

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİREKT EKSTRÜZYON METODUYLA ÜRETİLMİŞ EN AW-ALSİMG  
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KİMYASAL KOMPOZİSYONUN ÜRÜN  
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Timuçin SEBİBOĞA**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ**

**Eylül 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİREKT EKSTRÜZYON METODUYLA ÜRETİLMİŞ EN AW-ALSİMİG  
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KİMYASAL KOMPOZİSYONUN ÜRÜN  
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

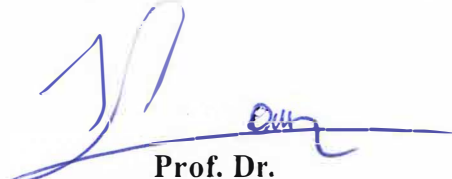
Timuçin SEBİBOĞA

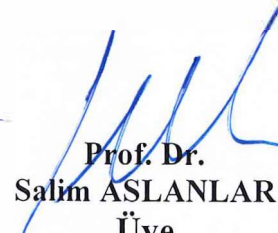
Enstitü Anabilim Dalı

METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 26.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Ahmet ÖZEL  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Süleyman Can KURNAZ  
Üye

  
Prof. Dr.  
Salim ASLANLAR  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Timuçin SEBİBOĞA

26.09.2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezin oluşmasında bilgi, destek ve tecrübelerini esirgemeyen Asaş Alüminyum Araştırma ve Geliştirme Bölümüne, tüm deneyimlerini paylaşan, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen sayın Sadık Mutlu Ayan'a ve karakterizasyon aşamasında Asaş Alüminyum bünyesindeki laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan ve numune hazırlama safhasında büyük yardımları bulunan Hüsni Öztürk'e, gösterdikleri yakınlıktan dolayı ve tüm diğer Asaş çalışanlarına da ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında ve tüm hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen çok sevdiğim aileme ve eşim Özgem'e çok teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	x
SUMMARY .....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri ve Uygulama Alanları.....	2
2.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	3
2.2.1. Alüminyum işlem alaşımları .....	4
2.2.2. Alüminyum döküm alaşımları.....	4
2.3. Al-Mg-Si Alaşımları.....	5
2.3.1. Alüminyum-Magnezyum-Silisyum alaşımlarının dökümü.....	6
2.3.1.1. Direk soğutmalı döküm .....	6
2.3.1.2. Homojenizasyon işlemi .....	9
2.3.2. Çökelme sertleşmesi.....	10
2.4. Alüminyum Alaşımlarında Yeniden Kristalleşme .....	13
2.5. Alaşım Elementlerinin Etkisi .....	15
2.5.1. Bakırın etkisi .....	15
2.5.2. Silisyumun etkisi .....	15

2.5.3. Magnezyum etkisi .....	16
2.5.4. Manganezin etkisi .....	16
2.5.5. Kromun etkisi .....	16
2.5.6. Çinkonun etkisi .....	16
2.5.7. Titanyumun etkisi .....	17
2.5.8. Demirin etkisi .....	17
2.6. Ekstrüzyon Yöntemleri .....	17
2.6.1. Ekstrüzyon yöntemlerine giriş .....	17
2.6.2. Direkt ekstrüzyon yöntemi .....	18
2.6.3. İndirekt ekstrüzyon yöntemi .....	20

### BÖLÜM 3.

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONU .....	22
3.1. Giriş .....	22
3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği .	22
3.3. Alüminyum Alaşımlarından Profillerin Ekstrüzyonu .....	25
3.4. Alüminyum Alaşımlarından İçi Boş Profillerin Ekstrüzyonu .....	27
3.5. Ekstrüzyon Presi ve Takımları .....	27
3.5.1. Kalıp .....	31
3.5.2. Kalıp şekilleri .....	31
3.5.3. Dolu profiller için ekstrüzyon kalıpları .....	32
3.5.4. İçi boşluklu profiller için ekstrüzyon kalıpları .....	32
3.6. Sürekli Ekstrüzyon .....	34
3.7. Gerdirme ve Kesme İşlemi .....	35
3.8. Alüminyum Profillerin Isıl İşlemi .....	35

### BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	36
4.1. Profil ve Malzeme Seçimi .....	36
4.2. Ekstrüzyon Değişkenleri .....	37
4.3. Profilin Ekstrüzyon Yöntemi İle Üretimi .....	40
4.4. Metalografik Çalışmalar .....	44

4.4.1. Makro yapı .....	44
4.4.2. Mikro yapı .....	44
4.5. Mekanik Deneyle .....	49
4.5.1. Çekme deneyi .....	49
4.5.2. Sertlik testi .....	50
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	51
5.1. Makro ve Mikroyapı İncelemeleri .....	51
5.1.1. Makroyapı incelemeleri .....	51
5.1.2. Mikroyapı incelemeleri .....	53
5.2. Çekme Deneyi Sonuçları .....	57
5.3. Sertlik Deneyi Sonuçları .....	62
BÖLÜM 6.	
DEĞERLENDİRME VE GENEL SONUÇLAR .....	63
KAYNAKLAR .....	64
ÖZGEÇMİŞ .....	66

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

AlMgSi	: Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımı
HB	: Brinell sertliği
MPa	: Megapascal
Mm	: Milimetre



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. AA 6063 AlMgSi döküm kütüğünün karakteristik mikroyapısı (Uğurlu, 2009).....	6
Şekil 2.2. Direk soğutmalı dökümün sistematik şekli (Uğurlu, 2009).....	7
Şekil 2.3. Dönüşüm bölgesinin şematik gösterimi. a) Direk soğutmalı döküm kütüğündeki sıvı ve katı bölge, (1) .....	8
Şekil 2.4. a) Hot-top döküm tablası [22] b) Hot-top içeren direk soğutmalı dökümün sistematik şekli .....	9
Şekil 2.5. Çökelme sertleşmesi faz diyagramı (Ulucak, 2016) .....	10
Şekil 2.6. Al-Mg <sub>2</sub> Si faz diyagramı (Ulucak, 2016) .....	11
Şekil 2.7. Ekstrüzyon için 510°C sıcaklıkta 1 ve 4 dakika tutulan biyetlerde Mg <sub>2</sub> Si çözünmesi (Ulucak, 2016).....	11
Şekil 2.8. Ekstrüzyon sonrası soğutma hızının çökelen Mg <sub>2</sub> Si üzerine etkisi (Ulucak, 2016).....	12
Şekil 2.9. Sıcaklık ve sürenin akma dayanımına ve sertlik üzerine etkisi (Ulucak, 2016).....	12
Şekil 2.10. AA6005A alaşımından üretilmiş, makroyapı görüntüleri (zımba hızı (2mm / s ila 30mm / s) ve biyet sıcaklığının (350 ° C ila 540 ° C) .....	14
Şekil 2.11. Ekstrüzyon Prensibi (Saha, 2000).....	18
Şekil 2.12. Ekstrüzyon Proesi (Bayram, 2008) .....	18
Şekil 2.13. Direkt ekstrüzyonda içi dolu alüminyum profil üretimi (Bayram, 2008)	19
Şekil 2.14. Direkt ekstrüzyonda içi boş alüminyum profil üretimi (Bayram, 2008) .	19
Şekil 2.15. İndirekt ekstrüzyon yöntemi (Bayram, 2008).....	21
Şekil 2.16. Direkt ve indirekt ekstrüzyon proseslerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi (Bayram, 2008) .....	21
Şekil 3.1. Ekstrüzyon presi ve takımlar (Bingöl, 2006).....	28
Şekil 3.2. Temel bir ekstrüzyon presinin şematik diyagramda görünümü (Bingöl,	

2006).....	28
Şekil 3.3. İstampa ve alıcı; a)ıstampa, b)alıcı (Bingöl, 2006).....	30
Şekil 3.4. Düz ve odalı kalıp a)Düz kalıp ve takımları, b)Odalı (porthole) kalıp ve takımları (Bingöl, 2006) .....	30
Şekil 3.5. Çıkış tablası (Bingöl, 2006) .....	31
Şekil 3.6. Farklı açılı kalıplar için ölü metal bölgeleri: a) $\alpha > 90^\circ$ , b) $\alpha = 90^\circ$ , c) $\alpha < 90^\circ$ (Bingöl, 2006).....	32
Şekil 3.7. Dolu profiller için düz (katı) kalıp örnekleri (Bingöl, 2006).....	32
Şekil 3.8. İçi boş profiller için açık (içi boş) kalıp örnekleri .....	33
Şekil 3.9. Odalı (porthole) kalıp (Saha, 2000) .....	33
Şekil 3.10. Odalı kalıbın şematik görünümü.....	33
Şekil 3.11. Sürekli ekstrüzyonda kalıntısız çalışma yöntemi (Saha, 2000) .....	34
Şekil 3.12. Sürekli ekstrüzyonda kalıntılı çalışma yöntemi - biyetten biyete ekstrüzyon (Saha, 2000) .....	35
Şekil 4.1. Alüminyum profil kesiti.....	36
Şekil 4.2. Ekstrüzyon hızı için limit eğrileri (Sönmez, 1989).....	38
Şekil 4.3. Kalıp sıcaklığı görüntüsü .....	42
Şekil 4.4. Gaz fırını sıcaklık göstergesi .....	43
Şekil 4.5. Pres bilgi ekranı .....	43
Şekil 4.6. Numune Kesme Cihazı .....	45
Şekil 4.7. Zımparalama Cihazı.....	46
Şekil 4.8. Parlatma İşlemi .....	47
Şekil 4.9. Elektrolitik dağlama işlemi .....	48
Şekil 4.10. Optik Mikroskopta Numune İncelenmesi.....	48
Şekil 4.11. 5X Büyütme Kullanılarak Yapılan İnceleme.....	49
Şekil 4.12. Çekme Testi Numune Görüntüsü .....	49
Şekil 4.13. Zwick Roell Z250® Çekme Test Cihazı ve Çekme Testi Yapılmış Numuneler .....	50
Şekil 4.14. Sertlik Ölçüm Cihazı.....	50
Şekil 5.1. İki farklı sıcaklıkta normal alaşımlı makro yapı görüntüleri .....	52
Şekil 5.2. İki farklı sıcaklıkta yeni alaşımlı makro yapı görüntüleri.....	53
Şekil 5.3. Numune İnceleme Bölgesi.....	54

Şekil 5.4. İki farklı sıcaklıkta normal alaşımlı mikro yapı görüntüleri.....	54
Şekil 5.5. İki farklı sıcaklıkta yeni alaşımlı mikro yapı görüntüleri .....	56
Şekil 5.6. Panoramik Kesit Görüntüsü (Kenardan Kenara) .....	57
Şekil 5.7. Çekme Mukavemeti (MPa) Sonuçları .....	59
Şekil 5.8. Akma Mukavemeti (MPa) Sonuçları .....	60
Şekil 5.9. Yüzde Uzama A% Sonuçları .....	61
Şekil 5.10. Sertlik (HB) Sonuçları .....	62

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Alüminyumun farklı uygulama sektörlerindeki kullanımında önemli olan özellikleri (Altenpohl, 1982).....	3
Tablo 2.2. Alüminyum işlem alaşımlarının gösterimi (Turhan, 2002) .....	4
Tablo 2.3. Alüminyum döküm alaşımlarının gösterimi (Turhan, 2002).....	5
Tablo 3.1. Alüminyum ve alaşımlarının homojenleştirme sıcaklıkları ve ekstrüzyonu için belirli değerler .....	23
Tablo 3.2. Alüminyum ve alaşımlarının bağıl ekstrüzyon edilebilirlik değerleri ..	24
Tablo 4.1. Standart ve üretimi yapılan 6005A alaşım kompozisyonları.....	37
Tablo 4.2. EN AW-6005A [AlSiMg(A)] alaşımının mekanik özellikleri .....	37
Tablo 4.3. Üretim parametreleri.....	41
Tablo 5.1. Çekme, Akma, Uzama ve Sertlik Testleri Sonuçları .....	58

## ÖZET

Anahtar kelimeler: AA 6005A alaşımı, Ekstrüzyon hızı, mekanik özellikler, makro yapı

Alüminyum ve alaşımları dayanım yüksekliği, işlenebilme kolaylığı, yoğunluğunun düşük olması, elektrik iletkenliği ve ısı iletkenliğinin yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı endüstriyel ve günlük hayatımızda artan oranlarda kullanılmaktadır. Alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde Alüminyum-Magnezyum-Silisyum (Al-Mg-Si) alaşımları en çok kullanılan alaşımlardır. Isıl işlem uygulanabilir AA 6005A alaşımı, ekstrüzyon işleminde kullanılan hafif metal alaşımıdır. Alüminyum alaşımlarında, ekstrüzyon prosesi esnasında ve sonrasında uygulanan parametreler, ürün özelliklerini önemli ölçüde etki etmektedir (Saral, 2005)

Ekstrüzyon prosesinde mekanik ve fiziksel özelliklerini istediğimiz şekilde parça üretimi için ekstrüzyon parametrelerinin kontrol edilmesi ve doğru bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Ekstrüzyon prosesi birçok parametreden etkilenmektedir. Tüm parametrelerin kontrol edilmesi mümkün değildir. Ancak proses üzerinde en önemli parametreler bu çalışmada incelenmiştir. Bu parametreler; hız, sıcaklık ve biyet kompozisyonudur.

Bu çalışmada, standartta yer alan 6005A alaşımının kimyasal kompozisyonda Mn ve Cr alaşım elementleri modifiye edilerek, Üretimlerde farklı et kalınlığına sahip içi boşluklu alüminyum profil kullanılmıştır. Mn ve Cr elementlerinin oranları azaltılarak ekstrüzyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımı ile kademeli olarak sıcaklık ve hız artışları uygulanmıştır. Farklı sıcaklık, hız ve kompozisyonlardaki biyetler, aynı kalıp, soğutma oranı, germe oranı ve yaşlandırma koşullarında denemelere tabi tutulmuştur. Üretim sonrası belirlenen numunelere, çekme, akma, uzama, sertlik, mikro ve makro yapı testleri uygulanmıştır. Test sonuçları karşılaştırılarak hız değişiminin mekanik özellikler üzerine etkisi görülmüştür. Çalışma sonucunda, alaşım elementlerinin değişiminin ekstrüzyon hızına ve nihai ürüne etkisi incelenmiştir.

# **PRODUCED BY DIRECT EXTRUSION METHOD WITH ALUMINUM ALLOYS EN AW-ALSİMG CHEMICAL COMPOSTION PRODUCT CHARACTERISTIC EFFECTS OF INVESTIGATION**

## **SUMMARY**

Keywords: 6005 Al-alloy, extrusion speed, mechanical properties, macro structure

Due to its low density, high strength, easy machinability, high thermal and electrical conductivity, aluminum and its alloys are used in industrial area and increasingly in our daily life. Aluminum-Magnesium-Silicon (Al-Mg-Si) alloys are the most widely used alloys in the aluminum extrusion industry. Heat treatment is applicable AA 6005A alloy is a light metal alloy used in extrusion process. In aluminum alloys, the parameters applied during and after extrusion process significantly affect product properties (Saral, 2005).

In the extrusion process, the extrusion parameters for the production of parts as well as their mechanical and physical properties are required to be controlled and correctly applied. The extrusion process is affected by many parameters. It is not possible to check all parameters. However, the most important parameters on the process were investigated in this study. These parameters are; speed, temperature and billet composition.

In this study, after extrusion production, the effect on product properties was investigated by modifying Mn and Cr alloy elements (6005A-new) in the chemical composition of 6005A alloy in the standard. Hollow aluminum profile with different wall thickness is used in production. Extrusion experiments were carried out by reducing the ratios of Mn and Cr elements. Temperature and speed increments were applied gradually by experiment design. The different temperatures, speeds and compositions in the billets were subjected to at the same die, cooling rate, stretching ratio and aging conditions. After production samples were applied tensile, yield, elongation, hardness, micro and macro structure tests. By comparing test results, the effect of speed change on mechanical properties was observed. As a result of the study, the effect of the change of alloy elements on the extrusion rate and the final product was investigated.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Yüksek mukavemet, sıcaklık, korozyon ve aşınma direnci, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik ve kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı alüminyum malzemesi birçok uygulamada tercih edilmektedir. Her geçen gün artan teknolojik gelişmeler ile birlikte alüminyum kullanımını artmaktadır (ASM Metals Handbook, 1990; Akolkar ve ark., 2007).

Alüminyum ekstrüzyon yöntemleri mimari uygulamalarda, otomobil imalatlarında, küçük makine parçalarında, yapısal bileşenlerde ve havacılık sektöründe git gide artan bir talep görmektedir. Ayrıca bu sektörlerdeki rekabet de günümüzde oldukça yoğun bir hal almıştır. Ekstrüzyon uzun yıllardır üzerine yoğunlaşılana bir endüstridir. Hem akademik hem de endüstriyel topluluklar için alüminyum ekstrüzyon teknolojisi hakkındaki bilgi ve tecrübenin sürekli eğitimler vasıtasıyla taze tutularak pekiştirilmesi gerekir (Saral, 2005).

Bu çalışmada, içi boşluklu profilde alaşım kimyasal kompozisyonunun etkisini görebilmek için, farklı biyet sıcaklıklarında ve hızlarda ekstrüde edilmiş 6005A alaşımı incelenmiştir. Üretim sonrası alınan numunelere çekme ve sertlik testleriyle birlikte tane yapısı değişimlerini görmek için makro ve mikroyapı incelemelerine tabi tutulmuştur.

## BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri ve Uygulama Alanları

Alüminyum ve alaşımları; arttırılmış mukavemet özellikleri, hafif olmaları ve korozyona karşı yüksek dirençleri sebebiyle otomotiv, raylı sistem, makine, mimari, inşaat, savunma ve havacılık endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahiptir (Taban ve ark., 2005).

Alüminyumun yoğunluğu ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) ; çelik ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ) ve bakır ( $8,93 \text{ g/cm}^3$ ) yoğunluklarına nazaran 3'te 1'i kadardır. Alüminyum korozif ortamlarda, petrokimyasal veya kimyasal sistem içerisinde yüksek korozyon direncine sahiptir (ASM Metals Handbook, 1990).

Alüminyum alaşımlarının genel özellikleri:

- Alüminyum yansıtma özelliği yüksektir. Gümüşümsü yüzeyi iç ve dış mimari uygulamalarda kaliteli dekoratif özellik sağlamaktadır. Alüminyum yüzeyi plastik, cila veya uygun anodik bitirme işlemleriyle korunabilir. Çeşitli işlemlerle doğal olarak oluşan oksit tabakası yüzeyi korumak için yeterlidir.
- Alüminyum alaşımlarının dayanımı, yapı çeliklerinin mukavemetine eşit veya daha fazla olabilir.
- Alüminyum yüksek elastiklik özelliğine sahiptir. Dayanıklılığı, birçok ticari çeliklerdeki gibi, sıcaklık düşüklüklerinde gözle görülür şekilde azalmaz.
- Alüminyumun işlenebilirliği kolaydır ve kolay şekillendirilir. Örnek olarak 1/100 mm kalınlığına sahip veya daha ince bir folyo haline getirilebilir.
- Alüminyumun elektrik iletkenliği ve ısı iletkenliği neredeyse bakır daha iyi iletir.



Fiziksel ve kimyasal özellikleri ile birlikte Tablo 2.1.'de alüminyum farklı sektörlerdeki uygulamalar için kullanımını listelemektedir (Altenpohl, 1982).

Tablo 2.1. Alüminyumun farklı uygulama sektörlerindeki kullanımında önemli olan özellikleri (Altenpohl, 1982)

Uygulama Alanı	Özellikleri				Ürün Tipi					
	Düşük Yoğunluk	İyi Isı ve/veya elektrik iletkenliği	Korozyon Dayanımı	Dekoratif Görünümü (Yüzey işlemleri veya işlemsiz)	Döküm veya dövme	Levha	Darbeli Ekstrüzyon	Profil Ekstrüzyon Ürünleri	Kablo, Tel	Folyo
Taşıma	•		o	o	o	o	o			
Mimari	o		o	•		o	o			
Paketleme	+	+	•	•		o	o			o
Elektriksel	+	•	o				o	o	o	o
Ev Mobilya	o	•		o		o				
Makine ve Cihazlar	•	o	o	o	o	o		o		
Kimya ve Gıda	o	o	•	o	+	o		o		o
	+İstenilebilir		o Önemli		• Çok Önemli					

## 2.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

İmal edilecek ürüne verilecek şekil verme yöntemine göre alüminyum alaşımları iki farklı grupta incelenebilir. Bunlar,

- a. İşlem alüminyum alaşımları
- b. Döküm alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında en çok kullanılan standart Alüminyum Birliğinin (Aluminum Association) standartıdır. Bunun yanı sıra, ASTM, ALCOA Fransız Standartları, DIN 1713 gibi standartlar kullanılmaktadır. Tüm bu standartların ortak özelliği, işlem alüminyum alaşımları ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır (Turhan, 2002).

### 2.2.1. Alüminyum işlem alaşımları

Alüminyum işlem alaşımlarında kullanılan simgeleme metodu Alüminyum Birliği tarafından geliştirilmiştir. Bu metod dört rakamdan oluşmaktadır. Gösterimi Tablo 2.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Alüminyum işlem alaşımlarının gösterimi (Turhan, 2002)

Simge	Ana Alaşım Elementi
1xxx	Saf Alüminyum ( %99.00 Al)
2xxx	Al-Cu
3xxx	Al-Mn
4xxx	Al-Si
5xxx	Al-Mg
6xxx	Al-Mg-Si
7xxx	Al-Zn
8xxx	Diğer Elementler
9xxx	Kullanılmayan Dizi

Bu metodda ilk rakam alaşımın hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir. 4 rakamın son iki rakamı %99 değerinin noktadan sonraki değerini belirtir. Örnek olarak 1060 alaşımı için son iki rakamındaki 60 değeri alüminyumun %99.60 saflığında olduğunu göstermektedir. Soldan ikinci rakam, empürite elementlerinin sayısını göstermektedir. 2xxx den 8xxx e kadar ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam alaşım kompozisyonundaki değişimleri gösterir. Son iki rakam farklı alaşımları belirtmek amacıyla kullanılır.

### 2.2.2. Alüminyum döküm alaşımları

Döküm alaşımlarında da dört rakamlı simgeleme metodu kullanılır. Tek fark üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulmuştur. Tablo 2.3.'de bu metod gösterilmektedir. Burada 1xx.x serisi için, ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun noktadan sonraki saflık değerini belirtir. Noktadan sonraki rakam ise ürünün şeklini belirtir. Aşağıda ürün şekilleri ve rakamsal karşılıkları verilmiştir.

