

**5083 KALİTE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
HOMOJENİZE EDİLEREK SERTLİK
DEĞERLERİNİN VE MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ**

Cem MISIRLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Yöneticisi: Doç.Dr.Yılmaz ÇAN
EDİRNE-2011**

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

5083 KALİTE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
HOMOJENİZE EDİLEREK SERTLİK DEĞERLERİNİN VE
MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ

Cem MISIRLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EDİRNE-2011

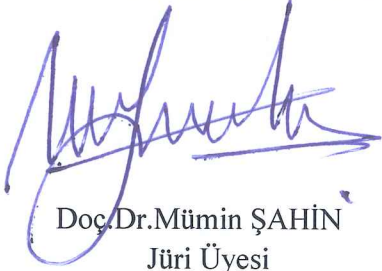
T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

5083 KALİTE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
HOMOJENİZE EDİLEREK SERTLİK DEĞERLERİNİN VE
MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ

Cem MISIRLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

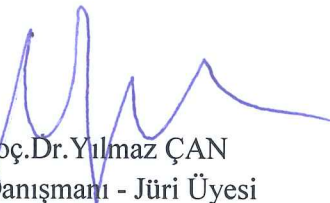
Bu tez 08 / 09 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.



Doç.Dr.Mümin ŞAHİN
Jüri Üyesi



Yrd.Doç.Dr. Tarık YERLİKAYA
Jüri Üyesi



Doç.Dr.Yılmaz ÇAN
Tez Danışmanı - Jüri Üyesi

ÖZET

Gün geçtikçe, dayanıklı, hafif, geri dönüştürülebilir malzemelere olan ihtiyaç ekonomik ve teknik nedenlerden dolayı artmaktadır. Alüminyum ve benzeri alaşımların piyasadan kolay tedarik edilebilir olması, iyi mekanik özellikleri ve düşük özgül ağırlıklarına sahip olmaları sebebiyle bir çok alanda kullanıldıklarından daha iyi ve optimum malzeme yaratmak amacıyla yapılan çalışmalarda alüminyum ve alaşımlarına yönelmektedir.

Alüminyum parçaların özel bir serisi AA olan AA 5083 alüminyumun kaynak kabiliyeti, deniz suyuna korozyon sayını çok iyi, yorulma dayanımı yüksek, yumuşak temper formunda soğuk şekillenilebilir özelliği iyi, ince karışık parçaların ekstrüzyonu zordur.

Bu çalışmada, AA 5083 alüminyum alaşımının mikroyapısında ısıtılma işlemi bağli olarak yer alan değışimler ve bu değışimlerin ekstrüzyon parametrelerine etkisi araştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: 5083 Alüminyum Alaşımı, Mikroyapı, ısıtılma işlemi, Sertlik

SUMMARY

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

AA 5083 aluminum is special series of the aluminum parts. This series's corrosion resistance and welding ability are very good. Its fatigue strength value is high. Cold shaped of this series is good at soft tempering form. Thin and mixed parts of AA 5083 aluminum is hard to extrusion.

In this operation, microstructures of the AA 5083 aluminum alloy depending on heat treatment of the changes, and these changes determine the effect of extrusion parameters.

KEYWORDS: 5083 Aluminium Alloy, Microstructure, heat treatment, hardness

ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum bu yüksek lisans tezimde 5083 Kalite Alüminyum Alaşımı Homojenize Edilerek Sertlik Değerleri ve Mikroyapıları incelenmiştir.

Çalışma, beş bölümden oluşmuş olup, ilk bölümde alüminyumun kimyasal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. İkinci bölümde ise 5000 serisi alüminyum alaşımları ve deney malzemesi olarak seçilen AA 5083 alaşımının kimyasal bileşiminin özellikleri ve homojenleştirilmesi hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonraki iki bölümde deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve tartışılmıştır. Son bölümde ise bu bilgilere dayanarak ileriye dönük yapılabilecek çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Bana böyle bir konu vererek, beni bu konu üzerinde araştırma ve inceleme yapmaya sevk eden, gerek tecrübesi, gerekse sahip oldu bilgi ve becerisi ile desteklerini esirgemeyen, tez danışmanım değerli hocam, Sayın Doç.Dr. Yılmaz ÇAN'a ve manevi desteklerini sürekli arkamda hissettiğim aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Eylül 2011

Cem MISIRLI

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
BÖLÜM 1	5
1.ALÜMİNYUMUN KİMYASAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	5
1.1. Saf Alüminyum	5
1.2. Alüminyumun Kimyasal Dayanıklılığı	9
1.3. Gaz Çözebilirlik	10
1.4. Fiziksel Özellikler	11
1.5. Şekil Değiştirme Kabiliyeti	12
1.6. Alüminyum Alaşımları	13
1.6.1. Alüminyum	15
1.7. Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması	16
1.7.1. Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	17
1.7.2. Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	19
1.8. Çökelme Sertleşmesi	224
1.9. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları	23
1.10. Alüminyum Ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu	27
1.11. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri	27
1.11.1. Rekristalizasyonu	28
1.11.2. Gerilme Giderme	30
1.11.3. Homojenleştirme Ve Çözündürme Tavlama	31
1.11.4. Sertleştirme Ve Yaşlandırma	31
1.11.5. Sertleştirme	32

BÖLÜM 2	34
2. 5000 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	34
2.1. 5000 Serisi Standartları	34
2.2. AA 5083'nin Kimyasal Bileşiminin Özelliklerine Etkisi	35
2.3. AA 5083 Homojenleştirilmesi	41
2.4. Ekstrüzyon	41
2.4.1. Direkt Ekstrüzyon Yöntemi	43
2.4.2. İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi	44
2.4.3. Hidrostatik Ekstrüzyon	44
2.4.4. Darbeli Ekstrüzyon	45
2.4.5. Boru Ekstrüzyonu	46
2.5. Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Yapılabilirliği	47
2.6. AA-5XXX Ve AA-6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Tel Çekme Özellikleri ve Tel Çekme Makinaları	48
2.6.1. Tel Çekme Makinaları	49
2.6.2. Alüminyum Ve Alüminyum Alaşımları İçin Tel Çekme Kalıpları	52
2.6.3. Sonuç	54
BÖLÜM 3	55
DENEYSEL ÇALIŞMA	56
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme	56
3.2. Deney Sonuçları	59
3.2.1. Döküm Sonrası Yapı	59
3.2.2. Katı Çözeltiye Alma	61

3.2.3. Homojenleştirme Sonrası Soğuma Hızının Seçimi.....	62
3.2.4. X-Işını Difraksiyonu.....	64
3.2.5. Elektron Difraksiyonu	65
3.2.6. Ekstrüzyon Deneyleri.....	65
BÖLÜM 4.....	68
TARTIŞMA.....	68
4.1. Döküm Sonrası Yapıdaki Çökeltilerin Isıl İşleme Değişimi.....	68
BÖLÜM 5.....	74
SONUÇ	74
KAYNAKLAR.....	76

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. AA 5083 alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının özellikleri	3
Tablo 1.2. Tablo 1.1’de özellikleri verilen AA 5083 alüminyum alaşımının kimyasal bileşim sınırları (% ağırlık olarak).....	4
Tablo 1.3. Metallerin gerilim sıralaması.....	10
Tablo 1.4. Bazı malzemelere ait spesifik çekme mukavemeti değerleri	15
Tablo 2.1. AlFeSi alaşımlarında gözlenen fazlar ve bunlara ait kristal yapılar.....	37
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan malzemenin bileşimi.....	56
Tablo 3.2. Soğutma şekillerine göre saptanan soğutma hızları.....	63
Tablo 3.3. Soğutma deneyleri sonrası saptanan sertlikler.....	63
Tablo 3.4. Ekstrüzyon deneyleri için seçilen soğutma hızları.....	63
Tablo 3.5. R=30 oranında üç ayrı soğutma ve üç ayrı hız kullanılarak yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları.....	66
Tablo 3.6. R=60 oranında iki ayrı soğutma ve üç ayrı hız kullanılarak yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları.....	66
Tablo 3.7. 470 °C’da 6 saat süreyle homojenleştirilen ve 7 °C/dak hızla soğutularak R=60 ekstrüzyon oranında basılan takozlarda elde edilen sonuçlar.....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. : Bakır, demir, silisyum ve çinkonun yüzde miktarının alüminyum alaşımının özelliklerine etkisi.....	9
Şekil 1.2. Saf alüminyumun sıcaklığa bağlı olarak hidrojen çözündürebilirliği.....	11
Şekil 1.3. Saf alüminyumun soğuk pekleşmesi.....	12
Şekil 1.4. : Saf alüminyumun çekme mukavemeti ve orantılılık sınırının değişimi.....	13
Şekil 1.5. Saf alüminyumun ve alüminyum alaşımlarının, özgül şişirme basıncının.... şişirme sıcaklığına bağlı olarak değişimi	13
Şekil 1.6. Bazı ikili al alaşımlarının denge diyagramları.....	14
Şekil 1.7. Isıl işlem durumlarına göre dövme alaşımları.....	18
Şekil 1.8. Amerikan Alüminyum Birliğinin dövme alaşımları için isimlendirme kriterleri gösterilmiştir.....	18
Şekil 1.9. Isıl işlem durumlarına göre döküm alaşımları.....	20
Şekil 1.10. Al-Cu Faz Diyagramı.....	22
Şekil 1.11. Yaşlandırmanın malzeme özelliklerine etkisi.....	23
Şekil 1.12. Alüminyum malzeme ve imalat çeliğinin karşılaştırmalı atmosferlerde korozyon durumu.....	25
Şekil 1.13. Bazı ikili alüminyum alaşımlarının denge diyagramları.....	27
Şekil 1.14. %96 oranında soğuk şekillendirilen saf alüminyumun, yarım saat süre ile tavlama sonrası mukavemet ve uzama değerlerinin değişimi.....	27
Şekil 1.15. Soğuk şekillendirme yüzdesine bağlı olarak, saf alüminyumun (AI99.7) tane iriliğinin değişimi (v. Zeerleder'e göre).....	29
Şekil 1.16. Alüminyumun rekristalizasyonu (Dahi ve PawieWe göre).....	30
Şekil 1.17. Al-Cu Alaşımları Denge Diyagramı.....	32
Şekil 1.18. Depolama süresinin çekme mukavemeti üzerindeki etkisi.....	33

Şekil 3.1. Homojenizasyon işleminin yapıldığı ısıtma işlemi fırını.....	57
Şekil 3.2. Döküm yapıda bulunan AlFeSi içeren fazlara ait EDX spektrum örneği....	60
Şekil 3.3. Döküm yapıda bulunan AlMgFeSi içeren fazlara ait EDX spektrum örneği	61
Şekil 4.1. AA 5083 SEM görüntüsü, çökelti, Mg, Si.....	73
Şekil 4.2. AA 5083 SEM görüntüsü, çökelti, α -AlFeSi fazı.....	73
Şekil 4.3. AA 5083 SEM görüntüsü.....	73

GİRİŞ

Demir dışı metaller arasında üretimi en fazla olan alüminyum ve alaşımlarında bir arada bulunan seçkin malzeme özellikleri ve bu malzemelerin çok değişik uygulama alanlarında aranan ürünler olmasına neden olmuştur. Seçkin malzeme özellikleri dışında ham maddesinin kolay bulunabilir olması, üretim tekniklerinin gelişmiş olması ve ucuzluğu alüminyum tüketiminin yüksek oluşunun diğer nedenleridir.

Alüminyumun birçok metalle alaşım yapabilmesi özel uygulamalar için gerekli özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır. Alüminyum esaslı malzemelerin en önemli özelliklerinden birisi, yoğunluklarının düşük olmasına karşılık dayanım/yoğunluk oranlarının yüksek olmasıdır. Metallerin mekanik özellikleri mikroyapılarına, bu da malzemenin bileşimine, katılaşma sürecine ve katılaşma sonrası uygulanan ısı işlemlere ve mekanik şekillendirme süreçlerine bağlıdır.

Alüminyum ve çoğu alaşımı diğer malzemelere göre kolay şekillendirilebilir. Ticari saf alüminyum hafif, sünek, yumuşak, işlenebilirliği ve korozyon direnci yüksek bir malzemedir. Saf alüminyum çok yumuşak bir malzeme olmakla birlikte, dayanımı, soğuk şekillendirme süreçleri uygulanarak önemli ölçüde artırılabilir. Dayanımı arttırmanın diğer bir yolu da katı çözelti sertleşmesi yapabilecek magnezyum, silisyum, bakır, çinko, manganez gibi elementlerle alaşımlandırma yapmaktır.

Uygulanacak ısı işlemlerle de yaşlanma sertleşmesi oluşturularak yüksek dayanım değerleri elde edilir. Yüksek saflıktaki alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 50 MPa iken yaşlandırılmış durumda durumdaki Al-ZnMgCu1.5 alaşımının çekme dayanımı 600-700 MPa değerlerine ulaşmaktadır. Alüminyum ve alaşımları bu özellikleri nedeniyle dayanımın yanında hafifliğin de önemli olduğu uzay araçları ve uçak konstrüksiyonları gibi uygulamalarda önemli yer tutmaktadırlar. Kolay şekillendirilebilir olmaları nedeniyle alüminyum ve alaşımları ekstrüzyon endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Alüminyumun diğer önemli özellikleri de ısı ve elektriksel iletkenliğinin yüksek olması, manyetiklik özelliği olmaması, korozyon direncinin yüksek olması ve

mekanik şekillendirme sonrası temiz yüzey elde edilebilmesidir. Manyetik olmaması elektrik ve elektronik endüstrisindeki bazı özel uygulamalar açısından önemlidir.

Yüksek korozyon direnci sayesinde ise tatlı ve tuzlu su, çeşitli kimyasal madde ve hava gibi birçok değişik ortamda rahatlıkla kullanılabilmekte, anodik kaplama ile de dekoratif ürünler oluşturulmaktadır. Anodik kaplamada amaç, alüminyumun yüzeyinde oluşan oksit tabakasının kalınlaştırılması yoluyla, malzemenin korozyon direncinin artırılmasıdır. Mekanik şekillendirme sonrası yüzeyin temizliği ise anodik kaplamanın kalitesini belirleyen önemli etkenlerden birisidir. İyi ekstrüzyon yapılabilirlik, mekanik şekillendirmeden sonra temiz yüzey elde edilebilmesi, hava ortamında korozyona dayanıklılık ve anodik kaplamaya uygunluk özelliklerinin bir araya gelmesiyle alüminyum ve alaşımları mimari uygulamalarda önem kazanmıştır.

Alüminyum-magnezyum (Al-Mg) veya alüminyum-magnezyum (Al-Mg) alaşımları olarak da bilinen AA 5000 serisi alaşımlar. Yüksek çekme dayanımı yüzünden, hızlı işlenebilme ve boyutsal kararlılık özelliği vardır. Delme ve tornalama rahatça yapılabildiğinden, bu işlemler sırasında yeterince talaş, çarpılma yapmadan çıkar. Plazma ark kaynağına çarpılma olmadan dayanır. Yüzey çok parlak çıktığından fazla bir işlem gerektirmez. S-AIMg 4.5 Mn (5183) elektrodu kullanılarak kolaylıkla kaynak edilebilir. Çok iyi parlar. Eloksal (dekoratif olmayan) yapılabilir. Düşük sıcaklıkta özelliklerini korur. Deniz suyu ve korozyona karşı dayanımlıdır.

Bir malzemenin şekillendirilebilme özelliği alaşımın kimyasal bileşimi, metalin yapısı ve uygulanan ısı ve mekanik işlemlerle belirlenir. Örneğin, homojenleştirilen ingotların ekstrüzyonu homojenleştirilmemiş ingotlara göre daha düşük basınç uygulanarak gerçekleştirilir. Homojenleştirme, ingotun döküm sonrası yapısını değiştirmek amacıyla uygulanan bir yüksek sıcaklık sürecidir. Böylece hem şekil değişimi daha kolay gerçekleştirilir, hem daha yüksek bir dayanım elde edilir hem de ürün yüzeyinin daha temiz olması sağlanır. Artan sertliğe göre sıralanan bir dizi alüminyum alaşımının ekstrüzyon yapılabilirliği ve mekanik özellikleri Tablo 1.1.'de, kimyasal bileşim sınırları Tablo 1.2.'de gösterilmiştir (**Şimşek, A.T 1984**).

Ekstrüzyon sürecinde en yüksek üretim hızında en iyi yüzey ve mekanik özelliklerin elde edilmesi amaçlandığından, ingotun dökümden başlayarak

homojenleştirilmesi, ekstrüzyon sıcaklığına yeniden ısıtılması, ekstrüzyon sırası ve sonrası işlemlerin dikkatli kontrolü gereklidir.

Bu çalışmada, ekstrüzyonla şekillendirilen alüminyum alaşımları içinde en fazla kullanılan alaşım olan AA 5083' ün spesifikasyonlarına uygun olarak piyasadan tedarik edilen alüminyum alaşımının, uygulanan ısıl işleme bağlı olarak mikroyapısında oluşan değişiklikler incelenmiştir. Laboratuvar koşullarında, ürün kalitesinde bozulma olmaksızın en yüksek üretim hızının elde edilebileceği en uygun mikroyapının belirlenmesi için uygulanması gereken homojenleştirme sıcaklık ve süresi ile homojenleştirme sonrası uygulanması gereken soğutma hızının seçilmesi amacıyla önce homojenleştirme, bunu takiben de soğutma deneyleri yapılmış, her deney sonrası oluşan mikroyapılar incelenerek malzemeye uygulanan ısıl işlem koşullarına bağlı olarak malzemedeki metaller arası bileşiklerin değişimi saptanmıştır. Bulgular değerlendirilerek, bu çalışmaların ekstrüzyon yapılabilirliğe etkisini göstermek amacıyla da bir dizi ekstrüzyon deneyi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1.1. AA 5083 alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının özellikleri

EN AW-5083 (Al Mg4)

Kimyasal Bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,4	0,4	0,1	0,4-1,0	4,0-4,9	0,25	0,50-0,25	0,15	0,15	kalan

Karakteristik özellikleri : kaynak kabiliyeti yüksek, deniz suyuna korozyon dayanımı çok iyi, yorulma dayanımı yüksek, yumuşak temper formunda soğuk şekillenebilir özellikleri iyi, ince ve karışık parçaların ekstrüzyonu zordur.

Uyarılar : uygun olmayan kaynak yapılması durumunda kırılma meydana gelebilir.

Ürün şekilleri : levha boru, çubuk, tel, rulo, profil çeşitleri

MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Temper	Akma Mukavemeti (Mpa) min-max	Çekme Mukavemeti (Mpa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (brinel) min-max
0/H111	125-145	275-300	22	70-75
HX2	205-240	310-330	16	85-90
HX4	270-275	340-360	14	100
HX6	305	380	9	105
HX8	335	400	8	110
HX9	370	420	0-5	115

Korozyon ve Kaplama Özellikleri

Temper	KOROZYON					ELOKSAL KAPLAMA			
	G:K	D.K	O.K	Stress K.	Tane K.	Parlak	Renkli	Sert	Koruyucu
0/H111	çok iyi	çok iyi	çok iyi	çok iyi	iyi	orta	iyi	çok iyi	çok iyi
HX2	çok iyi	çok iyi	çok iyi	iyi	iyi	orta	iyi	çok iyi	çok iyi
HX4	çok iyi	çok iyi	çok iyi	orta	iyi	orta	iyi	çok iyi	çok iyi
HX6	çok iyi	çok iyi	çok iyi	iyi	iyi	orta	iyi	çok iyi	çok iyi
HX8	çok iyi	çok iyi	çok iyi	iyi	iyi	orta	iyi	çok iyi	çok iyi
HX9	çok iyi	çok iyi	çok iyi	orta	iyi	orta	iyi	çok iyi	çok iyi

Soğuk Şekillenebilirlik ve kaynak kabiliyeti

SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLEBİLME				İşlenebilirlik	KAYNAK KABİLİYETİ			
Temper	Bükme	Derin Ç.	Ekstrüzyon		Oksijen K.	K. Ark K.	D.K	Lehimleme
0/H111	iyi	iyi	orta	orta	orta	çok iyi	düşük	düşük
HX2	iyi	orta	orta	orta	orta	çok iyi	düşük	düşük
HX4	orta	orta	orta	iyi	orta	çok iyi	düşük	düşük
HX6	orta		orta	iyi	orta	çok iyi	düşük	düşük
HX8	düşük	düşük	orta	iyi	orta	çok iyi	düşük	düşük
HX9	düşük		orta	iyi	orta	çok iyi	düşük	düşük

UYGULAMA ALANLARI:

Gemi yapımında; basınç kapları, kaynaklı parçalar, direk, platform,
 Otomotiv; kaynaklı tank kasaları, gövde yapımında
 İnşaat sektöründe
 Demiryolu; kaynaklı tanklar ve yapı elemanları
 Savunma sanayinde; zırlar ve katlanabilir köprü
 Kalıp sektörü

Tablo 1.2. Tablo 1.1’de özellikleri verilen AA 5083 alüminyum alaşımının kimyasal bileşim sınırları (% ağırlık olarak)

AA								
Alaşımı	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn	Cr	Ti
5083	≤ 0.10	≤ 0.40	7.00	0.40	≤ 0.10	0.25	0.25	0.15
			4.90	1.00				

1 Bileşim için bir aralık verilmeyen elementlerin maksimum değerleri verilmiştir

BÖLÜM 1

ALÜMİNYUMUN KİMYASAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

1.1. Saf Alüminyum

Saf alüminyumun örneğin özgül ağırlık, elektrik ve ısıl iletkenliğinin büyük olması, ayrıca korozyona karşı dayanıklılık özellikleri, onun bazı teknik alanlarda kullanımını çok değerli kılar.

Çeşitli şekillerde imal edilmiş ve farklı saflık derecelerindeki saf alüminyumdan, imal edilen yarı mamüller DIN 1712 normunda belirtilmiştir.

Alüminyum (veya **aluminyum**, Simgesi **Al**) gümüş renkte sünek bir metaldir. [Atom numarası](#) 13 tür. Doğada genellikle [boksit](#) cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Bu direncin temelinde [pasivasyon](#) özelliği yatar. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayii için vazgeçilmezdir. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayiinde geniş kullanım alanı bulur.

