

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA
PROSES KONTROL**

Makina Mühendisi Rüştü SARAL

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ.....	xiv
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ.....	1
2 EKSTRÜZYON.....	2
2.1 Ekstrüzyonun Tanımı	2
2.2 Ekstrüzyonun Temel Çeşitleri	2
2.2.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi.....	3
2.2.2 İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi	5
2.2.3 Püskürtmeli Ekstrüzyon Yöntemi.....	7
2.2.4 Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi	8
3 ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUMUN EKSTRÜZYONU	11
3.1 Alüminyumun Özellikleri.....	11
3.1.1 Atom Yapısı ve Kristal Kafesi.....	13
3.1.2 Fizikokimyasal Özellikleri	13
3.1.2.1 Yoğunluk	13
3.1.2.2 Ergime Noktası	14
3.1.2.3 Kaynama Noktası	14
3.1.2.4 Isı İletkenliği.....	14
3.1.2.5 Viskozite ve Yüzey Gerilimi	14
3.1.2.6 Elektrik İletkenliği.....	15
3.1.2.7 Ergime Isısı.....	15
3.1.2.8 Özgül Isı ve Entropi.....	15
3.1.3 Mekanik Özellikler	16
3.2 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	16
3.3 Alüminyum Profillerin Sınıflandırılması.....	17
3.4 Alüminyum Ekstrüzyon Proseslerinin Sınıflandırılması	20
3.4.1 Direkt Ekstrüzyon.....	20
3.4.2 Alüminyum Alaşımlarının Sürekli Ekstrüzyonu	20
3.5 Alüminyum Ekstrüzyonunda Plastik Deformasyon ve Malzeme Akışı.....	22
4 ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA PROSES KONTROL	28

4.1	Ekstrüzyon Değişkenleri.....	31
4.2	Billet Değişkenleri.....	39
4.2.1	Hammadde.....	39
4.2.2	Döküm.....	39
4.2.2.1	Şarj Malzemesinin Hazırlanması.....	40
4.2.2.2	Ergitme ve Tutma.....	41
4.2.2.3	Gaz Giderme.....	42
4.2.2.4	Tane İnceltme.....	44
4.2.2.5	Filtreleme.....	45
4.2.2.6	Düşey Sürekli Döküm.....	47
4.2.2.7	Billet Döküm Parametreleri.....	49
4.2.2.7.1	Döküm Sıcaklığı.....	50
4.2.2.7.2	Döküm Hızı.....	50
4.2.2.7.3	Billet Kalıbının Tipi.....	51
4.2.2.7.4	Metal Yüksekliği.....	52
4.2.2.7.5	Su Akış Hızı.....	52
4.2.3	Homojenizasyon ve Soğutma.....	52
4.2.3.1	Homojenizasyon.....	52
4.2.3.2	Soğutma.....	57
4.2.3.2.1	Sürekli Soğutma.....	59
4.2.3.2.2	Adım Soğutma.....	62
4.2.3.3	Soğuma Hızının Mekanik Özellikler ve Ekstrüzyon Parametrelerine Etkisi.....	65
4.2.4	Billet Kesme.....	70
4.2.5	Yüzey İşleme.....	71
4.2.6	Billet Değişkenleri İçin Proses Kontrol.....	71
4.3	Matris Değişkenleri.....	74
4.3.1	Matris Tipi.....	75
4.3.1.1	Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri.....	75
4.3.1.2	İçi Boş Profiller İçin Matrisler.....	79
4.3.1.2.1	Köprülü Matrisler.....	79
4.3.1.2.2	Spider Matrisler.....	80
4.3.1.2.3	Odalı (Porthole) Matrisler.....	81
4.3.2	Matris Dizaynı.....	86
4.3.3	Matris Değişkenleri İçin Proses Kontrol.....	89
4.4	Pres ve Yardımcı Ekipmanlara Ait Değişkenler.....	95
4.4.1	Direkt Ekstrüzyon Presleri.....	96
4.4.2	Pres Seçimi.....	98
4.4.3	Ram Hızı.....	100
4.4.3.1	Ram Hızı ve Ekstrüzyon Hızının Kontrolü.....	107
4.4.4	Pres Bileşenleri ve Yardımcı Ekipmanlar.....	111
4.4.4.1	Konteynır.....	112
4.4.4.2	Istampa.....	114
4.4.4.3	Matris Kaydırıcı ve Döner Matris Başlığı.....	116
4.4.5	Pres ve Yardımcı Ekipmanlara Ait Değişkenler İçin Proses Kontrol.....	126
5	ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA HATALAR.....	135
5.1	Ölçü Hataları veya Şekil Bozuklukları.....	135
5.2	Yapısal İz, Yapısal Çizgi Hataları.....	135
5.3	Profil Yüzeyinde Enine Çizgiler.....	136
5.4	Ekstrüzyon Esnasında Kesintili Olarak Meydana Gelen Enine Çizgiler.....	136

5.5	Kırılan Yüzey veya Sıcak Yırtılmalar	136
5.6	Matris Çizgileri veya Pislik Çizgileri	137
5.7	Profil Yüzeyindeki Kabarcıklar	137
5.8	Profilin Yüzeyinin Kat Kat Olması veya Yabancı Madde İhtivası	138
5.9	Kaynama Çizgisi veya Kaynama Hatası	139
5.10	Portakal Kabuğu Görünümü Hatası	139
5.11	Dalgalanma ve Esneme Şeklindeki Hatalar	139
5.12	Dönüklük ve Doğruluktan Sapma Hataları	139
5.13	Keskin Köşelerin Oluşması Şeklindeki Hatalar	139
5.14	İstenmeyen Keskin Köşeler	140
5.15	Profil Yüzeyinde Lekeler Oluşması	140
5.16	Sürtme Hataları	140
5.17	Karbon İzleri Şeklindeki Hatalar	140
5.18	Sıcak Sürtme Sonucu Oluşan Hatalar	140
5.19	Ezilme Şeklindeki Hatalar	141
5.20	Derin Çizgiler Şeklindeki Hatalar	141
5.21	Ekstrüzyon Kaynaklı Yüzey Hataları	141
5.21.1	Kaynama Çizgisi	141
5.21.2	Pullanma, Galvaniz Etkisi, Kristalleşme	141
5.21.3	Yüzeylerde Pürüzlenme Etkisi	142
5.21.4	Yüzeylerde Renk Ayrımı	142
5.21.5	Soğuma Lekesi Görünümleri	142
5.21.6	Atmosferik Korozyon (Karıncalanma)	142
5.21.7	Metal Akışına Bağlı Matris Çizgileri	142
5.21.8	Kaba Yüzey Çizgileri	143
5.21.9	Profil Yapısına Bağımlı Çizgiler	143
5.21.10	Kabuk Bölgesi Çizgileri	143
5.21.11	Kaba Tane Bandı	144
5.21.12	Takoz Arkası Hataları	144
5.21.13	Kesişen Kaynama Çizgileri	144
6	UYGULAMA	146
6.1	Alaşım Detayları	146
6.1.1	Alaşımın Uygulama Alanı	146
6.1.2	Alaşım Özellikleri	146
6.1.2.1	Alaşım Bileşenleri	146
6.1.2.2	Dayanım Özellikleri	147
6.1.2.3	Fiziksel Özellikler	147
6.1.2.4	Ekstrüzyon Özellikleri	148
6.1.2.4.1	Ön Tavlama	148
6.1.2.4.2	Malzeme Akışı	148
6.1.2.4.3	Soğutma	148
6.1.2.5	Isıl İşlem Özellikleri	148
6.2	Problem Tanımı ve Çözüm Yolları	150
6.2.1	Problem Tanımı	150
6.2.2	Çözüm Yolları	152
6.2.2.1	Araştırma Sonuçları	152
6.2.2.1.1	Standart Billet Kontrolü	152
6.2.2.1.2	Profil Parçalarının İncelenmesi	153
6.2.2.1.3	Ara İş Parçasının İncelenmesi	157

6.2.2.1.4	İlave Bilgiler	159
7	SONUÇLAR.....	162
	KAYNAKLAR.....	163
	ÖZGEÇMİŞ.....	166

SİMGE LİSTESİ

A°	Amstrong
A_C	Konteynırın alanı
A_E	Ekstrüzyon alanı
A_P	Ekstrüzyon ürününün son kesit alanı
L	Ekstrüzyon edilen uzunluk
n	Çok bölmeli matrıste simetrik hollerin sayısı
P	Ekstrüzyon basıncı
P_c	Özgöl basınç
P_m	Ana Ram üzerine uygulanan maksimum basınç
T_P	Çekme gerilimindeki artış
V_E	Ekstrüzyon hızı
V_P	Çekme hızı
V_R	Ram hızı
X	Ram yer değiştirmesi
Z	Ara iş kalınlığı
α	Ölü metal bölgesi yarı açısı
$\bar{\varepsilon}$	Deformasyon (genleme) miktarı
$\dot{\varepsilon}$	Deformasyon (genleme) hızı
ΔL	Ekstrüzyon boyundaki artış
σ	Gerilme
$\bar{\sigma}$	Ortalama akış gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

DC	Direct Chill
EDM	Elektrikli Deşarj Makinesi
ER	Ekstrüzyon oranı
FEM	Sonlu Elemanlar Metodu
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Ekstrüzyon prensibi (Saha, 2000).	2
Şekil 2.2 Direkt ekstrüzyon (Van Horn, 1967).	4
Şekil 2.3 Direkt ve indirekt ekstrüzyon proseslerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi (Saha, 2000).	5
Şekil 2.4 İndirekt ekstrüzyon (Van Horn, 1967).	7
Şekil 2.5 Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemlerinin şematik gösterimi; (a) ileriye püskürtme, (b) geriye püskürtme, (c) karışık püskürtme (Sönmez, 1989).	8
Şekil 2.6 Hidrostatik ekstrüzyon donatımı (Sönmez, 1989).	9
Şekil 3.1 Alüminyum kristal kafesi elementel küpünün yapısı (Sezer, 1975).	13
Şekil 3.2 Alüminyum kristal kafesi elementel küpündeki iyon dizilişi (Sezer, 1975).	13
Şekil 3.3 Ergimiş alüminyumun viskozitesi (Sezer, 1975).	15
Şekil 3.4 Ekstrüzyon yoluyla üretilen çeşitli alüminyum profiller (Saha, 2000).	19
Şekil 3.5 Yığıma esnasında havanın dışarı akması (Saha, 2000).	21
Şekil 3.6 Sürekli tip ekstrüzyonda kaynak plakası matrisin önünde kullanılmaktadır (Metot 1) (Saha, 2000).	21
Şekil 3.7 Billet billete ekstrüzyon (Metot 2) (Saha, 2000).	22
Şekil 3.8 Ekstrüzyonda gözlemlenen dört değişik akış tipinin şematik görünüşü (Saha, 2000).	23
Şekil 3.9 Ekstrüzyondan sonra ara işe ait boylamasal kesit. (a) 7075 alaşımına ait tipik bir dağlanmış ara iş kesiti. (b) Ara iş kesitinin şematik görünümü ile ölü bölge (Saha, 2000).	25
Şekil 3.10 Ekstrüzyon oranı ile yarı ölü metal bölgesi açısı arasındaki ilişki (Saha, 2000).	26
Şekil 3.11 Ölü bölge ve ara iş kalınlığı arasındaki ilişki (Saha, 2000).	27
Şekil 4.1 Ekstrüzyon kalitesine etki eden değişkenler (Saha, 2000).	29
Şekil 4.2 Yumuşak alüminyum alaşımı ile ekstrüzyon yapan fabrikaların temel proses adımlarını içeren fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).	30
Şekil 4.3 Daha sert alüminyum alaşımları ile ekstrüzyon yapan fabrikaların temel proses adımlarını içeren fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).	30
Şekil 4.4 Daha sert alüminyum alaşımları ile ekstrüzyon yapan fabrikaların temel proses adımlarını tavlama prosesi ile birlikte içeren fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).	31
Şekil 4.5 Ekstrüzyon hızı için limit eğrileri (Sönmez, 1989).	32
Şekil 4.6 Temel değişkenlerin ekstrüzyon üzerindeki etkisi (Saha, 2000).	35
Şekil 4.7 Düşey sürekli döküm prosesinin fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).	40
Şekil 4.8 Bir atmosfer hidrojen basıncındaki alüminyumun hidrojen çözünürlüğü (Demircioğlu, 2002).	42
Şekil 4.9 SNIF gaz giderme sisteminin şematik görünüşü (Saha, 2000).	44
Şekil 4.10 Billet dökümünde oluşan farklı tane yapıları (Saha, 2000).	44
Şekil 4.11 Sıvı alüminyumun filtrelenmesinde kullanılan üç tip seramik filtre: preslenmiş, köpük ve ekstrüde edilmiş filtreler. Her biri 55x55x13 mm boyundadır. Pres filtrede 367 delik var, delik boyutu 2.28mm. Köpük filtre 25 gözenek/in ² 'e sahip. Ekstrüde filtre 300 hücre/in ² 'ye sahip (Zalensas, 1986).	46
Şekil 4.12 Wagstaff düşey sürekli döküm makinesi (www.wagstaff.net, 2004).	49
Şekil 4.13 Döküm sıcaklığının tane boyutuna etkisi (Motegi vd., 2002).	50
Şekil 4.14 DC dökümde kullanılan farklı kalıp tasarımları (Granger, 1989).	51
Şekil 4.15 Billetin kalitesine etki eden başlıca değişkenler (Saha, 2000).	52
Şekil 4.16 Homojenizasyon sıcaklığından soğutma hızının çökelen Mg ₂ Si partiküllerinin boyutuna etkisi (Ulucak, 2003).	58

Şekil 4.17 580 °C’de 6 saat homojenleştirme işlemi uygulanan 6063 alaşımı billetin 200 °C’ye farklı hızlarda soğutulması sonucu Mg ₂ Si çökeltilerinin boyut ve dağılımı: (a) 2000 °C/saat, (b) 800 °C/saat, (c) 400 °C/saat, (d) 200 °C/saat, (e) 100 °C/saat, (f)30 °C/saat ve (g)12°C/saat (Biol, 2004).....	60
Şekil 4.18 580 °C’de 6 saat homojenleştirme işlemine tabi tutulan ve 12-200 °C/saat arasında farklı hızlarda soğutulan 6063 alaşımı numunelerin DSC taraması. Isıtma hızı 20°C/dak (Biol, 2004).....	61
Şekil 4.19 580 °C’de 6saat homojenleştirme işlemine tabi tutulan numunelerin (a) 450°C, (b) 400°C, (c) 350°C, (d) 300°C, (e) 250 °C, (f) 200 °C’de adım soğutulmaları sonucu Mg ₂ Si çökeltilerinin dağılımı (Biol, 2004).	63
Şekil 4.20 580 °C’de 6 saat homojenleştirilen numunelerin 450-200 °C arasında adım soğutulan numunelerin DSC analizi. Isıtma hızı 20 °C/dak (Biol, 2004).....	64
Şekil 4.21 Soğutma uygulamalarının ve deformasyon sıcaklıklarının AA6063 alaşımı billetin akma gerilimi üzerindeki etkisi (Zajac vd., 1996).....	65
Şekil 4.22 Isıtma hızı ve tutma süresinin AA6063 alaşımı billetin akma gerilimi üzerindeki etkisi (Zajac vd., 1996).	66
Şekil 4.23 Soğutma koşullarının ve ön ısıtma sıcaklıklarının yaşlandırmadan sonra sertlik üzerindeki etkisi (Zajac vd., 1996).	67
Şekil 4.24 Seçilen bir bileşim için en yüksek ekstrüzyon hızının homojenleştirmeden sonraki soğuma hızı ile değişimi (Onurlu,1993).....	68
Şekil 4.25 Yapay yaşlandırma ısıl işleminde sıcaklık ve sürenin AA 6063 ekstrüzyon ürünlerinin akma dayanımı değerine etkisi (Ulucak, 2003).....	70
Şekil 4.26 DC billet döküm değişkenlerinin tipik akış diyagramı (Saha, 2000).	73
Şekil 4.27 Farklı kesit kalınlıklı profilde malzeme akışını dengelemek amacıyla kalın kısımların matris çevresine ve ince kısımların matris merkezine gelecek şekilde yerleştirilmesi (Sönmez, 1989).....	76
Şekil 4.28 Çok delikli profil matrislerinde delik yerlerinin tayini (Sönmez, 1989).....	76
Şekil 4.29 Üç parçadan oluşan ön odalı matris (Sönmez, 1989).....	76
Şekil 4.30 Profil ağırlık merkezi ile matris ağırlık merkezinin çakışması (Sönmez, 1989).....	77
Şekil 4.31 Simetrik bir profilin matris yüzeyindeki dizaynı (Sönmez, 1989).....	77
Şekil 4.32 Hatalı ve hatasız matris dizaynında ölübölgenin durumu ve mamülde meydana gelen hata (Sönmez, 1989).....	77
Şekil 4.33 Dolu bir profil için tipik ekstrüzyon matrisi (Van Horn, 1967).	78
Şekil 4.34 Takım taşıyıcısı içinde ekstrüzyon matrisi ve takım montaj hali (Van Horn, 1967).	78
Şekil 4.35 Besleyici plakalı matris.(a) Bütün matris seti.(b) Matris ve destek (Saha, 2000)...	78
Şekil 4.36 Köprülü matrisler (Sönmez, 1989; Bingöl, 2001).....	79
Şekil 4.37 İki parçalı spider matris: a) matris alt parçası, b) matris üst parçası, c) matris alın yüzeyi, d) A-A kesiti, e) matris kanal uzunlukları, f) matris boşluğunun kesiti, g) profil kesiti (Bingöl, 2001).....	80
Şekil 4.38 Spider matris: a) spider matris için takım tertibi, b) bir tip spider matris (Sönmez, 1989).	81
Şekil 4.39 Odalı matris: a) çok parçalı ve çok delikli odalı matris, b) odalı matris (Sönmez, 1989).	82
Şekil 4.40 Borular ve boş profillerin ekstrüzyonu için tipik odalı matrisler (Van Horn, 1967).	83
Şekil 4.41 Yayıcı plakalı takım tertibi (Sönmez, 1989).	83
Şekil 4.42 Odalı matrisin şematik görünümü (Bingöl, 2001).	84
Şekil 4.43 Köprü,odacıklar, mandrel, kaynak odası ve matris şapkasına sahip tipik bir odalı matris (Saha, 2000).	84
Şekil 4.44 Kritik bir profilin odalı matrisi (Saha, 2000).	84

Şekil 4.45 Odalı ekstrüzyonda kullanılan ve alıcı, odacıklar, mandrel, kaynak odası ve matris yatağının gösterildiği takım (Jo vd., 2002).	85
Şekil 4.46 Boru üretiminde kullanılan odalı matrisin metal akışına ait 3-D şematik diyagram (Jo vd., 2002).	85
Şekil 4.47 Odalı matris ekstrüzyonunun prosedürü: a) bölünme aşaması, b) kaynak aşaması, c) şekillenme aşaması (Jo vd., 2002).	85
Şekil 4.48 Matris yatağındaki boğaz ve boşluk açıları: a) Yatağın ön tarafındaki boğaz açısı. b) Yatağın arka veya çıkış tarafındaki arttırılmış boşluk açısı (Saha, 2000).	88
Şekil 4.49 Matris imalat aşamaları ve prosesleri (Saha, 2000).	89
Şekil 4.50 Matris değişkenlerine ait akış diyagramı (Saha, 2000).	94
Şekil 4.51 Alüminyum ekstrüzyon ürünlerinin çıkış tablası üzerinde görünüşü (Saha, 2000).	95
Şekil 4.52 Direkt ekstrüzyon presinin şematik görünümü. 1: Karşı plaka, 2: Matris kaydırıcı veya döner matris başlığı, 3: Kesici, 4: Konteynır, 5: Hareketli piston yatağı, 6: İstampa, 7: Silindir piston yatağı, 8: Yağ tankı ve hareket kontrol üniteleri (Saha, 2000).	96
Şekil 4.53 Merkezi kontrol masasından idare edilen, modern, 3465 tonluk (31,5 MN) bir ekstrüzyon presi. 1) Düz billetler için konteynır ve ekstrüzyon ıstampası. 2) İki parçalı lineer billet yükleyicisi (Saha, 2000).	96
Şekil 4.54 Tabana oturtulan, ses geçirmez pompa sistemi. 1) Prese ait yağ tankının üzerindeki pompalar (Saha, 2000).	97
Şekil 4.55 Dikişsiz borular ve boşluklu profiller için direkt ekstrüzyon presinin şematik görünüşü. 1: Karşı plaka, 2: Matris kaydırıcı veya döner matris başlığı, 3: Kesici, 4: Konteynır, 5: Hareketli piston yatağı, 6: İstampa, 7: Mandrel, 8: Delici, 9: Silindir piston yatağı, 10: Yağ tankı ve hareket kontrol üniteleri (Saha, 2000).	97
Şekil 4.56 Direkt ekstrüzyon presinin spesifikasyonları (Saha, 2000).	99
Şekil 4.57 6063 alüminyum alaşımının iki değişik billet uzunluğu için ram hızı ile birlikte çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).	101
Şekil 4.58 6063 alüminyum alaşımında matris yatağının iki değişik yüzey durumu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).	101
Şekil 4.59 6063 alüminyum alaşımında matris geometrisinin iki değişik dış çevre koşulu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).	102
Şekil 4.60 6063 alüminyum alaşımında sabit ekstrüzyon oranı için elde edilen ekstrüzyon hızı ile maksimum sıcaklık yükselişinin simülasyondan sağlanan billet ve tecrübelerden sağlanan billetle karşılaştırılması (Saha, 2000).	103
Şekil 4.61 Aynı ram pozisyonunda biraraya getirilen değişik ram hızları için basınçların şematik gösterimi (Saha, 2000).	105
Şekil 4.62 İki değişik ekstrüzyon oranı için ram hızları ile ekstrüzyon basıncının değişimi (Saha, 2000).	105
Şekil 4.63 Kademeli değişen ve sabit ram hızlarının ekstrüzyon ürününde sıcaklık artışı üzerine etkisi (Chanda vd., 2001).	107
Şekil 4.64 Kademeli ram hızı değişimi esnasında ram ilerlemesinin bir fonksiyonu olarak basıncın değişimi (Chanda vd., 2001).	107
Şekil 4.65 Besleyici plakalı matris ve çekici sistem kullanılan ekstrüzyonun başlangıcını gösteren şema (Saha, 2000).	108
Şekil 4.66 Ekstrüzyon hız modeli (Saha, 2000).	109
Şekil 4.67 Aynı billet sıcaklığı ve ram hızı ve değişik ekstrüzyon oranı için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).	110
Şekil 4.68 Aynı ekstrüzyon oranı ve ram hızı vefarklı billet sıcaklıkları için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).	110

Şekil 4.69 Aynı ram hızı ve ekstrüzyon oranı için değişik billet sıcaklıkları ile ivmelenme eğrisinin eğiminin değişimi (Saha, 2000).	111
Şekil 4.70 Dikdörtgen konteynır ile ıstampa ve billet yükleyici (Saha, 2000).	113
Şekil 4.71 Direkt pres, uçakların alüminyum iniş takımları için dikdörtgen konteynırdan imalat gerçekleştirmekte (Saha, 2000).	113
Şekil 4.72 Konteynır ısısının çok bölgeli kontrolü (Saha, 2000).	114
Şekil 4.73 Yardımcı bloğa ait tipik bir dizayn.a) Ön levha ve kavraması.b) ıstampa ve tutturulmuş ön levha (Saha, 2000).	115
Şekil 4.74 ıstampa çabuk değiştirme aygıtı (Saha, 2000).	115
Şekil 4.75 Matris taşıyıcısı.a) Matris kaydırıcısı.b) Döner matris başlığı (Saha, 2000).	116
Şekil 4.76 Tam bir kesme işlemini sağlamak için matris konumlandırma aygıtı (Saha, 2000).	117
Şekil 4.77Kutucuklu tip matris ısıtıcı (Saha, 2000).	117
Şekil 4.78 Prese bağlanan yardımcı ekipmanlar (Saha, 2000).	118
Şekil 4.79 İndüksiyon ısıtıcısı ve sıcak kütük kesme (Saha, 2000).	118
Şekil 4.80 Kütük ısıtma, gaz alevli ocak (Saha, 2000).	119
Şekil 4.81 Sıcak kütük kesme (Saha, 2000).	119
Şekil 4.82 Sıcak kütük kesme işleminden sonra gerçekleşen soğutma (Saha, 2000).	119
Şekil 4.83 Birden çok bölümleri olan matris ocakları (Saha, 2000).	120
Şekil 4.84 Çok odalı matris fırını (Saha, 2000).	120
Şekil 4.85 Profiller için özel, su spreylı soğutma sistemi (Saha, 2000).	121
Şekil 4.86 Sıcak kesme ve çekici mengenerleri gösteren çıkış ekipmanları.1) Sıcak şekillendirici testere.2) Çekiciler (sıkıştırıcılar açık).3) Profilleri kavramış çekiciler (Saha, 2000).	122
Şekil 4.87 Çift çekici sistem ve havada sıcak kesme.1) Çift çekicili sistem (Saha, 2000).	122
Şekil 4.88 Gerdirici başlığı ve gövdesi.1) Gerdirici başlığı (Saha, 2000).	123
Şekil 4.89 Kesme aleti ve boşaltma bantları.1) Kesme, merdaneli tabla ve profillerin transportu.2) Birikmiş profillerin tam bir şekilde konumlandırılabilmesi için ayarlanabilir kesici teması.3) Profil teması ile kesme ve boşaltıcı bantlar (Saha, 2000).	123
Şekil 4.90 Otomatik profil gruplayıcısı.1) Profil gruplayıcısı profilleri haznede biriktiriyor (Saha, 2000).	124
Şekil 4.91 Prodüktivite kontrol sistemine ait fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).	125
Şekil 4.92 Gerdirme ve kesme değişkenleri için akış diyagramı (Saha, 2000).	129
Şekil 4.93 Yumuşak ekstrüzyon alaşımlarının ısıl işlem değişkenleri için akış diyagramı (Saha, 2000).	130
Şekil 4.94 Sert ekstrüzyon alaşımlarının ısıl işlem değişkenleri için akış diyagramı (Saha, 2000).	132
Şekil 4.95 Sert alaşımların tavlama prosesi için akış diyagramı (Saha, 2000).	133
Şekil 5.1 Eloksal işlemi esnasında ortaya çıkan atmosferik korozyon lekeleri (AYİD, 2004).	144
Şekil 5.2 Konveyörde oluşan hatanın eloksalda ortaya çıktığı durum (AYİD, 2004).	144
Şekil 5.3 Titanyum askı kullanılmasında galvanik tesir dolayısıyla boyanmamış bölgeler (AYİD, 2004).	145
Şekil 5.4 Eloksalda ortaya çıkan, presteki soğuma hatası izleri (AYİD, 2004).	145
Şekil 5.5 Köprülü matrislerde kaynama hatası (AYİD, 2004).	145
Şekil 5.6 Matris çizgileri (AYİD, 2004).	145
Şekil 5.7 Hammadde korozyonu dolayısıyla beyaz aşındırılmış bölgeler (AYİD, 2004).	145
Şekil 6.1 Değişik sıcaklıklarda uygulanan suni yaşlandırmadan sonra alaşıma ait çekme gerilimi değerleri.	149
Şekil 6.2 Değişik sıcaklıklarda uygulanan suni yaşlandırmadan sonra alaşıma ait akma	

gerilimi değerleri.....	149
Şekil 6.3 Değişik sıcaklıklarda uygulanan suni yaşılandırma sonrası alaşıma ait uzama değerleri.	150
Şekil 6.4 Hatalı ürüne ait örnek.....	151
Şekil 6.5 Hatalı ürüne ait örnek.....	151
Şekil 6.6 Hatalı ürüne ait örnek.....	151
Şekil 6.7 Alınan billet dilim örneğine ait mikroyapı (500x, üstte) ve ters segregasyon bölgesi (100x, altta).	153
Şekil 6.8 Profildeki kraterlerin görünümü (1,6x).	154
Şekil 6.9 Profildeki kabarcıkların görünümü (1,6x).....	154
Şekil 6.10 Profilin hata alanı boyunca enine kesiti (50x üstte, 500x altta).	155
Şekil 6.11 Profilin hata alanı boyunca boyuna kesiti (50x üstte, 500x altta).	156
Şekil 6.12 Profilin hata alanı boyunca boyuna kesiti (50x).....	157
Şekil 6.13 Ara iş parçasının mikroyapısı ve malzeme akışına ait çizim (Oklar yüzey malzemesinin akışını, şeklin altındaki ok ekstrüzyon yönünü, taralı alanlar ise kaba taneleri göstermektedir).	158

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Alüminyumun özellikleri [3].....	11
Çizelge 3.2 Alüminyumun özgül ısısı (Sezer, 1975).....	15
Çizelge 3.3 AA alüminyum terminolojisi [1].....	17
Çizelge 3.4 Alüminyum profillerin sınıflandırılması (Van Horn, 1967).....	17
Çizelge 3.5 Alüminyum profillerin zorluk derecelerine göre şekil grupları (Sönmez, 1989)..	19
Çizelge 4.1 Ekstrüzyon prosesinde kullanılan yağlayıcılar ve bunların özellikleri (Dyla, 1992).....	37
Çizelge 4.2 Arındırılmış alüminyumdaki impüriteler (Granger, 1989).....	40
Çizelge 4.3 Alüminyum esas alaşımları (Granger, 1989).	41
Çizelge 4.4 Alüminyum alaşımlarının likidüs ve döküm sıcaklıkları (Saha,2000).....	50
Çizelge 4.5 β - ve α - AlFeSi fazlarının literatürde belirtilen temel karakteristikleri (Claves vd.,2002).	55
Çizelge 4.6 Bazı alüminyum alaşımı biletlerin tipik homojenleştirme işlemleri (Saha, 2000).	56
Çizelge 4.7 Bilet döküm kontrol listesi (Saha, 2000).....	72
Çizelge 4.8 Dolu matrisler için matris atölyesi parametreleri (Saha, 2000).....	91
Çizelge 4.8 (devamı) (Saha, 2000).	91
Çizelge 4.9 Boşluklu matrisler için matris atölyesi parametreleri (Saha, 2000).	92
Çizelge 4.9 (devamı) (Saha, 2000).	93
Çizelge 4.10 Standart pres kapasiteleri ve özgül basınç değerleri.(a) Maksimum bilet uzunluğu $\approx 4x$ bilet çapı'dır ve (b) Konteynır çapı genellikle belirtilenden 0,375 inç (9,53 mm) daha büyüktür (Saha, 2000).	98
Çizelge 4.11 Ekstrüzyon presinin spesifikasyonları (Saha, 2000).	100
Çizelge 4.12 Koruyucu bakım kontrol listesi (Saha, 2000).....	112
Çizelge 4.13 Ekstrüzyon fabrikasının tipik bir bakım kontrol listesi (Saha, 2000).	126
Çizelge 4.14 Gerdirme ve kesme işlemleri için kontrol listesi (Saha, 2000).	127
Çizelge 4.15 Yaşlandırma fırını ve mekanik test parametreleri (Saha, 2000).....	134
Çizelge 4.15 (devamı) (Saha, 2000).	134
Çizelge 6.1 Alaşıma ait kimyasal bileşim.	146
Çizelge 6.2 Çeşitli normlarda alaşıma ait adlandırma.....	146
Çizelge 6.3 Isıl işlem sonrası alüminyum alaşımına ait mekanik özellikler.	147
Çizelge 6.4 AA 6063 alüminyum alaşımına ait fiziksel özelliklerin tipik değerleri.	147
Çizelge 6.5 Açık profiller için üretim parametreleri.	148
Çizelge 6.6 Bilet dilimine ait kimyasal analiz sonuçları.	152

ÖNSÖZ

Alüminyum ekstrüzyon endüstrisi her geçen gün ilerleme kat etmektedir.Zorlu rekabet koşullarında firmalar da ön sıralarda yer alabilmek için yeni gelişimlerin arayışları içerisinde dirler.Sektöre öncülük edebilme mücadelesinde, üretimlerini karlılık ve verimlilik ile birleştirebilen firmalar başarılı olabilecektir.Bu doğrultuda bir sonraki prosesteki ürünlerin daha ucuz ve daha kaliteli üretilmesi zorunlu hale gelmektedir.Bu yüzden de billet dökümünden nihai ürünün müşteriye teslimine kadar, alüminyum ekstrüzyon prosesi; sürekli gelişimin söz konusu olduğu bir süreçtir.Bu da; billet dökümü, matris dizaynı, ram hızı ve benzeri tüm alt proseslerin sürekli kontrol edilmesi anlamına gelmektedir.Tez çalışmamda akış şemaları ve kontrol tabloları vasıtasıyla proses kontrolüne değinilmiştir.

Çalışmalarım sırasında beni destekleyen ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli danışmanım Sn.Prof.Dr.Hüseyin Sönmez'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında yardımlarını benden esirgemeyen Sn.Arş.Gör.Sedat Bingöl'e, değerli büyüğüm Sn.Yük.Müh.Vedat Hadi Göymen'e ve de Asaş Alüminyum ve Sistem Alüminyum'un yöneticileri ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bugünlere kadar gelirken bana emeği geçen tüm öğretmenlerim ve destekte bulunan tüm dost ve de akrabalarım a teşekkür ederim.

Ve nihayet, hayatımın her anında sizin desteğinizi yanımda hissettim, sevgili ailem size teşekkür ederim.

ÖZET

Hazırlamış olduğum bu çalışmada alüminyum metalinin özelliklerine ve ekstrüzyon metotlarına değinilmiştir.Ayrıca ekstrüzyona ait değışkenler gruplandırılmış ve alüminyum ekstrüzyon prosesinde verimliliğı arttırmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir.Bu yöntemler akış şemaları ve kontrol listeleridir.Bunlar yardımıyla hataların hangi parametrelerden kaynaklandığı kolaylıkla bulunabilmektedir.Ayrıca alüminyum ekstrüzyon hataları, sebepleri ve çözüm yollarına da değinilmiştir.Uygulama olarak ise kabarcık ve krater hataları örnek hata tipi olarak ele alınmış, hatalar mikro ve makro fotoğraflarla gösterilmiş ve bu hataların oluşum nedeni ortaya çıkarılmıştır.Son olarak ise elde edilen sonuçlar ve varılan hükümler listelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekstrüzyon, alüminyum, proses kontrol, ekstrüzyon hataları.

ABSTRACT

In this study, properties of the aluminium and extrusion methods were mentioned. In addition to this, extrusion variables were grouped and due to improve the productivity in the aluminium extrusion process, assorted procedures were suggested. These procedures were flow charts and checklists. By this way, causes of defects could be easily determined. Moreover, this study includes extrusion defects, causes and its related solutions. In the application chapter; blister and blowhole defects were considered as a sample defect type and these defects were shown by micro and macro dimensioned photographs and the reason of these defects were revealed. Finally, deductions and assumptions which have been obtained from the investigations were listed.

Key words: Extrusion, aluminium, process control, extrusion defects.

1 GİRİŞ

Çeşitli profiller ve parçaların üretimine olanak sağlayan ekstrüzyon yöntemi ve dolayısıyla da ekstrüzyon endüstrisi uzun yıllardan beri mevcuttur. Alüminyum ekstrüzyonu ise modern endüstri ortamlarında araştırma ve geliştirme çalışmaları paralelinde tartışma ve değerlendirme konusu olmaya devam etmektedir. 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. Başta da belirtildiği gibi ekstrüzyon uzun yıllardır üzerine yoğunlaşılacak bir endüstridir. Hem akademik hem de endüstriyel topluluklar için alüminyum ekstrüzyon teknolojisi hakkındaki bilgi ve tecrübenin sürekli eğitimler vasıtasıyla taze tutularak pekiştirilmesi gerekir.

Mühendisler ve ürün tasarımcılarına hem buldukları üniversitelerde hem de çalışma ortamlarında ekstrüzyon prosesi hakkında detaylı bilgi sunulması durumunda prosesle ilgili gelişmelerinin hızlanacağı aşikardır.

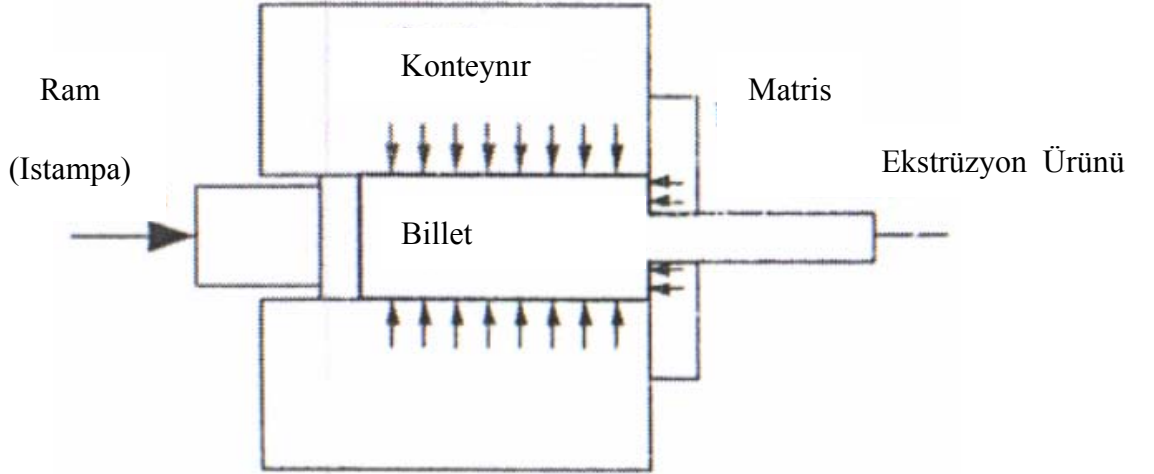
Muhakkak ki her alanda olduğu gibi alüminyum ekstrüzyon teknolojisinde de başarı için uygun eğitim gereklidir. Buna göre ilk başta temeller anlaşılır ve daha sonra bu temellerin üzerine detaylar, püf noktalar ve de çeşitli kontrol ve düzenlemeler yapılandırılırsa prosesdeki sürekli iyileşme de kendiliğinden gelecektir.

Günümüzde kurşun, kalay, magnezyum, bakır, titanyum, zirkonyum, berilyum ve nikel gibi bir çok malzemenin hatta çeliğin dahi ekstrüzyonu mümkün iken alüminyumun ileride değinilecek bazı özelliklerinden dolayı yeni çağın malzemelerinden biri olacağı görüşü ile bu çalışma, alüminyum ekstrüzyonu üzerine kurulmuştur. Bu çalışma ile birlikte, bir çok ekstrüzyon uygulamasına ışık tutmak amacıyla; temel ekstrüzyon prensipleri, prosesler, mekanik düzenekler, değişkenler ve bunların ekstrüzyon kalite ve verimliliği üzerine etkisine ve ayrıca ekstrüzyon hatalarına da değinilecektir.

2 EKSTRÜZYON

2.1 Ekstrüzyonun Tanımı

Ekstrüzyon bir metal bloğunun (billet) sıkıştırma vasıtasıyla daha küçük kesit alanına sahip kalıp boşluğundan akmaya zorlandığı bir plastik deformasyon prosesidir. Ekstrüzyon dolaylı bir sıkıştırma prosesidir. Dolaylı sıkıştırıcı kuvvet, iş parçası (billet) ile konteynır ve matris arasındaki reaksiyon vasıtasıyla gelişir ve bu kuvvetler yüksek değerlere ulaşırlar. Ekstrüzyon, alaşım ve kullanılan metoda bağlı olarak soğuk veya sıcak şekilde gerçekleştirilebilir. Sıcak ekstrüzyonda billet, plastik deformasyonu kolaylaştırmak için ön ısıtmaya tabi tutulur. Ekstrüzyon prensibinin temeli Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Ekstrüzyon prensibi (Saha, 2000).

Ekstrüzyon yöntemi; çubuklar, borular, şeritler ve birçok dolu ve boşluklu profillerin imalatına olanak sağlar. Ekstrüzyon yoluyla; örneğin 5-200 mm çapında çubuklar, iç çapı 800 mm ye kadar ve 1,5-8 mm et kalınlığında borular ve daha pek çok karmaşık şekiller olmak üzere çeşitli kesitler elde etmek mümkündür (Çapan, 1999).

2.2 Ekstrüzyonun Temel Çeşitleri

Ekstrüzyon yöntemleri; malzemenin akış yönü ve kuvvetin iletiliş biçimine göre dört sınıfta incelenebilir. Bunlar temel olarak; direkt ekstrüzyon, indirekt ekstrüzyon, püskürtmeli ekstrüzyon ve hidrostatik ekstrüzyondur (Sönmez, 1989). Bununla birlikte günümüzde en çok direkt ve indirekt ekstrüzyon yöntemleri kullanılmaktadır.

2.2.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

Direkt ekstrüzyonda, konteynır içerisindeki blok, ıstampa tarafından itilerek diğer uçtaki matrisin profil deliğinden geçirilir (Şekil 2.2).Direkt ekstrüzyonda metal akış yönü ram hareketinin yönü ile aynıdır.Bu proses esnasında billet, konteynırın duvarlarında relatif olarak kayar.Meydana gelen sürtünme kuvveti ram basıncının oldukça artmasına sebep olur.Direkt ekstrüzyon esnasında yük veya basınç-ilerleme eğrisi Şekil 2.3'te görüldüğü gibidir. Geleneksel olarak proses 3 ayrı bölümden oluşur:

1. Billet 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 önlevha 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.

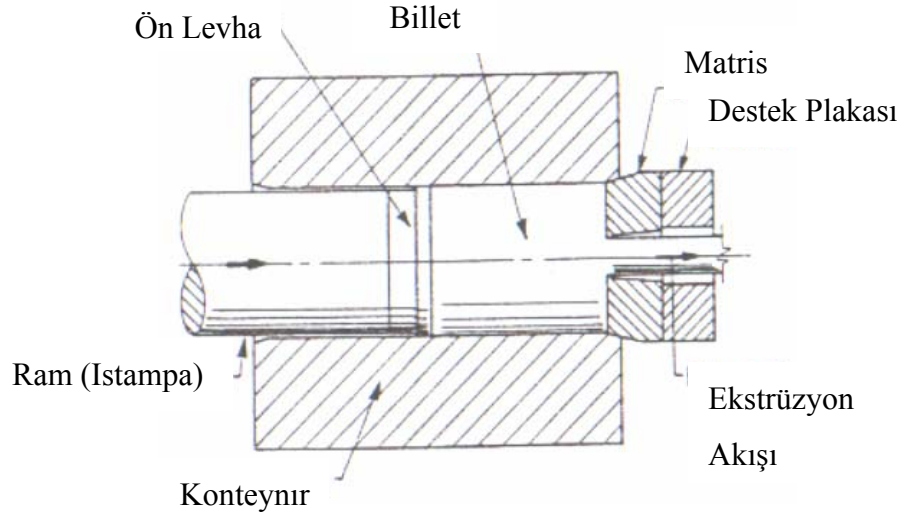
Direkt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. İstenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta yarı mamül imal olanağı sağlar.
2. Çeşitli dolu ve içi boş profiller kolaylıkla elde edilir.
3. Takım düzenlenmesi kolaydır.
4. İşletme yönünden kolaylıklar sağlar.
5. Matris çapı, konteynır iç çapı tarafından sınırlanmamaktadır.

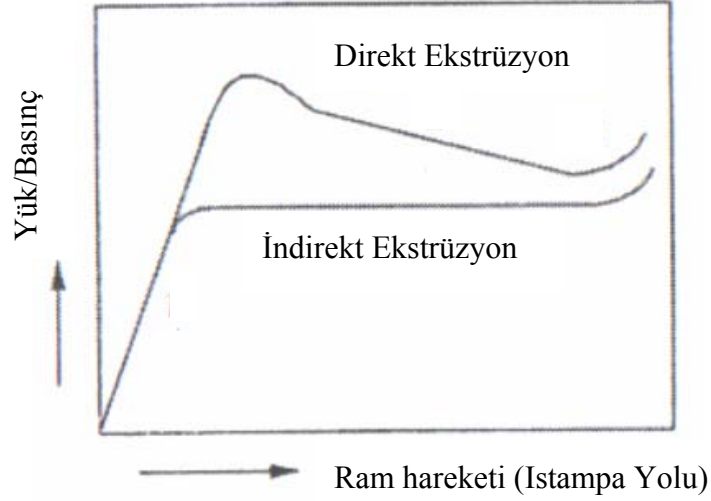
Direkt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Gerekli ekstrüzyon kuvveti, indirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha yüksektir.Bundan dolayı da ekstrüzyon oranı ve hızı istenildiği kadar yükseltilememektedir.
2. Blok ile alıcı arasındaki sürtünme uzun blokların kullanılmasını önlemektedir.