- a. Döküm
- b. İngot
- c. Modifiye edilmiş ingot

2xx.x den 9xx.x e kadar olan alaşımlarda ikinci ve üçüncü rakamlar yalnızca bir sıralama sayısı oluşturur.

Tablo 2.3. Alüminyum döküm alaşımlarının gösterimi (Turhan, 2002)

Simge	Temel Alaşım Elementi
1xx.x	Minimum %99.00 Alüminyum
2xx.x	Al-Cu
3xx.x	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si
4xx.x	Al-Si
5xx.x	Al-Mg
6xx.x	Kullanılmayan Dizi
7xx.x	Al-Mg-Zn
8xx.x	Al-Sn
9xx.x	Diğer Elementler

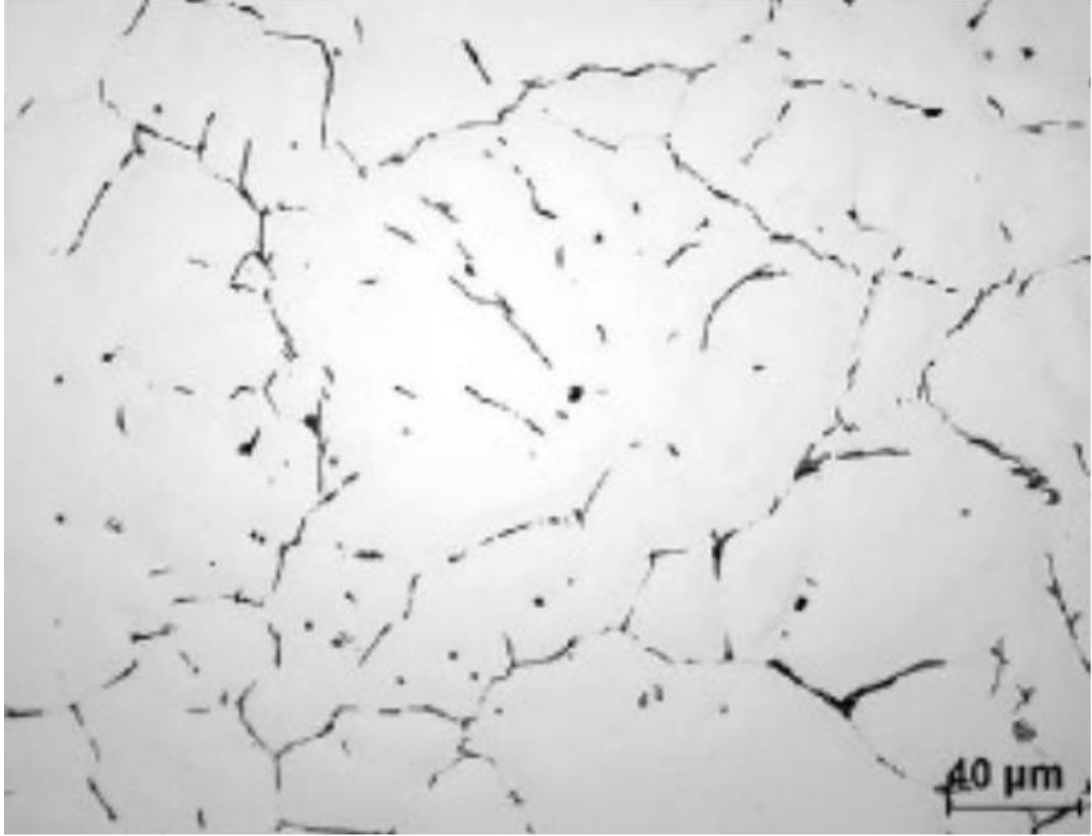
### 2.3. Al-Mg-Si Alaşımları

AA 6XXX serisi alüminyum alaşımları AlMgSi olarak bilinmektedir. Ana alaşım elementleri kararlı veya yarı kararlı Mg-Si çökeltileridir. Bu çökeltiler yapay yaşlandırmaya izin veren Mg ve Si'dur. Magnezyum ve silisyumun ile birlikte Fe ve Mn gibi diğer alaşım elementleri de yer almaktadır.

AlMgSi alaşımları ısıtıl işlem yapılarak mekanik özellikleri artırılıp geliştirilebilen alaşımlardır. Ekstrüze edilebilirliği yüksek ve yüzey özellikleri iyidir. Korozyona karşı dirençleri yüksektir. Üretim sonrası yüzeylerinin anodik kaplama için yeterli olması, özellikle ekstrüzyon ürünleri için önemli bir özelliktir.

AlMgSi döküm alaşımlarının döküm yapısı Şekil 2.1.'de gösterilmektedir. Plakasal AlFeSi interdendritik ağı ile birlikte birincil alüminyum dendritlerinden oluşur. İntermetaliklerin katılma esnasında alüminyum dendritlerinin uçlarında ötektik reaksiyon sonucu oluşması, plakasal şekillerini açıklar. İntermetaliklerin karakteristik

özellikleri yapı içerisinde, mikroyapı özelliklerin gelişmesini sağladığı için son ürünün kalitesini etkiler (Uğurlu, 2009).



Şekil 2.1. AA 6063 AlMgSi döküm kütüğünün karakteristik mikroyapısı (Uğurlu, 2009)

### 2.3.1. Alüminyum-Magnezyum-Silisyum alaşımlarının dökümü

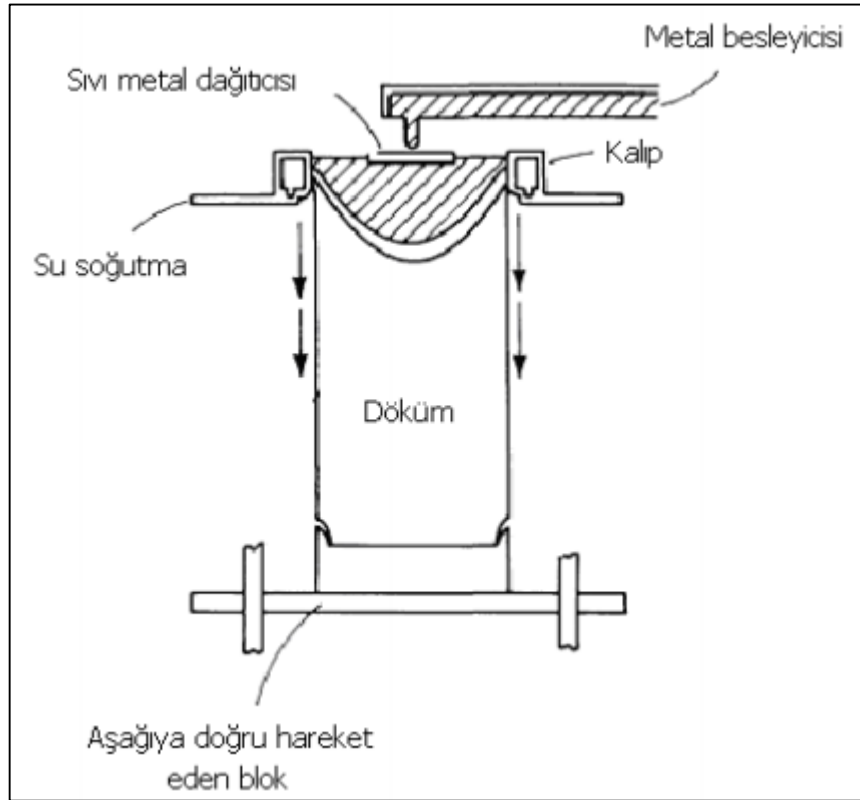
Alüminyum alaşımlarının üretiminde en çok direk soğutmalı döküm yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ingotların ve biyetlerin (silindirik kütük) üretiminde kullanılmaktadır (Uğurlu, 2009).

#### 2.3.1.1. Direk soğutmalı döküm

Direk soğutmalı döküm sistem Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Sıvı metal aşağıya doğru hareket eden alt bloğun üstündeki su ile soğutulan kalıbın içine dökülmektedir. Metal belirli bir yüksekliğe kalıbın içinde ulaştınca, alt blok sıvı metalin akışına denk gelen sabit bir hızda aşağıya doğru iner. Biyetin dış kabuğunun katılaşması, sıvı metal ile

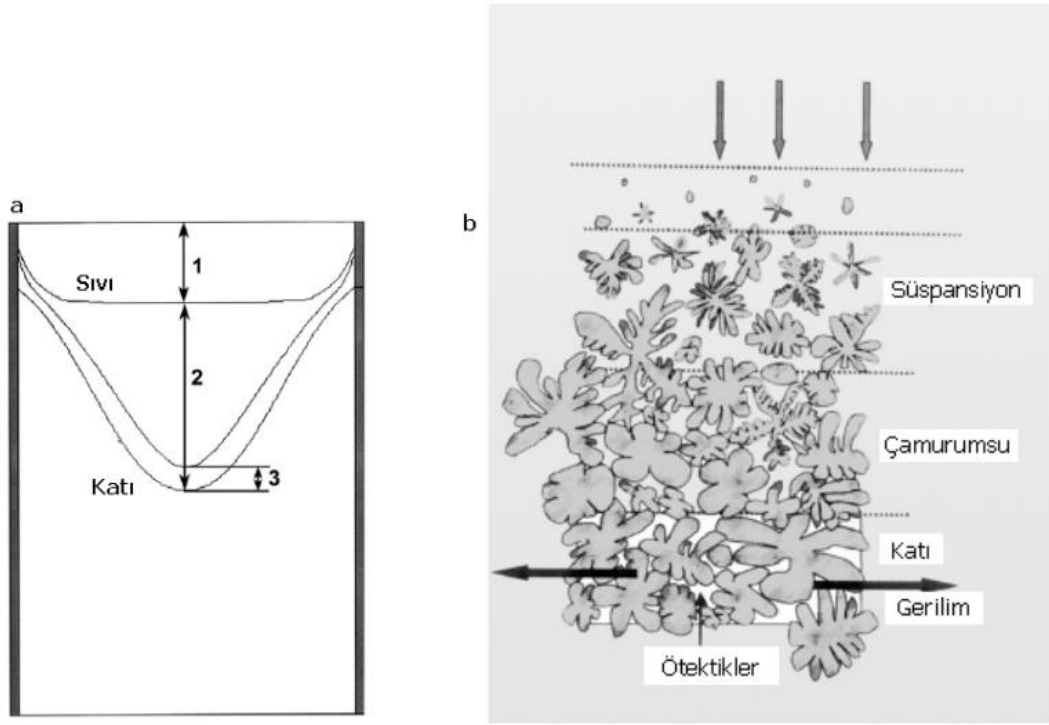
kalıbın temas etmesi sonucu gerçekleşir ve oluşan bu katılaşma sıvı metali tutar. Bu sayede kalıptan kütüğün devam eden çıkışı mümkün olur. Biyetin dış kısmı katı iken, iç kısmı yarı katı yarı sıvıdır.

Döküm prosesini hızı ve sıcaklığı sıvı metalin derinliğini etkiler. Dönüşüm bölgesi kendi içinde süspansiyon ve çamurumsu bölge olmak üzere Şekil 2.3.'deki gibi iki bölüme ayrılır.

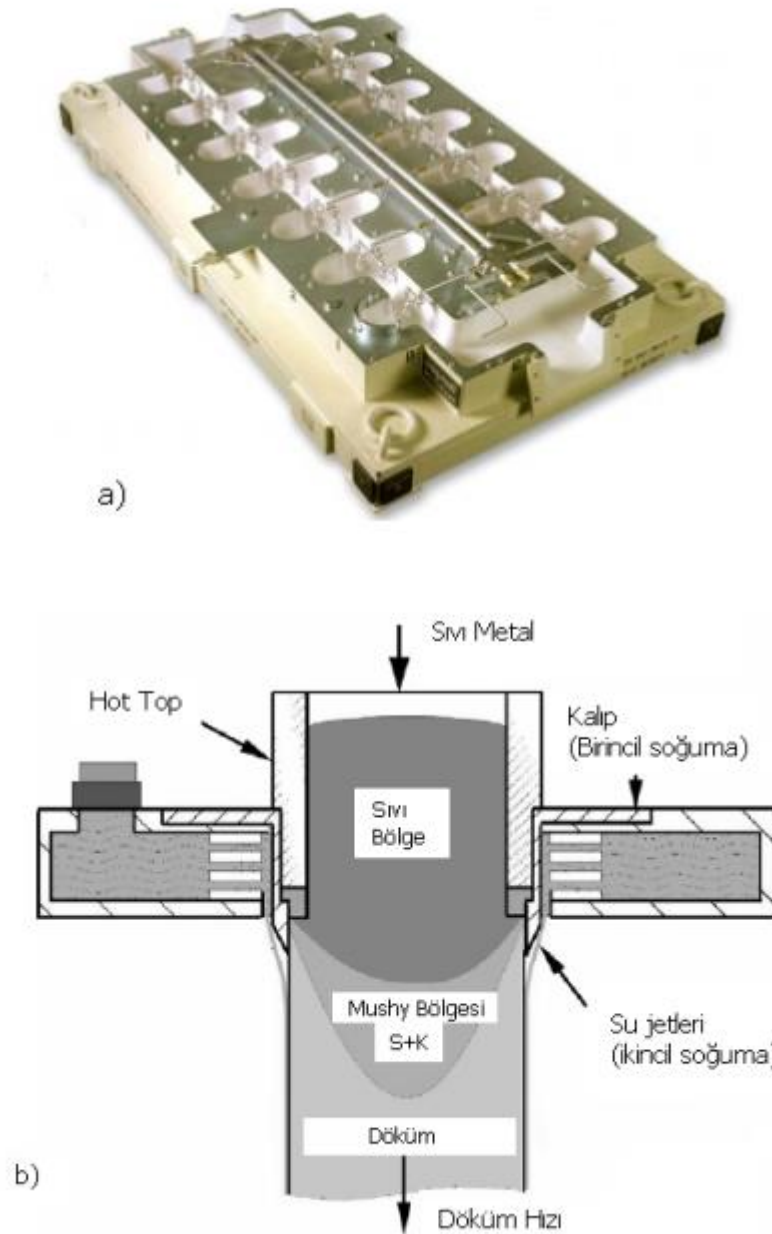


Şekil 2.2. Direk soğutmalı dökümün sistematik şekli (Uğurlu, 2009)

Direk soğutmalı döküm yönteminde, yüksek yüzey kalitesi ve mikroyapı elde edilebilmesi büyük bir çaba istemektedir. Biyet dış kabuğu ile kalıp yüzeyi arasında etkileşimde soğuk birleşme gibi yüzey hataları meydana gelebilir. Meydana gelebilecek bu tip hataların giderilmesi için Şekil 2.4.'de gösterilen Hot-top kalıp teknolojisi günümüzde en çok tercih edilen kalıp tasarımı olmuştur. Bu teknoloji, kalıba seramik bir ekle bağlı olan refrakter bir haznedir. Bu tabla kalıbın içerisindeki sıvının kontrolünü gerekli kılmaz ve prosesi daha kullanışlı hale getirir.



Şekil 2.3. Dönüşüm bölgesinin şematik gösterimi. a) Direk soğutmalı döküm kütüğündeki sıvı ve katı bölge, (1) Sıvı derinliği, (2) Dönüşüm bölgesi, (3) Çamurumsu bölge, (1+2) Sıvı metal derinliği. b) Bölgelerin şematik gösterimi (Uğurlu, 2009)



Şekil 2.4. a) Hot-top döküm tablası [22] b) Hot-top içeren direk soğutmalı dökümün sistematik şekli (Uğurlu, 2009)

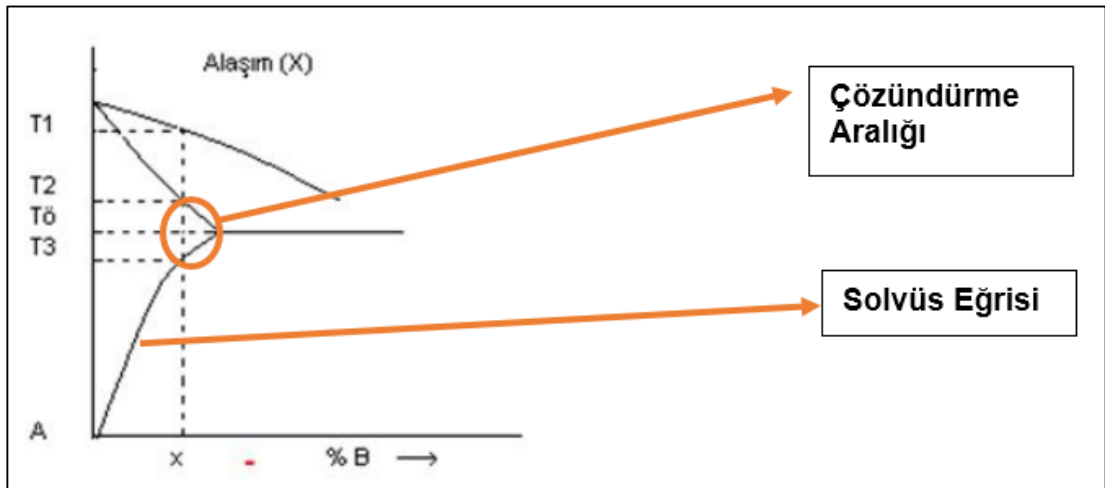
### 2.3.1.2. Homojenizasyon işlemi

Homojenizasyon ısıl işlemi 3 proses adımından oluşmaktadır. Biyetlerin homojenizasyon sıcaklığına ısıtılması, bu sıcaklıkta bekleme ve uygun bir hızda soğutulmasıdır. Alaşım elementlerinin matris içinde homojen dağılımı bekleme

bölümünde gerçekleşir. Bu bölümde, alaşım elementleri katı çözültide oluşan matrisle doğru difüze ederler. Normalde malzemeler alaşım elementleri ile aşırı doymuştur ve bu alaşım elementlerinin oluşturduğu bileşikler ise mikroyapıda belirli bölgelerde oluşmuştur. Bunun sonucu olarak büyük bir miktar alaşım elementleri homojenizasyon işlemi sırasında çözülür. Homojen olmayan bölgeler, homojenizasyon prosesinin bekleme bölümünde homojenize edilir.

### 2.3.2. Çökelme sertleşmesi

Profil sertliğini ve dayanımını arttırmak için geliştirilmiş temel sertleştirme prosesidir ve çözünenin temel karakteristiğine dayanır. Bu metodun genelleştirilmesi Şekil 2.5.'deki diyagramla ifade edilmiştir.



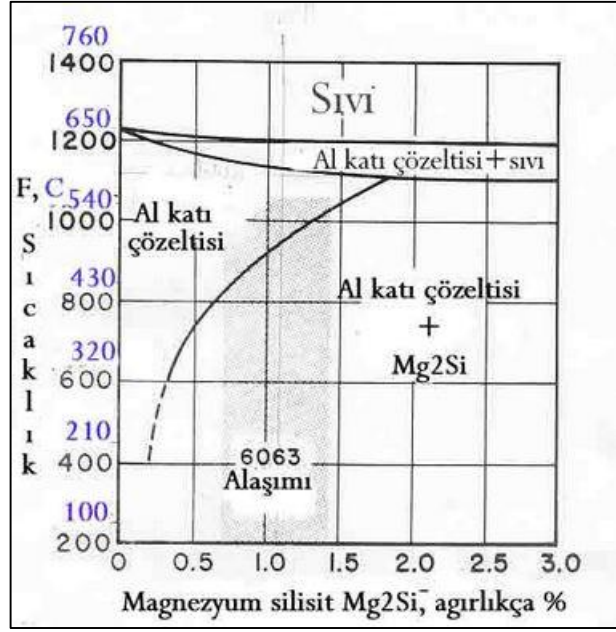
Şekil 2.5. Çökelme sertleşmesi faz diyagramı (Ulucak, 2016)

Bu sertleşme üç temel adımı izleyen işlem gerektirir. Bu adımlar:

1. Çözüldürme işlemi
2. Hızlı soğutma
3. Çökeltme (yaşlandırma)

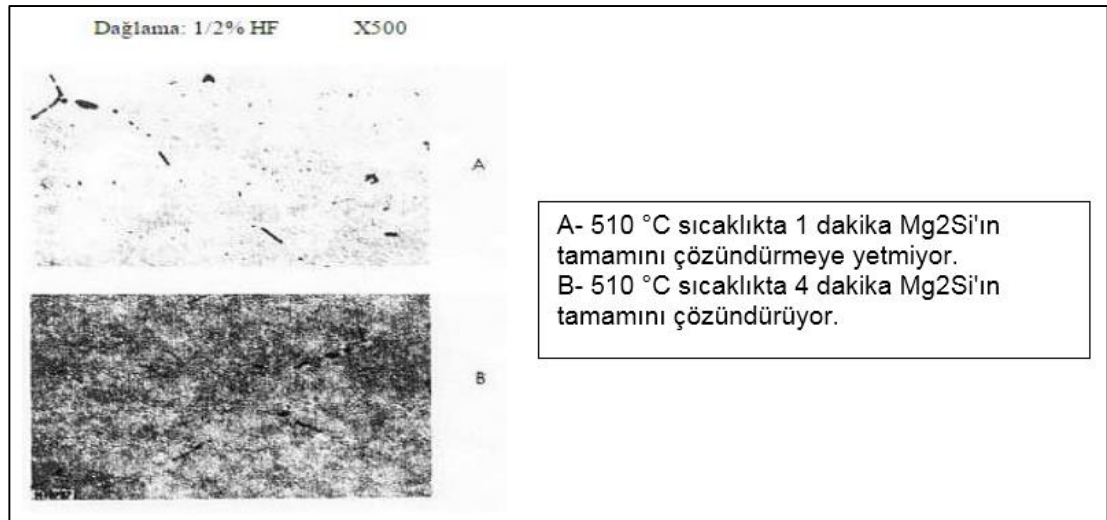
Alaşım T3 sıcaklığının üzerine (T0 altına) ısıtılması ile başlar ve homojen bir yapının oluşması için bir süre tutma ile devam eder. T3, müsaade edilen tam çözünme için en düşük sıcaklık T02 max. sıcaklıktır. Şekil 2.6.'da Al-Mg2Si faz diyagramı gösterilmektedir.





