırasında alaşım bazı yerlere sürtünürse bu yüzeylerde deformasyon sertleşmesi olur. Sertleşen bu bölgelerde farklı bir anodik kaplama oluşur ve uzunlamasına bantlar halinde belirirler.

3-Bazı kompleks kesitli ekstrüzyonlar da alaşım kalıptan geçerken ayrılır, kalıptan çıktıktan sonra tekrar birleştirilerek kaynaklanması sağlanır. Farklı bir yapının olduğu kaynak bölgesinde anodik kaplamada farklı bir görünüm alır.

4-Ekstrüzyondan sonra alaşım üzerinde oluşan oksit tabakasının bazı bölgeleri fazla oranda MgO içerebilirler. Anodik kaplama öncesi alkali dağlama banyolarında MgO çözünmediğinden bu bölgelerde farklı bir kaplama oluşur. Bu durumda alkali banyo öncesinde bir asit banyosu ile MgO'nun temizlenmesi gerekir.

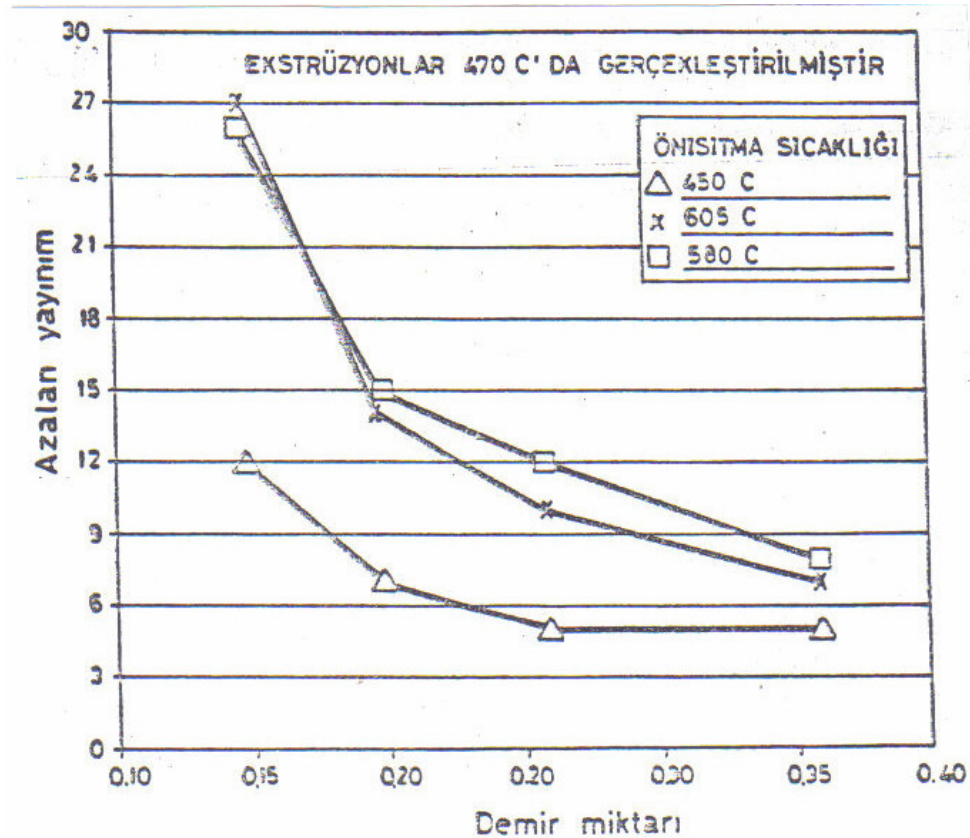
Anodik kaplamada görünen bir diğer problem ise galvaniz görünümü olup bu durumda kaplama galvaniz kaplamaya benzer şekilde farklı tonda taneleri içeren bir görünüm alır. Problemin nedeni alaşımdaki çinkoya bağlanmıştır. Alkali dağlama sırasında çözünen çinko banyodaki çinko oranını giderek artırır ve belirli bir limitin üstüne çıkınca alaşım yüzeyinde yeniden çinko bileşikleri oluşturmaya başlar. Bu durumda düzgün bir dağlama yapılamayacağından karakteristik galvaniz görünümü oluşur. Problem bilhassa ekstrüzyondan sonra yavaş soğuyan numunelerde belirgin olarak ortaya çıkar. Alkali banyo bileşiminin zaman zaman kontrol edilerek çinko artışına karşı önlem alınması gereklidir. Galvaniz görünümü, bileşiminde % 0.02 den daha fazla çinko içeren alaşımlarda daha sıktır. Dolayısıyla alaşımdaki çinko oranının bu limitin altında tutulması da yararlı olacaktır.