3. Ekstrüzyon artığı (ara iş) fazladır.
4. Malzeme akışı indirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha düzensiz olmaktadır.
5. Ekstrüzyon hataları oluşabilmektedir.
6. Takım ömrü kısadır.



Şekil 2.2 Direkt ekstrüzyon (Van Horn, 1967).



Şekil 2.3 Direkt ve indirekt ekstrüzyon proseslerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi (Saha, 2000).

2.2.2 İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi

İndirekt ekstrüzyonda, boşluklu ıstampanın önündeki matris konteynıra göre relatif olarak hareket eder fakat billet ve konteynır arasında Şekil 2.4'te de gösterildiği gibi relatif olarak bir yer değiştirme yoktur. Bu yüzden bu proses billet yüzeyi ve konteynır arasında sürtünmenin olmaması ile karakterize edilir ayrıca billet 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 2.3'te 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 (Sönmez, 1989).

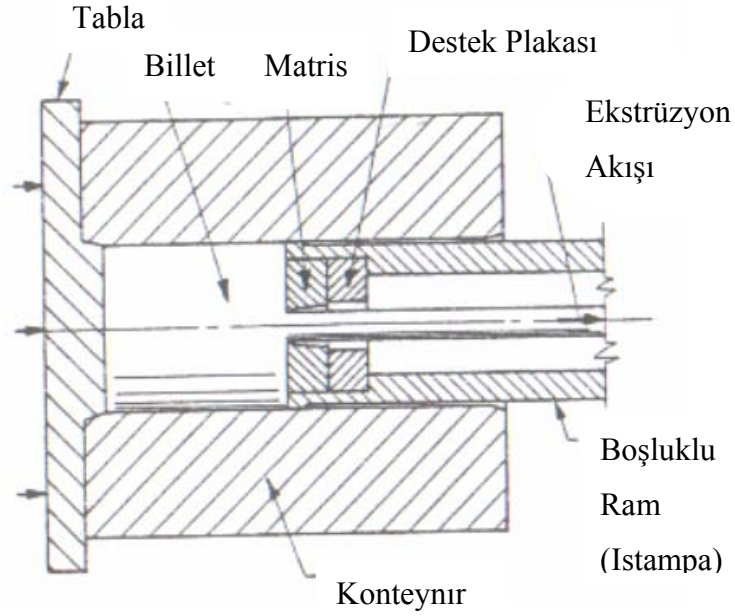
İndirekt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. Direkt ekstrüzyon yöntemine göre yaklaşık %20-30 arasında kuvvet kazancı sağladığından; daha büyük ekstrüzyon oranları, daha yüksek ekstrüzyon hızları, daha düşük blok sıcaklığında çalışma imkanı sağlamaktadır.
2. Kullanılan yüksek ıstampa kuvveti ya ince et kalınlıklı profillerin ekstrüzyonunda ya da düşük blok sıcaklıklarında çalışmayı sağlamak için kullanılır.

3. Blok merkezinin blok çevresinden daha hızlı hareketi önlendiğinden blok uzunluğunun ıstampa basıncından bağımsızlığı sağlanmaktadır.Bu nedenle blok uzunluğu ekstrüzyon kuvveti tarafından sınırlanmayıp, içi boş ıstampanın uzunluğu ve rijitliği ile sınırlanmaktadır.
4. Ekstrüzyon artığı (ara iş) daha kısa olmaktadır.
5. Malzeme akışı daha ideal olmaktadır.
6. Blok ile konteynır arasında sürtünmeden dolayı sıcaklık artışı oluşmadığından yüzey çatlaklarından kaynaklanan hatalar azalmaktadır.
7. Takımların ömrü, özellikle de konteynırdaki iç gömleğin ömrü, cidar sürtünmesinin önlenmesi nedeniyle artmaktadır.

İndirekt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Profil veya çubuk boyutları, içi boş ıstampanın delik çapı ile sınırlanmaktadır.
2. ıstampanın uzunluğu, eğme gerilmesiyle sınırlanmaktadır.
3. Matris ölçüsü, konteynır çapı ile sınırlanmaktadır.
4. Kompleks kesitlerin ekstrüzyonuna uygun bir yöntem değildir.
5. Takımların düzenlenmesi zor olmaktadır.
6. Blok yüzeyindeki impuritelere mamül yüzeyine geçeceğinden birçok durumda blok yüzeyini ekstrüzyondan önce bir ön işleme tabi tutmak gerekir (Sönmez, 1989).



Şekil 2.4 İndirekt ekstrüzyon (Van Horn, 1967).

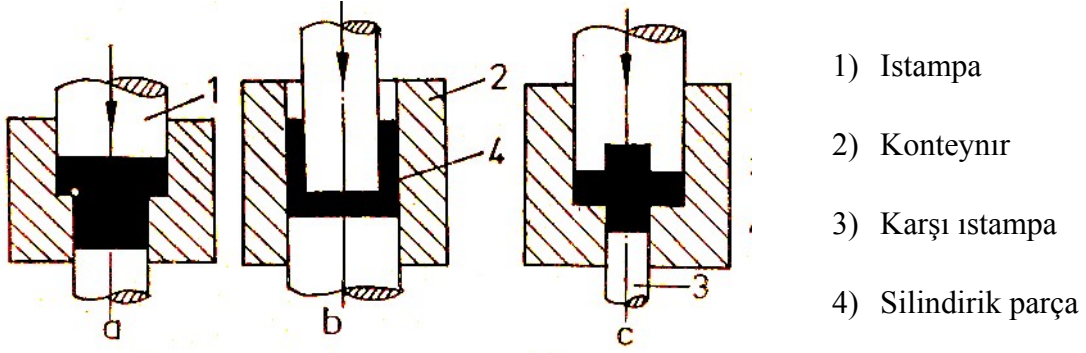
2.2.3 Püskürtmeli Ekstrüzyon Yöntemi

Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi genellikle dönele simetriye sahip içi boş ya da dolu parçaların imalatında kullanılır. Bu yöntemde çapı, imal edilecek tüpün dış çapına eşit olan konteynır (veya matris) içine yerleştirilen ekstrüzyon malzemesine, ıstampa ile basarak biçim verilir. İstampa önündeki önlevhanın çapı, imal edilecek tüpün iç çapına eşittir. Konteynır içindeki malzeme ıstampa basıncı ile önlevhanın çevresinden akarak yükselir ve silindirik kap biçimini alır.

Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi ile ilaç sanayinde çeşitli tüpler, metal sanayinde basınçlı tüpler, sübaplar ve çeşitli küçük makina parçaları imal edilmektedir.

Püskürtmeli ekstrüzyon malzemesi olarak demir dışı metaller (alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, çinko, pirinç, kurşun, kalay) ve çeşitli çelikler kullanılır. Püskürtmede kullanılacak malzemelerin akma sınırının ve sertliğinin düşük, uzama ve büzülme özelliklerinin yüksek olması istenir (Sönmez, 1989).

Püskürtme ekstrüzyonu ileri, geri ve karışık püskürtme olmak üzere üçe ayrılır. Şekil 2.5 de püskürtme yöntemleri şematik olarak gösterilmektedir.

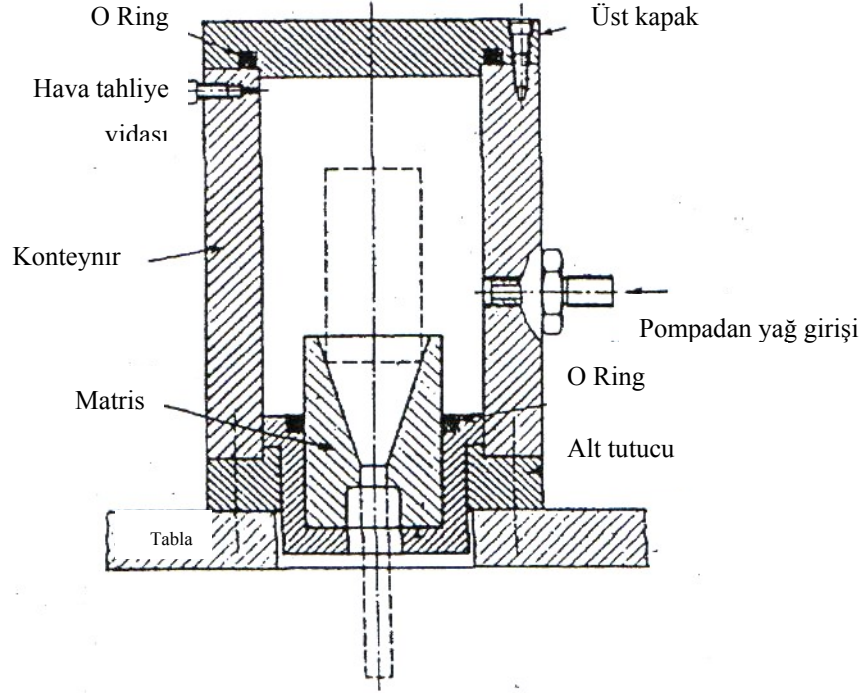


Şekil 2.5 Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemlerinin şematik gösterimi; (a) ileriye püskürtme, (b) geriye püskürtme, (c) karışık püskürtme (Sönmez, 1989).

2.2.4 Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

Hidrostatik ekstrüzyon, bloğun konteynırda istampa kuvvetinin aracılığıyla değil de basınç ortamıyla matristen geçirildiği bir yöntemdir (Şekil 2.6). Bu yöntemde blok, yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüzyon edilmektedir.

Hidrostatik ekstrüzyon sadece plastiklik özelliği az olan metallerin ve alaşımların biçimlendirilmesinde kullanılmayıp, alüminyum ve bakır alaşımlarının biçimlendirilmesinde de birçok avantajlar sağlamaktadır. Hidrostatik ekstrüzyonla klasik ekstrüzyon yöntemleri arasındaki temel farklardan biri, klasik ekstrüzyonda konteynır cidarını etkileyen radyal basıncın alaşım ve ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak istampa basıncından %20-80 düşük olduğudur. Hidrostatik ekstrüzyonda ise radyal basınç aksel basınca eşit olmaktadır. Bu nedenle daha yüksek basınç zorlamalarının etkisinde kalacaklarından, takımların konstrüksiyon ve malzemelerinin seçiminde ve konteynır yapımında gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.6 Hidrostatik ekstrüzyon donatımı (Sönmez, 1989).

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin, diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında kendine has birçok avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır.

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. Blok ile konteynır arasında sürtünme oluşmadığından işlem başlangıcındaki ıstampa kuvveti küçülmekte ve ekstrüzyon basıncında bir artış olmaksızın istenilen uzunlukta bloklar ekstrüzyon edilebilmektedir.
2. Blok ile matris yüzeyi arasında oluşan yağ filmi nedeniyle matris yüzeyinde sürtünme büyük oranda azalmaktadır. Ekstrüzyon basıncını ve lüzumsuz şekil değiştirmeleri azaltmak için küçük açılı matrislerin kullanımına olanak sağlamaktadır. Sert malzemeler soğuk ekstrüzyon edilebilmektedir.
3. Belli limitler içerisinde kalmak şartıyla, boyutları kontrol edilmiş silindirik bloklar kullanmak şart değildir. Doğrusal olmayan bloklar, sarılmış teller dahi bu yöntemle ekstrüzyon edilebilirler.
4. Azalan ekstrüzyon kuvveti ve matris sürtünmesi nedeniyle büyük ekstrüzyon oranlarında çalışılabilmektedir.

5. Yüksek basınçlı akışkan ile çevrili matrise destek sağlanabilir.Bu nedenle karışık kesitli mamüller ince cidarlı matrisler içerisinde ekstrüzyon edilebilir.

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Akışkanın sıkıştırılmasıyla yüksek basınçlar oluşur (yaklaşık 30000 kp/cm^2).Bu ise verimi düşürür ve tehlikeli olabilecek kadar büyük miktarda enerji meydana getirir.
2. Blok ekstrüzyon edilmeye başlandığında ekstrüzyon hızını kontrol etmek zordur.Bunun neticesinde ekstrüzyon hızı daha da yükselir ve blokta arzu edilmeyen ısınma ve yumuşama oluşabilir.Böyle durumlarda esaslı kontroller sağlanmazsa blok ve akışkan konteynirdan şiddetli olarak beraber fişkırlar.
3. Donatımda çok iyi bir sızdırmazlık sağlanması gerekmektedir.
4. Bloğun bir ön işleme tabi tutulması gerekir.
5. Matrise aşırı yük gelmemesi için ekstrüzyondan önce bloğun, matris deliğine uygun bir koniklikte işlenmesi zorunlu olmaktadır.
6. Döküm bloklar kullanıldığında, blok yüzeylerinin hatalardan arındırılması gerekmektedir (Sönmez, 1989).

3 ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUMUN EKSTRÜZYONU

3.1 Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum güçlü, dayanıklı ve de hafif bir metaldir. Günümüzde alüminyumun bu üç özelliği de bünyesinde barındırması tercih edilen bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Özellikle bazı tiplerinin dayanımı çelikten daha yüksek olan alüminyum alaşımları; ekstrüzyon profilleri olarak kullanılmaktadırlar. Bakır ve çinko ilaveli bazı yüksek dayanımlı alaşımlar ve şimdilerde havacılık endüstrisi için lityum ilaveli alaşımlar geliştirilmelerine rağmen alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğu dikkatlice kontrol edilmiş; magnezyum, silisyum, mangan veya magnezyum-silisyum kombinasyonu gibi ilaveler içermektedirler [2].

Aşağıdaki çizelgede alüminyumun temel özellikleri, yararları ve kullanım yerlerine değinilmiştir.

Çizelge 3.1 Alüminyumun özellikleri [3].

1.Özgül ağırlığı $2,7 \text{ gr/cm}^3$ olan alüminyum; demir ($7,9 \text{ gr/cm}^3$) ve bakırın ($8,9 \text{ gr/cm}^3$) üçte biri kadar ağırdır.	Bu özellik bilhassa taşımacılık endüstrisinde önem arz etmektedir. Bu da artan yükleme kapasitesi ve hızlarla enerji tasarrufuna katkıda bulunur.
2.Alüminyum havayla temas ettiğinde yüzeyi üzerinde ince bir oksit filmi oluşur ve bu yolla metal korozyondan korunmuş olur. Ayrıca anodizasyon (eloksal) yardımıyla korozyon direnci çok daha etkili hale getirilebilir.	Konstrüksiyonlar, binalar ve ev aletlerinde bu özellikten yararlanılmaktadır.
3.Alüminyumun kolayca şekillendirilebilmesi folyo, çubuk, boru ve kablo gibi çeşitli formlar için malzemeyi üretime elverişli kılar.	Alüminyum günümüzde karmaşık odalı ekstrüzyonlarda en iyi materyal olarak kabul edilmektedir.
4.Alüminyum zehirsiz ve kokusuzdur. Yüzeyi pürüzsüz, kolayca yıkanabilir ve üzerinde mikrop barınmadığından hijyeniktir.	Bu özelliklerden dolayı içecek kutularında ve folyolama ile yiyecek paketlemede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
5.Düşük sıcaklıklarda çelik gibi malzemeler kırılanken alüminyum güçlü yapısını korur.	

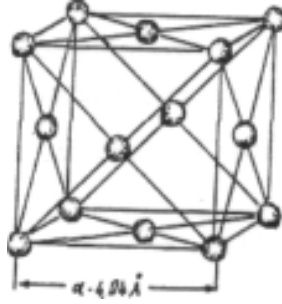
6.Saf alüminyumun çekme dayanımı yüksek değildir fakat alaşım veya temperlemeye bağlı olarak artışlar gerçekleşir.	Yapılacak uygulamaya göre en uygun dayanım karakteristiğini gösteren alüminyum alaşımını seçebiliriz.Bazı alaşımlar çekme dayanımı bakımından çelikten daha güçlü ya da ona yakın değerler verebilirler.
7.Alüminyuma kolaylıkla kimyasal veya elektrokimyasal olarak yüzey işlemi ya da boyama yapılabilir.	Her şeyden önce anodizasyon ve boyama işlemleri ile mükemmel korozyon direnci ve geniş bir renk varyasyonu yakalanır. Böylelikle alüminyum, binaların iç ve dış yapılarında ve evlerdeki elektrikli cihazlarda sıkça kullanılır.
8.Alüminyumun elektrik iletkenliği bakırın %60 kadardır bununla birlikte alüminyumun özkütlesi bakırın yaklaşık üçte biri kadardır.	Bu özelliklerinden dolayı alüminyum güç iletim kablolarında, ampüllerde ve diğer elektriki alanlarda kullanılır.
9.Alüminyumun ısı iletkenliği çeliğin ısı iletkenlik değerinin üç katıdır.	Bu özelliği pişirme gereçlerinde, klimalarda, ısı eşanjörlerinde ve otomobil motor parçalarında alüminyumdan yararlanmamızı sağlar.Ayrıca alüminyum güneş kolektörleri gibi enerji depolama ekipmanlarında da kullanılmaktadır.
10.Alüminyum manyetik değildir.	Böylelikle alüminyum CD'lerde ve denizcilikte pusulalarda kullanılır.
11.Alüminyum ısı, ışık ve elektrik dalgalarını büyük ölçüde yansıtır.	Bu özellik; aynalar, kızılötesi kurutucular, aydınlatma ekipmanları gibi yerlerde kullanılmasını sağlar.Ayrıca alüminyum, binalarda izolasyon malzemesi olarak da kullanılır.
12.Alüminyum kolaylıkla geri dönüşebilir.Ayrıca düşük ergime sıcaklığından dolayı işlem ekonomik olarak gerçekleşir.	Enerji ve kaynakların korunduğu günümüzde alüminyum ideal bir malzeme olarak göze çarpmaktadır.

Öte yandan alüminyumu aşağıdaki başlıklar altında daha da belirgin olarak tanıtabiliriz.

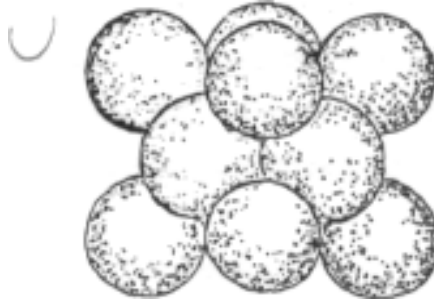
3.1.1 Atom Yapısı ve Kristal Kafesi

Alüminyum, periyodik tablonun “3A” grubundandır; atom numarası 13, atom çapı $1,43\text{Å}$, iyon çapı $0,86\text{Å}$ ve atom ağırlığı 26,97 dir.

Alüminyum yüzey merkezli kristal kafesine sahiptir (Şekil 3.1). Her bir alüminyum atomu komşu oniki iyon tarafından çevrelenmiş olduğundan koordinasyon sayısı 12’dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Alüminyum kristal kafesi elementel küpünün yapısı (Sezer, 1975).



Şekil 3.2 Alüminyum kristal kafesi elementel küpündeki iyon dizilişi (Sezer, 1975).

Alüminyum kafesinin bir elementel küpünün kenar uzunluğu a ; (kafes parametresi = %99,97’lik metalde $4,046 \pm 0,004\text{Å}$ ve %99,996 lık metalde $4,0413 + 0,001\text{Å}$ (yuvarlatılmış olarak : $4,04\text{Å}$) dur.Elementel küpte birbirine en yakın komşu iki iyon arasındaki mesafe $2,86\text{Å}$ dur (Sezer, 1975).

3.1.2 Fizikokimyasal Özellikleri

3.1.2.1 Yoğunluk

Hem sıvı hem katı alüminyumun yoğunluğu artan safiyet derecesiyle orantılı olarak düşer. Aşağıda tavllanmış katı metalin 20°C ’daki yoğunluğu için birkaç değer verilmiştir:

Al%	99,25	99,40	99,75
d,g/cm ³	2,727	2,706	2,703

3.1.2.2 Ergime Noktası

Aşağıdaki sıralamada görüldüğü gibi alüminyumun ergime noktası artan safiyet ile yükselir (Sezer, 1975):

Al, %	Sıcaklık, °C
99,2	657
99,5	658
99,6	658,7
99,97	659,8
99,996	660,24

3.1.2.3 Kaynama Noktası

Metalik alüminyumun kaynama noktası ve buhar basıncı üzerine çeşitli yazarların verileri birbirlerinden oldukça ayrılmaktadır. Çok muhtemelen atmosferik basınçta 2500 °C'luk bir kaynama noktası doğru değere en iyi şekilde uymaktadır.

1936 yılı verilerine göre ergimiş metalik alüminyumun buhar basıncısının sıcaklık bağıntısı şöyledir (Sezer, 1975).

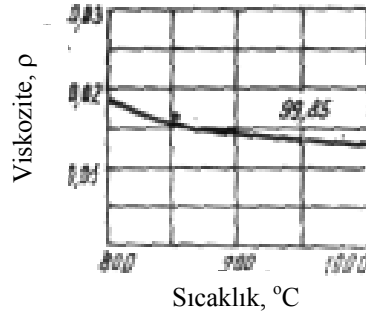
Sıcaklık, °K	1476	1880	2770
Buhar basıncı, mmHg	0,01	1,0	760

3.1.2.4 Isı İletkenliği

Alüminyumun ısı iletkenliği artan safiyet derecesi ile büyür. Bu, %99,489 Al'lu bir metal için 200 °C'de 0,5 ve %99,70 Al'lu bir metal için 0,531 cal/cm.s °C'dir.

3.1.2.5 Viskozite ve Yüzey Gerilimi

Şekil 3.3'de %99,85'lik alüminyumun viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi gösterilmiştir; daha az saf metalin viskozitesi daha düşüktür.



Şekil 3.3 Ergimiş alüminyumun viskozitesi (Sezer,1975).

3.1.2.6 Elektrik İletkenliği

Bakırinki ile karşılaştırılmış olan aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi alüminyumun elektrik iletkenliği yükselen safiyet ile artar.

Al, %	Sıcaklık, °C	Bakıra Göre %
99,50	0	62,5
99,95	0	64,5
99,971	20	64,9
99,996	20	65,45

3.1.2.7 Ergime Isısı

Metalik alüminyumun ergime ısısı birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir.Özgül ısının değeri takriben 93 kcal/g, atom ısısının ise 2520 kcal/g atom dur.

3.1.2.8 Özgül Isı ve Entropi

Çizelge 3.2’de 0-1000 °C sıcaklık diliminde alüminyumun ortalama ve gerçek özgül ısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 Alüminyumun özgül ısısı (Sezer, 1975).

Sıcaklık °C	0°C’den belirtilen sıcaklığa kadar ortalama özgül ısı	Gerçek özgül ısı cal/g. °C	Atom ısısı cal/g. Atom °C
0		0,2220	5,99
100	0,2259	0,2297	6,20
200	0,2297	0,2374	6,40
300	0,2386	0,2451	6,61
400	0,2374	0,2519	6,82
500	0,2413	0,2606	7,04
600	0,2452	0,2683	7,25

657 (katı)	0,2473	0,2727	7,36
657 (sıvı)	0,3904	0,2502	6,75
700	0,3818	0,2523	6,81
800	0,3654	0,2571	6,93
900	0,3541	0,2619	7,07
1000	0,3451	02667	7,19

3.1.3 Mekanik Özellikler

Mekanik özellikler de büyük ölçüde safiyet derecesine bağlıdır. Yüksek safiyetteki alüminyum teknik safiyetteki metale nazaran çok daha yumuşak ve plastiktir, mekanik mukavemeti ise daha düşüktür (Sezer, 1975).

% 99,25 Al'lu bir metalin elastikiyet modülü 7100 kg/mm^2 'dir, çok saf alüminyumun ki ise ancak 6700 kg/mm^2 'dir. Dövülmüş ve tavlanmış %99,2'lik alüminyumun Brinell sertliği 24 civarındadır, % 99,9'luk alüminyumunki 15 kg/mm^2 'dir. %99,996 safiyetindeki soğuk haddelenmiş alüminyum %75'lik bir incelmeden sonra takriben 27, yumuşatılmış halde $12-15 \text{ kg/mm}^2$ Brinell sertliğine sahiptir.

Çok sayıda araştırma alüminyumun çekme mukavemetinin artan safiyet ile azaldığını göstermiştir. %99,996'lık en saf alüminyum şu mukavemet değerleri ile karakterize edilmiştir: Çekme dayanımı (soğuk haddelenmiş) $11-13 \text{ kg/mm}^2$, (tavlanmış) $3,5 -6 \text{ kg/mm}^2$, basınç dayanımı $10,8$ ve $1,2 \text{ kg/mm}^2$, uzama % 5,5 ve % 40-50.

3.2 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarının temel grupları: Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Si-Mg ve Al-Zn dur. Avrupa da dahil olmak üzere temel malzemeler için en geçerli sınıflandırma AA sınıflandırmasıdır [1]. Çizelge 3.3'te AA alüminyum terminolojisi, alaşım tipleri ve bu alaşımların tipik uygulamaları gösterilmektedir.

Değişik alaşımların özellikleri; sertleşme mekanizması ve uygulanan ısıl işlem gibi birkaç faktöre bağlıdır. Özellikler, her bir grup içerisindeki farklı alaşımlar için çeşitlilik gösterir bu yüzden her bir grup için özellikleri kategorize etmek zordur. En hızlı gelişen alaşım grupları ise 3xxx, 6xxx ve 7xxx alaşımlarıdır [1].

Çizelge 3.3 AA alüminyum terminolojisi [1].

AA Terminolojisi	Esas Alaşım Elementi	Tipik Uygulama Alanları
1xxx	Alaşımlandırılmamaış	Paketleme ve dekoratif uygulamalar
2xxx	Bakır	Havacılıkta kullanılan saclar
3xxx	Manganez	Genel amaçlı uygulamalar
4xxx	Silisyum	Dolgu telleri
5xxx	Magnezyum	Denizcilik bileşenleri, basınçlı kaplar ve demiryolu araçları
6xxx	Silisyum+Magnezyum	Araç gövdeleri (Space Frame)
7xxx	Çinko	Yüksek dayanımlı havacılık uygulamaları
8xxx	Diğer alaşım elementleri	Bazı özel uygulamalar

Yukarıda da gösterildiği üzere alüminyum alaşımlarının ifade edilebilmesi için dört tam sayılı endeks sistemi kullanılmaktadır. Bu sayılardan birincisi alaşımı gruplandırmaya, son ikisi de alaşımı tanıtmaya yani alüminyumun saflık derecesini göstermeye yarar. İkinci sayı ise alaşımın geçirdiği değişiklikleri veya yabancı madde miktarlarının limitlerini göstermektedir.

Minimum %99,00 saf alüminyum içeren 1xxx grubunun son iki sayısı minimum alüminyum yüzdesini göstermektedir. Buna göre 1030, yabancı madde bakımından bir kontrol gerektirmeyen, minimum alüminyum miktarı %99,30 olan bir alüminyumu gösterir.

2xxx den 8xxx'e kadar olan alaşım gruplarında, dört tam sayıdan son ikisi özel bir anlam taşımayıp, ancak gruptaki muhtelif alaşımları ayırt etmeye yarar (Ersümer, 1960).

3.3 Alüminyum Profillerin Sınıflandırılması

Bir tanımlama yapılmak istenirse ekstrüzyon edilmiş alüminyum parçalara aşağıdaki çizelgede işaret edildiği gibi bir sınıflandırma getirilebileceğinden bahsedebiliriz.

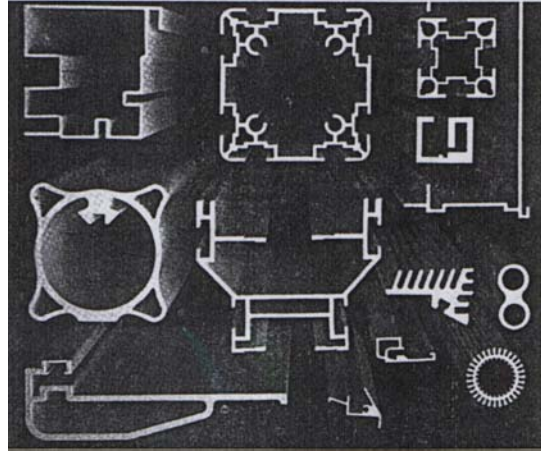
Çizelge 3.4 Alüminyum profillerin sınıflandırılması (Van Horn, 1967).

Sınıf	Tanımlama
Standart profiller	Rod, çubuk veya boru dışındaki profiller
Yarı boşluklu profiller (Yarı açık profiller)	Kesit alanının herhangi bir parçasının kısmi olarak bir boşluğu çevrelediği profiller; boşluk alanının boşluk genişliğinin karesine oranı şu şekildedir: Boşluk genişliği; 0.035 ila 0.061 inç için

	oran>2 0.062 ila 0.124 inç için oran>3 0.125 ila 0.249 inç için oran>4 0.250 ila 0.499 inç için oran>5 0.500 ve daha büyük değerler için oran>6 dır.
Boşluklu profiller	Kesit alanının bir boşluğu tamamen çevrelediği profiller
Dolu profiller	Boşluklu ve yarı boşluklu profillerin haricindeki profiller
Basamaklı profiller	Uzunluğu boyunca ara ara kesit alanın değiştiği profiller
Yapısal profiller	Genellikle yapısal amaçlarla kullanılan profiller
Rod profiller	Yuvarlak şeklindeki kesit alanı 0.375 inçten daha fazla olan solid profiller (daha küçük çaplar tel olarak isimlendirilmektedir)
Çubuk profiller	Kare veya dikdörtgen simetrik kesit alanlı, keskin veya yuvarlak kenar ve köşeli veya düzgün hegzagonal veya oktagon genişliği 0.375 inçten daha büyük çaplı profiller (yine daha küçük çaplar tel olarak isimlendirilmektedir)
Boru profiller	Yuvarlak, kare, dikdörtgen, hegzagonal, oktagon veya eliptik olarak simetrik ve üniform duvar kalınlıklı boşluklu profiller

Alüminyum alaşımların iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri ve iyi mukavemet özellikleri göstermeleri, dekoratif görünümleri ve korozyon dayanımları alüminyum profillere diğer malzemelerden imal edilen ekstrüzyon mamüllerinden daha çok önem kazandırmıştır (Sönmez, 1989). Şekil 3.4'te ekstrüzyon yoluyla üretilen çeşitli alüminyum profiller gösterilmektedir.

Öte yandan çeşitli şekillerde düzenlenmiş profillerin ekstrüzyonunda ve matris imalatında zorluklar ortaya çıkmaktadır. Zorluk derecesinin belirlenmesi için çeşitli kriterler geliştirilmiştir. Pratikte ise birbirinden farklı bir tasnif için ekstrüzyon edilebilirliğin değerlendirilmesi (minimum cidar kalınlığı ve matris imali) için Çizelge 3.5'te gösterilen kriterler dikkate alınmaktadır (Sönmez, 1989).



Şekil 3.4 Ekstrüzyon yoluyla üretilen çeşitli alüminyum profiller (Saha, 2000).

Çizelge 3.5 Alüminyum profillerin zorluk derecelerine göre şekil grupları (Sönmez, 1989).

Şekil grubu	Şekil adlandırılması	Örnekler
A	Çubuklar	
B	Şekilli çubuklar	
C	Standart profiller	
D	Basit dolu profiller	
E	Yarı açık profiller	
F	İnce kesit geçişi olan Profiller ve cidar kalınlığı az geniş profiller	
G	Uygun olmayan çıkıntıları olan çok ince kısımlar içeren profiller	
H	Basit şekilli borular	
J	Basit içi boş profiller	
K	Zor içi boş profiller ve iki veya daha fazla bölüm içeren içi boş profiller	
L	Dış yüzeyi biçimlendirilmiş şekilli borular	
M	İçi profilli şekilli profiller veya K+L	
N	Büyük içi boş profiller, genişliği fazla boş profiller	

3.4 Alüminyum Ekstrüzyon Proseslerinin Sınıflandırılması

2.bölümde toplam 4 adet ekstrüzyon yöntemine kısaca değinilmiş ve de günümüzde alüminyum endüstrisinde en çok kullanılan iki ekstrüzyon çeşidi; direkt ve indirekt ekstrüzyon olarak belirtilmişti.Som (dolu) yahut boşluklu profiller geniş bir program aralığında dizayn ve ekstrüzyon edilirler:

- Som bölümler ve çubuklar; som biletlerden direkt ekstrüzyonla üretilirler.
- Borular ve boşluklu profiller; kaynak odalı (porthole veya köprülü) tip matrislerle (bazı alaşımlar için) direkt ekstrüzyonla üretilirler.
- Borular ve odalı profiller; boşluklu ya da som biletlerden (ikincisi pres içinde yüzen ya da sabit duran mandrelle delinerek) direkt ekstrüzyonla üretilirler.
- Kritik som profiller ve çubuklar som biletlerden contalı konteynır ile ıstampaya bağlanmış matris boyunca indirekt ekstrüzyon ile üretilirler.
- Borular ve odalı profiller odalı veya som biletlerden (ikincisi preste delinerek) sabit mandrelden geçirilmek suretiyle ıstampaya bağlanmış matris boyunca indirekt ekstrüzyonla üretilirler.

Günümüzde en çok kullanılan yöntem direkt ekstrüzyon olduğundan dolayı bu çalışmada direkt ekstrüzyon yöntemi üzerinde durulacaktır.

3.4.1 Direkt Ekstrüzyon

Alüminyumun ekstrüzyonunda en önemli ve en yaygın metot direkt ekstrüzyondur.Şekil 2.1 konteynırın içerisine yerleştirilen ve ram basıncıyla matris boyunca itilen direkt ekstrüzyonun temelini göstermekte idi.Direkt ekstrüzyon; matrisin dizaynı ve şekline göre dolu çubuklar, odalı borular ve odalı veya dolu profillerin imalatında uygulama alanı bulur.

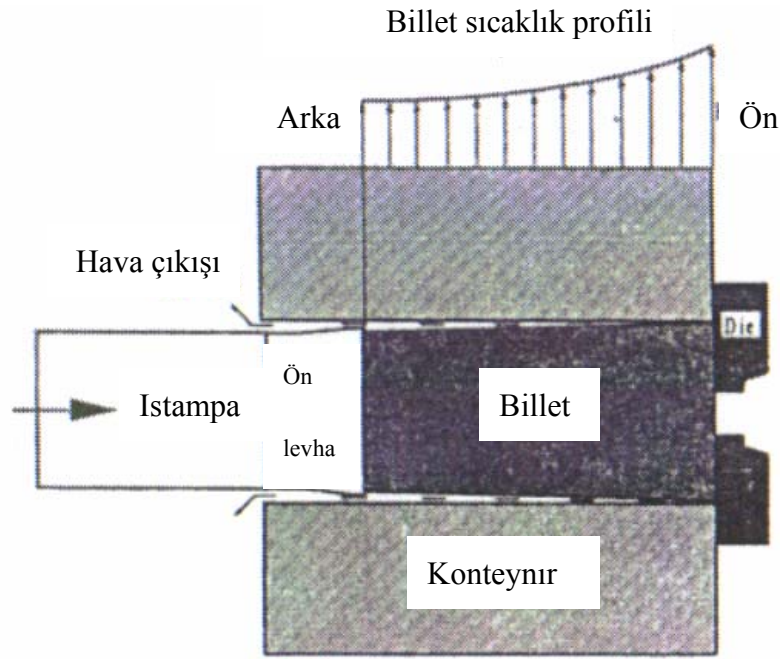
3.4.2 Alüminyum Alaşımlarının Sürekli Ekstrüzyonu

Billet-billete ekstrüzyon; ekstrüzyon sıcaklıkları ve basınçlarında kolaylıkla birbirine kaynayabilen alüminyum alaşımları için özel bir metottur.Bu proses kullanılarak verilen geometrinin sonsuz uzunluğu değişik metotlarla üretilebilir.Billet billete ekstrüzyon aynı zamanda çubuk ve tüp çekme gibi daha sonraki prosesler için sarılmış yarı bitmiş ürünlerin üretiminde pratik bir prosestir.Proseste kullanılacak malzeme aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır:

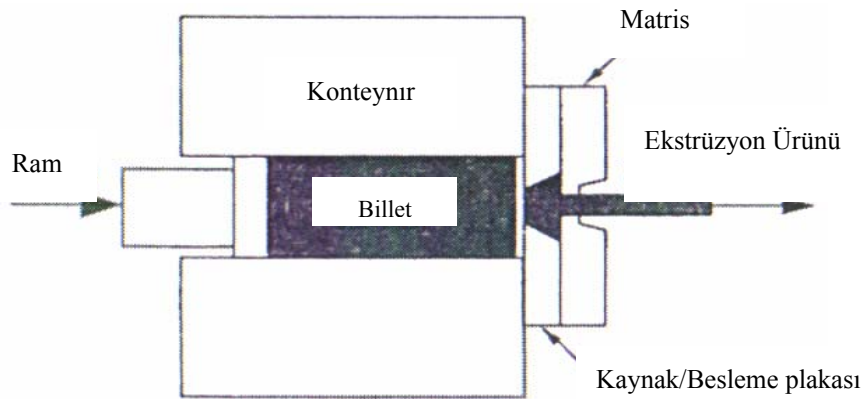
- Deformasyon sıcaklığında iyi kaynak olabilmek.
- Doğru (tam) sıcaklık kontrolü.

- Temizlenmiş billet yüzeyi.
- Kesilmiş, yağdan arındırılmış temiz billet ara işi.
- Ekstrüzyonun başlangıcında konteynırdan havanın akması ve bir miktar ısıtılmış billetlerin kullanılması ile kabarcıkların ve diğer kusurların engellenmesi.

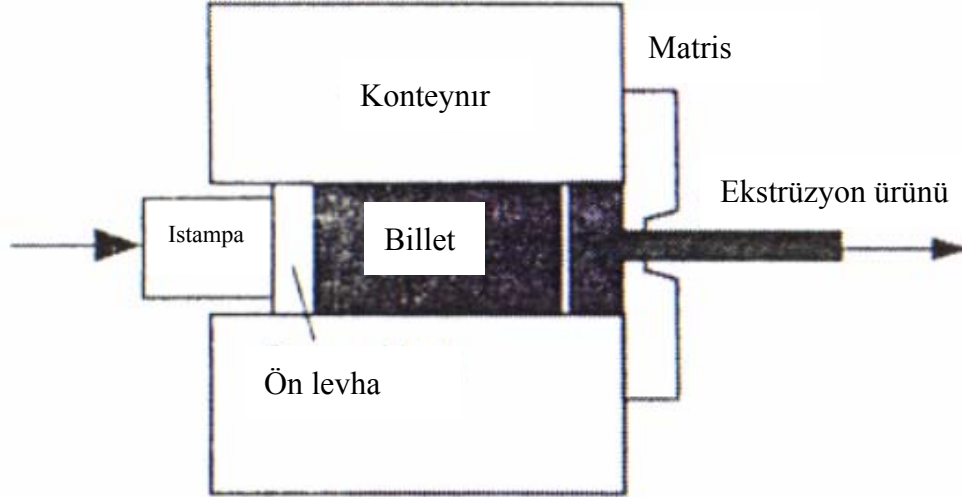
Billet billete ekstrüzyonda iki metot geliştirilmiştir. İlk metotta ıskarta çıkartılır ve takip eden billet kalan billet ya da besleyici plakadaki billet ile kaynar, bu metot Şekil 3.6'da gösterilmiştir. İkinci metotta ise ıskartaya gerek yoktur, takip eden billet Şekil 3.7'de de gösterildiği gibi doğrudan doğruya alıcının içinde kalan billet üzerine basılır.



Şekil 3.5 Yığma esnasında havanın dışarı akması (Saha, 2000).



Şekil 3.6 Sürekli tip ekstrüzyonda kaynak plakası matrisin önünde kullanılmaktadır (Metot 1) (Saha, 2000).



Şekil 3.7 Billet billete ekstrüzyon (Metot 2) (Saha, 2000).

3.5 Alüminyum Ekstrüzyonunda Plastik Deformasyon ve Malzeme Akışı

Metal şekillendirmede plastik deformasyonun mekanizmasını incelemek için plastisite teorisi uygulanmıştır. İnceleme aşağıdaki analiz ve tahminlere izin vermektedir:

- Hız, genleme hızı ve genlemeyi içeren metal akışı
- Sıcaklık ve ısı transferi
- Yerel malzeme dayanımı veya malzemenin akış geriliminin değişimi
- Gerilmeler, şekillendirme yükü, basınç ve enerji

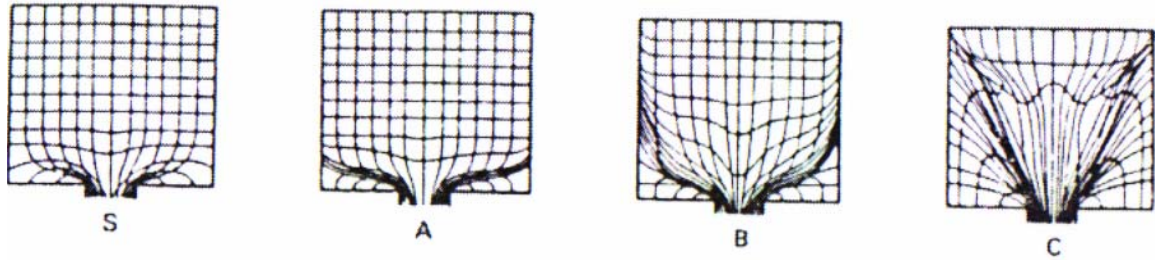
Plastik deformasyon mekanizması, değişik şekil verme operasyonlarında metal akışının nasıl gerçekleştiğini belirlememizi sağlayan bir araçtır, bu araç plastik deformasyon sırasında arzulanan geometriyi sağlar ve yine bu araç üretilen metalin beklenen mekanik ve fiziksel özelliklerini saptamak içindir. Değişik matematiksel eşitlikler, ekstrüzyon gibi değişik şekillendirme operasyonlarını içeren değişik yaklaşımlar yoluyla sağlanabilir (Saha, 2000).

Basit homojen (tek eksenli) sıkıştırma veya gerilmede; gerilme “ σ ” değeri; ortalama gerilme “ $\bar{\sigma}$ ” değerine ulaştığında metal plastik olarak akar. Ekstrüzyon esnasında alüminyumun akışı intermetalik kayma akışıdır. Ekstrüzyon edilen diğer metallerle karşılaştırıldığında alüminyum, kayma akışında önemli bir farka sahiptir, bu fark en önce billetin merkezinin ekstrüzyon olması ve daha da şiddetli kayma deformasyonlarına sebep olan dış sınır tabakanın daha sonra akmasıdır. Billeti alıcı yüzeyine bastırarak için gereken kuvvet billet malzemesinin kayma dayanımını aştığı anda yapışma sürtünmesi meydana gelir ve billette kayma vasıtasıyla deformasyon ilerler. Öte yandan ekstrüzyon esnasında metal akışı birçok faktöre

bağlıdır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- Billet sıcaklığında billet malzemesinin özelliği
- Billet-konteynır ve metal-matris ara yüzey sürtünmeleri
- Ekstrüzyon oranı

Kurşun, kalay ve alüminyum gibi metallerin akış karakteristiklerinin incelenmesinde bölünmüş billet tekniği oldukça fazla kullanılmıştır (Saha, 2000). Gözlemlenen tipik akış örnekleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Ekstrüzyonda gözlemlenen dört değişik akış tipinin şematik görünüşü (Saha, 2000).

Homojen malzemelerin ekstrüzyonunda, “S” akış örneği konteynır ve matris ara yüzeyinde sürtünme olmadığı durumlarda meydana gelir. Ekstrüzyon özellikleri sırasıyla boyuna ve enine doğrultularda üniform olmalıdır. Bu akış tipi genellikle konteynırın ve matrisin bütünüyle yağlanmış olduğu durumlarda sağlanır.

“A” akış örneği, konteynır-billet ara yüzeyi değil de matris ara yüzeyinde sürtünme varlığında homojen malzemelerin ekstrüzyonuyla sağlanır. Bu akış örneği indirekt ekstrüzyon için uygundur. Merkezdeki metal dış sınır tabakadaki metalden daha hızlı akar. Billetin önde olan ucunun köşesinde kalıp yüzü ile konteynır duvarı arasında ölü-metal bölgesi diye adlandırılan ayrı bir metal bölgesi oluşur. Yüzeyin yanındaki malzeme merkezdeki saf deformasyon ile mukayese edildiğinde kayma deformasyonuna maruz kalır ve ekstrüzyonun dış kabuğunu oluşturmak için diyagonal olarak kalıp açıklığının içine akar.