Şekil 2.6. Al-Mg<sub>2</sub>Si faz diyagramı (Ulucak, 2016)

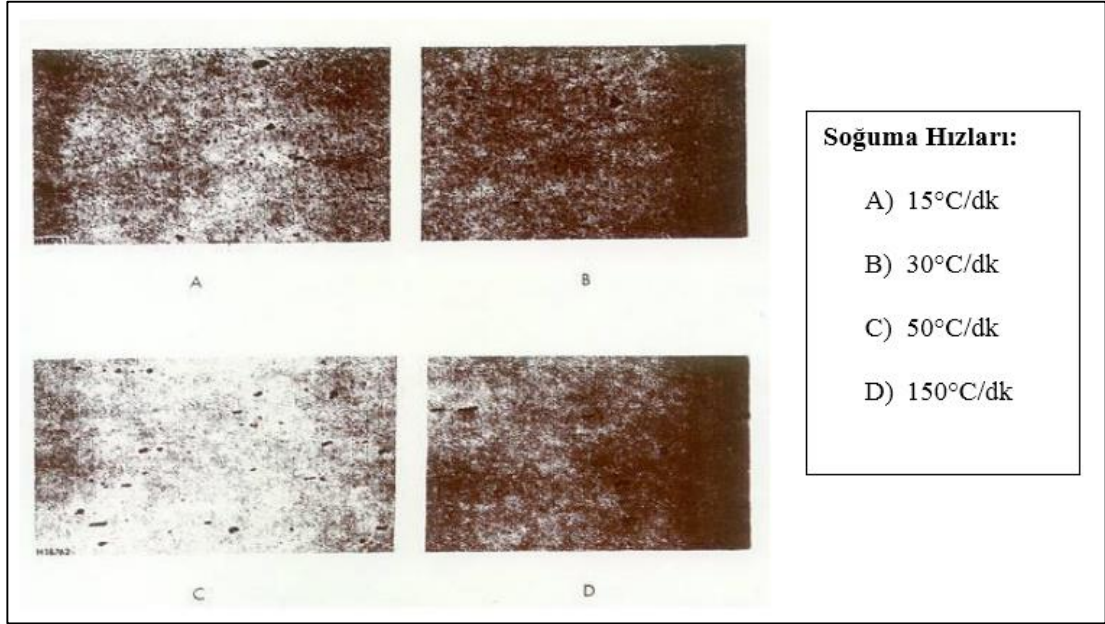
Mg<sub>2</sub>Si'nin katı eriyik içinde çözündürülmesi, "solüsyona alma" ısı işlemi olarak tanımlanır. Şekil 2.7.'de 510 °C'de bir ve dört dakika süre ile tutulmuş homojenizasyon sonrası biyette, Mg<sub>2</sub>Si'nin çözünme durumunu göstermektedir.



Şekil 2.7. Ekstrüzyon için 510°C sıcaklıkta 1 ve 4 dakika tutulan biyetlerde Mg<sub>2</sub>Si çözünmesi (Ulucak, 2016)

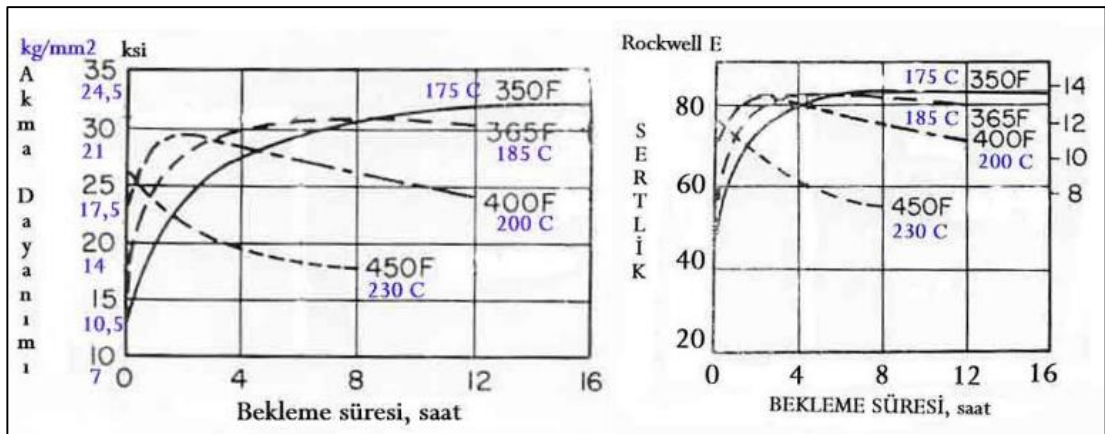
Bir katı çözelti iki fazlı bölgeye soğutulursa, katı çözelti aşırı doymuş hale gelir. Genellikle suda ve oda sıcaklığında olur. Yarı kararlı bir yapı oluşur. Ekstrüzyon ürününün sıcaklığı, solvüs sıcaklığının altına düşünce, Mg<sub>2</sub>Si çökelmeye başlar.

Bir katı çözelti iki fazlı bölgeye soğutulursa, katı çözelti aşırı doymuş hale gelir. Genellikle suda ve oda sıcaklığında olur. Yarı kararlı bir yapı oluşur. Şekil 2.8.'de ekstrüzyon sonrası soğutma hızının çökelen Mg<sub>2</sub>Si üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 2.8. Ekstrüzyon sonrası soğutma hızının çökelen Mg<sub>2</sub>Si üzerine etkisi (Ulucak, 2016)

Yaşlandırma ısıl işlemi (çökeltme sertleşmesi), aşırı doymuş katı çözeltinin bozunarak ilk önce ara fazların oluşması ve bunun sonucunda da bir denge çökeltilisinin meydana gelmesidir. Şekil 2.9.'da sıcaklık ve sürenin akma dayanımına ve sertlik üzerine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Sıcaklık ve sürenin akma dayanımına ve sertlik üzerine etkisi (Ulucak, 2016)

## 2.4. Alüminyum Alaşımlarında Yeniden Kristalleşme

Ekstrüde edilmiş alüminyum-magnezyum-silisyum (Al-Mg-Si) alaşımlı tane yapılarının kontrolü, otomotiv endüstrisi dahil olmak üzere birçok uygulama tarafından yürütülmektedir. Kaba yüzey tane büyüklüğünün, AA2xxx ve AA7xxx alaşımlarının şekillendirme işleminden sonra düşük yorulma direnci, zayıf işlenebilirlik ve yüzey kalitesi de dahil olmak üzere bir takım sorunlara yol açabileceğini görülmüştür. AA6005A, AA6061, AA6082 ve AA6351 gibi alaşımlar için gereklilikler yeniden kristalize edilmiş belli bir maksimum fraksiyon, maksimum yeniden kristalize edilmiş derinlik veya toplam yeniden kristalize edilmiş tane büyüklüğü için olabilir. Sıklıkla, pres etkisiyle ilişkili kuvvet artışından yararlanmak için yeniden kristalleştirilmemiş veya lifli bir yapının korunması istenir. Bazı uygulamalarda bu gereksinimler ayrı bir çözelti işleminden sonra belirtilebilir.

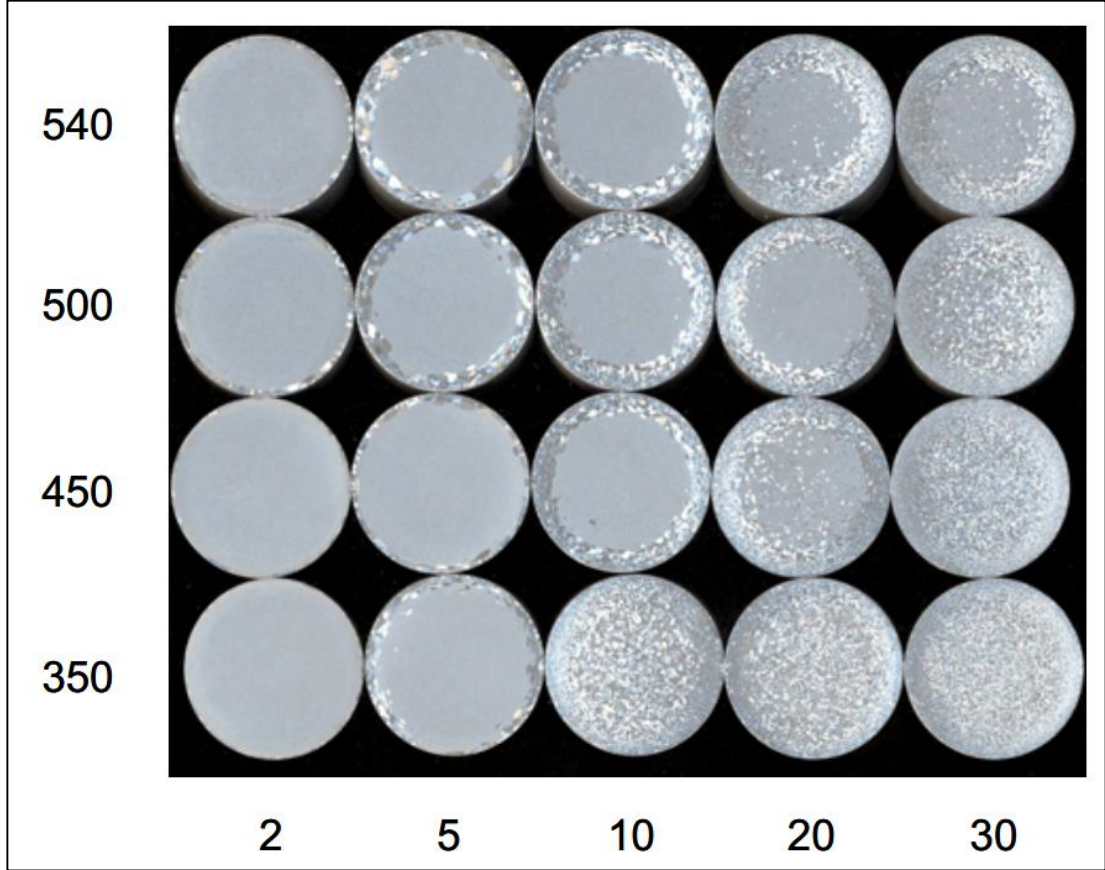
AA6063, AA6005A ve bazı AA6061 gibi alaşımlarda, yeniden kristalleşmeye meyilli olan ince duvar profilleri söz konusu olduğunda, tane boyutunun kontrolü, soğuk şekillendirme sırasında portakallaşma (yüzeyde tırtıklanma hatası) veya dekoratif uygulamalarda kabul edilebilir anodize görünüm vermek için önemli olabilir. Bir ekstrüzyonun yeniden kristalleşme davranışı, alaşım bileşimi ve biyet homojenizasyonu ve bunların dispersoid partikül dağılımı üzerindeki etkileri ile bir dereceye kadar kontrol edilebilir ve literatürde işlemin bu yönü hakkında bilgi bulunmaktadır.

Bununla birlikte ekstrüzyon koşullarına bağlı olarak kalıp geometrisi de profilin özelliklerine etkisi bulunmaktadır. Ekstrüzde edilmiş ve çözeltilmeye alınmış profilin tane yapısı, biyet sıcaklığı, zımba hızı ve ekstrüzyon oranı gibi etkenlere bağlıdır. (Parson & Maltais, 2012)

Çeşitli biyet sıcaklığı ve zımba hızları kullanılarak ekstrüzde edilmiş 6005A alaşımına ait makro yapı değişimi Şekil 2.10.'da gösterilmektedir.

- İri taneli dış bantlı fiber / kristalize olmayan yapı

- Karışık fiber yapı / yeniden kristalize edilmiş yapı ve daha ince taneli dış bant
- İnce yüzey taneli tamamen yeniden kristalize edilmiş yapı



Şekil 2.10. AA6005A alaşımından üretilmiş, makroyapı görüntüleri (zımba hızı (2mm / s ila 30mm / s) ve biyet sıcaklığının (350 ° C ila 540 ° C)

Genel olarak, düşük ekstrüzyon hızları ve yüksek biyet sıcaklıkları daha az yeniden kristalleşme sağlamaktadır. Fibrous bir yapı meydana getirmektedir. Tersine, düşük biyet sıcaklıkları ve yüksek ekstrüzyon hızları tamamen yeniden kristalize bir yapıyı oluşturmaktadır.

Yüksek biyet sıcaklığında yoğun deforme olan bölgelerin rekristalizasyon sonrası toparlandığını ve tane büyümesi gösterdiğini, görece daha az deforme olmuş bölgelerin ise tane kabalaşmasına uğramadığını görebilmekteyiz.

## 2.5. Alaşım Elementlerinin Etkisi

Alüminyum elementinin saf halde kullanımı bazı endüstri alanları dışında sınırlıdır. Bu yüzden alüminyum alaşımları halinde kullanılmaktadır. Alaşım elementlerinin saf alüminyuma ilave edilmesinin bazı ana nedenleri (Darıdereli, 2010):

- Sıcak yırtılma eğilimini azaltmak için akışkanlığı arttırmak,
- Korozyon direncini arttırmak,
- Mekanik özelliklerini arttırmak
- Akışkanlık ve dökülebilme kabiliyetlerini arttırmak gibi özelliklerini geliştirmektedir.

Alüminyum alaşımlarında başlıca kullanılan alaşım elementleri magnezyum, demir, bakır, silisyum, çinko, krom, kalay, manganez, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur.

### 2.5.1. Bakırın etkisi

Alüminyuma dayanım, sertlik, iyi döküm özelliği ve işlenebilme kolaylığı gibi özellikler kazandırır. Dövme alaşımlarında bakır %3 ile 5 arasında kullanılır (Turhan, 2002).

### 2.5.2. Silisyumun etkisi

Alüminyuma ilave edilen silisyum korozyon direnci, akışkanlık, kaynak kabiliyeti gibi özelliklerini iyileştirmektedir. Bununla beraber tane boyutu küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme özelliği sağlanabilir.

Silisyum ilavesi ile birlikte kaliteli döküm özellikleri elde edilirken talaş kaldırma ise zorlaşmaktadır (Turhan, 2002).

### **2.5.3. Magnezyum etkisi**

En önemli alaşım elementlerinden birisi magnezyumdur. Alaşıma yüksek mukavemet ve çok yüksek korozyon direnci kazandırır. Profilin kaynak kabiliyetini artırır.

Bunun dışında Al-Si alaşımlarında demirin mekanik özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderir ve korozyon direnci, mekanik mukavemet ve aşınma direncini artırır. Buna karşılık sünekliliği azaltır (Turhan, 2002).

### **2.5.4. Manganezin etkisi**

Manganez, profiling çekme mukavemetini artırır. Bununla birlikte yeniden kristalleşme sıcaklığını 50-60 °C kadar yükseltir. Mn sınırsız oranda artarsa Fe ile bağ yaparak aşırı fazla ve büyük FeMnSi tanelerini oluşturmaktadır. Bu taneler de kırılgan olduğundan toklukta azalmaya neden olmaktadır.

Manganez Al-Si alaşımlarında demirin mekanik ve fiziksel özelliklere yaptığı kötü etkiyi gidermeye çalışır. Bu sayede mekanik mukavemet ve korozyon direnci artar (Turhan, 2002).

### **2.5.5. Kromun etkisi**

Mn ile aynı şekilde hareket etmektedir, ancak soğutma hassasiyeti üzerindeki etkisi, Mn'den daha belirgindir.

### **2.5.6. Çinkonun etkisi**

Alaşıma katılan çinko haddelenebilme kabiliyetinin artmasını sağlar. Çekme mukavemetini ve işlenebilme kabiliyetini de arttırmaktadır.

Magnezyum ile birlikte çinko ilavesi yapıldığında yüksek darbe mukavemeti kazandırır (Turhan, 2002).

### **2.5.7. Titanyumun etkisi**

Aluminyum alaşımlarında tane küçültme etkisi vardır. Bor ile birlikte kullanıldığından bu etkiyi daha iyi gösterir. Ayrıca çekme mukavemeti ve sünekliliği artırır, ısı iletkenliğini düşürür (Turhan, 2002).

### **2.5.8. Demirin etkisi**

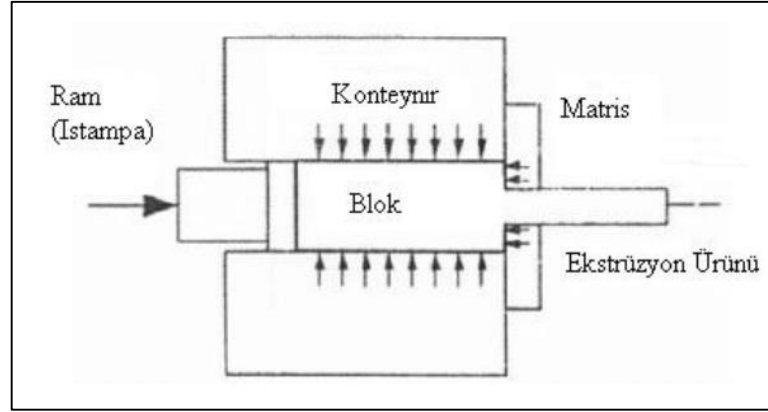
Demir aluminyum alaşımlarında tane küçültücü etkisi vardır ve yüksek sıcaklık mukavemetini artırır. Yüksek silisyumlu alaşımlarda kaba ve gevrek bir yapının ortaya çıkmasına neden olur. Bu sebeple demir oranının min. değerinde olması istenmektedir (Turhan, 2002).

## **2.6. Ekstrüzyon Yöntemleri**

### **2.6.1. Ekstrüzyon yöntemlerine giriş**

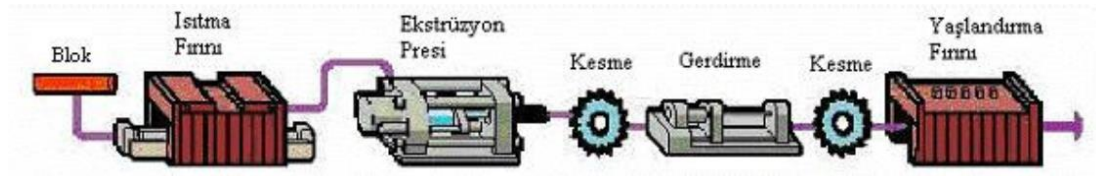
Ekstrüzyon yöntemi bir bloğunun (biyetin) zımba vasıtasıyla sıkıştırılarak daha küçük kesit alanına sahip bir ürün oluşturulmaya zorlanan bir plastik deformasyon prosesidir. Bu sebeple dolaylı bir sıkıştırma prosesidir. Sıkıştırma kuvveti, blok-konteynir ve bu alan içerisindeki reaksiyon vasıtasıyla gelişir ve bu kuvvetler yüksek değerlere ulaşırlar.

Ekstrüzyon prosesi başlamadan önce sıcak blok, plastik deformasyonu kolaylaştırmak için ön ısıtma işlemine tabi tutulur. Ekstrüzyon prensibinin temeli Şekil 2.11.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Ekstrüzyon Prensibi (Saha, 2000)

Ekstrüzyon yöntemi; çubuk, boru, çeşitli farklı tasarıma sahip profil (dolu veya boşluklu) imalatına olanak sağlamaktadır (Çapan, 1999).



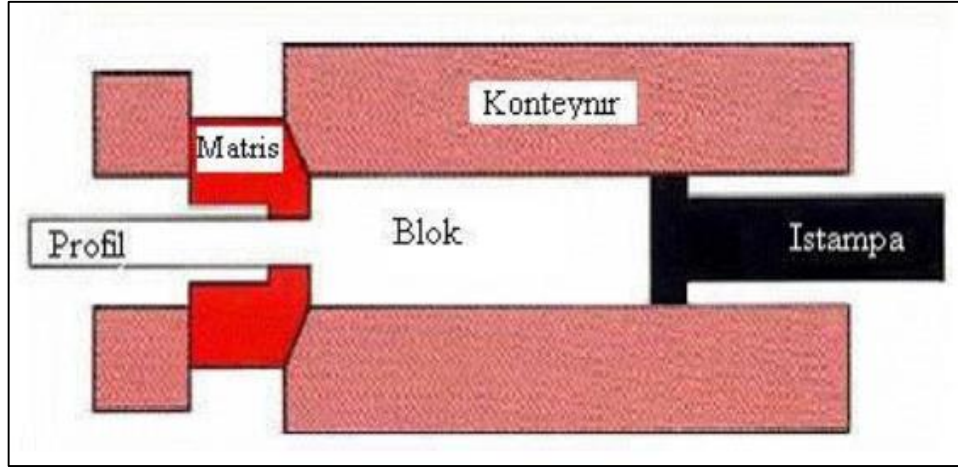
Şekil 2.12. Ekstrüzyon Proesi (Bayram, 2008)

Ekstrüzyon prosesine ait şematik gösteriliş Şekil 2.12.'dedir. En yaygın kullanılan ekstrüzyon yöntemi direkt ve indirekt ekstrüzyon yöntemleridir.

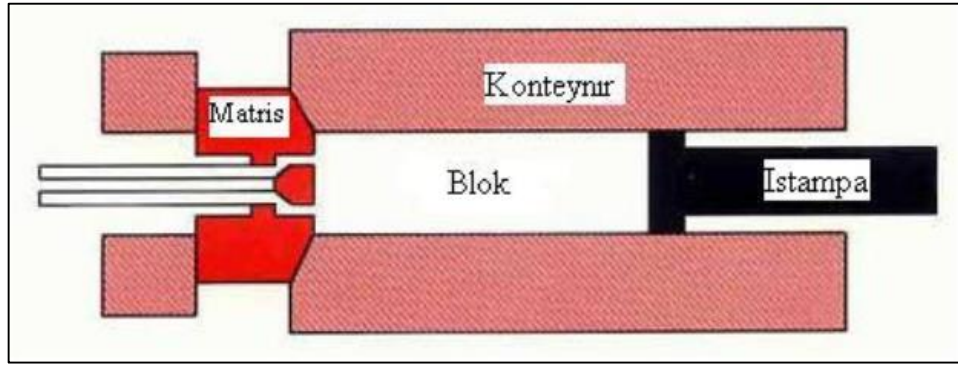
### 2.6.2. Direkt ekstrüzyon yöntemi

Direkt ekstrüzyonda, konteynır içerisindeki blok, ıstampa tarafından itilerek diğer uçtaki matrisin profil deliğinden geçmesi Şekil 2.13. ve Şekil 2.14.'de gösterilmektedir. Direkt ekstrüzyonda metal akış yönü ram hareketinin yönü ile aynıdır. Bu proses esnasında blok, konteynırın duvarlarında relatif olarak kayar. Meydana gelen sürtünme kuvveti ram basıncının oldukça artmasına sebep olur. Direkt ekstrüzyon esnasında yük veya basınç-ilerleme eğrisi Şekil 2.16.'da görüldüğü gibidir.





Şekil 2.13. Direkt ekstrüzyonda içi dolu alüminyum profil üretimi (Bayram, 2008)



Şekil 2.14. Direkt ekstrüzyonda içi boş alüminyum profil üretimi (Bayram, 2008)

Geleneksel olarak proses 3 ayrı bölümden oluşur:

1. Blok yığılır ve basınç hızlıca tepe noktasına çıkar.
2. Basınç düşer ve ekstrüzyon kararlı durumda ilerler.
3. Basınç minimuma indikten sonra kısa bir “atma” şeklinde keskin bir şekilde artar.