Alüminyum (Al)																	
Periyodik cetvel																	
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Temel özellikleri

Atom numarası	13
Element serisi	Metaller
Grup, periyot, blok	13, 3, p
Görünüş	Gümüşümsü
Atom ağırlığı	26,9815386(8) g/mol
Elektron dizilimi	Ne 3s ² 3p ¹
Enerji seviyesi başına Elektronlar	2, 8, 3

Fiziksel Özellikleri

Maddenin hali	kati
Yoğunluk	2,70 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	2,375 g/cm ³
Ergime noktası	933,47 °K 660,32 °C 1220,58 °F
Kaynama noktası	2792 °K 2519 °C 4566 °F
Ergime ısısı	10,71 kJ/mol

Buharlaşma ısısı	294,0 kJ/mol
Isı kapasitesi	24,2 (25 °C) J/(mol·K)
Atom özellikleri	
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yükseltgenme seviyeleri	(3+) (amfoter oksit)
Elektronegatifliği	1,61 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	577,5 kJ/mol
Atom yarıçapı	125 pm
Atom yarıçapı (hes.)	118 pm
Kovalent yarıçapı	118 pm
Van der Waals yarıçapı	? pm
Diğer özellikleri	
Elektrik direnci	26,50 nΩ·m (20°C'de)
Isıl iletkenlik	237 W/(m·K)
Isıl genleşme	23,1 µm/(m·K) (25°C'de)
Ses hızı	5000 m/s (20 °C'de)
Mohs sertliği	2,75
Vickers sertliği	167 MPa

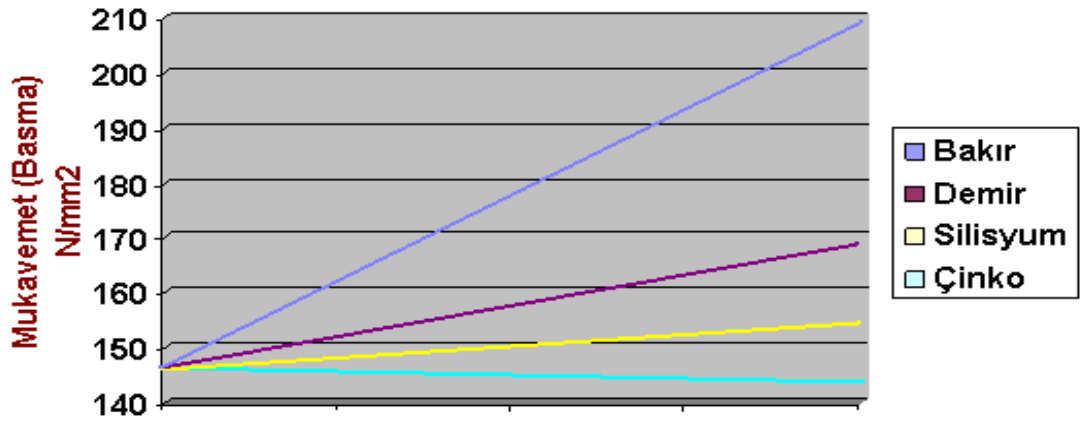
Brinell sertliği

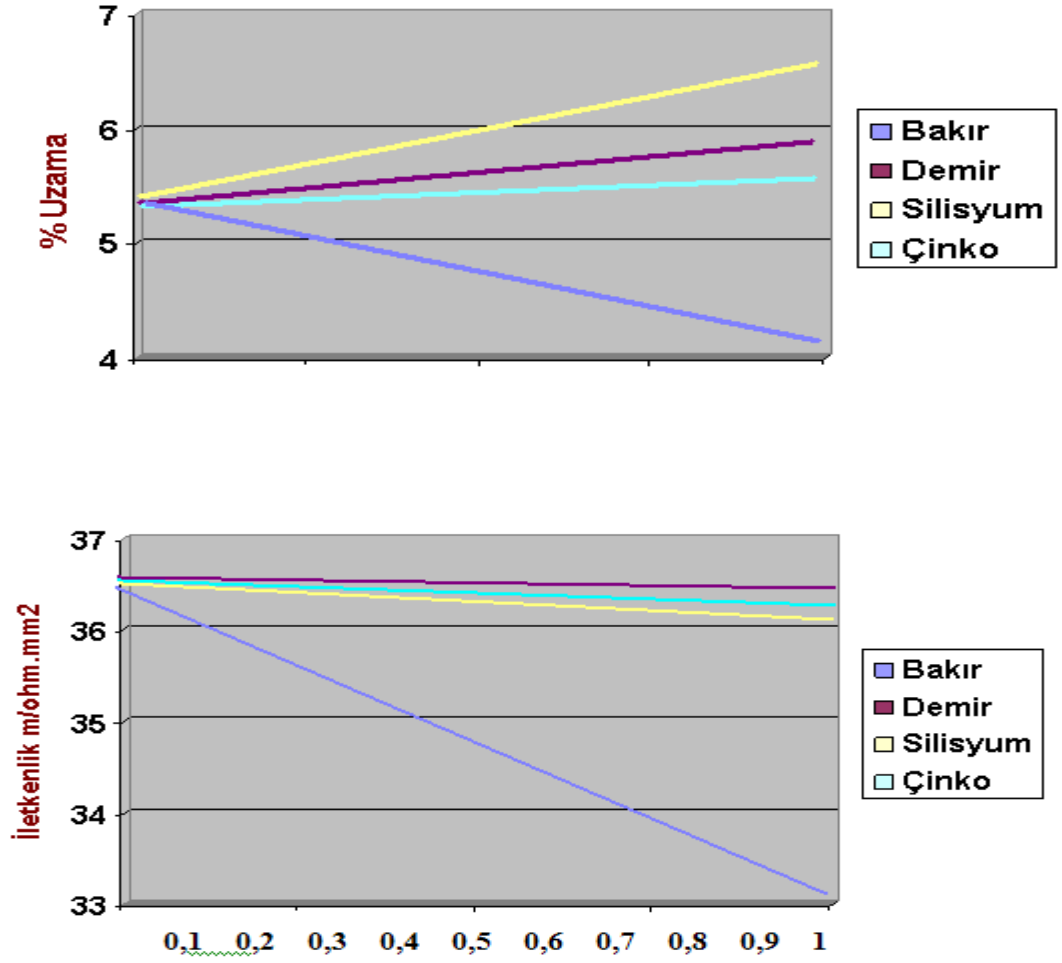
245 MPa

Saf alüminyumların özelliklerini en fazla etkileyen katkı maddeleri:

- Silisyum
- Demir
- Titanyum
- Bakır
- Çinko

Saf alüminyumun çekme mukavemeti, uzama ve elektrik iletkenliğini Si, Cu ve Zn elementlerinin etkisi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. En saf alüminyum plastisite özelliği en fazla olandır. Dekoratif anodizasyon yapılabilmekte; kimyasal dayanıklılığı, iletkenliği ve ışıldama özelliği vardır. Saf alüminyumun kalitesi, azalan katkı maddeleri ile artar. Pratikte alüminyumda aranan mukavemet özellikleri, iletkenlik ve korozyona dayanıklılık için Al 99.5 geniş ölçüde yeterlidir. (Almak,M.O., 1990)





Şekil 1.1. : Bakır, demir, silisyum ve çinkonun yüzde miktarının alüminyum alaşımının özelliklerine etkisi

1.2. Alüminyumun Kimyasal Dayanıklılığı

Alüminyum soy olmayan metallerden olmasına rağmen, yüzeyinde çok ince fakat yoğun bir oksit tabakasının bulunması, onu kimyasal etkenlerden özellikle korozyona karşı çok iyi korumaktadır. Bu tabaka, alkalilerden ve klordan kolayca etkilenmektedir. Saf alüminyum; kimyasal maddeler için depo ve alet üretiminde, beslenme ve gıda maddeleri endüstrisinde, ev ve büyük mutfak aletleri imalatı ve paketleme gayesi için çok uygundur. Çeşitli alüminyum alaşımları da uygun ısıt işlemlerle atmosferik şartlara, deniz suyuna karşı dayanıklılık kazanır.

Tablo 1.3. Metallerin gerilim sıralaması

Metal	Volt	Metal	Volt	Metal	Volt
Li	-3,02	Cr	-0,71	H	0
K	-3,92	Fe	-0,44	Cu	0,35
Na	-2,71	Cd	-0,40	Hg	0,80
Mg	-2,40	Co	-0,29	Ag	0,81
Al	-1,69	Ni	-0,25	Au	1,42
Mn	-1,10	Sn	-0,16	Pt	1,60
Zn	-0,76	Pb	-0,13		

Alüminyum hava şartlarına dayanıklıdır; düz çatı kaplamaları için, temel suyuna karşı izolasyon için kullanılır. Ayrıca alüminyum gemi ve uçak imalatında da kullanılmaktadır (**Rogers, R.W.,Anderson, W.A., 1985**).

Çinko ve magnezyumdan başka, diğer bütün metallere karşı, kuvvetli negatif potansiyeli olması dolayısıyla karışık konstrüksiyonlarda özellikle demir, bakır ve diğer alaşımlarla alüminyumun metalik temasından kaçınılmalıdır. Çünkü, bu durum elektrokimyasal tahribata neden olmaktadır. Bu nedenle alüminyuma temas eden diğer metaller, kadmiyum veya çinko ile kaplanır veya boyanarak izole edilir. Alüminyum malzemelerin yüzeylerinde bulunan bakır ve demir parçacıkları gibi metalik katkıların rutubetli ortamda zararlı etkisi görülür (**Almak,M.O., 1990**).

1.3. Gaz Çözünürlük

Saf alüminyumda olduğu gibi, alüminyum alaşımları da sıvı haldeyken oldukça büyük miktarda hidrojeni çözebilir. Alüminyumun hidrojen gazı çözünürlüğü aşağıda sıcaklığa bağlı olarak gösterilmektedir.

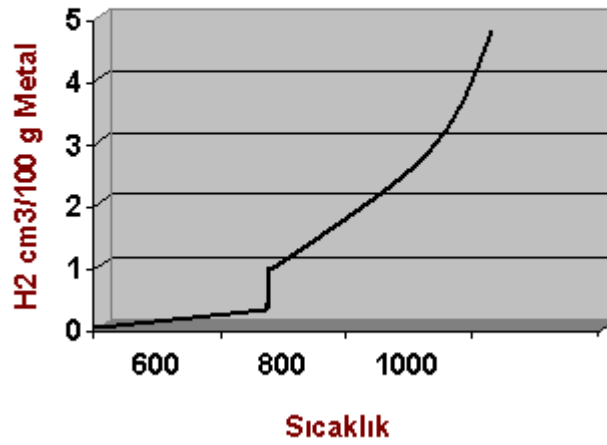
Katı haldeki alüminyum pek az hidrojen çözündürebilirken, eritme sıcaklığında, sıvı hale geçerken, çözündürebilme kabiliyeti yaklaşık 19 kat artar. Bu olayın aksine, sıvı haldeki alüminyum katılaştıkça aniden büyük miktarda ayrılan hidrojen gazı metal içerisinde mekanik olarak bazı hasarlara neden olur.

1.4. Fiziksel Özellikler

Saf alüminyumun fiziksel sabitleri şöyledir;

- Atom ağırlığı: 26.97
- 20 °C' deki yoğunluğu: 2.7 g/cm³
- Atom çapı: 1.430 °Å
- Kafes sistemi: Kübik hacim merkezli
- Ergime sıcaklığı: 660 °C
- Buharlaşma sıcaklığı: 2327 °C
- Özgül ısısı: 0.214 cal/g
- Lineer genişleme katsayısı: 24.6 10⁻⁶/°C
- Elastisite modülü: 72200 N/m²

Saf Alüminyumun Sıcaklığa Bağlı Olarak Hidrojen Çözünürlüğü

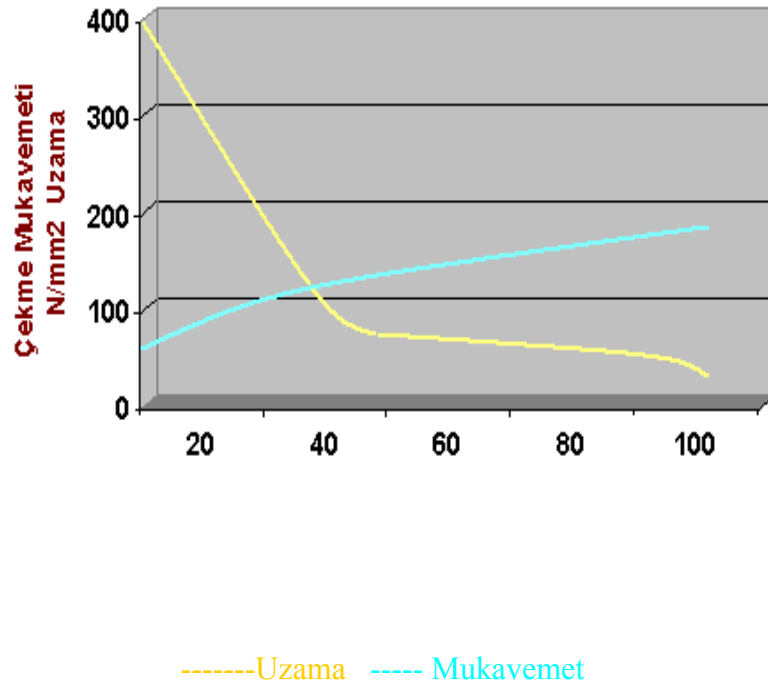


Şekil 1.2. Saf alüminyumun sıcaklığa bağlı olarak hidrojen çözündürebilirliği

Alüminyum tellerin elektrik iletkenliği şekil 1 de belirtilen alaşım elementlerinin cinsine ve miktarına göre değişmektedir. Soğuk deforme edilmiş alüminyumun yaklaşık 100 °C veya daha yüksek sıcaklıkta tavlandığında elektrik iletkenliği artmaktadır. Alüminyum tel, aynı uzunluk ve aynı ağırlıktaki bakır bir telin yaklaşık 2.1 katı iletkenidir.

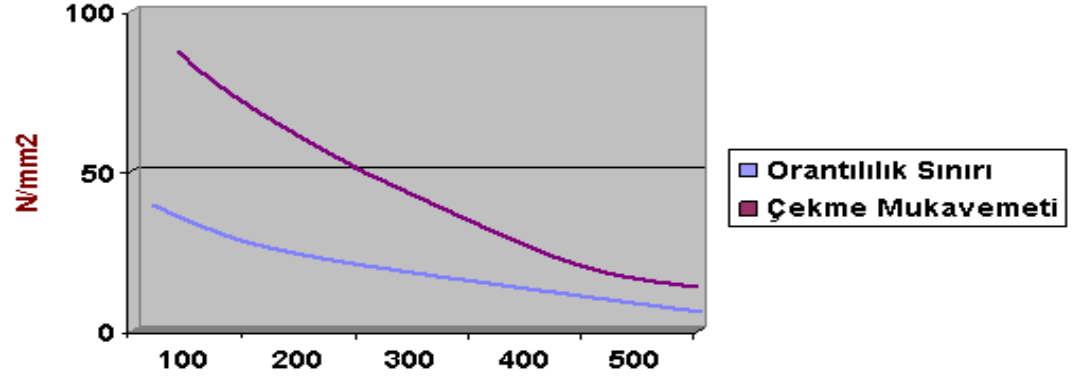
1.5. Şekil Değiştirme Kabiliyeti

Saf alüminyumun soğukta ve sıcakta şekil değiştirme kabiliyeti çok iyidir. Alüminyuma soğuk şekil verme sırasındaki pekleşme içerdiği katkı elemanlarına göre kesiti daraldıkça hakiki gerilmelerde oldukça yavaş artmaktadır. Saf alüminyumun soğuk şekil değiştirme derecesine bağlı olarak, çekme mukavemeti ve uzama miktarının değişimi şekil 1.3. de verilmiştir.

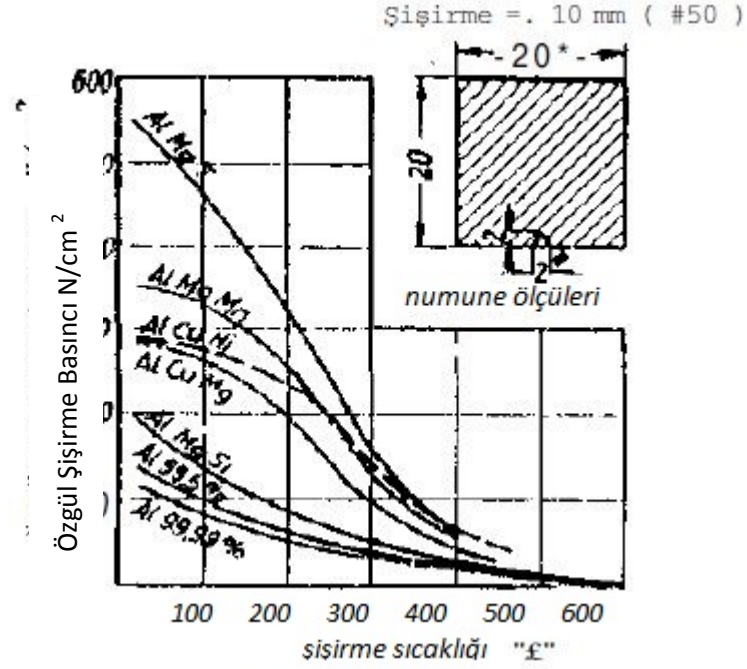


Şekil 1.3. Saf alüminyumun soğuk pekleşmesi

Alüminyumun sıcak zorlanmasında, orantılılık sınırı ve çekme mukavemeti düzgün olarak azalmaktadır. (Şekil 1.4.) Bu azalma 200 °C sıcaklığa kadar oldukça fazladır. Benzer durum, saf alüminyumun şişirilmesi halinde de görülür. (Şekil 1.5.)



Şekil 1.4. : Saf alüminyumun çekme mukavemeti ve orantılılık sınırının değişimi



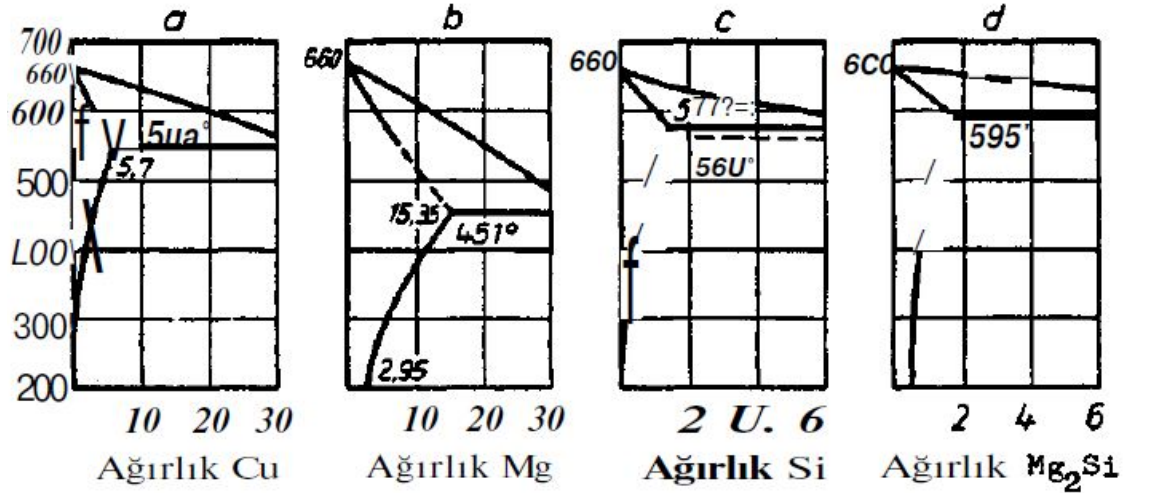
Şekil 1.5. Saf alüminyumun ve alüminyum alaşımlarının, özgül şişirme basıncının şişirme sıcaklığına bağlı olarak değişimi

1.6. Alüminyum Alaşımları

Alüminyumun düşük mukavemet değerleri, diğer metallerle alaşımlandırma yapılarak oldukça yükseltilebilmektedir. Alüminyum için en önemli alaşım elemanları Cu, Mg, Si, Mn ve Zn dir. Diğer alaşım elementleri Ni, Co, Cr, Fe, Pb ve Ti ise pek

önemli değildir. Bu elemanların çoğu Al_2Cu , Al_3Mg ve Mg_2Si gibi sert kimyasal bileşimler olup, alüminyum alaşımlandırarak mukavemet değerlerini yükseltirler ve ayrışma sertleşmesi yaparlar (**Rogers,R.W., Anderson,W.A., 1985**).

Bakır, alüminyumun erime sıcaklığını 548°C sıcaklığa kadar düşürür. Ötektik konsantrasyonu %33 Cu içerir (şekil 6) % 5.7 Cu içeren alüminyum konsantrasyonunda 548°C sıcaklıkta Al_2Cu katı çözeltisi oluşur. Bu katı çözelti yaklaşık 250°C sıcaklığa kadar %0 Cu içerecek şekilde ayrılarak, ayrışma sertleşmesine uğrar. Saf alüminyum ve bakırsız alüminyum alaşımlarında, bakır arzu edilmeyen bir katı maddesidir. Çünkü az miktarda Cu içeren alüminyumun korozyona karşı dayanıklılığı çok fazla düşmektedir. Bu nedenle gıda endüstrisinde kullanılan alüminyum malzemeler için özel şartnameler vardır. Sertleştirilebilen alüminyum alaşımlarında ise bakır önemli bir elementtir. AlCuMg alaşımları %5 kadar Cu içerir. Bu alaşımlarda, bakıralüminid Al_2Cu 'ın ayrışması bir ayrışma sertleşmesine neden olur. Korozyona dayanıklılığın dikkate alınmadığı, soğuk sertleşmenin önem kazandığı AlCuMg biçimlendirilebilir alaşımlarında mukavemet değerleri 450 N/mm^2 ye kadar yükseltilebilir. AlZnMgCu alaşım gruplarında ayrışma sertleşmesi olduğunda yoğurulmuş alaşımların en yüksek mukavemet değerleri %2.4 kadar Cu içerdiğinde sağlanır.



Şekil 1.6. Bazı ikili al alaşımlarının denge diyagramları

1.6.1. Alüminyum

Alüminyum tabiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyumun yoğunluğu (2,71 g/cm³), çeliğin yoğunluğunun (7,83 g/cm³) üçte biri kadardır. Bazı alüminyum alaşımlarının akma sınırı değerleri 500 MPa değerini geçmektedir ki bu değer pek çok çelik türünün akma sınırı değerlerinin üzerindedir. Alüminyum alaşımları bu özelliklerinden dolayı, özellikle hafiflik istenen uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Yeşilotah,N., 2001).

Tablo 1.4. Bazı malzemelere ait spesifik çekme mukavemeti değerleri

Malzeme	Spesifik Çekme Mukavemeti [(N/mm ²)/(gr/cm ³)]
Alüminyum Alaşımı (AlZn6MgCu)	170-220
Magnezyum Alaşımları	41-160
Titanyum Alaşımları	38-290
Çelik-HX 180 (NiMoCo) alaşımı	159-200

Alüminyumun elektrik ve ısı iletkenliği, bakıra göre daha azdır. Fakat spesifik elektrik iletkenliği (elektrik iletkenliği/yoğunluk) ve spesifik ısı iletkenliği (ısı iletkenliği/yoğunluk) değerleri karşılaştırıldığında bakırdan daha iyi olduğu görülür. Bundan dolayı, hava elektrik hatlarında alüminyum alaşımları kullanılır. Ayrıca alüminyumun fiyatı da bakıra göre daha düşüktür. Korozyon ortamlarda alüminyumun yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplanarak, alüminyumun korozyona dayanıklılığını sağlar. Bu özelliğinden dolayı alüminyum pek çok korozyon ortamda kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarının içindeki diğer elementler alüminyum ile galvanik pil oluşturmaya uygun olduklarından dolayı, korozyon açısından alüminyumun mümkün olduğu kadar saf olarak kullanılması tavsiye edilir. Fakat mekanik özelliklerindeki dayanım düşüklüğü (zayıflık) nedeniyle uygulamalarda saf Al kullanımı yaygın değildir.

Alüminyumun, sıcak ve soğuk şekillendirilebilme kabiliyeti iyidir. Ekstrüzyon yöntemiyle çok karışık geometrik yapıya sahip alüminyum profiller üretilebilir. Kalınlığı bir kaç mikrona ulaşılabilen folyolar üretilerek paketlemede işlemlerinde kullanılabilir. Gıda endüstrisinde kullanılan paketleme folyoları saf alüminyumdan yapılır.

Alüminyum, elektrolitik olarak oksitlendirilerek değişik renklerde üretilebilir. Eloksal denilen bu işlem ile hem korozyona dayanıklı, hem de değişik renklerde mimaride kullanılan profiller üretilerek pencere, kapı vb. yapımında kullanılabilir. Bazı durumlarda sertliği ve dayanımı yüksek alüminyum alaşımlarının üstü saf alüminyum ile kaplanarak korozyon özellikleri iyileştirilebilmektedir.

1.7. Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur.

Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıtılma işlemi uygulanabilmektedir.

Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

- **1XXX:** Saf alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır.
- **2XXX:** Al-Cu alaşımları. Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- **3XXX:** Al-Mn alaşımları. Esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.

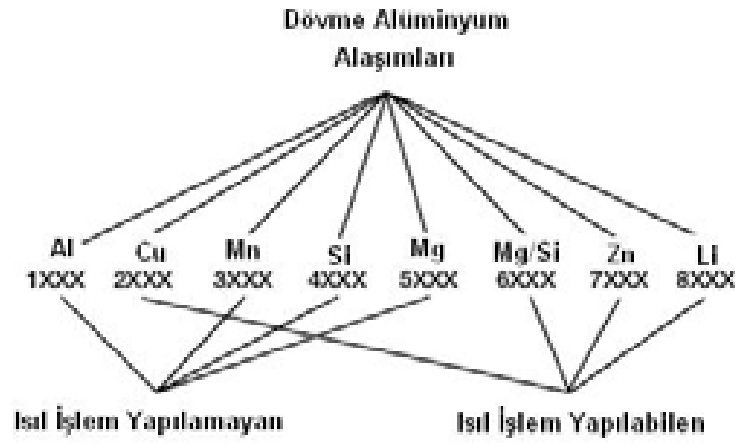
- **4XXX:** Al-Si alaşımları. Esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır.
- **5XXX:** Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır. Denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.
- **6XXX:** Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır.
- **7XXX:** Al-Zn alaşımlar. Bakır esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.
- **8XXX:** Al-Li alaşımları: Esas alaşım elementi lityum olup, kalay eklentisinde yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir.

1.7.1. Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

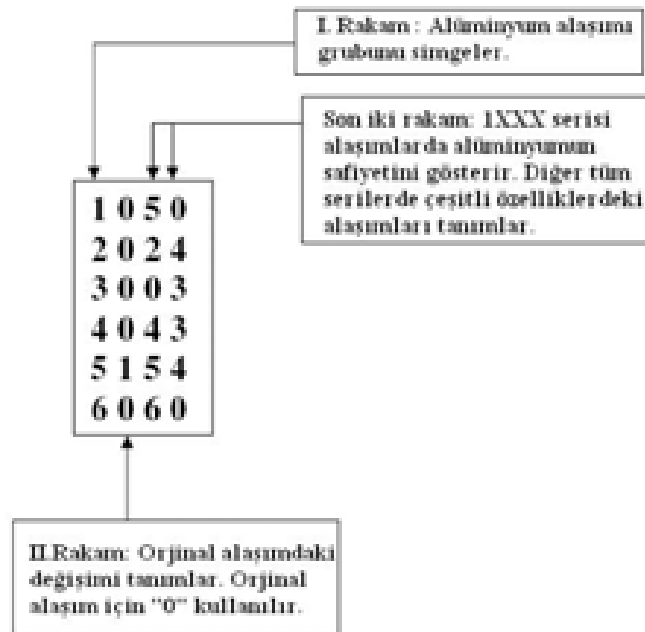
Amerikan Alüminyum Birliğinin dövme alaşımları için isimlendirme kriterleri gösterilmiştir.

Isıl işlem durumlarına göre dövme alaşımları

- 1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serisi dövme alüminyum alaşımları ısıtılma işlemi uygulanamayan alaşımlardır.
- Bu alaşımlar sadece şekil değiştirme yolu ile sertleştirilebilirler.
- 2XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX serisi alaşımlar ise ısıtılma işlemi ile sertleştirilebilmektedirler.



Şekil 1.7. Isıl işlem durumlarına göre dövme alaşımları



Şekil 1.8. Amerikan Alüminyum Birliğinin dövme alaşımları için isimlendirme kriterleri gösterilmiştir

1.7.2. Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

ALAŞIMLARIN İSİMLENDİRİLMESİ

Malzeme	İsim
Al içeriği >%99	1XXX
Alaşımlar elementleri	
Bakır	2XXX
Mangan	3XXX
Silisyum	4XXX
Magnezyum	5XXX
Silisyum ve Magnezyum	6XXX
Çinko	7XXX
Diğer	8XXX

1XX.X: Saf alüminyum.

2XX.X: Esas alaşımlar elementi bakırdır.

3XX.X: Esas alaşımlar elementi silisyumdur. Bakır ve magnezyum gibi başka alaşımlar elementleri de bulunabilir. Sanayide kullanılan döküm alaşımlarının % 90'ı 3XX.X serisidir.