5.6.1 Normal Anodik Kaplama

Normal anodik kaplama kalitesini etkileyen en önemli alaşım elementinin demir olduğu belirlenmiştir. Demir oranı yüzde 0.10 dan 0.20 ye çıkartıldığında ışık yayılımı (diffusivity) belirgin olarak artmış, 0.30 a çıkartıldığında artış devam etmekle birlikte daha az oranda olduğu görülmüştür. Ayrıca yüzde 0.20-0.30 arasında bakır ilavesinin anodik kaplama kalitesini arttırdığı, buna karşılık silisyum ve magnezyum oranlarındaki değişikliğin anodik kaplama kalitesini etkilemediği saptanmıştır. Demir ve bakır oranındaki artış alaşımın ekstrüzyon edilebilme kabiliyetini olumsuz yönde etkilediğinden iyi kaliteli bir anodik kaplama veya kolay ekstrüzyon arasında bir seçim yapmak gerekecektir. Bazı firmalar daha az bir demir ilavesi ile her iki amaca da kısmen uygun bir alaşım pazarlamaktadırlar.

Homojenleştirme sıcaklığındaki farklılıklar anodik kaplama kalitesini bileşimdeki farklılıklardan daha az oranda etkilemektedirler. Homojenleştirme

sıcaklığının anodik kaplama üzerindeki etkisi incelendiğinde homojenleştirilmemiş veya düşük sıcaklıklarda (450-500°C) homojenleştirilmiş numunelerin daha kaliteli anodik kaplama oluşturduğu, buna karşılık normal sıcaklıklarda (580°C) homojenleştirilen numunelerde oluşturulan anodik kaplamanın daha düşük kalite olduğu bulunmuştur. Homojenleştirme sıcaklığı ve demir yüzdesinin anodik kaplamanın ışık yayınımlı üzerindeki etkisi Şekil.5.5 de gösterilmiştir. İncelenmiş olan diğer bir husus ise homojenleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutma hızının anodik kaplama kalitesi üzerine etkisidir. Yavaş soğutulan numunelerde oluşan büyük Mg_2Si çökeltilerin ışığın yayınımlına katkıda bulunarak daha güzel bir görünüm oluşturduğu, buna karşılık hızlı soğutulan numunelerde dalgalı bir anodik kaplama oluştuğu belirlenmiştir. Alcoa laboratuvarlarında yapılan bu testlerde anodik kaplama, ekstrüzyon işlemi ve bunu izleyen T6 temperinden sonra yapılmıştır. Ancak homojenleştirme sonrasında numunelere uygulanan soğuma hızları numerik olarak verilmemişlerdir. Alcan'da



Şekil.5.5 Etial60 alaşımında homojenleştirme sıcaklığı ve demir yüzdesinin anodik kaplamanın ışık yayınımlı üzerindeki etkisi (Lynch 1971).

yapılan bir araştırma ise iyi bir anodik kaplama için Mg_2Si taneciklerinin homojen bir şekilde dağılmış olmaları ve tane büyüklüğünün 0.25 mm den az olması gerektiği belirtilmiştir.(Lynch 1971). Bu konuda ilave edilebilecek olan son bir husus ise ekstrüzyon öncesi ısıtma ne kadar düşük sıcaklıkta olursa anodik kaplama kalitesinin o kadar iyi olduğudur.