Kuvvetin minimuma ulaştıktan sonra tekrar yükselmesinin sebebi ıstampanın strok sonuna yaklaşması ve strok sonunda, disk şeklinde küçük bir blok parçasının, radyal olarak akıp matris deliğine girmesi esnasında ıstampanın önünde bulunan ön levha ve matris alın yüzeylerinde büyük sürtünme kuvvetlerinin oluşmasıdır.

Direkt ekstrüzyon yöntemi, takım düzenlemesi basit ve işletme yönünden kolay olduğundan oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Direkt ekstrüzyon, matris dizaynı ve

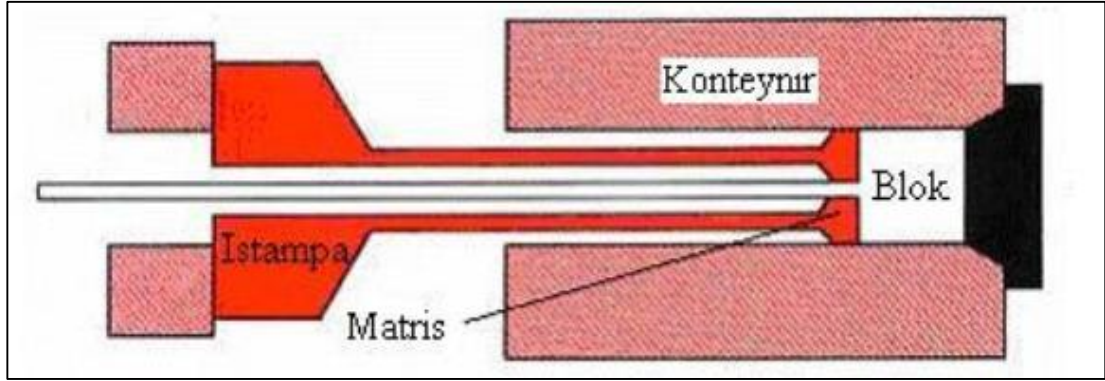
şekline göre som çubuklar, odalı borular ve odalı veya som profillerin imalatında uygulama alanı bulur (Bayram, 2008).

Direkt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

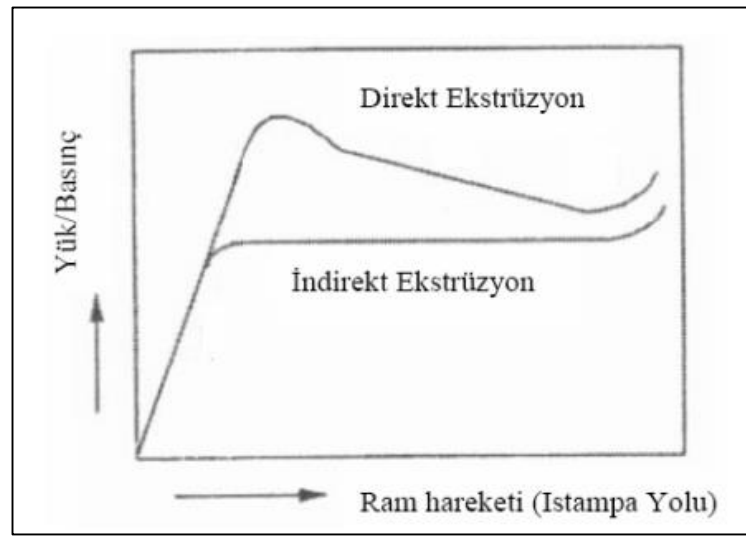
- a. İstediğimiz uzunluğa, çap ve kalınlığa sahip yarı mamul imalatı sağlar..
- b. İçi dolu veya boş bir çok çeşitte profil kolaylıkla elde edilir.
- c. Takımların sıralanması ve düzenlenmesi kolaydır.
- d. Prosesin fabrikadaki işletme yönünden kolaylık sağlamaktadır.
- e. Kalıp tasarımı ve çapı, konteyner iç çapından bağımsızdır. Herhangi bir sınır koymamaktadır.

### **2.6.3. İndirekt ekstrüzyon yöntemi**

İndirekt ekstrüzyonda, boşluklu ıstampanın önündeki matris konteynıra göre relatif olarak hareket eder fakat blok ve konteynır arasında Şekil 2.15. İndirekt ekstrüzyon yöntemi Şekil 2.15.'de gösterildiği gibi relatif olarak bir yer değiştirme yoktur. Bu yüzden bu proses blok yüzeyi ve konteynır arasında sürtünmenin olmaması ile karakterize edilir ayrıca blok merkezinin de sınır bölgelerine göre relatif bir yer değiştirmesi yoktur. Bu yöntemle birlikte blok yüzeyi ile konteynır cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır. Yükleme veya basıncın dolaylı ekstrüzyon prosesinde ram hareketi ile çeşitlilik göstermesi Şekil 2.16.'da gösterilmiştir. Uygulanan kuvvet önce yükselerek bir maksimum değere ulaşır daha sonra bu maksimum değerinin hemen aşağısında sabit bir şekilde devam eder ve ıstampa strok sonuna yaklaştığında yeni bir zirve yaparak sürecini tamamlar. Bunun sebebi ise matris yüzeyi ve konteynırın dip kısmında büyük sürtünme kuvvetleri meydana gelmesidir. İşlem bu noktada sonlandırılır bu anda direkt ekstrüzyonun kayıp miktarı %5-10 dur (Bayram, 2008).



Şekil 2.15. İndirekt ekstrüzyon yöntemi (Bayram, 2008)



Şekil 2.16. Direkt ve indirekt ekstrüzyon proseslerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi (Bayram, 2008)

## **BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONU**

### **3.1. Giriş**

Ekstrüzyon yönteminde en çok kullanılan malzeme, alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının düşük yoğunluk ve hafifliği, korozyon direncinin yüksek ve beyaz renklerinden dolayı, inşaat, otomotiv ve uçak sanayi başta olmak üzere, çok sayıda farklı sektörde kullanılmaktadır.

Alüminyum ekstrüzyon prosesinde en yaygın kullanılan yöntemler, direkt ve indirekt ekstrüzyon yöntemleridir (Bingöl, 2006).

### **3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği**

Alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonu için genellikle dairesel, nadiren de düz biyetler, döküm yöntemiyle hazırlanmaktadır. Biyetler, ekstrüzyondan önce genellikle homojenleştirme işlemine tabi tutulurlar. Homojenleştirme işlemi görmemiş biyetler, aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı mamul kalitesini ve ekstrüzyon edilebilirliği kötü yönde etkilemektedirler;

- a. Tane sınırı segregasyonları, düşük ergime noktalı öteklikler ve kırılğan intermetalik bileşikler metalin işlenebilirliğini zorlaştırır.
- b. Aşırı doymuş olarak çözünmüş alaşım bileşenleri (örneğin; Al<sub>6</sub>Mn, AlFeMn, Mg<sub>2</sub>Si), yüksek sıcaklıkta akma gerilmesini yükselttiklerinden metalin işlenebilirliğini zorlaştırırlar.
- c. Magnezyum, demir, zirkon gibi belirli alaşım elemanları, çözünmüş ya da ayrılmış durumda yeniden kristalleşmeyi engellerler. Bu etki, özellikle

AlMgSi(Mn) alaşımlarının ekstrüzyonunda renk anodizasyonunda önemli derecede rol oynar.

- d. Sürekli dökümden sonra soğuma sırasında AlMgSi alaşımlarında Mg<sub>2</sub>Si çökmesi, ekstrüzyon edilen kesitlerin sertleşebilirliğini azaltır ve yüzey parlaklığını düşürür.
- e. Tane ayrışmaları (örneğin; çözülmemiş alaşımlama elementlerinin konsantrasyonlarındaki farklılık), eloksal işleminden sonra bünyeye bağlı çizgiler oluşturur.
- f. Heterojen tane ve tane sınırı ayrışmaları, bünyede ton farklılıklarına neden olarak profilin parlaklığını azaltır.
- g. Döküm biyetlerine ısıl işlemler uygulanarak bu etkiler kısmen veya tamamen kaldırılabilirler. Uygulamada yaygın olarak kullanılan tavlama sıcaklıkları Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Alüminyum ve alaşımları, ekstrüzyon edilebilirliklerine göre üç grupta Tablo 3.2.'deki gibi sınıflandırılırlar.

1. Kolay ekstrüzyon edilebilenler: Saf alüminyum, AlMn, AlMg<sub>1</sub>, AlMgSi<sub>0,5</sub>, AlMgSi<sub>0,8</sub>
2. Orta zorlukta ekstrüzyon edilebilenler: AlMg<sub>2-3</sub>, AlMgSi<sub>1</sub>, AlZnMg<sub>1</sub>
3. Zor ekstrüzyon edilebilenler: AlCuMg, AlCuMgPb, AlZnMgCu, AlMg > %3Mg

Tablo 3.1. Alüminyum ve alaşımlarının homojenleştirme sıcaklıkları ve ekstrüzyonu için belirli değerler (Bayram, 2008)

Malzeme	Aşırı Tavlama Sıcaklığı (°C)	En az bekleme süresi (saat)	Alıcı Sıcaklığı (°C)	Biyet Sıcaklığı
Al 99,8..99,9	580-600	6	380	420
Al99,9Mg0,5..2	560-580	6	390	430
AlMg <sub>1</sub>	550-560	12	390	430
AlMg <sub>3</sub>	530-540	12	425	460
AlMg <sub>5</sub>	500-520	12	410	460
AlMgMn	550-560	12	420	450
AlMgSi <sub>0,5</sub>	560-580	6	410	460-480
AlMgSi <sub>1</sub>	560-570	6	430	450-500

Tablo 3.1 (Devamı)

Malzeme	Aşırı Tavlama Sıcaklığı (°C)	En az bekleme süresi (saat)	Alıcı Sıcaklığı (°C)	Biyet Sıcaklığı
AlCuBiPb	420-440	12	360	350-380
AlCuMgPb	430-450	12	360	350-420
AlCuMg1	480-490	12	400	420-450
AlZnMg1	460-480	12	480	500-530
AlZnMgCu0,5	470-480	12	400	420-430
AlMgSi1	560-570	6	430	450-500
AlMgSiPb	430-450	12	360	350-400
AlCuBiPb	420-440	12	360	350-380
AlCuMgPb	430-450	12	360	350-420
AlCuMg1	480-490	12	400	420-450
AlZnMg1	460-480	12	480	500-530
AlZnMgCu0,5..1,5	470-480	12	400	420-430

Tablo 3.2. Alüminyum ve alaşımlarının bağıl ekstrüzyon edilebilirlik değerleri (Bayram, 2008)

Malzeme No. AA	Malzeme	Bağıl Ekstrüzyon Edilebilirlik
EC	A199,9	150
1060	A199,6	150
1100	A199	150
2011	AlCuBiPb	15
2014	AlCuSiMnMg	20
2024	AlCuMg1	15
3003	AlMn	100
5052	AlMg2,5	80
5083	AlMg4,5Mn	20
5086	AlMg4,5Mn	25
5154	AlMg3,5Cr	50
5254	AlMg3,5Cr	50
5454	AlMg2,7Mn	50
5456	AlMg5Mn	20
6061	AlMgSi1	60
6063	AlMgSi0,5	100
6066	AlMgSiCuMn	40
6101	AlMgSi (elektrik iletkeni)	100
6151	AlMgSiFe (demir alaşımlı)	70
6463	AlMgSi0,8	100
7001	AlZnMgCu2,5	7
7075	AlZnMgCu1,5	10
7079	AlZnMgCu0,5	10

### 3.3. Alüminyum Alaşımlarından Profillerin Ekstrüzyonu

Alüminyum profiller çoğunlukla, sertleşebilir alüminyum alaşımlarından  $AlMgSi_{0,5}$ ,  $AlMgSi_1$  ve  $AlZnMg_1$ 'den imal edilirler. Öte yandan,  $AlMg_3$  gibi sertleşmeyen alüminyum alaşımlarından ekstrüzyon edilen profillerin oranı azdır. Yukarıda belirtilen bu alüminyum alaşımları, iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri ve iyi mukavemet özellikleri göstermeleri, dekoratif görünüşleri ve korozyon dayanımları açısından diğer malzemelerle imal edilen ekstrüzyon mamullerinden daha çok önem kazanmışlardır.

En çok kullanılan alüminyum alaşım profilleri,  $Al_{99,5}$  esasına dayalı alaşımlardır. Bu alaşımlardan ekstrüzyon edilen profiller, metal fabrikasyonu ve mimari amaçlar için kullanılmaktadırlar. Bu profillerden beklenen özellikler;

- a. Sıcakta mukavemet özellikleri
- b. İyi yüzey kalitesi
- c. İyi dekoratif eloksal özellikler
- d. Dar ölçü toleransları

$AlMgSi_{0,5}$  ve kısmen  $AlZnMg$  alaşımlarından parlak profiller, günümüzde kimyasal olarak parlatılmış ve eloksal yapılmış bu profiller oto, ev aletleri, mobilya endüstrisinde dekoratif amaçlı olarak kullanılmaktadır.  $AlMgSi_{0,5}$  alaşımı, özellikle yüksek parlaklık gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Bu parlaklık durumunun, sertleşebilir alüminyum alaşımlarında sağlanabilmesi zordur. Çünkü; imalatın çeşitli kademelerinde ikinci fazın ( $Mg_2Si$ ) heterojen ayrışması ve anodik olarak oluşturulan oksit tabakasını bulundurma tehlikesi vardır. Bu nedenle, bütün profil imalatında ana hedef  $Mg_2Si$  ayrışmasını önlemektir.  $AlMgSi_{0,5}$  parlak biyetler için kullanılan yüksek homojenleştirme tavlama sıcaklığında sertleşebilirlik için gerekli olan  $Mg_2Si$  fazı tamamıyla çözünür. Bu durumda önemli olan, biyetin su ile soğutulması ve çözünme durumunu mümkün olduğu kadar sürekli hale getirmektir. Biyetin soğutulması ve şekil değiştirme sıcaklığına kadar ısıtılması sırasında çok ince  $Mg_2Si$  ayrışmalarının oluşumu çok önemlidir. Kalıptan çıktıktan sonra profilin hızlı bir şekilde soğutulması,

şekil değiştirme sıcaklığında ulaşılmış çözünme durumunun kaybolması için gereklidir.

İnce cidarlı ve karmaşık geometriye sahip profillerin su ile soğutulması esnasında ortaya çıkacak boyutsal değişme problemlerinden kaçınmak amacıyla uygulanan türbülanslı hava ile soğutmada, yüzeylerde matlaşma görölmüştür. Küçük kesitteki profillerde çarpılmaları önlemek için çekme tertibatı kullanılmalıdır.

Daha çok konstrüksiyon profili olarak kullanılan AlMgSi1 alaşımı, AlMgSi0,5'e nazaran alaşım elementi miktarının yüksek olması nedeniyle, tam bir sertleşme elde etmek için çözünme sıcaklığından soğutmanın daha hızlı olması gerekir.

Renkli eloksal yöntemi ile AlMgSi(Mn) alaşımlarından profiller, dekoratif amaçlar için çok miktarda kullanılmaktadır. Bu malzemenin imalatı daha önceden kullanılmakta olan AlSi5' e göre daha avantajlıdır. Eğer mangan nedeniyle yükselen yeniden kristalleşme sınırından dolayı sadece kısmi yeniden kristalleşme olursa önemli problemler olacağı açıktır. Alıcıda kayma ile şekil değiştirme olduğunda; ekstrüzyon çubuğunun çevre bölgesindeki malzemede, merkezindeki malzemeye göre daha fazla şekil değiştirme meydana gelmektedir. Çevre bölge, şekil değiştirme ısısı nedeniyle kaba tane yeniden kristalleşmesine neden olabilecek bir kritik şekil değiştirmeye ulaşabilir. Kaba tane oluşturma eğilimi, imalat esnasında yüzey bölgesinde büyük zorluklar doğurur. Profil çevresi boyunca, özellikle köşeler, bağlantı noktaları ve yığılmalar gibi süreksizlik noktalarındaki sıcaklık – şekil değiştirme şartları, belirli kesit bölgelerinde kritik şekil değiştirme aralığında bulunurlar ve orada ani kaba tane yeniden kristalleşmesini oluştururlar. Komşu bölgelerde ise kritik şekil değiştirme büyüklüğü ve yeniden kristalleşme şartlarına ulaşılmaz. Bu nedenle bu bölgelerde yeniden kristalleşme olmamış ince lifli bir yapı görölr. Renkli eloksal sırasında farklı bünye yapıları, farklı yapı göstereceğinden tüm profil boyunca renk farklılıkları gözlenir. Yeniden kristalleşmiş bölgeler koyu renkli olup, yeniden kristalleşmemiş bölgeler açık renklidir (Bingöl, 2006).



### 3.4. Alüminyum Alaşımlarından İçi Boş Profillerin Ekstrüzyonu

Kolayca birleşebilen alüminyum alaşımlarından içi boş profiller, dolu biyetlerden köprülü veya birleştirme odalı kalıplar vasıtasıyla ekstrüzyon edilirler. Mandrel tutucuları nedeniyle malzeme akışının bölünmesi ve içi boş profillerin oluşması için bir birleşme gerektiğinden delik kesitteki profillerin ekstrüzyonunda dolu profil ekstrüzyonuna nazaran şu teknolojik özellikler vardır;

1. Metalin yarılması nedeniyle takımdaki sürtünme artacağından ekstrüzyon kuvveti büyür.
2. Birleştirme odası yönteminde meydana gelen dikiş birleşme bölgeleri, eloksaldan sonra metalurjik etkiler nedeniyle profilin diğer yüzeylerine nazaran daha açık bir renge sahip olurlar. Bu nedenle takım konstrüksiyonunda birleşme bölgelerinin, profilin mümkün olduğu kadar görünmeyen yerinde veya köşelerde olmasına dikkat edilir.
3. Ekonomik açıdan ve ekstrüzyon kuvvetinin düşürülmesi açısından, birleştirme odalı takımlarda küçük içi boş profiller, dolu profillerde olduğu gibi çok delikli kalıplarla imal edilirler.

Kolay birleşmeyen alüminyum alaşımlarından içi boş profiller, sabit bir malafa ile önceden delinerek hazırlanmış biyetlerden imal edilirler. Ancak malafanın yana eğilmesi nedeniyle, cidar kalınlığı toleransları birleştirme odası yönteminde olduğu kadar dar değildir.

### 3.5. Ekstrüzyon Presi ve Takımları

Pres, biyetin ekstrüzyon kalıbından geçmesi için gerekli gücü uygular. Bir ekstrüzyon presinin nasıl çalıştığını anlamak için pres parçalarının tanımlanması ve bu parçaların kullanımının açıklanması gerekir. Şekil 3.1.'de bir ekstrüzyon presi ve takımları görülmektedir. Şekil 3.2.'de ise temel bir ekstrüzyon presini şematik olarak göstermektedir.



**Hidrolik Basınç:** Gerekli kuvvete sahip ram (ıstampa) ilerlemesini sağlamak için basınç kullanılır.

**Istampa:** Ana silindirden hareketini alarak önündeki ön levha ile alıcı içerisindeki biyete basınç uygulayarak, biyeti kalıp boşluğuna doğru iter.

**Ön Levha:** Istampanın önünde bulunur ve ıstampayla beraber hareket eder. Biyete direkt olarak temas eder.

**Biyet:** Belirli çaplara sahip alüminyum kütüklerden belirli uzunluklarda kesilerek elde edilir. Biyet, kalıptan geçirilerek ekstrüzyon profiline dönüşür.

**Alıcı (Konteynır):** Ekstrüzyon presi üzerinde bulunup biyetin içerisine yerleştirildiği silindirik bölümdür.

**Kalıp ve Kalıp Takımları:** Beraberindeki takımlar yardımıyla profile şeklini veren parçaya kalıp denir. Dolu kalıplarda destek, tutucu, kalıp ve besleyici bulunurken içi boş kalıplarda profildeki boşluğu vermeye yarayan mandrel bulunur.

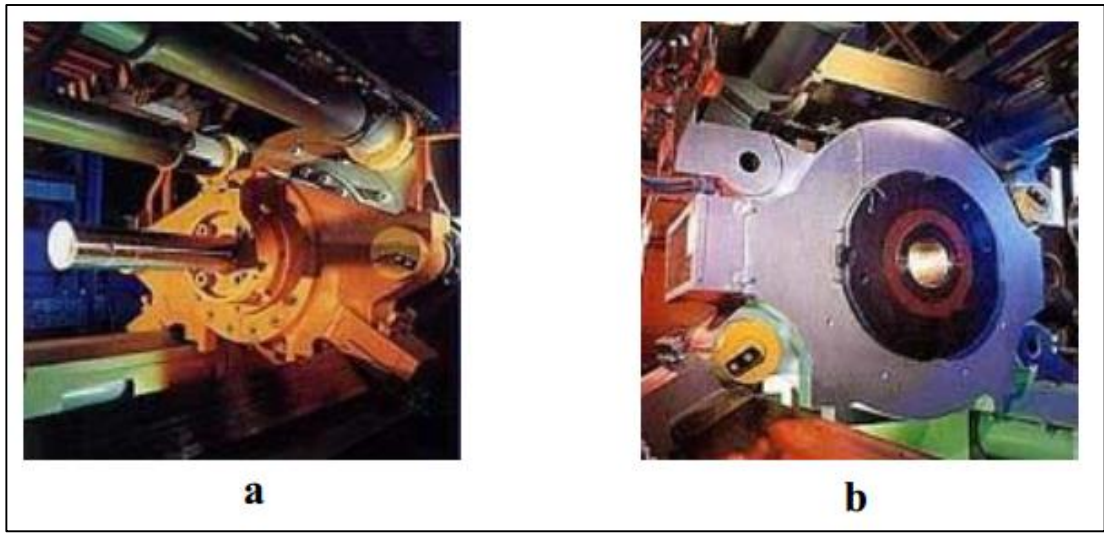
**Biyet Fırını:** Uzun silindirik alüminyum biyetlerin ekstrüzyon sıcaklığına ısıtıldığı fırındır. Ekstrüzyon sıcaklığına ısıtılan uzun biyetler ekstrüzyon başlangıcında biyetin gereken uzunluğu kadar kesilir. Bazı biyet fırınları ekstrüzyon presi üzerinde bulunmazlar. Ancak yeni teknolojide fırınlar pres üzerinde bulunmaktadır.

**Ekstrüzyon Artığının Kesilmesi:** Ekstrüzyon işleminde genellikle kalıntılı çalışılır. Biyet preslendikten sonra bir kısım biyet artığı (içerisinde oksitler bulundurup yeterli temizliğe sahip olmadığı için) kesilerek ıskartaya ayrılır.