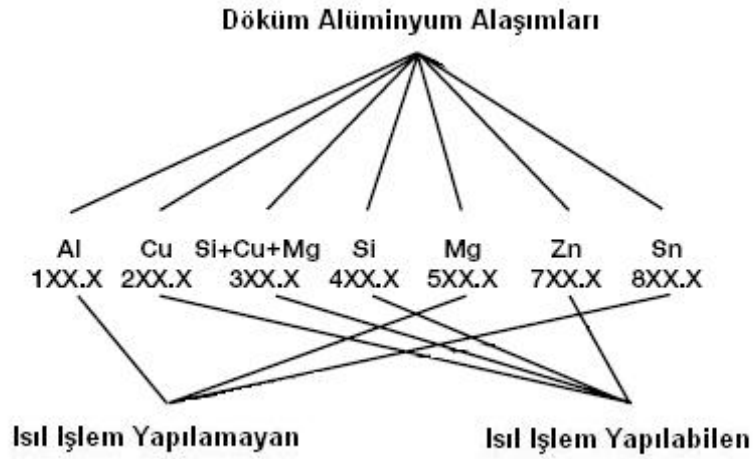
4XX.X: Esas alaşımlar elementi silisyumdur.

5XX.X: Esas alaşımlar elementi magnezyumdur.

6XX.X: Bu seri numarası kullanılmamaktadır.

7XX.X: Esas alaşımlar elementi çinkodur.

8XX.X: Esas alaşımlar elementi kalaydır.

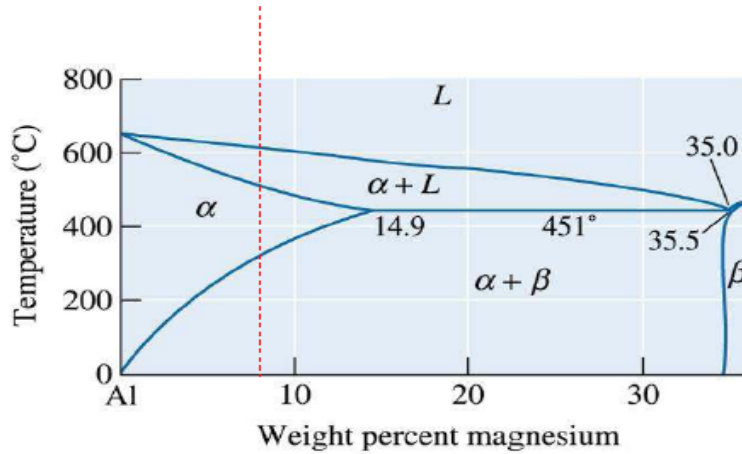


Şekil 1.9. Isıl işlem durumlarına göre döküm alaşımları

Çökelme Sertleşmesi Gösteren Alüminyum Alaşımları

• Al-Mg Alaşımı

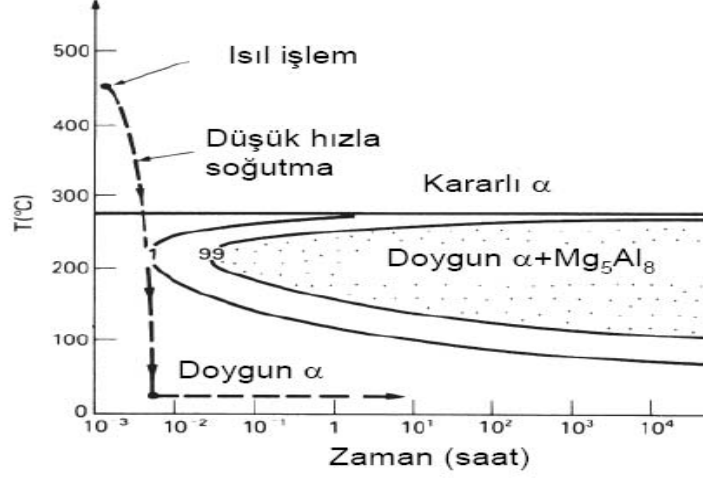
AL-MG SİSTEMİ



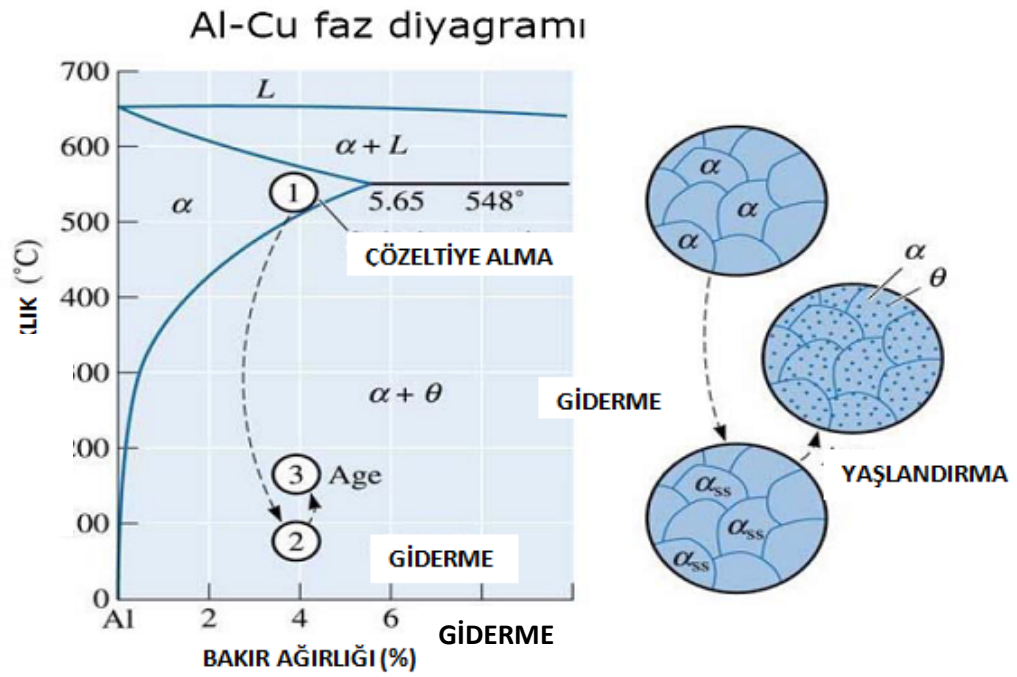
- 340-451°C arasında ısıtıl işlem yap (%100α)
- Oda sıcaklığına hızla soğut (%100α)
- 340°C nin altında ısıtıl işlem yap (α-çok ince β çökelekleri)

AL-MG SİSTEMİ

Al-%5.5Mg sistemi için Mg_5Al_8 fazının TTT diyagramı

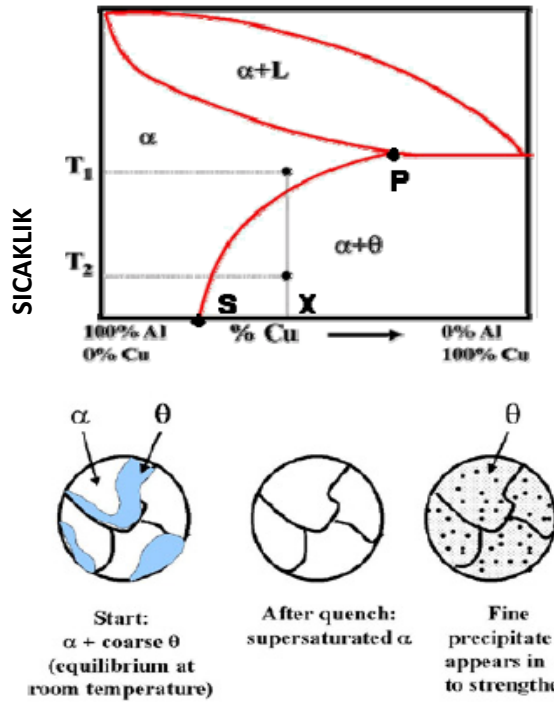


- Al-Mg-Zn Alaşımı çökelme sertleşmesi gösterirler.
- Al-Cu Alaşımı
 - Al-Cu faz diyagramı incelendiğinde, eriyikten ayrılan ve en azından ötektik yapı bileşeni niteliğinde olan Al_2Cu ara fazı, malzemenin gevrekleşmesine yol açtığı için döküm tekniği bakımından ötektik bileşime yakın olması gereken Al-Cu alaşımlarının pratikte kullanılmasını engeller. Öte yandan katılaşma aralığının genişliği nedeniyle yapısal aşırı soğuma dikkate alınarak teknik Al-Cu alaşımlarının bileşimindeki bakır miktarı %4.5 ile sınırlandırılmıştır.
 - Al-Cu faz diyagramı incelendiğinde ötektik sıcaklığın altında bakırın alüminyum kafesindeki çözünürlüğü azaldığından, çökelme sertleşmesi için gerekli ön koşullardan biri yerine gelmiş olur. Malzemeyi gevrekleştirmeden dayanım artışı sağlayan çökelme sertleştirilmesi ilk kez Al-Cu alaşımlarında bulunmuştur (Deliküçük, Y., 1989).



Şekil 1.10. Al-Cu Faz Diyagramı

1.8. Çökelme Sertleştirme



BAŞLANGIÇ

α + coarse θ

oda denge

AŞIRI

DOYMA

ÖNCESİ

GİDERME

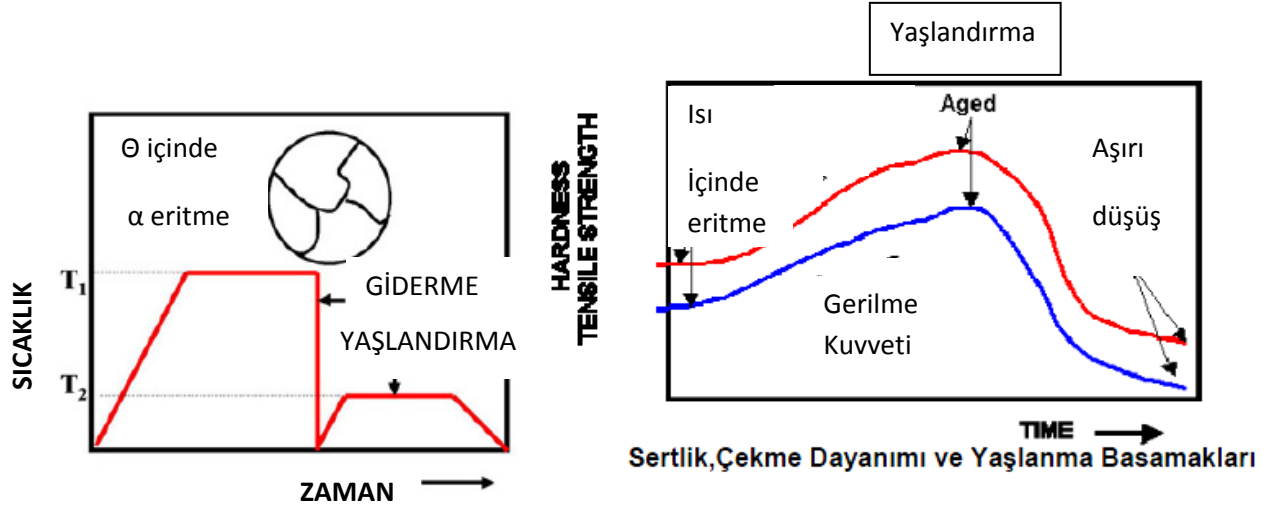
Doymuş

Çökelti θ

α görünümü

Çökeltilerin türü, dağılımı, miktarı, ortalama çapı ve sayısı ile malzemenin dayanım değeri değişir.

$Re H \sim \text{sabit} \times G / \lambda$ $Re H$: akma dayanımı, G : kayma modülü, λ : çökelti arası mesafe



Şekil 1.11. Yaşlandırmanın malzeme özelliklerine etkisi

1.9. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları

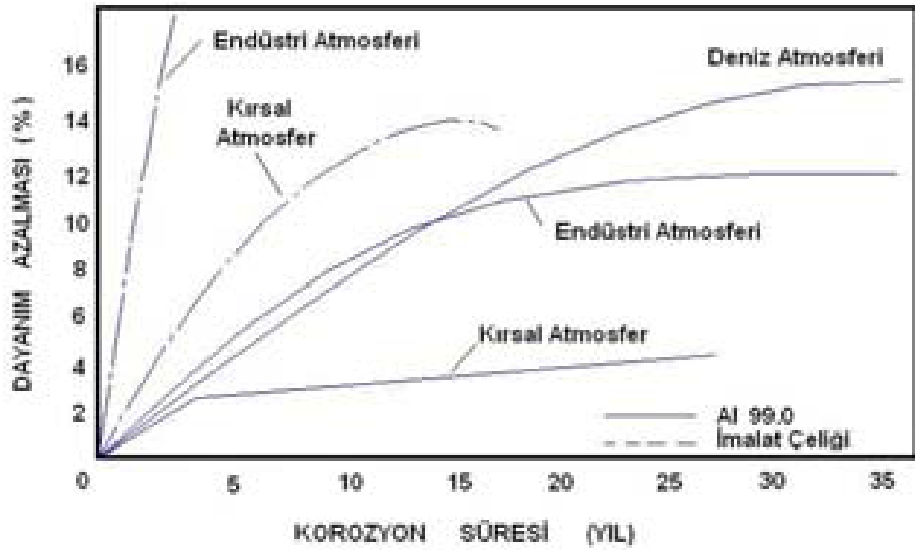
Alüminyum alaşımlarına yapılan ısı işlemler değişik şekillerde uygulanabilir ve uygulanan işlem TX sembolleri ile alaşım numarasının yanına yazılır. Bu işlemler şu şekilde ifade edilmektedir:

- **O**: Tavlanmış, **F**: Üretildiği gibi, **H**: Sertleştirilmiş, **T**: Isıl işleme tabi tutulmuş
- **T1**: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- **T2**: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- **T3**: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- **T4**: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- **T5**: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış

- **T6:** Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış.
- **T7:** Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.
- **T8:** Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.
- **T9:** Çözeltiye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.
- **T10:** Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

1.10. Alüminyum ve Alaşımlarının Korozyonu

Düşük özgül ağırlık, elektrik ve ısıyı iyi iletebilme, yeterli sayılabilecek mekanik dayanım ve iyi plastik şekillendirilme kabiliyetine sahip olan alüminyum, değişik korozif ortamlarda kullanılabilmektedir. Özellikle korozyon dayanımının arandığı durumlarda, alüminyumun saflığının % 99,5'un altında olmaması gereklidir. Fakat genellikle alüminyumun mekanik özelliklerini geliştirebilmek için alaşımlama yapıldığından dolayı, alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, saf alüminyumdan daha düşüktür (**Deliküçük, Y., 1989**).



Şekil 1.12. Alüminyum malzeme ve imalat çeliğinin karşılaştırmalı atmosferlerde korozyon durumu

- Alüminyumun birçok koroziif ortama karşı gösterdiği direnç, mevcut koşullara bağlı olarak yüzeyinde oluşan, amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasından dolaydır.
- Atmosferde oluşan yüzey filmi daha çok amorfudur, su ve su buharı içerisinde ise daha çok kristalin yapıda yüzey filmi oluşur. Oluşan tabaka ne kadar homojen ise, aynı koşullarda korozyon dayanımı da o kadar iyidir.
- Alüminyum malzemeler, atmosfer içerisinde korozyona oldukça dayanıklıdır.
- Endüstri atmosferinde (SO_2 , kir, toz) ve deniz atmosferinde otuz yıl sonrası koroziif etki sonucu, alüminyum malzemedeki dayanım azalması, yaklaşık % 9- 13 kadardır.

SİLİSYUM

Alüminyum alaşımlarında Si'un etkisi de Cu'in ki gibidir. (Şekil 6C) silisyum ile alaşımlandırma miktarı %11.7' ye kadar arttığıında, ergitme sıcaklığı $577\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düşer ve daha sonra aniden yükselir. Bu sıcaklıkta Si çözülebilirliği yaklaşık %1.6 olup, sıcaklık düştükçe bu çözülebilirlik miktarı hızla azalır ve $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında tamamen kaybolur. Ötektik AlSi alaşımları, silisyumun döküm alaşımlarıdır.

Az miktardaki sodyum tuzları ile, kesinlikle ince kristalli iç yapı elde edilir. Bu sırada ötektik alaşımlandırma konsantrasyonu %11.7'den %13'e çıkmaktadır.

Al ve Si hiçbir kimyasal bileşik oluşturmazken, saf alüminyumda bulunan katkı maddesi Fe ve Si, alüminyum-demir silikatlarını oluşturmaktadır. Magnezyum içeren alüminyum alaşımları silisyum ilavesiyle, magnezyum silis Mg_2Si ayrışma sertleşmesini mümkün kılar. Bu da AlCuMg alaşımlarının, ayrıştırma sertleştirilmesi için önemlidir.

MAGNEZYUM

Alüminyumun ergitme sıcaklığını düşürür. %34.5 olduğunda meydana gelen ötektikumun ergitme sıcaklığı $451\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' dir. (şekil-6b) Bu sıcaklıktaki çözülebilirlik %15.35' tir, ve $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yaklaşık %3 Mg' a kadar düşer. Alaşımın

sertleştirilebilmesi için Mg ile aynı zamanda Si ile de alaşımlandırılmalıdır. Bu şekildeki en önemli Al-Mg₂Si alaşımının denge diyagramı şekil 6d de gösterilmiştir. Ötektikumun ergitme sıcaklığı 595 °C' da %1.8 Mg₂Si çözünebilir, 200 °C sıcaklıkta ise çözündürebilirlik yaklaşık olarak % 0.5'e düşer.

Deniz suyuna dayanıklı alüminyum alaşımları için Mg en önemli alaşım elemanı olup %7,5 kadar katılabilir. Magnezyum katkısı ile, saf alüminyumun soğuk pekleşmesi aşırı derecede artar. Böylece, soğuk şekillendirilmiş Alüminyum-Magnezyum yoğurulmuş malzemesi, kendiliğinden sertleşebilen alüminyum alaşımlarındandır. Ayrıca, dekoratif gaye için anodlanabilir. Al-Mg alaşımlarının stabilizasyonu için Mn ve Cr ilave edilir, tanelerin inceltilmesi için de Ti katılır. Sade Al-Mg alaşımları sertleştirilemez. Isıl işlemler için, belirli tavlama kaideleri vardır. Sertleştirilebilir alüminyum alaşımları için Mg miktarının %3,8'e kadar olması gerekir. Al-Mg-Si alaşımlarında, Mg₂Si ayrışma sertleşmesi ve Al-Zn-Mg alaşımlarında Mg₂Zn'nin ayrışma sertleşmesini meydana getirmektedir.

ÇİNKO

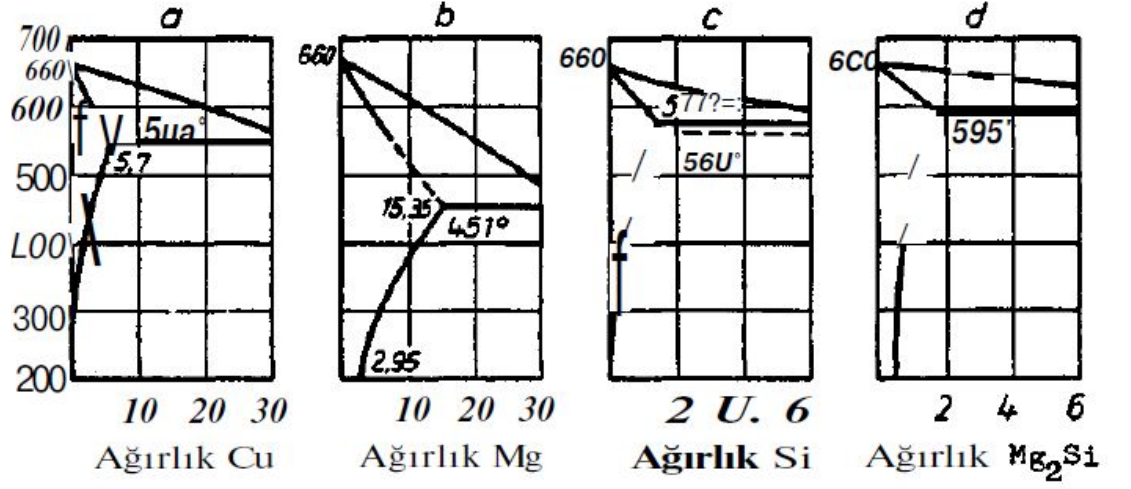
Alüminyum yaklaşık %20 miktarına kadar Zn ile alaşımlandırılarak, alüminyum karma kristalli döküm alaşımı yapılır. Ayrışma sertleşmesi olabilmesi için MgZn₂ bileşimi gerekli olup, bu alaşım soğuk ve sıcak olarak sertleştirilebilir. AlZnMg alaşım grupları Şekil-6e'de çinko miktarı %6 kadar olabilir. Gerilme korozyonuna karşı direnci artırmak için AlZnMg tiplerine Mn, Cr, Ti, Cu ve Si katılır.

NİKEL

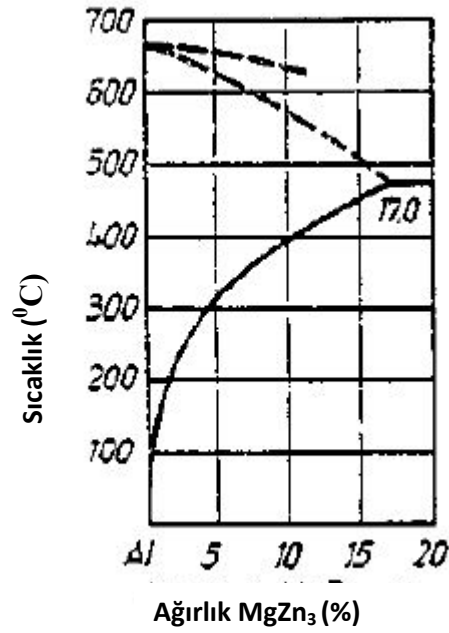
Alüminyum içerisinde nikel pek az çözünebilir. Bu metal ile çeşitli bileşimler yapılarak, alaşımın sıcak mukavemet değerlerini ve parlatılabilme kabiliyetini artırmak için, Al-Cu ve Al-Si alaşımlarına %2 oranına kadar katılır.

KURŞUN

Alüminyum ve onun alaşımlarında kurşun çözünmez ve daima metalik olarak ayrı içyapıları oluşturur. Al-Mg-Si ve Al-Cu-Mg alaşımlarında talaş kaldırarak işlenmeyi kolaylaştırmak ve talaşın kısa boylu olmasını sağlamak için, diğer bir elaman olarak %3 oranına kadar, Pb katılabilir.



Şekil 1.13. Bazı ikili alüminyum alaşımlarının denge diyagramları



Şekil 1.14. Al-Zn-Mg sisteminin, MgZn₂'yi çözünürlüğü

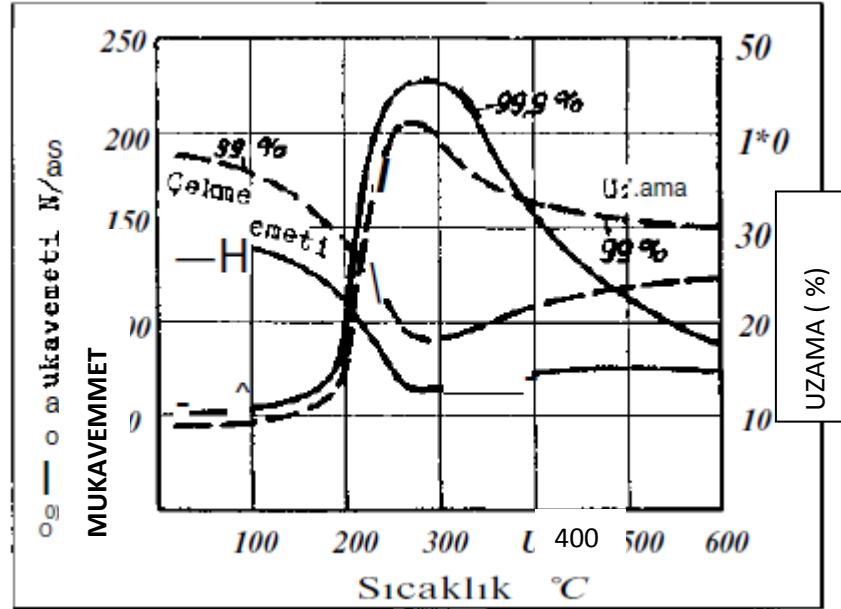
1.11. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri

Alüminyum malzemelerinin ısıtılma işlemleri, ortam sıcaklığından ısıtılma sıcaklığına kadar, geniş bir bölgede ceryan eder ve bu nedenle yüksek sıcaklıklarda, sıcaklığın çok dikkatli kontrol edilmesi gerekir.

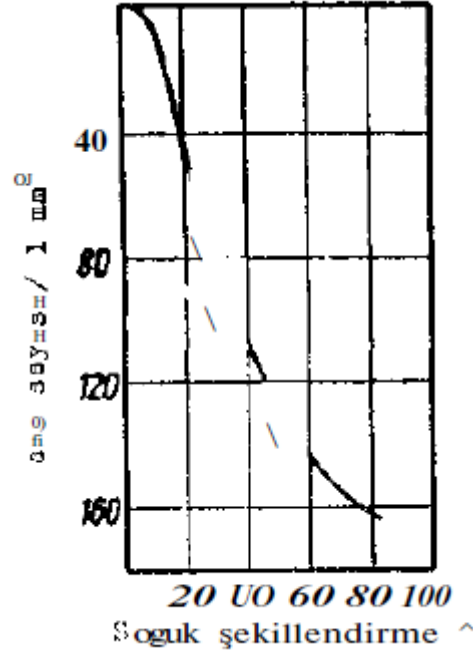
1.11.1. Rekristalizasyon

Soğuk pekleştirilen saf alüminyumun rekristalizasyonu, soğuk şekillendirme derecesine göre yaklaşık 250°C ile 300°C sıcaklıkları arasında gerçekleştirilir.