“B” akış örneği, hem konteynır hem de matris ara yüzeyinde sürtünme varlığında homojen malzemelerin ekstrüzyonunda görülür. Bu akış örneği direkt ekstrüzyon prosesleri için uygundur. Uzamış bir ölü metal bölgesi meydana gelir. Bu durumda A akış örneği ile karşılaştırıldığında daha fazla kayma deformasyonu vardır. Ayrıca A akış örneği ile karşılaştırıldığında ekstrüzyon üniform olmayan özelliklere sahiptir.

“C” akış örneği, homojen olmayan malzeme özelliklerine sahip billetler ya da billetler içinde

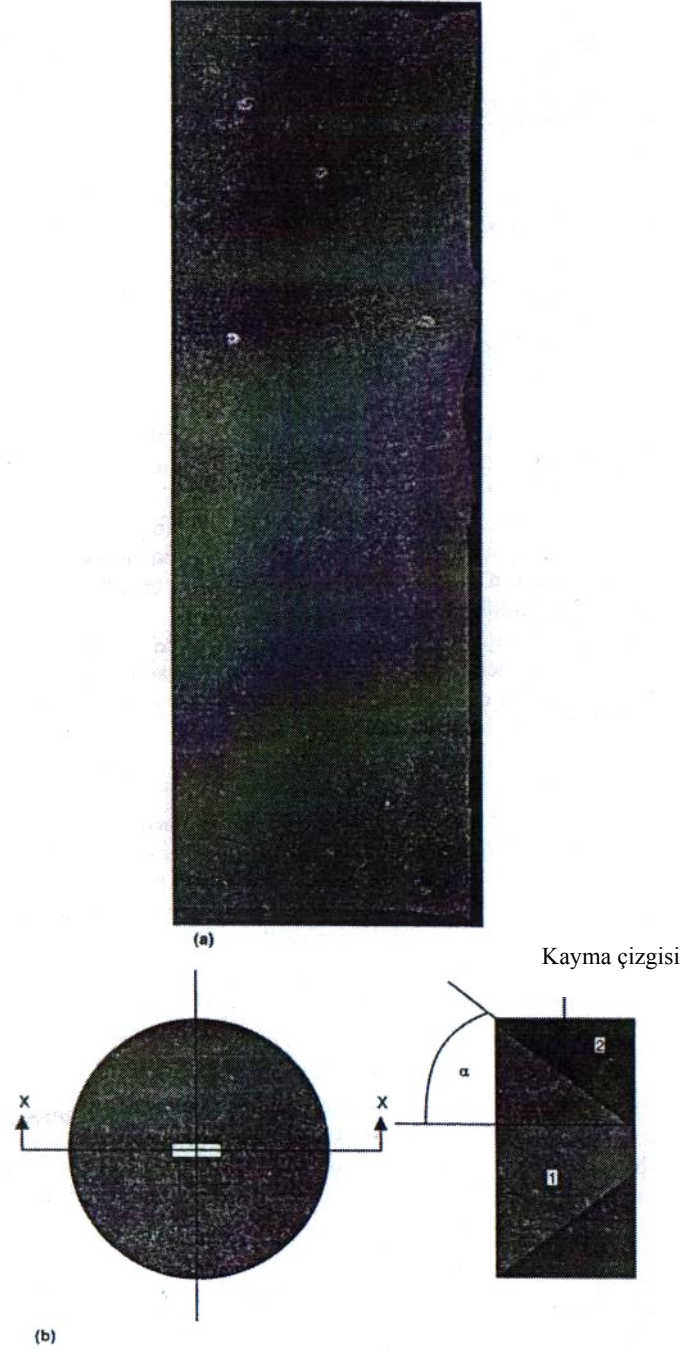
üniform olmayan sıcaklık dağılımlarıyla ile sağlanır. Malzemeler konteynır içerisinde daha sert kayma deformasyonlarına maruzlardır ve aynı zamanda daha da uzamış ölü-metal bölgesi oluşur.

Ekstrüzyon sırasındaki metal akışı ekstrüzyon edilmiş alüminyum profillerinin özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Metal akışının etkilendiği faktörler ise aşağıdaki gibidir:

- Ekstrüzyonun tip olarak direkt veya indirekt olması
- Pres kapasitesi, konteynırın boyutu ve şekli
- Sadece matriste ya da hem konteynır hem de matrisin ikisinde birden sürtünmeye bağlı etkiler
- Matrisin tip, tasarım ve dizaynı
- Billet uzunluğu ve alaşım tipi
- Billet ve konteynır sıcaklığı
- Ekstrüzyon oranı
- Matris ve takımların sıcaklığı
- Ekstrüzyon hızı

Matrisin tip, tasarım ve dizaynı ekstrüzyon sırasında billet malzemesinin mekanik işleyişini değiştirebilir. Boşluklu profiller (matrisler) malzeme üzerinde basit şekilli dolu profillerden daha fazla mekanik iş yaparlar.

Ölü metal bölgesi konteynırın köşelerinde oluşur ve malzeme bu yüzey boyunca kayar. Malzeme, bu, konik kalıp yüzeyi gibi hareket eden bölge üzerinden ekstrüzyon olmaya devam edebilir. Ekstrüzyon sonrası konteynır içerisinde yeterli miktarda malzeme (“ara iş”) bırakılmazsa yüzey ve alt yüzey kusurlarının oluşması olasıdır. Şekil 3.9 (a) ve (b); 7075 alaşımına ait ekstrüzyon artığının tipik dağlanmış halini (a) ve şematik olarak iki temiz bölgeyi (b) göstermektedir. Bölge 1, rijit konik bölge 2 boyunca akan metali göstermektedir ki bu ikinci bölge ölü metal bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Daha koyu görünen noktalar ekstrüzyon olmuş bölümde kusurlara neden olan oksit ve diğer katkıları ihtiva ederler. Burada α ; ölü metal bölgesi yarı açısıdır.



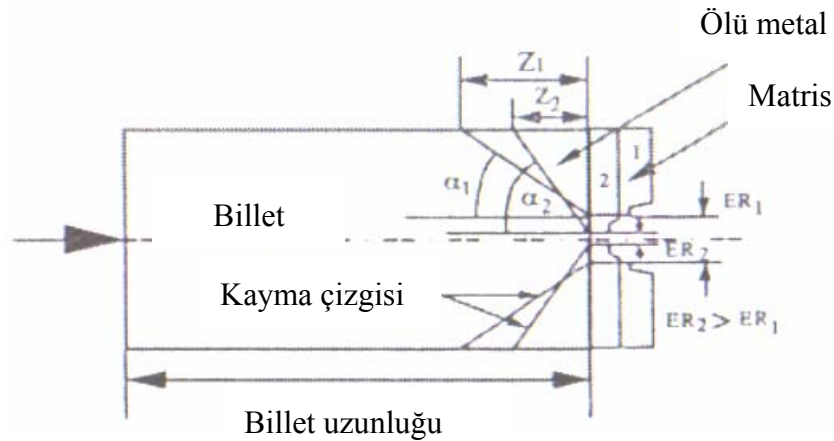
Şekil 3.9 Ekstrüzyondan sonra ara işe ait boylamasal kesit. (a) 7075 alaşımına ait tipik bir dağlanmış ara iş kesiti. (b) Ara iş kesitinin şematik görünümü ile ölü bölge (Saha, 2000).

Aynı sürtünme şartları altında billet ve alıcı ara yüzeyinde aynı alaşımdan billet için ölü metal bölgesi yarı açısı (α) ekstrüzyon oranı ER ile Şekil 3.10'da gösterildiği gibi değişir. Ekstrüzyon oranı arttığından α artar ve α arttığından dolayı da kayma çizgisi uzunluğu artar. Şekil 3.10'da, ER₁; daha büyük kalıp açıklığı için ekstrüzyon oranı iken ER₂; daha küçük kalıp açıklığının ekstrüzyon oranıdır ve α_2 yarı ölmüş metal bölgesinin ER₂ ye karşılık gelen açısıdır.

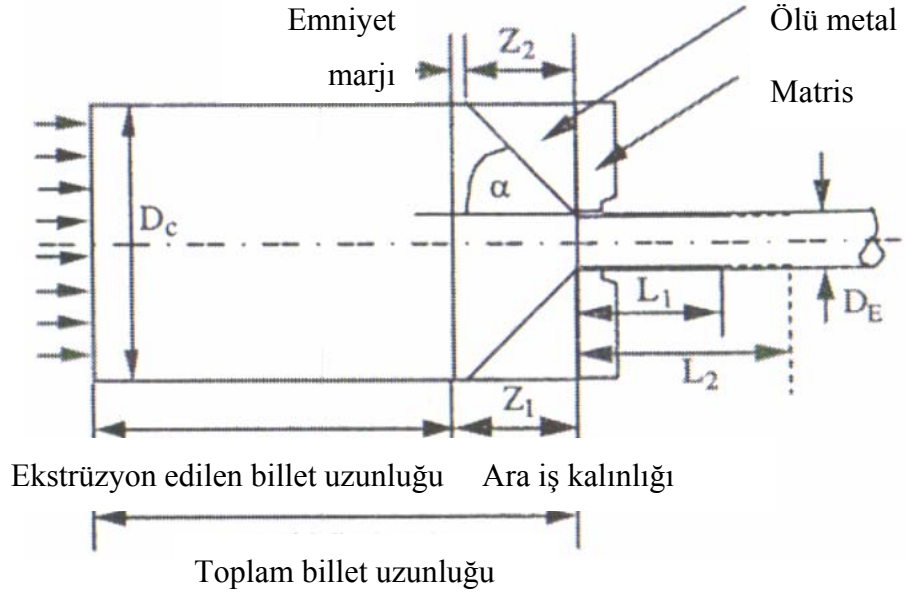
Endüstrideki pratiğe göre direkt ekstrüzyon için standart ara iş kalınlığı billet uzunluğunun %10-15 i tutulur (Saha, 2000). Ara iş kalınlığı; ekstrüzyon oranı, matris tipi, billet sıcaklığı, billetle konteynır arası sürtünme durumu ve billet malzemesinin akış geriliminin fonksiyonu olan ölü metal bölgesinin bir fonksiyonu olabilir. Şekil 3.11; ara iş kalınlığı ve ölü metal bölgesi konik yüzeyinin arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Emniyet marjı bölgesinde ekstrüzyonu durdurmak oksit ve diğer metalik veya metalik olmayan inklüzyonların ekstrüzyon içine akmasını engeller. Aşağıdaki maddelerin daha iyi anlaşılması için ara işin boyamsal kesitinin makro dağlamada sürekli olarak araştırılması tavsiye edilir:

- Ekstrüzyon değişkenlerinin değişimi ile ölü metal bölgesinin koniklik açısının değişimi.
- Matris açıklığının (oda sayısı) ve matris tipinin (dolu veya boşluklu) değişimi ile ölü metal bölgesinin değişimi.
- Bir grup ekstrüzyon ve matris değişkenleri için optimum ara iş kalınlığının tespiti.
- İndirekt ekstrüzyon durumunda ölü metal bölgesinin oluşumu ve metal akışı.

Bu bilhassa havacılık endüstrisinde olduğu gibi daha sert alaşımların kullanıldığı alanlarda daha da önemlidir. Şekil 3.11'de de gösterildiği gibi pres emniyetli marj bölgesinde durdurulmalıdır.



Şekil 3.10 Ekstrüzyon oranı ile yarı ölü metal bölgesi açısı arasındaki ilişki (Saha, 2000).



Şekil 3.11 Ölü bölge ve ara iş kalınlığı arasındaki ilişki (Saha, 2000).

4 ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA PROSES KONTROL

Verimlilik ve kalite, alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde temel pazarlama faktörüdür. Yine verimlilik ve kalite; iş başarısı, büyüme ve artan rekabetçi pozisyona liderlik eden anahtar bir faktördür. Şirketlerin, yatırımlar üzerinde kârlılığı arttıran etkili kalite geliştirme programlarından, kaliteyi bir iş stratejisi olarak verimli bir şekilde kullanışlarına doğru büyük bir dönüş vardır. Etkili bir verimlilik geliştirme programı; artan sektör nüfuziyeti, daha yüksek verimlilik ve imalat ve hizmette daha düşük toplam maliyeti beraberinde getirir ayrıca proses yaklaşımındaki gelişimlerle ıskarta oranları düşer ve imalat süreleri de azalır. Sonuç olarak bu tip ilerleme programlarına sahip olan şirketler önemli rekabet avantajlarına da sahip olurlar.

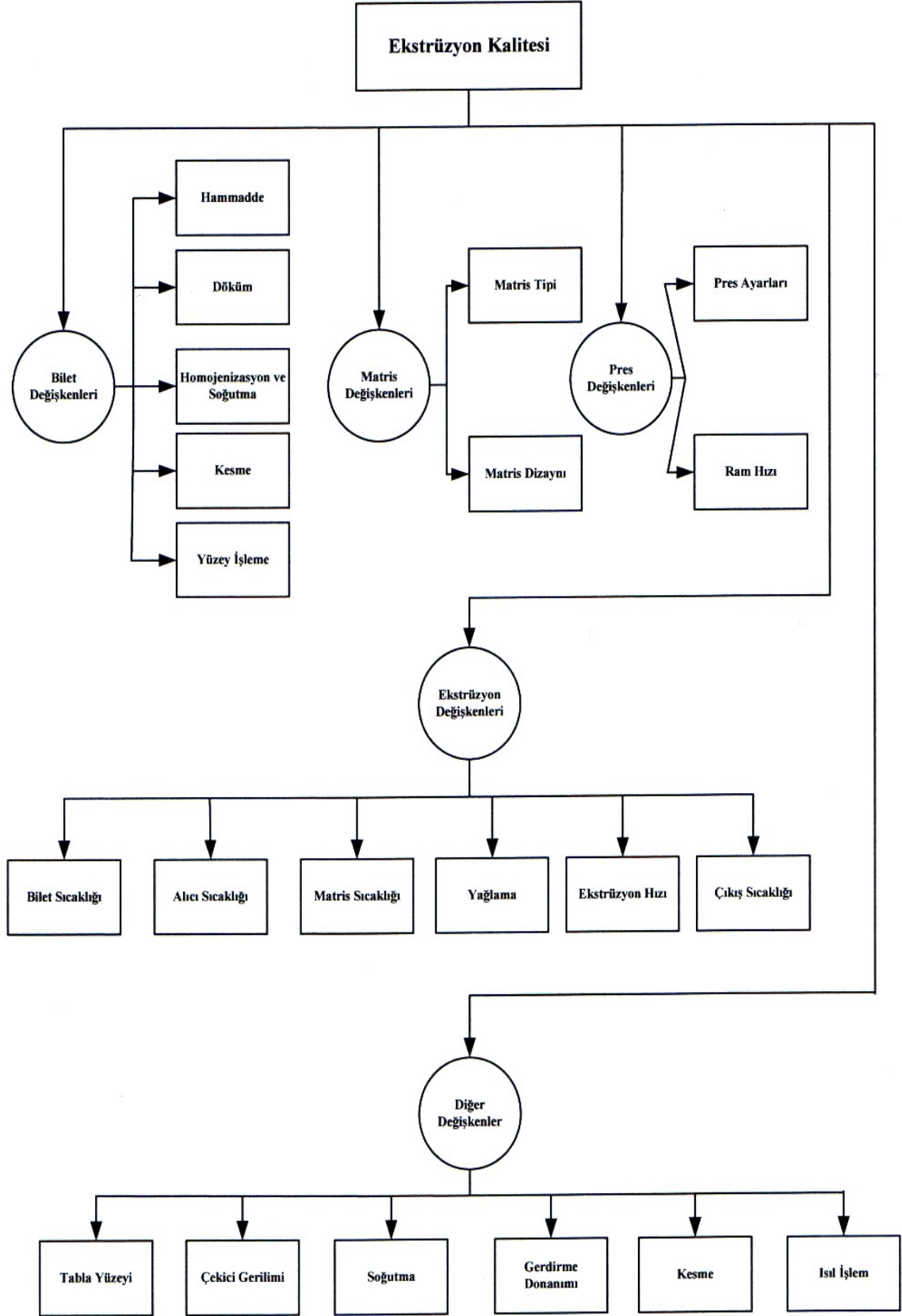
Öte yandan ekstrüzyonun verimliliği temel olarak Şekil 4.1’de gösterilen süreçteki değişkenlerin verimliliği doğrultusunda geliştirilen proses kontrole bağlıdır fakat bununla birlikte ekstrüzyon prosesindeki bu süreç değişik imalatlarda küçük değişiklikler gösterebilir.

Genelde Alüminyum ekstrüzyon ürünleri, ticari ve endüstriyel kullanım alanlarında alaşımların uygulamalarına ve özelliklerine dayanılarak iki değişik alanda kategorize edilirler:

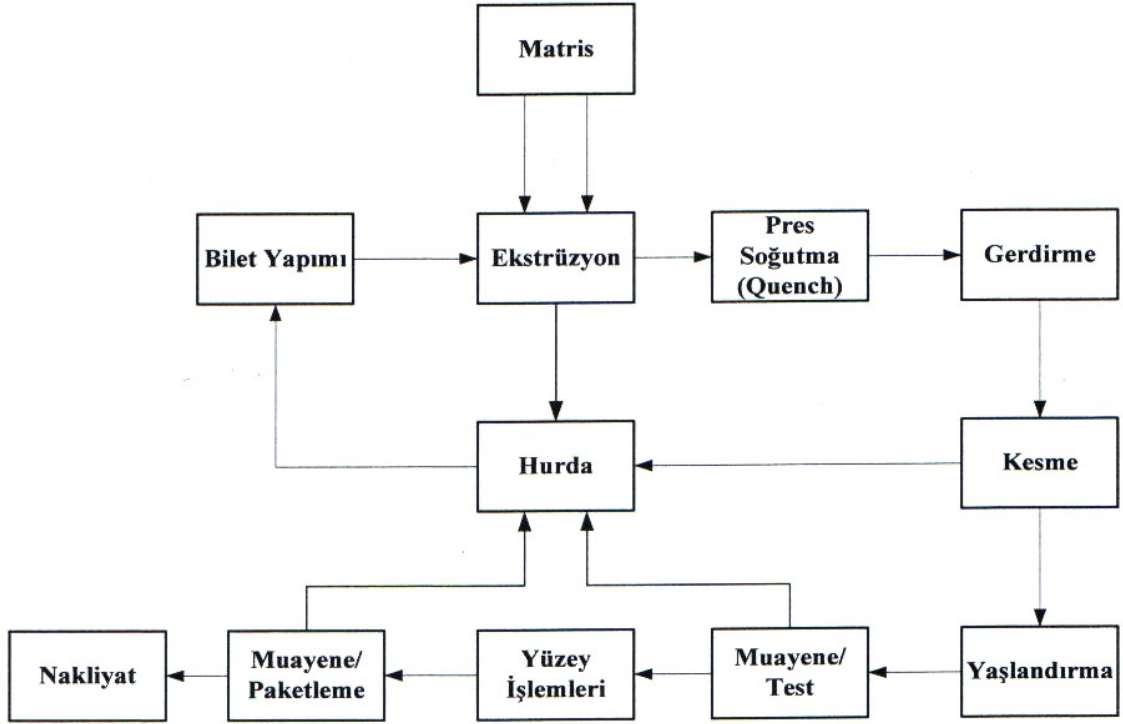
- I, Yumuşak ve orta sertlikte alaşımlar: Mimari, ticari ve endüstriyel uygulamalar (ısıl işleme tabi olabilen ve ısıl işlem yapılamayan alaşımlar).
- II, Daha sert alaşımlar: Yapısal, endüstriyel ve özellikle uçak sanayii uygulamaları (ısıl işlem uygulanabilen alaşımlar) (Saha, 2000).

Şekil 4.2 daha yumuşak alaşımlarla çalışan ekstrüzyon fabrikalarının fonksiyonel blok diyagramlarını göstermektedir. Benzer olarak Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te de müşteri taleplerini karşılamak için değişik ısıl işlem prosesleri ile daha sert alaşımlar kullanan ekstrüzyon fabrikalarının fonksiyonel blok diyagramları gösterilmektedir.

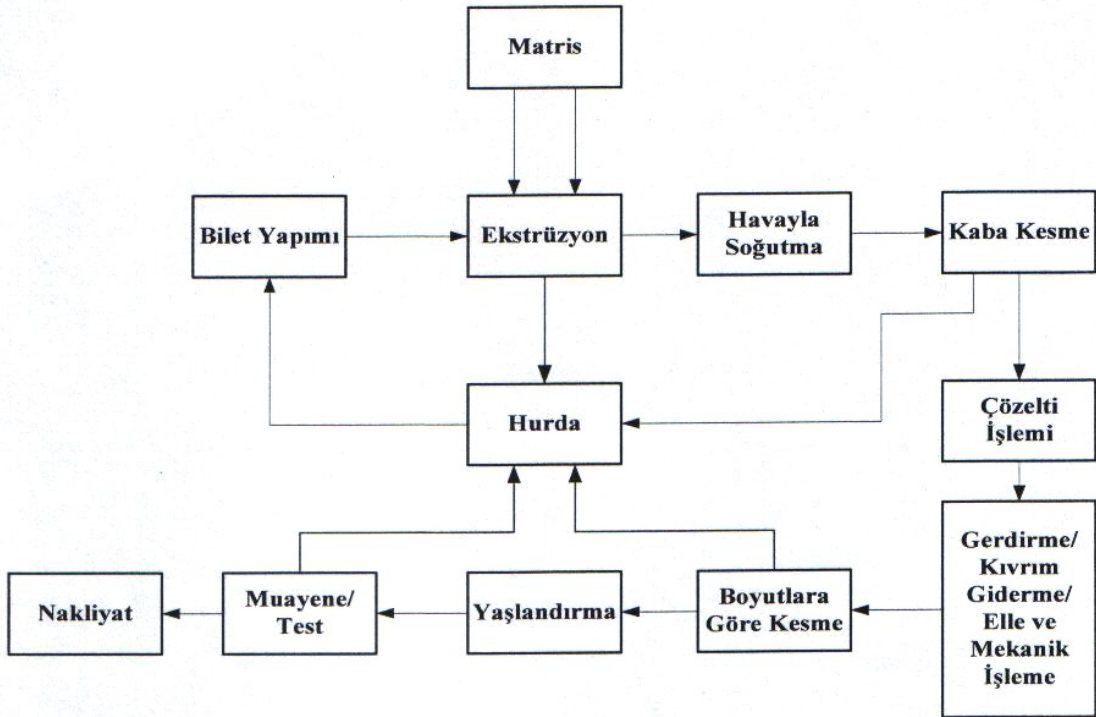
Daha iyi bir proses kontrolü ile daha verimli bir ekstrüzyon sağlanacaktır. Billet dökümünden ekstrüzyon ürününe uygulanan ısıl işlemlere kadar toplam proses kontrol sistemine dikkat sarf edilmesi büyük önem taşır. Bir ekstrüzyon prosesinin temel adımları; billetin dökümü ve ekstrüzyona hazırlanması, matrisin ekstrüzyona hazırlanması, presleme süreci, gerdirme, ısıl işlem ve yüzey işlemleri şeklinde tanımlanabilir. Bu bölümde, prosesin her aşamasını daha iyi kavramayı sağlamak için her alt adımın detaylandırılmış proses kontrol tabloları ve akış diyagramları ele alınacaktır.



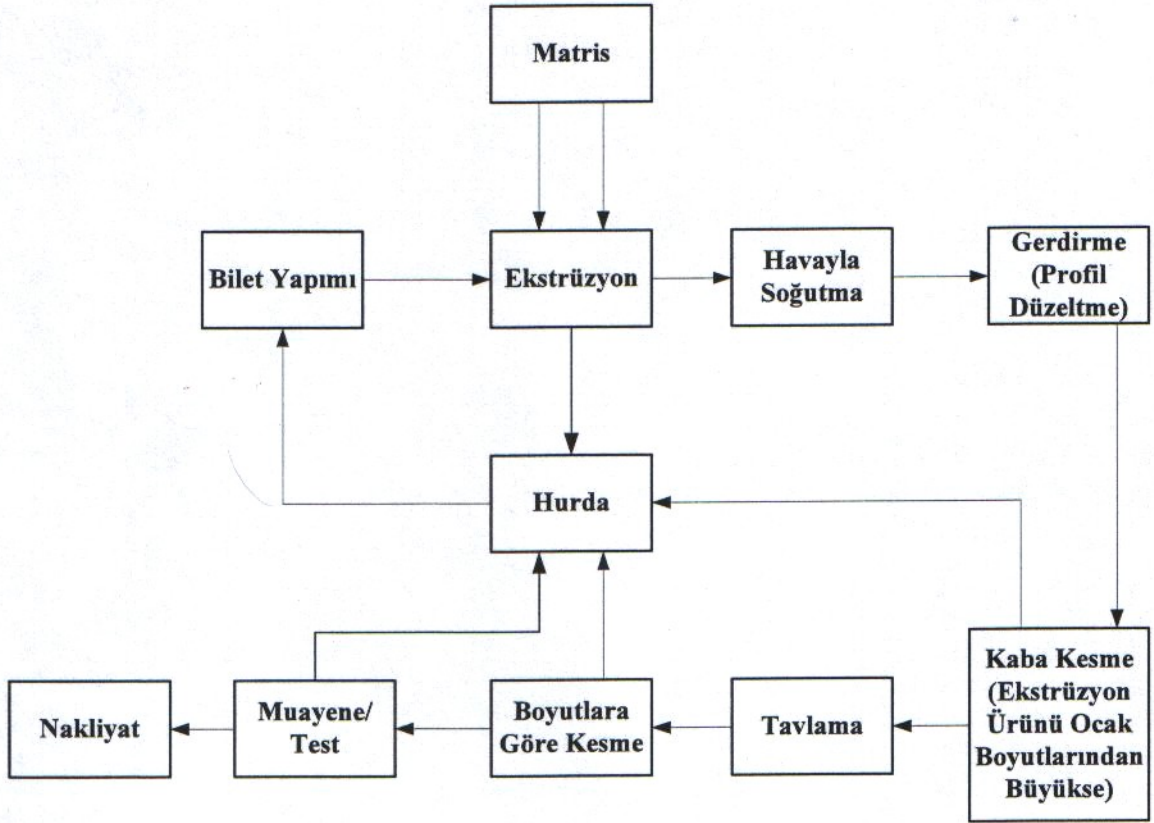
Şekil 4.1 Ekstrüzyon kalitesine etki eden değişkenler (Saha, 2000).



Şekil 4.2 Yumuşak alüminyum alaşımı ile ekstrüzyon yapan fabrikaların temel proses adımlarını içeren fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).



Şekil 4.3 Daha sert alüminyum alaşımları ile ekstrüzyon yapan fabrikaların temel proses adımlarını içeren fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).



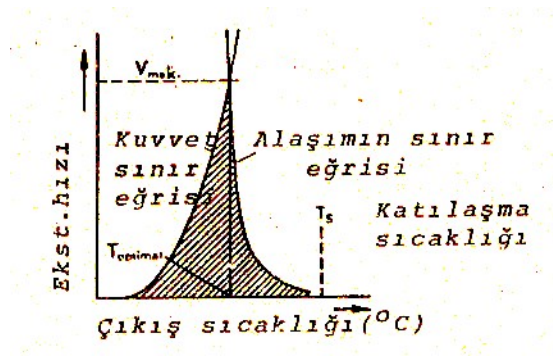
Şekil 4.4 Daha sert alüminyum alaşımları ile ekstrüzyon yapan fabrikaların temel proses adımlarını tavlama prosesi ile birlikte içeren fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).

4.1 Ekstrüzyon Değişkenleri

Ekstrüzyon işlemi sonrasında elde edilecek ürün kalitesine; bilet sıcaklığı, konteynır sıcaklığı, matris sıcaklığı, ekstrüzyon hızı, çıkış sıcaklığı, yağlayıcının türü ve kalitesi büyük ölçüde etki etmektedir. Dolayısıyla özellikle bilet, konteynır ve matrisin çalışma sıcaklıklarını ve de ram hızını çok isabetli seçmek gerekmektedir. Bu seçimler çıkış sıcaklığını ve dolayısıyla da elde edilen ürünün mikroyapısını belirleyecektir. Sonrasında ise elde edilen ürün, uygun şekilde soğutulup, istenen boylarda kesilerek, ısıtma fırınlarında yine uygun sıcaklık ve sürelerde tutulmak suretiyle son haline getirilmiş olunur. Tüm bu parametreler gerek takip eden başlıklarda gerekse pratik uygulama kısmında detaylandırılacaktır. Bununla birlikte ekstrüzyon değişkenleri başlığının altında; ekstrüzyon kuvveti ve hızına, yağlamaya ve de alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtma işlemleri ve bunların gösterilişlerine kısaca değinilmiştir.

Ekstrüzyon yönteminde gerekli kuvvet, ekstrüzyon malzemesinin şekil değiştirme mukavemetine bağlıdır. Sıcak şekil değiştirmenin amacı, yüksek sıcaklıklarda ekstrüzyon

yaparak malzemenin şekil değiştirme mukavemetini dūřürmek 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. Bir diyagramda, çıkış sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı apsis ve oordinat olarak gösterilecek olursa iki limit eęri elde edilir (Şekil 4.5). Bu eğrilerden bir tanesi ekstrüzyon kuvveti limit eğrisi olup, bunun üzerinde şekil değiştirme mümkün olmamaktadır. İkinci eęri metalurjik 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.



Şekil 4.5 Ekstrüzyon hızı için limit eğrileri (Sönmez, 1989).

Bu bilgilerin ışığı altında genel olarak iki farklı çalışma diyagramının incelenmesi gerekir. Al 99,5 ve AlMgSi 0,5 (AA6063) gibi kolay ekstrüzyon edilen alaşımlar ile yine kolay ekstrüzyon edilebilen ağır metallerde geniş çalışma alanı ortaya çıkar, zor ekstrüzyon edilen alaşımlarda ise maksimum hız tarafından sınırlanan dar bir çalışma alanı söz konusu olur (Sönmez, 1989).

Gereken yükleme miktarı presin sağladığı kapasiteyi aştığında veya ekstrüzyon sıcaklığı alaşım malzemesinin solidus eğrisini aştığı zaman, ekstrüzyon yapılamaz hale gelebilir veya umulan sonuçları veremeyen ürünler sağlayabilir. Eğer pahalı bir ekstrüzyon tesisinde doğru ve ekonomik bir kullanım isteniyorsa billetin sıcaklığı, genleme hızı, çalışılan malzemenin akış gerilimi ve ekstrüzyon oranına ait bilgilere gerek vardır. Ekstrüzyon için gerekli olan kuvveti ve matrizen çıkan malzemenin kalitesini etkileyen temel değişkenler aşağıdaki gibidir:

- Ekstrüzyon oranı
- Çalışma sıcaklığı
- Deformasyon hızı
- Alaşımın akış gerilimi

Çok bölmeli matrislerde ekstrüzyon oranı (ER) şöyle tanımlanır:

$$\frac{A_C}{n(A_E)} \quad (4.1)$$

burada n simetrik hollerin sayısı, A_C konteynırın alanı ve A_E ise ekstrüzyon alanıdır.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 matris 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 konteynıra olan ısı transferi ve deformasyon ve sürtünme ile ortaya çıkan ısıya bağlıdır.Gerçek bir alüminyum ekstrüzyon

uygulanmasında genellikle önceden ısıtılmış konteynır içerisinde sıcak billet yüklenir yüklenmez ve ekstrüzyon başlar başlamaz çok karmaşık ısıl değışiklikler başlar.

Ekstrüzyon prosesine metalin vereceği cevap deformasyon hızından etkilenebilecektir. Ram hızının artması ile ekstrüzyon basıncında bir artış meydana gelir. Artan Ram hızı ile birlikte sıcaklık oluşumu da artar. Bu artış Ram hızı ile doğru orantılı olan genleme hızından kaynaklanmaktadır ve meydana gelen ısının büyüklüğü genleme hızı ile orantılıdır. Daha düşük Ram hızı ile akış için üretilmiş ısı için daha fazla zaman elde edilir. Daha yüksek iletkenliğinden dolayı alüminyum ile birlikte ısı iletimi daha çok telaffuz edilmektedir.

Gerçek gerilme-genleme diyagramı sıklıkla bir akış eğrisi olarak tanımlanır çünkü bu verilen herhangi bir genleme değerine karşılık metalin plastik olarak akışını gerçekleştirmek için gerekli olan gerilmeyi verir. Akış gerilimi, $\bar{\sigma}$, önemlidir çünkü plastik deformasyon prosesinde şekillendirme yükü veya gerilimi parça geometrisi, sürtünme ve şekil değıştiren malzemenin akış geriliminin bir fonksiyonudur. Malzemenin akış gerilimi aşğıdaki faktörlerden etkilenir:

- Malzemenin kimyasal ve metalürjik yapısı
- Şekil değıştirme sıcaklığı, deformasyon veya genlemenin miktarı, $\bar{\epsilon}$, ve deformasyon veya genleme hızının hızı, $\dot{\epsilon}$

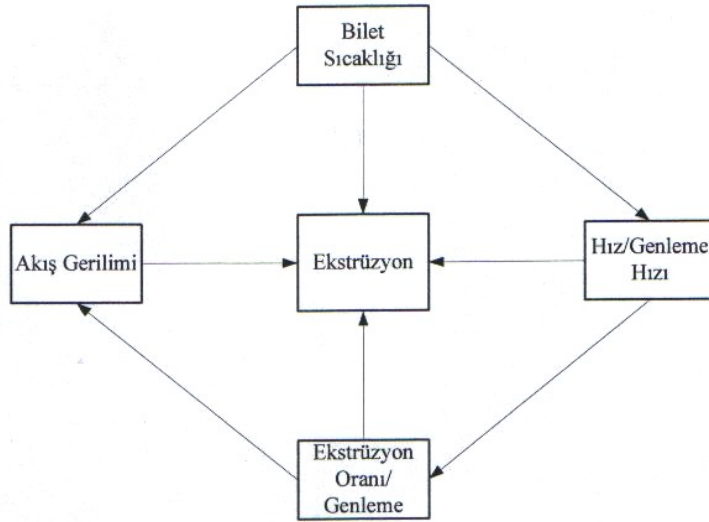
Sıcak işlenen metal için akış gerilimi deformasyon hızından çok önemli derecede etkilendiğinden sıcak işleme süreci sırasında akış gerilimini ölçmek için belirli bir metot yoktur. Bilet malzemesinin akış gerilimi hem genleme hızına hem de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklığın artması ile akış gerilimindeki düşüş ve daha genleme hızlarındaki artış birkaç çalışmayla ölçülmüştür. Gerçek çalışma şartları için metalin akış gerilimi deneysel olarak tespit edilir. Çoğunlukla akma gerilimini elde etmek için kullanılan metotlar çekme, üniform sıkıştırma ve torsiyon (burulma) testleridir. Akma gerilimi ve genleme hızı arasındaki ilişki alüminyum 6063'ün ekstrüzyonunda plastik genleme ve genleme hızının sıcaklık üzerine etkisini belirlemek için nümerik analizlerde kullanılabilir. Bu tip bir analizin doğruluğunun, malzemenin akma gerilimine fazlaca bağlı olmasından dolayı bu ilişki en yaygın çalışma sıcaklıkları için değışik alüminyum alaşımlarının akma gerilimini belirlemeye oldukça uygundur. Bu ilişki şu şekilde verilebilir (Saha, 2000):

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_0 \left(\frac{\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_0} \right)^{m^*} \quad (4.2)$$

burada, $\bar{\sigma}_0$ bilinen bir $\bar{\epsilon}_0$ genleme hızı için bilinen akım gerilimidir ve benzer olarak $\bar{\sigma}$ da $\bar{\epsilon}$ genleme hızındaki akma gerilmesidir. Örneğin m^* üstelinin AlMgSi1 alaşımı için 932 °F (500°C) deki tipik değeri 0,125 dir (Saha, 2000).

Kural olarak, ekstrüzyon edilen alaşımın akma gerilimi için daha düşük ekstrüzyon hızı, daha yüksek kritik kayma geriliminden dolayı konteynır ile billet arasında daha büyük sürtünme ve bu sürtünmeyi yenmek ve ekstrüzyona başlamak için de daha uzun zaman gerekmektedir. Bu birincil olarak malzemenin akma gerilimindeki artışın bir sonucudur ve sert bir alaşım ekstrüzyon için maksimum basınca ihtiyaç duyar. Mümkün olan en düşük billet sıcaklığını talep eden sert alaşımın ekstrüzyonu kötü yüzey karakteristiğinden dolayı zordur.

Ekstrüzyon üzerindeki değişik faktörlerin etkisi ve bunların aralarındaki ilişkilerin özeti Şekil 4.6'da bir kapalı devre zinciri olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Temel değişkenlerin ekstrüzyon üzerindeki etkisi (Saha, 2000).

Ekstrüzyon işleminde sürtünme oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Sürtünmenin malzeme akışı ve ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisi uygun ve homojen bir yağlama ile tamamıyla yok edilebilmekte veya azaltılabilmektedir. Böylece malzeme akışı daha düzenli olmakta ve ekstrüzyon için gerekli kuvvet küçülmektedir. Aynı zamanda yağlama sayesinde takım

yüzeylerinin aşınması minimum olmakta ve mamül yüzey kalitesi iyileşmektedir.Yağlama yapılmadan ekstrüzyon edilen alüminyum profillerinde sürtünme kayıplarının %35 değerine kadar ulaştığı ve ekstrüzyon kuvvetinin yaklaşık %50 arttığı görülmüştür (Sönmez, 1989).

Yağlamanın en önemli görevi sadece ekstrüzyon kuvvetini azaltmak değil, bir dizi kompleks fonksiyonu da yerine getirerek ekonomikliğini sağlamaktır.Ancak malzeme cinsine, ekstrüzyon sıcaklığına ve yöntemine uygun yağ seçilmeli ve homojen olarak yağlama yapılmalıdır.Ekstrüzyonda yağlayıcıdan beklenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Yağlayıcı kapalı bir yağ filmi biçiminde olmalı ve malzemenin matristen geçişi esnasında dahi yırtılmamalıdır.
- Isı izolasyonunu sağlamak, bu değeri ve takımların aşırı ısınmasını engellemek açısından yağlayıcının ısı iletme kabiliyeti düşük olmalıdır.
- Yağlayıcı 1000-1300°C'ta blok ile takımlar arasında bir ısı izolatörü görevi yapmalı ve böylece takımın mukavemetinin düşmesini önlemelidir.
- Isıtmadan hemen sonra blok yüzeyine etki ettirilen yağlayıcı, bloğu ve çubuğu bir kılıf gibi sararak oksitlenmeden korumalıdır.
- Yağlayıcı, oluşan ince oksit tabakalarını çözebilmelidir.
- Yağlayıcı; ekstrüzyon malzemesi ve takımlarla reaksiyona girmemelidir.
- Yağlayıcı; ekstrüzyon hızını arttırabilmelidir.

Elbette ki tüm bu şartların hepsine birden cevap veren bir yağlayıcı yoktur.Ancak malzemenin cinsine ve ekstrüzyon sıcaklığına göre kullanılan çok sayıda yağlayıcı vardır.

Alüminyum ekstrüzyonunda yağlama yapılmasının nedeni alüminyum ve bazı alaşımlarının takımlara sıvanmasındandır.Bu nedenle iyi yüzey kalitesi ve matris temizleme zamanlarını minimuma indirmek için matrisin veya bloğun alın yüzeyi az miktarda yağlanır.Yağlayıcılar sıvı veya sprey olarak uygulanırlar.Alüminyumun yağlanmasında önemli bir problem de profilin parlak yüzeyinin matlaşmasıdır.Bu durumda seçilen yağlayıcılar yüzey parlaklığını bozmamalıdır.Bloğun ön ve arka alın yüzeyleri yağlanmalı ve çevresi yağlanmamalıdır (Sönmez, 1989).

Proseste kullanılan yağlayıcı tiplerini aşağıda verilen Çizelge 4.1 ile ifade edebiliriz.Çizelge 4.1'de yağlayıcı tiplerinin herbiri avantaj ve dezavantajları ile birlikte verilmişlerdir.

Çizelge 4.1 Ekstrüzyon prosesinde kullanılan yağlayıcılar ve bunların özellikleri (Dyla, 1992).

Yağlayıcının cinsi	Avantajı	Dezavantajı
1.Kostik	Üstün sıcak yüzey tutuşu sağlar ve malzeme yüzeyi üzerine az etki eder.	Çevre koruma (EPA) ve mesleki sağlık ve güvenlik yönetimine (OSHA) uyumsuzdur.
2.Gres	Kalın bir yağlama filmi oluşturur.	Duman tehlikesi vardır ve çoğu sağlıksızdır.
3.Grafit/çözücü	Soğuk metal üzerinde üstün nitelikte bir film tabakası oluşturur.	Tutuşma riski vardır.
4.Grafit/yağ	1000°F (537,8°C)'ı geçen sıcaklıklardaki metal üzerinde üstün bir film tabakası oluşturur.	Duman tehlikesi vardır ve üründe çizgiler oluşabilir.
5.Grafit/su	Dumansız ve spreye elverişlidir.	Kabarcık oluşabilir.
6.Emülsiyon yağlar	Kullanım kolaylığı, spreylemeye elverişlilik sağlar.	Duman tehlikesi ve kabarcık oluşma riski vardır ayrıca sıcaklık direnci yoktur.
7.Balmumu	İyi bir sıcak ve soğuk ıslatma ve minimum lekeleme özelliği sağlar.	Duman tehlikesi vardır ve uygulamak zordur.
8.Organik yağ	Mükemmel yağlama sağlar ve soğukta emniyetli ve spreylemeye elverişlidir.	Yoğun bir duman salar ve tutuşma riski vardır.
9.Bor-nitrit/su	Üstün yağlama özelliği sağlar ve spreylemeye elverişlidir.	Maliyetlidir.

Çizelgenin üst kısmındaki yağlayıcılar günümüzde kullanılmamaktadır ve alt kısımdaki yağlayıcılar otomasyon için daha uygundur. Uygun ürün seçimi ve uygulama; çizgi, kabarcık, iz, inklüzyon gibi problemleri azaltmaya yardımcı olacaktır.

Öte yandan alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemlerden bahsetmek gerekirse bu işlemlerin belirli bir gösterimi vardır ve sözü edilen bu gösterimde bir harf ve bazen de bir sayı kullanılır. Buna göre alüminyum alaşımlarının ısıl işlemlerine ait gösterim aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

F. Fabrikasyon maksadı ile kullanılan ürünler için; ısıl işlem veya biçimlendirme neticesinde sertlik miktarının üzerinde, özel kontrol gerektirmeyen üretilere uygulanır. Bu üretimlerin mekanik özellik limitleri yoktur.

O. Tavlanmada tekrar kristalize edilmiş, ısıl işlem görmemiş yumuşak mamuller için kullanılır.

H. Germede sertleştirilmiş ve kısmi tavlanmış ürünlerin kodu olup, alaşımlı metalin kısmi olarak tavlanması için yeterli oda sıcaklığında ısıl işleme tabi tutulmuş ya da tabi tutulmamış

ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş üretime uygulanır.

H1. Germe sertleştirilmesi yapılmış; ısıtıl işlem tarafından yumuşatılmaya istenilen gücü elde etmek için germe sertleştirilmesine tabi olan malzemelere uygulanır (çeyrek sert).

H2. Germe sertleştirilmesi yapılmış ve sonra stabilize olmayan tavlanmış malzemeler için kod adıdır (yarı sert) (sert).

H3. Germe sertleştirilmesi yapılmış ve sonra stabilize edilmiş malzemelerin kod adı olup, germe sertleştirilmesine sahip olan ve sonra direnç kuvvetini daha aşağı çekmek ve şekil alabilme kabiliyetini arttırmak için düşük sıcaklıkta stabilize edilen üretimler için uygulanır. Bu kondisyon oda sıcaklığında derece derece yaşlandırılan stabilize edilmeyen magnezyum ihtiva eden alaşımlar için uygulanır.