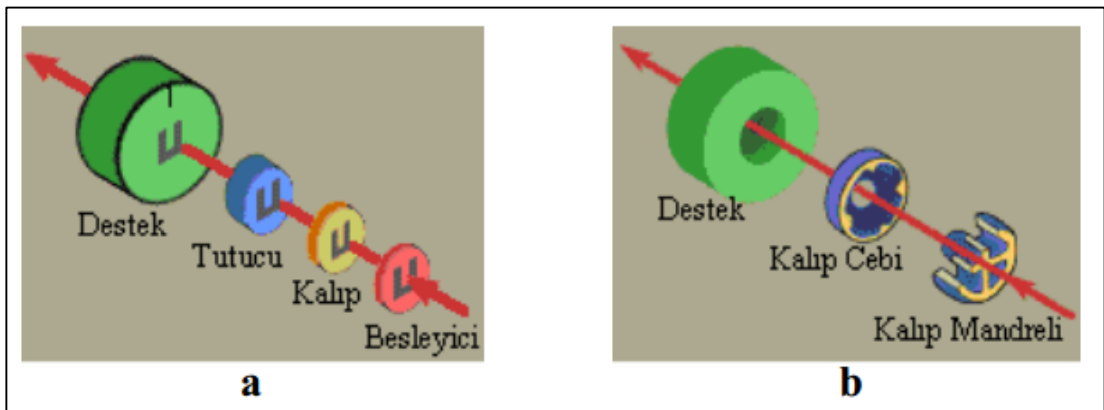
**Kalıp Fırını:** Kalıplar kullanılmadan önce 750 – 900F arasında 4 – 6 saat arasında kalıp fırınında tavlama tabi tutulurlar.

Çıkış Tablası: Presten çıkan ekstrüzyon profillerinin üzerinde boylu boyunca ilerlediği tabladır.

Bu takımlardan kalıbın, özellikle ağır metal ekstrüzyonunda ve yüksek çıkış sıcaklıklarında, montajının kolay ve her ekstrüzyondan sonra değiştirilmesinin çok kolay olması gerekir. Kalıbın hızlı değiştirilmesi ekonomik avantajlar sağlar. Dış tarafı hafif konik olan kalıp, kalıp tutucusunun ön tarafından tutucu boşluğuna yerleştirilir, böylece kolay ve hızlı bir şekilde değiştirilmesi sağlanabilir.



Şekil 3.3. İstampa ve alıcı; a) istampa, b) alıcı (Bingöl, 2006)



Şekil 3.4. Düz ve odalı kalıp a) Düz kalıp ve takımları, b) Odalı (porthole) kalıp ve takımları (Bingöl, 2006)



Şekil 3.5. Çıkış tablası (Bingöl, 2006)

### 3.5.1. Kalıp

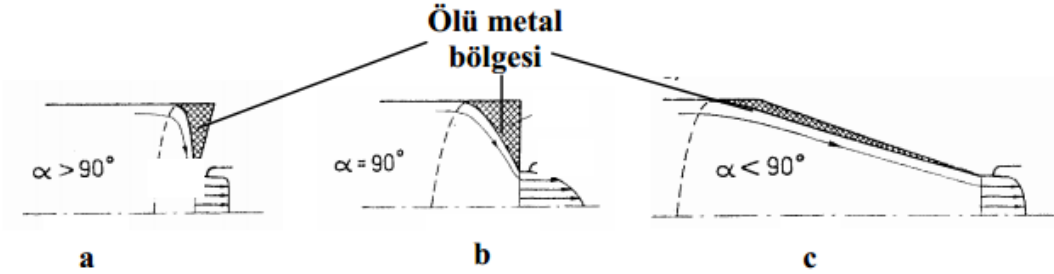
Kalıp, alüminyum biyete yüksek basınç altında profil şeklini oluşturan ve en çok değiştirilen bir malzemedir. Bu nedenle kalıp, profile ait tüm ince detayları ve buna bağlı tüm iç-dış toleransları içermektedir. Kalıpta oluşan herhangi bir problem-hata direkt olarak profile yansır. Bu hatalar, genellikle yüzey, şekil ve boyut hatalarıdır.

Kalıp tasarımı ve şekli, ekstrüzyon hızını, basıncını, çıkış sıcaklığını, malzeme akışını ve sürtünmeyi etkilemektedir. Ekstrüzyon prosesinde ince kesitli profillerde basınç oranı yüksektir ve yüksek basınç altındaki kalıpta, eğilme ve çatlama önlemek için kalıp desteklenir. Destek, kalıbın arka kısmına konulan bir ekstrüzyon takımıdır. Kalıbın çalışmasında, destek ve ön oda gibi diğer takımlarla bir grup oluşturarak görev yapar. Malzeme akışını ve profil yüzeylerinin düzgün çıkması için sürtünmeyi azaltan işlemler uygulanır. Bunlar arasında; kalıp yüzeylerinin taşlanması, yağlama, kalıp kanalına nitrasyon uygulanması ve kalıp kanal uzunluğunun düzenlenmesidir.

### 3.5.2. Kalıp şekilleri

Kalıplar metal akışını ve ölü bölgeyi ve dolayısıyla ekstrüzyon kalıntısını direkt olarak etkilemektedir. Zasadzinski vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada konveks kalıp kullanılarak, meydana gelen metal akışının ve deformasyon bölgesinin bir analizi yapılmıştır. Önerilen bu kalıpla amaç; kalıp deliğinin radyal doğrultusunda metali

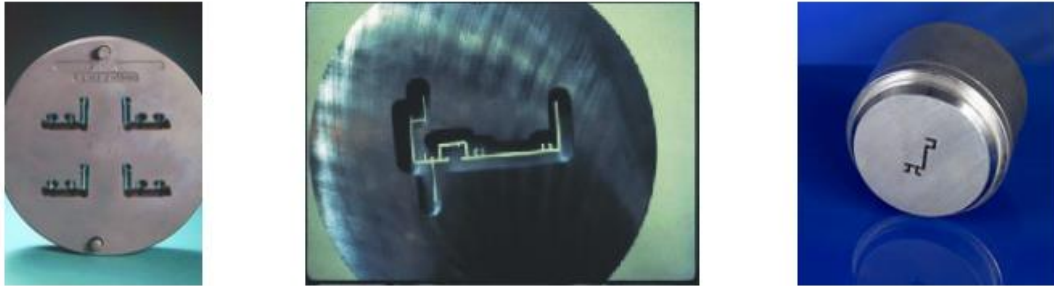
akmaya mecbur etmektir. İç bükey, dik açılı ve dışbükey olmak üzere üç tip kalıp kullanılmıştır. Bu kalıp tipleri, oluşturdukları metal akışları ve ölü bölgeler Şekil 3.6.'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Farklı açılı kalıplar için ölü metal bölgeleri: a)  $\alpha > 90^\circ$ , b)  $\alpha = 90^\circ$ , c)  $\alpha < 90^\circ$  (Bingöl, 2006)

### 3.5.3. Dolu profiller için ekstrüzyon kalıpları

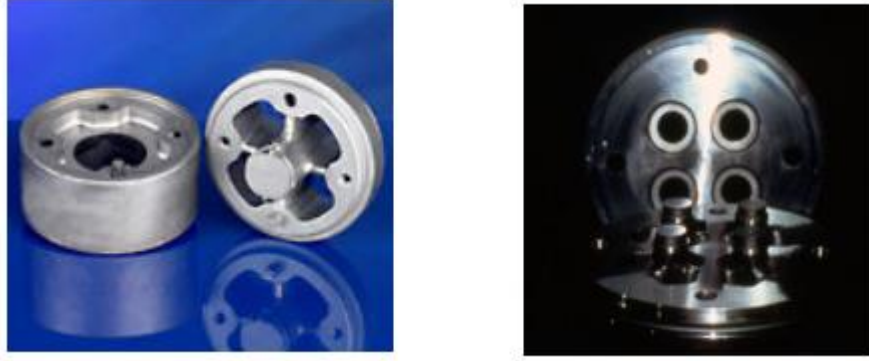
Dolu profiller için, düz kalıplardan başka, ön odalı kalıplar birleştirme ön odalı kalıplar, ekspansiyon ön odalı kalıplar ve destekli kalıplar kullanılmaktadır. Şekil 3.7.'de düz kalıplara ilişkin kalıp örnekleri görülmektedir.



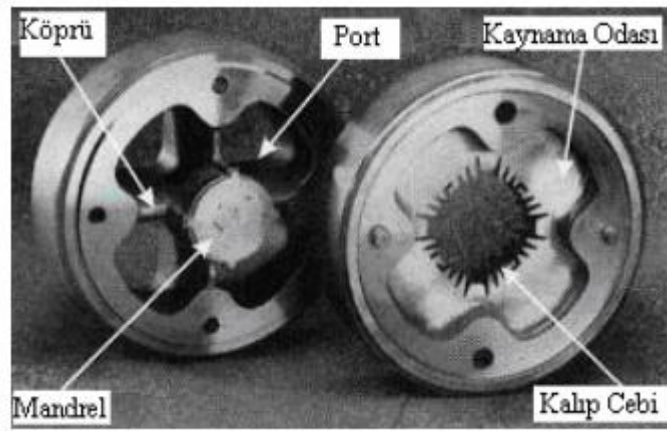
Şekil 3.7. Dolu profiller için düz (katı) kalıp örnekleri (Bingöl, 2006)

### 3.5.4. İçi boşluklu profiller için ekstrüzyon kalıpları

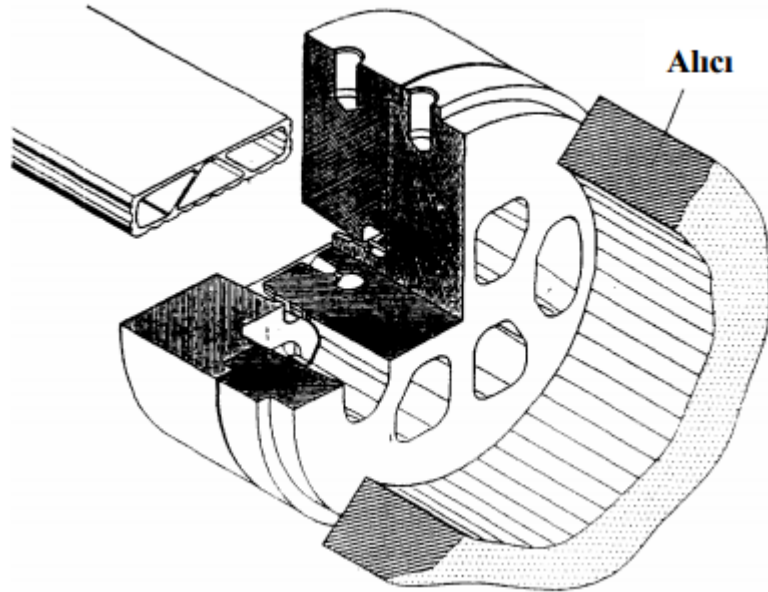
Birçok kompleks şekilli profilleri, doğru kalıp kullanılarak ekstrüzyon yöntemiyle elde etmek mümkündür. İçi boşluklu profillerin ekstrüzyon prosesini gerçekleştirmek için ayaklı (köprülü) ve odacıklara sahip kalıplar kullanılmaktadır. Şekil 3.8., Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da içi boş profil üretimi için gerekli kalıp örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.8. İçi boş profiller için açık (içi boş) kalıp örnekleri



Şekil 3.9. Odalı (porthole) kalıp (Saha, 2000)



Şekil 3.10. Odalı kalıbın şematik görünümü

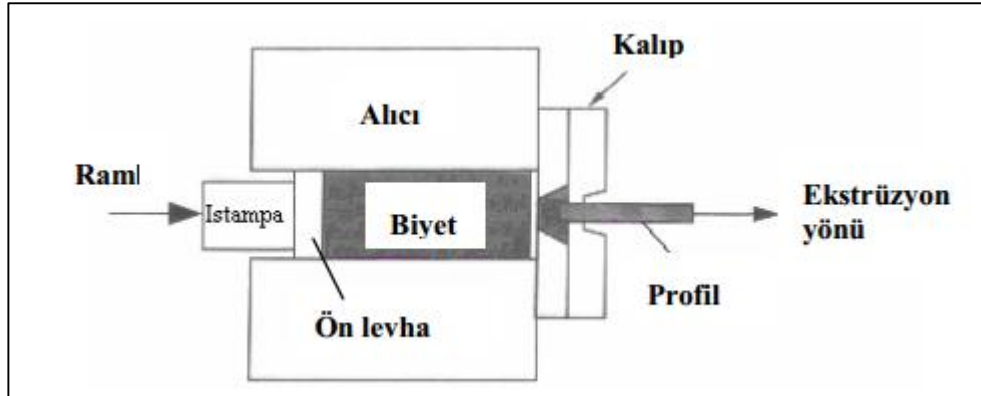
### 3.6. Sürekli Ekstrüzyon

Sürekli ekstrüzyon yöntemi, ekstrüzyon sıcaklığında kolay birleşebilen alaşımlara özgü bir yöntemdir. Bu yöntemle sonsuz boyda imalat yapılabilir.

Ekstrüzyon malzemesi olarak, alüminyum alaşımları (Al99,5, AlMn, AlMgSi0,5, AlMgSi1) kullanılmaktadır. Bu yöntemde ekstrüzyon artığı bir sonraki biyet ile birleşeceğinden hatasız bir birleşme için aşağıdaki şartların yerine getirilmesi gerekir.

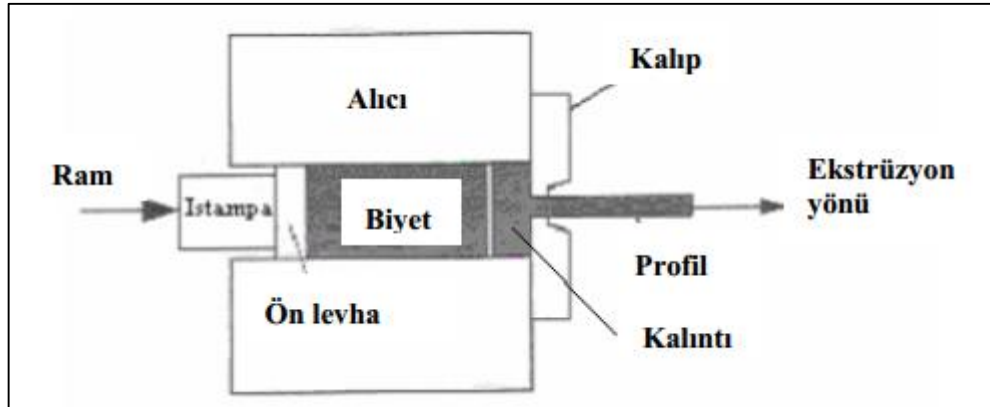
- Şekil değiştirme sıcaklığında iyi bir birleşme özelliği,
- Sıcaklık kontrolünün doğru yapılması,
- Pisliklerden ve yüzey hatalarından arındırılmış biyetlerin kullanılması,
- Kesilmiş ve yağlardan arındırılmış biyet alın yüzeyi,
- Kirli havanın kabarcık ve diğer ekstrüzyon hatalarına neden olmaması için alıcının işlem başlangıcından önce havalandırılması.

Sürekli ekstrüzyon yönteminde geliştirilmiş iki yöntem vardır. Yöntemlerin birinde, ekstrüzyon kalıntısı uzaklaştırılır ve bir sonraki biyet ile birleşme kalıptaki metal kalıntısıyla Şekil 3.11.'deki gibi sağlanır. İkinci yöntemde ise kalıntılı çalışılır, yani bir sonraki biyet diğerinin kalıntısı üzerine Şekil 3.12.'deki gibi basılır.



Şekil 3.11. Sürekli ekstrüzyonda kalıntısız çalışma yöntemi (Saha, 2000)





Şekil 3.12. Sürekli ekstrüzyonda kalıntılı çalışma yöntemi - biyetten biyete ekstrüzyon (Saha, 2000)

### 3.7. Gerdirme ve Kesme İşlemi

Ekstrüzyon işleminden sonra profildeki eğrilik ve çarpıklıkların düzeltilmesi için profil, gerdirme (doğrultma) işlemine tabi tutulur. Gerdirme işleminden sonra kesme işlemi yapılır.

### 3.8. Alüminyum Profillerin Isıl İşlemi

Alüminyum ürünleri üretim sonrası istenilen fiziksel özelliklere sahip olmaları açısından bazı işlemlerden geçirilirler. Genel olarak alüminyum alaşımları iki gruba ayrılırlar:

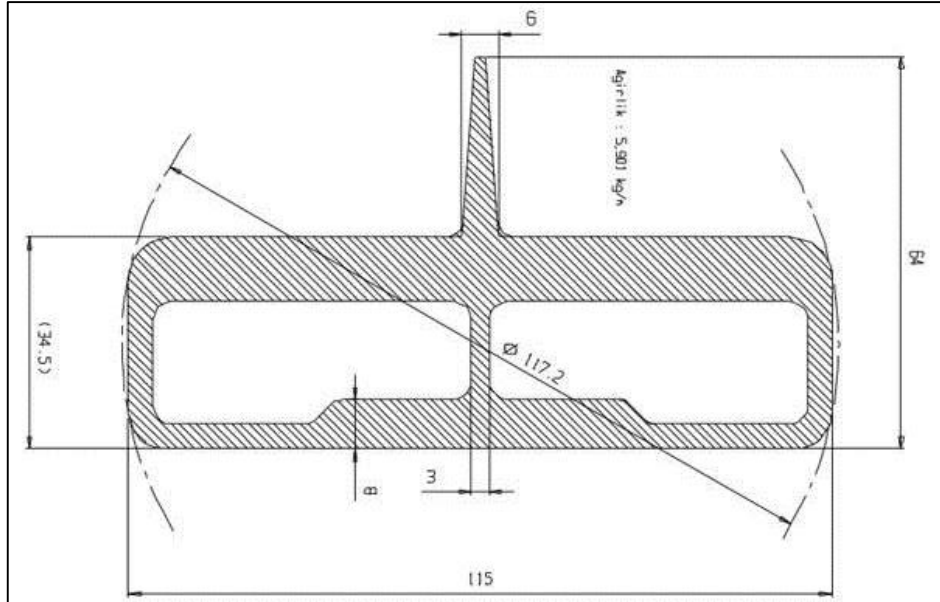
- Isıl işlem uygulanabilir alaşımlar; 2xxx,6xxx ve 7xxx serisi
- Isıl işlem uygulanamayan alaşımlar; 1xxx, 3xxx ve 5xxx serisi

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada içi boşluklu alüminyum profilin, gerçek ekstrüzyon üretim şartlarında yapılarak üretim hızı ve sıcaklık parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Mn ve Cr oranı azaltılmış alaşım ile yüksek Mn ve Cr içeriğine sahip alaşım kullanılmıştır.

### 4.1. Profil ve Malzeme Seçimi

Alüminyum üretiminde genel olarak profil tipleri, içinde odacık olup olmamasında göre belirlenmektedir. Üzerinde çalışma yapılan kalıp, içinde 2 odacık bulunan ve ‘‘kapalı profil’’ olarak adlandırılan profil tipindedir. Çalışmada seçilen profil; 6005A alaşımında direkt ekstrüzyon metoduyla zıvanalı kalıp tekniği ile yapılmış kalıp kullanılarak üretilmiş ve üretimi yapılan alüminyum profil kesiti Şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Alüminyum profil kesiti

Üretimde kullanılan alüminyum alaşımlarının kompozisyonları ve standart aralıkları Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Standart aralıkları TS EN 573-3'e [Alüminyum ve Alüminyum alaşımları kimyasal bileşim standardı] göre belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Standart ve üretimi yapılan 6005A alaşım kompozisyonları

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
6005A (standard)	0,5-0,9	Max. 0,35	Max. 0,3	Max. 0,5	0,4-0,7	0,2	0,1	0,3
6005A - Normal (N)	0,64	0,23	0,04	0,17	0,53	0,01	0,01	0,11
6005A - Yeni (Y)	0,71	0,19	0,005	0,05	0,54	0,01	0,01	0,02

6005A alaşımının TS EN 755-2'ye göre mekanik özellikleri Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. EN AW-6005A [AlSiMg(A)] alaşımının mekanik özellikleri

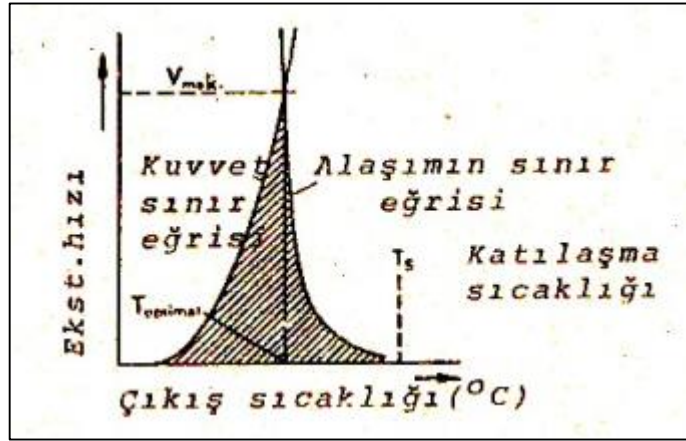
Ekstrüzyonla imal edilmiş profil								
Temper	Et kalınlığı t mm	Rm MPa		Rp Mpa		A % En az	A50mm En az	HBW Tipik Değer
		En az	En çok	En az	En çok			
İçi boş profil T6 <sup>c</sup>	≤ 5	255	-	215	-	8	6	85
	5 < t ≤ 10	250	-	200	-	8	6	85

<sup>c</sup> Özellikler, basınç altında soğutulmuş olarak elde edilebilir.

## 4.2. Ekstrüzyon Değişkenleri

Ekstrüzyon işlemi sonrasında elde edilecek ürün kalitesine; billet sıcaklığı, kovan sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ekstrüzyon hızı, çıkış sıcaklığı büyük ölçüde etki etmektedir. Dolayısıyla özellikle billet, kovan ve kalıbın çalışma sıcaklıklarını ve de zımba hızını çok isabetli seçmek gerekmektedir. Bu değişkenler çıkış sıcaklığını ve dolayısıyla da elde edilen ürünün mikroyapısını belirleyecektir. Üretim sonrası elde edilen ürün, uygun şekilde soğutulup, istenen boylarda kesilerek, ısıtma fırınlarında uygun sıcaklık ve sürelerde tutulmak suretiyle son haline getirilmiş olur.