Şekil1.15.'de de görüleceği gibi, eğer soğuk pekleştirilen alüminyum bu sıcaklıkta 30 dakika süre ile tavlanişsa, mukavemet değerleri minimum, deformasyon değerleri de maksimum olur. Rekristalizasyon işleminin pratiğe uygun bir sürede yapılmasından sonra, alüminyumun yumuşak tavlama için alışlagelen yüksek sıcaklık yaklaşık olarak 360-400°C'dır. Bazı alüminyum alaşımlarında bu sıcaklıklar biraz daha yüksektir. Saf alüminyumun yumuşak tavlama için 290-310°C sıcaklıkları arasında tavlama yeterli olmaktadır. Çok saf alüminyumda olduğu gibi, AlMn alaşım tiplerinin ısı işlemleri sırasında, iri tanelerin oluşmaması için dikkat edilmelidir. Genelde şekil değiştirme derecesi, sıcaklık ve tavlama süresine uygun tane iriliği oluşmaktadır (Deliküçük,Y. 1989).

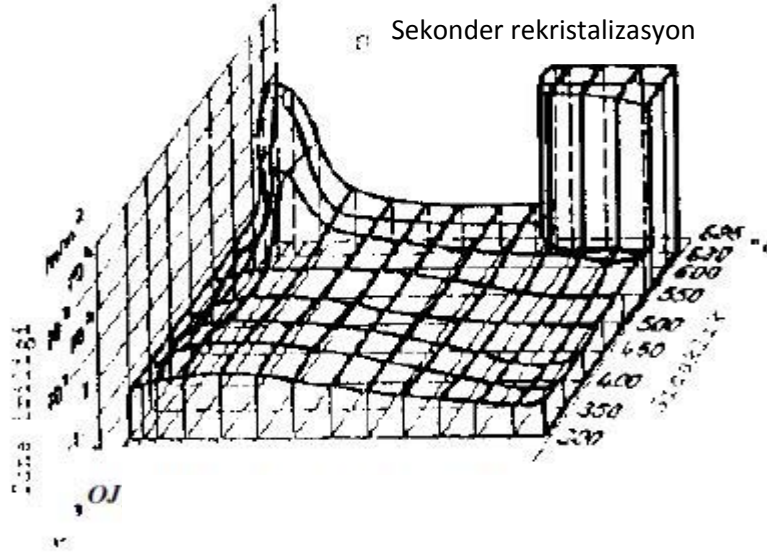


Şekil 1.14. %96 oranında soğuk şekillendirilen saf alüminyumun, yarım saat süre ile tavlama sonrası mukavemet ve uzama değerlerinin değişimi



Şekil 1.15. Soğuk şekillendirme yüzdesine bağlı olarak, saf alüminyumun (Al99.7) tane iriliğinin değişimi (v. Zeerleder'e göre)

Şekil 1.15.da %99 saflıktaki alüminyumun tane iriliği, soğuk şekillendirme derecesine bağlı olarak gösterilmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının tane iriliğini önlemek için, her tavlama öncesi en az %50 şekil değiştirmeli ve tavlama sıcaklığına aniden ısıtılmalı yani 230-300°C sıcaklıkları arasına mümkün olduğu kadar hızla geçirmelidir. Yumuşak tavlama işleminde, rekristalizasyon eşiğini hızla geçmelidir. Fakat bu sırada aşırı pekleşmiş olan malzemenin, çok yüksek tavlama sıcaklığında tane iriliğinin, aşırı büyüyebileceği de dikkate alınmalıdır (Aran,A.;Tayfur,A. 1984).



Şekil 1.16. Alüminyumun rekristalizasyonu (Dahi ve PawieWe göre)

1.11.2. Gerilme giderme

200°C sıcaklığa kadar ısıtma sırasında içyapıda hiçbir değişiklik olmaz. Yalnız, iç gerilmeler azalacağından, malzeme özelliklerine önemli derecede etki yapabilir. Soğuk çekilmiş alüminyum, uzun süre bu sıcaklıkta tutulduğunda, malzeme özelliklerinde değişme gözlenmektedir. Soğuk çekilmiş alüminyumun 100°, 125°, 150°, ve 175°C sıcaklıklarda tavlandıktan sonraki çekme mukavemetinin azalışı Şekil-10'da gösterilmiştir. Sıcaklığın yaklaşık olarak 200°C'ı geçmesi halinde çekme mukavemeti oldukça düşmektedir.

Soğuk şekillendirilmiş olan alüminyumun iç gerilmelerinin giderildiği bu düşük tavlama sıcaklıklarında, mukavemet değerleri düşerken elektrik iletkenliğinin arttığı görülür (Şekil-10). 100- 125°C sıcaklığında iç gerilme giderme tavlama sırasında, çekme mukavemetinin biraz azaltılmış olmasına rağmen, iletkenliğin yeterli miktarda yükselmesi dolayısıyla tercih edilir. Soğuk şekillendirilmiş alüminyum alaşımlarının, küçük sıcaklıklarda menevişlenmesi de, malzemenin mekanik özelliklerini benzer şekilde değiştirmektedir. İç gerilmelerin azaltılması sırasında, mukavemet değerlerinde önemli bir azalma olmaksızın, malzemenin sünekliliği ve uzama miktarı artarken,

orantılılık sınırı da düşmektedir. Sert çekilmiş Heddenal 7 (AlMg₇)'nin menevişleşme işlemlerinin sonuçları Şekil-11'de verilmiştir.

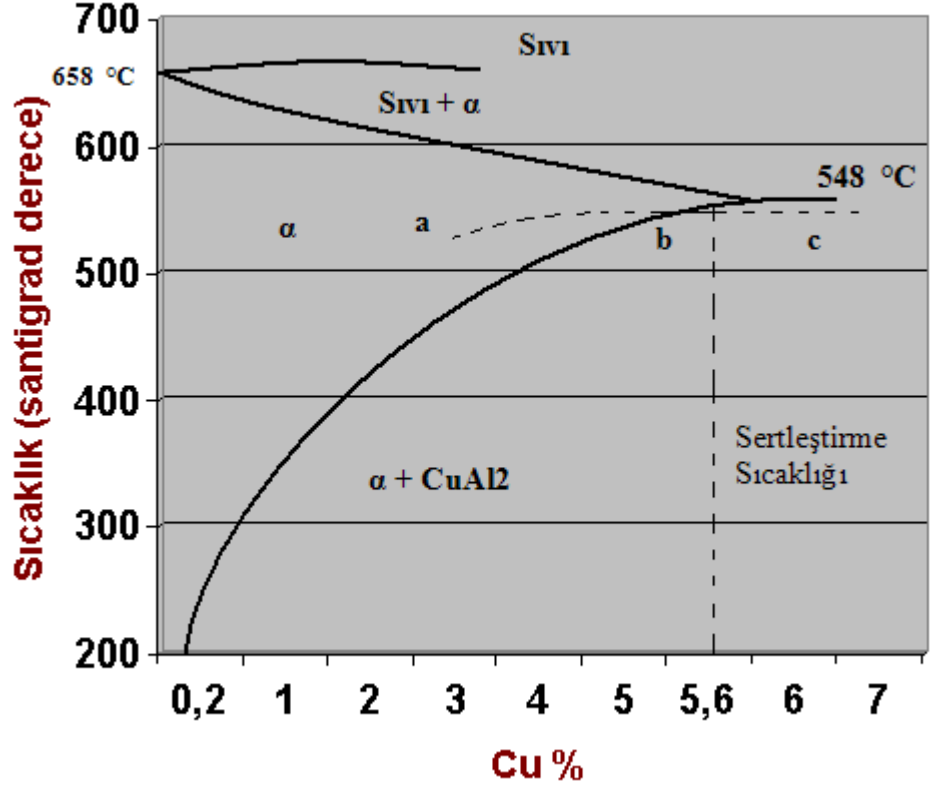
Numuneler 1, 3 ve 10 saat süre ile 250 veya 300°C sıcaklıkta tutularak menevişlenmişlerdir. Eğrilerin gidişinden de görüldüğü gibi 250°C sıcaklıkta, orantılılık sınırı çok fazla düşmekte ve uzama değerleri oldukça artmakta iken, mukavemette pek büyük düşme görülmemektedir. Sıcaklığın 300°C'a yükselmesi halinde orantılılık sınırı daha da ani düşerken, çekme mukavemetindeki düşmenin önemi yoktur (**Deliküçük,Y., 1989**).

1.11.3. Homojenleştirme Ve Çözündürme Tavlaması

Homojenleştirme tavlamasından daha önce söz edilmişti. Blok dökümü alüminyum alaşımlarının dökümünde, malzemenin katılaşma sıcaklığı aralığında, birbiri ardına meydana gelen kristaller, birbirinden kısmen oldukça farklı konsantrasyonlarda oluşması dolayısıyla parçanın normal mukavemet özelliklerine sahip olabilmesi için, homojenize tavlamasına tabi tutulması zorunludur. Bu tavlama sırasında, heterojen dağılım yapmış olan alaşım elemanları çözünerek, karma kristallerle birleşir. Bu tavlama sonunda malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri düzelir ve malzemenin işlenmesi kolaylaşır (**Anver,S.H., 1984**).

1.11.4. Sertleştirme Ve Yaşlandırma

Bileşenlerin çoğunun Al içinde eriyebilme kabiliyeti sıcaklıkla azalır. Bu alaşımlara sertleşme ve yaşlanma ile kuvvetlenme olanağını verir.

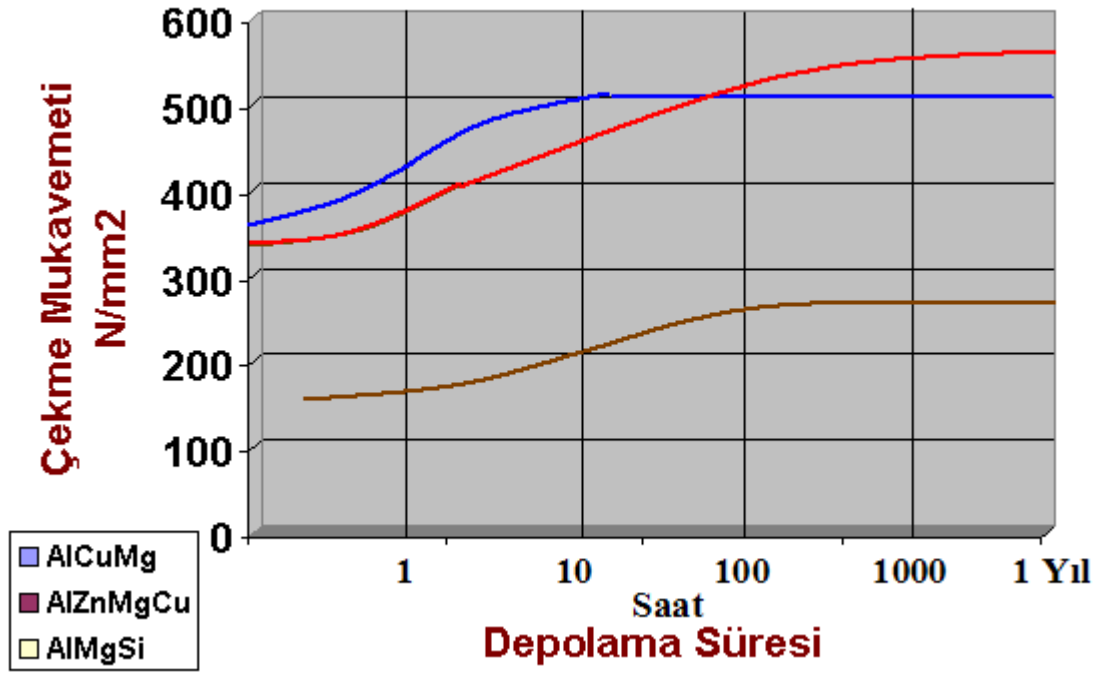


Şekil 1.17. Al-Cu Alaşımları Denge Diyagramı

1.11.5. Sertleştirme

AlMgSi, AlCuMg, AlCuNi, AlZnMg ve G-AlMg₃* soğuk olarak sertleşebilen alaşım tipleridir. Yani bunlar ortam sıcaklığında depolanmaktadır. Şekil-12' de çözüldürme tavlaması yapılmış ve ani soğutulmuş alaşımlarının, mukavemet değişikliğine ait örnekler verilmektedir. Bunların aksine olarak, sıcak sertleşebilen alaşımlar AlMgSi, AlZnMg, AlCuMg, AlCuNi, G-AlSi, G-AlSiMg(Cu), G-AlSi₅Mg, G-AlMg₃, G-AlMgMn, G-AlSi₅Cu 130-170 °C sıcaklıklar arasında sertleştirilebilir. Sertleştirilmiş malzemelerin, soğuk pekleştirilen malzemelere göre, menevişleme dayanıklılığı ve mukavemet değerleri büyüktür. Orantılılık sınırının, kopma mukavemetine oranı, ayrıca şekil değiştirme sırasında uzamanın azalmaması bakımından uygun olmaktadır. Çözüldürme tavlaması yapılmış ve ani soğutulmuş malzemelerin sertleştirilebilirliği çok fazladır. Böylece belirli bir gaye için yapılmış şekillendirme, ayrılma sertleşmesi ilerlemeden, ani soğutmadan hemen sonra

yapılmalıdır. Sertleştirilmiş malzemeler, yüksek sıcaklıkta örneğin; kaynak yapıldığında sertliği kaybolur fakat yeniden soğutulabilir ve hiçbir hasara uğratılmaksızın yeniden sertleştirilebilir. Fakat Plate yapılarak kaplanmış olan malzemelere, bu işlem uygulanamaz.



Şekil 1.18. Depolama süresinin çekme mukavemeti üzerindeki etkisi

BÖLÜM 2

5000 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. 5000 Serisi Standartları

Bileşimi AA 5083 Serisine yakın standart alaşımlardaki alaşım elementlerinden Magnezyumun malzemedeki oranı yüzde 4.9 ile 7.00 arasında değişmektedir

5083 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Kompozisyon Limitleri

Ağırlık %	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
Minimum	-	-	-	4	0,1	0,05	-	-
Maximum	0,4	0,4	0,1	7	1	0,25	0,25	0,15

Alaşım elementleri malzemenin ısı, fiziksel, elektriksel ve mekanik özelliklerini belirleyeceğinden, malzemenin bileşimi uygulama alanına göre seçilecektir **(Bedir,F., 1998).**

2.2. AA 5083'nin Kimyasal Bileşiminin Özelliklerine Etkisi

Alu 5080 R

Kimyasal Bileşimi	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Si	Fe	Ti	Al
	≤0.10	0.40 1.00	7.00 4.90	0.25	0.25	≤0.10	≤0.40	0.15	Kalanı
Diğer Standartlarda	SAE 5083								
Teslimat Durumu	Isıl işlem görmüş durumda, 65 HB								

Malzeme Özellikleri	Yüksek çekme dayanımı yüzünden, hızlı işlenebilme özelliği ve boyutsal kararlılık özelliği vardır. Delme ve tornalama rahatlıkla yapılabilirdiğinden, bu işlemler sırasında yeterince talaş, çarpılma yaratmadan çıkar. Plazma ark kaynağına çarpılma olmadan dayanır. Yüzey çok parlak çıktığından fazla bir işlem gerektirmez. S-ALMg 4.5 Mn (5183) elektrodu kullanılarak kolaylıkla kaynak edilebilir. Çok iyi parlar. Eloksal (dekoratif olmayan) yapılabilir. Düşük sıcaklıkta özelliklerini korur. Deniz suyu ve korozyona karşı dayanımlıdır.
---------------------	---

Kullanım Alanları	Kalıp ve takım üretimi, prototip imalatı, fiktür imalatı, preform kalıplarında, çemberler ve halkalar, genel mühendislik uygulamaları, matbaa ve gıda ambalaj makinelerinde, plastik ile çalışan makinelerde, havacılık sanayii, otomotiv endüstrisinde, elektronik endüstrisinde kullanılır.
-------------------	---

Mekanik Özellikleri (Çökelti sertleştirilmesi yapılmış durumda)	Çekme dayanımı	ksi	34.8-43.5 (2.399-2.999 bar)
	Akma dayanımı	ksi	18.85 (1.299 - 66 bar)
	Uzama	%	6
	Sertlik	HB	en az 65 HB
	Young modülü	mPa	ort. 70 000 2.66 kg/dm ³

Fiziksel Özellikleri (Çökelti sertleştirilmesi yapılmış durumda)	Isıl iletkenlik	Btu/ft ² h ⁰ F cal-cm/s-cm ² °C	63.5 - 80.5 0.263 - 0.334
	Elektrik iletkenliği	m/W mm ²	16 - 19
	Lineer genleşme katsayısı		24.2
	Yoğunluk	kg/dm ³	2.66

Döküm sonrası soğuma, homojenleştirme sonrası soğuma ya da daha sonraki ısı ve mekanik süreçler sırasında alüminyum alaşımlarındaki en önemli safsızlık olarak

bulunan demir, alüminyum ve silisyum ile birleşerek malzemenin toparlanma, yeniden kristalleşme, doku, şekillendirilebilirlik, yüzey temizliği ve elektrik direnci gibi özelliklerini etkileyen çeşitli fazlar oluşturur. Alüminyum alaşımlarında oluşan bu Al-Fe ve Al-Fe-Si metaller arası bileşiklerin morfolojileri, kristal yapıları ve bileşimleri ürünün mekanik özelliklerini, korozyon direncini ve yüzey kalitesini belirleyeceğinden üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Ancak, bu bileşiklerin miktarlarının azlığı ve boyutlarının küçüklüğü, incelemelerini zorlaştırmaktadır. Al-Fe-Si üçlü sisteminin incelenmesi 1921’de başlamış olduğu halde sistemin karmaşıklığı nedeniyle henüz yeterince anlaşılmış değildir. Seyreltik Al-Fe-Si alaşımlarının yavaş soğuması sırasında oluşan kararlı metaller arası bileşikler θ -Al₁₃Fe₄, Al₈Fe₂Si ve β -Al₅FeSi fazlarıdır. Bunlardan başka, alaşımın soğuma hızına ve bileşimine bağlı olarak bazı kararsız fazlar da oluşabilir. Tablo 2.1’de Al-Fe-Si sistemi üzerinde yapılan çeşitli çalışmalarda gözlenmiş olan fazlar listelenmiştir. Tabloda tanımlanamayan bazı fazlar bulunmasının nedeni ise bu faz kristallerinin küçük ve genellikle kararlı olmaları dışında X-ışınları analizi için yeterli miktarda malzeme elde edilmesinin de zorluğudur. Sürekli dökümle üretilen AlMgSi0.5 alaşımları üzerinde yapılan bir çalışmada malzemenin kristalleştirme özellikler ile birlikte oluşan fazların yapısı da incelenmiştir. Sürekli döküm yöntemiyle üretilen bir kütüğün homojenliği ara yüzey geometrisi ile tanımlanır. Sözü edilen çalışmada aynı ara yüzey geometrisinin kütüğün tane büyüklüğü ve hücre yapısının aynı olmasını sağladığı, ancak, soğuma hızına bağlı olarak katı çözelti konsantrasyonu ve fazların değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Buna göre döküm yapıda genellikle Al-Fe-Si fazları bulunmakta, katılaşma süresi uzadıkça Mg₂Si fazı ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2.1. AlFeSi alaşımlarında gözlenen fazlar ve bunlara ait kristal yapılar

Faz	Kristal Yapı	Kafes Parametreleri ¹
Al ₃ Fe	C-merkezli	a=15.49, b=8.08
Al ₁₃ Fe ₄	monoklinik (C 2/m)	c= 12.48, β =107.75
Al _m Fe	Hmt	a=8.84, c=21.60
Al ₉ Fe ₂	Monoklinik	a=8.90, b=6.35 c= 6.32, β =93.4
Al ₆ Fe	C-merkezli Ortorombik	a=6.49, b=7.44, c= 8.79
Al _x Fe	Bilinmiyor	Bilinmiyor
α - AlFeSi	Hmk	a=12.56
α - AlFeSi	basit kübik	a=12.52
α' - AlFeSi	hegzagonal	a=12.30, c=26.20
α'' - AlFeSi	C-merkezli	a=12.70, b=36.20, c=
q ₁ AlFeSi	Ortorombik	12.70
α''' - AlFeSi	C-merkezli Monoklinik	a=27.95, b=30.62 c= 20.73, β =97.74
q ₂ AlFeSi	Monoklinik	a=12.50, b=12.30 c= 19.70, β =111
β - AlFeSi	Monoklinik	a=6.12, b=6.12 c=41.50, α =91

Al_3FeSi	C-merkezli	$a=17.80, b=10.25$
$\gamma \text{ AlFeSi}$	Monoklinik	$c= 8.90, \beta=132$
Al_4FeSi_2	tetragonal	$a=6.14, b=9.48$
$\delta\text{- AlFeSi}$		

¹ Kafes kenar uzunlukları ⁰A, açılar derece cinsindendir

Al-Mga alaşımlarında manganez, krom, zirkonyum gibi dispersoid oluşturan elementler bulunduğunda, homojenleştirme işlemi sırasında dispersoidler oluşacaktır. Bu dispersoidler ekstrüzyon sürecinde ince bir alt tane yapısı oluşturarak yeniden kristalleşmeyi önler ve ekstrüzyon sonrasında lifli yapının korunması sağlanır. Oluşan bu altyapı da sonraki yaşlandırma işlemi ile oluşacak dayanım artışının fazla olmasına neden olur. Ancak dispersoid oluşturan elementler alaşımı su vermeye daha duyarlı yaparlar. Bu da yaşlandırma işleminden sonraki soğuma hızının azalması durumunda, yaşlandırma işlemi ile elde edilebilecek dayanımın azalmasına neden olur. Altyapı oluşumu, su verme duyarlılığının artmasının neden olacağı kaybı, süneklik ve tokluğu arttırarak karşılar (**Horita,Z., Fujinami,T., Nemoto,M., Langton,T.G., 2001**).

AA 5083 ALAŞIMLI FİZİKSEL DEĞERLERİ											
Isıl İşlem	spesifik kalınlık		Rm (Mpa)		Rp0,2 (Mpa)		A% mini		Büküm Oranları		Sertlik
	den	kadar	mini	max	mini	max	A50	A			
F	>2,5	150,0	270								
O/H111	0,2	0,5	270	350	125		11		1,0 e	0,5 e	75
	0,5	1,5	270	350	125		12		1,0 e	1,0 e	75
	1,5	3,0	270	350	125		13		1,5 e	1,0 e	75
	3,0	6,0	270	350	125		15			1,5 e	75
	6,0	12,5	270	350	125		16			2,5 e	75
	12,5	50,0	270	350	125			15			75
	50,0	80,0	270	345	115			14			73
	80,0	120,0	260		110			12			70
	120,0	150,0	255		105			12			69
H112	>6,0	12,5	275		125		12				75
	12,5	40,0	275		125			10			75
	40,0	80,0	270		125			10			73
H116(1)	>1,5	3,0	305		215		8		3,0 e	2,0 e	89
	3,0	6,0	305		215		10			2,5 e	89
	6,0	12,5	305		215		12			4,0 e	89
	12,5	40,0	305		215			10			89
	40,0	80,0	285		200			10			83
H12	0,2	0,5	315	375	250		3				94
	0,5	1,5	315	375	250		4				94
	1,5	3,0	315	375	250		5				94
	3,0	6,0	315	375	250		6				94
	6,0	12,5	315	375	250		7				94
	12,5	40,0	315	375	250			6			94
H14	0,2	0,5	340	400	280	2					102
	0,5	1,5	340	400	280	3					102
	1,5	3,0	340	400	280	3					102
	3,0	6,0	340	400	280	3					102
	6,0	12,5	340	400	280	4					102
	12,5	25,0	340	400	280		3				102

Krom, manganez, zirkonyum, demir ve bakırın Al-Mg alaşımlarında tokluğu nasıl etkilediğini araştıran bir çalışmada, akma dayanımı arttıkça çentik duyarlılığının azaldığı görülmüştür. Katı çözeltideki bakırın tokluğa hiçbir etkisi yokken, manganez ve zirkonyum ilavesi ile tokluk artmaktadır. Alaşımın dayanımını artırdığı bilinen silisyum ve bakırın etkisi toplanır özellik göstermektedir. Ancak, bakır sünekliği olumlu yönde etkilerken, fazla silisyum sünekliğin azalmasına neden olmaktadır. Transmisyon elektron mikroskopla (TEM) yapılan incelemeler de bakır ilavesinin çökelti morfolojisini değiştirerek yaşlanma özelliğini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Buradan da anlaşılacağı gibi, hem magnezyumla stokiyometrik olarak birleşmeye yetecek denge miktar kadar hem de silisyum içeren alaşımlara bakır ilavesi avantajlıdır. Bakır ilavesi denge miktarda silisyum içeren alaşımlarda kırılmanın taneler içinden olmasını sağlar. Fazla silisyumun önemli bir miktarı tane sınırlarında elementel silisyum olarak çökerek taneler arası kırılmaya neden olmaktadır. Ayrıca silisyum Mg_2Si morfolojisini incelterek dayanımın artmasına, buna karşılık sünekliğin azalmasına neden olmaktadır. Bakır da Mg_2Si çökelti morfolojisini etkileyerek dayanımı artırmakta ancak sünekliği azaltmaktadır (Anver,S.H., 1984).