5.6.2 Parlak Anodik Kaplama

Parlak anodik kaplama daha öncede belirtildiği gibi düz bir yüzey gerektirir. Dolayısı ile ışığın yüzeyden dağılık yansımaya neden olabilecek pürüzlerin önlenmesi ve kimyasal parlatma işlemleri ile alınması gerekir. Böyle bir yüzey saf alüminyumda kolayca elde edilebilir. Fakat alaşım halindeki alüminyumda bulunan çökeltiler problem yaratırlar. Etial60 alüminyum alaşımındaki alaşım elementleri miktarı oldukça az olduğundan bu alaşım da parlak anodik kaplama elde edilebilmektedir. Parlak anodik kaplama günümüzde bilhassa otomotiv sanayiinde giderek yaygınlaşan bir uygulama haline bürünmektedir.

Parlak anodik kaplama için alaşımdaki demir oranının yüzde 0.15 den az olması arzu edilir. Ayrıca homojenleştirme sıcaklığı ve soğuma hızının kontrolü ile ince Mg_2Si çökeltilerinin oluşması gereklidir. Yüzde 0.10-0.15 arasındaki bakır ilavesinin bilhassa kimyasal parlatma aşamasında yardımcı olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra bakır ilavesinin Mg_2Si çökelti sayısını arttırarak büyük çökeltilerin oluşması ihtimalini azalttığı da öne sürülmüştür.

KAYNAKLAR

- ALTENPOHL, D 1965. Aluminum Viewed From Within, Stuttgart.
- ALTINTAŞ ,S. 1984. AlMgSi0.5 Ekstrüzyonu ve Mekanik Özelliklere Etki eden Parametreler. Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Raporu. 67s.
- ARDELL ,A.J. 1985.Precipitation Hardening. Metallurgical Transactions p 2131-2165.
- BARRY , W.G. ,Hains , R.W. 1977. Current and New AA 6000 Series Extrusion Alloys. Proc. 2nd Int. Aluminium Extrusion Technol. Seminar, Atlanta. p 6-10.
- BAUMGARTEN , J. 1984. Investigation of Some Steps in The Production of Al-Mg₂Si Extrusions with High Quality. The Aluminium Association Usa Vol.2. p 45-48
- BEATTY, E.C. 1981. How the properties and microstructure of 6063 alloy extrusions depend upon fabrication practice
- BEATTY, E.C. 1977. Light Metal Age, How Billet Structure Effect Extrusion Performance of 6061 Alloy.
- BUSBY ,A.K. ,EDWARD ,L. And MARTIN ,J.W. 1986. Effect of Aging and Dispersoid Content on Tensile Properties of Al-0.6Mg-1Si Alloys. Materials Science and Technology 2. p 363-367 .
- ERSÜMER , Aram.1960. Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri, İstanbul 37 s.
- FRANZ , E.C. 1970. Process Factor Affecting Finish of Aluminium Alloy Extrusions, Met. Prog.97(6), p 80-82.
- HATCH , J.E. 1984. Aluminium. ASM. Ohio. p 134-136, 143-144, 200-201.
- HIGGINS , R.A. 1987. Materials For The Engineering Technician.124 p.
- HUFNAGEL ,W. 1982. Key to Aluminium Alloys. Comp and Proc. Aluminium-Verlag. Dusseldorf. p 22-25.
- JENSEN ,C.L. 1987. Transformation of Mg₂Si During TEM Foil Preparation. Metallography 20(8). P 335-336.
- KAFE ,.M. 1984. Anodising in 1984-The State of the Art. Trans. Inst. Met. Fin.(62) p 41-45.
- KOLONEV ,J.F. 1961. Heat Treatment of Aluminium Alloys. p 341-345.