Ekstrüzyon yönteminde gerekli kuvvet, ekstrüzyon malzemesinin şekil değiştirme mukavemetine bağlıdır. Sıcak şekil değiştirmenin amacı, yüksek sıcaklıklarda ekstrüzyon yaparak malzemenin şekil değiştirme mukavemetini düşürmek ve yüksek şekil değiştirme derecelerine ekonomik açıdan en uygun şekilde ulaşmaktır. Bu durum şekil değiştirme dayanımı yüksek ekstrüzyon malzemelerinde ekstra sıcaklıklar gerektirebilir. Böyle bir sıcak ekstrüzyon işlemi esnasında ekstrüzyon hızına bağlı olarak çubuk çıkış sıcaklığı solidus sıcaklığına yaklaşır ise mamülde sıcak yırtılma ve yüzey pürüzlülüğü tehlikesi ortaya çıkar. Diyagramda; çıkış sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı apsis ve oordinat olarak gösterilecek olursa iki limit eğri Şekil 4.2'deki gibi elde edilir.



Şekil 4.2. Ekstrüzyon hızı için limit eğrileri (Sönmez, 1989)

Bu eğrilerden bir tanesi ekstrüzyon kuvveti limit eğrisi olup, bunun üzerinde şekil değiştirme mümkün olmamaktadır. İkinci eğri metalürjik şartlara bağlı bir sınır durum gösterir ve bunun üzerinde malzeme yırtılır. Bu iki sınır eğrisi arasındaki çalışma sahası ekstrüzyon malzemesinin ekstrüzyonu esnasındaki işletme şartlarını belirler ve özellikle teorik olarak ulaşılabilen en yüksek hız ve buna bağlı olarak optimal çıkış sıcaklığı hakkında bilgi verir.

Ekstrüzyon için gerekli olan kuvveti ve kalıptan çıkan malzemenin kalitesini etkileyen temel değişkenler aşağıdaki gibidir:

- a. Ekstrüzyon oranı

- b. Çalışma sıcaklığı
- c. Deformasyon hızı
- d. Alaşımın akış gerilimi

Çok bölmeli matrislerde ekstrüzyon oranı (ER) aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.1) hesaplanmaktadır.

$$ER \text{ (Ekstrüzyon Oranı)} = \frac{Ac(\text{kovan alanı})}{n \text{ (figür sayısı)} \times Ae \text{ (ekstrüzyon alanı)}} \quad (4.1)$$

Şeklin ekstrüzyon oranı, ekstrüzyon sırasında meydana gelecek mekanik iş miktarının açık bir belirteçidir. Efektif genleme ekstrüzyon oranının bir fonksiyonudur ve sonuç olarak ekstrüzyon etmek için gereken ekstrüzyon basıncı genlemenin bir fonksiyonudur. Profilin ekstrüzyon oranı küçükken plastik genleme miktarı da küçüktür. Sonuç olarak ekstrüzyon sırasında yapılan iş miktarı da düşecektir. Düşük ekstrüzyon oranları ile alüminyum ekstrüzyon edildiğinde yapı alüminyumun ham dökümüne (kaba tane) benzer olacaktır. Bu yapı mekanik olarak zayıf olacak ve bunun sonucu olarak da 10:1'e kadar olan düşük ekstrüzyon oranları için malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri karşılanmayabilir. Ekstrüzyon oranı yüksek olduğunda, durum umulanın tam tersidir. Yüksek miktarlardaki plastik genlemeden dolayı metali kalıp boyunca itmek için gerekli olan ekstrüzyon basıncı daha yüksek olacaktır. Sert alaşımlar için normal bir ekstrüzyon oranı aralığı sanayideki deneyimlerden de yararlanılarak 10:1 dan 35:1 e kadar, yumuşak alaşımlar için ise 10:1 dan 100:1 e kadar olarak tespit edilmiştir. Ancak bu normal limitler mutlak değerler olarak düşünülmemelidir çünkü ekstrüzyonun gerçek şekli sonuçları etkileyecektir.

Ekstrüzyon çoğunlukla sıcak işlem prosesi olarak sınıflandırılır. Sıcak işlem, yeniden oluşma prosesinde eş zamanlı olarak yer alan deformasyon gibi sıcaklık ve genleme hızı koşulları altında deformasyon olarak tanımlanabilir. Ekstrüzyon, oda sıcaklığında yeterli plastisitesi olmayan metal ve alaşımlar için ve aynı zamanda gereken ekstrüzyon kuvvetlerini düşürmek için yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir.

Ekstrüzyonda sıcaklık en önemli parametrelerden biridir. Eğer sıcaklık yükselirse akış gerilimi azalır ve bu yüzden deformasyon daha kolaylaşır fakat aynı zamanda

maksimum ekstrüzyon hızı düşer çünkü yerel sıcaklık henüz başlayan erime sıcaklığını yönetebilir. Ekstrüzyon esnasındaki değişiklikler; billet sıcaklığı, billetten kovana olan ısı transferi ve deformasyon ve sürtünme ile ortaya çıkan ısıya bağlıdır. Gerçek bir alüminyum ekstrüzyon uygulamasında genellikle önceden ısıtılmış kovan içerisine sıcak billet yüklenir yüklenmez ve ekstrüzyon başlar başlamaz çok karmaşık ısıl değişiklikler başlar.

Tez çalışmasında kullanılan kalıp 55MN preste üretimi yapılmıştır. Presin kovan çapı 357 mm'dir. Kullanılan profilin kesit alanı 2177,4 mm<sup>2</sup> 'dir. Kullanılan kalıp tek figürlüdür. Bu verilere göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.2) hesaplanmaktadır.

$$ER \text{ (Ekstrüzyon Oranı)} = \frac{357 \times 357}{1 \times 2177,4} \quad (4.2)$$

ER= % 58 çıkmaktadır.

### 4.3. Profilin Ekstrüzyon Yöntemi İle Üretimi

Üretimde 355 mm çapında (14'') muhtelif boylarda biyetler kullanılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Biyetler dikey döküm tesisinde 20 şer tonluk partiler halinde 7 metre boylarında üretilmiş ve bant tipi homojen fırınında homojenizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Biyetler döküm sonrası homojenizasyon prosesine girmeden önce %100 ultrasonik testten geçirilerek çatlak kontrolü yapılmıştır ve çatlak, boşluk tespit edilmemiştir.

Deneme üretimleri öncesi deney tasarımı yapılmıştır. Tasarıma uygun şekilde üretim parametreleri belirlenmiştir. Tablo 4.3.'de 1 nolu kalıpta yapılan üretim parametreleri görülmektedir.

Tablo 4.3. Üretim parametreleri

Üretim No	Kalıp No	Alaşım	Biyet Adedi	Soğutma Tipi	Ekstrüzyon Hızı (m/dk)
1. Üretim	1 nolu kalıp	6005 – Normal	6	Sprey Su	5-7-9
2. Üretim	1 nolu kalıp	6005 - Yeni	6	Sprey Su	5-7-9
Alaşım		Parça No	Soğutma Tipi	Sıcaklık (°C)	Hız (m/dk)
<b>6005-Normal</b> (Yüksek Mn ve Cr alaşımlı)		N-1	Water Spray	500	5
		N-2	Water Spray	500	7
		N-3	Water Spray	500	9
		N-4	Water Spray	520	5
		N-5	Water Spray	520	7
		N-6	Water Spray	520	9
<b>6005-Yeni</b> (Düşük Mn ve Cr alaşımlı)		Y-1	Water Spray	500	5
		Y-2	Water Spray	500	7
		Y-3	Water Spray	500	9
		Y-4	Water Spray	520	5
		Y-5	Water Spray	520	7
		Y-6	Water Spray	520	9

Ekstrüzyon işlemi; SMS MEER marka önden yüklemeli 5500 ton gücünde 1600 mm boyunda 14” çapında billet ekstrüze edebilme kapasitesine sahip direkt ekstrüzyon presinde yapılmıştır. Ekstrüzyon öncesi billetler çok bölgeli gazlı billet ısıtma fırınında ön ısıtmaya tabi tutularak sıcak kesim makasında istenen boya kesilmiş, daha sonra da 6 ısıtma bölmesine sahip plc kontrollü indüksiyonlu billet ısıtma fırınında konik ısıtma yapılarak nihai sıcaklığına ısıtılmıştır. Billetin prese yükleninceye kadar geçen süredeki sıcaklık değişimleri transfer süresine bağlı olarak hesap edilerek ısıtma derecesi belirlenmiştir.

Odacıklı profilin üretimi zıvana, kalıp, kalıp arkası, bolster ve destek parçasından oluşan (porthole) kalıp setiyle gerçekleştirilmiştir. Kalıp 1,2343, 1,2344 ve 1,2714 kalitesinde sıcak iş takım çeliğinde imal edilerek 46-48 hrc sertliğine kadar sertleştirilmiştir. Üretim öncesi kalıp 450-460 °C sıcaklığına kadar kalıp ısıtma fırınında ısıtılarak üretime alınmıştır.

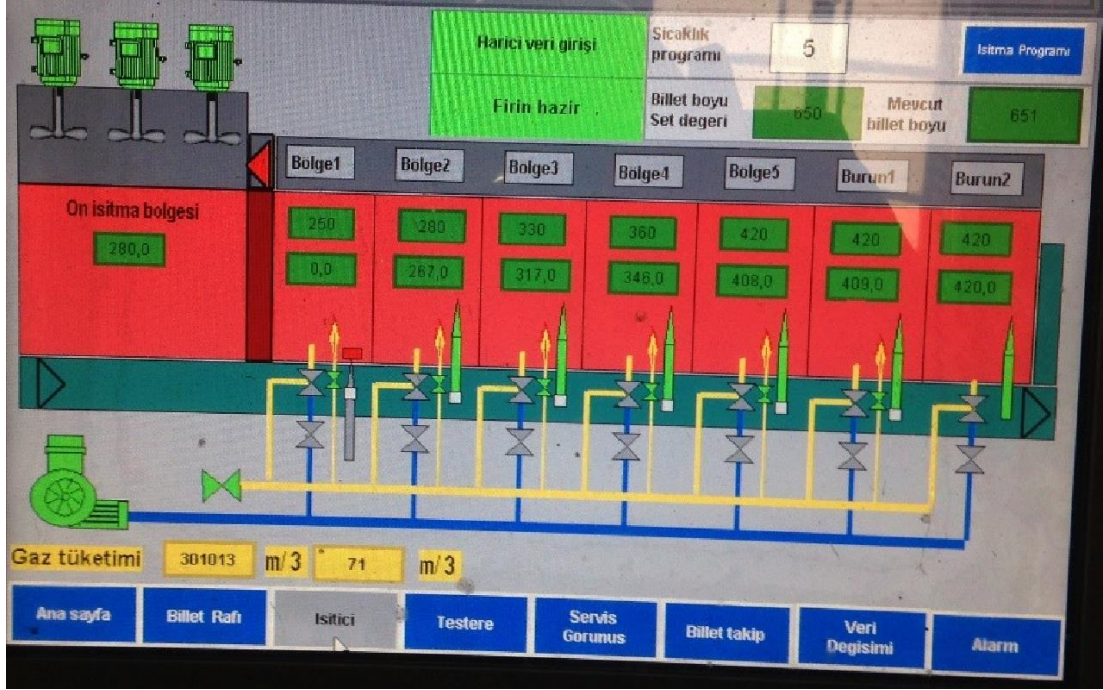
Profil üretiminde kullanılacak kalıp 10 saat boyunca kalıp fırınında ısıtılmıştır. Isıtma işleminden sonra, kalıp takımına yerleştirme görüntüsü ve ölçülen sıcaklık Şekil 4.3.'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Kalıp sıcaklığı görüntüsü

Üretim planına göre ilk 6 biyet 6005A-N alaşımdan, ikinci 6 biyet 6005A-Y alaşımdan gerçekleştirilmiştir. Biyetlerin gaz fırını sıcaklık ölçüm ekranından sıcaklık değerleri okunup Şekil 4.4.'de görüldüğü üzere kayıt altına alınmıştır.





Şekil 4.4. Gaz fırını sıcaklık göstergesi

Pres bilgi ekranından tüm biletler için ayrı ayrı görüntüler alınıp kayıt altına alınmıştır. Örnek olarak Şekil 4.5.'de bilet üretim bilgileri bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Pres bilgi ekranı

Üretim; presin çıkışında bulunan plc kontrollü, iki bölgeci hava ve sprey soğutma kabiliyetine sahip, çepeçevre 10 ayrı sprey nozul hattı olan ve her biri plc kontrollü

oransal valf ile kontrol edilen şok soğutma ünitesiyle gerçekleştirilmiş ve ekstrüzyon sırasında solüsyona alınan profilin minimum çarpılma (distorsiyon) ile uygun soğuma hızlarında soğutulabilmesi sağlanmıştır.

Ekstrüzyonda biyet ısıtma fırınından itibaren biyetin, kovanın, kalıbın, çıkan profilin şok soğutma öncesi ve sonrası sıcaklıkları temaslı termokupllar ve lazer sıcaklık ölçüm cihazlarıyla ölçülerek kaydedilmiştir.

#### **4.4. Metalografik Çalışmalar**

##### **4.4.1. Makro yapı**

Metalografik incelemede her malzeme için farklı sıcaklık ve hız parametreleri uygulanmış numuneler elde edilmiştir. Makro ve mikro yapılarının incelenmesinde numunelerin görüntülerinin fotoğrafları çekilerek yapılmıştır.

Test kalıbı kullanılarak yapılan üretim sonrası her biyetin başından ve sonundan alınan 10'ar cm lik numunelere makro (kostik) dağlama işlemi yapılarak profillerin tane yapıları kontrolü yapılmıştır. Numuneler (%32HCl %32HNO<sub>3</sub>, %32H<sub>2</sub>O, %4HF) bileşimindeki solüsyonla dağlanmıştır.

##### **4.4.2. Mikro yapı**

Isıl işlemleri tamamlanmış olan profillerden mikroyapı incelemesi için numune kesilerek metalografik işlemlere başlanmıştır. Numune alma işleminde ilk kesim testere ile olduğundan dolayı yüzeyde termal deformasyon etkisi oluşturacağı düşünülerek alınan numune tekrar sulu kesme cihazında kesilmiştir. Sulu kesme işleminin yapılma amacı mikroyapı incelemesinde profilin gerçek yapısını ortaya çıkaracak nitelikte numune alınmasıdır. Numune kesme cihazı Şekil 4.6.'da bulunmaktadır.



Şekil 4.6. Numune Kesme Cihazı

- Numune Hazırlama

Alınan numunelerde mikroyapı incelemesi kenar bölgesinden başlayacağından mikroyapı hazırlamasında yüzeyin net incelenmesi yönünden numunelerin kalıplanması uygun olacaktır.

- Bakalite Alma

Numune kalıplamasında 2 çeşit kalıplama sistemi vardır.

a. Sıcak Kalıplama: Alüminyum malzemelerde termal deformasyon yaratacağından kullanılmaması önerilir.

b. Soğuk Kalıplama: Soğuk kalıplamada birden fazla kalıplama hammaddesi vardır. Laboratuvarımızda bulunan soğuk kalıplama reçinesi epofiks marka ile numunelere kalıplama işlemi yapılmıştır.

### - Zımparalama

Zımparalama işleminde yüzey kalitesine bakılarak uygun olan zımpara numarasından başlanır. Bakalite almış olduğumuz numunelerin yüzeyi 500 grit zımpara ile başlamaya uygun olduğundan bu aşamada işleme başlanmıştır. Bir sonraki işlem 1200 grit zımpara son olarakta 2400 grit zımpara ile yüzey hassas bir şekilde hazırlanmıştır. Zımparalama cihazı Şekil 4.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Zımparalama Cihazı

### - Parlatma

Zımparalama işleminden sonraki uygulama yapılacak işlem parlatmadır. Parlatmanın ilk aşamasında 3 mikron elmas süspansiyon ile çuhası kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işleminin gerçekleştiğini görmek için yüzeydeki 2400 grit zımpara izlerinin tamamıyla kaybolmuş olduğunu tespit etmemiz gerekir. Eğer yüzeyde çizik varsa bir önceki işleme tekrar başlanır.

Son parlatmada ise kolledial silika ile çuhası kullanılarak 3 mikrondaki gözle görülmeyecek kadar ince çizikleri ortadan kaybederek mikroskop altında çiziksiz bir yüzey elde edilmiştir. Parlatma işlemi Şekil 4.8.'de gösterilmektedir.



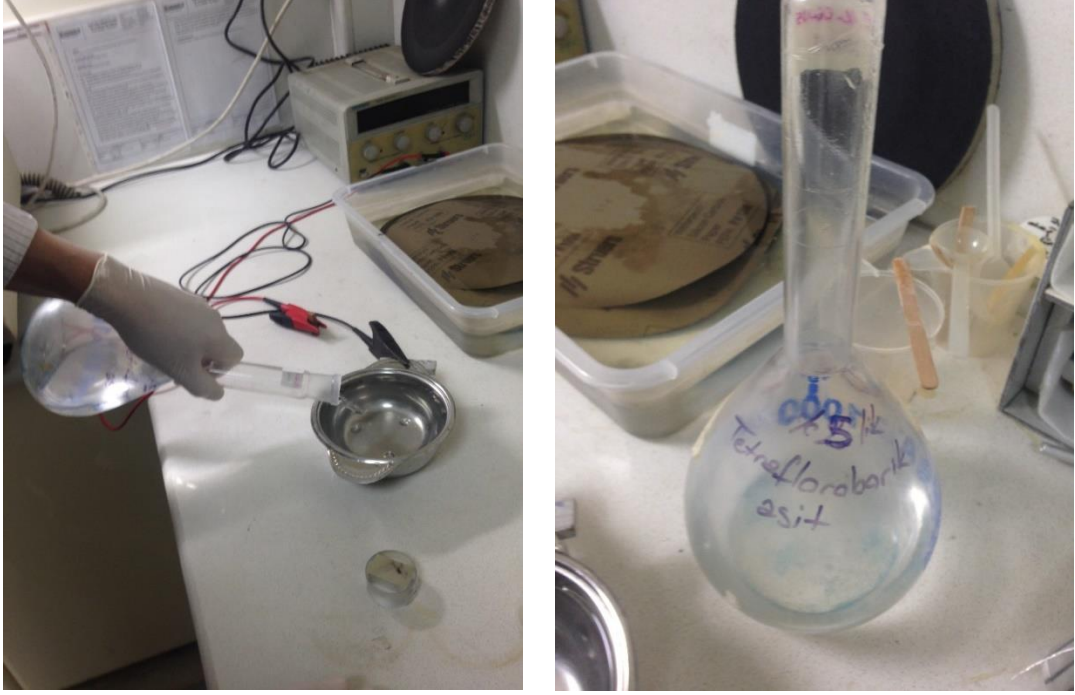
Şekil 4.8. Parlatma İşlemi

- Dağlama

Dağlama işlemi iki çeşit yapılmaktadır.

- a. Manuel dağlama
- b. Elektrolit dağlama

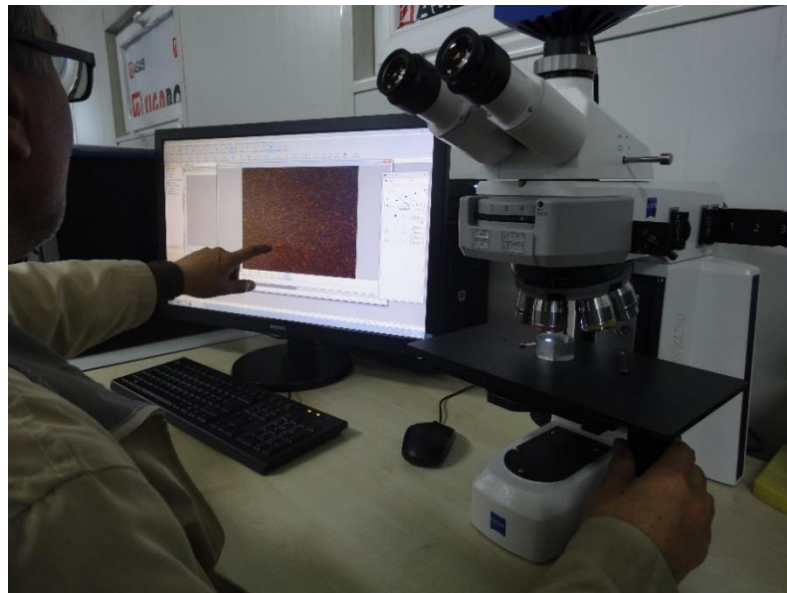
Hazırlanmış olduğumuz numunelerin yüzey incelemesi polarize inceleneceğinden dolayı elektrolit olarak dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işleminde elektrolit cihazı ile dağlama işlemi çözeltisi olarak tetrafloroborik-HBF<sub>4</sub> asit kullanılır. Elektrolitik dağlama işlemi ve dağlama çözeltisi Şekil 4.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Elektrolitik dağlama işlemi

- Numune İnceleme

Numune hazırlama işleminden sonra ZEISS marka Axio Scope Mat model optik mikroskopta numunelerin iç yapılarının görüntüsü çıkarılmıştır. Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de optik mikroskopta yapılan incelemenin görüntüleri görülmektedir.



Şekil 4.10. Optik Mikroskopta Numune İncelenmesi

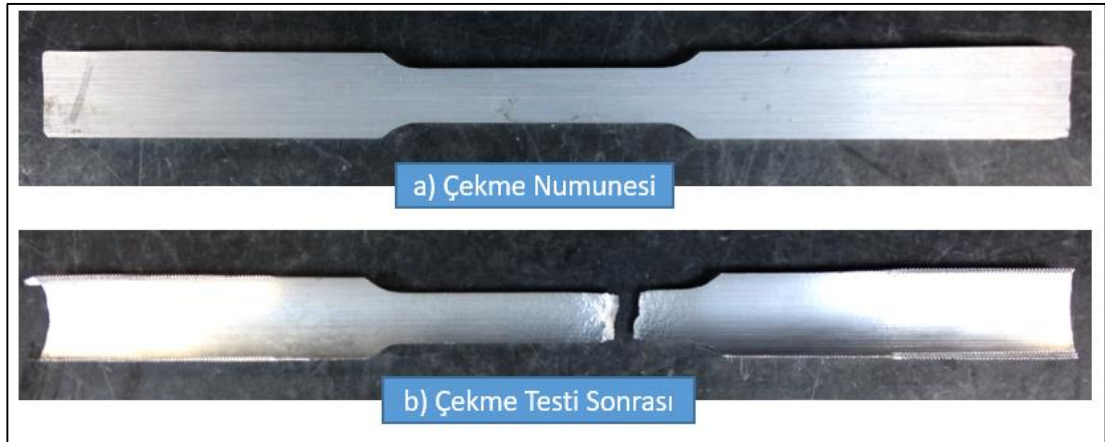


Şekil 4.11. 5X Büyütme Kullanılarak Yapılan İnceleme

## 4.5. Mekanik Deneyler

### 4.5.1. Çekme deneyi

Farklı hız ve sıcaklıklarda ekstrüzyon üretimi yapılmış biyetlerden elde edilen numune parçalar, üçer adet olmak üzere TS EN ISO 6892-1 standardına göre Şekil 4.12.'deki gibi hazırlanılmıştır. Zwick Roell Z250® Çekme Test Cihazı'nda, oda sıcaklığında çekme işlemine Şekil 4.13.'deki gibi maruz bırakılmıştır.