W. Çözeltiye alma ısıtıl işlemi yapılmış fakat stabilize edilmemiş ürünlerin kod adı olup, çözeltiye alma ısıtıl işlemine tabi tutulmuş ve soğutulmuş daha sonra oda sıcaklığında yaşlandırılmış alaşımlar için uygulanabilen bir ısıtıl işlemidir.

T. ısıtıl işlemle sertleştirilmiş malzemenin kod adı olup, ilgili ısıtıl işlemler aşağıdaki şekilde uygulanır.

Çözeltiye alma ısıtıl işlemi

Soğutma

Doğal yaşlandırma,

Suni yaşlandırma

T1. Sıcak şekillendirmeden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlandırılmış

T2. Tavlanmış (sadece döküm malzemeler için)

T3. Çözeltiye alma ısıtıl işlemi yapılmış ve sonra soğuk işlenmiş

T4. Çözeltiye alma ısıtıl işlemi yapılmış ve sabit şartlarda tabii olarak yaşlandırılmış

T5. Sıcak ekstrüzyondan sonra soğuma yapılmış ve sonra suni olarak yaşlandırılmış

T6. Çözeltiye alma ısıtıl işlemi yapılmış ve suni yaşlandırılmış

T7. Çözeltiye alma ısıtıl işlemi yapılmış ve sonra stabilize edilmiş

T8. Çözeltiye alma ısıtıl işlemi yapılmış, soğuk işlenmiş ve sonra suni yaşlandırılmış

T9. Çözeltiye alma ısı işlemi yapılmış, suni yaşlandırılmış ve soğuk işlem yapılmış

T10. Suni yaşlandırılmış ve sonra soğuk işlenmiş

T11. Sıcak şekillendirmeden sonra, soğutulmuş, soğuk işlem yapılmış ve tabii yaşlandırılmış

T12. Sıcak biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş, soğuk işlem yapılmış ve suni olarak yaşlandırılmış

Burada suni yaşlandırmanın uygulanabildiği alaşımlar 2xxx, 6xxx ve 7xxx serileridir. Ayrıca H- ısı işlemleri ise 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx ve 8xxx'li serilere uygulanabilir (AYİD, 2004).

4.2 Billet Değişkenleri

4.2.1 Hammadde

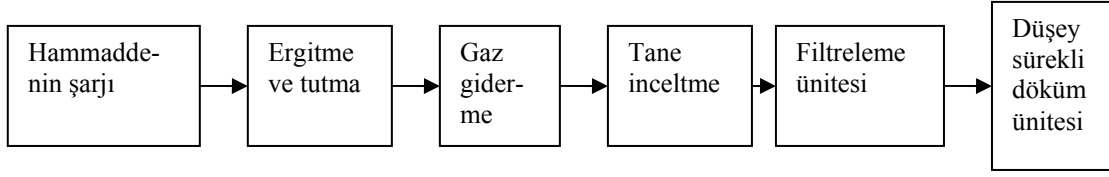
Hammaddenin, ekstrüzyon ürününün kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır çünkü yeterince iyi hazırlanmış alüminyum alaşımına ait bir blok, ekstrüzyon işlemi sırasında sorun çıkartmayarak üretim süresinin kısılması yoluyla verimliliğe katkıda bulunacağı gibi işlem sonrasında da kaliteli bir ürün elde etmemize yardımcı olacaktır.

Hammadde olarak alüminyum oldukça kolay bulunabilmektedir öyle ki yeryüzünde en kolay bulunan elementler arasındadır. Dolayısıyla ekstrüzyon işleminde böylesi bir elementi kullanmak suretiyle hem hammadde maliyeti düşürülmüş olur hem de ekstrüzyon tekniğinin daha da hızlı gelişmesine önayak olunur.

4.2.2 Döküm

Billet kalitesi, ekstrüzyon verimini ve kalitesini doğrudan kontrol etmekte yahut etkilemektedir. Ekstrüzyonun kazancı billet maliyetine bağlıdır. Döküm maliyeti ve billet kalitesi ekstrüzyon üreticisi için çok önemli iki faktördür. Teknoloji yüksek produktivite ve kaliteye doğru değişmekte ve gelişmektedir. Billet prosesinde, ekipmanlarında ve teknolojisindeki gelişmeler Aluminum Association ve Aluminum Extruders Council'in Uluslararası Ekstrüzyon Teknolojisi seminerlerinden takip edilebilir.

Başka yöntemler de mevcut olmasına rağmen günümüzde billet dökümü için en çok kullanılan yöntem D.C. Döküm olarak da adlandırılan sürekli döküm yöntemidir. Düşey sürekli döküm prosesine ilişkin adımlar Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Düşey sürekli döküm prosesinin fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).

Şekil 4.7'den de anlaşılacağı üzere hammadde girişinin yapıldığı andan dökümün gerçekleştirildiği ana kadar bir çok araişlem yapılmaktadır.Öncelikle hammadde ergitilerek, soğutması genellikle su ile yapılan kalıba dökülür, metal soğumaya başladığında kalıp tabanında bulunan blok hidrolik bir Ram vasıtasıyla kontrollü bir hızla indirilir bu hız aynı zamanda billet döküm hızını da tanımlamaktadır.Ergitme ve tutmadan sonra araişlem olarak akma ve gaz giderme, tane küçültme ve de filtreleme işlemleri yapılır.Yeni katılaştıran yüzey kalıptan çıkartılırken üzerine su püskürtülür.İşlemin temeli bu şekildedir.

4.2.2.1 Şarj Malzemesinin Hazırlanması

Şarj malzemesinin hazırlanmasında alüminyumun haricinde bazı alaşım elemanları da gerekmektedir.Şarj malzemesi üç ana bileşenden oluşur bunlar; yüksek saflıkta alüminyum ingotlar, alaşım elementleri ve temel alaşımlar, ve geri kazanılmış hurdalardır.Yüksek saflıkta ingot kullanımına dair seçim maliyet limitleri içerisinde yüksek saflıkta billet kalitesi sağlama doğrultusunda alınan yönetsel bir karardır (Saha, 2000).En iyi şekilde arındırılmış alüminyum dahi yapısında birçok impürite içerir.

Çizelge 4.2 Arındırılmış alüminyumdaki impüriteler (Granger, 1989).

İmpürite	Bileşim oranı, %
Fe	0,06-0,35
Si	0,05-0,15
Na	0,002-0,004
Ca	0,002-0,004
Li	0,002-0,004
Ti, Zr	0,005-0,020
V, Cr	0,005-0,020
Al ₂ O ₃	Değişken
Al ₂ MgO ₂	Değişken
Al ₄ C ₃	Değişken

TiB ₂ ,	Değişken
H	3x 10 ^{-5a}

Magnezyum ve çinko gibi düşük ergime noktalı alaşım elemanları, genellikle ergimiş metale saf metal çubuk formunda ilave edilmektedir. Silisyum, manganez, nikel, bakır ve krom gibi yüksek ergime noktalı alaşım elemanları temel alaşım elemanı veya sertleştirici olarak ilave edilir (Saha, 2000). Çizelge 4.3'te arındırma, modifikasyon ve tane inceltme için kullanılan esas alaşım elemanları gösterilmiştir. Sertleştiriciler ergitme esnasında şarj malzemesine ilave edildiklerinde, alaşım elemanları ergimiş alüminyumla yeniden ısıtma yapılmaksızın karıştırılırlar. Sertleştirici kimyası sıkı bir şekilde kontrol edilir.

Bir önceki işlemin hurdaları dolmuş malzemesine uygun segregasyon prosesiyle ilave edilir. Kontrollü miktarlarda uygun hurda kullanımı billet kalitesini etkileyen önemli bir faktördür (Saha, 2000).

Çizelge 4.3 Alüminyum esas alaşımları (Granger, 1989).

Amaç	Bileşim	Bileşenler
Alaşımlama	Al-25% Mn Al-75% Mn Al-5%Fe Al-75%Fe Al-10%Cr Al-6%Zr Al-5%V	MnAl ₃ + MnAl ₄ + MnAl ₆ Mn + Al tozu FeAl ₃ FeAl ₃ CrAl ₇ ZrAl ₃ Val ₃ + Val ₁₀
Arındırma	Al-3%B	AlB ₂ (esas) + AlB ₁₂
Modifikasyon	Al-10%Sr Al-16%Si-10%Sr	Al ₄ Sr Al ₂ SrSi ₂
Tane inceltme	Al-10%Ti Al-6% Ti Al-5% Ti-1%B Al-5% Ti-0.2%B	TiAl ₃ TiAl ₃ TiAl ₃ +TiB ₂ + (TiAl)B ₂ TiAl ₃ +TiB ₂ +(TiAl)B ₂

4.2.2.2 Ergitme ve Tutma

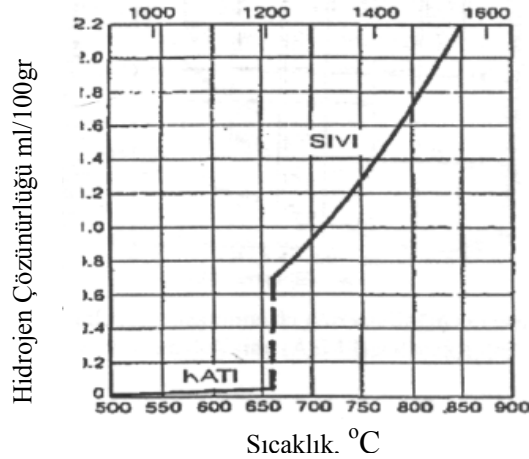
Alüminyum ergitmek ve alaşımlandırmak için kullanılacak ocağın seçimi dökümün tipine ve döküm boyutuna bağlıdır. Billet döküm işlemleri için geniş, refrakter kaplamalı, yansıtıcı sabit ocaklar kullanılmaktadır. Sırasıyla iki ayrı ocak kullanılmaktadır. Birinci ocak dolmuş

mazemesini ergitmek için kullanılır, ikincisi ise tutma ve döküm için kullanılır. Güncel eğilim; DC döküm ünitesini beslemek için sabit ocaklar yerine dönen ocakların kullanılması yönündedir. Dönen ocaklar karıştırma, sıyırma ve ocak temizliğini kolaylaştırmak için tek kapılı tamamen açık bir ağıza sahiptir. Alüminyum ve alaşım elementleri birlikte uygun bir ocakta ergitildikten sonra, malzeme tutma ocağına transfer edilir. Dönebilir ocaklar etkileşimli bir sistemle donatılmışlardır, tamamen otomatik sistemlerde, ergiyik alüminyumun akışı ocak açısıyla kontrol edilir. Ergimiş metal aşırı çalkantılardan kaçınmak ve yüzeydeki oksit tabakasının kırılmasını önlemek için tabandan itibaren yukarı doğru karıştırılır. Daha sonra yüzeydeki oksit tabakası sıyrılıp alınır (Saha, 2000).

4.2.2.3 Gaz Giderme

Alüminyumda hidrojen oldukça zararlıdır çünkü döküm esnasında gözenekliliğe sebep olur ve daha sonra da ekstrüzyon edilmiş, bilhassa sert alaşımların ısıl işlemlerinde de kabarcık oluşma olasılığını arttırır. Alüminyum billet dökümünde hidrojen absorpsiyonu için birçok potansiyel kaynak vardır. Ocak atmosferi, dolum malzemesi, eritkenler, harici bileşenler ve metal ile kalıbın reaksiyonu buna örnek olarak gösterilebilir. Çözünmüş hidrojen doğru gaz giderme ile azaltılabilir veya önlenir. Gaz gidermenin yapılabileceği birçok yol vardır, gaz arındırma, tablet-tipi eritken gaz gidericiler, mekanik mikser gaz giderme gibi (Saha, 2000).

Hidrojen gazı alüminyum yüksek çözünürlük gösteren bir gaz olduğundan üzerinde hassasiyetle durulması gerekir. Şekil 4.8’de hidrojen çözünürlüğünün sıcaklıkla olan ilişkisi gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi hidrojen çözünürlüğü sıcaklıkla doğru orantılı bir ilişki içerisindedir. Dolayısıyla gaz absorpsiyonunu azaltmak için ergitme işlemi sırasında yüksek sıcaklıklarda çalışılmamalıdır.



Şekil 4.8 Bir atmosfer hidrojen basıncındaki alüminyumun hidrojen çözünürlüğü (Demircioğlu, 2002).

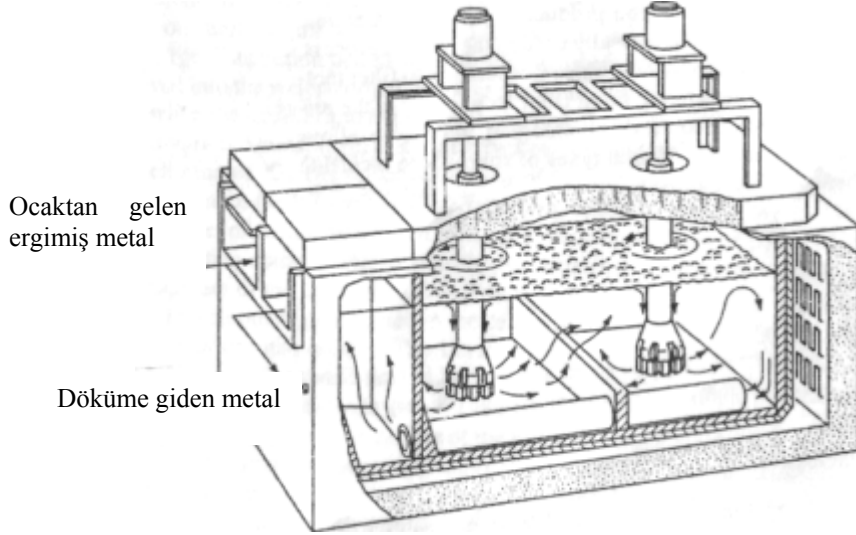
Başta da bahsedildiği gibi başlıca hidrojen gazı kaynakları; su buharı ve biraz da hidrojen içerebilen fırın atmosferi, refrakterlerden çıkan nem, kirli gelberi ve fırın aletleri, nem yüzünden korozyona uğramış ürünler, ıslak ingot ve hurda, yağlı hurdalar ve nemli eritkenlerdir (Çakmak, 1984).

Alüminyum biletlerin dökümünde; sıvı metali korumak için, sıvı metali temizlemek için, gaz gidermek için ve de curuftaki metali kazanmak için çeşitli flakslar (eritkenler) mevcuttur. Bu flaksların uygun bir şekilde seçimi verimlilik ve kalite üzerinde önem teşkil etmektedir.

Kullanılacak flaks çökme ve tepkime durumlarında yoğunlukça fazla, örtme görevi beklendiği durumlarda da mümkün olduğunca hafif olmalıdır. Ayrıca nem kapıcı olmamalı, zehirli gaz çıkarmamalı, kolay temin edilebilmeli ve kullanımları ekonomik olmalıdır (Çakmak, 1984).

Eritkenlerle yapılan gaz giderme işlemleri basit ve bir bakıma etkili olmalarına rağmen yeterli verimliliğe sahip değildir. Bu yöntemin kullanılabilirliği, oluşturulan kabarcığın büyüklüğüne ve eriyik ile kabarcığın temas yüzeyinin genişliğine bağlıdır. Bazen büyük kabarcıklar elde etmek mümkün olabilmekte ve hatta eritken çubuğu veya borusu kullanılarak küçük karıştırma çalkalanmaları elde etmek mümkündür. Elde edilmiş olan en çarpıcı gelişme ise dönel sistem sayesinde gaz enjeksiyonu ile gaz gidermedir (Demircioğlu, 2002).

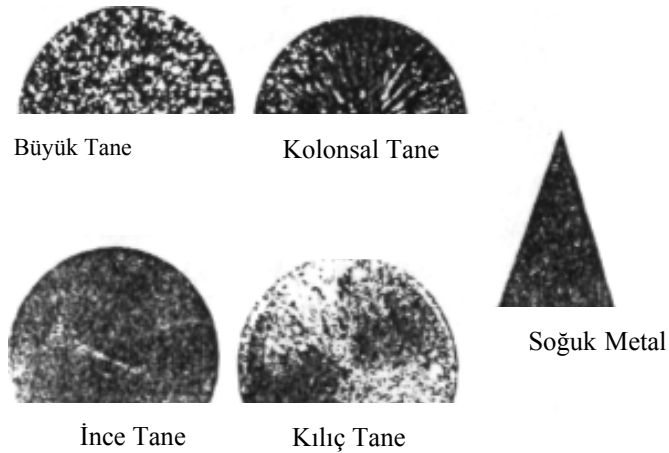
Şekil 4.9'da görülen düzende bir kap içersine giren ergiyik metal dönen bir şaftın rotorundan yayımlanan gaz kabarcıklarının temasına maruz bırakılmakta ve bu kabarcıkların tüm ergiyiğe tesir edebilmesi için de şaft döndürülerek karıştırma işleminin gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Döndürme işlemi 300 ila 500 dev/dak hızlarında gerçekleştirildiğinde kabarcıklar daha küçük ebatlara ayrılmaktadır. Elde edilen, daha fazla yüzey alanı/hacim oranı ile daha fazla temas yüzeyi sağlanmakta ve gaz giderme işleminin daha verimli olabilmesine imkan tanınmaktadır. Sistemde kullanılan gaz ise tek başına argon, nitrojen, klorin veya bu üç gazın karışım olabilmektedir (Demircioğlu, 2002).



Şekil 4.9 SNIF gaz giderme sisteminin şematik görünüşü (Saha, 2000).

4.2.2.4 Tane İnceltme

Alüminyum billet dökümünde amaç, eşit büyüklükte küçük taneli bir yapı elde etmektir. Çeşitli tane yapıları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Billet dökümünde oluşan tane tipleri ve boyutları birçok faktör tarafından belirlenmektedir, bunlar alaşımın kimyası, katılaştırma hızı ve tane küçültücü ilavesidir. Tane küçültücüler döküm prosesini, büzülme, sıcak çatlakları ve hidrojen porozitesini minimuma indirerek geliştirirler. Sonuç olarak, küçük tane yapısı ekstrüzyonda iyileştirilmiş mekanik özellikler, ısıl işlemlere daha iyi cevap verme, ekstrüzyonun kimyasal veya elektromekanik bitirme işleminde daha iyi görünüş ve yüzey çatlaklarına karşı daha iyi direnç sağlar. En çok kullanılan tane küçültücüler titanyum ve borun başlıca alaşımları veya alüminyum içindeki titanyum ve bordur (Saha, 2000).



Şekil 4.10 Billet dökümünde oluşan farklı tane yapıları (Saha, 2000).

Tane inceltme ile elde edilen faydalar şöyle sıralanabilir:

- Dökülen billetin mekanik özelliklerinde iyileşme
- Sıcak yırtılma dayanımında artış
- Basınç esnasında sızdırmazlıkta artış
- Talaşlı işlemede iyileşme
- Isıl işlemde kolaylık ve etkinlik
- Gözeneklilikte azalma
- Segregasyon sorunlarında azalma
- Anodik kaplamanın görünümünde iyileşme (Zalensas, 1986).

Tane küçültücüler, ana malzemenin kimyasal bileşimini önemli ölçüde değiştirmeden ergiyiğe katılan elementlerdir. Alüminyum döküm alaşımlarında tane boyutunu kontrol etmenin en yaygın ve pratik yolu tane küçültücü elementlerin (titanyum, bor veya zirkonyumun) döküm işleminden hemen önce dikkatli ve ölçülü bir şekilde ilavesidir. Titanyum ve bor çok etkin tane küçültücülerdir. Sıvı metal içinde titanyum alüminit, titanyum diborit veya daha kompleks intermetalik bileşik çekirdekleri oluştururlar. Bu sayısız çekirdekler dökümün katılaşması esnasında ince eş eksenli tanelerin oluşmasını sağlarlar (Zalensas, 1986).

4.2.2.5 Filtreleme

Alüminyum alaşımlarının oksidasyon ve metalik olmayan inklüzyon oluşumuna karşı büyük bir eğilimi vardır. Inklüzyonlar alaşımın fiziksel, mekanik, elektriksel özelliklerinde bozulmalara sebep olabilirler (Saha, 2000).

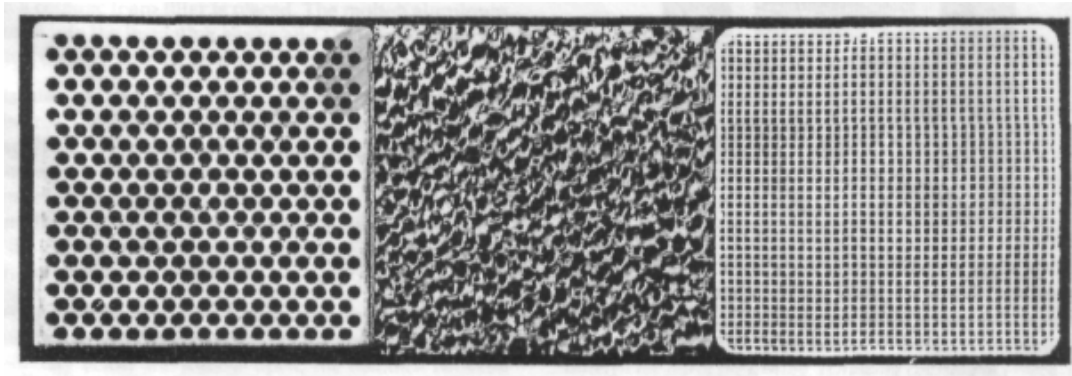
Ergimiş alüminyum alaşımlarında görülen inklüzyonlar şu şekildedir (Saha, 2000):

- Oksitler (Al_2O_3 , MgO)
- Spinel (Mg_2AlO_4)
- Borlar (TiB_2 , VB_2 , ZrB_2)
- Karbürler (Al_3C_4 , TiC)
- İntermetalikler ($MnAl_3$, $FeAl_3$)
- Nitritler (AlN)
- Refrakter inklüzyonlar

Filtreleme işlemi bilet kalitesinde önem bir konum teşkil ederler. Filtreleme işlemi; ergimiş metal, kalıba girmeden az önce gerçekleştirilir. Filtrelemede ergimiş metal gözenekli aygıtlardan geçirilir ve inklüzyonlar filtre sistemi tarafından yakalanır. Filtre malzemesinin

seçimi önem arz eder. Filtre malzemesi mukavim ve refrakter olmalı ayrıca korozyon ve ısı şoklarına karşı yüksek direnç göstermelidir. Döküm prosesinde kullanılan çeşitli filtreler vardır; metal veya fiberglas kafesler, dönen gaz giderme, yatak filtreleri, bağlı parçacıklı filtreler, kartuş filtreler ve seramik köpük filtreleri gibi. Dökümde filtre seçimi, kullanım kolaylığına, ekonomikliğe, alan sınırlamasına, yardımcı metal işlem kabiliyetleri, arzu edilen filtreleme verimine ve son işlem uygulamalarına bağlıdır. Günümüzde seramik köpük filtre teknolojisi tüm dünyada ticari alüminyum alaşımlarında en çok tercih edilen yöntemdir (Saha, 2000).

Sıvı alüminyumun filtrasyonunda ana problem iyi bir filtrasyon sağlayacak mineralin fiziksel ve kimyasal yapılarının tayinidir. Filtre malzemesi öncelikle sert ve sıvı metal ile reaksiyona girmeyecek bir malzeme olmalıdır. Reaksiyon sonucu çıkabilecek gazlar türbülansa sebep olurlar. Kullanılan refrakter malzemenin kolayca kırılmaması ve eriyik içersine ince tozların girmesine sebep olmaması istenir. Ergimiş alüminyum alaşımları içerisindeki inklüzyonlardan oksit filmleri (Dros) sıvı tarafından ıslatılabilmesine karşılık alfa alümina ve diğer bazı inklüzyonlar ıslatılamazlar. Islatılan inklüzyonlar filtre malzemesinin yüzeyine yapışarak yapıda kolayca uzaklaştırılırlar askıda olan inklüzyonların çoğu da oksit filmi-sıvı arayüzeyinde bulduklarından oksit filmlerin üzerine birikebilirler (Dündar ve Yılmaz, 1984). Şekil 4.11'de alüminyumun filtrelenmesinde kullanılan üç farklı seramik filtre tipi gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Sıvı alüminyumun filtrelenmesinde kullanılan üç tip seramik filtre: preslenmiş, köpük ve ekstrüde edilmiş filtreler. Herbiri 55x55x13 mm boyutundadır. Pres filtrede 367 delik var, delik boyutu 2.28mm. Köpük filtre 25 gözenek/in'e sahip. Ekstrüde filtre 300 hücre/in²'ye sahip (Zalensas, 1986).

Filtre yatağı yoğunluğunu artırarak filtrasyon verimliliği artırılabilir. Bu ise filtre malzemesinin boyut dağılımını ve parçacıkların şeklini kontrol ederek sağlanır. Bu iki özellik filtre yatağındaki gözenek büyüklüğünü tayin eder. Küresel malzemeler, keskin köşeli ve

levhasal malzemelere nazaran daha büyük geçirgenlik sağlarlar.Küçük taneli malzemelerde küçük gözeneklerin daha düzenli olarak dağılımını ve inklüzyonların filtre yatağı tarafından daha kolay tutulmalarını sağlar.Kritik bir boyutta küçük malzeme kullanmak ise mahsurludur, çünkü sıvı metali filtre yatağı içersinden geçirmek için kullanılması gereken basınç aşırı şekilde artarak filtrasyon zamanını arttırarak verimliliği düşürür.Daha yüksek ergime ve filtrasyon sıcaklıkları kullanmak gerekebilir (Dündar ve Yılmaz, 1984).

Filtre yatağının derinliğini arttırmak filtrasyon alanını arttırır.Derinlik malzemenin tane boyutuna göre ayarlanır.Kritik derinlik küçük taneler için kısa, büyük taneler için ise daha uzundur.Filtrasyon aşağı, yukarı veya yana akışla sağlanabilir.Pratik çalışmaya uygun olduğu takdirde yukarı doğru akış tercih edilmelidir.Çünkü bu şekil çalışmada inklüzyonların çoğu daha kolaylıkla aşağıya çökler.Filtre edilmiş malzemenin çıkış deliği döküm potasına veya kalıba bitişik ya da çok yakın olduğu takdirde hem türbülans azaltılır hem de yeniden oksidasyon önlenebilir (Dündar ve Yılmaz, 1984).

Flaks katma ve filtrasyon tekniklerinin birleştirilmesiyle daha mükemmel bir temizleme sağlanabilir.Sıvı metal filtre yatağından aşağı doğru süzülürken argon veya azot gibi bir flaks gazı da ters yönde akarak bünyedeki hidrojeni temizler.Klorür bileşikleri filtre yatağını bozup tıkağında klor gazı pek kullanılmaz.Ters akımdan dolayı bileşik işlemlerdeki metal akış kapasitesi düşüktür (Dündar ve Yılmaz, 1984).

4.2.2.6 Düşey Sürekli Döküm

Yatay billet döküm sistemleri de mevcut olmasına karşılık günümüzde ekstrüzyon billetlerinin çoğu düşey sürekli döküm yöntemiyle üretilmektedir.Dökme ünitesinde, sıvı metal doğrudan ocak oluğundan akar, özel refrakter malzeme ile kaplanmış geniş dağıtım ünitesinden geçerek su soğutmalı kalıba ulaşır.Dağıtım ünitesinde denge koşullarına ulaşıldığında, dağıtım haznesinin metal seviyesinde ufak bir dalgalanma vardır ve türbülans yok edilmiştir.Oksitler metal haznesinin üst kısmında kalır, akan alüminyum kalıplardan geçerek ürün formu elde edilir (Saha, 2000).

Farklı billet boyutları için takım değiştirme süreleri artacağından yöntemin maliyeti yükselir, bu yüzden küçük işletmelerin billetlerini, hele hele çeşitli çaplarda gereksinimleri var ise dışarıdan temin etmeleri daha mantıklıdır.Öte yandan farklı alaşımlar ve billet boyutları farklı takımlar gerektirdiğinden modüler döküm sistemli makineler geliştirilmiştir.Modüler tasarım takım bileşenlerinin hızlı değişimine imkan verir.Bu tasarım aynı makineden farklı hızlarda ve farklı billet boyutlarının dökümüne olanak sağlar.Bu yüzden yaklaşık on yıl önce “Wagstaff

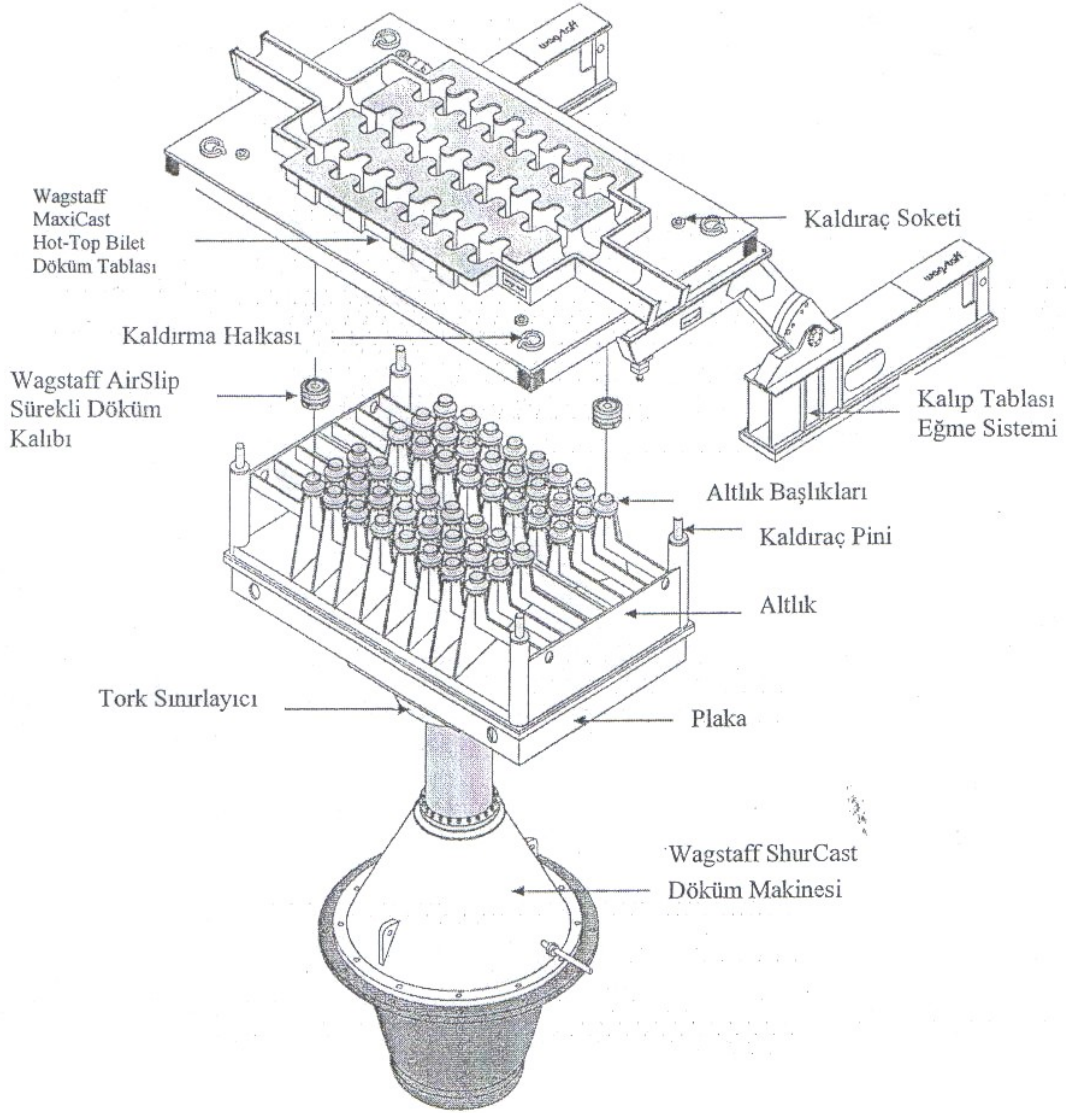
hot-top” döküm sistemi geliştirilmiştir (Saha, 2000).

Verilen döküm makinesi için kalıp sayısı birçok faktöre bağlıdır, bunlar; makinenin merdane boyutu, kalıp soğutma su sistemi ve hidrolik sürme sisteminin kapasitesidir (Saha, 2000). Şekil 4.12’de Wagstaff düşey sürekli döküm ünitesi ve elemanları gösterilmiştir.

Günümüzde çoğunlukla D.C. sürekli düşey döküm kullanıldığından, verimlilik bakımından özellikle yatay döküm sistemiyle bir kıyaslama yapılacak olunursa düşey sürekli döküm, özellikle 2000 ve 7000 gibi sert alaşım serilerinde üzerine oldukça büyük avantajlar sağlamaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Saha, 2000):

- Minimum metal segregasyonu
- Geniş ingotların üretimine elverişlilik
- Farklı hızlarda döküm imkanı
- Sert alaşımlarda çatlak riskinin minimuma indirilmesi
- Ergimiş metali yavaş ve üniform şekilde birçok problemden kaçınmak için nispeten düşük sıcaklıklarda transfer etme imkanı.

Sürekli döküm sistemleri ile döküm hızları konvansiyonel D.C. makinelerin üç katına çıkmıştır. İster yatay isterse düşey hangi billet döküm prosesi uygulanırsa uygulansın dünya pazarı için verimlilik ve kalitenin önemi büyüktür (Saha, 2000). Arzu edilen billet kalitesi kimyasal bileşim, boyut toleransları, billet yüzey kalitesi, kabuk bölgesi ve billet homojenizasyonu üzerinde yoğunlaşmaktadır. Dolayısıyla prosesi geliştirme çalışmaları bu yönde yapılmalıdır.



Şekil 4.12 Wagstaff düşey sürekli döküm makinesi (www.wagstaff.net, 2004).

4.2.2.7 Billet Döküm Parametreleri

Alüminyum ekstrüzyonunda verimliliği kontrol altına almada billet dökümüne ait değişkenler olduğu gibi billet dökümüne ait bazı parametreler de mevcuttur. Alüminyum billet dökümünde üretim performansını etkileyen belli başlı parametreler şunlardır:

- Döküm sıcaklığı
- Döküm hızı
- Kalıp tipi
- Metal yüksekliği
- Su akış hızı

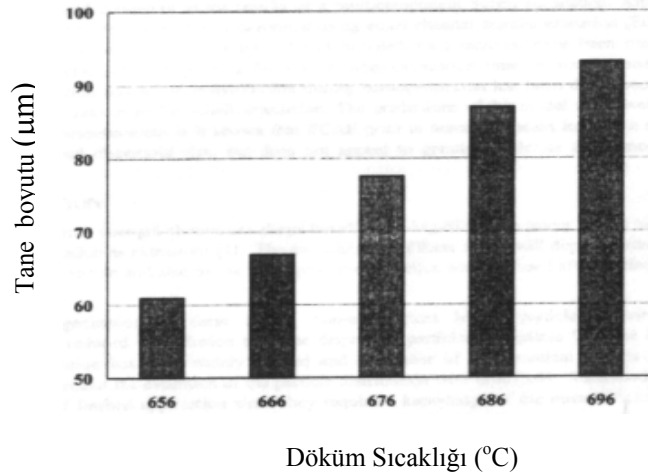
4.2.2.7.1 Döküm Sıcaklığı

Ocaktaki ergimiş metal sıcaklığı; gaz absorpsiyonunu ve oksit oluşumunu önlemek için mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Dökülecek metalin sıcaklığı likidus sıcaklığının 50°F(28°C) üzerinde olmalıdır. Dolayısıyla döküm sıcaklığının iyi ayarlanması verimliliği de arttıracaktır. Yaygın olarak kullanılan bazı alüminyum alaşımlarının likidus ve döküm sıcaklıkları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Alüminyum alaşımlarının likidüs ve döküm sıcaklıkları (Saha,2000).

Alaşım Sistemi	Likidüs Sıcaklığı °C	Döküm Sıcaklığı °C
Al, AlMn	660	688
AlMg, AlMgSi	650	680
AlCuMg, AlZnMgCu	640	670

Özellikle Al-Mg-Si alaşımları için döküm sıcaklığı azaldıkça tane boyutunun küçüldüğü görülmüştür (Motegi vd., 2002).



Şekil 4.13 Döküm sıcaklığının tane boyutuna etkisi (Motegi vd., 2002).

Şekil 4.13'ten de anlaşılacağı üzere istenilen tane yapısını elde etmede döküm sıcaklığının büyük önemi vardır. Dolayısıyla billet dökümü aşamasında proses kontrol; istenilen düzeydeki tane büyüklüğünü karşılayacak, gaz absorpsiyonu ve oksit oluşumunu önleyecek sıcaklıklarda yapılmalıdır.

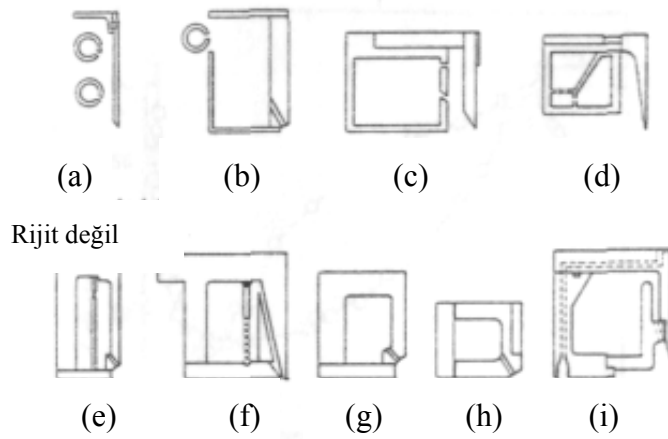
4.2.2.7.2 Döküm Hızı

Döküm hızı; billet dökümündeki parametrelerin en önemlilerindedir. Döküm hızını belirleyen faktörler ise billet boyutu ve alaşım tipidir. Örneğin 6063 alaşımı için düşey ve yarı sürekli döküm prosesinde 178 mm çaplı billet için dakikada 130 mm ve 230 mm çaplı bir billet için

de dakikada 100 mm döküm hızları ön görülmektedir (Saha, 2000).

4.2.2.7.3 Billet Kalıbının Tipi

İyi bir kalıp malzemesi; hafiflik, iyi işlenebilirlik ve iyi ısıl iletkenlik gibi faktörleri içeren gereksinimleri karşılayabilmelidir. Bu doğrultuda 6061 ve 5052 alüminyum alaşımları uygun kalıp malzemeleridir. D.C. sürekli döküm kalıbı; soğutma suyu ilk önce kalıp duvarlarına temas edecek ve daha sonra da kalıptan çıkan döküm yüzeyine püskürtülecek şekilde dizayn edilir. D.C sürekli döküm için çeşitli kalıp tipleri tasarlanmıştır (Saha, 2000). Şekil 4.14'te DC dökümde kullanılan çeşitli kalıp tasarımları gösterilmiştir.



Rijit

- a. Sprey halkalı uzun kalıp
- b. Sprey halkalı ve su ceketli uzun kalıp
- c. Ayrı su odalı kısa kalıp ve Fiberfrax kalıp hattı
- d. Soğutma suyuyla olan teması arttırmak için dış yüzeyi eğri olan kalıp
- e.f. Basınç-kontrol engelli uzun kalıp
- g. Kısa kalıp
- h. İçi grafit olan kısa kalıp
- i. İç yağlayıcı kanallı ve iç su engelli kalıp

Şekil 4.14 DC dökümde kullanılan farklı kalıp tasarımları (Granger, 1989).

D.C. ingotta bulunan yüzey ve yüzey altı kusurlar soğuma esnasında kabuk oluştuktan sonra meydana gelen boşlukla ilgilidir. Boşluk kalıba olan ısı akışını yavaşlatır ve katılaştıran metalin tekrar ergimesi kusurlara yol açar. Bu kusurlar ingotun yüzeyinin işlenmesini (sıyırma) zorunlu kılar ve dökülen alaşıma ve malzemenin kullanılacağı uygulamaya bağlı olarak en iyi ingot kalitesinin sağlanması için D.C. sürekli döküm prosesinin modifiye edilmesini gerektiren nedenlerden birini teşkil eder (Granger, 1989).

Günümüzde halen kalıp tasarımları geliştirilmektedir böylelikle prosesin verimliliği de iyiye

gidecektir. Büyük alüminyum üreticilerinin çoğu kendi billet döküm kalıplarını üretmektedirler. Kalıp tasarımındaki son gelişmeler; soğutulan kalıp duvarlarındaki ısı transferinin azaltılması yönündedir böylelikle billet yüzey kalitesi ve malzemenin ekstrüzyon edilebilirliği arttırılabilecektir (Saha,2000).

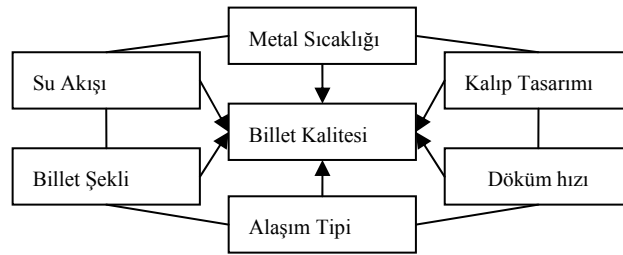
4.2.2.7.4 Metal Yüksekliği

Metal yüksekliği, kalıbın dibinden sıvı metal yüzeyine kadar olan mesafedir ve genellikle en azından yaklaşık 51mm (2 inç) lik bir derinlik olarak alınır (Saha, 2000).

4.2.2.7.5 Su Akış Hızı

D.C. sürekli döküm esnasında yaklaşık olarak 1Mj/kg ısı ingottan transfer edilmelidir. Su sıcaklığı ve akış hızı öyle ayarlanmalıdır ki su ingotun bütün yüzeyine temas edebilsin ve yüzey boyunca aşağıya akabilsin. Suyun ingot yüzeyinden sekmesi önlenmelidir (Saha,2000).

D.C. sürekli döküm billetinin üretim performansı Şekil 4.15'te gösterilen faktörlerden etkilenmektedir.



Şekil 4.15 Billetin kalitesine etki eden başlıca değişkenler (Saha, 2000).

4.2.3 Homojenizasyon ve Soğutma

4.2.3.1 Homojenizasyon

Homojenleştirme işleminin amacı; dendritik yapıdaki konsantrasyon farklılıklarının giderilmesi, katılaşma esnasında 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 işleminde bu alaşımların boy/en oranlarının azaltılması sağlanarak süneklik arttırılır (Onurlu, 1993).

Homojenleştirme işlemi görmemiş bloklar aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı mamül

kalitesini ve ekstrüzyon edilebilirliği kötü yönde etkilemektedir (Saha, 2000).

- Tane sınırı ve dendritik hücre segregasyonu, düşük sıcaklıklarda ergiyen ötektikler ve kırılğan intermetalik bileşikler metalin işlenebilme kabiliyetini azaltır.
- Aşırı doymuş olarak çözülmüş alaşım bileşenleri (Al_6Mn , $AlFeMn$ ve Mg_2Si) yüksek sıcaklıkta akma gerilmesini yükselttiklerinden şekil değiştirebilirliği zorlaştırırlar.
- Manganez, demir ve zirkonyum gibi belirli alaşım elemanları çözülmüş veya ayrılmış durumda yeniden kristalleşmeyi engellerler. Bu etki özellikle $AlMgSi(Mn)$ alaşımlarının ekstrüzyonunda renk anodizasyonunda önemli derecede rol oynar.
- Kısmen $AlMgSi$ alaşımlarından ekstrüzyon edilen profillerin soğutulmasından ayrılan Mg_2Si ekstrüzyon edilen parçaların sertleşebilirliğini azaltır ve yüzey parlaklığını düşürür.
- Tane ayrışmaları yani çözülmüş alaşım elemanlarının yoğunluk farklılıkları eloksal işleminden sonra bünyeye bağlı çizgiler oluştururlar.
- Heterojen tane ve tane sınırı çökmesi bünyede ton farklılıklarına neden olarak profillerin parlaklığını azaltır.

Bu etkiler kısmen veya tamamen billetin homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulmasıyla yok edilebilir. Ancak billet ısıl işlemlerinin amacı ekonomi ve kalite gereksinimleri doğrultusunda değişir (Saha, 2000).