2.3. AA 5083'nin Homojenleştirilmesi

Daha önce de belirtildiği gibi homojenleştirilmiş takozların ekstrüzyon yapılabilirliği, homojenleştirilmemiş olanlara oranla daha iyidir (Reiso, 1984). Homojenleştirme işleminde amaç, dendritik yapıdaki konsantrasyon farklılıklarının giderilmesi, katılaşma sırasında oluşan kararsız fazların çözünmesi ve alaşımın ekstrüzyon parametrelerini olumlu yönde etkileyen kararlı çökeltilerin oluşturulmasıdır. Karmaşık alaşım sistemlerinde kararsız bileşiklerin yanında malzemenin sünekliğini azaltan ve çözünmeyen kararlı fazlar da bulunur. Homojenleştirme işlemi ile bu fazların boy / en oranlarının (aspect ratio) azaltılması sağlanarak süneklik artırılır.

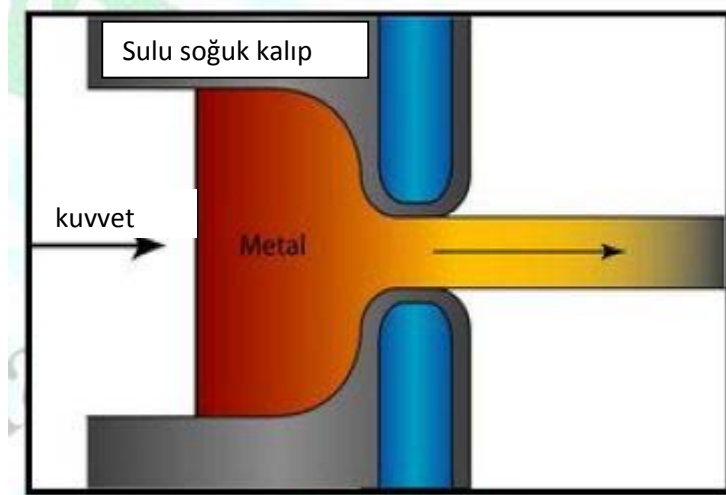
Elektron mikropob analizi (EPMA) ile döküm yapısı üzerinde yapılan bir çalışmada (Stefaniay, 1983) $AlMgSi$, $MgSi$ ve $AlFeSi$ fazlarının mikro yapıda eşit olmayan eşit olmayan bir dağılım gösterdikleri saptanmıştır. $MgSi$ 'nin konsantrasyonu ise Mg_2Si 'nin stokiyometrik oranı olan 1.73:1'den farklıdır. Homojenleştirme işlemi ile magnezyum ve silisyumun dendrit kolları arasında eş dağılımı sağlanmaktadır. $AlFeSi$ fazlarının hacimsel oranı ise ısıtılma işlemi sonucunda pek değişmemekte ancak parçalanmaktadır. AA 5000 serisi alaşımlardan 5083 alaşımında da çözünmez demir bileşiklerinden ince uzun yapıda olan $\beta-AlFeSi$ 'ler küresel şekilli $\alpha-AlFeSi$ 'ye dönüşürse ekstrüzyon yapılabilirliğin arttığı görülmüştür.

Elektron mikropob analizi ve elektrik direnci deneyleri ile kararsız $AlMgSi$ ve $AlMgFe$ fazlarının homojenleştirme işlemi sırasında ilk ½ saat içinde çözüldükleri saptanmıştır. Dendritler arasındaki magnezyum ve silisyum konsantrasyon gradyanı ise ancak 570°C'da 2.5 saat bekleme süresi sonunda

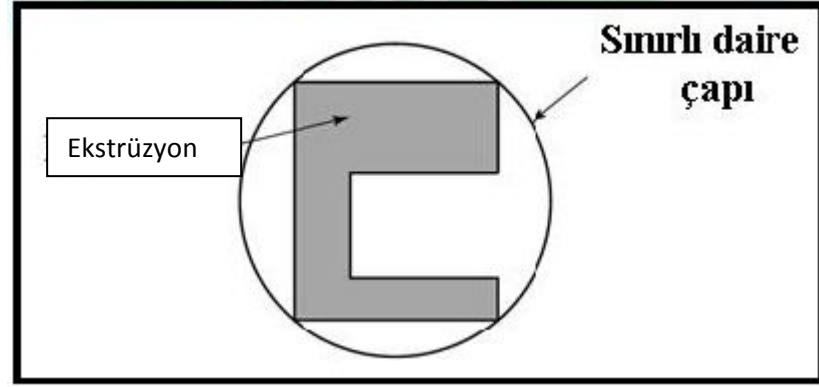
eşitlenmektedir. Isıl işlem sırasında AlFeSi fazlarının da kimyasal bileşimi değişerek kararlı AlFeSi (Fe/Si=4) fazı oluşmaktadır. Tane sınırlarında bulunan bu fazların şekillerinin ince uzundan, parçalanarak küresele dönüşümü de aynı sürenin sonunda yavaşlamaktadır.

2.4. Ekstrüzyon

En çok hafif metal endüstrisinde kullanılan bir üretim yöntemi olan ekstrüzyon, takoz olarak adlandırılan silindir şeklindeki bir ingotun kovan olarak adlandırılan bir alıcı içinde sıkıştırılarak bir kalıptan geçirilmesi ile kesit alanının daraltılmasını sağlayan bir metal şekillendirme yöntemidir. Bu yöntemle hem ekonomik hem de istenen özelliklerde bir ürün elde edilebilmesi için, yöntem değişkenleri ile ürün özellikleri arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Ürün özellikleri de döküm yapı, ekstrüzyon öncesinde ve sonrasında uygulanan ısı, mekanik, kimyasal ve benzeri işlemlerle belirlenmektedir. Bu imalat yöntemi genellikle hafif metaller Al,Cu,Mg, vs gibi için uygulanır (Şimşek,A.T., 1984).



- Genel bir benzetme yapacak olursak, diř macununu sıkmaya benzer.
- Ekstrüzyonu sıcaklığa bağlı inceleyecek olursak ,oda sıcaklığında(**soğuk**) olarak veya daha yüksek sıcaklıklar da (**sıcak**) olarak yapılır.
- Ekstrüzyonla sınırlı çap'taki parçalar şekillendirilebilirler. Al' için (**6 mm – 1m arası**), elik için (**150 cm'ye** kadar) tipik ürün uzunlukları da 7,5 m den küçük olur.

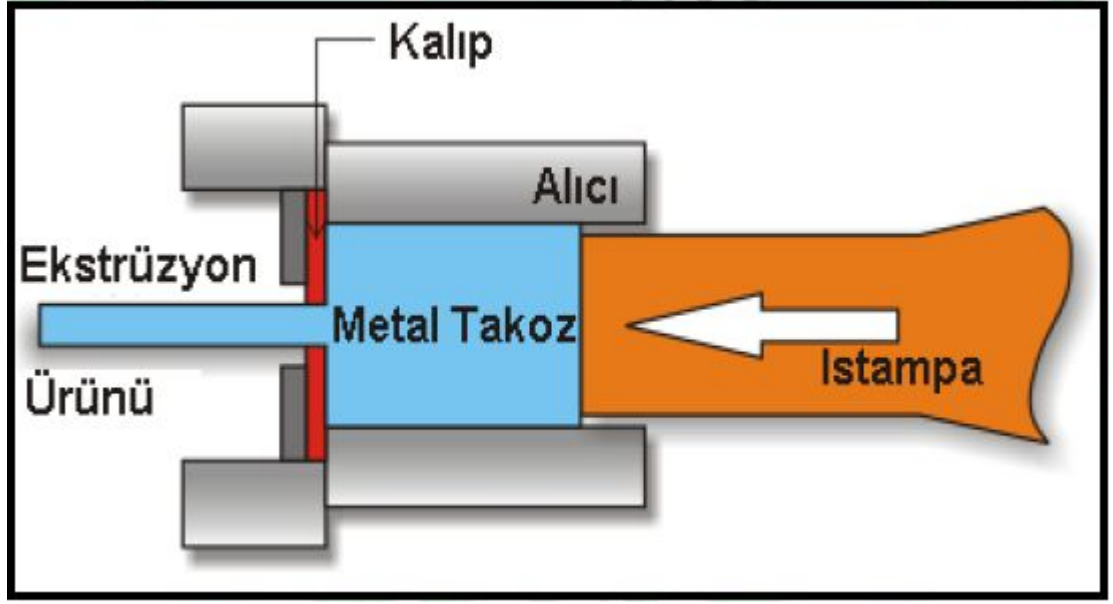


Ekstrüzyon iřlemini :

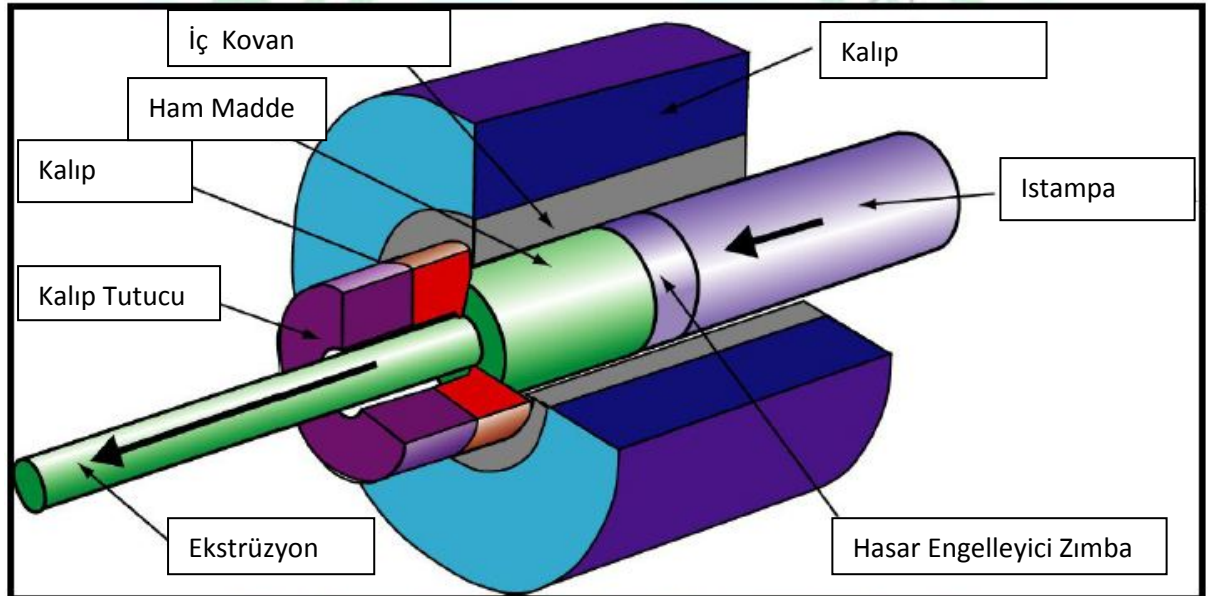
- 1) Kalıp aısı,
- 2) Ekstrüzyon hızı
- 3)Metal takoz sıcaklığı (T0)
- 4) Yağlama parametreleri etkiler.

Drt tip ekstrüzyon yöntemi vardır:

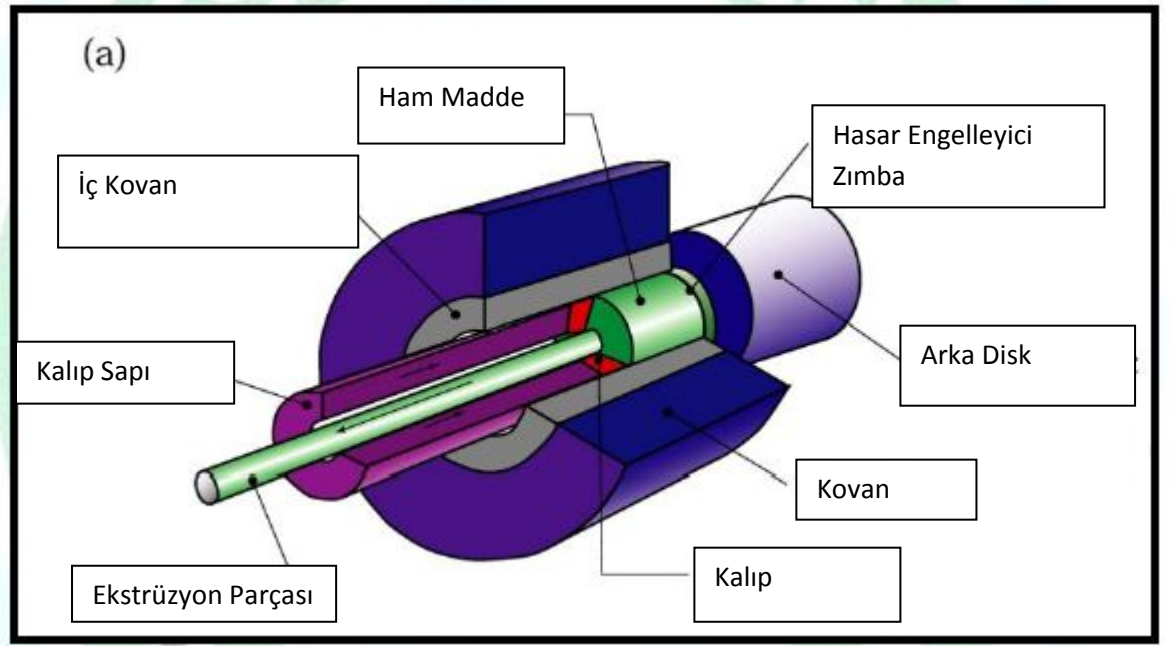
- 1) Direkt ekstrüzyon
- 2) İndirekt ekstrüzyon
- 3) Hidrostatik ekstrüzyon
- 4) Darbeli ekstrüzyon



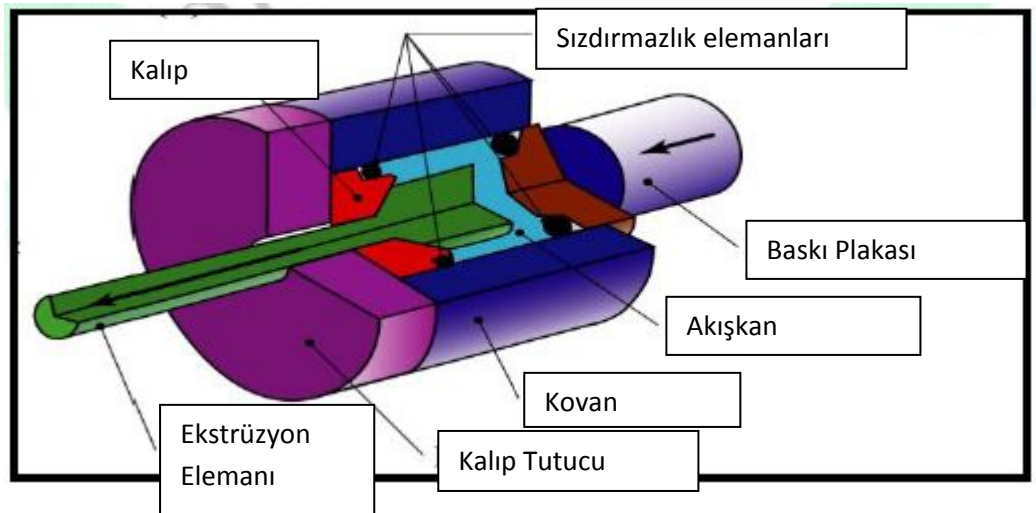
2.4.1. Direkt Ekstrüzyon Yöntemi: Arkadaki şekilden de görüleceği gibi metal takoz alıcı kovan içine konur ıstampa ile bastırılır. Matris içerisinden geçirilir. Ürün çıkar. Bu yöntemde metal takozun son safhalarında kuvvet ihtiyacı çok artar. “Artık malzeme” kalıbın içine giremez kesilip atılması gerekir. Hacmin %18-20 si artık malzemedir. arasında sürtünme Takozla alıcı kovan çoktur. Kuvvet ihtiyacı da fazladır.



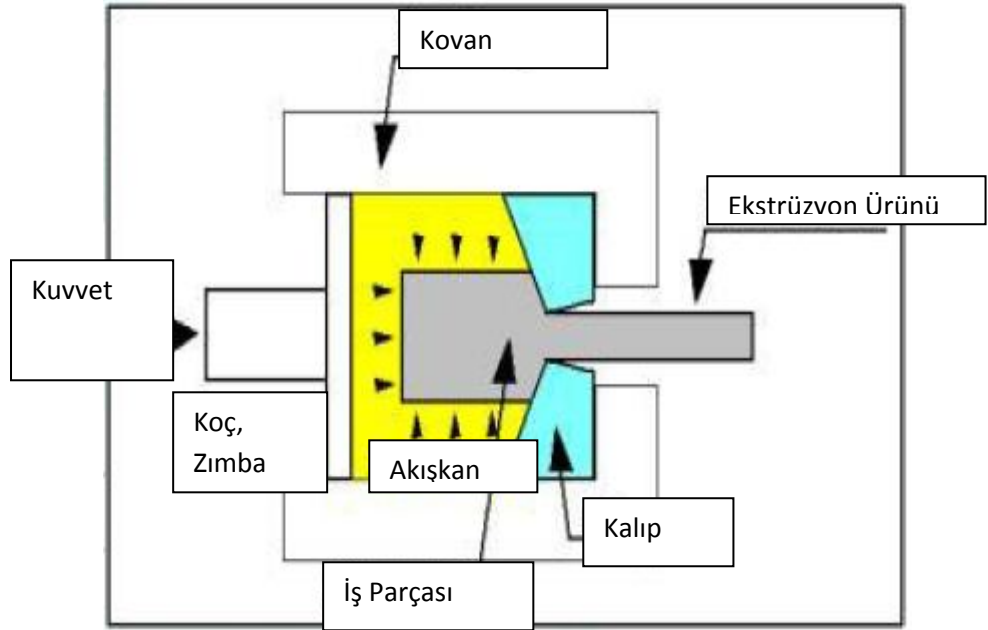
2.4.2. İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi : Bu yöntemin direkt ekstrüzyondan farkı metal takozun sabit durması kalıbın metal takozla doğru gelmesidir. Böylece alıcı kovanla metal takoz arasında sürtünme olmaz. Ürün ıstampanın içinde kalmak zorundadır. “Artık malzeme” hacmin %5-6sı kadardır. Kuvvet ihtiyacı direk ekstrüzyondakinin %75 i kadardır. Sürtünme yoktur.



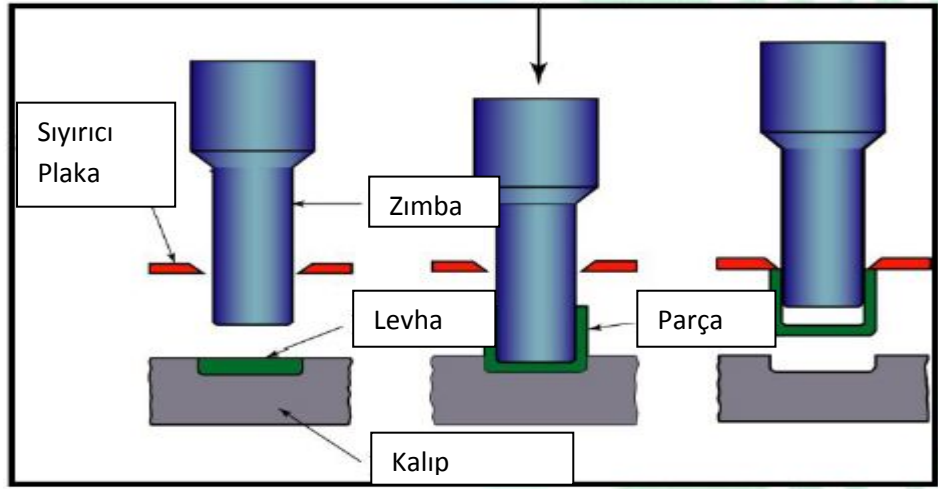
2.4.3. HİDROSTATİK EKSTRÜZYON (İ): Alıcı ile takoz arasındaki sürtünmenin bir akışkan vasıtasıyla yok edildiği yöntemdir. Direkt ekstrüzyona benzerdir.



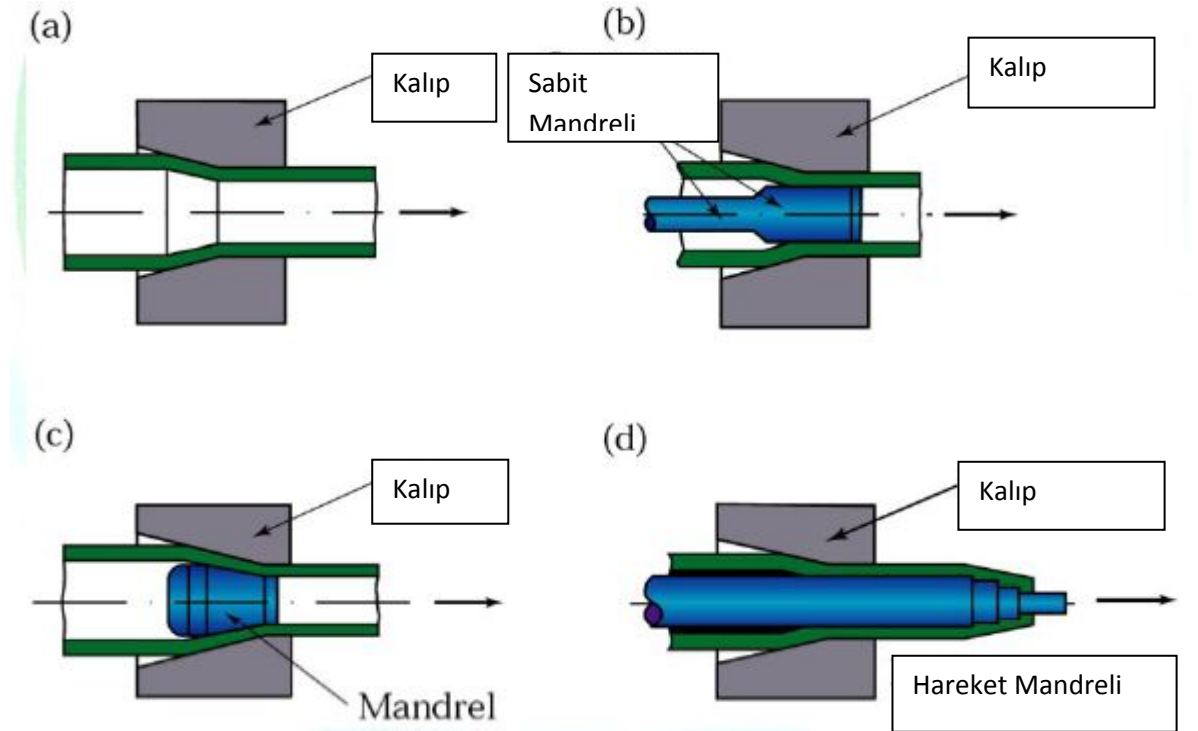
- Bu yöntemde metal takozun alıcıya sürtünmesi yoktur. Oda sıcaklığında mum, polymer, bitkisel yağ kullanılırken, yüksek sıcaklıklarda “cam”ın erimiş hali kullanılır.
- Gevrek olan malzemeler bu yolla şekillendirilirler.
- Bu yöntemde ; düşük sürtünme, küçük kalıp açıları ve yüksek ekstrüzyon oranları elde etmek mümkündür.
- Bu proses, tecrübe eksikliği, complex takım gerektirmesi, uzun zaman aralıklarında nadiren tekrarlanması nedeniyle endüstride daha az kullanılmaktadır.



2.4.4. Darbeli Ekstrüzyon: Bu yöntem Pb, Al, Mg, Cu gibi hafif metallerin soğuk olarak ekstrüze edilmesidir. Macun ve ilaç tüpleri bu yolla üretilirler. Bu yöntem indirekt ekstrüzyon ile soğuk ekstrüzyonun birleşik şekli gibidir. Ekstrüde edilen parçaların kalınlığı zımba ile kalıp arasındaki boşluğa bağlıdır.



2.4.5. Boru Ekstrüzyon: Bu yöntemde dikişsiz borular ekstrüzyonla üretilirler. Silindirik takozlar dolu veya deliklidir. Direkt ekstrüzyonda hem dolu hem delikli takoz kullanılırken indirekt ekstrüzyonda yalnızca delikli takozdan boru üretilir. İstampaya bağlı bir mandrel kullanılır.



Uçak endüstrisindeki gelişmesiyle önem kazanan ekstrüzyon süreci, uçak tasarımcıları için çeşitli kesitlerde profillerin elde edilmesini sağlayan en ekonomik üretim yöntemi olmuştur. Yöntemin avantajlarının zamanla mimari ve yapı

tasarımcıları tarafından da fark edilmesiyle ekstrüzyon ürünlerine olan talep hızla artmıştır (**Deliküçük, Y., 1989**).

2.5. Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Yapılabilirliği

Ekstrüzyon yapılabilirlik, bir ekstrüzyon ürünüde yırtılma olmadan uygulanabilecek en yüksek ekstrüzyon hızı olarak tanımlanabilir. Alüminyum alaşımlarında kimyasal bileşim ve ingot homojenleştirmenin ekstrüzyon yapılabilirlik üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Düz kalıp kullanılarak ve yağlamasız yapılan alüminyum ekstrüzyonunda, malzeme, kesme kuvvetleri ile şekil değiştirerek ürünü oluşturur. Bu kesme kuvvetlerinin doğurduğu artık iş ve plastik şekil değiştirme işi üründe sıcaklık artışına neden olur. Sıcaklık artışının miktarını, malzemenin şekil değiştirme direnci, takoz boyu ve sıcaklığı, ekstrüzyon hızı ile oranı ve takım sıcaklıkları belirler. Bu değişkenler ekstrüzyon sırasında yapılan işi ve ısı kayıplarını kontrol eder.

Yapılan şekil değişimi işi ekstrüzyon oranı, hızı ve takoz boyu arttıkça 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, 5000, 6000 ve 7000 serisi gibi alüminyum alaşımlarında üründe yırtılmalara sebep olduğu gibi aynı zamanda da ürün yüzeyinde istenmeyen iri taneli bir yapının oluşmasına yol açar. Sıcaklık artışının iyi kontrol edilebilmesi için ekstrüzyon öncesinde uygulanan ve malzemenin yüksek sıcaklık dayanım özelliklerini etkileyen homojenleştirme, soğutma gibi işlemler ile ekstrüzyon yöntem değişkenlerinin optimizasyonu söz konusudur.