- LENDVAI, A. 1981. Investigation of Homogenization Phenomena of AlMgSi Ingots. 7. International Light Metal Congress Leoben, Vienna. p 64-65.
- LIU ,P. 1986. Formation of Intermetallic Compounds During Solidification of Dilute Al-Fe-Si Alloys, Met.Sci. and Technol. P 1009-1018.
- LUNCH , C.V. 1971. Die Auswirkung der Fabrikationsbedingungen auf die Qualität von preprofilen aus der Legierung AlMgSi0.5. Z.Metallkde (62). p 710-715.
- MARTIN ,J.W. 1968. Precipitation Hardening. Pergamon Oxford. p 3-5.
- METALS ,H. 1971Vol.2. ASM. Ohio. p 271-275.
- MONDOLFO ,L.E.1976. Aluminium Alloys. Butterworths Co. London-Boston.
- OĞUZ ,Burhan. 1990. Demir Dışı Metaller Kaynağı. Erdini Basım ve Yayınevi, İstanbul. p 125-128
- POLMEAR ,I.J. 1981. Light Alloys. Edward Arnold Ltd. London. 16 p.
- REISO , O. 1984. The Effect of Composition and Homogenization Treatment on Extrudability of AlMgSi Alloys. Aluminium Association, Utah, p 31-40.
- SCHARF ,G. Notch Sensitivity in Wrought AlMgSi Alloys. Proc. 3rd Intl. Aluminium Extrusion Technology Seminar, Vol.1, Atlanta. p 47-52.
- SCHWELLINGER ,P. 1984. Medium Strength AlMgSi Alloys for Structural Applications. Proc. 3rd Intl. Aluminium Extrusion Technology Seminar, Vol.1, Atlanta. p 17-20.
- STEFANIAY ,V. 1983. Investigation of the Processes Occuring During the Homogenization of the Alloy AlMgSi0.5, by Electron Probr Microanalysis. Aluminium 59(1). p 8-12.
- ULUCAK , Timur. 1995. Alüminyum Dünyası. Mısırlı Matbaacılık A.Ş. ,İstanbul, s 9-15.
- WAITERS, V.R. ,FRANZ, E.C. 1985. Recent Development in Intermediate and High Strengh 6XXX Series Alloys. Aluminium, 61(1) p 261-265.
- WEISBACH. 1967. Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung. "Malzeme Bilgisi ve Muayenesi" çeviri Prof.Selahattin Anık, E.S. Anık. İstanbul. s 215-217.
- ZOLLER , V.H. , REID ,A. 1965. Metallkundliche Grundlagen der Leicht prebbaren AlMgSi-Legierungen, Aluminium 51(1), p 626-629.

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışması tek bir kiŐinin eseri olmayıp hazırlanması sırasında birçok kiŐi ve kuruluş tarafından yardım almıŐ bulunmaktayım. Bu bÖlümde beni yÖnlendiren ve çalıŐmalarım esnasında yardımlarını benden esirgemeyen ilk danıŐmanım rahmetli hocam Prof. Dr. Halim DEMİRCİ, danıŐmanım Prof.Dr.Ali BAYRAM, alıŐtıĐım iŐletme olan PMS Alüminyum'un Genel Müdürü Attila DEMİRAY, üretim müdürü Faruk DEMİRCİÖĞLU, PMS Alüminyum, FAH Metal, Etibank Seydişehir Alüminyum İŐletmesi, TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü İŐletmelerine ve çalıŐanlarına teŐekkÖr etmeyi bir borç bilmekteyim.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Bulgaristan'ın Kırcali şehrinde doğdu. 1978 yılında Türkiye'ye halen yaşamakta olduğu Bursa'ya ailesi ile birlikte göç etti. İlk okulu Özel Namık Sözeri Lisesi'nde, orta ve lise eğitimini Yıldırım Beyazıt Lisesi'nde tamamladı. Lise eğitimi sonrasında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında matematik öğretmeni olan Mehtap BAYRAKÇI ile evlendi. Halen PMS Metal Profil Alüminyum Sanayi ve Tic. A.Ş'de Lojistik Müdürlüğü görevini yürütmektedir.