Homojenize edilmiş billetlerde mekanik özelliklerin iyileşmesinin yanısıra daha hızlı ekstrüzyon edilme imkanı doğar. Bu da verimliliği arttıran önemli bir faktördür. Bununla birlikte, homojenizasyon işleminin billet özelliklerini geliştirmesi belli sınırlar içinde olur. Döküm işleminde homojenizasyondan önce billete verilmesi gereken birçok özellik vardır. Billet kompozisyonu ekstrüzyon üreticisinin ihtiyaç ve beklentilerine göre optimize edilmelidir. Döküm billet ayrıca kesiti boyunca üniform dağılmış ince tane ve hücre yapısına sahip olmalı, yapıda kaba intermetalikler olmamalı, minimum yüzey segregasyonu ve ince kabuk bölgesi ve kabul edilebilir yüzey bitirme kalitesine sahip olmalıdır. Doğru olarak homojenize edildiğinde, böyle bir billet yüksek iş/zaman oranı, düşük ekstrüzyon basıncı, arzu edilen şekillerde iyi boyutsal tolerans, çatlaksız, toplanmasız, takım izi olmayan kaliteli bir yüzey ve yüksek dayanım özellikleri verecektir (Biol, 2004).

Endüstriyel homojenizasyon uygulaması tipik olarak daldırma (belirli bir sıcaklıkta belli bir süre bekletme) işlemi takip eden önceden belirlenmiş bir hızda soğutma işleminden ibarettir. Daldırma işleminde birkaç proses yer alır. Tabaka-benzeri $\beta-AlFeSi$

intermetaliklerinin interdendritik ağ yapısı daha yuvarlak olan α -AlFeSi parçacıklarına dönüşür. β -AlFeSi parçacıkları birçok yüzey kusuru ve ekstrüzyon kısıtlamalarından sorumlu tutuldukları için $\beta \rightarrow \alpha$ dönüşümü önemlidir.Mg₂Si parçacıkları ve kaba ötektiklerde daldırma işleminde çözünürler Mg ve Si homojen bir şekilde dağılır (Biro, 2004).

Homojenizasyon, alüminyum biletlerin ekstrüzyondan önce hazırlanmasında çok önemli bir safhadır.6xxx serisi alüminyum alaşımların bu ısıl işleminde birçok metalurjik proses oluşur. DC dökümden sonra, alaşım elemanlarının, tane sınırlarında ve dendritler arası alanlarda yüksek konsantrasyon eğilimleri vardır.Homojenizasyon mikrosegregasyonu elimine eder, üniform bir mikroyapı üretir.Magnezyum ve silisyum gibi çözünebilir ve hızlı difüze eden elementler katı çözeltide yer alırlar.Bu elementlerin dağılımı matrisin kompozisyonunu eşitler.Tipik homojenizasyon sıcaklıklarında magnezyum ve silisyumun çözünmesi iki saat içinde tamamlanır (Claves vd.,2002).

Homojenizasyon ayrıca, manganez ve krom gibi diğer ince dispersoidlerin çökmesini kolaylaştırır.Bu elementler süneklik ve kırılma tokluğunu arttırabilirler ayrıca rekristalizasyonu yavaşlatırlar.Suverme duyarlılığı Mg₂Si çökeltilerine ilave çekirdeklenme alanları sağlanarak arttırılır.Homojenizasyon esnasında β -AlFeSi intermetalikleri α -AlFeSi fazına dönüşür.Faz dönüşümü yavaş bir prosestir ve tipik homojenizasyon sıcaklıklarında yaklaşık olarak 6 saat gerektirir (Claves vd., 2002).

Alüminyum alaşımlarının homojenizasyon işlemi bütün üretim prosesinin maliyeti yüksek olan bir aşamasıdır çünkü yüksek çalışma sıcaklıkları ve uzun süreler gerektir.6xxx serisi alüminyum alaşımlarının homojenleştirme işlemi 530-590 °C 'de 6-8 saat süreyle gerçekleştirilir.Bununla birlikte homojenizasyon sıcaklığının ve süresinin azaltılması maliyeti düşürmek için cazip bir uygulamadır.Çevrim süresinin azaltılması, enerji tasarrufuna ek olarak, homojenizasyon fırınlarının kapasitesini de arttıracaktır.Manganez ve stronsiyum gibi elementlerin ilavesi ile homojenizasyon çevrimini kısaltılabileceği belirtilmiştir.Bununla birlikte, bileşimi sabit olan alaşım için, homojenizasyon süresini kısaltmanın tek yolu homojenizasyon sıcaklığını arttırmaktır.Homojenizasyon aslında bir difüzyon prosesidir ve homojenizasyon sıcaklığındaki küçük bir artış homojenizasyon süresini önemli ölçüde azaltacaktır (Claves vd.,2002).

AlFeSi intermetalikleri: 6xxx serisi alaşımlar esas alaşım elementi olarak magnezyum, silisyum ve az miktarda Fe, Cu ve Mn içerirler.Bu nedenle, 6xxx serisi alaşımlar AlFeMgSi sisteminin dördü bileşenleri şeklinde düşünülmelidir.Bu alaşımlar elementlerini, kısmen katı

çözültüde tane içlerinde ve kısmen tane sınırları boyunca intermetalik bileşen formunda içerirler. Alaşım elemanlarının çeşitliliğinden dolayı, katılaşma esnasında ve daha sonraki soğutma işlemlerinde birçok farklı faz çöker. Yapıya hakim olan intermetalik bileşenler AlFeSi tipindedir (Claves vd.,2002).

Demir, doğal bir empüredir, alüminyum içinde oldukça düşük katı çözünürlüğe sahiptir ve neredeyse tamamı yapı içinde intermetalik faz olarak bulunur. Katılaşma esnasında Fe hücre veya dendrit sınırlarında segregasyon olur, buralarda ötektik ve peritektik reaksiyonlarda yer alır. Demir alüminyum, silisyum ve bazende manganezle intermetalik fazlar oluşturur. AlFeSi fazı alüminyum alaşımlarının mikroyapısında önemli bir yer tutar. Bu partiküller, daha sonraki fabrikasyon adımlarında malzemenin özelliklerini etkileyebilirler ve malzemenin kalitesi açısından can alıcı bir rol oynarlar (Claves vd.,2002).

β - ve α -AlFeSi intermetaliklerinin literatürde belirtilen tipik karakteristikleri Çizelge 4.5'te listelenmiştir. $\beta \rightarrow \alpha$ dönüşümü 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının sünekliğini artırır ve işlenebilirliğini iyileştirir. Dökümden sonra, β -AlFeSi tane sınırlarında yapıya hakimdir ve hemen hemen sürekli bir ağ yapısı oluşturur. Gerilim alanları, alüminyum matris ile çok keskin hücre sınırlarına sahiptir β -AlFeSi partiküllerini çevreler. β fazı, ekstrüzyon esnasında, kalıp boyunca, metal yüzeyindeki katı bileşenleri ayıran gerilim altında kolayca ayrılır. Bu "birikme" kusuru yüksek ekstrüzyon hızlarında görülür, yüzey kalitesini bozar ve ekstrüzyon hızını sınırlar (Claves vd.,2002).

Çizelge 4.5 β - ve α - AlFeSi fazlarının literatürde belirtilen temel karakteristikleri (Claves vd.,2002).

Özellik	β	α
Şekli	İğnemsil/plaka	Çin yazısı/çubuk şeklinde
En-boy oranı	Yüksek	Düşük
Renk	Siyah	Gri
Stokiyometrik	Al ₉ Fe ₂ Si ₂ Al ₅ FeSi	Al ₁₂ Fe ₃ Si ₂ Al ₈ Fe ₂ Si
Fe:Si	1.0	1.5/2.0
Kristal yapı	Monoklinik	Basit kübik
Alan grubu	A 2/a	Im3/P6 ₃ /mmc

Isıl işlem esnasında, β partikülleri ilk önce parçalanmaya maruz kalırlar ve daha sonra küreselleşmeye başlarlar. Sonuçta oluşan α partikülleri daha kısa, daha kalın ve çubuk şeklindedirler. β iğnelerinin yüksek yüzey alanı-hacim oranı partiküllerin küreselleşmesi için

gerekli itici kuvveti sağlar. Yüzey gerilimi azaldığı gibi birikme kusurları oluşma ihtimali de azalır (Claves vd.,2002).Çizelge 4.6’da bazı alüminyum alaşımları için tipik homojenleştirme sıcaklık ve süreleri verilmiştir.

Çizelge 4.6 Bazı alüminyum alaşımı biletlerin tipik homojenleştirme işlemleri (Saha, 2000).

Alaşım	Homojenizasyon Sıcaklığı °C	Tutma Süresi, saat
1060	560-580	6
1100	580-600	6
2014-2024	480-490	12
5052	550-560	12
5083-5086	520-540	12
5454,5456	550-560	12
6061	560-570	6-8
6063	560-580	6
6101	560-580	6
6463	560-580	6
7001	460-480	12
7075,7079	470-480	12

Döküm hali yapıdaki mikroyapısal gözlemler, dispersoid oluşturan elementlerden olan zirkonyum alaşım ilavelerinin demir içeren fazların oluşumu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.Bununla birlikte, manganez veya krom ilavesi α -tipi ve β -tipi demir esaslı fazların nispi miktarını etkileyebilmektedir.Genel olarak, manganez veya krom mevcut değilse demir esaslı fazlar magnezyum, silisyum ve demir oranına bağlı olarak α - $Al_{12}Fe_3Si$, β - $Al_9Fe_2Si_2$ veya her ikisinin karışımı olmaktadır.Manganez ve krom α -tipi fazı stabilize ederek $Al_{12}(Fe,Mn,Cr)_3Si$ fazını oluşturacaktır.Her durumda üç demir esaslı faz (az miktarda η - $AlMgFe(Mn,Cr)Si$ fazı içeren) döküm hali yapıda mevcuttur.Homojenizasyon işlemi esnasında demir esaslı fazlar α -tipi faza dönüşmektedir (Zhuang vd., 1996).

Mn, Cr ve Zr içeren alaşımlarda, katılaşmadan sonra bu alaşım elementleri önemli miktarlarda alüminyum matris çözültisi içinde kalırlar.Homojenizasyon esnasında, aşırı doymuşluk, çözünen bakımından zengî dendiritlerde oluşan altmikroskopik dispersoidlerin çökmesi ile giderilir.Katılaşma esnasında, dendiritler içinde bu elementlerin çekirdeklenmesi, dendiritler içinde yüksek dispersoid popülasyonuna neden olur, hücre sınırları boyunca serbest alanlar oluşur.Serbest bölgenin kalınlığı alaşım elemanlarının artması ile azalır (Zhuang vd., 1996).

Dispersoid oluşturan elementlerin rekristalize olan yapılarda tane inceltme üzerindeki etkileri çok çeşitlidir.Bir yandan, bu elementlerle alaşımlama mikron-altı partiküller oluşturarak tane

büyümesini geciktirebilir, diğer yandan, rekristalizasyon sıcaklığını değiştirerek rekristalizasyon prosesini etkilerler. Ayrıca, alaşım elementlerinin tane inceltme üzerindeki etkileri temel olarak alaşım içindeki dispersoidlerin boyutlarına bağlıdır. Partiküllerin boyutu ve tipi dispersoid oluşturan elementler ile alaşımda mevcut olan diğer elementlerin etkileşiminden etkilenmektedir (Zhuang vd., 1996).

Solüsyona alma işleminden sonra etkili bir tane boyut kontrolü sağlanabilmesi için , malzeme içinde küçük ve büyük partiküllerin iyi kombinasyonu gerekir. Geniş partiküller, demir esaslı fazlar, çekirdeklenme prosesini kolaylaştırabilirken dispersoidlerin küçük partikülleri, tane sınırlarında göçü engelleyerek tane kabalaşmasını önlerler. Bundan dolayı, alaşımlar en azından %0.25 Fe ve dispersoid oluşturan elementlerden birine sahip olmalıdırlar (Zhuang vd., 1996).

Al-Mg-Si alaşımları yapıda %0.1-0.15 arasında manganez içermeliler böylece çözeltiliye alma işleminden sonra etkili bir tane boyutu kontrolü sağlanabilir (Zhuang vd., 1996).

4.2.3.2 Soğutma

Al-Mg-Si alaşımları son ürün özelliklerini çökeltme yaşanması reaksiyonu ile kazanırlar, bu yapay yaşlandırmadan önce katı çözeltili içinde mümkün olduğu kadar fazla magnezyum ve silisyum olmasını gerektirir. Maalesef tamamen çözündürülmüş billet alaşımın çok zor ekstrüzyon edilebilir olmasına neden olmaktadır, esasen katı çözeltide çözünmüş olarak bulunan magnezyum ve silisyumun ekstrüzyon sıcaklıklarında akış gerilimi üzerinde büyük etkisi vardır ve böylece alaşımın deformasyon direncini artırırlar. Diğer yandan, ekstrüzyon billetinde Mg_2Si partiküllerinin varlığı akış gerilimini azaltır. Bununla birlikte, ön ısıtma ve ekstrüzyon esnasında Mg_2Si partiküllerinin tamamen çözünmemesi durumunda ürün özellikleri çözünmemiş Mg_2Si partiküllerinin varlığı ile doğru orantılı olarak kötüleşir (Zajac vd., 2002).

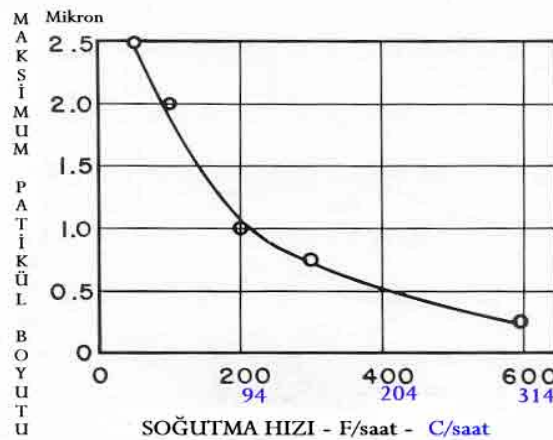
Ekstrüzyon billetinin kalitesini optimize etmek için alternatif bir mikroyapısal yaklaşım, ekstrüzyon esnasında kolay billet deformasyonu ile maksimum çözünme etkisi gösterecek mikroyapıyı aramaktır. Bu Mg_2Si partiküllerinin yeterli incelikte ve üniform dağılmış olmasını, ekstrüzyon deformasyonuna kadar yapıda çözünmemiş olarak kalmasını ve ekstrüzyon bölgesinde tamamen çözünmesini gerektirmektedir, böylece daha sonraki yaşlandırma işleminde maksimum dayanım değerleri elde edilebilir. Bu yapısal optimizasyonun homojenizasyon esnasında ve daha sonraki soğutma işlemi ile başarılabilirliği belirtilmektedir, öyle ki, magnezyum ve silisyum billette kararlı β - Mg_2Si fazı

olarak değil de kararsız β^1 - Mg_2Si olarak çökeltilmektedir (Zajac vd., 1996).

Araştırmalar Al-Mg-Si alaşımlarında soğuma koşullarına bağlı olarak iki farklı Mg_2Si fazının oluşabileceğini göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda, 400-500 °C arasında, Mg_2Si kübik β -fazı olarak ve 400 °C'nin altında hekzagonal kristal yapıdaki metastabil β^1 -fazı olarak çökeler. Hızlı soğutulan biletlerde silisyum ve magnezyum çökelti oluşturmadan yapı içinde tutulurlar, bu durum ekstrüzyon sıcaklığında yüksek deformasyon direncine neden olur. Yavaş soğuma esnasında kaba β - Mg_2Si çökeltileri oluşur, bu kaba çökelti yüksek sıcaklıklarda kararlıdır ve ekstrüzyon esnasında çözünmeleri zordur (Zajac vd., 1996). Bu partiküller ekstrüzyon esnasında yeniden ergime ve yüzey yırtılmalarına neden olurlar, düşük yüzey kalitesi verirler ayrıca düşük mekanik özelliklerinden sorumludurlar (Biol, 2004). β^1 - Mg_2Si oluşum sıcaklık aralığında uygulanan adım soğutma, ön ısıtma sıcaklıklarında kararlı olan fakat ekstrüzyon esnasında kolayca çözünen metastabil β^1 - Mg_2Si çökeltilerinin oluşumunu sağlar (Zajac vd., 1996).

Soğutma çevrimi daha sonraki işlemlerde kolayca çözünebilecek form ve boyutta mümkün olduğunca çok Mg_2Si partikülleri çökmesini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır (Biol, 2004).

Mg_2Si partiküllerinin maksimum görünür boyutlarının, homojenizasyon sıcaklığından bilet soğutma hızı ile olan ilişkisi Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Soğutma hızının 150 °C/saat olduğu durumda elde edilen Mg_2Si partiküllerinin boyutu, soğutma hızının 10 °C/saat olduğu duruma göre üçte biri kadardır (10 °C/saat soğutma hızı, durgun hava soğutması anlamına gelir) (Ulucak, 2003).



Şekil 4.16 Homojenizasyon sıcaklığından soğutma hızının çökelen Mg_2Si partiküllerinin boyutuna etkisi (Ulucak, 2003).

Az miktarda manganez ilavesi Mg_2Si çökelti partiküllerinin dağılımını etkilemektedir. Mangansız alaşımlarda Mg_2Si partikülleri dendirit sınırlarında çökelmeye eğilimlidirler. Manganez içeren alaşımlarda Mg_2Si partikülleri alüminyum matris boyunca çok daha üniform dağılım gösterirler (Zajac vd., 1996).

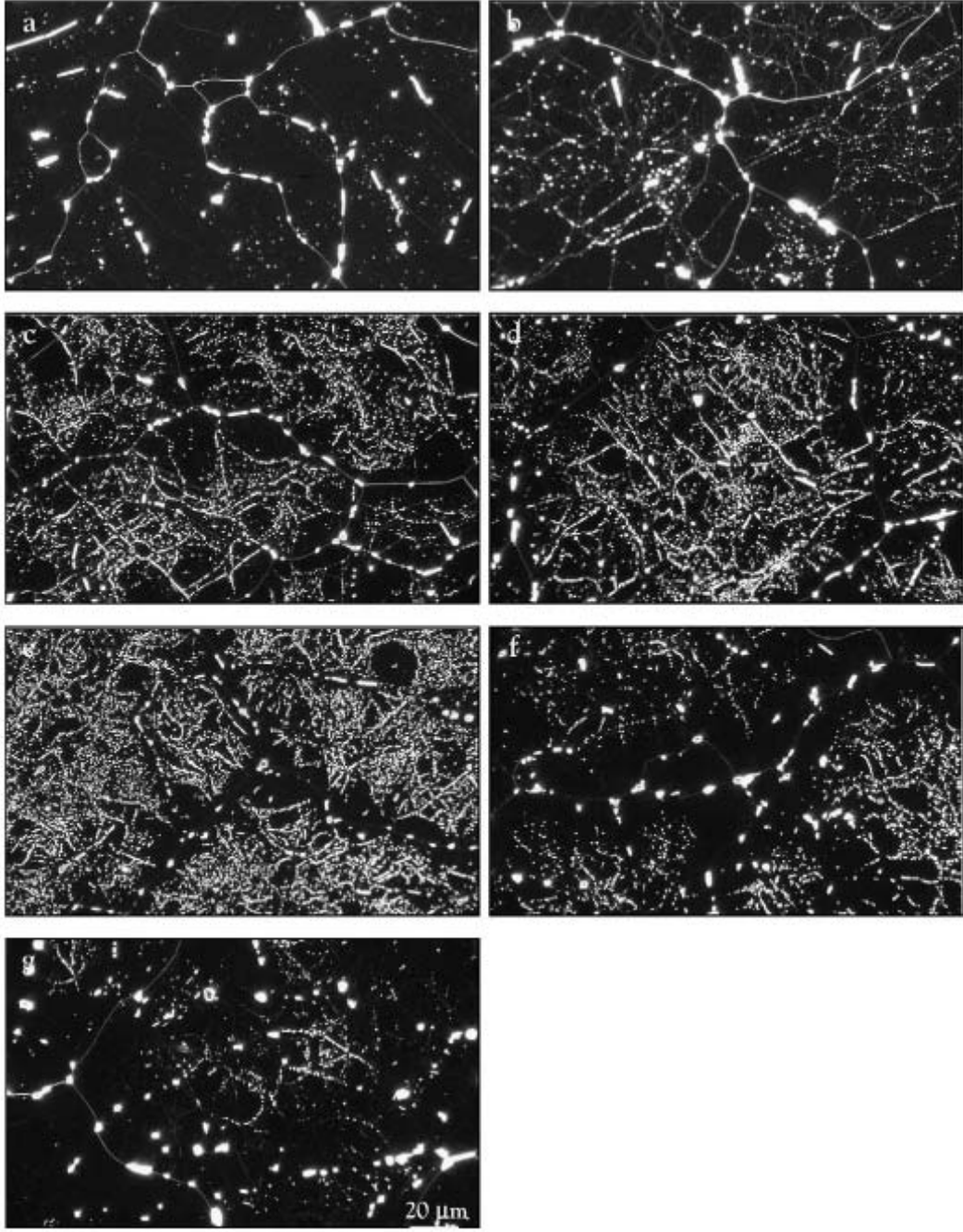
Diğer yandan, yüksek mangan konsantrasyonu düşük dayanıma neden olur aynı zamanda ürünün sünekliğini düşürür (Kovacs vd., 1987).

Az miktarda manganez ilavesi ürünün yüzey kalitesini iyileştirmektedir. Al-Mg-Si alaşımlarında daha yüksek manganez ilavesi rekristalizasyon sıcaklığını arttırır ve ekstrüzyonun çokgen yapısı muhafaza edilebilir. Aynı zamanda kaba β^1 - Mg_2Si çökeltileri için çekirdeklenme alanları olan manganez içeren partiküllerin varlığı ile alaşımın su verme duyarlılığı artar (Kovacs vd., 1987).

Yüksek hızdaki ekstrüzyonlarda yüksek çıkış sıcaklıkları oluşur ve çözünen konsantrasyonu artar. Alaşımın akma gerilimi yüksek ekstrüzyon hızlarında artar. Bununla birlikte, manganez içeriği arttığında, çubuk şeklindeki Mg_2Si çökeltilerinin mangan içeren partiküllerin üzerinde çekirdeklenmesi sonucu akma dayanımı azalır (Kovacs vd., 1987).

4.2.3.2.1 Sürekli Soğutma

Şekil 4.17’de farklı soğuma hızlarının AA6063 alaşımı billetin yapısı ve Mg_2Si çökelti partiküllerinin dağılımı ve boyutu üzerindeki etkisi görülmektedir. Beklendiği gibi, homojenizasyondan sonraki soğuma hızının Mg_2Si fazının dağılımı ve çökelti karakteristiği üzerinde büyük etkisinin olduğu görülmektedir. $580^\circ C$ ’de 6 saat tutulan ve daha sonra havayla soğutulan numuneler ($2000^\circ C$ /saat hızda) hemen hemen hiç Mg_2Si çökeltisi göstermezler. Böylece $580^\circ C$ de Mg_2Si partiküllerinin tamamen çözüldüğü sonucuna varılmaktadır ve havayla soğutma esnasında serbest Si ve Mg’un her ikisi çözelti içinde tutulmuştur. Dendiritler içindeki çok ince Mg_2Si partiküllerinin popülasyonu soğutma hızının azalmasıyla artar ve sonuçta, $100^\circ C$ /saat hızla soğutulan numuneler bu tür partiküller bakımından yoğundur. Mg_2Si partiküllerinin çökmesi rasgele değildir nispeten yüksek enerjili yerlerde çökelti ilk olarak başlar (Biol, 2004). $100^\circ C$ /saat veya daha yüksek soğuma hızlarında Mg_2Si çökeltileri XRD spektrumunda fark edilebilecek bir sinyal vermek için hem çok az hem de çok incedirler. Bununla birlikte, $30^\circ C$ ’de soğumadan sonra karalı kübik Mg_2Si fazı tespit edilmiştir. Soğuma hızı $100^\circ C$ /saat’in altına indiğinde ince ve yoğun Mg_2Si çökeltilerinin sayısı şiddetli bir şekilde azalmaktadır ve nispeten kaba, kararlı çökeltilere dönüşmektedir.

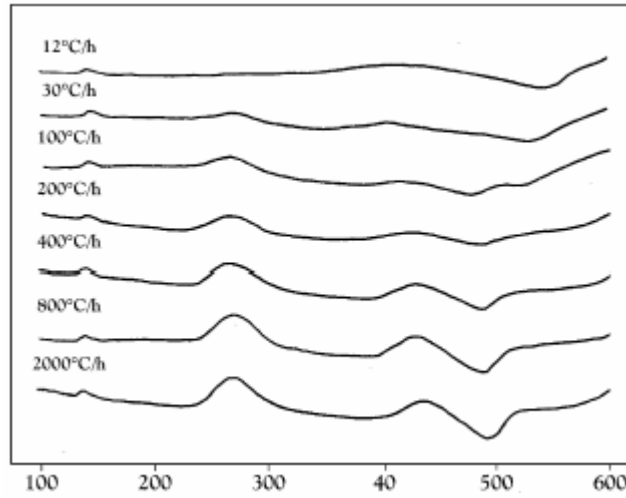


Şekil 4.17 580 °C’de 6 saat homojenleştirme işlemi uygulanan 6063 alaşımı billetin 200 °C’ye farklı hızlarda soğutulması sonucu Mg₂Si çökeltilerinin boyut ve dağılımı: (a) 2000 °C/saat, (b) 800 °C/saat, (c) 400 °C/saat, (d) 200 °C/saat, (e) 100 °C/saat, (f)30 °C/saat ve (g)12°C/saat (Bırol, 2004).

Soğutma hızının azalmasıyla Mg₂Si çökeltilerinin kabalaşması devam etmektedir, 12 °C/saat çok düşük hızla soğutulan numunede kaba Mg₂Si partiküllerinin sayısı artar.

Şekil 4.18, 580°C’de 6saat homojenleştirme işlemine tabi tutulan ve daha sonra çok hızlıdan çok yavaş (2000-12°C/saat arasında) soğutulan numunelerin DSC analizlerini

göstermektedir. 400 °C/saat ve daha hızlı soğutulan numunelerin termogramları 600°C ye kadar iyi-dağılımlı toplam 4 zirve gösterir.



Şekil 4.18 580 °C’de 6 saat homojenleştirme işlemine tabi tutulan ve 12-200 °C/saat arasında farklı hızlarda soğutulan 6063 alaşımı numunelerin DSC taraması. Isıtma hızı 20°C/dak (Biol, 2004).

Bu zirvelerin ilk üçü ekzotermiktir ve çökeltme aktiviteleriyle ilişkili iken sonuncusu endotermiktir ve çözünme reaksiyonunu gösterir. İlk ekzotermik zirve nispeten küçüktür ve yaklaşık olarak 140 °C’de görülür. Bunun Mg-Si salımlarının oluşumu ile ilgili olduğu iddia edilmektedir. Metastabil β''/β^1 -Mg₂Si ve stabil β -Mg₂Si partikül çökeltileri sırasıyla ikinci ve üçüncü zirveleri oluştururlar. Diğer yandan, 450 °C’de başladığı tahmin edilen endotermik zirve, β -Mg₂Si denge fazının solvüs sıcaklığında çözünmesini göstermektedir (Biol, 2004).

Ekzotermik zirvelerin yoğunluğu homojenizasyon soğutma hızı ile aralarında uygunluk gösterir. 2000-800 °C/saat hızda soğutulan bu numunelerin daha yüksek çökeltme kapasiteleri, nispeten geniş endotermik zirvelerle kanıtlanmaktadır. Artan miktarlarda Mg₂Si çökeltmesinin homojenizasyondan sonraki soğutmada zaten yer aldığı düşünülerek, bu zirvelerin yoğunluğu soğutma hızını azaltarak düşürülür. Sonuç olarak, ekzotermik zirveler 30°C/saat hızla soğutulan numunelerde çok küçükler ve 12 °C/saat gibi çok yavaş soğutmada tamamen kaybolmuşlardır. Billet homojenizasyon sıcaklığından çok yavaş soğutulurken tekrar ısıtma işlemi süresince çözeltide çökecek hemen hemen hiç Mg ve Si bulunmamaktadır. 30 ve 12 °C/saat soğutma hızlarıyla yavaş soğutulan numunelerde, stabil Mg₂Si çökeltilerinin ısıtma esnasında büyümesinden dolayı olduğu iddia edilen geniş ekzotermik etkiler gözlenmektedir (Biol, 2004).

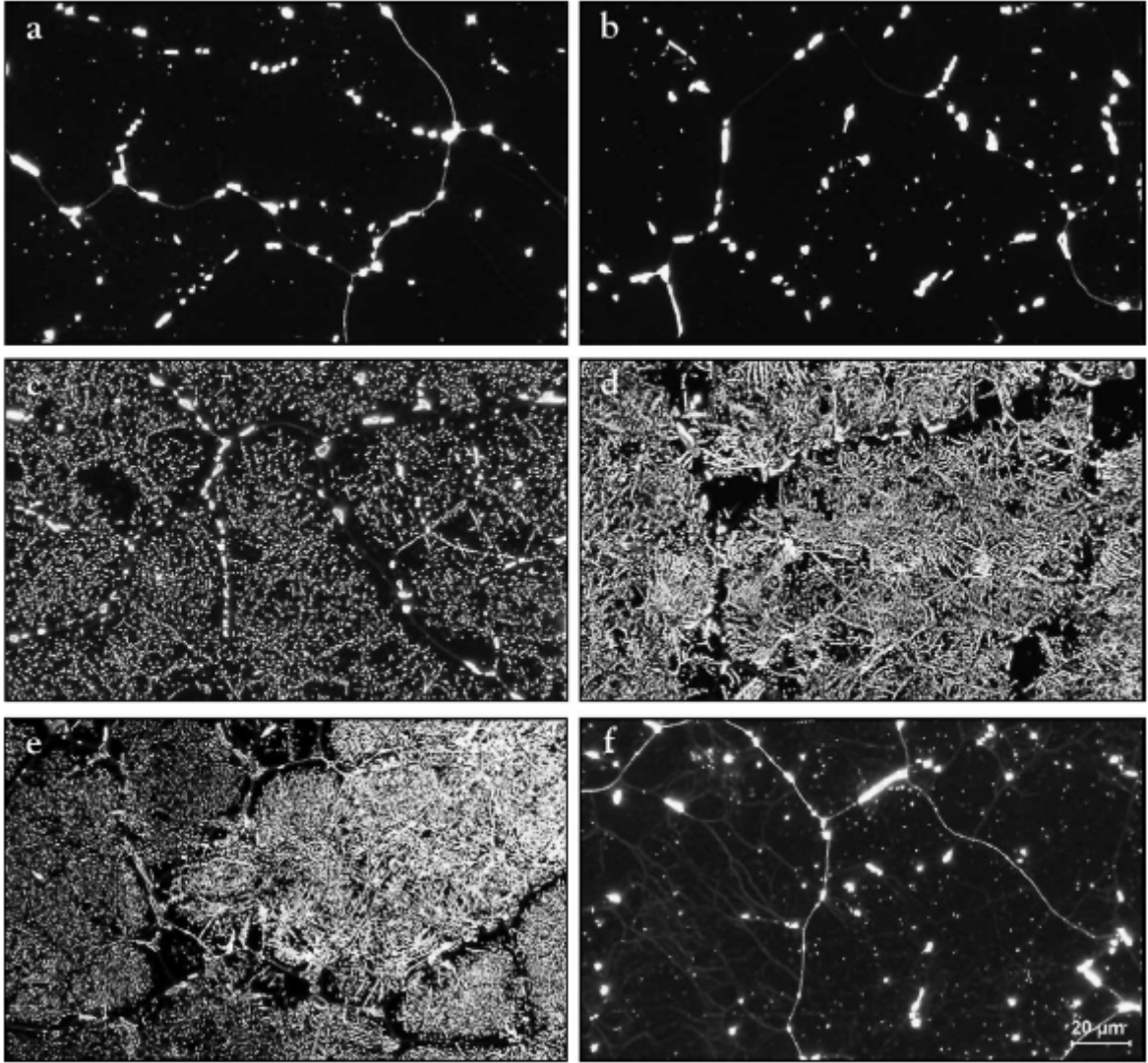
Sertleştirilebilme kapasitesi ve yüzey kalitesi ile ilgili karşılaşılan problemlerin potansiyel kaynaklarını işaret ettiğinden çözünen zirvelerinin sıcaklık dağılımı teknolojik olarak büyük ilgi konusudur. Homojenizasyon sıcaklığından 100 °C/saat'ten daha hızlı soğutulan numunelerde, Mg₂Si çökeltilerinin çözünmesi yaklaşık olarak 500 °C'nin üzerinde olmaktadır, endüstriyel uygulamalarda sıkça rastlanılan pres çıkış sıcaklığının altında. 100 °C/saat hızda soğutulan numunede yeniden ısıtma işlemi esnasında ilave endotermik etkiler görülmektedir, bu soğutma hızında oluşan çok ince çökeltilere ek olarak kaba kübik β -MgSi çökeltilerinde kaynaklandığı düşünülmektedir. 30 ve 12 °C/saat hızla soğutulan numunelerde endotermik zirveler daha yüksek sıcaklıklarda (50°C kadar) oluşmaktadır. Yüksek soğutma sıcaklıklarında oluşan ince metastabil Mg₂Si partikülleri yeniden ısıtmaya kolaylıkla cevap verirlerken, kaba β -MgSi parçacıkları görünüşe göre yüksek sıcaklıklarda kararlıdır ve böylece yeniden ısıtma esnasında çözünmeleri zordur, bu durum çözünen zirvelerinin 30 °C/saat ile veya daha yavaş soğutulan numunelerin DSC analizinde daha yüksek sıcaklıklara yer değiştirmesi ile kanıtlanmaktadır (Biol, 2004).

Sonuç olarak, 6063 alaşımı için homojenizasyondan sonra 100 °C/saat veya daha hızlı soğutma uygulanmalı ki ekstrüzyon ve yeniden ısıtma işlemi esnasında çözünmeleri zor olabilecek kaba Mg₂Si çökeltilerinin oluşumu önlenmelidir. Diğer yandan, katı çözeltili matrisinde etkili fakirleşmenin sağlanarak ekstrüzyon deformasyonuna karşı düşük akış gerilimi ve düşük direnç elde edilebilmesi için soğutma hızının 200 °C/saat'in altında olması arzu edilir (Biol, 2004).

4.2.3.2.2 Adım Soğutma

Şekil 4.19; farklı adım soğutma uygulamalarının 580 °C'de 6 saat homojenleştirme işlemine tabi tutulan 6063 alaşımının Mg₂Si çökelti partiküllerinin miktarı ve dağılımı üzerindeki etkisi görülmektedir.

Soğutma çevrimindeki izotermal adım sıcaklıkları Mg₂Si çökmesini sürekli soğutma çevrimindeki soğuma hızı kadar etkilemektedir. İzotermal-adım sıcaklığının azaltılması soğutma hızının azaltılması ile aynı etkiyi göstermektedir. 580 °C'de 6 saat homojenleştirilen ve 450 °C'de izotermal olarak 2 saat bekletmeden önce ve sonra havayla soğutulan numuneler herhangi bir Mg₂Si çökmesi göstermemektedirler. 400 °C'de adım soğutmadan sonra çökelti aktiviteleri görülmektedir. Bu yüksek sıcaklıktaki çökme çok kaba dağılımlı stabil kübik β -Mg₂Si meydana getirmektedir. İzotermal-adım sıcaklığının azalmasıyla Mg₂Si partiküllerinin popülasyonu artar fakat boyutları küçülür (Biol, 2004).

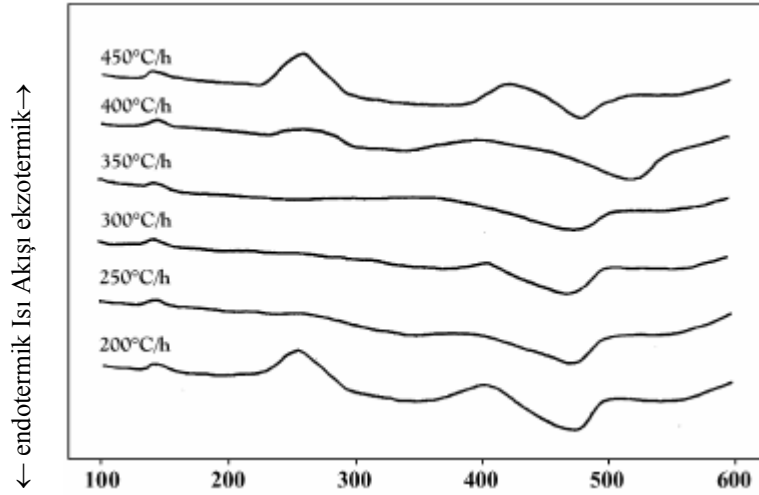


Şekil 4.19 580 °C’de 6saat homojenleştirme işlemine tabi tutulan numunelerin (a) 450°C, (b) 400°C, (c) 350°C, (d) 300°C, (e) 250 °C, (f) 200 °C’de adım soğutulmaları sonucu Mg₂Si çökeltilerinin dağılımı (Biol, 2004).

Sonuç olarak, 250 °C’de adım-soğutulan numune çok ince Mg₂Si dağılımı göstermektedir. Yeniden ısıtma esnasında elde edilen ısı ölçümünde ekzotermik etkilerdeki noksanlıktan kanıtlandığı gibi bu partiküllerin çoğunluğu metastabil β¹-Mg₂Si’dir. Diğer yandan, 200°C de adım soğutulan numunelerde hiç Mg₂Si çökmesi yoktur (Biol, 2004).

Şekil 4.20; 580 °C de 6 saat homojenleştirilen ve 200- 400 °C arasında değişik sıcaklıklarda adım-soğutulan numunelerin DSC taramasını göstermektedir. Optik mikroskop sonuçları, elektrik iletkenlik ölçümleri ve XRD işlemleri adım-soğutulan numunelerin DSC analizleri ile paraleldir. 200 °C’de adım soğutulan numunelerin ön ısıtma termogramları 600 °C’ye kadar üç ekzotermik zirve buna ek olarak bir endotermik zirve gösterir, bu sıcaklık 2 saat içinde çökelmeye izin vermek için çok düşüktür. 250 °C’de 2 saat izotermal olarak tutulan numunede

iki düşük sıcaklıklı ekzotermik zirve tamamen kaybolmuştur ve β -Mg₂Si denge fazının çökmesi ile üretilen ekzotermik etkiler oldukça zayıftır. Böylece, mevcut Mg ve Si'un çoğunun bu sıcaklıkta 2 saat izotermal bekletme esnasında β''/β' -Mg₂Si partikülleri formunda çökeceği ve tekrar ısıtma esnasında çökecek mevcut Mg ve Si miktarının az olduğu sonucuna varılır. 300 °C'de adım-soğutulan numunenin termogramı da hemen hemen aynıdır (Biol, 2004).



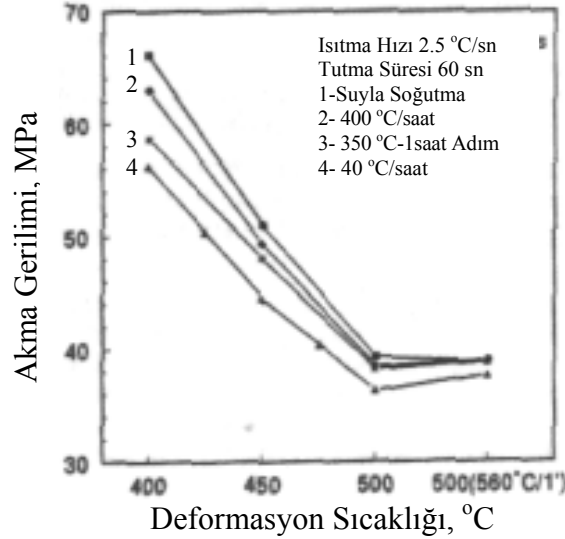
Şekil 4.20 580 °C'de 6 saat homojenleştirilen numunelerin 450-200 °C arasında adım soğutulan numunelerin DSC analizi. Isıtma hızı 20 °C/dak (Biol, 2004).

Isıtma esnasında kabalaşma (çökeltilerin büyümesi) prosesi aktifken tipik olarak gözlemlenen ekzotermik etki, 350 °C'de adım soğutulan numunenin yeniden ısıtılması esnasında gözlemlenmektedir. Metastabil β''/β' -Mg₂Si ve stabil β -Mg₂Si partiküllerinin çökmesi esnasında oluşan ekzotermik zirveler 400 °C'de adım soğutulan numunenin yeniden ısıtılması esnasında görülmektedir. Bu sıcaklıkta numune içindeki Mg ve Si'un yüksek çözünürlük oranları çökme kapasitesini belirlemektedir. 400 °C'de izotermal tutmayla meydana gelen ana fark çözünme zirvelerinin yüksek sıcaklıklara doğru kaymasıdır, izotermal tutma esnasında oluşan ve ısıtma esnasında kabalaşan Mg₂Si partiküllerinin çözümleri zordur ve potansiyel olarak yüzey kalitesi ve mekanik özellikler için zararlıdır.

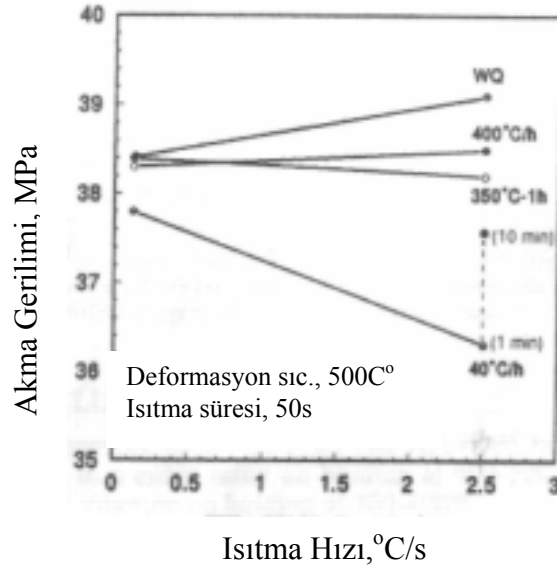
Adım soğutma uygulamalarında test edilen birçok izotermal-adım sıcaklıklarında, 250 ve 300 °C'de adım soğutulan numuneler en iyi sonucu vermektedirler, bu sıcaklıklarda çökelen Mg₂Si partikülleri ekstrüzyon esnasında kolayca çözünebilecek boyut ve formda olmaktadır.

4.2.3.3 Soğuma Hızının Mekanik Özellikler ve Ekstrüzyon Parametrelerine Etkisi

Farklı soğutma uygulamalarının akış gerilimi üzerindeki etkisi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.Şekilden de görülebileceği gibi su soğutmalı biletler herhangi bir deformasyon sıcaklığında en yüksek akış gerilimini göstermektedirler.Diğer yandan, 40 °C/saat ile yavaş soğutulan biletler en düşük akış gerilimini göstermektedir ve 560 °C de solüsyona alma ısıl işleminden sonra bile su soğutmalı biletin akış gerilimi değerini elde edememektedirler.400 °C/saat hızla soğutulan numune su soğutmalı numuneyle karşılaştırıldığında katı çözültide daha az miktarda tutulan magnezyum ve silisyuma bağlı olarak akış geriliminde düşüş gösterir.Adım soğutulan numuneler düşük ve orta derecedeki deformasyon sıcaklıklarında düşük akış gerilimi gösterirler ve yüksek deformasyon sıcaklıklarında konvansiyonel olarak soğutulan numunelerin akış gerilimine yaklaşırlar.



Şekil 4.21 Soğutma uygulamalarının ve deformasyon sıcaklıklarının AA6063 alaşımı biletin akma gerilimi üzerindeki etkisi (Zajac vd., 1996).

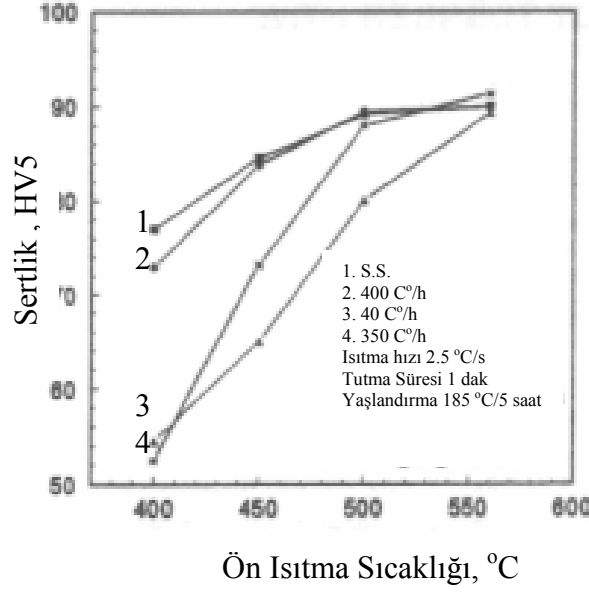


Şekil 4.22 Isıtma hızı ve tutma süresinin AA6063 alaşımı billetin akma gerilimi üzerindeki etkisi (Zajac vd., 1996).