Şekil 4.12. Çekme Testi Numune Görüntüsü



Şekil 4.13. Zwick Roell Z250® Çekme Test Cihazı ve Çekme Testi Yapılmış Numuneler

#### 4.5.2. Sertlik testi

Numuneler EMCO® marka sertlik ölçümleri Şekil 4.14.'deki cihazda HB 2,5/62,5 cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 4.14. Sertlik Ölçüm Cihazı



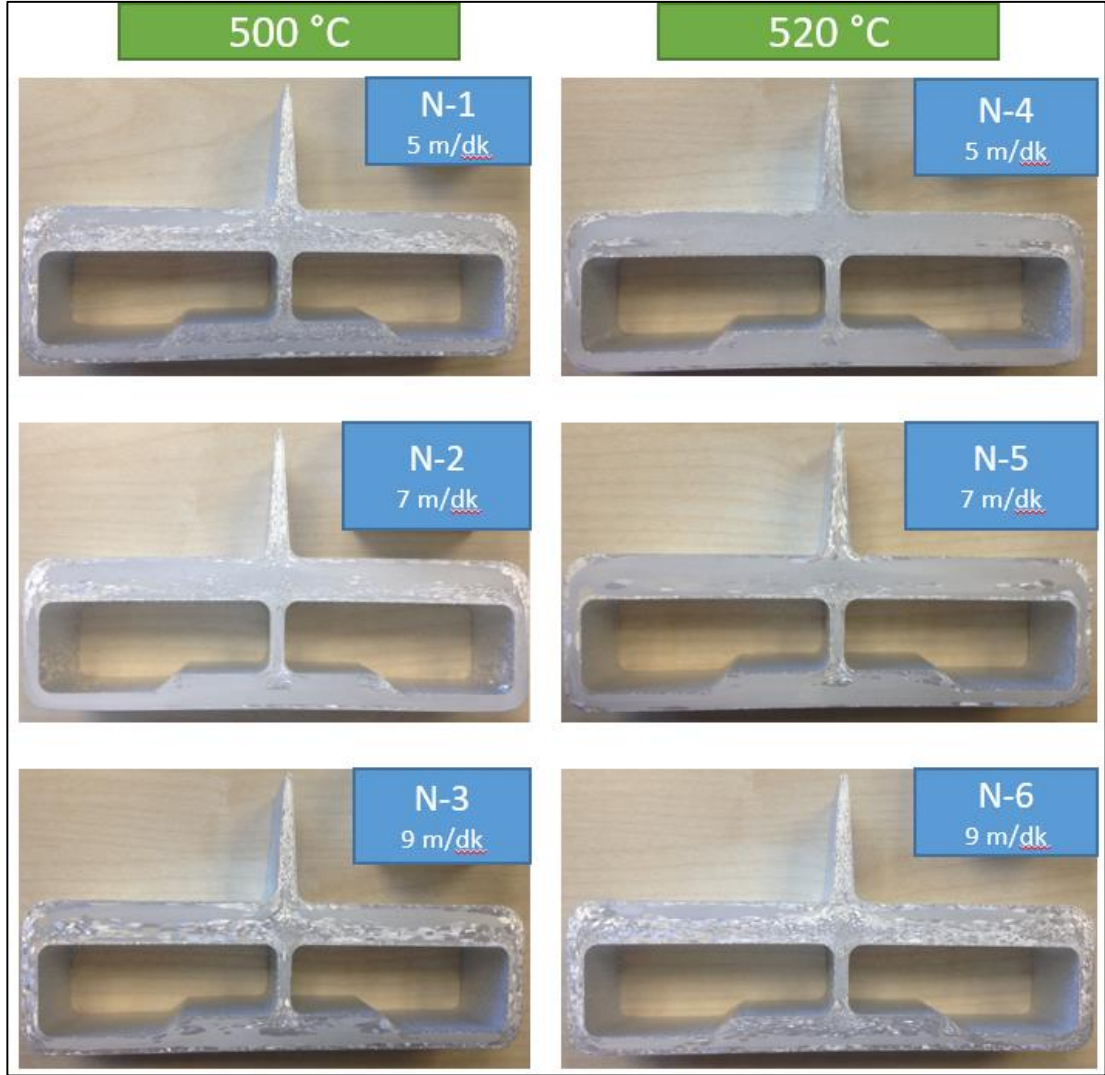
## **BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

### **5.1. Makro ve Mikroyapı İncelemeleri**

Bu çalışmada kullanılan ve kimyasal bileşimleri Tablo 4.1.'de verilen 6005A - Normal (N) ve 6005A – Yeni (Y) alaşımlarının ekstrüzyon sonrası makro yapılarının görüntüleri ve 5X büyütmede mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

#### **5.1.1. Makroyapı incelemeleri**

Makro yapı incelemeleri Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi görsel olarak yapılmıştır.

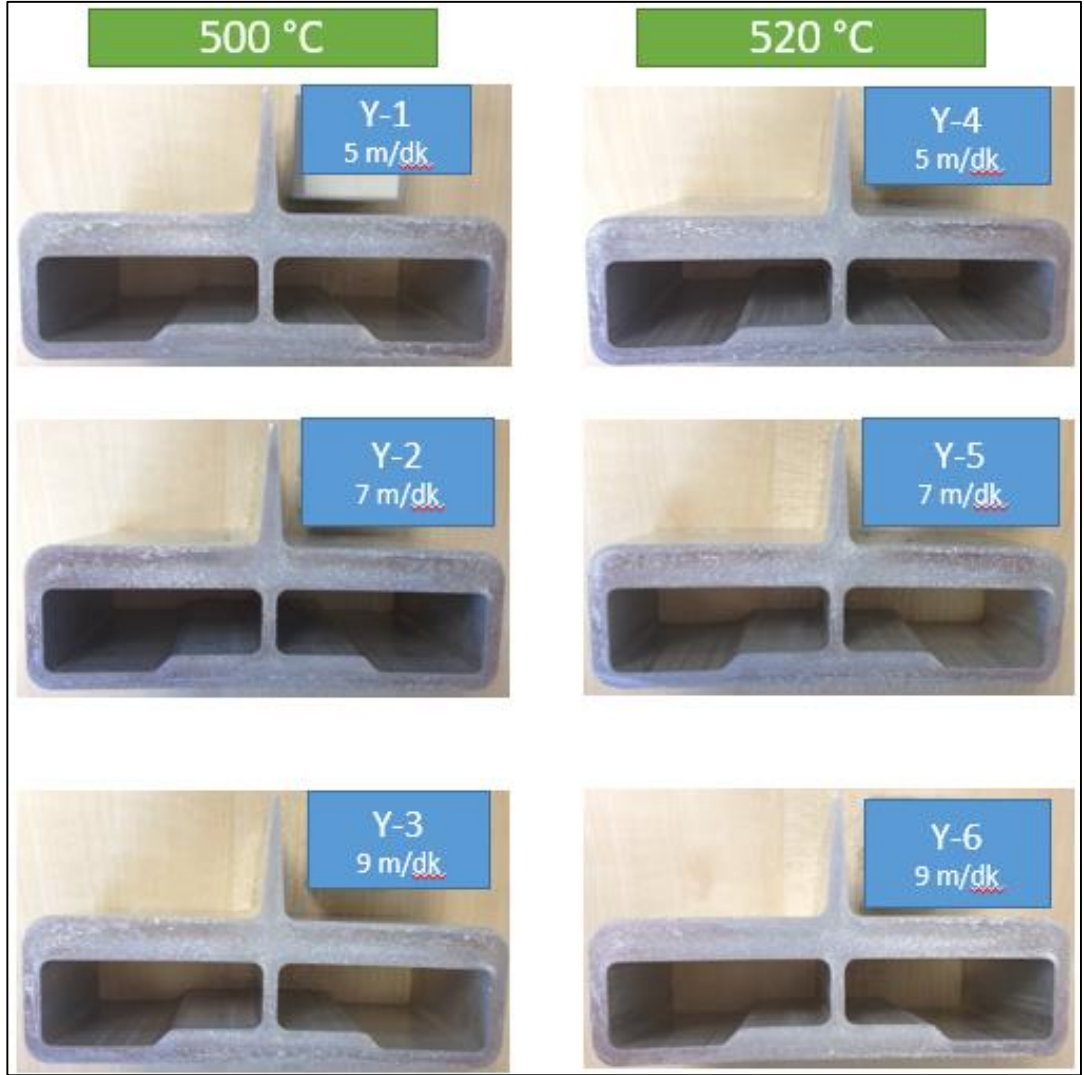


Şekil 5.1. İki farklı sıcaklıkta normal alaşımlı makro yapı görüntüleri

6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] alaşımında 500 °C sıcaklıkta hız arttıkça yeniden kristalleşme tabakasının kenarlarda arttığı görülmüştür. Profilin kesitinde ince taneli yapılar azalmıştır. Tane boyutları artmıştır.

Sıcaklık 520 °C olduğunda aynı hızdaki 500 °C'deki profile göre yeniden kristalleşme tabakası azalmıştır. Tane boyutu daha düşüktür. Ancak hız 9 m/dk olduğunda 500 °C'deki profil ile aynı sonuçlar görülmüştür.

Sonuç olarak düşük hızlarda, biyet sıcaklığı arttığında daha ince taneli (tane boyutu daha düşük) yapı meydana gelmektedir.



Şekil 5.2. İki farklı sıcaklıkta yeni alaşımlı makro yapı görüntüleri

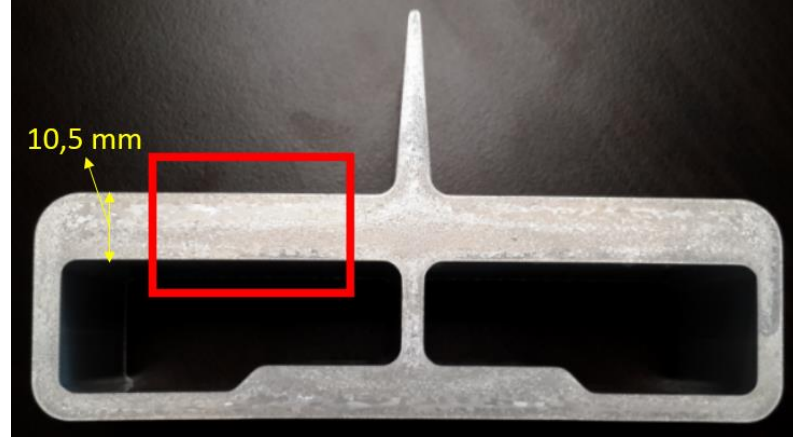
6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük] alaşımda sıcaklık ve hızın tane yapısına etkisi makro olarak çok görülmemiştir.

6005A – Normal alaşıma göre kaba taneli yapı oluşmuştur. Tane boyutları daha yüksektir. Yeniden kristalleşme aşamalarının tamamlanamamış ve yapı kaba taneli görünüme sahip olmuştur.

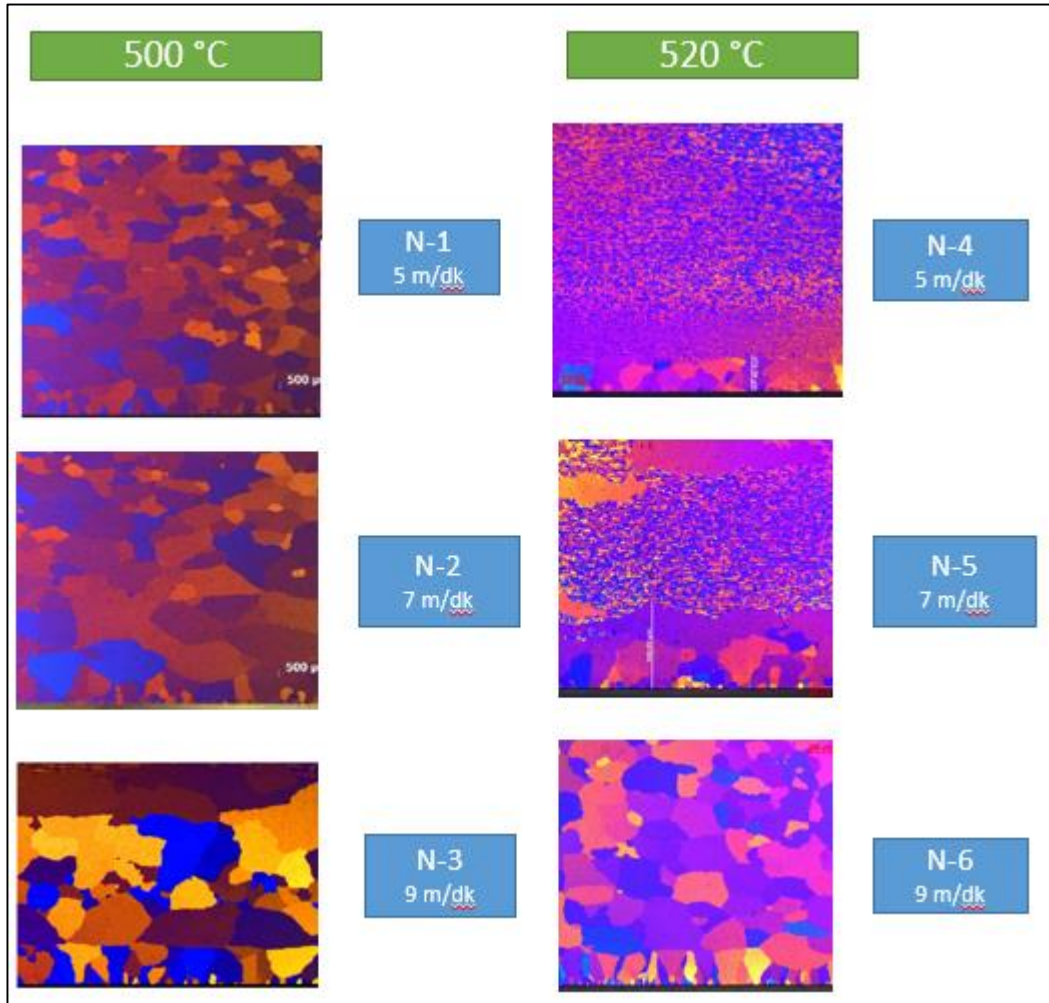
### 5.1.2. Mikroyapı incelemeleri

Mikro yapı incelemesi Şekil 5.3.'de görülen alanların kenar kısmından alınarak yapılmıştır. Ayrıca aynı sıcaklık ve hızda iki farklı alaşımların kenardan

kenara(panoromik) incelemesi de yapılmıştır. Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'de optik mikroskopta elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 5.3. Numune İnceleme Bölgesi



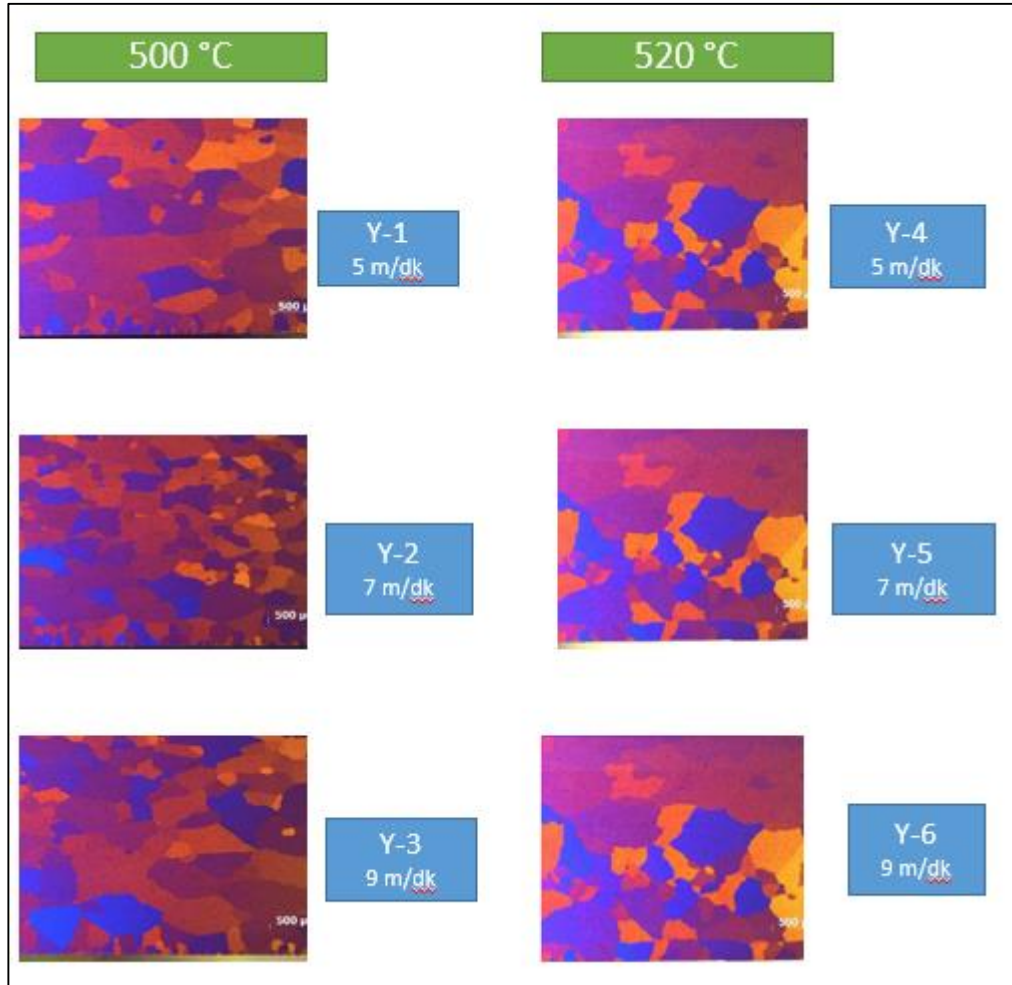
Şekil 5.4. İki farklı sıcaklıkta normal alaşımlı mikro yapı görüntüleri

6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] alaşımında 500 °C'de hız arttıkça kenar bölgelerde tane büyüklüğü artmaktadır.

Sıcaklık 520 °C olduğunda kenar bölgelerde daha ince taneli (düşün tane boyutlu) yapı elde edilmektedir.

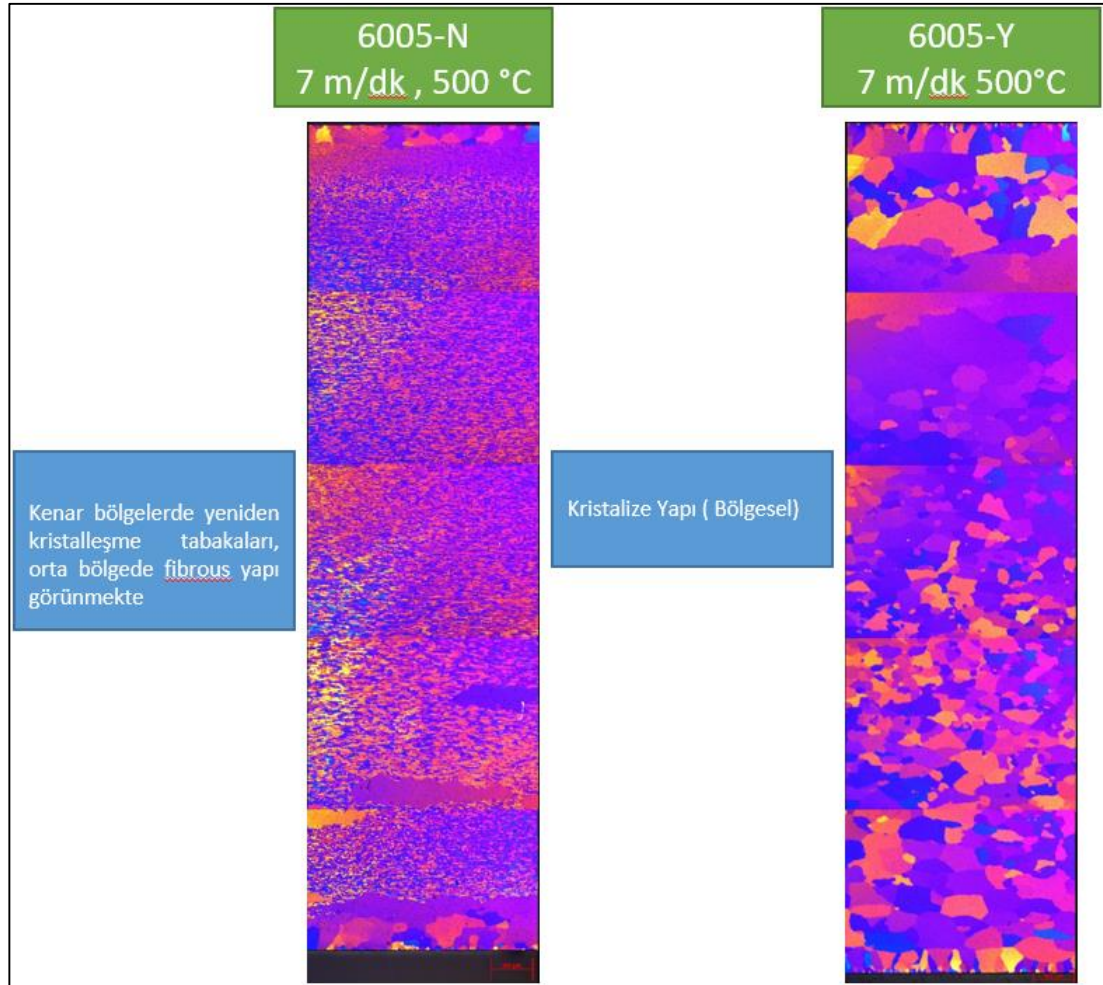
Genel olarak, düşük ekstrüzyon hızları ve yüksek biyet sıcaklıkları daha az yeniden kristalleşme sağlamaktadır. Fibrous bir yapı meydana getirmektedir. Tersine, düşük biyet sıcaklıkları ve yüksek ekstrüzyon hızları tamamen yeniden kristalize bir yapıyı oluşturmaktadır.

Yüksek biyet sıcaklığında yoğun deforme olan bölgelerin rekristalizasyon sonrası toparlandığını ve tane büyümesi gösterdiğini, görece daha az deforme olmuş bölgelerin ise tane kabalaşmasına uğramadığını görebilmekteyiz.