Ekstrüzyon hızında elde edilebilecek artış profil kesitinin karmaşıklığına ve presin hız kapasitesine büyük ölçüde bağlıdır. Ortası boş kesitli profillerle, dolu kesitli profiller arasında oldukça büyük hız farkları gözlenir. Genelleme yapmak gerekirse, profil kesiti karmaşıklaştıkça, et kalınlığı azaldıkça ve profil köşe yarıçapları 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 (**Vinogradov,A., Nagasai,S., Patlan,V., Kitagawa,K., Kawazoe,M., 1999**).

Ekstrüzyonla ekonomik bir üretim yapılabilmesi birim zamanda daha çok ürün elde edilmesi ile mümkündür. Bunu sağlamak için kullanılan malzemenin ekstrüzyon yapılabilirliğinin artırılması gerekir. Ekstrüzyon basıncı takozun şişirilmesi sırasında hızla artarak en yüksek değerine ulaşır ve metalin kalıp içinden akmasıyla birlikte, önce hızla daha sonra takozun kısılmasıyla yavaş ve doğrusal olarak düşer. Pres kapasitesinin belirli olması nedeniyle, basıncın düşürülmesi için alınacak önlemler ekstrüzyon hızının artırılmasını sağlayacaktır. Ekstrüzyon basıncını kalıp (dolayısıyla ekstrüzyon oranı, kalıp tasarımı, profil kesiti), alaşımın mikro yapısı, takoz sıcaklığı ve takoz boyu etkilemektedir.

2.6. AA - 5XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARIN TEL ÇEKME ÖZELLİKLERİ VE TEL ÇEKME MAKİNALARI

Alüminyumun en geniş kullanım alanları denildiğinde akla ilk gelenler: mimari amaçla kullanılan kapı ve pencere profilleri, askeri amaçlı hafif zırhlı araçlar, deniz botları, çatı kaplama levhaları, yolcu ve askeri uçaklar, otomobil saçları ve motor blokları, pek çok irili ufaklı endüstriyel makine parçaları ile tüm dünya ülkelerinin tüm enerji nakil hatlarıdır (**Anver, S.H., 1984**).

Yukarıda saydığımız alüminyumun kullanım alanlarında şekillendirme usullerine gelince, döküm, kaynak, talaşlı şekillendirme, haddeleme, ekstürüzyon, dövme ve tel çekme gibi yöntemler sıkça kullanılmaktadır

Tüm dünya ülkelerinin enerji nakil hatları ve buralarda kullanılan muazzam miktarlardaki tel çekilerek işlenen alüminyumlar göz önüne alındığında, tel çekme işleminin de alüminyum sanayinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olduğu şüphesizdir. Üstelik alüminyum alaşımları üzerine yapılan çalışmalar bu metal var olduğunca devam edeceği ve başka alanlardaki yeni gelişmelerin bu konu üzerinde de sinerji yaratarak daha ileri alüminyum alaşım malzemelerin geliştirilmesi ve işlem usullerinin de teknolojik olarak ilerlemesi kaçınılmazdır.

Elektrik enerjisi taşınımında alüminyum ve alaşımlarının kullanımı konusuna döndüğümüzde, dünyadaki yeni kullanım ve tercih eğiliminin 6xxx serisine doğru yöneldiği açıkça gözlenebilir. Temel sebebi ise ülkeler servis ömürleri dolan enerji nakil hatlarını değiştirirken alt yapı yatırımlarının daha uzun sürelerde servis yapmalarını istemektedirler. Bu nedenle hangi tür malzemeler kullanırsak transmisyon hatlarının ömürleri en az iki kat arttırılabilirin hesaplarını yapmaktadırlar. Bu koşullar altında iletken imalatçıları ülkelerin önüne 6xxx ve tercihe göre 5xxx serisi alaşımları sürmektedirler. Bu önerilerde ise temel gerçek; ACSR tipi alaşımların kompozit yapısından dolayı ilk 5 yıldan sonra çok hızlı bir şekilde çelik ve alüminyum teller arasında oluşan pilleşme etkisiyle dozajı gittikçe artan korozyon tesiriyle servis ömürlerinin kuvvetli bir şekilde düşüş göstermesidir.

Transmisyon hatlarında korozyon bir kere başladı mı müdahale etmek hemen hemen imkânsızdır. Çare yenime maruz kalmış iletkenlerin değiştirilmesidir. Burada da vaktinden önce hatların değiştirilme ihtimali de vardır, dolayısıyla ülkenin mali kaynaklarını sürekli olarak sonu belli olmayan sarf noktalarına harcamak demektir.

İşte bu temel nedenden dolayı şirketler, mühendisler, müşteriler ve bilim adamlarının karşılıklı çalışmaları neticesinde iletkenlik seviyesinde bir miktar taviz vererek kompozit ACSR iletken yapısından kurtulup servis ömürlerinin de, bazı önlemler alınarak birdenbire 60-80 yıla çıkması mümkün olan 6xxx ve 5xxx serisi alaşımlarından yapılan iletkenlerin tercih edilmesindeki ana neden işte budur. Ayrıca burada hatırlanması gereken diğer bir temel unsurun ise 5xxx serisi alaşımların deformasyon serleşmesi ile kullanıldığı ısıl işlem özelliğinin olmadığı, 6xxx serisi alaşımlar ise ısıl işlemleri iyi yapıldığında inşaat demir St37 özelliklerinde bir malzeme olabileceği gerçeğidir (Aran, A., Tayfur, A., 1984).

Bu eğilim çerçevesinde Türkiye de muhtelif sanayi malları için tel sanayinde bahsi geçen her iki alaşımda kullanılmaktadır. Ancak daha kütleli kullanım 5xxx serisi Al-Mg-Si alaşımlarıdır.

2.6.1. Tel Çekme Makineleri

Tel çekme makineleri denilince ilk tasnif, demir ve demir dışı malzemeler için tasarlanmış makineler olarak yapılabilir. Demirli malzemelerin tel çekme makineleri

kuru tip makineler olup yağlama işleminde daha ziyade muhtelif karışımlardan oluşan toz sabunlar kullanılır.

Demir dışı malzemeler denilince enerji sektöründe özellikle alüminyum ve alaşımları ile bakır filmaşınların çekilmeleri söz konusu olur. Ancak bilinmesi gereken en önemli hususun makinenin konstrüksiyonunun alüminyum, alüminyum-alaşım veya bakır çekebilir şeklinde yapılandırılmış olması gerekliliğidir. Bu tür makineler soğutucu ve kaydırıcı akışkan değiştirilmeden hem Cu ve hem Al çekemezler. Zira Al, Al-Mg-Si ve Al-Mg alaşımları çekilirken viskozitesi oldukça yüksek yağlar kullanılır. Oysa Cu filmaşınlar çekilirken %10 yağ ve %90 sudan teşkil edilen emülsiyonlar hazırlanarak makinenin dolaşımında kaydırıcı unsur olarak kullanılır.

Makine tasarlanırken hem Cu ve hem de Al filmaşın çekilmesine göre tasarlanmış ve imal edilmiş olabilir. Ancak kullanıcı bu işlevlerden birini tercih etmelidir. Zira tel çekme sıvısını bütünüyle değiştirmeden ve makinenin temizliğini yapmadan birinden diğerine geçilemez.

Alüminyum kablo ve iletken mamulleri sanayinde kullanılan makineler ıslak tip veya slip tip olarak anılırlar. Bu makinelerde kullanılan filmaşınlar genellikle sürekli dökümlerden elde edilmiş olan 9.5 mm çapındaki standart filmaşınlardır. Uluslar arası piyasalarda da alüminyum ve alaşımları için kullanılan standart filmaşın çapı 9,5 mm'dir. Ancak 12 mm lik filmaşınlerde vardır. Bakır filmaşınlar de bu standart çap 8 mm iken demirli malzemelerde ise standart filmaşın çapı 6mm'dir.

Alüminyum sanayinde kullanılan makineleri eski ve yeni nesil diye ayıracak olursak temel ayırım kıstasının çekme kabıştayınlarının dizilişi olduğunu söyleyebiliriz.

Eski nesil makinelerde önce kalp sonra çekici kabıştayın sonra tekrar kalıp ve müteakiben çekici kabıştayını silsilesi kalıp adedine göre doğrusal sıralanmaz yani makinenin boyunu çok uzatmamak için bu silsile makinenin içinde dönmeli olarak tekrarlanır. Makine kısa ve kompakt olur ancak mekanizmayı tel geçirme ve kopmalarda kullanmak o derece zorlaşır. Makinenin imalatçı açısından en optimum malzeme kullanılarak tasarlanması ve alıcı içinde ucuza mal olması tabii ki doğrudur ancak kullanılan filmaşınlar mükemmel sayılacak kusursuzlukta olamayacağından tel çekme işlemleri esnasında malzemede kalite farklılıklarına göre kopmaların olacağı

aşıkardır. Bu durumda operatörün müdahalesi zorlaşacak ve imalat kaybı olarak firmaya yansımaktadır.

Bu duruşlar o makinenin çalışma zamanının %10 mertebesini geçtiğinde durumun hiç verimli olmadığına kesinlikle karar verilebilir. Yeni nesil olarak bilinen makineler de çekme kalıbı (matrisi) ve kabıştayın sıralaması genellikle doğrusaldır ve makinenin boyu kullanılan çekme kalıbı sayısına göre şekillenir. Bu makinelere operatörün işlem müdahalesi hem çok hızlı hem de kolaydır. Proses işlemleri çok hızlı ve duruş kayıpları çok azdır. Burada temel kural makinenin konstrüksiyonu ne kadar kompakt ise bakım servisi ve proses için müdahalelerin o derece zorlaştığıdır. Zira bakım faaliyetleri ve arıza giderme hizmetleri de kolaylıkla yapılabilir.

Bu tür tel çekme makinelerin en etkili tasarımları Alman kökenliler olup çekme hızları 3540 m/s arasında değişmekte olup kalıp sayıları da 9,5 mm filmaşınlar için 1113 arasında değişmektedir. Makinenin yağ kapasitesi yaklaşık 16 varil civarındadır, dolayısıyla filtresiz olanlarının yağ değişim süreçleri maksimum yılda 1'dir. Saflık derecesi %99.5-%99.7 arasında değişen alüminyumlar ile Al-Mg-Si ve Al-Mg alaşımlarını çekilmesinde makinenin genel yapı özellikleri aynı olmakla beraber alaşımlarda en düşük çalışma hızı önemlidir. Alaşımların tel çekme hızı 612 m/s aralığında değişiklik gösterir. Bunun üzerindeki hızlarda çalışılabilir mi sorusuna cevap tabii ki filmaşının kalitesine göre değişir olacaktır. Eğer filmaşın çok iyi filtrelenerek dökülmüş ve haddelenmiş ise yabancı madde katışkı miktarı azalacağından bu mümkündür ancak burada da sizi kısıtlayan teknolojik bir engelin varlığını unutmamak gerekir. Alaşım filmaşınların ana matrisini oluşturan alüminyum yüksek homojenizasyon sıcaklığı içinde gerek Mg ve gerekse Si eriterek kristalin içine almış idi. Müteakibe yapılan soğutma ile de kristal aşırı doymuş olarak bu eriyenlerle birlikte hareketsiz bırakılmıştı. Bu işleme solüsyona alma dendiğini ve ısıtma işlemle 6xxx serisi alaşımları sertleştirmek için kullanılan temel mekanizma olduğunu biliyoruz. Bu karasız yapının T6 ısıtma işlem fırınına kadar şekillendirme sürecinin herhangi bir aşamasında tahrik edilmemesi gerektiğini biliyoruz. Zira hataların çoğu burada yapılmaktadır. Tel çekme makinelerin tel sarılan makara ünitesi en klasik haliyle tek makaralı olarak konstrükte edilirler. Tel çekmenin devamlılığı için bu sistem modern makinelerde iki bobinli yapılarak biri dolunca ikinci makara otomatik olarak devreye girer ve işlem filmaşın bitene kadar devam edebilir. Bu tür makineler saf alüminyumun

(Al % 99.7) tel çekilmesinde 8 saatlik çalışma periyodu içinde çapı 1.96 mm olan tellerden 5 ton ve çapı 4.4 mm olan tellerde ise 9 ton kadar çıkılabilmektedir. Alaşımlardaki imalat hızı ise bunlardan çok farklıdır. 5xxx serisi alaşımlardaki maksimum imalat değerleri 8 saatlik periyot için 23 ton civarındadır (**Anver,S.H., 1984**).

Makinelerin fiyatları ise pek çok parametreye göre değişiklik gösterse de temel fiyat olarak 600.000-750.000 Euro arasında değişiklik göstermektedir. Bu Avrupa menşeli makinelerin 510 yaşlarındaki ikinci el fiyatları ise 180.000-190.000 Euro arasında görülmektedir. Çin malı tel çekme makinelerinin tek sarma bobinli makine fiyatları ise Şanghay liman teslimi 190.000-250.000 \$ arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi tel çekme makine fiyatları da Çin pazarlarında Avrupa pazarlarına göre çok ucuz kalmaktadır. Kalite yapıları açısından ise Çin malı makinelerin durumları maalesef tanımsızdır.

2.6.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlar İçin Tel Çekme Kalıpları

Alüminyum ve alaşımlarının tel ekilmesinde WC tipi kalıplar kullanılır. Bu kullanılan kalıplarda WC çekirdek koniklik açısının, yatak boyu dediğimiz düz kısmın ve çıkış açısının olduğu bölgelerin açı ve yüzey formlarını yansıtır. Tel çekme kalıpları(matrisleri) nın WC kısımları aşındırıcı macunlarla ve şekillendirme için tasarlanmış tezgâh üstü aletleri ile işlenirler. Koniklik açısının dar olması sürtünme kuvvetlerinin artmasına ve tel çekme kuvvetlerinin yükselmesine sebep olurlar. Ancak koniklik açısının dar olması titreşimlerin azalmasına yardımcı olur (**Bargel,H.J., Schule,G., Çev.: Güleç,Ş., Aran,A., 1995**).

Uygulamalarda en önemli hatalar ise yatak boyu kavramının operatörlere çok iyi anlatılmaması ve farklı alaşımlar için kalıp serilerinin değiştirilmemesi dolayısıyla sık sık kopmaların yaşanması imalatın tıkanmasına sebep olabilmektedir.

Telin matrise girerken bir ön gerilme ile doğrultulmuş yani gerilme verilmiş halde girmesi istenir. Ayrıca tele matris konik açısı tarafından basma gerilmeleri uygulanırken ve malzemenin plastik olarak şekillendirilmesi başlarken telde, sürekli ortamlarda oluşan titreşimlerin en az düzeyde olması gereklidir. Aksi takdirde telde

kopmalara sebebiyet vermesi kaçınılmazdır. Sorunsuz tel çekme işlemlerinde tüm parametreler sadece tel çekme kalıplarının redüksiyon oranlarına göre çok iyi düzenlenmiş olması, yatak boylarının iyi ayarlanması, kalıp iç temas yüzeylerinin pürüzsüz ve temiz olması yeterli değildir. Tel çekme kalıplarının dışında da kalite anlayışının aynı hassasiyetle sürdürülmesi gerekir. Alüminyum tel çekmede dikkat edilecek hususları sıralayacak olursak;

- i. Alüminyum sanayinde tel çekme işlemlerinde %25 ve %30 seviyelerinde redüksiyonlar kullanılır. Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan ifadesi ile tatbik edilir. $D = \text{Giriş-çapı}, d = \text{Çıkış-çapı}$ dır.
- ii. Kullanılacak alüminyum filmaşınların ıslak ve nemli olmaması gereklidir. Makineye takılacak filmaşın üzerinde su damlaları yağa karışacak ve sonrada sık sık tel kopmaları görülecektir ve yağda biriken su ile telde çizikler oluşmaya başlayacaktır.
- iii. Filtre ünitesi olan makineler her zaman tercih nedenidir. Ancak çoğu makinede bu ünite yoktur ve birkaç aylık faaliyetten sonra yağ içinde biriken alüminyum tozları kalın metal-çamuru tabakaları oluşturarak yağ devir daim borularını ve matris yağ besleme uçlarını tıkararak bazı matrislerin kuru kalmasına ve sık sık kopmaların oluşmalarına sebep olurlar. Dolayısıyla belirli periyotlarda (mesela 6 ay/ 3 vardiya çalışma düzeninde, 15 16 varil yağ kapasiteli makineler için) yağın ve makinenin temizlenmesi mutlaka gereklidir.
- iv. Alüminyum alaşım redüksiyonu yapan makinelerin yüksek imalat hızlarında çalışması doğru bir tercih değildir, teknik olarak yanlış sonuçlar verir. Zira imalat sorumluları görevleri gereği birim zamanda yeterli seviyede mal işlemleri gerekir. Oysa AA5000 ve AA6000 serisi malzemeler AA-%99,5-AA99,7 veya AA1000 serisi malzemelere benzemezler. AA1000 serisi alüminyumlar çekilirken tel çapına göre makinenin maksimum değerleri filmaşın ve kalıp kalitesine bağlı olarak kullanılır. Ancak, AA6000 serisi malzemeler filmaşın olarak dökülürken ve hatta homojenizasyonları yapılırken Mg ve Si elementleri ile kristal yapı aşırı doymuş durumdadır ve dolayısıyla yapı ısıya karşı çok duyarlıdır. Ayrıca gereğince malzemenin mukavemeti sıcaklığa, şekil değiştirme oranına ve şekil değiştirme hızına bağlı olarak

değişir. Yani AA5000 serisi alaşımlarda şekil değiştirme hızı arttıkça sıcaklıkta artacaktır. Dolayısıyla bobine sarılan tellerin sıcaklığı yi bulacaktır. Bu ise suni yaşlandırmayı tetiklemeye yeterlidir. Çökelme sertleşmesinin bu şekilde kısmen başlaması müteakip safhada ki bunun suni yaşlandırma fırınında yapılması gereklidir, yapı inkoherent yapıya yani aşırı yaşlanmaya dönüşecek ve beklenen 300 N/mm² mukavemet seviyelerine ulaşamayarak filmaşınların kalitesiz olduğu düşünülecektir. Dolayısıyla makinenin tel çekme hızları 612 m/s arasında seçilmelidir. Bu düşük hız imalat kaybı olarak yorumlanmamalı işin gereği olarak bilinmelidir.

- v. Tel çekme makinesinin kabistayınları temiz ve bağlı oldukları şaftların salgısız ve boşluksuz dönüyor olması gerekir.
- vi. Matrislerin tasarımında ise tanzim edildikleri serilere yöre “yaklaşma açıları” aşağıdaki gibi ayarlanmalıdır;
- vii. Matrislerde dikkat edilmesi gereken en önemli kısımlardan birisi de yatak boyu olup alüminyum alaşım tel çekiminde çıkış çapının “0.30.4 d” oranı uygulayarak uzunlukları ayarlanır. En önemli hatalardan biriside burada yapılmaktadır zira matris yatak boyunu ölçmek çok basit değildir, uygun teçhizat gerektirir. AA1000 serisi kalıplar ile AA5000 veya AA6000 serisi alüminyum çekmek doğru bir usul değildir. Bir süre sonra tel yüzeylerinde klivaj çatlakları kalıp yapışmaları dolayısıyla oluşmaya başlar ve tel kopma sıklığı artar (**Rogers,R.W.,Anderson,W.A., 1985**).

2.6.3. Sonuç

Türkiye de kurulu imalat sanayi yoğun rekabet koşulları altında ancak bilgi ve endüstriye uygulamalarında kazanılan farklılıklarla ayakta kalabilir. Bu yalnız firmaların yaşamlarını sürmeleri için gerekli koşul değil aynı zamanda sanayide çalışan genç ve yaşlı mühendislerinde işlerini kaybetmemelerinin garantisi sadece ve sadece teknik veya ticari donanımlarının ilerletilmesi ve geliştirilmesi ile mümkündür. Bu makalede sadece alüminyum alaşımlarının tel çekme özelliklerini vermekten ziyade sanayinin, üniversite öğrenci kitaplarından öğrendiklerimizden çok ileri işlerle uğraştığı

vurgulanmak istenmiştir. Her konuda “özellikli” bilgiye ihtiyaç vardır. Tel çekme imal usulleri konuları içinde küçük bir kesir kapsar. Ancak makalede verilen bilgiler veya bunun gibi bilgileri ve tabii ki daha detaylılarını öğrenci kitaplarında bulmak mümkün değildir. Onun için ansiklopedik bilgi veren el kitaplarından ziyade ilgili alanlarda ihtisas kitaplarının okunarak sanayide karşılaşılabilecek imalat problemlerinin ileri bilgi gücüyle çözümlenmesi gereklidir.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme

Bu bölümde AA 5083 kalite alüminyum alaşımının yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve mekanik davranışlarının incelenebilmesi için daha önceki bölümlerde anlatılan homojenizasyon işlemlerinin ve parçaların bu işlemlere hazırlanması konuları hakkında bilgi verilmiştir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneyler için gerekli malzemelerin satın alınması, ısıtım işlemleri için fırının yenilenmesi, analiz işlemlerinin yaptırılması gibi önem arz eden tüm gereksinimler Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Fonu tarafından desteklenen 2010/80 numaralı projeden karşılanmıştır. TÜBAP-2010-80 numaralı proje kapsamında piyasadan tedarik edilen ve ürün kataloğunda adı AA 5083 olan alüminyum alaşımı deney malzemesi olarak seçilmiştir (Onurlu,S., 1993).

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan malzemenin bileşimi

Fe	Si	Mn	Mg	Cu	Ti	Al
%	%	%	%	%	%	%
0.50	1.0	0.70	4.50	0.10	0.10	Kalan

Homojenleştirme deneylerinde 110 mm çapında döküm halindeki silindirik kütüklerden 13mm kalınlığında kesilen dikişler kullanılmıştır. Homojenleştirme işlemlerinin yapıldığı yüksek sıcaklık fırınında(Şekil 3.1) numune sıcaklıkları test numunesi içine matkapla açılmış bir deliğe yerleştirilen termokupl ile ölçülmüş, numune sıcaklığı işlem süresince bir grafik kaydedici ile çizilmiştir. Numune sıcaklığının $\pm 4^{\circ}\text{C}$ değişme gösterdiği saptanmıştır. Homojenleştirme deneylerinde 490°C ile 530°C arasında 5°C aralıklı sekiz ayrı sıcaklık uygulanmıştır. Her sıcaklıkta

ise ½, 1, 2, 4 ve 6 saat olarak seçilen beş ayrı süre denenmiştir. Endüstriyel uygulamalara yakın olması amacıyla numuneler homojenleştirme sıcaklığına 6 saatte ısıtılmışlardır. Bu sıcaklık ve süreler sonunda fırından çıkartılan örnekler havada soğutularak sertlikleri ölçülmüştür.



Şekil 3.1. Homojenizasyon işleminin yapıldığı ısıtıl işlem fırını

Sertlik ölçümleri Rockwell Universal sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Rockwell E cinsinden yapılan ölçümlerde her numune için 3-4 ölçümün ortalaması sertlik değeri olarak alınmıştır (T.S.E., 2000).

Optik mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) incelemeleri için kütük kenarından ve ortasından ikişer numune alınmış, bakalite gömülerek mekanik olarak parlatılmışlardır. Dağlama için 1ml HF (%48) + 200 ml su çözeltisi kullanılmıştır. SEM incelemeleri için numuneler Edwards yüksek vakum kaplama cihazında 200mm. Kalınlığında karbon filmle kaplanmıştır. SEM incelemelerinde Jeol 840 Taramalı Elektron Mikroskobu ve buna bağlı Tracor Northern TN-2000 mikroanaliz sistemi kullanılmıştır.

Transmisyon Elektron Mikroskop (TEM) numuneleri hazırlanması için yavaş hızda çalışan testerede elmas disk kullanılarak 500µm. Kalınlığında kesilen dilimlerden 3mm. Çaplı diskler çıkartılmış, bu diskler mekanik olarak 250µm. Kalınlığa inceltmiştir. Son inceltme işlemi için elektrolitik parlatma yöntemi kullanılmıştır. Tenupol elektrolitik parlatma cihazında %30 NHO₃ + %70 metanol çözeltisi

elektrolitik olarak kullanılmış ve -30°C ortam sıcaklığında 1.8 A akım geçirilerek numuneler inceltirilmiştir. TEM incelemeleri Jeol 100C Transmisyon Elektron Mikroskobunda yapılmıştır. **(Petch,N.J., 1953)**

Homojenleştirme sonrası havada soğutulan numunelerin yapısında bulunan çökeltilerin boyut ve dağılım analizleri SEM'a bağlı Tracor Northern TN-1310 sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Yine bu çökeltilerin ısıtma işlem koşulları ile değişimini belirlemek amacıyla matrisin çözündürülüp metaller arası bileşiklerin çözeltide kalmasını sağlamak için selektif çözündürme işlemi uygulanmıştır. Elektrolitik olarak gerçekleştirilen ve elektrolit olarak 15 gr 8-hidroksikinolin, 80 ml kloroform, 60 gr benzoik asit ve 200ml metanol çözeltisi kullanılan işlemde, 100 A/m^2 akım uygulanmış ve karşı elektrod olarak malzemenin kendisi kullanılmıştır. Elde edilen çözeltilerdeki parçacıklar santrifüj yöntemi ile çöktürülmüş, çökelti 4 kez metanol 1 kez de kloroformla yıkanmış ve yine her yıkama işlemi aşamasında santrifüj yöntemi ile çöktürme uygulanmıştır. Elde edilen sınırlı miktardaki çökeltiler alkol ortamında dağıtılarak lam üzerine alınmış ve Philips X-ışını difraktometre cihazında Co tüp kullanılarak faz analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde malzemede bulunan ve çökeltileri oluşturan en önemli safsızlık olan demir ya da diğer alaşım elementlerinden herhangi birine ait pike rastlanmamıştır. Buradan da selektif çözündürme için kullanılan elektrolitin uygun seçildiği, çözündürmenin de başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Elektron difraksiyonu ile de faz analizleri yapılması amacıyla çökeltiler etil alkol içinde ultrasonik karıştırıcı yardımıyla alınmış ve taşıyıcı karbon film kaplı bakır gridler asılıya daldırılıp kurumaya bırakılmışlardır. Böylece hazırlanan TEM örnekleri de yine Jeol 100C Transmisyon Elektron Mikroskobunda 100 keV voltaj kullanılarak incelenmişlerdir **(Aran,A.,Tayfur,A., 1984)**.