Ekstrüzyondan önceki ön ısıtma sıcaklığına ek olarak, ısıtma hızı ve tutma süresi de homojenize edilen billetlerin akış gerilimini etkilemektedir, ısıtma süresindeki artışa bağlı olarak çökelme ve çözünme olayları da artar (Şekil 4.22).

Adım soğutulan numuneler 500 °C deformasyon sıcaklığına kadar ısıtma hızına duyarlı değildirler. Buna karşın, yavaş soğutulan numuneler (40 °C/saat) kaba β -Mg₂Si partikülleri içerirler, yavaş ısıtmada veya 450 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun tutma sürelerinde alaşımın akış gerilimini giderek arttırırlar. Bununla birlikte kaba β -Mg₂Si'in çözünmesi yavaş ilerlemektedir, 560 °C'de 1 dakika sonra bile tamamen çözünme olmamaktadır. Hızlı soğutulan numunenin akış gerilimi yavaş ön ısıtma esnasında önemli derecede düşmektedir (Zajac vd., 1996).

Şekil 4.23 de farklı soğutma ve ön ısıtma uygulamalarında yaşlandırmadan sonra elde edilen sertlik değerleri gösterilmiştir. Su soğutmalı ve hızlı soğutulan billetler 400 ve 450 °C'deki deformasyondan sonra düşük sertlik değeri gösterirler. Bu sonuçlar homojenizasyondan sonra aşırı doymuş olan malzemede Mg₂Si'in kolayca çökeldiğini göstermektedir. Yavaş soğutulan (40 °C/saat) numunelerin sertliği, aşırı derecede düşüktür, sadece solusyona alma işlemi sonrasında sertlik değeri suyla soğutulan numuneye yaklaşmaktadır (Zajac vd., 1996).

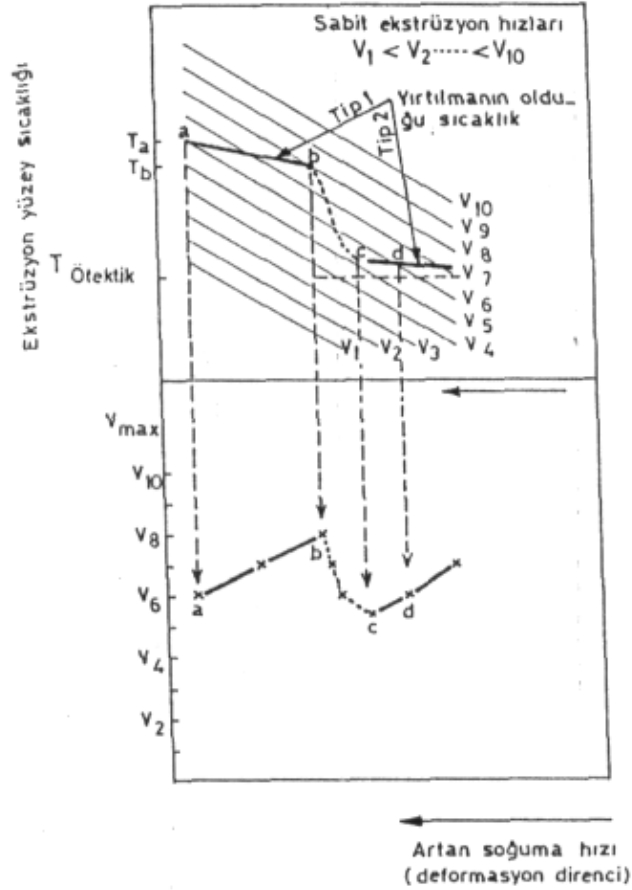


Şekil 4.23 Soğutma koşullarının ve ön ısıtma sıcaklıklarının yaşlandırmadan sonra sertlik üzerindeki etkisi (Zajac vd., 1996).

Adım soğutulan numunenin sertliği düşük ve orta derecedeki ön ısıtma sıcaklıklarında düşüktür fakat 500°C'de hızla artmaktadır. Adım soğutma ön ısıtma sıcaklığına en büyük duyarlılığı göstermektedir. 500°C civarında sertlikte görülen bu ani artış ekstrüzyon esnasında β^1 -Mg₂Si partiküllerinin kolay bir şekilde tamamen çözünebileceğini göstermektedir (Zajac vd., 1996).

Seçilen herhangi bir ekstrüzyon hızında ekstrüzyon sıcaklığı artan şekil değiştirme direnci ile artmaktadır. Malzemenin şekil değişimi direnci de homojenleştirmeden sonraki soğuma hızı veya katı çözeltideki magnezyum ve silisyum miktarı ile artmaktadır. Ekstrüzyon sıcaklığı da ekstrüzyon hızı arttıkça artacaktır. Reiso ekstrüzyon sırasındaki yırtılmaları açıklamak için bir model önermiştir. Modele göre, Mg₂Si çökeltileri iri olduğu zaman, yırtılma iç kısımlarda, Mg₂Si çözülmüş durumda olduğunda ise yırtılmalar ekstrüzyon yüzeyinde olmaktadır. Yüzeydeki yırtılmalar, 1. tür, iç kısımlardaki yırtılmalar ise 2. tür yırtılma olarak adlandırılmıştır (Onurlu, 1993).

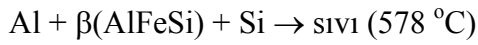
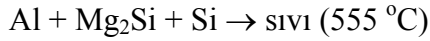
Şekil 4.24'te ekstrüzyon hızının homojenleştirmeden sonraki soğuma hızı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 4.24 Seçilen bir bileşim için en yüksek ekstrüzyon hızının homojenleştirmeden sonraki soğuma hızı ile değişimi (Onurlu,1993).

Magnezyum ve silisyumun katı çözeltide kalmasının sağlanabildiği en yüksek soğuma hızında V_6 ekstrüzyon hızı elde edilecektir. Ancak bu hızda ekstrüzyon yapılabilmesi için T_a gibi bir ekstrüzyon sıcaklığına çıkılmalıdır. Bu sıcaklıkta alüminyum matrisin dayanımı ekstrüzyon sırasında oluşan sürtünme kuvvetlerinden daha az olacağından 1. tür yirtılma görülecektir. Daha yavaş bir soğutma hızı b' 'de bir miktar Mg_2Si çökelecektir. Takoz ekstrüzyon kalıbına girdiği anda takozda bulunan bu ince çökelti, ekstrüzyon sırasındaki sıcaklık artışına bağlı olarak çözünecekler ve katı çözeltideki magnezyum ve silisyum miktarı artacaktır. Bu yapının şekil değişimine direnci a soğuma hızındakinden daha düşük olacağından ekstrüzyon kalıbında T_b sıcaklığına erişilmeden V_8 ekstrüzyon hızına ulaşılmış olacaktır. c soğuma hızında ise ekstrüzyon sırasında tamamen çözünemeyecek kadar iri Mg_2Si çökeltileri oluşacaktır. Bu çökeltilerin iki şekilde 2. tür yirtılmaya neden olabilecekleri düşünülmektedir. Kalıp yüzeyine yakın bölgelerde, gerilmelerin en yüksek değerine ulaştığı yerlerde Mg_2Si çökeltileri gerilme yoğunlaşmasına ve buna bağlı yirtılmaya neden olacaktır. Bunun sonucu olarak da ya yüzeyin altındaki boşluklar ortaya çıkacak, ya da

Mg₂Si fazı diğer elementlerle birleşerek düşük sıcaklıkta sıvılaştıran ötektik bölgeler oluşturacaktır. Homojenleştirme sıcaklığından soğuma sırasında takozun tane sınırlarında AlFeSi fazları oluşabilirler. Soğuma hızı yeterince yavaş ise AlFeSi çökeltileri etrafında Mg₂Si fazları büyüyecektir. Takozun ekstrüzyon sıcaklığına yeniden ısıtılması sırasında yüksek ısıtma hızları uygulanacağından ve ekstrüzyon sırasındaki sıcaklık artışları hızlı olacağından çözeltiliye geçmeye yeterli zaman olmayacak ve bu nedenle ötektik ergimeye yol açılacaktır. Ötektik ergime sırasında yer alacak ötektik tepkimeler şu denklemlerle ifade edilebilir.

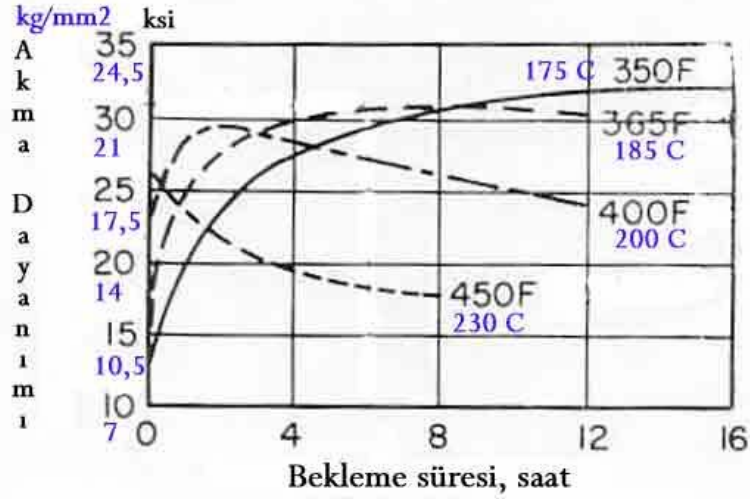


Bu durumda malzemenin dayanımı önemli ölçüde azalacağından beklenenden daha düşük bir hızda yırtılma görülecektir.

Soğuma hızı c'den d'ye düşürüldüğünde daha fazla sayıda ve iri Mg₂Si bileşiği oluşacaktır. Bu durum, alaşım için katı çözeltilerde daha az magnezyum ve silisyum kalması ve matris dayanımının daha düşük olması demektir. Böylece, yırtılmayla sonuçlanacak bir sıcaklığa ulaşılmadan yüksek hızda ekstrüzyon yapılabilir (Onurlu, 1993).

Anlatılan modelden ve diğer çalışmalardan anlaşılacağı gibi, ekstrüzyon için en uygun bilet mikroyapısında, ekstrüzyon sırasında kolayca çözeltiliye geçebilecek büyüklükte Mg₂Si çökelti bulunmalıdır. İstenilen büyüklükte çökelti oluşumu homojenleştirmeden sonraki soğuma hızının iyi kontrol edilmesi ile sağlanabilir.

Bilet tavlama ve ekstrüzyon sonrası soğutma işlemleri (bu iki işlem "pres ısıtma işlemi" olarak da adlandırılır) uygun şekilde yapıldığında; 6063 alaşımında en üstün mekanik özellik değerleri, ekstrüzyon sonrası soğutulmuş ürüne "yapay yaşlandırma ısıtma işlemi"nin (çökeltme sertleşmesi) uygulanmasıyla elde edilir (Ulucak, 2003).



Şekil 4.25 Yapay yaşlandırma ısıl işleminde sıcaklık ve sürenin AA 6063 ekstrüzyon ürünlerinin akma dayanımı değerine etkisi (Ulucak, 2003).

Şekil 4.25'te AA 6063 alaşımı ürünlerin akma dayanımının yapay yaşlandırma ısıl işlemi ile olan ilişkisi görülmektedir. En yüksek dayanım değerleri için, yapay yaşlandırma ısıl işlemi, 177°C'de 16 saat veya 185°C'de 8 saat veya 204°C'de 2 saat süre ile yapılmalıdır. (Ancak, yüksek sıcaklıkta düşük süre seçildiğinde malzemenin uzama oranı (%) düşer, ayrıca eloksal sonrası "mat görünüm" istenirse bunun eldesi zorlaşır) (Ulucak, 2003).

Farklı yaşlandırma koşullarının AA 6063 alaşımının dayanım değerleri üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmada, yapay yaşlandırma işlemi öncesinde yapılan doğal yaşlandırmanın, mevcut alaşımın mekanik özellikleri üzerinde pozitif bir etkisinin olduğunu göstermiştir. 11 günlük doğal yaşlandırma işleminin etkisi, 80 °C'de 5 saat ön yaşlandırma işlemi ile sağlanabilmektedir. Ön yaşlandırma esnasında oluşan salkımlar daha sonraki yaşlandırma işlemi esnasında tamamen çözünmezler. Bu salkımlar malzemenin dayanım değerini artıran β'' çökeltileri için çekirdeklenme alanı vazifesi göstermektedirler (Gao vd., 2002).

4.2.4 Billet Kesme

Alüminyum ekstrüzyon ingotları 4064mm uzunluğa kadar yuvarlak şekilli kütükler halinde dökülürler ve daha sonra billetler, dökülen kütüklerden arzu edilen boyutlarda kesilirler. Yuvarlak billetler uzunluk ve çap ölçüleri ile tanımlanırlar. Billet uzunluğu ürün boyutu ve pres kapasitesi tarafından belirlenir. Geniş ekstrüzyonlar için dikdörtgen ya da oval şekilli billetler kullanılırlar. Dikdörtgen ya da oval billetler üç boyuta sahiptirler, bu boyutları oval bilerler için tarif etmek gerekirse öncelikle bir oval kesit, daha sonra farklı uzunluklarda

iki eksen ve de son olarak billet uzunluğudur.Oval kesiti oluşturan uzun eksenin kısa eksene oranı 2 ve yahut 2,5 tur (Saha, 2000).

4.2.5 Yüzey İşleme

Billet yüzeyinin işlenmesine billet sıyırma denmektedir.Billet sıyırma işlemi özellikle sert alaşımlarda uygulanır.Yumuşak alaşımlarda ise matris çapı alıcı çapına yakın olduğu durumlarda geniş kesitlerde uygulanır.Sert alaşım ekstrüzyonunda, özellikle vasıtalı ekstrüzyon yönteminde, alıcı ile billet arasında bağıl hız yoktur burada işlenmiş billetler kullanılır.Genellikle sert alaşımlarda kabuk yüzeyi yumuşak alaşımlara nazaran çok daha serttir.En iyi ekstrüzyon kalitesi için özellikle uçak endüstrisinde sert alaşımların ekstrüzyonunda her zaman işlenmiş billetlerin kullanılması tavsiye edilir (Saha, 2000).

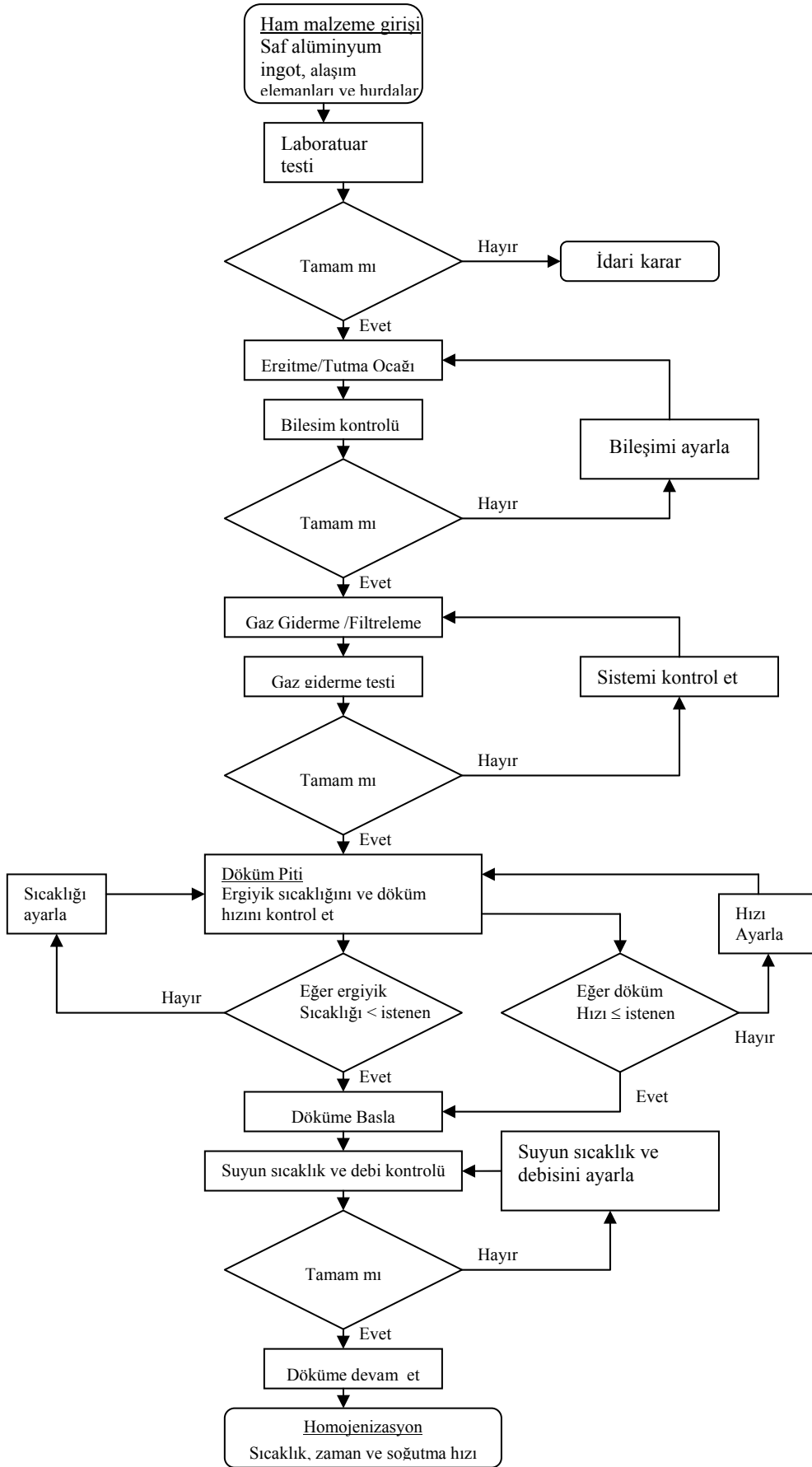
4.2.6 Billet Değişkenleri İçin Proses Kontrol

Alüminyum billetlerin; döküm ve sonrasındaki homojenizasyon ve kesme gibi işlemleri esnasında sorunlarını gidermede güçlü bir iskelet oluşturmak ve parametrelerin uygun bir şekilde dokümantasyonu ve de billet döküm kolaylığı için dizayn edilen tipik bir kalite kontrol listesi Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Öte yandan proses akış diyagramı ve kalite kontrol noktaları Şekil 4.26’da gösterilmiştir.Çizelge 4.7’den toplanan parametreler akış tabloları vasıtasıyla analiz yapabilme amacıyla değerlendirilir.

Çizelge 4.7 Billet döküm kontrol listesi (Saha, 2000).

Ocak operatörü:	Alaşım:	Tarih:
Kesici operatör:		Vardiya:
	Döküm No.	
Parametreler	1	2
Şarj malzemesi		
Saf alüminyum		
Alaşım elementleri		
Hurda, %		
Hurda cinsi		
Şarj ağırlığı		
Ergitme ocağı		
Yanma hızı		
Ergime hızı		
Sıcaklık		
Cüruf oluşumu		
Ergime kimyası		
Tutma Fırını		
Flaks uygulaması (katı ya da gaz)		
Sıcaklık		
Tane inceltme		
Kimya ayarlamaları		
Filtre sistemleri		
Filtre kalitesi		
Sıralı gaz alma		
Hidrojen içeriği		
Ergitme temizliği		
Sıcaklık		
Döküm çukuru		
Üst kısmın kontrolü		
Soğutucu su akışı		
Döküm hızı		
Su sıcaklığı		
Su kalitesi		
Akma sıcaklığı		
Döküm süresi		
Homojenizasyon		
Sıcaklık		
Zaman		
Soğutma hızı		
Kesme ve paketleme		
Döküm numarası		
Billet uzunluğu		
Yüzey kalitesi		
Son hurda		
Geri alma, %		
Kütüğün brüt ağırlığı		
Ergime kaybı, %		



Şekil 4.26 DC billet döküm değişkenlerinin tipik akış diyagramı (Saha, 2000).

4.3 Matris Değişkenleri

Matris, üzerinde imal edilecek profilin kesiti kanal şeklinde açılmış belirli kalınlıkta bir disk şeklindedir ve yine matris, bilette basınç altında profil şeklini veren ve en çok değiştirilen takımdır. Verimliliği arttırmak için matrisin, özellikle ağır metal ekstrüzyonunda ve yüksek çıkış sıcaklıklarında, montajının ve her ekstrüzyondan sonra değiştirilmesinin kolay olması gerekmektedir. Ayrıca matris, profilin tüm detay ve toleranslarını içerir. Matriste oluşacak hatalar direkt olarak profile yansır, yani profilede oluşabilecek özellikle şekil, yüzey ve boyut hataları genellikle matristen kaynaklanabilir.

Matris yapımı bilgi, beceri ve teknoloji gerektiren bir iştir. Matrisin dizaynı ve şekli ekstrüzyon basıncını, hızını, çıkış sıcaklığını, malzeme akışını ve sürtünmeyi etkiler. İnce kesitli profillerin ekstrüzyonunda basınç oldukça yüksek olmaktadır ve bu yüksek basınçta basınçta matriste eğilme ve çatlama için matris desteklenir. Destek; matris arkasına konan ve delik boyutları matrisinkinden büyük olan bir ekstrüzyon takımıdır. Matris, ekstrüzyon presinde tek başına çalışmaz. Destek ve ön oda gibi diğer takımlarla bir grup oluşturarak görev yapar. Malzeme akışını ve profil yüzeylerinin düzgünleştirilmesi için sürtünmeyi azaltan işlemler uygulanır. Bunlar; yağlama, matris yüzeylerinin taşlanması, matris kanalının leplenmesi, matris kanalına nitrasyon uygulanması ve matris kanal uzunluğunun düzenlenmesidir (Sönmez, 1989; Bingöl, 2001).

Ekstrüzyon kuvvetinin azaltılması, mamül veya yarı mamül kalitesini iyileştirmek, ekstrüzyon edilebilir profil çeşidini arttırmak için çeşitli matrisler geliştirilmiştir. Bunlar; odalı matrisler, spiderli matrisler ve köprülü matrislerdir. Bu matrislerin herbiri ileride ayrı ayrı açıklanacaktır. Öte yandan, tüm bu matris gruplarında kullanılan takımlara kısaca değinecek olursak;

Matris: Ekstrüzyon mamül ve yarı mamülüne şekil verir.

Matris tutucusu: Matrisi ve kısmen destekleri tutar.

Destekler: Matrisin eğilme ve kırılmasını önlemek amacıyla desteklerler.

Altlık: Ekstrüzyon kuvvetini desteklerden takım tutucusuna aktarır.

Basınç halkası: Altlığı uzatma görevi yapar, takım tertibinin takım taşıyıcıya adapte olmasını sağlar.

Takım taşıyıcı: Ekstrüzyon presinde matris ve grubunu tutar.

Köprü, spider: Metal akışını böler ve malafayı tutar.

Ön oda: Matris yönünde metal akışını düzenler.

Istampa: Ekstrüzyon kuvvetini ön levha vasıtasıyla bloğa iletir.

Ön levha: Istampanın aşınmasını önler.

Kama: Matris ve grubunun kilitlenmesini sağlar (Sönmez, 1989).

4.3.1 Matris Tipi

Ekstrüzyon matrisleri; boşluklu, yarı boşluklu ve dolu profiller için ayrı gruplara ayrılabilirler. Boşluklu ve yarı boşluklu profiller için kaynak odalı (porthole, spider ve bridge) matrisler kullanılırken, dolu profiller için ise düz matrisler kullanılır (Bingöl ve Sönmez, 2003).

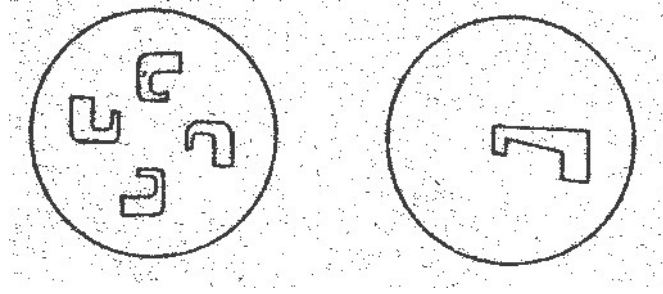
4.3.1.1 Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

Dolu profil matrislerinin düzenlenmesinde matris deliğinin yerini belirleyecek bazı temel kurallar dikkate alınmalıdır. Malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece matris kanal uzunluğunda bir düzenleme yapılmadan belli bir dengeleme elde edilebilir (Şekil 4.27). Simetrik bir profilde simetri eksenleri ön levhanın orta noktasında olacak şekilde bir düzenleme yapılmalıdır. Çok delikli matrislerde delikler mümkün olduğu kadar simetrik bir şekilde yerleştirilmelidir. Şekil 4.28'de T, L ve U profillerinde matris deliklerinin düzenlenmesi görülmektedir. Profillerin ağırlık merkezi genel olarak matrisin ağırlık noktasına yerleştirilmelidir. Ancak bu durum alıcı çapına ve profil sayısına bağlıdır.

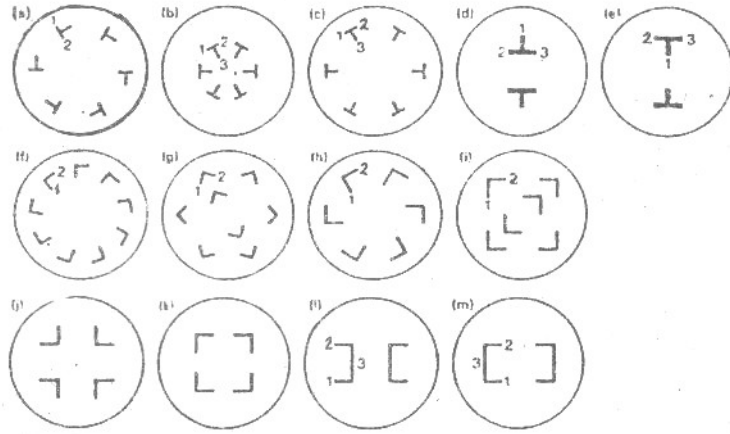
Ayrıca çok delikli matrislerde diğer önemli bir nokta da çubukların ekstrüzyonu sırasında birbirine sürtünmesidir. Profillerin ekstrüzyonunda normal düz matrislerden başka ön odalı matrisler (Şekil 4.29) de kullanılmaktadır.

Profil; büyük kesit farklılıkları içermeyen, simetrik veya simetrik olmayan profillerin ekstrüzyonunda matris üzerinde tek bir profil deliği var ise profil kesitinin ağırlık merkezi matrisin ağırlık merkezi ile çakışmalıdır. Bu sağlanmadığı takdirde kaçıklık meydana gelecektir (Şekil 4.30). Simetrik bir profilde, simetri eksenini ve ağırlık merkezi matrisin simetri eksenini ve ağırlık merkezi ile çakışmalıdır (Şekil 4.31). Bu çakışma sağlanmadığı zaman malzeme akışındaki homojenlik bozulacak ve profilde eğilmeler başlayacaktır, dengesiz bir ölü bölge oluşarak ekstrüzyon kuvveti artacak ve ekstrüzyon hızı düşecektir ve ön levhada

kısaltmalar meydana gelecektir (Şekil 4.32).



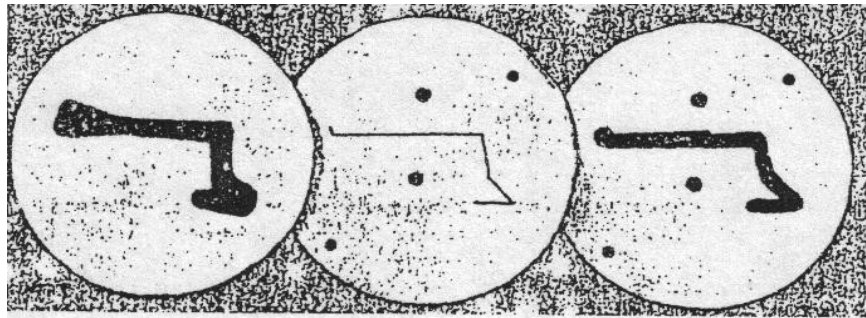
Şekil 4.27 Farklı kesit kalınlıklı profile malzeme akışını dengelemek amacıyla kalın kısımların matris çevresine ve ince kısımların matris merkezine gelecek şekilde yerleştirilmesi (Sönmez, 1989).



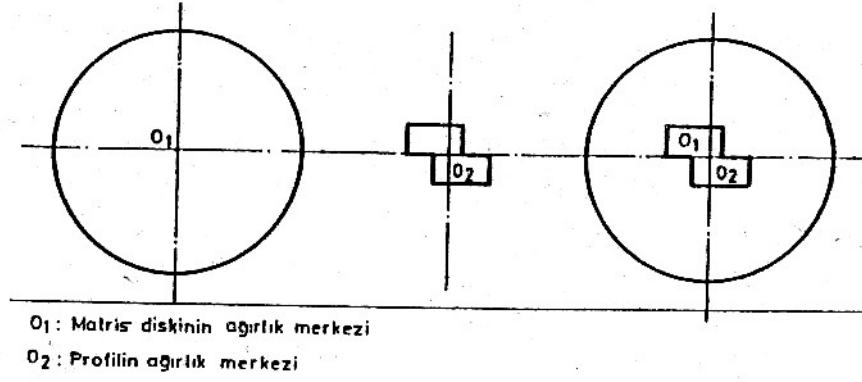
r: Doğru f: Yanlış

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
	f	f	r	f	r	f	r	f	r	f	r	f	r

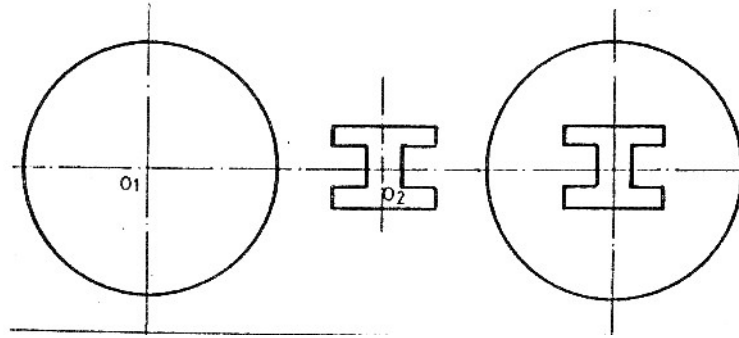
Şekil 4.28 Çok delikli profil matrislerinde delik yerlerinin tayini (Sönmez, 1989).



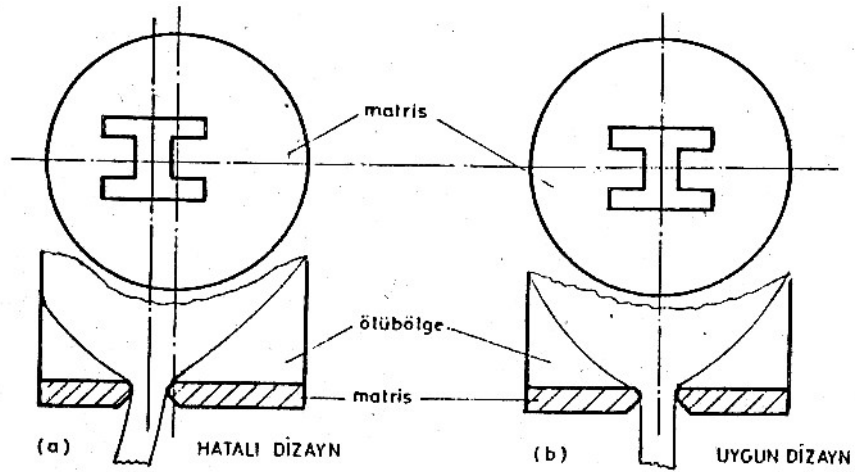
Şekil 4.29 Üç parçadan oluşan ön odalı matris (Sönmez, 1989).



Şekil 4.30 Profil ağırlık merkezi ile matris ağırlık merkezinin çakışması (Sönmez, 1989).

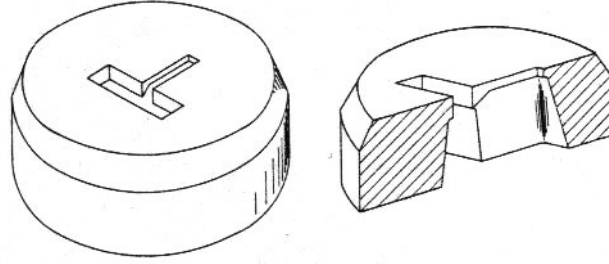


Şekil 4.31 Simetrik bir profilin matris yüzeyindeki dizaynı (Sönmez, 1989).

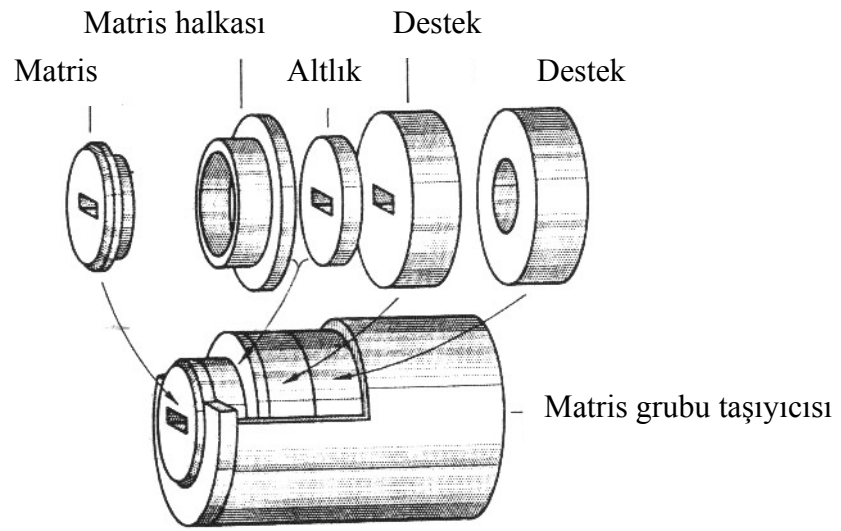


Şekil 4.32 Hatalı ve hatasız matris dizaynında ölü bölgenin durumu ve mamülde meydana gelen hata (Sönmez, 1989).

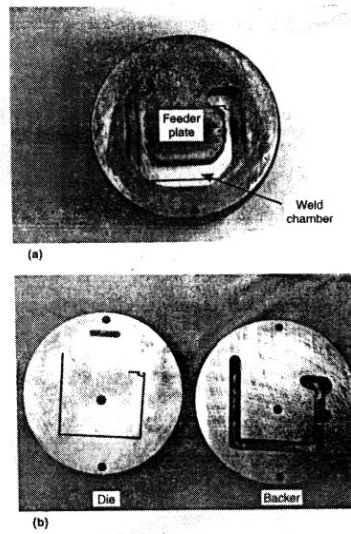
Aşağıdaki şekiller dolu matrislere örnekler göstermektedir.



Şekil 4.33 Dolu bir profil için tipik ekstrüzyon matrisi (Van Horn, 1967).



Şekil 4.34 Takım taşıyıcısı içinde ekstrüzyon matrisi ve takım montaj hali (Van Horn, 1967).



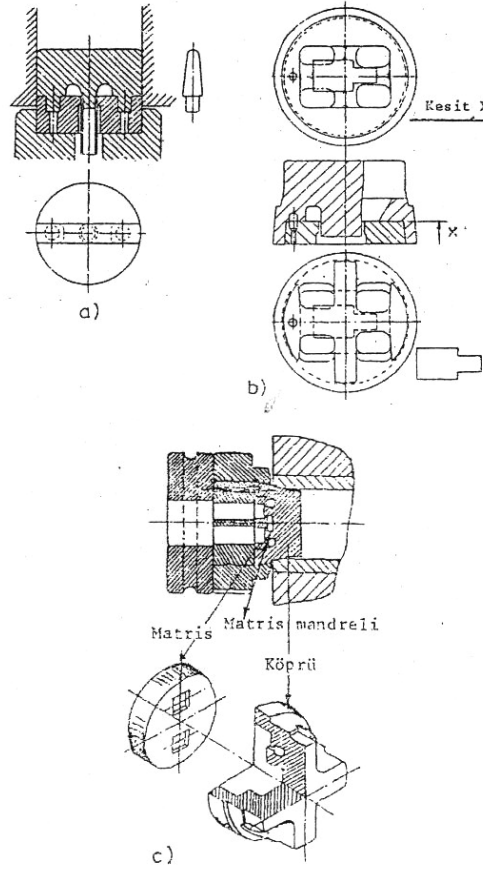
Şekil 4.35 Besleyici plakalı matris.(a) Bütün matris seti.(b) Matris ve destek (Saha, 2000).

4.3.1.2 İçi Boş Profiller İçin Matrisler

Günümüzde çok karmaşık şekilli profilleri, uygun matrisleri kullanmak suretiyle ekstrüzyon yöntemi vasıtasıyla elde etmek mümkündür. Daha önce de bahsedildiği üzere içi boş profillerin ekstrüzyonunda köprülü, odalı ve spider matrisler kullanılmaktadır (Sönmez, 1989).

4.3.1.2.1 Köprülü Matrisler

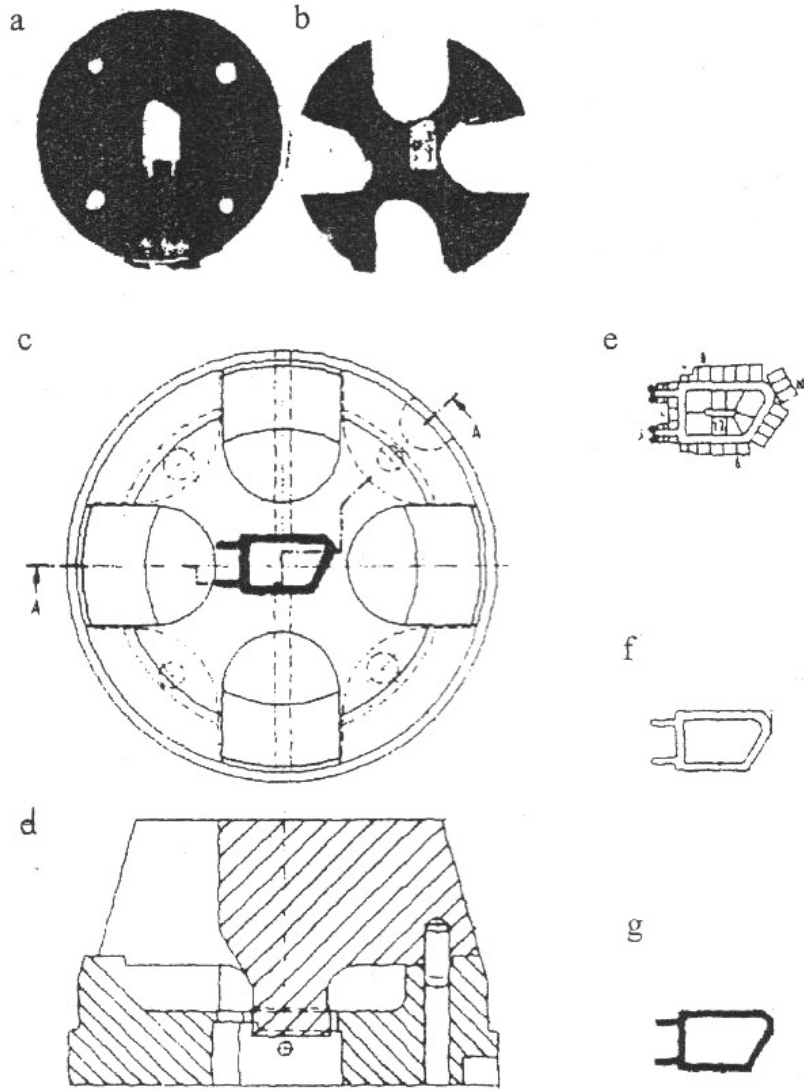
Köprülü matrisler genel olarak, profil yüzeyinde iyi bir kalite beklendiğinde kullanılmaktadır (Şekil 4.36). Her ekstrüzyon işleminden sonra metal kalıntısı uzaklaştırıldığından, köprülü matris düşük sıcaklıklarda kullanılır. Bu matris tipi ile iyi yüzey kalitesi elde edilmesinin yanında diğer bir avantaj ise matrisin arka taraftan monte edilmesi olup, yeni matris durumunda matris giderlerinin düşük olmasıdır. Ekstrüzyon artığının her işlemten sonra alınması ve ıskarta miktarının artması sistemin dezavantajıdır. Ayrıca çekme ve basma neticesinde birbirine ters yönde ortaya çıkan zorlamalar nedeniyle takımda kısa sürede aşınma ve kırılma olabilir (Sönmez, 1989).



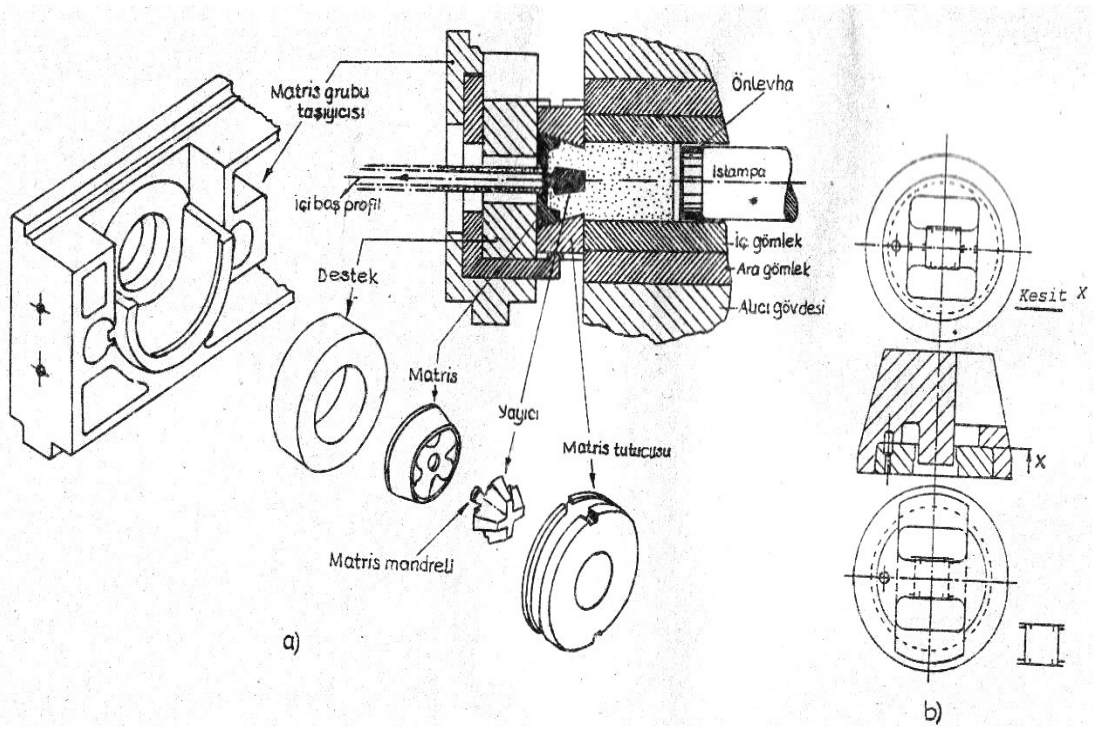
Şekil 4.36 Köprülü matrisler (Sönmez, 1989; Bingöl, 2001).

4.3.1.2.2 Spider Matrisler

Spider matrisler, genellikle düşük ekstrüzyon oranlarında içi boş büyük profiller için kullanılırlar (Şekil 4.37 ve Şekil 4.38). Bu matrisin kontrol ve ayarı için uzun süre temizlik gerektiğinden kullanılması ikinci plana atılmıştır. Ayrıca ekstrüzyon kalıntısı dış koniklik nedeniyle uzaklaştırılamamaktadır. Sönmez (1989) tarafından bildirildiğine göre Keller tarafından geliştirilen yeni konstrüksiyon eski konstrüksiyonların dezavantajlarını kısmen ortadan kaldırmıştır ve pratikte daha çok kullanılmaktadır (Göymen, 1988; Sönmez, 1989; Bingöl, 2001).