Şekil 5.5. İki farklı sıcaklıkta yeni alaşımlı mikro yapı görüntüleri

6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük] alaşımda sıcaklık ve hızın tane boyutuna etkisi çok fazla olmamıştır.



Şekil 5.6. Panoramik Kesit Görüntüsü (Kenardan Kenara)

Aynı sıcaklık ve hızdan alınan numunelerden panoramik (kenardan kenara) görüntü Şekil 5.6.'dan alınmıştır. 500 °C ve 7 m/dk hızda üretilmiş numuneden alınan görüntüde iki alaşım arasındaki fark daha iyi görülmektedir.

Buna göre Mn ve Cr oranı yüksek alaşımda profil kesitinin orta bölgelerinde fiber yapı görülmektedir [sol görüntü]. Mn ve Cr oranı azaldıkça fiber bölge oranı azalmış rekristalize bölgenin yüzeyden merkeze doğru derinliği artmıştır.

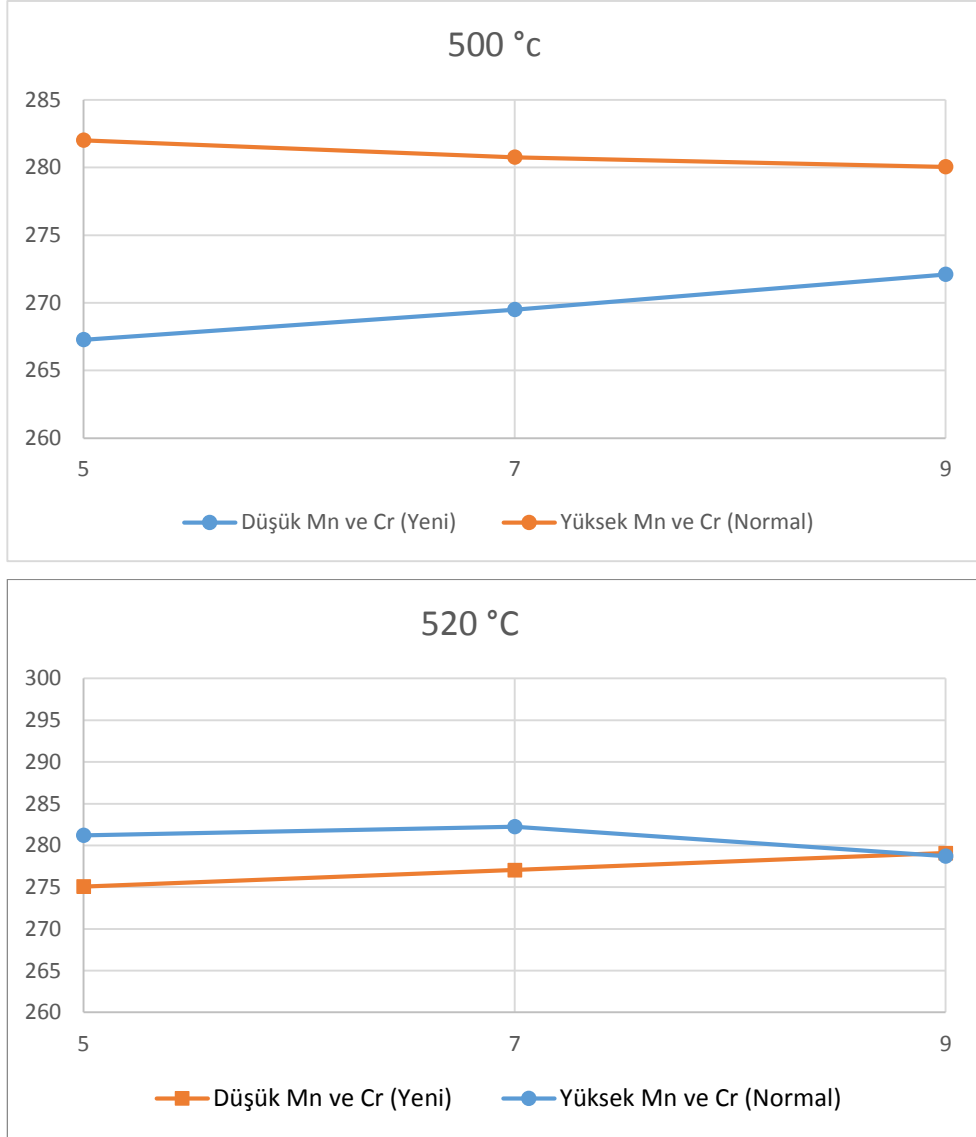
## 5.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Farklı hız ve sıcaklıklarda üretilmiş numunelerin, çekme mukavemeti (MPa), akma mukavemeti (MPa) ve maksimum yüzde uzama (%) testleri sonuçları Tablo 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.1. Çekme, Akma, Uzama ve Sertlik Testleri Sonuçları

Alaşım	Parça No	Çekme (Min.250 Mpa)	Akma (Min.200 Mpa)	Uzama (Min.6)	Sertlik (Min.85 HB)	Sıcaklık (°C)
6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek]	N-5	282,01	265,81	11,04	103	500
	N-7	280,76	263,3	12,14	99	500
	N-9	280,05	261,61	13,54	97	500
	N-5	281,21	263,19	10,94	95	520
	N-7	282,25	263,98	8,36	96	520
	N-9	278,73	263,15	6,59	100	520
Alaşım	Parça No	Çekme (Min.250)	Akma (Min.200)	Uzama (Min.6)	Sertlik (Min.85)	Sıcaklık (°C)
6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük]	Y-5	267,28	253,01	10,16	92,6	500
	Y-7	269,5	263,94	8,63	95,9	500
	Y-9	272,1	270,59	6,52	98,1	500
	Y-5	275,07	263,05	6,39	98	520
	Y-7	277,06	263,01	6,67	100	520
	Y-9	279,08	263,53	7,12	101	520



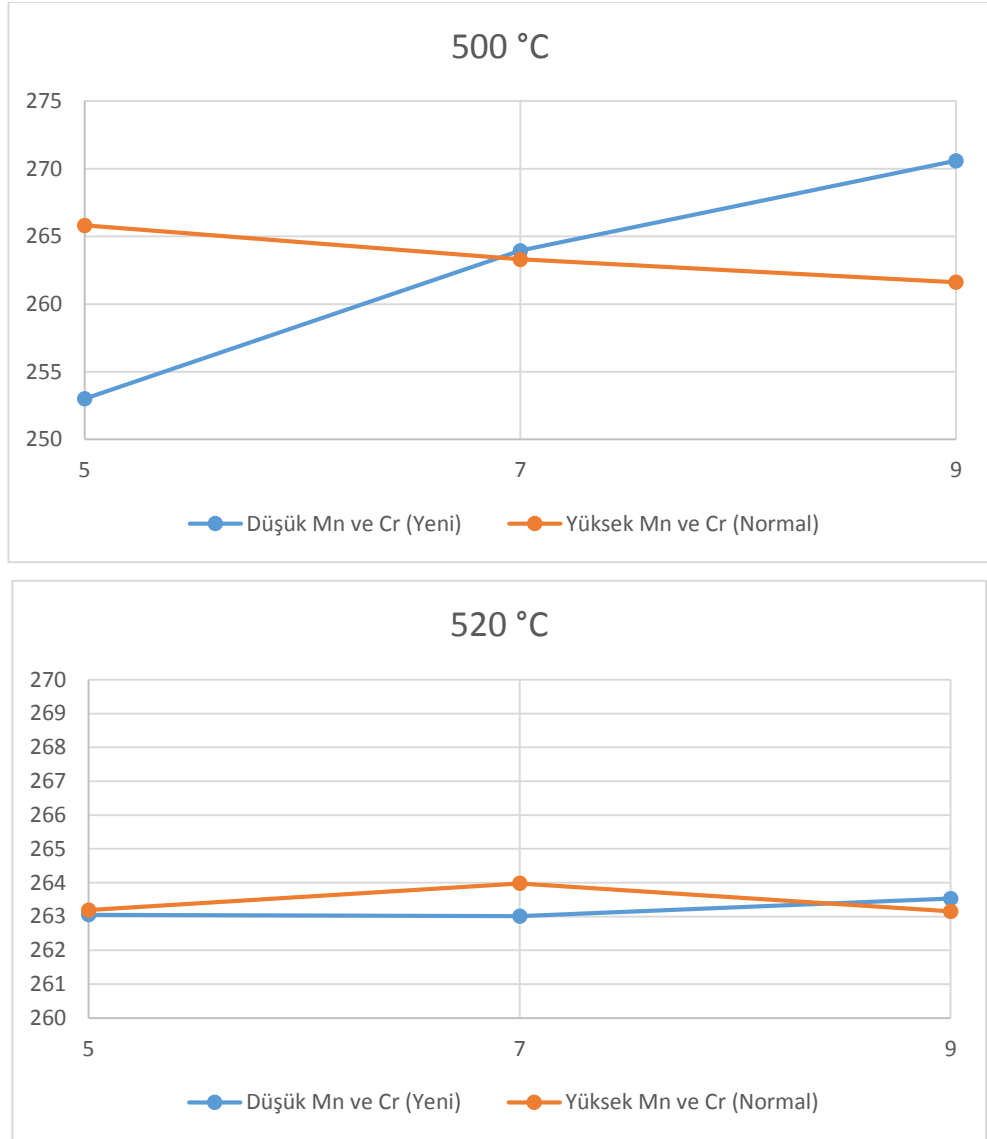


Şekil 5.7. Çekme Mukavemeti (MPa) Sonuçları

Şekil 5.7.'de 6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük] alaşımında 500 °C'de hız arttıkça çekme mukavemeti artmaktadır. Solüsyona alma verimi arttığı için mekanik özelliklerde artış görülmüştür.

6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] alaşımında 500 °C'de az da olsa mukavemet değerleri hızla birlikte düşmektedir.

Sıcaklık 520 °C olduğunda net bir sonuç elde edilememiştir.

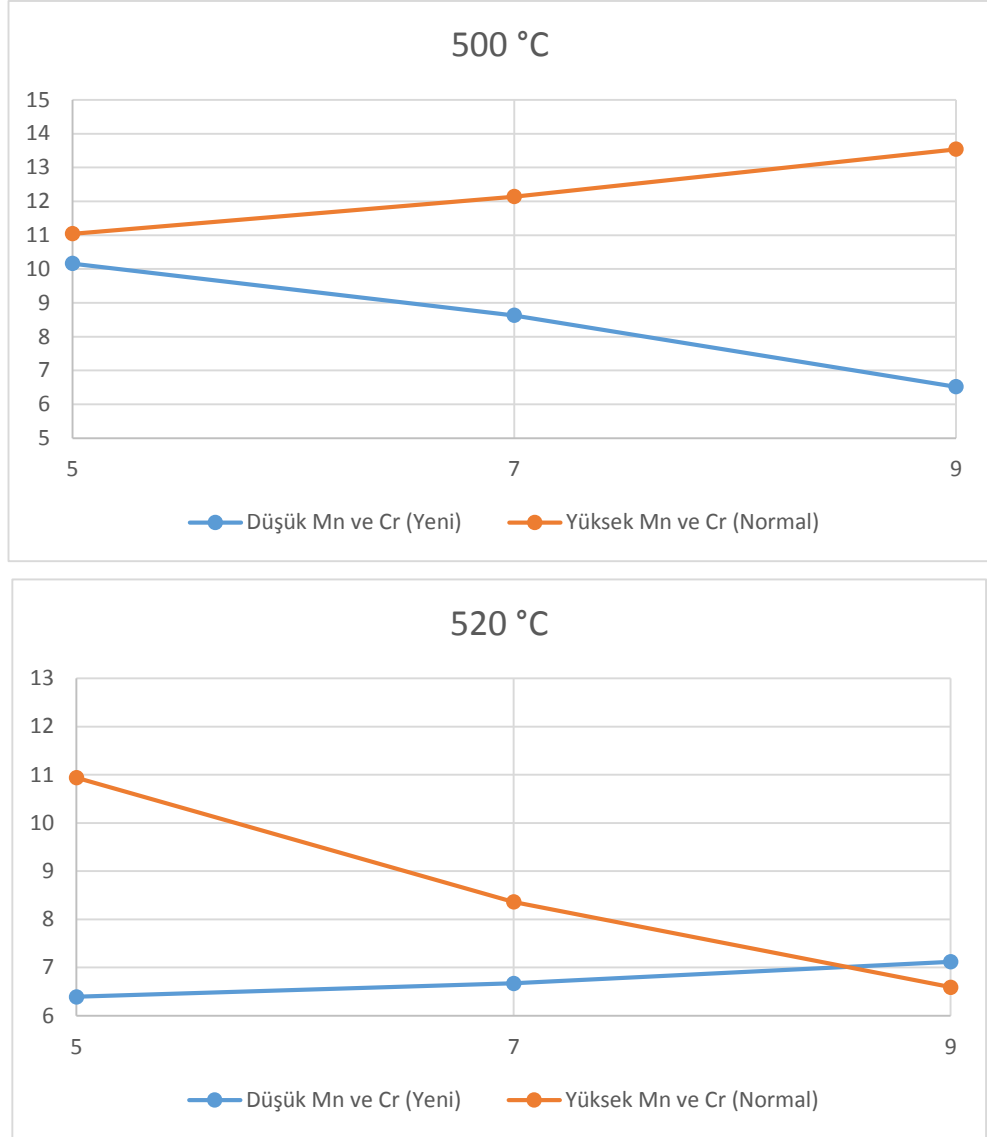


Şekil 5.8. Akma Mukavemeti (MPa) Sonuçları

Şekil 5.8.'de 6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük] alaşımında 500 °C'de hız arttıkça akma mukavemeti artmaktadır.

6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] alaşımında 500 °C'de az da olsa akma mukavemeti değerleri hızla birlikte düşmektedir.

Sıcaklık 520 °C olduğunda net bir sonuç elde edilememiştir.



Şekil 5.9. Yüzde Uzama A% Sonuçları

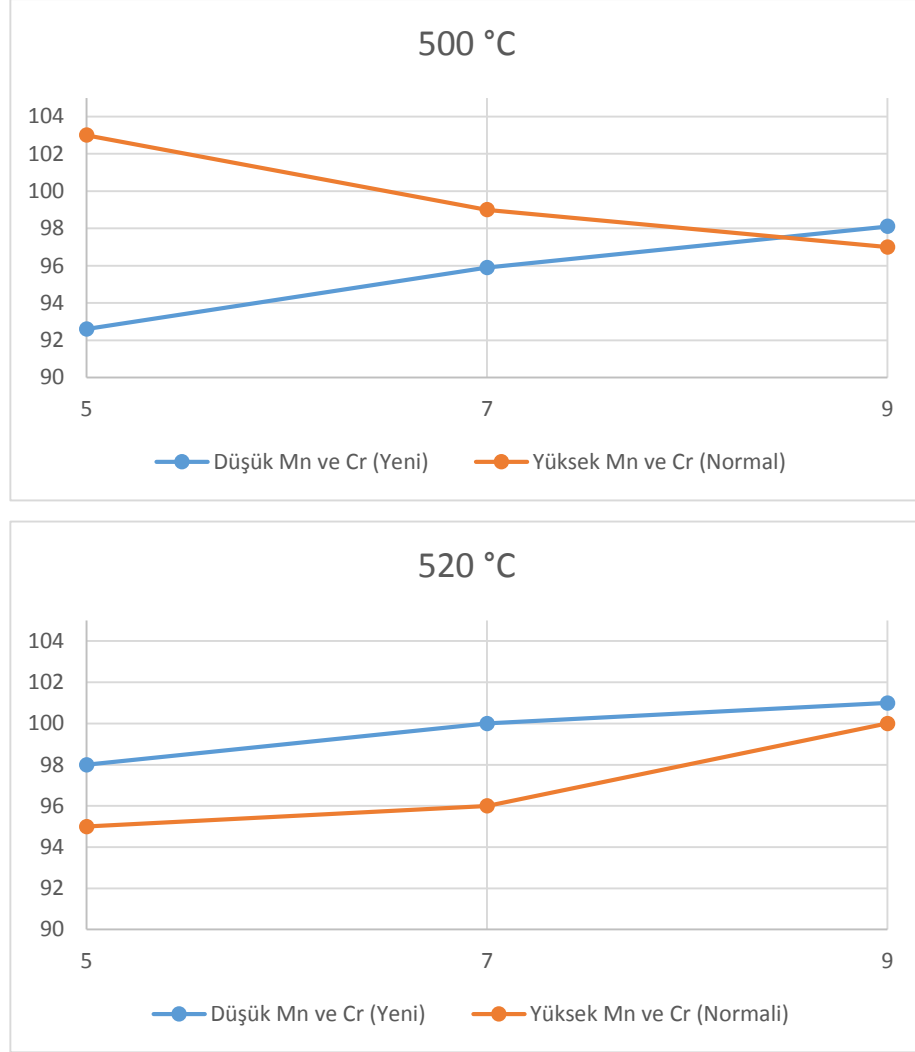
Şekil 5.9.'da 6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük] alaşımda 500 °C'de hız arttıkça uzama değerleri düşmektedir.

6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] alaşımda 500 °C'de hız arttıkça uzama değerleri artmaktadır.

Sıcaklık 520 °C olduğunda, 6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] alaşımda hız arttıkça uzama değerleri düşmektedir.

### 5.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

Sertlik testi sonuçları Şekil 5.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Sertlik (HB) Sonuçları

6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük] alaşımında 500 °C’de hız arttıkça sertlik artmaktadır.

6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] alaşımında 500 °C’de hız arttıkça sertlik azalmaktadır.

Sıcaklık 520 °C olduğunda, her iki alaşımında da hız arttıkça sertlik değerleri artmaktadır.

## BÖLÜM 6. DEĞERLENDİRME VE GENEL SONUÇLAR

Proje kapsamında 6005A - Normal (N), [Mn ve Cr oranı yüksek] ve 6005A – Yeni (Y), [Mn ve Cr oranı düşük] alaşımlı biyetler ekstrüde edildi. Ekstrüzyon üretimi sırasında farklı hız ve sıcaklık uygulanarak malzemenin üretilebilirliği ve malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi araştırıldı. Ekstrüde edilmiş profillere daha sonra mekanik testler (çekme, akma vb.) ve sertlik testleri yapıldı. Ayrıca seçilen numunelere mikro ve makroyapı incelemeleri gerçekleştirildi. Ölçümü yapılan sertlik değerleri, yüzde uzama (A%), akma mukavemeti ( $R_{p0,2}$ ,MPa), çekme mukavemeti ( $R_m$ ,MPa) ve mikro-makroyapı sonuçları proje kapsamında raporlandı. Teorik, literatür ve ekstrüzyon endüstrisinde yaptığım araştırma ve çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yüksek sıcaklıkta (520 °C) çekme mukavemeti değerleri değişmemektedir. Düşük sıcaklıkta (500 °C) yüksek Mn-Cr alaşımlı profillerde çekme mukavemet değerleri düşük Mn-Cr alaşımına göre daha yüksektir.
2. Akma mukavemeti değerlerinde, 500 °C’de hız arttıkça alaşım tipleri ters orantı göstermekte olup, düşük Mn ve Cr alaşımlı profillerin değerleri artmaktadır. Sıcaklık 520 °C olduğunda net bir sonuç elde edilememiştir.
3. Uzama değerlerinde, 500 °C’de düşük Mn-Cr alaşımlı profillerde uzama değerleri artan hızla birlikte düşmektedir. Yüksek Mn-Cr alaşımlı profiller ise artmaktadır.
4. Sertlik değerleri, 500 °C’de artan hız ile birlikte düşük Mn-Cr alaşımlı profillerde artmakta, yüksek Mn-Cr alaşımlı profillerde azalmaktadır. Sıcaklık 520 °C olduğunda her iki alaşımın sertlik değerleri artmaktadır.
5. Artan sıcaklık ile birlikte merkezdeki tanelerin tane boyutlarının düştüğünü, yüzeydeki tanelerin de çok az da olsa arttığı görülmüştür. Alaşım elementi olarak Mn ve Cr azaldıkça rekristalize bölgenin yüzeyden merkeze doğru derinliği artmıştır. Mn ve Cr azaldıkça fiber bölgenin oranı azalmıştır.

## KAYNAKLAR

- Akolkar, R., Wang, Y.-M., & Kuo, H.-H. (2007). Kinetics of the electrolytic coloring process on anodized aluminium. *Journal of Applied Electrochemistry*, 37: 291-296.
- Altenpohl, D. (1982). *Aluminum Viewed from Within*. Düsseldorf: Aluminum-Verlag, 2-3.
- ASM Metals Handbook. (1990). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys*. USA: ASM International.
- Bayram, H. (2008). Ekstrüzyon Yönteminde Sıcaklık, Ekstrüzyon Hızı ve Sürtünme Parametrelerin Profil Kalitesine Etkisinin Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bingöl, S. (2006). Çeşitli Ekstrüzyon Şartlarında Üretilen Alüminyum Alaşımı Ürünlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Çapan, L. (1999). *Metallere Plastik Şekil Verme*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- Darıdereli, Y. (2010). Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapı, Mekanik Özellikler ve Aşınma Direncine Yaşlanmanın Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Parson, N., & Maltais, A. (2012). The Influence of Die Bearing Geometry on Surface Recrystallisation of 6xxx Extrusions. *Proceedings of the Tenth International Aluminum Extrusion Technology Seminar ET2012*, s. 19-32.
- Saha, P. (2000). *Aluminium Extrusion Technology*. Ohio: ASM International, The Materials Information Society.
- Saral, R. (2005). Alüminyum Ekstrüzyonunda Proses Kontrol. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul: Makina Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Taban, E., & Kaluç, E. (2005, Şubat 1). EN AW-5083-H321 Alüminyum Alaşımının MIG, TIG ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme (FSW) Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özellikleri. *Mühendis ve Makina*, s. 40.
- Turhan, S. (2002). Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Uğurlu, H. H. (2009). Titanyum ile Alüminyum - Magnezyum - Silisyum Alaşımlarının Yapı Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Ulucak, T. (2016). AA 6063 Alüminyum Ekstrüzyon Alaşımının Metalurjisi.  
<http://www.aluminyumsanayi.com/6063metalurji.htm>, Erişim Tarihi:  
15.11.2016.

## ÖZGEÇMİŞ

Timuçin Sebiboğa, 30.09.1989'da Sakarya'da doğdu ve büyüdü. İlköğretim, ortaöğretim ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2007 yılında Şehit Üsteğmen Selçuk Esedoğlu Lisesi'nden mezun oldu. Lisans eğitimine 2008 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında tamamladı. 2015 yılında Asaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'de proje mühendisi olarak çalışma hayatına başladı. Aynı yıl yüksek lisans eğitimi için Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne başladı.