Homojenleştirme sonrası uygun mikro yapının elde edilebileceği soğuma hızının saptanması amacıyla yapılan soğutma işlemi ile bir fırın tuğlası boyunca ufak delikler açılmış bir düzenek ile sağlanmıştır. Boru sisteminin ortasındaki tuğlanın üzerine yerleştirilen küçük, boruların içinden geçirilen hava veya suyun püskürtülmesi ile soğutulmuştur. Soğuma sırasında kütüğün merkezine gömülen K-tipi (kromel-alumel) ısı çifti yardımıyla sıcaklık sürekli kaydedilmiştir.

Takozlar ekstrüzyon sıcaklığına elektrik dirençli yüksek sıcaklıklı fırında ısıtılmış ve sıcaklıkları K-tip ısı çifti ile ölçülmüştür. Deneyler takoz, kovan ve kalıp ilk sıcaklığı sabit tutulmuştur. Takoz sıcaklığının sabit tutulması için izlenen yöntemde, 500°C sıcaklığa kadar ısıtılan takozlar fırından çıkartılmış ve sıcaklık ölçümüne devam edilmiştir. Sıcaklıkları 375°C'a düştüğünde kovana yerleştirilerek sıcaklık 360°C'a düşünceye kadar geçen zaman saptanmıştır. Bu süre 25 saniye olup ekstrüzyon deneyleri sırasında takozlar kovana yerleştirildikten 25 saniye sonra basılmış ve böylece ekstrüzyon başlama sıcaklığının bütün deneylerde sabit olması sağlanmıştır.

Homojenleştirme sıcaklığının ekstrüzyon yapılabilirliğe etkisini incelemek amacıyla, en düşük sıcaklıkta 6 saat süreyle homojenleştirilen ve 7 °C/dak hızla soğutulan bir kütük için ekstrüzyon deneyi gerçekleştirilmiştir.

3.2. Deney Sonuçları

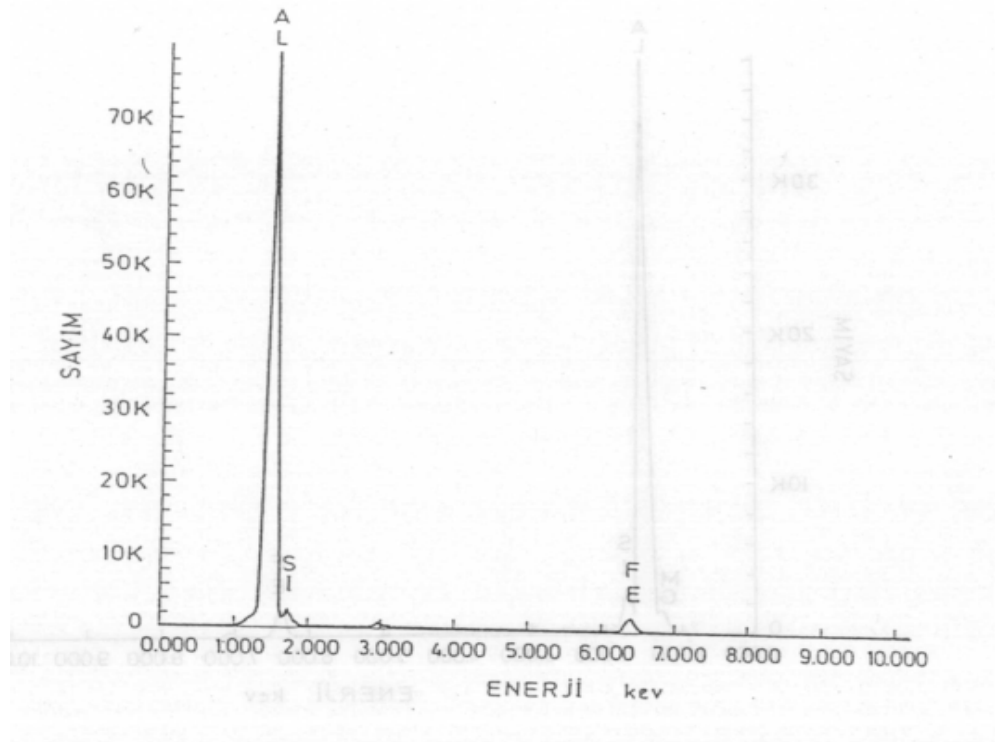
Bu bölümde AA 5083 kalite alüminyumun kontrollü olarak homojenleştirilmesi ile alaşımın mikro yapısında meydana gelen değişiklikler ve ekstrüzyon yapılabilirliğinin buna bağlı olarak değişimini belirlemek amacıyla yapılan mikro yapı karakterizasyon çalışması ile bir dizi ekstrüzyon deneylerinin sonuçları sunulmuştur.

3.2.1. Döküm Sonrası Yapı

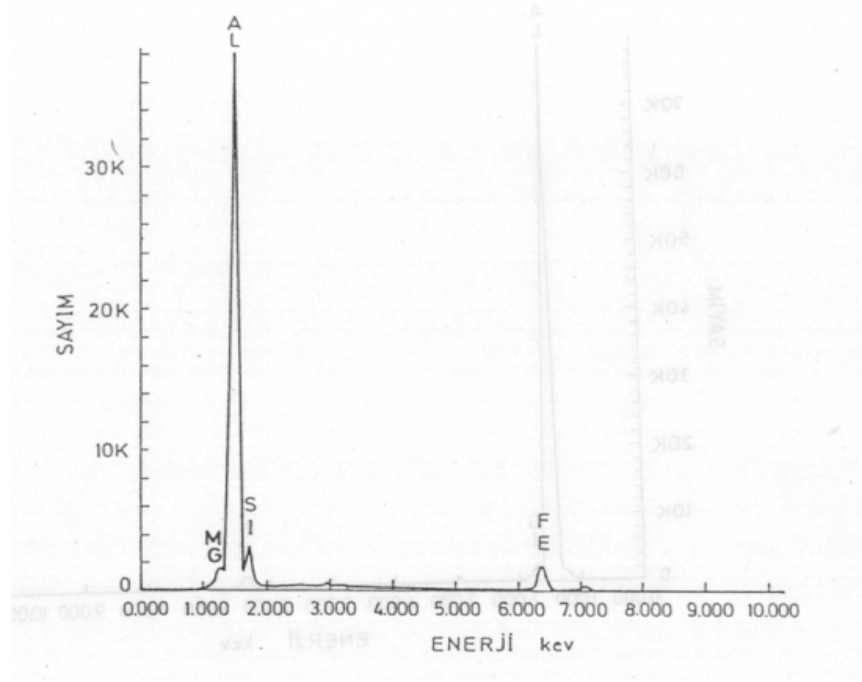
Homojenleştirme işlemleri sırasında oluşacak değişiklikler öncelikle döküm sonrasında yapı tarafından belirleneceğinden, ilk aşamada döküm sonrası yapının karakterizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla, döküm sonrası yapıdaki kütüklerin kenar ve ortalarından alınan örnekler SEM ve TEM'da incelenmiştir. SEM'da yapılan enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizi ile döküm sonrası yapıda kimyasal bileşim açısından farklı iki tür çökelti saptanmıştır. Bunlar Al, Fe, Si ve Al, Mg, Fe, Si içeren fazlar olup tane sınırları boyunca uzanan ince, uzun, sürekli çökelti halindedir. Ayrıca tane içlerinde bileşiminde sadece Al-Fe-Si bulunan çökelti vardır. Alaşımdaki magnezyum, alüminyum ve demir ile birlikte AlMgFeSi fazlarındaki yer almış, ayrıca Mg₂Si çökelti oluşturmamıştır. Şekil 3.1 ve 3.2'de AlFeSi ve AlMgFeSi fazlarından SEM EDX analiz spektrometresinde nokta analizi ile elde edilen

spektrumlara ait örnekler görülmektedir. Tane boyutlarının prob çapından küçük olması sebebiyle çökeltilerden alınan spektrumlardaki alüminyum miktarı çökeltilerde olduğundan fazla görülmektedir. Bu nedenle, çökeltilere ait spektrumlarda analiz yapılarak bileşimlerin belirlenmesi olanaklı değildir. Yine çökelti boyutlarının çok küçük olması elektron difraksiyonu yöntemiyle bu parçacıkların faz analizinin yapılmasına olanak vermemiştir. Kütüklerin dış yüzeylerinden alınan örneklerde yapılan SEM incelemelerinde, döküm kalıp ara yüzeyine yakın bölgelerde çökelti morfolojisinin değiştiği gözlenmiştir (Onurlu,S., 1993).

EDX analizleri ile de çökeltilerde AlFeSi fazların dışında AlFe fazlarının olup olmadığı araştırılmış, ancak, çökeltilerde her zaman demir ile silisyumun birlikte bulunduğu saptanmıştır. Bu da ekstrüzyon sırasında kalıpla birlikte kolayca sıyrılıp atılabilecek bir kalınlıktır. Bu nedenle bu bölgedeki morfoloji değişikliği ekstrüzyon parametrelerini dolayısıyla da ürün kalitesini etkilemeyecektir.



Şekil 3.2. Döküm yapıda bulunan AlFeSi içeren fazlara ait EDX spektrum örneği



Şekil 3.3. Döküm yapıda bulunan AlMgFeSi içeren fazlara ait EDX spektrum örneği

3.2.2. Katı Çözeltiye Alma

Homojenleştirme işleminde ilk aşama, alaşım içindeki çöktirlerin katı çözeltiye alınmasıdır. Bu işlemin hızlı yapılabilmesi için sıcaklığın yüksek tutulması gerekir. Öte yandan, ötektik bileşimdeki bölgelerin sıvı faza dönüşmesinin de kesinlikle önlenmesi gerektiğinden homojenleştirme sıcaklığına bir üst sınır getirilmektedir. Literatürde AA 5083 alaşımı için çok değişik homojenleştirme sıcaklıkları önerilmektedir. Homojenleştirme süresi ise parça boyutlarına göre değişecektir. Laboratuvar çapındaki deneylerde genellikle en yüksek homojenleştirme sıcaklığı 495°C, süresi ise 4-5 saatlik sürelerdir.

AA 5083'nin katı çözeltiye alınması işleminde uygun homojenleştirme sıcaklık ve süresinin saptanması amacıyla 490°C ile 530°C arasındaki 5°C aralıklı sekiz ayrı sıcaklık ve ½, 1, 2, 4 ve 6 saatlik beş ayrı sürede gerçekleştirilen deneylerden sonra bütün örneklerin mikro yapıları SEM ve TEM'de incelenmiştir. SEM EDX analizi ile yapılan incelemelerde döküm yapıdaki çöktirlerde görülen magnezyumun hızla çözündüğü, denenen en düşük sıcaklık olan 490'da en kısa süre olan ½ saatten sonra dahi çöktirlerdeki magnezyumun tamamıyla çözeltiye geçtiği saptanmıştır. AlFeSi

fazları morfolojisi de homojenleştirme sıcaklığı ve süresiyle değişmektedir. Süre ve sıcaklık arttıkça ince uzun fazlar parçalanmakta ve boy / en (aspect ratio) oranları azalmaktadır.

Homojenleştirme işlemi 500°C ve 5300°C’da gerçekleştirilen numunelerdeki AlFeSi çökeltilerin alandaki dağılım yüzdeleri görüntü analiz teknikleri ile ölçülmüşlerdir. Çökeltilerin sayımı ve değerlendirilmesi için PRC (Particule Recognition and Characterization) ve PRP (Particule Reanalysis Program) isimli iki ayrı program kullanılmıştır. PRC programı SEM’a bağlı TN-1310 sayısal tarama jeneratörüyle bağıntılı çalışan, Flekstran dilinde yazılmış bir programdır. Görüntüdeki çökeltilerin algılanması cihazdan alınan video sinyalinin belirlenen bir eşik aralığı ile karşılaştırılması ile sağlanmaktadır. Video sinyali belirlenen aralıkta kaldığında parçacık var olarak algılanmakta, merkezi bulunmakta ve bu merkez etrafında sekiz değişik çap boyunca ölçüm yapılmaktadır. Elde edilen bu veri ile ortalama çap, maksimum çap, minimum çap bulunmakta ve her parçacığın alanı ve çevresi hesaplanarak tüm değerler hafızaya kaydedilmektedir. Boyutlandırma işlemi tamamlandıktan sonra elektron demeti tekrar parçacık merkezine taşınarak analiz spektrumu toplanmakta ve analiz sonuçlarına göre değişik tiplerin sınıflandırılması yapılmaktadır. PRP ile de PRC ile oluşturulan verilerin yeniden değerlendirilmesi sağlanmakta ve dağılım histogramları oluşturulabilmektedir (Onurlu,S., 1993).

3.2.3. Homojenleştirme Sonrası Soğuma Hızının Seçimi

Uygun sıcaklık ve sürede homojenleştirme işlemi gerçekleştirilen kütüklerde ekstrüzyon için en uygun mikro yapının elde edilmesi için uygun bir soğutma hızı seçilmelidir. Ticari uygulamalara yakın olması nedeniyle seçilen 480°C’da 6 saat süre homojenleştirme işlemi yapılan kütüklere uygulanan değişik soğutma şekilleri ve bunlarda elde edilen soğutma hızları Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Soğutma ön deneylerinden sonra, soğutma örneklerinin sertlikleri alınmış ve elde edilen sonuçlara göre (Tablo 3.3) su püskürtme, durgun havada ve 220°C fırında olmak üzere 3 farklı soğutma ortamı seçilmiştir. S1, S2, S3 kodlarıyla tanımlanan kütüklerin soğutma hızları Tablo 3.4’te görülmektedir.

Tablo 3.2. Soğutma şekillerine göre saptanan soğutma hızları

Soğutma Şekli	Soğuma Hızı ($^{\circ}\text{C}/\text{dak}$)
Su püskürtme : 2 atü	450-780
Hava üfleme : 4 atü	33
Hava üfleme : 2 atü	27
Hava üfleme : 2 atü	24
Hava üfleme : 0.5 atü	15
Durgun havada	7
220 $^{\circ}\text{C}$ fırında	3

Tablo 3.3. Soğutma deneyleri sonrası saptanan sertlikler

Soğuma hızı ($^{\circ}\text{C}/\text{dak}$)	Sertlik (BSD)
430-760	53
5	48
2	45

Tablo 3.4. Ekstrüzyon deneyleri için seçilen soğutma hızları

Kütük Kodu	Soğuma hızı ($^{\circ}\text{C}/\text{dak}$)
S1	450-780
S2	6
S3	3

Üç ayrı hızda soğutulan numuneler SEM’da incelenmişlerdir. SEM incelemesi ve EDX nokta analizi ile numunelerde tane sınırlarında AlFeSi çökeltileri olduğu saptanmış, tane içlerinde oluşması beklenen Mg_2Si^* çökeltiler SEM’da gözlenmiştir. Aynı örneklerden bu kez TEM numuneleri hazırlanmıştır. S1 kodlu su püskürtmeyle hızlı soğutulan örnekte tane içlerinde çökelti bulunmamaktadır. Fotoğraflardan da anlaşılacağı gibi bu soğutma hızlarında tane içlerinde çökeltiler ortaya çıkmıştır. Düşük büyütmelerde yönlenmiş izlenimi veren çökeltiler yüksek büyütmelerde incelendiğinde kurdelemsi bir görünümündedirler. Bu çökeltilerin tanımlanabilmesi için yapılan TEM seçilmiş alan difraksiyon çalışmasında ikinci bir faza ait olduğu belirlenen kırınımalar alınamamıştır. Yine bu örneklerde mikrodifraksiyon çalışması yapılmış ancak bu çalışmada da çökeltilerden difraksiyon alınamamıştır (Onurlu,S., 1993).

3.2.4. X-Işını Difraksiyon Analizleri

Literatürde alüminyum alaşımlarının ekstrüzyon yapılabilirliğini ve ürünlerin yüzey kalitelerini olumsuz yönde etkilediği belirtilen AlFeSi fazlarının kullanılan alaşımdaki bileşimlerini ve bu fazların ısı işlem koşullarına bağlı olarak değişimini belirleyebilmek amacıyla, selektif çözündürme işlemi ile elde edilen çökeltilerde X-ışını analizleri yapılmıştır. Bu analizlere ait difraksiyon grafiklerinde yapılan incelemede elde edilen piklerin Al, β -AlFeSi ve α -AlFeSi fazlarına ait düzlemlerin pikleri olduğu belirlenmiştir. Ancak piklerde çakışma söz konusu olduğundan fazların tanımlanabilmesine yardımcı olması için çökeltilerin kimyasal analizlerinin SEM EDX cihazı ile yarı kantitatif olarak yapılmasına karar verilmiştir. EDX spektrometresi ile Na ve atom ağırlığı daha yüksek olan elementler saptanabildiğinden, numuneler karbon taşıyıcıların üzerine alınmıştır. Elde edilen çökeltilerin tümünden hazırlanan numunelerin yarı kantitatif analizleri yapılmıştır.

Yarı kantitatif analizler SEM’a bağlı Tracor Northern TN-2000 analiz sistemine ait standartsız yarı kantitatif analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu programda EDX analiz spektrumlarındaki piklerin altında kalan alanların birbirine oranlanması yoluyla, analizi yapılan malzemedeki elementlerin ağırlıkça yüzdeleri belirlenmektedir.

Döküm yapıdaki analize ait spektrum Şekil 3.3’de görülmektedir. Bu analize göre Fe/Si oranı 2.5’e eşittir. Sıcaklık ve süre arttıkça Fe/Si oranının arttığı yine bu

analizlerle belirlenmiştir. Örneğin 470°C’da ½ saat homojenleştirme sonunda bu oran 5.43 iken 490°C’da 6 saat homojenleştirilen numunedeki Fe/Si oranı 8.74’e ulaşmaktadır. B-AlFeSi’deki Fe/Si oranı 2.058 iken bu oran α -AlFeSi’de 3.73’dir.

3.2.5. Elektron Difraksiyon Analizleri

X-ışını analizlerinde piklerde görülen çakışma nedeniyle çökelti fazlarının incelenmesi için elektron difraksiyon analizi yapılması da gerekli görülmüştür. Bu amaçla, her bir ısıtma işlem koşulu için selektif çözündürmede elde edilen ve taşıyıcı karbon film kaplı bakır gridler üzerine alınan çökelti parçacıklarında elektron difraksiyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda döküm sonrası yapıda β -AlFeSi tespit edilmiştir, α -AlFeSi ve AlMgSiFe fazına rastlanmamıştır. X-ışını analizlerine göre her iki fazın da tespit edildiği ısıtma işlem koşullarında hazırlanan numunelerde elektron difraksiyonu ile de aynı durum doğrulanmıştır. X-ışını difraksiyon analiz sonuçlarına göre $\beta \rightarrow \alpha$ dönüşümünün tamamlandığı şartlarda ısıtma işlemi yapılan numunelere ait çökelti parçacıklarında elektron difraksiyonu çalışması, çökelti parçacıklarının α -AlFeSi’den ibaret olduğunu göstermiştir (Onurlu, S., 1993).

3.2.6. Ekstrüzyon Deneyleri

Homojenleştirme ve soğutma hızının ekstrüzyon yapılabilirliğe etkisinin belirlenebilmesi için ticari uygulamalara yakın olması nedeniyle 495°C’da 5 saat süreyle homojenleştirilen numuneler daha önce belirlenen hızlarda soğutularak ekstrüzyon deneyleri yapılmıştır. X-ışını difraksiyon analizleri sonuçlarına göre de bu süre ve sıcaklıkta AlFeSi çökeltilerinin tamamının α fazına dönüştüğü belirlenmiş olduğundan seçilen sıcaklık ve süre homojenleştirme sırasında elde edilmesi istenilen yapıya uygundur. Ekstrüzyon deneylerinin sonuçları ekstrüzyon oranı $R=30$ ve üç ayrı soğutma için Tablo 3.5’de $R=60$ ve iki yarı soğutma hızı için Tablo 3.6’da görülmektedir. Homojenleştirme sıcaklığının ekstrüzyon yapılabilirlik üzerindeki etkisini görmek amacıyla yapılan ve 465°C’da 6 saat süreyle homojenleştirildikten sonra 7°C/dak hızla soğutulan kütükle $R=60$ ekstrüzyon oranı ve diğer ekstrüzyon

deneylerinde kullanılan hızlarda gerçekleştirilen deney sonuçları ise Tablo 3.7'dedir (Onurlu,S., 1993).

Tablo 3.5. R=30 oranında üç ayrı soğutma ve üç ayrı hız kullanılarak yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları

Soğuma hızı($^{\circ}\text{C}/\text{dak}$)	Takoz no	Ekstrüzyon hızı(mm/sn)	Ekstrüzyon yükü (Ton)
430-760	1	6.3	298
450-780	2	10.95	308
450-780	3	15.80	314
5	1	6.30	291
5	2	10.80	296
5	3	15.75	311
2	1	6.30	287
2	2	10.95	299
2	3	15.80	309

Tablo 3.6. R=60 oranında iki ayrı soğutma ve üç ayrı hız kullanılarak yapılan ekstrüzyon deneylerinin sonuçları

Soğuma hızı ($^{\circ}\text{C}/\text{dak}$)	Takozno	Ekstrüzyon hızı(mm/sn)	Ekstrüzyon yükü(Ton)
5	1	6.35	392
5	2	10.95	402
5	3	15.85	413
2	1	6.35	376
2	2	10.95	397
2	3	15.75	410

Tablo 3.7. 470 °C’da 6 saat süreyle homojenleştirilen ve 7 °C/dak hızla soğutularak R=60 ekstrüzyon oranında basılan takozlarda elde edilen sonuçlar

Takoz no	Basma hızı(mm/sn)	Ekstrüzyon yükü (Ton)
1	6.35	376
2	10.95	393
3	15.75	411

BÖLÜM 4

TARTIŞMA

4.1. Döküm Sonrası Yapıdaki Çökeltilerin Isıl İşlemle Değişimi

Döküm sonrası yapının taramalı elektron mikroskop ile yapılan incelemesinde tane sınırları boyunca uzanan boy/en oranı yüksek ince uzun çökeltiler ve tane içlerinde ise boy/en oranı düşük küresel şekilli çökelti taneleri bulunduğu saptanmıştır. Döküm sonrası yapıda tane içlerinde bulunan çökeltilerin miktarı tane sınırlarında bulunan çökeltilere göre çok daha azdır. Yapıda çökeltme, tercihi olarak, tane sınırları boyunca uzanan ve ekstrüzyon parametreleri üzerinde olumsuz etkileri bilinmekte olan ince, uzun ve sürekli fazlar halinde yer almaktadır. Mikroyapının SEM’da incelenmesi sırasında yapılan çok sayıda katitatif EDX analizleri ile çökeltilerin genelde Al-Fe-Si içeren fazlar olduğu, bunun yanında, sayıca az olmakla birlikte, Al-Mg-Fe-Si içeren fazlar da bulunduğu belirlenmiştir. Yapıda bulunan çökeltilerin faz tanımlanması için, SEM’da yapılan EDX analizlerinin kullanılması uygun değildir. Çünkü çökeltilerin analizi sırasında küçültülerek çökelti tanesi üzerinde sabitleştirilen probun çapı çökelti tanelerinin küçük boyutundan yani eninden daha büyüktür ve yapılan analiz spektrumuna her zaman anayapı da katkıda bulunmaktadır (Onurlu,S., 1993).

SEM incelemelerinde (Şekil-4.1, Şekil-4.2, Şekil-4.3.) karşılaşılan bu durumdan ötürü, çökeltilerin dağılım ile kantitatif bir yaklaşımda bulunulmamış, gözlemlerle yetinilmiştir. Malzemenin anayapısında yine EDX ile yapılan katitatif analiz ise anayapının alüminyumdan ibaret olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre, malzemede bulunan Fe ve Si katılaşma sırasında Al ile birleşerek Al-Fe-Si içeren fazları oluşturmuş, malzeme bileşiminde bulunan az miktarda Mg ise yine Al, Fe ve Si ile birleşerek Al-Mg-Fe-Si dördü fazının içinde yer almıştır. Al ve Fe’in birleşmesi ile oluşan ve seyreltik alüminyum alaşımlarında bulunduğu bildirilen Al-Fe ikili fazlarına ise rastlanmamıştır. Döküm sonrası katılaşma sırasında gelişen soğuma hızları da bu alaşımın mikroyapısında bulunabilecek ve ekstrüzyon yapılabirliği belirleyen bir diğer faz olan Mg_2Si çökeltilerinin oluşmasına elvermemiştir.

Çökelti fazlarının tespiti için SEM teknikleri yetersiz olduğundan X-difraksiyon yönteminin uygulanması gerekli görülmüştür. Döküm sonrası yapıdan hazırlanan ve matrisin selektif olarak çözündürülmesi ile elde edilen çökeltilerde yapılan X-ışını difraktometresi ile yapılan faz analizinde ise sadece monoklinik β -AlFeSi fazına ait pikler belirlenmiştir. Al-Mg-Fe-Si fazının X-ışını difraksiyonu ile saptanamamasının nedeni ise bu fazın mikroyapıda çok yoğun olarak bulunmaması ve selektif çözündürme ile elde edilebilen çökelti miktarının azlığıdır.