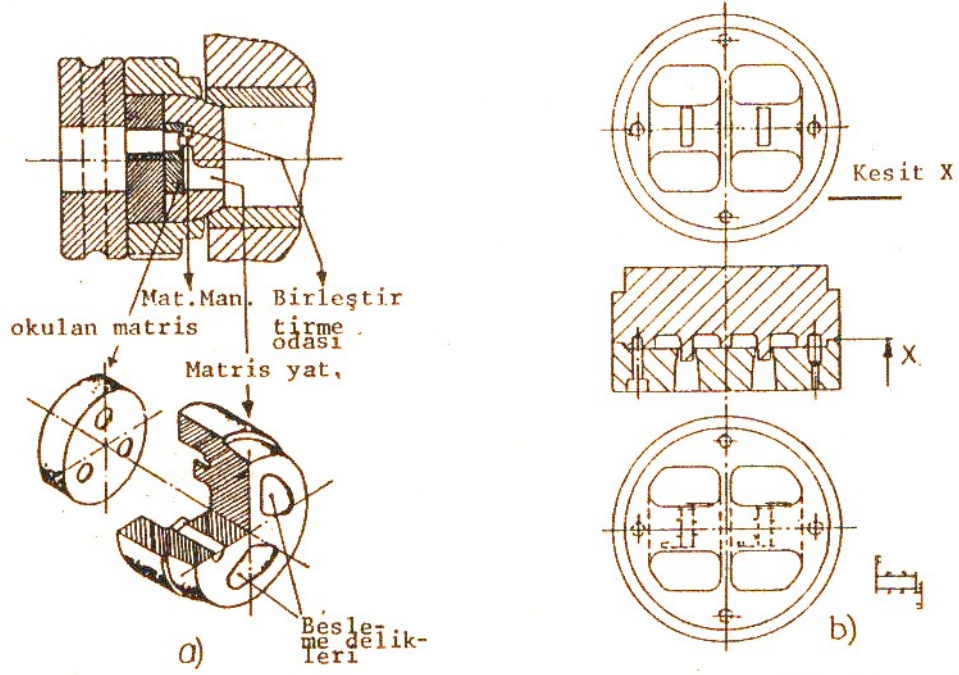
Şekil 4.37 İki parçalı spider matris: a) matris alt parçası, b) matris üst parçası, c) matris alın yüzeyi, d) A-A kesiti, e) matris kanal uzunlukları, f) matris boşluğunun kesiti, g) profil kesiti (Bingöl, 2001).



Şekil 4.38 Spider matris: a) spider matris için takım tertibi, b) bir tip spider matris (Sönmez, 1989).

4.3.1.2.3 Odalı (Porthole) Matrisler

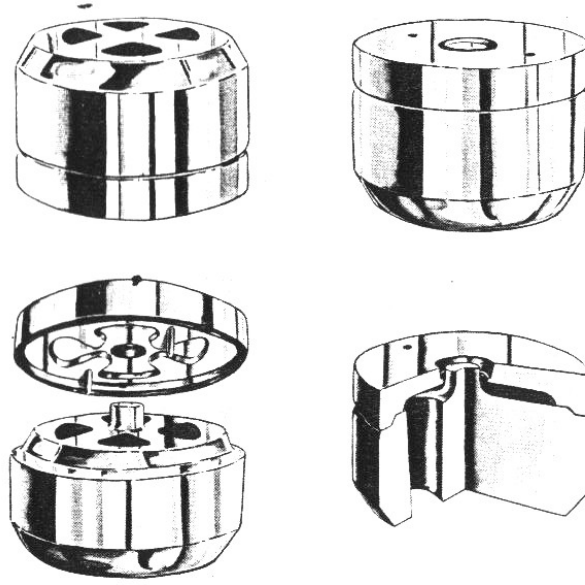
Bu konstrüksiyonlar her şart altında kullanılabilmekte ve ekstrüzyon tekniğinde beklenen en iyi sonucu vermektedir. Çok delikli olarak kullanılabilmeleri yanında, kapalı konstrüksiyon şekilleri sayesinde maksimum stabiliteye sahiptirler (Şekil 4.39). Konteynır çapına oranla profil çapı çok büyük olduğunda bile odalı matrisler kullanılabilmekte, bu durumda bütün matris tutucuları oda takımı olarak görev yapmaktadırlar. Bu matrisler, çok kritik kesitleri olan profillerin ekstrüzyonunda rahatlıkla kullanılabilmektedir (Göymen, 1988; Sönmez, 1989; Bingöl, 2001).



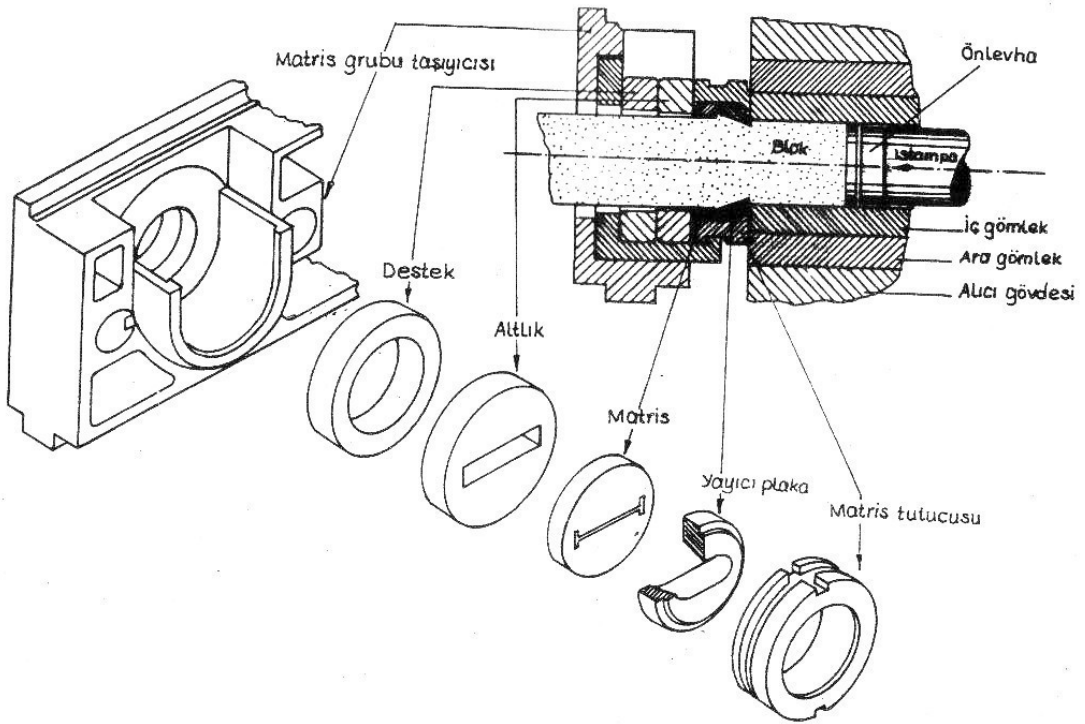
Şekil 4.39 Odalı matris: a) çok parçalı ve çok delikli odalı matris, b) odalı matris (Sönmez, 1989).

Malzeme akışına olan etkisi yönünden odalı matrisler, diğer matris tiplerine nazaran daha üstündürler. Kaynak dikişlerinde daha estetik görünüm sağlamak için giriş ve kaynak odalarının dizaynında dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Kaynak odalarındaki şekil değiştirme basıncının yeterli olması için uygun giriş büyüklüğü sağlanmalıdır. Arkadan gelen billetin boşluğu hızla doldurması için giriş fazla büyük olmamalıdır. Uygun giriş, konteynır çapının maksimum %90'ı kadardır. Ekstrüzyon oranı 14/1'e eşit veya daha büyük olmalıdır. Bu oranın altına inilirse, özel takım kullanılmalı ve özel şartlar sağlanmalıdır (Bingöl, 2001).

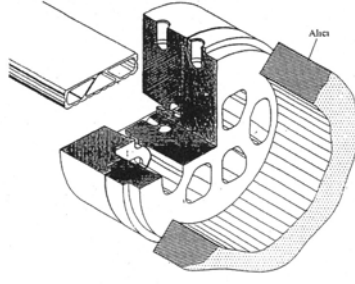
Aşağıdaki şekiller odalı matrisler, matris grupları ve de birleşme aşamalarına örnekler göstermektedir.



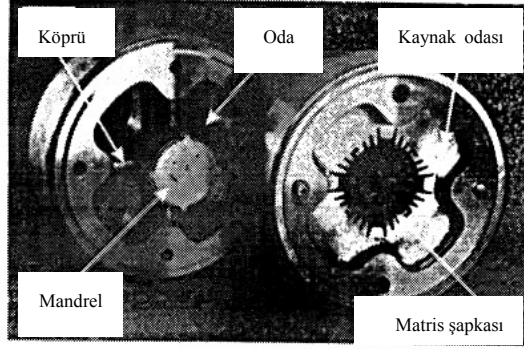
Şekil 4.40 Borular ve boş profillerin ekstrüzyonu için tipik odalı matrisler (Van Horn, 1967).



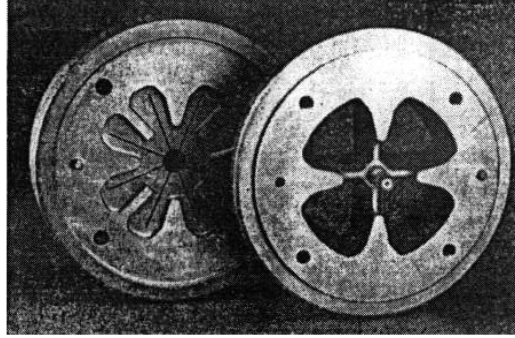
Şekil 4.41 Yayıcı plakalı takım tertibi (Sönmez, 1989).



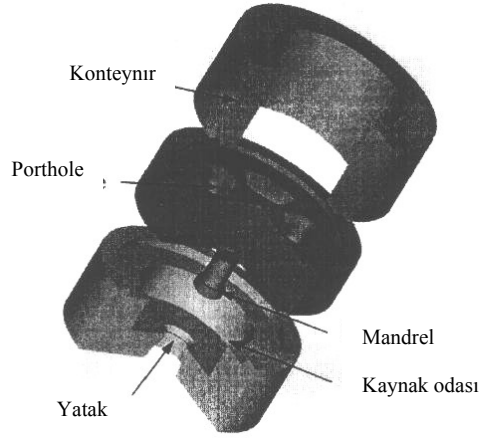
Şekil 4.42 Odalı matrisin şematik görünümü (Bingöl, 2001).



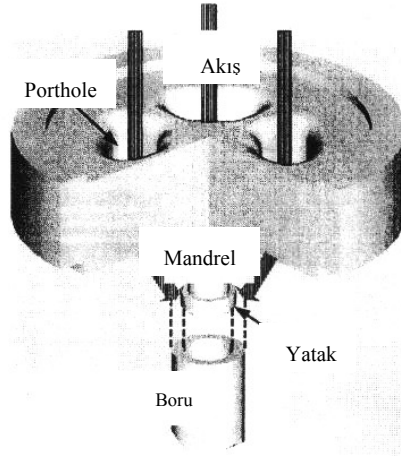
Şekil 4.43 Köprü, odacıklar, mandrel, kaynak odası ve matris şapkasına sahip tipik bir odalı matris (Saha, 2000).



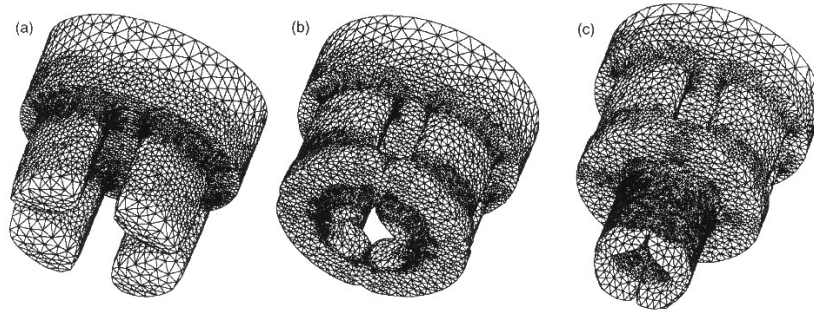
Şekil 4.44 Kritik bir profilin odalı matrisi (Saha, 2000).



Şekil 4.45 Odalı ekstrüzyonda kullanılan ve alıcı, odacıklar, mandrel, kaynak odası ve matris yatağının gösterildiği takım (Jo vd., 2002).



Şekil 4.46 Boru üretiminde kullanılan odalı matrisin metal akışına ait 3-D şematik diyagram (Jo vd., 2002).



Şekil 4.47 Odalı matris ekstrüzyonunun prosedürü: a) bölünme aşaması, b) kaynak aşaması, c) şekillenme aşaması (Jo vd., 2002).

4.3.2 Matris Dizaynı

Matris yapımı ve matris dizaynı, tüm ekstrüzyon prosesinin en önemli kısmıdır. Matris dizaynı; pres işlemi, profil ve toleranslarına ait bilgi ve alışım karakteristiklerini içeren birçok faktörden etkilenir. Alüminyum ekstrüzyon kalıplarının artan şekil kompleksliği, profil kalınlığı ve yüzey kalitesi ile dizayn ve imalatının arkasında çokça yıllık tecrübe yatmaktadır. Bu tecrübelerden bazıları empirik dizayn kuralları olarak tutulmuştur fakat ekstrüzyon matrislerinin dizaynı hala kişisel hüküm verme, sezgi ve tecrübeye dayanmaktadır. Dizaynı yapan kişi, matrisi yapan kişi, pres operatörü ve matris düzelticisi arasındaki yakın çalışma ilişkisi toleransların kontrolü ve üretim performansına ihtiyaç duyar.

Tüm ekstrüzyon operasyonlarında üç temel hedef vardır. Bunlar; metal akışının relatif olarak kolaylığını, boyutsal stabiliteyi ve arzu edilen yüzey kalitesini sağlamaktır. Ekstrüzyon işleminin temeli çok basittir fakat matrisin dizayn ve modifikasyonu, ekipmanların ayarlanması, alışım seçimi, sıcaklık, yağlayıcı ve ekstrüzyon oranları gibi birçok proses faktörü spesifik şekillerin başarılı bir şekilde üretilebilmesinde temel belirleyici parametreleri oluştururlar. Matris dizaynında ayrıca dikkat edilmesi gereken bir nokta ise yüksek basınç altında matrisin deformasyonu ve yüksek sıcaklıklar altında matrisin genişmesidir. Matris dizaynı esnasında aşağıdaki etkenler üzerinde düşünülmesi gerekir:

- Profilin şekil ve büyüklüğüne dayanarak matris açıklıklarının sayısı
- Matris açıklığının billet eksenine göre yeri
- Termal çekme ve genişlemeye dayanarak nihai matris açıklığının belirlenmesi
- Verimliliği arttırmak için yatak uzunluğunun optimizasyonu

Matrisin dizaynına başlamak için dizaynı yapacak olan kişinin; profil geometrisi, ekstrüzyon edilecek alışım, pres ve billetin büyüklüğü, kullanılacak destek ve altlık, ekstrüzyon edilecek ürünün birim uzunluk başına düşen ağırlığı gibi birçok faktöre ilişkin temel bilgilere ihtiyacı vardır.

Matrisi dizayn edecek olan kişi, müşteriden alınan profil çizimine baktıktan sonra gerekli olan matris tipine ki bu dolu, boşluklu veya yarı boşluklu olabilir, karar verir. Eğer boşluklu matris yapılacaksa, yüksek verimliliği sağlamak için en iyi besleme deliği, köprü ve kaynak odası konfigürasyonu seçilir. Boşluklu kalıplara bir örnek daha önce Şekil 4.43'te de gösterilmişti. Eğer gerekli olan dolu bir kalıpsa düz yüzeyli, besleme plakalı, oyuklu ve tek yatak tipli kalıplar seçilebilir (Şekil 4.35). Tek açıklığa sahip bir matris için dizayn, odalı tip matrislere kıyasla daha kolay görünmektedir. Artık bir sonraki adım her bir boşluğun dizaynı ve boşluk sayısına karar vermektir.

Matris yüzeyi içerisinde bulunan açıklıkların geometrik tasarımı aşağıdaki birkaç faktör tarafından belirlenir:

- Matris açıklığı ile konteynır duvarı arasında ve de açıklıklar arasındaki mesafe uygunluğu
- Profildeki herhangi bir çarpılmayı önlemek için dengeli metal akışı
- Matris dizayn ve imalatında kolaylık
- Ekstrüzyon ürünün çıkış tablası üzerinde üstüste binmesini ve bazı parçaların çizilmesini önlemek

Matris açıklığı ve alıcı duvarı arasındaki aranın minimum tutulması dirfekt ekstrüzyon yönteminde billet yüzeyindeki oksit tabakasının ekstrüzyon ürününe akmasını engeller. Aynı zamanda çok boşluklu bir kalıbın iki ara arasındaki minimum mesafe billet tarafından uygulanan basınca dayanacak uygun dayanımı sağlaması gereklidir. Matristeki bu yeterli dayanım matriste oluşabilecek çatlama ve sapmaları önlemiş olur.

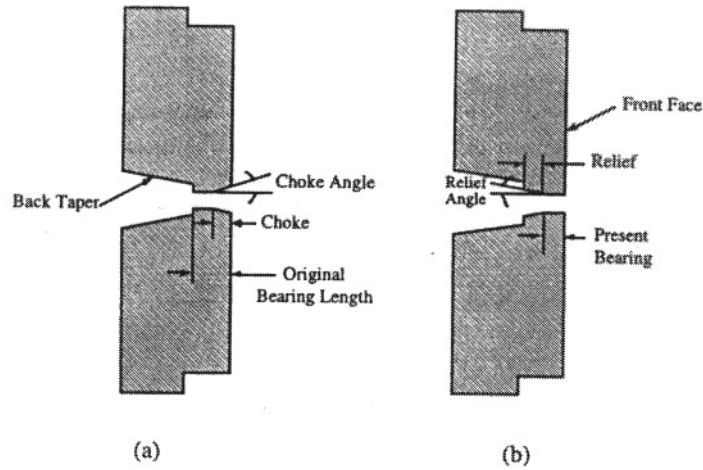
Öte yandan matris yatağının önemi çok büyüktür. Ekstrüzyon ürününün boyutu, profili, nihai hali ve hızını kontrol etmek matris yatağının fonksiyonudur. Matris yatağı aynı zamanda matrisin ömrünü de belirler. Matris bölgesindeki sürtünme metal akışının gecikmesini kontrol eden bir faktördür. Matris açıklığının herhangi bir yerindeki yatak uzunluğu metal akışının yavaşlamak zorunda olduğu noktadaki boyuta bağlıdır. Temel olarak, metal akışını kontrol etmede matris yatağının boyutlarını belirlemek için üç parametre vardır:

- Billet merkezinden açıklığa kadar olan mesafe
- O noktadaki profil kalınlığı
- Cep (çukur) profili ve büyüklüğü

Direkt ekstrüzyon yönteminde billet-konteynır ara yüzeyindeki sürtünme direnci, billet yüzeyi yakınlarındaki metalin akışını yavaşlatır. Bu yüzden billet merkezi sınır çizgisinden daha hızlı hareket eder. Akışı dengelemek için yatak uzunluğu billet merkezinden uzaklığı ile doğru orantılı olmalıdır. Küçük matris açıklığından dolayı daha ince profillere akış daha yavaştır. Benzer olarak, daha ince profillerde akışı dengelemek için yatak uzunluğunun daha kısa tutulmasına ihtiyaç vardır. Yataktaki keskin değişiklikler, düzgün olmayan metal akışı veya matris açıklığının yeterince doldurulamamasından dolayı çevresinden farklı renkte olan çizgilere sebebiyet verebilir.

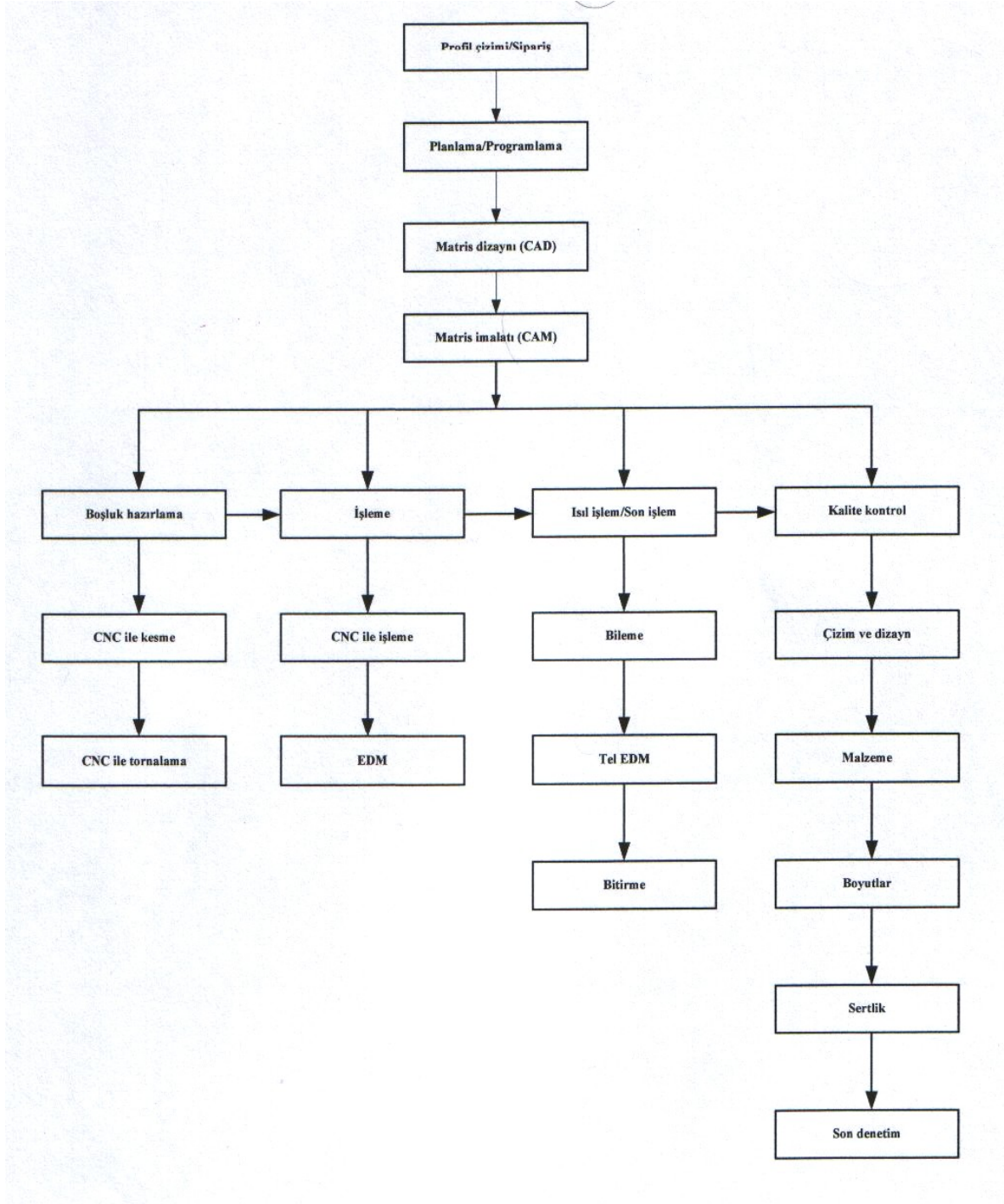
Öte yandan bazen matrislerde düzeltmeler yapmak gerekebilir. Bu düzeltmelerin sebebi akış hızını düzeltmek veya değiştirmektir. Bu düzeltmeler yatak genişliğini kontrol etme yoluyla gerçekleştirilebilir. Matris deliğinin önünde (konteynır kısmında) ve arkasında, yatak

yüzeyine uygulanan işlemler; sırasıyla, boğaz (choke) ve boşluk (relief) açısı verme olarak adlandırılır. Sert alaşımların ekstrüzyonu için (2000 ve 7000 serileri) boğaz açıları genellikle 3° ye kadardır. Bu özellik daha iyi boyutsal stabilite vermek için metal akışını yavaşlatır ve dolayısıyla matris boşluğu doldurulmuş olur. Boşluk açısının 7° ye kadar artırılması, orjinal yatak uzunluğunun azalması yoluyla metal akış hızı yükselir. Şekil 4.48'de boğaz ve boşluk açıları gösterilmektedir. Normalde boğaz ve boşluklar elektrikli deşarj makinaları (EDM) kullanılarak üretilirler (Saha, 2000).



Şekil 4.48 Matris yatağındaki boğaz ve boşluk açıları: a) Yatağın ön tarafındaki boğaz açısı.
b) Yatağın arka veya çıkış tarafındaki arttırılmış boşluk açısı (Saha, 2000).

Ayrıca aşağıda Şekil 4.49 aracılığı ile matris imalatına ait adımlar gösterilmektedir.



Şekil 4.49 Matris imalat aşamaları ve prosesleri (Saha, 2000).

4.3.3 Matris Değişkenleri İçin Proses Kontrol

Matris konstrüksiyonunun ne şekilde yapılacağı, en basit profillerin bile başarı ile ekstrüzyon edilebilmesi için alınması gereken kararların en önemlilerinden birisidir. Matrisin düzeltilmesi ve matrisin ilk imalatı, pres operasyonu, işleme dizaynı ve bakım arasındaki yakın ilişki gibi birçok faktör presteki matrisin sürekliliğini etkilemektedir. Her çevrimde en iyi çözüme

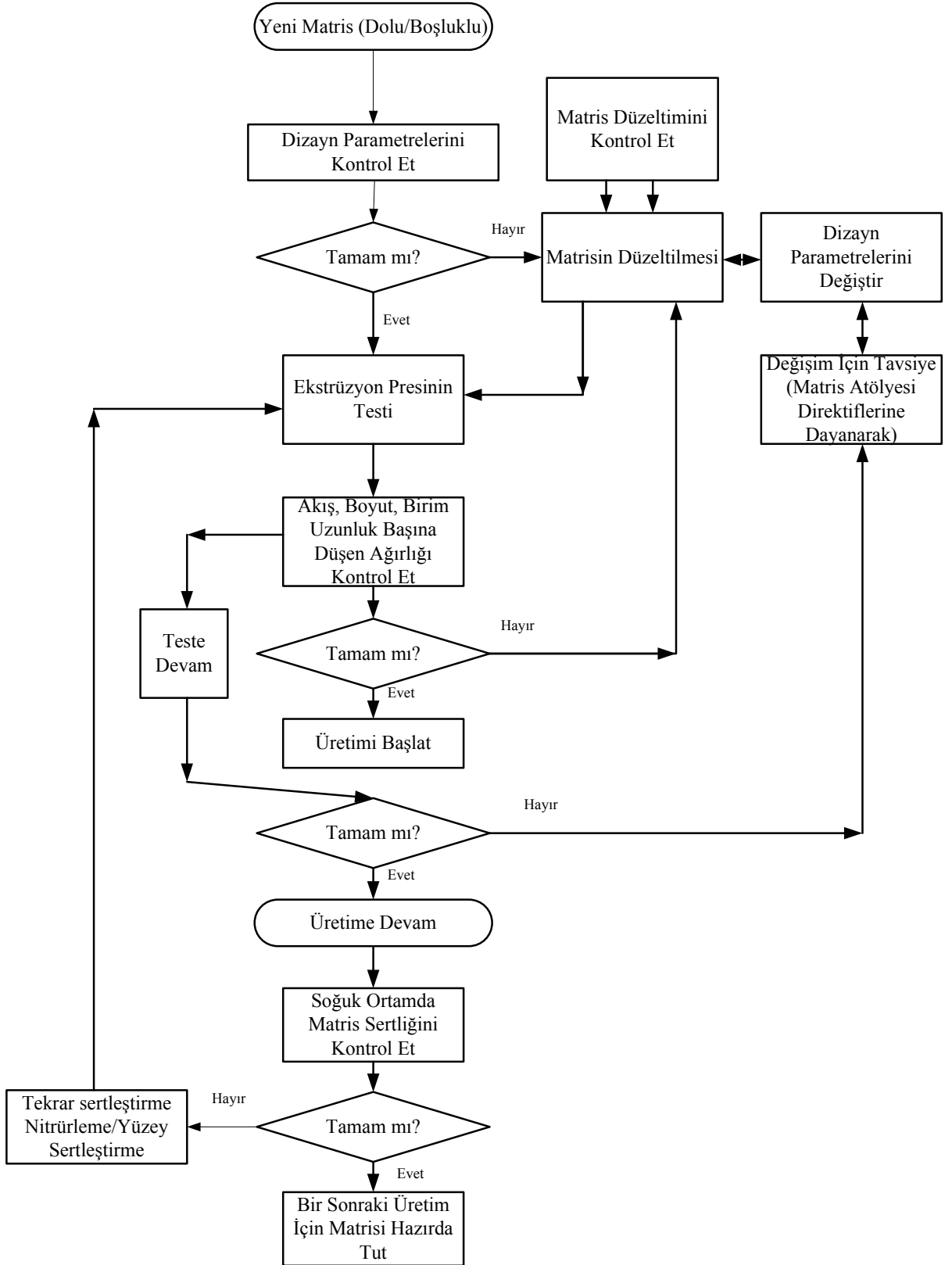
ulaşmak için pres operatörünün, matris düzelticisi ile hatta hatta matris tasarımcısı ile aralarında iyi bir işbirliğinin olması gerekir. Ekstrüzyon matrislerini dolu ve boşluklu profiller için kullanılan basit şekilli matrisler ve kaynak odalı matrisler (porthole, spider ve bridge matrisler) olarak ayırabiliriz. Üretilen alüminyum profiller için hazırlanacak matris aşağıdaki karakteristiklere sahip olmak zorundadır:

- Herhangi bir düzeltme çalışmasına ihtiyaç duymayı engellemek için tam boyutlara ve ürün şekline sahip olmalıdır.
- Mümkün olan en uzun çalışma ömrüne sahip olmalıdır.
- Ekstrüzyon edilmiş profilin mümkün olan maksimum uzunlukta olması gerekmektedir.
- Birçok ekstrüzyon işleminden sonra yüksek kaliteli yüzey sağlamalıdır.
- Yüksek ekstrüzyon hızlarında çalışabilmelidir.
- İmalat maliyeti düşük olmalıdır.

Bu gereksinimler genellikle çubuklar ve diğer basit şekiller için kolaylıkla yerine getirilir. Ancak matrisin karmaşıklığı arttıkça yukarıda bahsedilen bu ihtiyaçların tümünü yerine getirmek daha da zorlaşmaya başlar. Matrisin dizaynı ve konstrüksiyonu yapılırken; akış örneği, maksimum özgül basıç, profilin geometrik şekli, ekstrüzyon oranı, yatak uzunluğu ve son olarak profilin toleransları gibi bir çok faktör göz önüne alınmalıdır.

Yanlış metal akışı; ürün yüzeyinde gözle görülebilen şeritlerin oluşmasına sebep veren kritik deformasyon alanlarının artmasını sağlayabilir. Özellikle simetrik olmayan şekiller ve değişik et kalınlıklarında, matrisin bütün parçaları boyunca üniform metal akışını sağlamak için yetenek ve deneyime ihtiyaç vardır. Kalıbın dar parçalarında akmaya karşı olan direnç en büyük değerindedir ve bu bölgede yatak uzunlukları düşürülmelidir. Eğer bu konuya yeterince ehemmiyet verilmezse ekstrüzyon ürünü eğilip bükülebilir (Saha, 2000).

Tekrar belirtecek olursak, matrisin düzeltimi ile pres operasyonu, işleme dizaynı ve bakım üzerine temellendirilen ilk dizayn arasındaki yakın ilişkiyi korumak gerekmektedir. Saha (1997) tarafından, potansiyel matris parametrelerini uygun dökümantasyon ve gerekli analizler için matris performansı ve matris ömrü üzerinde toplamak amacıyla, sırasıyla dolu ve boşluklu matrisler için dizayn edilen iki adet sistem Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilmiştir. Matris performansının yanısıra, özel bir matris ve özel bir alaşım için mümkün olan en iyi proses parametrelerini belirlemek için bir ekstrüzyon proses kontrol listesi kullanılmak suretiyle bir dizi deney yapmak mümkündür. Aynı analiz, daha iyi verimlilik ve ekstrüzyon kalitesi için en iyi matris dizaynını belirleyebilir.

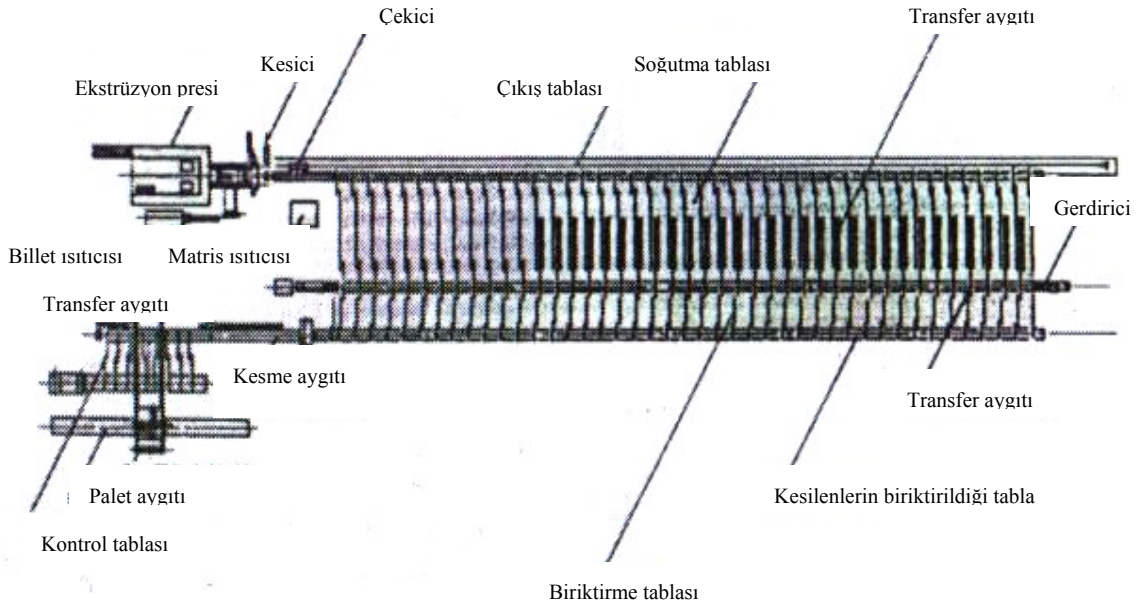


Şekil 4.50 Matris değişkenlerine ait akış diyagramı (Saha, 2000).

4.4 Pres ve Yardımcı Ekipmanlara Ait Değişkenler

Ekstrüzyon preslerinin ilk basit kurşun ekstrüzyon presinden modern otomatik ekstrüzyon preslerine kadar geçirdiği ilerleme süreci, bize ekstrüzyon teknolojisinin ilginç tarihini simgelemektedir (Sönmez, 1989; Saha, 2000).Günümüzde, artırılmış boyutsal hassasiyet ile daha geniş boyutlu ve daha dar et kalınlıklı ekstrüzyon profillerine ait gereksinimleri karşılamak için programlamalı presler benimsenmiştir.Pres rijititesi ve dizilişi konvansiyonel preslere kıyasla oldukça iyileşmiştir.Modern preslerin çoğu, bize, monitörünün ekranından pres operasyonunun verilerine ulaşabileceğimiz, gerçek zamanlı bir pres görüntüleme ekipmanı sunarlar.Ayrıca programlanabilir kontrolörler, billet ısıtıcısı, ekstrüzyon presi, çekici, soğutma tablası, gerdirici, kesme tablası, kesici ve benzeri ekipmanları çalıştırmak için prese bağlanırlar.Her bir matris için ekstrüzyon verileri ölçülür ve bilgisayar sistemi yardımıyla saklanır ve bu veriler ileride matrislerin dizayn ve modifikasyonunu belirleme ve de billet sıcaklığı, alıcı sıcaklığı, billet boyutu, ram hızı/ilerleme ve ekstrüzyon çekici hızı gibi optimum ekstrüzyon parametrelerini seçmede, hazırda elde edilebilir olmaları bakımından verimlilik açısından önemli rol oynarlar.

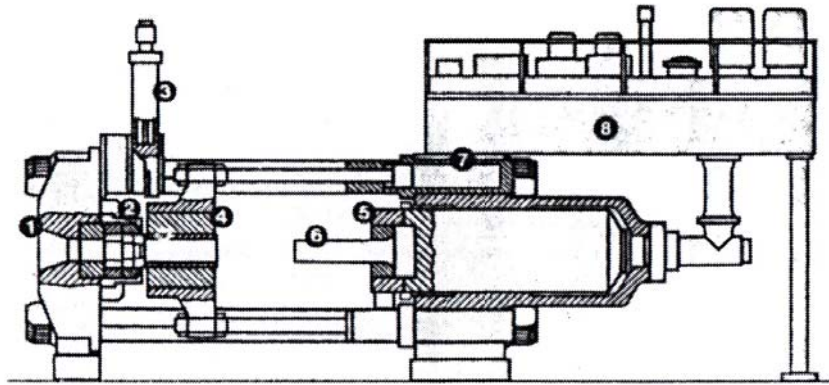
Şekil 4.51’de alüminyum ekstrüzyonu için pres ve otomatik palet düzeneği gösterilmektedir.



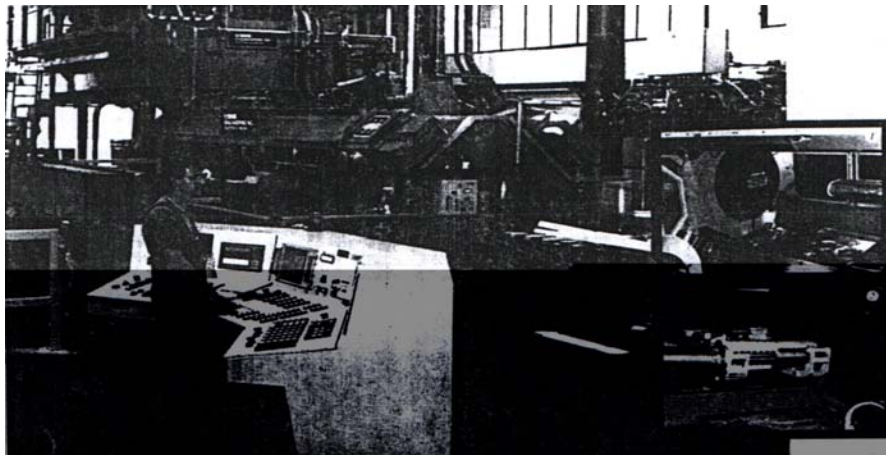
Şekil 4.51 Alüminyum ekstrüzyon ürünlerinin çıkış tablası üzerinde görünüşü (Saha, 2000).

4.4.1 Direkt Ekstrüzyon Presleri

Direkt bir presin şematik görünümü Şekil 4.52’de verilmiştir. Direkt presler; dolu çubuklar ve profiller üretmek için kullanılırlar. Aynı zamanda bu presler, yumuşak alüminyum alaşımlarını odalı veya köprülü matrislerden geçirerek çubuk ve boşluklu profiller üretmemizi de sağlarlar. Şekil 4.53’te bir direkt ekstrüzyon presini gösterilmiştir (Saha, 2000). Bu pres, yuvarlak ve dikdörtgen biletleri ayrı ayrı kullanmamıza olanak sağlamaktadır. Tabakalar halindeki çubukların presin merkezine doğru olan dizilişi optimum güç transmisyonunun ve parçaların hareketinin hassas bir şekilde kontrolünü sağlar. Bilet konteynerinin güvenli ve hassas bir şekilde yönetilmesi ise yardımcı bloğun rahat bir şekilde kullanılmasını sağlar.

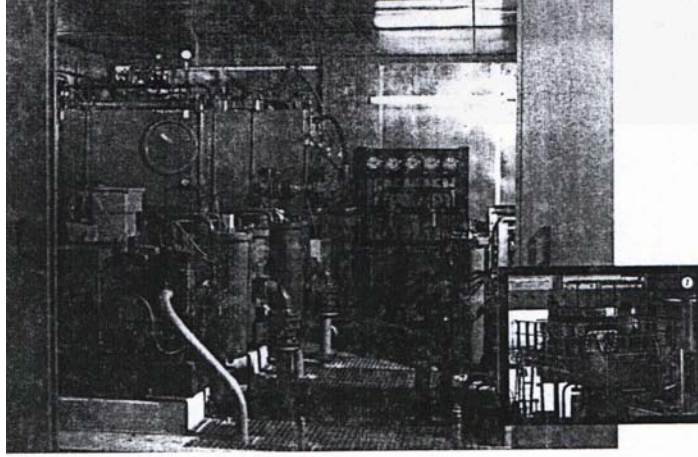


Şekil 4.52 Direkt ekstrüzyon presinin şematik görünümü. 1: Karşı plaka, 2: Matris kaydırıcı veya döner matris başlığı, 3: Kesici, 4: Konteynir, 5: Hareketli piston yatağı, 6: İstampa, 7: Silindir piston yatağı, 8: Yağ tankı ve hareket kontrol üniteleri (Saha, 2000).



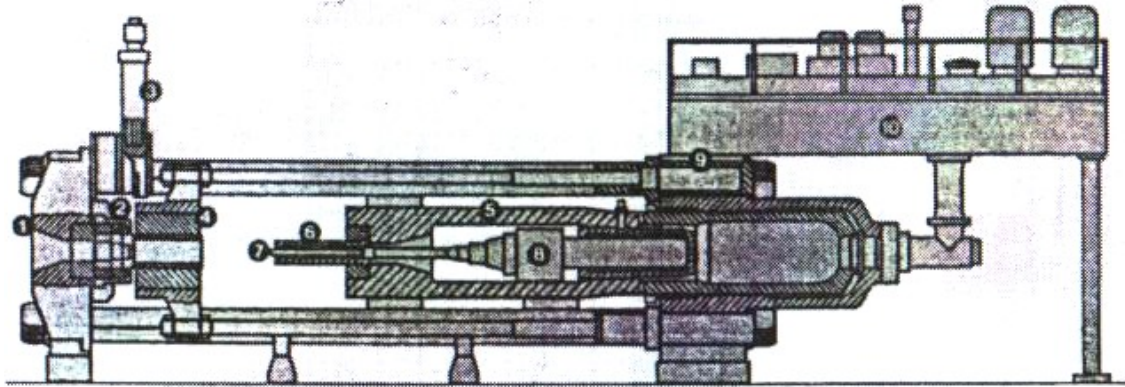
Şekil 4.53 Merkezi kontrol masasından idare edilen, modern, 3465 tonluk (31,5 MN) bir ekstrüzyon presini. 1) Düz biletler için konteynir ve ekstrüzyon ıstampası. 2) İki parçalı lineer bilet yükleyicisi (Saha, 2000).

Modern presler genellikle; matris mengenesi, çabukça-bırakan ıstampa, otomatik sıralama kontrolörü, kesici bıçak, teleskopik billet yükleyici, kısa stroklu dizayn ve daha yüksek verimlilik ve kalite için bilgisayar yazılımları gibi özel ekipmanlarla donatılmışlardır. Pompa ve valfleri içeren hidrolik ekipman, presin yağ tankına veya zemin seviyesine veya zemin seviyesinin altına konumlandırılabilir. Zemine temellendirilmiş sistemlere erişmek Şekil 4.54'te de gösterildiği gibi oldukça kolaydır.



Şekil 4.54 Tabana oturtulan, ses geçirmez pompa sistemi. 1) Prese ait yağ tankının üzerindeki pompalar (Saha, 2000).

Şekil 4.55 dikişsiz borular için direkt ekstrüzyon preslerinin şematik görünüşünü vermektedir. Sert alüminyum alaşımlı borular; genellikle boşluklu kısa billetlerden, yüzen mandrel veya ıstampa üzerine sabitlenmiş mandreller ile üretilirler.



Şekil 4.55 Dikişsiz borular ve boşluklu profiller için direkt ekstrüzyon presinin şematik görünüşü. 1: Karşı plaka, 2: Matris kaydırıcı veya döner matris başlığı, 3: Kesici, 4: Konteynır, 5: Hareketli piston yatağı, 6: İstampa, 7: Mandrel, 8: Delici, 9: Silindir piston yatağı, 10: Yağ tankı ve hareket kontrol üniteleri (Saha, 2000).