Selektif çözündürme sırasında çökeltilerin etkilenmediklerinden emin olmak amacıyla, işlemden sonra santrüfjütle çöktürme sırasında çözeltiden ayrılan süzüntüde, X-ışını spektrometresi ile Ti ve daha ağır elementlerin olası bir çözünme sonucunda çökeltilerin bileşiminde yer alan Fe'in çözeltiye geçip geçmediği araştırılmıştır. Yapılan çözümlemede Fe elementine ait herhangi bir pik elde edilmemiştir. Bu inceleme ve analizlere göre selektif çözündürme işleminde elektrolit olarak kullanılan hidroksikinolin, kloroform, benzoik asit, metanol çözeltisinin başarılı sonuç verdiği ve matris ile birlikte çözeltilerin de etkilenmesinin söz konusu olmadığı saptanmıştır. Ancak 6 saat çözündürme işleminden sonra 0.4 gram olarak ölçülen malzemedeki ağırlık kaybının gösterdiği gibi kullanılan elektrolit ile matrisin çözünmesi çok yavaş gerçekleşmektedir (Onurlu, S., 1993).

Mikroyapıda bulunabilecek çökeltilerin miktarı alaşımdaki elementlerin miktarına bağlıdır. Araştırmada kullanılan malzemenin analizi ve mikroyapı incelendiğinde mikroyapıda oluşabilecek çökeltilerin miktarının da az olacağı görülmektedir. Selektif çözündürme sonucunda malzemedeki ağırlık kaybına bakıldığında, çözündürme işlemi ile elde edilebilecek çökelti miktarının sınırlı olacağı açıkça bellidir. Elde edilen bu az miktardaki çözeltide daha fazla kayba neden olmamak için herhangi bir ağırlık ölçümü yapılmamıştır. Malzemedeki bulunan çökeltilerin genellikle Al-Fe-Si'li fazlar olduğu, Al-Mg-Fe-Si fazının ise çökeltilerde daha seyrek rastlanan faz olduğu göz önünde bulundurulduğunda, Al-Mg-Fe-Si dörtlü fazının X-ışını difraksiyon analizi ile saptanamayacağı görülmektedir.

ASTM Powder Diffraction File'a göre alaşımda bulunabilecek çökeltilerin X-ışını piklerinin bazılarının 2 θ değerleri birbirlerine çok yakındır. Çökeltilerin azlığı nedeniyle analiz öncesinde tane boyutunun homojenleştirilmesi amacıyla öğütme işlemi de yapılmamıştır.

Bu nedenle de ASTM Powder Diffraction File’da gösterilen düzlemlerin tümünden difraksiyon elde edilememektedir. Yapılan difraksiyon analizlerine örnek olarak, Ek A’da verilen spektrumlar döküm sonrası yapı ile 470°C ve 510°C’da öngörülen tüm zamanlarda gerçekleştirilen ısıtma işlem koşullarında oluşan çökeltileri karşılaştırılmalı olarak göstermektedir.

X-ışınının difraksiyon analizleri incelendiğinde en şiddetli piklerin hem α -AlFeSi hem de β -AlFeSi fazlarından başka alüminyuma ait piklere de uyduğu görülmüş ve X-ışını difraksiyon paternlerinin doğru değerlendirilebilmesi amacıyla kimyasal analiz yapılması gerekli bulunmuştur. Elde edilen çökeltilerin miktarı sınırlı olduğundan, kimyasal analizlerin yine SEM’a bağlı EDX sistemi ile yapılması yoluna gidilmiştir. Analizde elde edilen Al miktarları ve Fe/Si oranları ve incelendiğinde Fe/Si oranının ısıtma işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça azaldığı, Al miktarının da her iki Al-Fe-Si fazında olduğundan fazla olduğu görülmüştür. EDX sisteminde prob çapı küçültülerek yapılan noktasal analizlerde sadece alüminyum içeren parçacıklara da rastlanmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak selektif çözündürme sırasında alüminyum matristen ayrılan bazı parçacıkların da çözelti içinde kaldığına karar verilmiştir. Matristen ayrılan parçacıkların miktarı da belirlenemeyeceğinden, yapılan yarı kantitatif analizler de fazların bileşimi hakkında doğru sonuç vermeyecektir. Bunun dışında, kullanılan yarı kantitatif analiz programı, elde edilen piklerin birbirleriyle karşılaştırılması esasına dayanan bir program olduğu için Fe/Si oranı da tam kantitatif bir homojenleştirme sıcaklık ve süresi arttıkça Fe/Si oranının artma eğilimi gösterdiği değerlendirmesi doğru bir değerlendirme olacaktır.

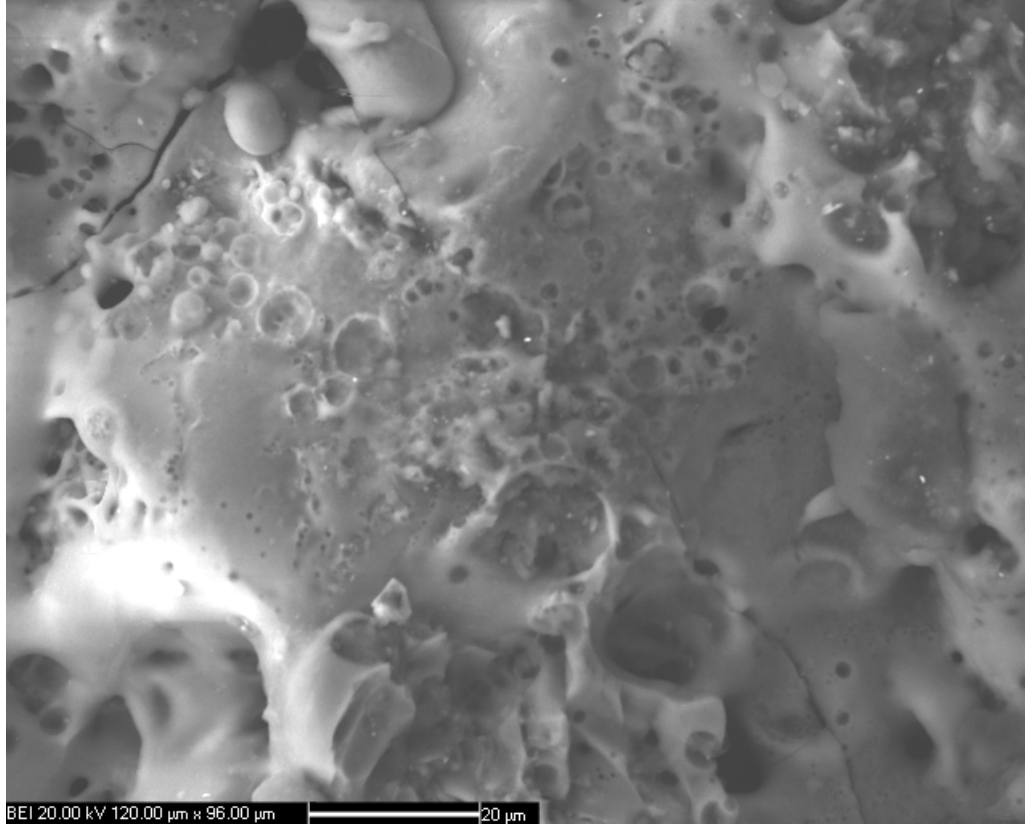
X-ışını difraksiyon analizlerinin sonuçlarının doğruluğunun desteklenmesi amacıyla yukarıda anlatılan EDX analizlerinin dışında elektron difraksiyon çalışması da yapılması gerekli bulunmuştur. Elektron difraksiyon çalışmasının sonuçlarına göre de döküm sonrası yapıdaki Al-Fe-Si çökeltileri β -AlFeSi olup, ısıtma işlemle α -AlFeSi’a dönüşmektedirler. Kimyasal analiz sonuçlarına göre çökeltilerde Al, Fe, Si’un dışında Mn de bulunmaktadır. AA 5083 alaşımlarında bulunan Mn’in β -AlFeSi’un α -AlFeSi’a dönüşümünü hızlandırdığı ve bu alaşımda bulunabilecek miktarların da tokluğa olumsuz etkisi olmaksızın dönüşümünü hızlandırdığı için yararlı olduğu gösterilmiştir. α -AlFeSi fazının α -AlMnSi fazının izomorfı olduğu ve Mn atomları ile Fe atomlarının yer değiştirmesinin çok geniş bir ağırlık yüzdesinde olabileceği bilinmektedir.

Ancak, konu ile ilgili literatürlerde β -AlFeSi fazında Mn elementinin de yer alıp almadığı ya da kristal yapılarıdaki benzerliğe dair bir veriye rastlanmamıştır. Al-Fe-Si fazlarından sadece β -AlFeSi fazının bulunduğu döküm sonrası yapıdan elde edilen çökeltilerde SEM EDX sistemi ile yapılan noktasal analizler de çökeltilerde Mn'in var olduğunu göstermiştir. Elektron difraksiyon ve X-ışını difraksiyon çalışmaları da bu yapıdaki çökelti fazının β -AlFeSi fazı olduğunu doğrulamaktadır. Bu durumda, alaşımdaki Mn'in β -AlFeSi fazı içinde yer aldığı kanısına varılmıştır.

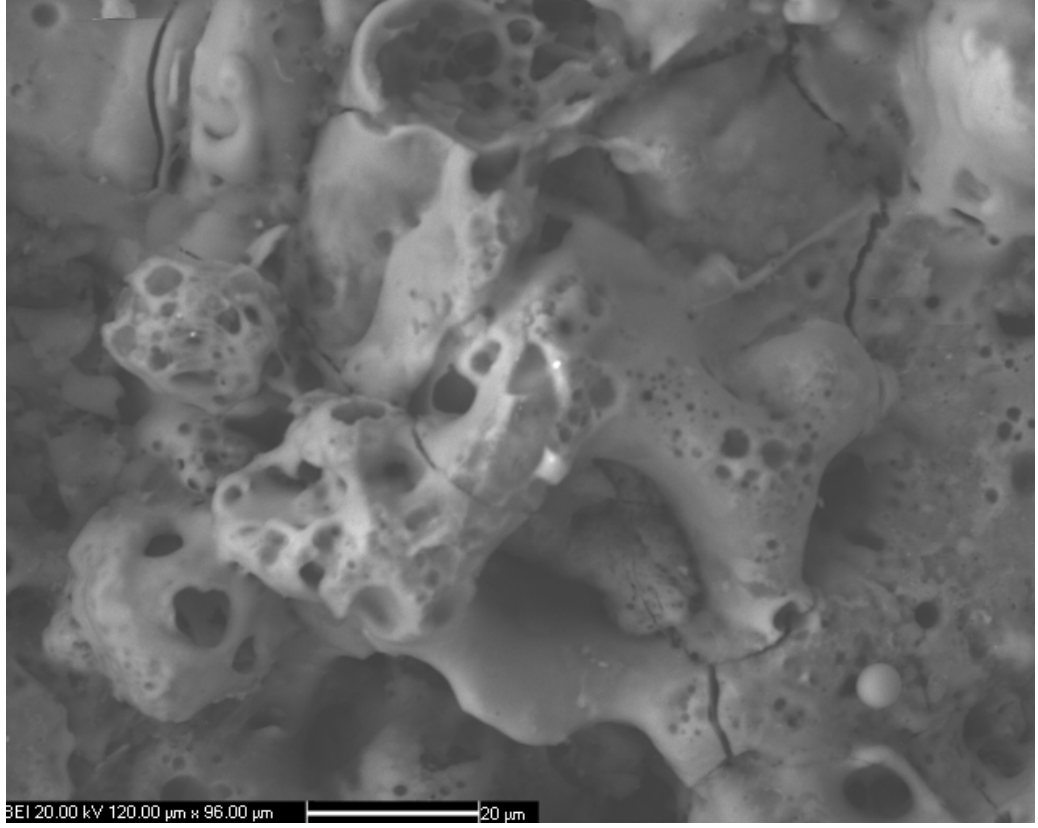
Bilindiği gibi, ısıtma işlemi sırasında çökeltilerdeki faz dönüşümü ile birlikte çökeltiler parçalanmakta ve küreselleşmektedirler. Buna bağlı olarak da alanları azalmaktadır. Bu çalışma sırasında SEM'a bağlı görüntü analiz sistemi yardımıyla gerçekleştirilen parçacıkların alandaki dağılımı ve buna bağlı olarak faz analizleri değerlendirilerek, β -AlFeSi'dan α -AlFeSi'ye dönüşümün tamamlandığı kritik bir değer tespit edilmesi amaçlanmıştır. Böylece, ekstrüzyon için uygun mikroyapının oluşup oluşmadığına faz analizi yapılmaksızın karar verilmesi sağlanabilecektir. Ancak, yapılan X-ışını analizleri faz dönüşümünün yüzde olarak tespit edilmesine olanak vermediğinden, kritik bir yüzdeye karşılık gelen bir kritik dağılım saptanmamış, sadece ısıtma işlem sıcaklığına ısıtma sırasında boyut değişiminin çok önemli bir oranda olduğu bulunmuştur. 505°C 'a ani olarak ısıtılan numune ile endüstriyel uygulamalarda olduğu gibi 505°C 'a 6 saatte lineer hızla ısıtılan numunenin çökeltilerinin alandaki dağılımı karşılaştırıldığında, ikisi arasındaki fark 510°C 'a 6 saatte lineer hızla ısıtılan numuneye göre çok daha büyüktür. Bu sonuçlardan da anlaşıldığı gibi boyuttaki değişimin önemli miktarı malzemenin homojenleştirme sıcaklığına ısıtılması sırasında olmakta ve bu esnada dönüşüm henüz sürmektedir.

SEM'la yapılan incelemelere göre döküm kalıp arayüzeyinde çökelti morfolojisi değişmektedir. İnceleme sonucunda morfolojinin değişik olduğu bölgenin kalınlığının en geniş olduğu yerde $85\mu\text{m}$ 'yi geçmediği anlaşılmıştır. Bu kalınlık ekstrüzyon süreci sırasında sıyrılarak atılacak olan bölge içinde yer alacağından ekstrüzyon parametreleri üzerinde herhangi bir etkisi olmayacaktır ve üçüncü bölümde de belirtildiği gibi bölgenin özellikleri üzerinde durulmamıştır. Döküm kalıp arayüzeyinde yer alan bu bölge dışında tüm kütüğün mikroyapı özellikleri aynıdır ve çökeltiler tane sınırları boyunca uzanan ince uzun fazlar halindedir.

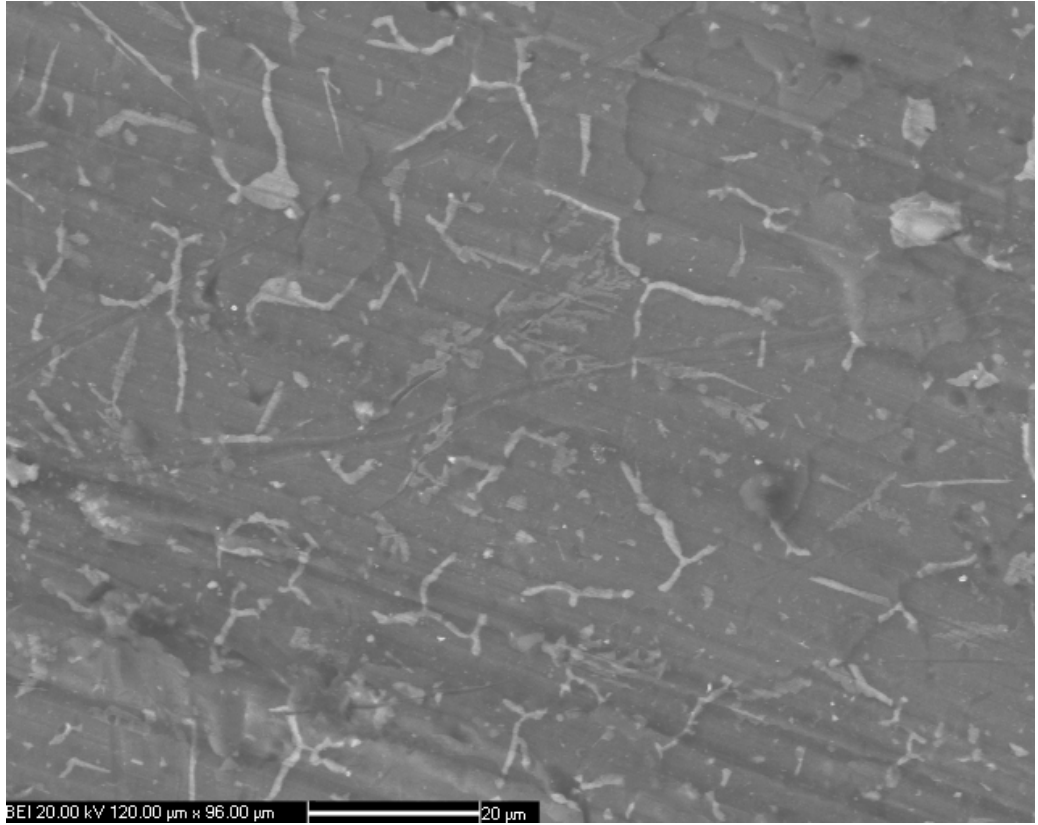
Isıl işlemin döküm sonrası yapıya etkisini araştırmak amacıyla, ısıtıl işlem uygulanmış numunelerde SEM ve TEM ile mikroyapı incelemeleri ve X-ışını difraksiyon analizleri yapılmıştır. Bu numunelerde yapılan SEM EDX analizlerinde Mg içeren çökelti fazlarına rastlanmamıştır. Buradan da Mg'un seçilen ısıtıl işlem koşullarında uygulanan en kısa süre ve en düşük sıcaklıkta bile katı çözeltiye geçtiği sonucuna varılmıştır. Ancak, Mg ve Si'un birleşerek Mg_2Si çökeltilerini oluşturabilmesi için Al-Fe-Si çözeltilerinde bulunan Si'un bir kısmının da katı çözelti içinde çözünmesi gerekmektedir. Katı çözeltiye geçen Si miktarı ise alaşımdaki Mg stokiometrik olarak birleşmeye yetecek miktarda olmalıdır. Aynı zamanda ekstrüzyon üzerindeki hatların nedeni olabilecek β -AlFeSi fazının da uygulanacak ısıtıl işlemle ekstrüzyon sürecinde tercih edilen α -AlFeSi fazına dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüşümün kısa sürede tamamlanması için yüksek homojenleştirme sıcaklıkları kullanılmalıdır(Onurlu,S., 1993).



Şekil 4.1. AA 5083 SEM görüntüsü, çökeltiler, Mg, Si



Şekil 4.2. AA 5083 SEM görüntüsü, çökeltiler, α -AlFeSi fazı



Şekil 4.3. AA 5083 SEM görüntüsü

BÖLÜM 5

SONUÇ

1. Piyasadan satın alınan ve sürekli dökümle üretilen ve AA 5083 standartlarına uygun olduğu bildirilen alüminyum alaşımının döküm sonrası yapısında bulunan β -AlFeSi fazının tamamının ekstrüzyon için tercih edilen α -AlFeSi fazına dönüştürülmesi mümkündür. Bu dönüşüm, uygulanan deney koşullarında 490°C 'da 5 saat tamamlanırken, 490°C 'da 2 saatte, 510°C ise $\frac{1}{2}$ saatte tamamlanmaktadır. Ancak, 590°C 'dan düşük sıcaklıklarda uygulanan en uzun süre olan 10 saat sonunda bile dönüşüm tamamlanamamıştır.

2. Isıl işlem sırasında AlFeSi fazındaki boyut değişiminin en önemli kısmı ekstrüzyonda kullanılacak kütüğün homojenleştirme sıcaklığına ısıtılması sırasında gerçekleşmektedir. Bu nedenle boyut değişimiyle faz dönüşümü arasında bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır.

3. Çalışmada kullanılan alüminyum alaşımının ekstrüzyon yapılabilişliğini ve sertleştirilebilirliğini belirleyen faz olan Mg_2 'nin oluşması için malzemenin döküm sonrası yapısında bulunan dörtlü Al-Mg-Fe fazında bulunan ve kısa sürede katı çözeltiliye geçebilen Mg yanında, Si de katı çözeltide olmalıdır. Bu nedenle uygulanan ısıtıl işlem sürecinde Mg'un tamamıyla birleşmeye yetecek kadar Si'un da katı çözeltiliye geçmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, 490°C ve üzerindeki sıcaklıklarda uzun süreli ısıtıl işlem sadece β -AlFeSi'un α -AlFeSi'a dönüşmesi için değil Si'un katı çözeltiliye geçmesi için gereklidir.

4. Katı çözeltideki Mg ve Si'un birleşerek Mg_2Si çözeltilerini oluşturması, ani soğutulan numuneye yaşlandırma işlemi uygulanarak gerçekleştirebileceği gibi aynı kontrollü soğutma ile de istenilen mikroyapının oluşması sağlanabilir. Böylece daha ekonomik bir üretim gerçekleştirilebilir (Onurlu,S., 1993).

5. Isıl işlemle uygun mikroyapının elde edildiği kütüklerin ekstrüzyonu düşük yüklerle gerçekleştirilirken, maksimum ürün dayanımına da ulaşılması sağlanacaktır.

6. Deneyler sırasında uygulanan soğutma hızları için soğuma hızı azaldıkça ekstrüzyon için daha uygun bir mikroyapı elde edildiği sonucuna varılmıştır. Ancak, soğuma hızının çok azalması durumunda Mg_2Si çökeltileri irileşerek ekstrüzyon ürününde hatalara neden olacaktır. Bu nedenle, pratikte, bu çalışmada uygulanan en yavaş soğuma hızı olan $3^{\circ}C/dak$ 'nın çok altına inilmemesi gerekmektedir.

7. AA 5083 ve bu alaşıma uygun alaşımlarda bulunan ve $\beta-AlFeSi$ fazının dönüşümü üzerinde olumlu etkisi bilinen Mn'in bu fazın içinde yer aldığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Rogers,R.W.;;Anderson,W.A. "Effect of Plastic Anisotropy of Draiving Characterictics of Aluminum Alloy Sheet Drawing", Sheet Metal Forming, **1985**, s.185-198

T.S.E., TS 140 EN ISO 6508-1, Metalik Malzemeler-Rockwell Sertlik Deneyi Bölüm:1, Deney Metodu (A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T Skalaları) Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, **2000**

Petch, N.J., Iron Stell Inst., **1953**, 174, 25

Weissavach,W., Çev. Anık,S., Anık,E.S., Vural,M., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Birsen Yayınevi, İstanbul, **1996**, 5. Baskı, s.190-203

Alniak,M.O., "Malzemelerin Plastik ve Süperplastik Davranışlarında Bünye Denklemleri, Toz [Metalürjisi Süper Alaşımı P/M Rene 95'in Sabit Dövme Sıcaklığındaki Deformasyonu ile Mikroyapısal Değişikliklerin Modellenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1990**

Horita,Z., Fujinami,T., Nemoto,M., Langton,T.G., Improvement of mechanical properties for Al alloys using equal-channel angular pressing, Journal of Materials Processing Tecnology, **2001**, 117, s.288-292

Onurlu,S., "Homojenizasyonun AA 6063 Alüminyum Alaşımının İçyapısı ve Özelliklerine Etkisi" Doktora Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **1993**

Anver,S.H., "Introduction to Physical Metallurgy", Second Edition, Mc Graw-Hill Book Company. Özgün Publishing Inc.,Ankara, **1984**

Bedir,F., "Alüminyum Alaşımlarının Plastik Deformasyonunun Modellenmesi". Doktora Tezi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, **1998**

Vinogradov,A., Nagasai,S., Patlan,V., Kitagawa,K., Kawazoe, M., Fatigue property of 5056 Al-Mg allow produced by equal-channel angular pressing, Nanostructure Materials, **1999**, Vol. 11, No. 7, s.925-934

Keskin, 1., "Malzeme El Kitabı", Dem-Ay Pazarlama Koli. Şti., İstanbul

Popov,N.N., "Resistance of 1201 Alüminium Alloy to Plastik Deformation at Various Strain Rates". Metal Science and Heat Treatment, **1990**,v 31, n 7-8, pp 627-632

Deliküçük,Y., "Al-Mn İşlem Alaşımlarında Tav Parametrelerinin bilirlğe Etkileri. "Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi FBE. Konya **1989**, s.86

Bargel,H.J., Schule,G., Çev.: Güleç,Ş., Aran,A., Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü., Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, **1995**, 2. Cilt, 2. Baskı, s.147-153

Şimşek,A.T., "Al-Mn Alüminyum Alaşımlarında İngot Homojenizasyonunun İşlenebilirlik ve Şekillendirilebilirliğe Etkileri", II.Alüminyum Sanayi Kongresi Bildiri Kitabı, **1984**, s.335-349

Aran,A., Tayfur,A., "Pi 70/30 Pirinç Malzemede Biçimlendirmesinin Eğrilerinin Mekanik Özellikler Yardımıyla Teorik Olarak Saptanması ve Tane Büyüklüğünün Etkisi, Tübitak-MAG 8Metalurji Sempozyumu, Ankara, **1984**

Yeşilotah,N., "AA 3003 Alüminyum Alaşımlarında Tav Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkileri",Yüksek Lisans Tezi. S.Demirel Üniversitesi FBE, Isparta, **2001**, s.139

ÖZGEÇMİŞ

CEM MISIRLI, 1979 yılında Edirne’de doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Edirne’de tamamladıktan sonra 2003 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2008 yılı şubat ayında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2005 yılı aralık ayından itibaren çok uluslu bir satış-pazarlama şirketinde bölge sorumlusu olarak çalışmaktadır. Cem MISIRLI bekar olup İngilizce bilmektedir.