4.4.2 Pres Seçimi

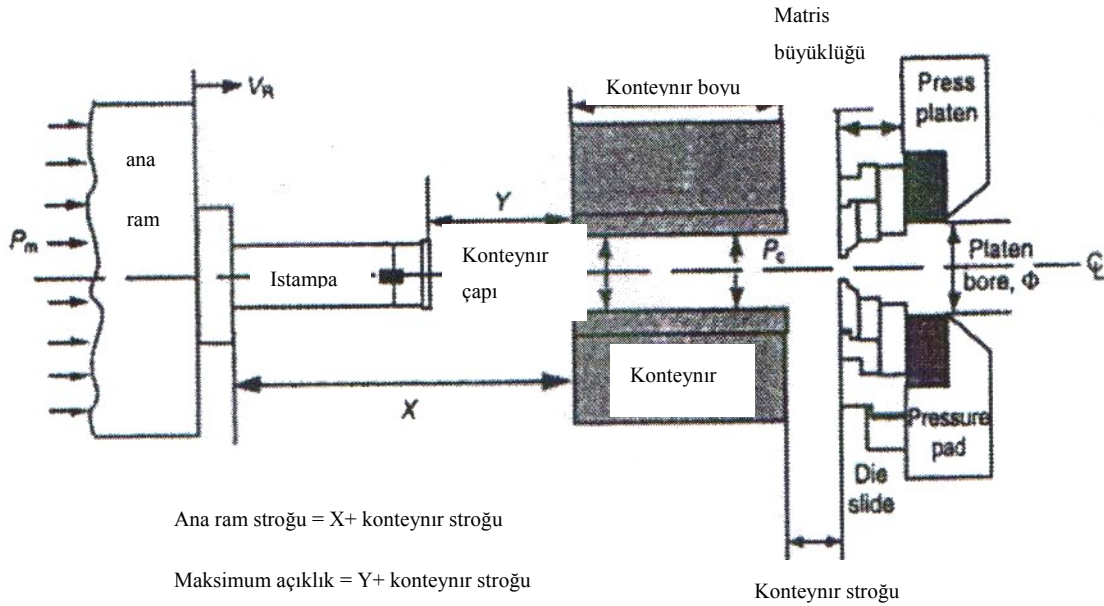
Bir ekstrüzyon presinin seçilmesinde temel faktör ekstrüzyon için gerekli olan birim basınçtır. Ton (MN) cinsinden verilen kapasiteye sahip bir pres için konteynır çapı daha küçük olduğunda, daha yüksek birim basınca sahip sağlanabilir. Konteynır çapı arttıkça, konteynır içerisindeki özgül basınç düşer ve sonuç olarak ekstrüzyon kabiliyeti de düşer. Değişik pres kapasiteleri ve konteynır büyüklükleri için tipik birim basınç veya özgül basınç Çizelge 4.10'da listelenmiştir. Belirli durumlarda özel ekstrüzyonlar için presin birim basıncı veya özgül basıncı gereken basınçtan daha büyük olmak zorundadır. Ekstrüzyon için gereken basınç; alaşım ve onun durumuyla, ekstrüzyon oranı, uzunluk ve billet sıcaklığı, ekstrüzyon hızı ve çemberin çapıyla değişiklik gösterebilir (Saha, 2000).

Çizelge 4.10 Standart pres kapasiteleri ve özgül basınç değerleri. (a) Maksimum billet uzunluğu $\approx 4x$ billet çapı'dır ve (b) Konteynır çapı genellikle belirtilenden 0,375 inç (9,53 mm) daha büyüktür (Saha, 2000).

Press capacity, tons (MN)	Maximum billet length (average)(a). in. (mm)	Container diameter(b), in. (mm)	Specific pressure, P_c , psi (N/mm ² or MPa)
500 (5.0)	14 (355.6)	3 (76.2)	140,800 (971)
		4 (101.6)	79,400 (547)
750 (7.5)	16 (406.4)	5 (127.0)	51,000 (352)
		3.5 (88.9)	155,900 (1075)
		4 (101.6)	119,000 (821)
1000 (10.0)	20 (508.0)	5 (127.0)	76,500 (527)
		4 (101.6)	158,000 (1089)
1250 (12.5)	23 (584.2)	5 (127.0)	102,000 (703)
		6 (152.4)	70,700 (487)
		5 (127.0)	127,600 (880)
1500 (15.0)	24 (609.6)	6 (152.4)	88,300 (609)
		7 (177.8)	64,900 (447)
		6 (152.4)	106,000 (731)
1750 (17.5)	26 (660.4)	7 (177.8)	77,900 (537)
		8 (203.2)	59,000 (407)
		6 (152.4)	123,000 (848)
2000 (20.0)	27 (685.8)	7 (177.8)	90,900 (627)
		8 (203.2)	69,600 (480)
		7 (177.8)	103,900 (716)
2250 (22.5)	28 (711.20)	8 (203.2)	79,500 (548)
		9 (228.6)	62,900 (434)
		7 (177.8)	116,900 (806)
2500 (25.0)	30 (762.0)	8 (203.2)	89,500 (617)
		9 (228.6)	70,800 (488)
		8 (203.2)	99,400 (685)
2750 (27.5)	30 (762.0)	9 (228.6)	78,600 (542)
		10 (254.0)	63,700 (439)
		8 (203.2)	109,300 (754)
3000 (30.0)	32 (812.80)	9 (228.6)	86,500 (596)
		10 (254.0)	70,100 (483)
		9 (228.6)	94,300 (650)
3500 (35.0)	36 (914.40)	10 (254.0)	76,400 (527)
		11 (279.4)	63,200 (436)
		9 (228.6)	110,100 (759)
4000 (40.0)	38 (965.2)	10 (254.0)	89,200 (615)
		11 (279.4)	73,700 (508)
		10 (254.0)	101,900 (703)
		11 (279.4)	84,200 (581)
		12 (304.8)	70,700 (487)

Ekstrüzyon ürününün fiziksel ve mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla düşük billet sıcaklıkları ve yüksek hızlar kullanıldığında, yeterli kapasiteye sahip bir pres her zaman için tavsiye edilir. Gerilmelere dayanabilmesi için presin rijit bir yapıya sahip olması gereklidir. Modern presler öngerilmeli konstrüksiyonlar kullanırlar, bu şekilde ekstrüzyon ürününün toleranslarında sapma olmamaktadır. Ayrıca presler kesin doğru ve ayarlanabilir dizilişlere sahip olmalıdırlar, bu şu anlama gelmektedir: ıstampa, konteynır ve matris aynı merkezde uzanmalıdır, durum Şekil 4.56'da gösterilmiştir.

Direkt preslerdeki bazı önemli değişkenler Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Presler için bazı tipik parametrelere de Çizelge 4.11 de değinilmiştir. Şekil 4.56 da, P_m ana Ram üzerine uygulanan maksimum basınç ve P_c özgül basınçtır. V_R boşta ana Ram hızıdır. Özel profillerin ekstrüzyonunda, Ram hızı, V_R , alaşım, billet sıcaklığı, ekstrüzyon oranı ve matris tipi gibi birçok değişkenle birlikte değişiklik gösterir.



Şekil 4.56 Direkt ekstrüzyon presinin spesifikasyonları (Saha, 2000).

Çizelge 4.11 Ekstrüzyon presinin spesifikasyonları (Saha, 2000).

Parametre	Birim	Parametre	Birim
Pres tipi	-	Geri çekme kapasitesi	ton (MN)
Kapasite	ton (MN)	Ana ram stroğu	in (mm)
Erişilebilir kapasitedeki basınç	psi (MPa)	Ana ram hızı (boşta)	in/dk (m/dk)
Toplam ram alanı	in ² (mm ²)	Maksimum billet uzunluğu	in (mm)
Maksimum ana ram basıncı	psi (MPa)	Maksimum açıklık	in (mm)
Konteynır çapı	in (mm)	Konteynır stroğu	in (mm)
Konteynır boyu	in (mm)	Kaynak kapasitesi	ton (MN)
Çıkıştaki çap (platen exit bore)	in (mm)	Kaynak basıncı	psi (MPa)
Konteynır içindeki maksimum basınç	psi (MPa)	Matris taşıyıcısı dış çapı	in (mm)
		Matris taşıyıcısı genişliği	in (mm)

4.4.3 Ram Hızı

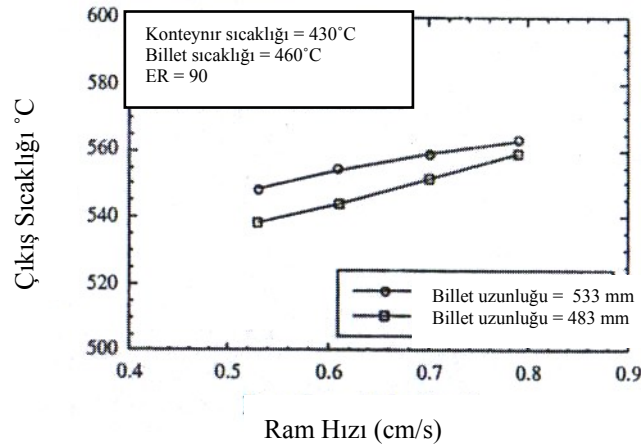
Matris sıcaklığı, matris aşınması üzerinde etkili olan başlıca faktörlerden biridir, bu yüzden matris yatak sıcaklığı ve ekstrüzyon edilmiş alüminyumun çıkış sıcaklığının ölçümü büyük önem taşımaktadır. Geçmişte matris yatağındaki sıcaklığı ve ekstrüzyon çıkış sıcaklığını ölçmede kullanılan birkaç teknik vardı. Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Ward vd., çalışmalarında bilgisayar destekli ekstrüzyon ve matris yatak sıcaklığı ölçümlerine değinmişlerdir. Ayrıca Saha tarafından, kesit alanı 0,355 in² (229 mm²) ve duvar kalınlığı 0,03 in (0,762 mm) olan 6063 alaşımı üzerinde bir dizi sıcaklık ölçümü yapılmıştır (Saha, 2000). Billet uzunluğu, matris yatağının yüzey durumu ve matris veya ekstrüzyon profilinin çevresi gibi üç değişik parametre üzerinde çalışılmıştır. Bu üç parametreden her seferinde biri değişken diğer ikisi ise sabit tutulmak kaydıyla üç seri halinde sıcaklık ölçümü elde edilmiştir. Ölçülen ortalama çıkış sıcaklıkları Şekil 4.57, Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da, ram hızının bir fonksiyonu şeklinde gösterilmiştir (Saha, 2000).

Şekil 4.57; 6063 borunun çıkış sıcaklığının, artan ram hızı ile birlikte arttığını göstermektedir. Sonuçlar iki farklı billet uzunluğu için gösterilmektedir. Ancak en belirgin etki; artan billet uzunluğu ile birlikte artan çıkış sıcaklığıdır çünkü artan billet uzunluğu ile birlikte ekstrüzyon çevrim süresi de artmaktadır. Daha büyük billet uzunlukları kullanıldığında, billet ve konteynır ara yüzeyindeki sürtünmeden kaynaklanan daha yüksek miktardaki ısı meydana gelmesiyle sonuçlanan, daha yüksek miktarlardaki sürtünme kuvvetinin yenilmesi gerekmektedir.

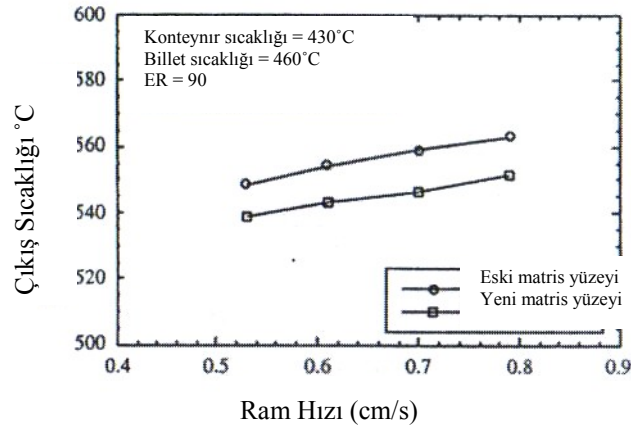
Şekil 4.58 matris yatağının iki farklı yüzey durumu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimini göstermektedir. Henüz yeni nitritlenmiş (sert) matris yatak yüzeyi, normalde alüminyuma, eski (yumuşak) matris yüzeyinden daha az yapışmaktadır. Matris yatağında

alüminyum birikiminin doğasına dayanarak daha eski bir matris yüzeyi daha fazla yapışma sağlar, oysa ki yeni bir matris yüzeyi daha fazla kayma sağlar. Beklendiği gibi yeni bir matris yüzeyinde sıcaklık artışı; eski matris yüzeyleri ile karşılaştırıldığında daha azdır bunun sebebi ise yeni matris yüzeyinde sürtünme gerilmesinden kaynaklanan ısı miktarının daha az olmasıdır.

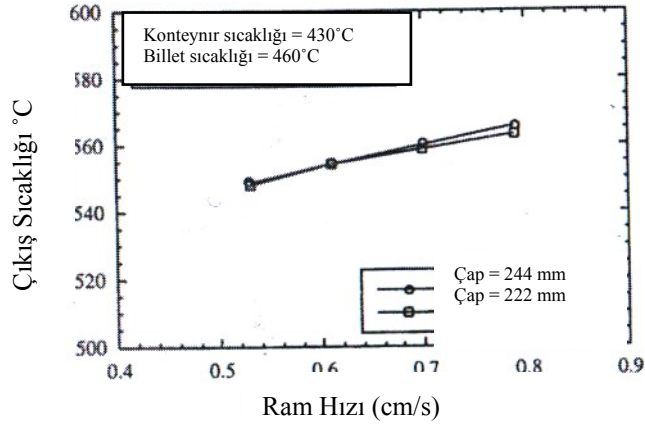
Şekil 4.59 matris geometrisinin iki farklı çevre değeri için ram hızı ile birlikte çıkış sıcaklığındaki değişimi göstermektedir. Daha geniş çevre durumunda sürtünme alanı daha geniş olduğundan sıcaklık yükselişi biraz daha fazladır. İki çevre arasındaki fark büyüdükçe farklılık daha da artacaktır.



Şekil 4.57 6063 alüminyum alaşımının iki değişik billet uzunluğu için ram hızı ile birlikte çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).



Şekil 4.58 6063 alüminyum alaşımında matris yatağının iki değişik yüzey durumu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).

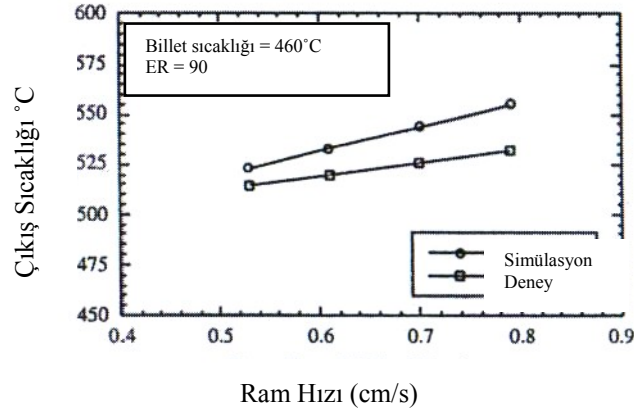


Şekil 4.59 6063 alüminyum alaşımında matris geometrisinin iki değişik dış çevre koşulu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).

Ayrıca Şekil 4.57, Şekil 4.58 ve Şekil 4.59; çıkış sıcaklığının artan ram hızı ile birlikte belirgin bir şekilde arttığını göstermektedir. Ayrıca Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Ward vd. hem nitrojen soğutmalı hem de nitrojensiz matris sistemlerinde sıcaklık ve ekstrüzyon hızı arasında lineer bir ilişki olduğunu bulmuşlardır.

Saha (2000) tarafından yapılan bu sıcaklık ölçümü araştırması nitrojenli matris soğutma sistemi kullanılmadan yapılmıştır. Hem ekstrüzyon edilmiş alüminyumdaki hem de matris yatağındaki sıcaklık artışı, nitrojen soğutma sistemli bir matristeki artış miktarı ile kıyaslandığında çok daha yüksek seviyelerdedir çünkü matris yatağındaki sıcaklık pres çevriminin ilerlemesi ile birlikte yavaş yavaş artmaya başlar, bu ise matris yatağında adeziv tabakanın gelişimini etkiler.

Şekil 4.60; iki ekstrüzyon için (sabit bir ekstrüzyon oranında) sıcaklık artışını kıyaslamaktadır. Birinci bilet; Saha (2000) tarafından bildirilen ve Saha (1996) tarafından simüle edilmiş ekstrüzyon hızıdır, ikincisi ise ekstrüzyon ürünü matris yatağını terkeder etmez dijital temas termometreleri (kontaklı termometre) ile sıcaklığın ölçüldüğü gerçek biletir. Sonuçlar göstermiştir ki modelden tahmin edilen sıcaklık değerleri gerçek değerlere oldukça yakındır. Farklılık %2-4 kadardır. Bu farklılık daha kaliteli sıcaklık ölçüm aletleri kullanılarak minimuma indirilebilir. Çıkış sıcaklığını temas termometreleri kullanarak ölçmek için pres tam olarak bilgisayar simülasyonlarında kullanılan zaman diliminden sonra durdurulmalıdır.



Şekil 4.60 6063 alüminyum alaşımında sabit ekstrüzyon oranı için elde edilen ekstrüzyon hızı ile maksimum sıcaklık yükselişinin simülasyondan sağlanan billet ve tecrübelerden sağlanan billetle karşılaştırılması (Saha, 2000).

Daha önce de belirtildiği gibi çıkış sıcaklığı sabit ram hızlı ekstrüzyon sırasında farklılık gösterebilir. Ram hızı, matris parametreleri ve alaşım karakteristiği gibi değişik ekstrüzyon şartları altında verilen billet ve konteynır için sıcaklık artışı gözlemlenir. Ekstrüzyon esnasındaki bu sıcaklık artışı birçok teorik hesapla tamamen uyuşmaktadır. Sabit sıcaklık altında gerçekleştirilen ekstrüzyon “isotermal ekstrüzyon” olarak adlandırılmaktadır ve pratikte isotermal ekstrüzyon, üniform ürün kalitesi ve daha yüksek verimlilik ile ilişkilidir. İsothermal ekstrüzyon fikri; çıkış sıcaklığı ve ram hızı arasındaki ilişkiye dayanan bilgi yoluyla geliştirilmiştir, dolayısıyla sabit bir çıkış sıcaklığını sağlamak için çıkış hızı, pres kontrol sistemi yoluyla değiştirilir.

Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Laue ve Stenger isotermal ekstrüzyon hakkında genel bir değerlendirme yapmışlardır. Çıkış sıcaklığı ekstrüzyon sırasında bilinmeyen bir miktarda değişirse pres hızı genellikle en yaygın sıcaklığa uygun olarak ayarlanır. Bu ayarlama tüm çevrim için hızı belirler. Sürekli artan çıkış sıcaklığı durumunda, isotermal ekstrüzyon aşağıdaki şekillerde uygulanabilir:

- Ölçülen çıkış sıcaklığına göre ekstrüzyon sırasında çıkış hızını düşürmek. Bu sürekli sıcaklık ölçümünü gerektirir.
- Önceden seçilen hız programına göre ekstrüzyon hızını düşürmek. Modern bir preste, ram ilerlemesi; değişen uzunluklardaki adımlara ve programlanmış hızlara bölünebilir.
- Billetin arka kısmına daha düşük sıcaklık vermek için billet üniform olmayan bir şekilde ısıtılır. Bu “doğrusal değişken ısıtma (taper heating)” olarak bilinir ve indüksiyon ısıtıcılarla gerçekleştirilir. Ayrıca bu ısıtıcılara, billetin ön kısmına arka kısmından daha fazla ısı

transfer edecek şekilde, gaz ocakları gibi ilave ekipmanlar da bağlanır. Diğer metot ise billeti üniform bir şekilde ısıtmak ve daha sonra billet ocaktan konteynıra transfer edilirken billetin arka kısmını bir su spreyi ile soğutmaktır.

Alüminyum alaşımlarının isothermal ekstrüzyonu için en yaygın endüstriyel metotlar aşağıdaki gibidir:

- Konteynırın içerisine yerleştirilmeden önce billet, değişken ısıtma veya değişken soğutmaya maruz bırakılır.
- Temassız sistemler kullanılarak ekstrüzyon sıcaklığı direkt olarak ölçülür ve ölçülen sıcaklık ve ekstrüzyon ram hızı için sürekli olarak geribesleme yapılır.

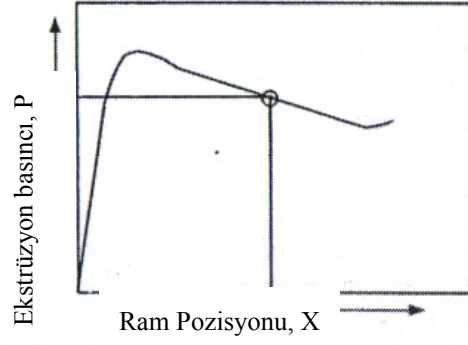
Direkt ekstrüzyonda isothermal prosesin yararları oldukça anlamlıdır ve bunlar şu şekilde sıralanabilirler:

- Arttırılmış boyutsal stabilite
- Üniform yüzey kalitesi
- Arttırılmış ya da kararlı hale gelmiş mekanik özellikler ve üniform mikroyapı
- Verimliliği arttıracak şekilde daha hızlı ekstrüzyon
- Konteynır boyunca daha iyi bir havalandırma v.b.

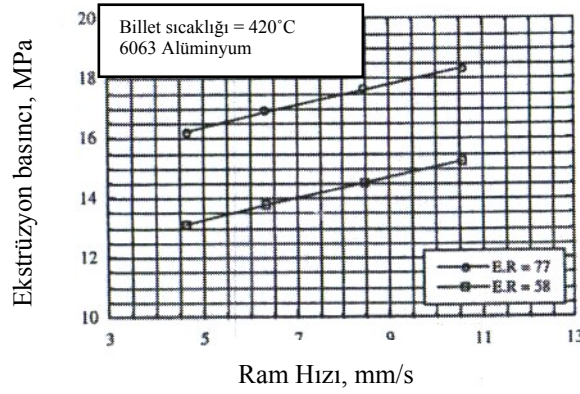
Ram hızı; ekstrüzyon basıncını, çıkış sıcaklığını ve de dolayısıyla ürün kalitesini etkilemektedir. Bu doğrultuda ram hızının ekstrüzyon basıncı üzerindeki etkisine değinilecektir.

Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Saha deneysel olarak iki farklı ekstrüzyon oranı için ıstampa hızına bağlı olarak ekstrüzyon basıncındaki değişimleri incelemiştir. Farklı ıstampa hızları için aynı konumda, X, ölçülen ekstrüzyon basıncı, P, Şekil 4.61'de gösterilmiştir.

Şekil 4.62 aynı 6063 billet alaşımı için aynı sıcaklıkta ve iki farklı ekstrüzyon oranında ıstampa hızına bağlı olarak ekstrüzyon basıncındaki değişimi göstermektedir. Beklendiği gibi, sonuçlar ıstampa hızının artmasıyla ekstrüzyon basıncının arttığını göstermektedir. Ayrıca daha yüksek ekstrüzyon oranlarında da ekstrüzyon basıncı artmaktadır (Saha, 2000).



Şekil 4.61 Aynı ram pozisyonunda biraraya getirilen değişik ram hızları için basınçların şematik gösterimi (Saha, 2000).

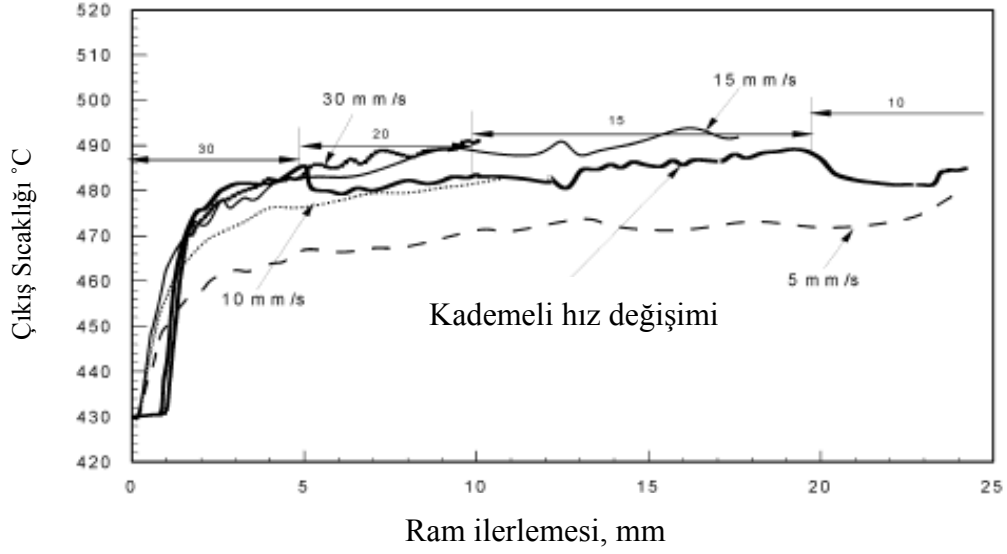


Şekil 4.62 İki değişik ekstrüzyon oranı için ram hızları ile ekstrüzyon basıncının değişimi (Saha, 2000).

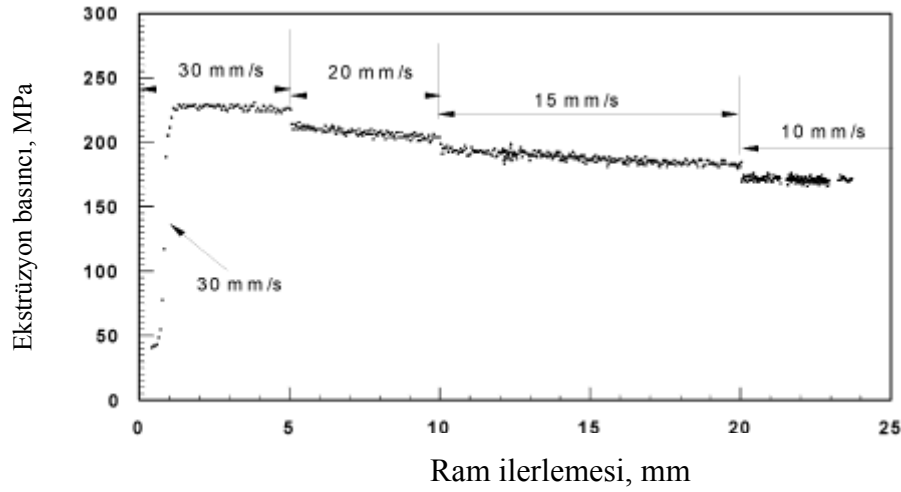
Öte yandan Li vd. (2004), 7075 alüminyum alaşımının ekstrüzyonunda değişik Ram hızları için çeşitli ölçümler yapmış ve sıcaklık değişimlerini 3 boyutlu FEM (Finite-Element-Method) simülasyonu kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışma sonrasında ise Ram hızının ısı üretim miktarına ve de ekstrüzyon takımlarının ısı kaybı miktarlarına etki ettiğini ve bu termal etkinin ekstrüzyon basıncına yansıdığını, prosesin başlangıcında yüksek ısı üretimi ve düşük ısı kaybından dolayı billetin özellikle deformasyon bölgesinde oldukça ısınmış sonuç olarak da kararlı haldeki ekstrüzyonun büyük bir bölümünde ekstrüzyon basıncının ve akış geriliminin düştüğünü ayrıca yüksek Ram hızlarında ekstrüzyon ürününün kesitinde sıcaklığın homojenlikten uzaklaştığını ve kararlı haldeki ekstrüzyon prosesi için maksimum sıcaklıktaki artış ile logaritmik Ram hızı arasında lineer ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Zhou vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada 7075 alüminyum alaşımının izotermal ekstrüzyonu için simülasyonlara ve tecrübelerine dayanan Ram hızı değişimleri uygulamışlardır. Sonuç olarak sabit Ram hızlarındaki konvansiyonel ekstrüzyon esnasında sıcaklık değişimi tahminlerine dayanılarak bilgisayar simülasyonları vasıtasıyla izotermal ekstrüzyon için Ram hızı profilleri belirlemenin mümkün olduğunu, belirlenen Ram hızı profilleri ile 10 °C lik dalgalanmalar içerisinde sabit bir maksimum sıcaklık sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca profilin kesitindeki sıcaklık dağılımının Ram ilerlemesiyle birlikte değişiklik gösterdiğini ve yüksek Ram hızıyla izotermal ekstrüzyona başlandığında ekstrüzyon ürününün yüzeyindeki ve uç bölgelerindeki sıcaklığın iç kısımdaki sıcaklıktan daha yüksek olduğunu, proses ilerledikçe ve de ram hızı düştükçe daha fazla ısı kaybı olduğundan en düşük sıcaklığın ekstrüzyon ürününün uç noktalarında meydana gelmeye başladığını; değişken Ram hızı ile birlikte yapılan izotermal ekstrüzyonun, konvansiyonel sabit Ram hızlı ekstrüzyon ile mukayese edildiğinde herbir billet için ortalama Ram hızını arttırdığını ve de izotermal ekstrüzyon esnasında matris basıncının hemen hemen sabit kaldığını, bunun da ekstrüzyon ürününün boyutsal ve geometrik kararlılığını sürdürmesine yardımcı olduğunu ifade etmiştir.

Chanda vd. (2001) ise yine 3 boyutlu FEM simülasyon kullanarak sabit hızlı ekstrüzyon ile izotermal ekstrüzyonu 6061 alüminyum alaşımı üzerinde mukayese etmişlerdir. Buradan elde edilen veriler de oldukça anlamlıdır. Kademeli Ram hızı değişimi neredeyse sabit çıkış sıcaklığı elde etmemizi sağlar. Ayrıca bu, ekstrüzyon ürününün kritik bölgelerinde çekme gerilimi ve efektif genleme hızını da düşürür, böylelikle yırtılmaya karşı bir çeşit önlem alınmış olunur. Kademeli Ram hızı değişimi aynı zamanda ekstrüzyon işlemi için gerekli olan basıncı da düşürür. Ram hızındaki kademeli düşüş; 5 mm/s lik sabit Ram hızına kıyasla ortalama Ram hızını 3 katına taşır. Böylelikle ekstrüzyon prosesinin verimliliği önemli ölçüde arttırılmış olunur.



Şekil 4.63 Kademeli değişen ve sabit ram hızlarının ekstrüzyon ürününde sıcaklık artışı üzerine etkisi (Chanda vd., 2001).



Şekil 4.64 Kademeli ram hızı değişimi esnasında ram ilerlemesinin bir fonksiyonu olarak basıncın değişimi (Chanda vd., 2001).

4.4.3.1 Ram Hızı ve Ekstrüzyon Hızının Kontrolü

Bugün ekstrüzyon fabrikaları 6XXX serisi alüminyum alaşımını tek veya çok odalı matrislerde mekanik veya otomatik çekici sistemler kullanarak yüksek verimlilikle ekstrüzyon etmektedirler. Çekiciler ekstrüzyon presi ile kapalı devre şeklinde bağlıdır ve pres, ekstrüzyonun herhangi bir evresinde veya ekstrüzyon sonunda durduğunda çekici de otomatik olarak durmaktadır. Ekstrüzyon ürünü kalıptan ayrıldıktan sonra çekici vasıtasıyla su veya hava soğutma sisteminden geçer. Çekici sistem kullanmanın birçok avantajı vardır, bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Mekanik çekme yapılan işi azaltır ve verimliliği artırır
- Hurda miktarını azaltır
- Kalıp boyunca olan metal akışını kontrol eder
- Presi durdurmadan ekstrüzyonu birçok farklı boyutta kesmeyi sağlar.

Şekil 4.65 çekici hızıyla ram hızı arasındaki ilişkiyi tarif etmek için gerekli olan değişkenleri gösterir. Çekme gerilmesi olmadan ekstrüzyon hızı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V_E = V_R \cdot ER \quad (4.3)$$

burada ER ekstrüzyon oranı, V_R ıstampı hızıdır. (4.3) eşitliği verilen ekstrüzyon oranı ve ıstampı hızı için çekici hızını tahmin etmek için kullanılabilir ve elektronik alıcıda kayıt edilen gerçek çekme hızıyla kıyaslanabilir. Gerçek çekme hızı V_p ise aşağıdaki gibi belirlenebilir.

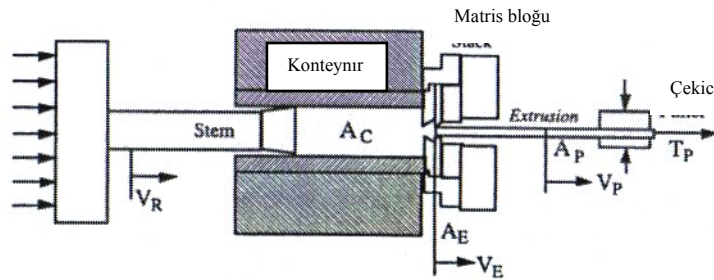
$$V_p = V_E + \Delta V_p \quad (4.4)$$

burada, ΔV_p ; çekme hızındaki artışa bağlı olarak hızdaki artıştır, V_E ; matrisi çekme olmadan terk eden malzemenin hızıdır. Çekme gerilimindeki artış; T_p , ekstrüzyon boyundaki artışı yani (ΔL) 'yi ifade etmektedir ve en nihayetinde de hızdaki artışı ifade etmektedir. Hacim sabitliği ilkesi şu şekildedir:

$$A_E \cdot V_E = A_P \cdot V_P \quad (4.5)$$

Burada A_P ; çekme gerilimi uygulandıktan sonra ekstrüzyonun son kesit alanıdır. Eşitlik (4.3) ve eşitlik (4.5)'den çekme hızı aşağıdaki gibi yazılabilir:

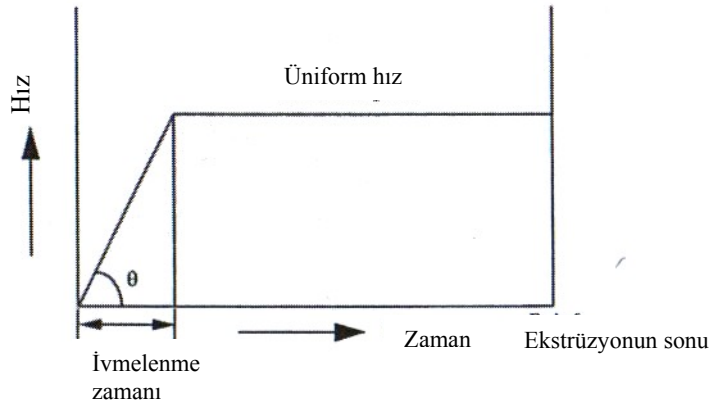
$$V_p = V_R \cdot (ER)_m \quad (4.6)$$



Şekil 4.65 Besleyici plakalı matris ve çekici sistem kullanılan ekstrüzyonun başlangıcını gösteren şema (Saha, 2000).

6063 alaşımının ekstrüzyonunda ekstrüzyonun başlangıcında ekstrüzyon hızının yavaşça yükseldiği ve daha sonra sabit bir değerde kaldığı gözlenmiştir Şekil 4.66'daki eğrinin ivmelenme kısmı lineerdir ve eğrinin eğimi θ açısı ile verilir.Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre ekstrüzyon oranı ve billet çalışma sıcaklığı gibi bazı belli başlı ekstrüzyon değişkenleri ile eğim açısı arasındaki temel ilişkileri araştırılmıştır.

6063 billetinin ekstrüzyonunda Şekil 4.66'da gösterilen ivmelenme bölgesinde ekstrüzyon oranı ve billet ön ısıtma sıcaklığının etkisini belirlemek için ekstrüzyon başlangıcından sonuna kadar hızın zamana göre değişimi üzerinde çalışmıştır.Farklı ekstrüzyon oranlarındaki farklı takımlarla birçok test yapılmıştır.



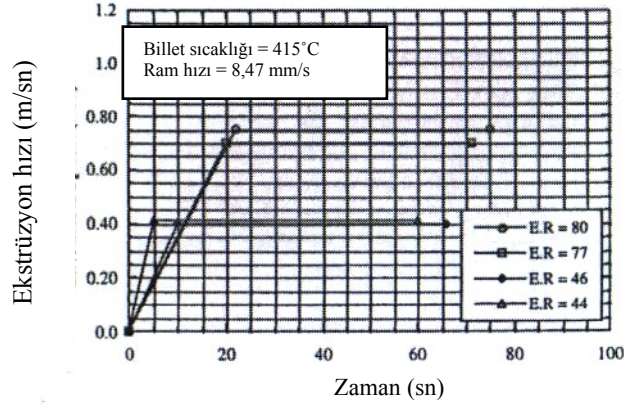
Şekil 4.66 Ekstrüzyon hız modeli (Saha, 2000).

Aynı billet sıcaklığı, billet uzunluğu ve ram hızında farklı ekstrüzyon oranları için ivmelenme zamanı ve sabit çekme hızıyla ilgili derlemeler yapılmıştır.Şekil 4.67 aynı billet uzunluğu, billet sıcaklığı ve ram hızında dört farklı ekstrüzyon oranı için hızın zamana göre değişimini vermektedir.Bu şekil eşitlik (4.3)'deki ilişkiye bağlı olarak ekstrüzyon oranının artmasıyla ekstrüzyon hızının da arttığını göstermektedir.Ayrıca ekstrüzyon oranı arttıkça ivmelenme zamanı artmaktadır.Bu ivmelenme eğrisinin eğimi ekstrüzyon oranı azaldıkça artar.

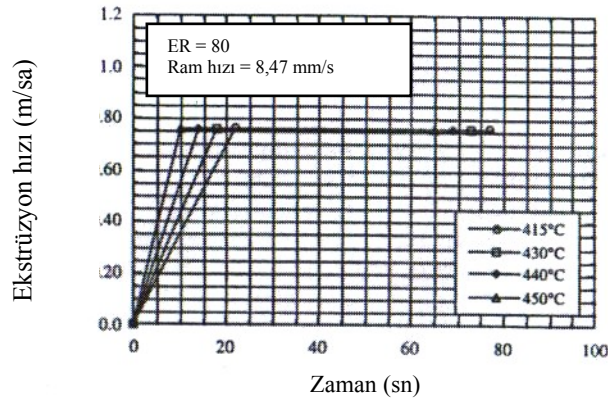
Ekstrüzyon hızını ki çekme hızına eşit olduğu kabul edilir ve ivmelenmeyi aynı billet uzunluğu, ekstrüzyon oranı ve ram hızında farklı billet sıcaklıklarında kaydetmek için birçok test gerçekleştirilmiştir.Şekil 4.68 dört farklı billet sıcaklığı için aynı ram hızı ve ekstrüzyon oranında ivmelenme zamanındaki değişimleri göstermektedir.Aynı sonuçlar farklı bir yolla izah edilebilir, Şekil 4.69 farklı billet sıcaklıklarında ivmelenme eğrisindeki değişiklikleri göstermektedir.Billet sıcaklığının artmasıyla eğim açısının arttığı gözlemlenebilir, ivmelenme zamanı yüksek billet sıcaklıklarında azalır.İvmelenme zamanını azaltmak maksadıyla billet

sıcaklığının azaltılmasında bir kısıtlama vardır, billet ön ısıtma sıcaklığı arttığında ekstrüzyon sıcaklığı da artar. En kısa ivmelenme süresine ulaşmak için optimum billet sıcaklığına aşağıdakileri kontrol ederek ulaşılabilir:

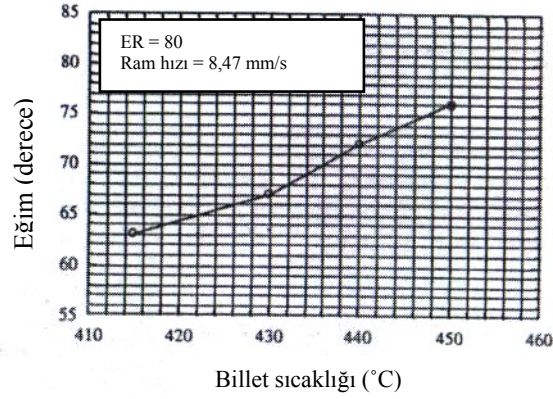
- Isıl işlemden sonra arzu edilen özellikleri elde etmek
- Ekstrüzyon çıkış sıcaklığının ekstrüzyon edilen alaşımın sıcak yırılma sıcaklığına ulaşım sağlamadığı.



Şekil 4.67 Aynı billet sıcaklığı ve ram hızı ve değişik ekstrüzyon oranı için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).



Şekil 4.68 Aynı ekstrüzyon oranı ve ram hızı ve farklı billet sıcaklıkları için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).



Şekil 4.69 Aynı ram hızı ve ekstrüzyon oranı için değişik billet sıcaklıkları ile ivmelenme eğrisinin eğiminin değişimi (Saha, 2000).

Ekstrüzyon çevrim süresini azaltmak ve prodüktiviteyi arttırmak açısından ivmelenme zamanının azaltılması çok önemlidir. İvmelenme zamanındaki bu azalma her billet boyutu ve her alaşım için aşağıdaki adımları takip ederek gerçekleştirilebilir:

- Sabit billet sıcaklığı için ıstampa hızını arttırmak
- Takımdaki delik sayısını arttırarak ekstrüzyon oranını azaltmak
- Sabit ıstampa hızı için biyet ön ısıtma sıcaklığını ayarlamak

İvmeleme zamanı, bileşimi ayarlayarak ya da homojenizasyon işlemi yaparak alaşımın ekstrüzyon edilebilirliğini arttırmak suretiyle azaltılabilir.

4.4.4 Pres Bileşenleri ve Yardımcı Ekipmanlar

Dolu ve boşluklu profillerin üretiminde kullanılan temel ekstrüzyon preslerinin ana bileşenleri Şekil 4.52 ve Şekil 4.55'te gösterilmiştir. Aşağıdaki üç komponent; metal akışı, matris ömrü, verimlilik ve ekstrüzyon kalitesi ile ilgili olarak matristen en iyi performansı alabilmek için Şekil 4.56'da da gösterildiği gibi uygun bir şekilde tespit edilmelidir.

- Konteynır ve gömleği
- Istampa ve ön levha
- Matris grubu ve matris kaydırıcısı

Bu bileşenlere ait koruyucu bakım için örnek bir kontrol listesi Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Koruyucu bakım kontrol listesi (Saha, 2000).

Parça	Kontrol
Konteynır	Eksenellik
	Termokupullar ve bunların kontrolü
	Termal şoklar
	Direkt temas, gazlı ısıtma
	Sertlik
Gömlek	Kaynak yüzü
	Sertlik
	Çatlaklar
	İç taraftan soğutma olmaması
	İç kısmın temizliği
Istampa	Konteynır ile olan eksenellik
	Istampa tutucu civatalar
	Çatlaklar
Ön levha	Konteynır gömleğinin çapı ile ön levha dış çapının karşılaştırılması
	Temas yüzeyi alanları
	Fazla alüminyumun birikimi
Matris grubu	Konteynır ve ıstampa ile olan eksenellik
	Matris mengenesi
	Matris yüzünde alüminyumun birikimi
	Matris yüzü ile kesici bıçak arasındaki açıklık

4.4.4.1 Konteynır

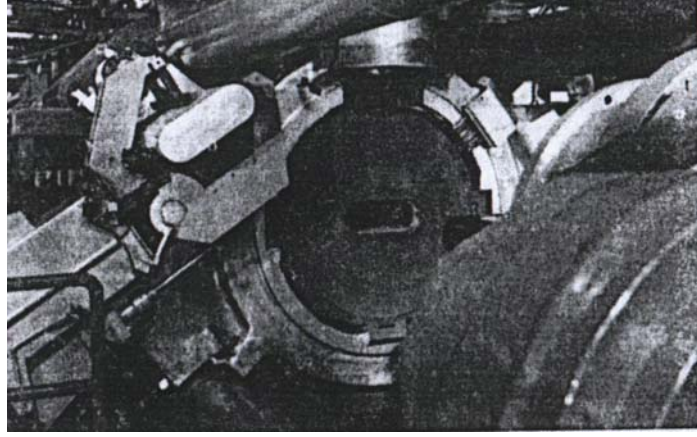
Konteynır ekstrüzyon presinin pahalı bir bileşenidir. Bir ekstrüzyon fabrikasının karlılığı konteynır ve diğer ekstrüzyon takımlarının ömürleriyle yakından ilişkilidir. Konteynırın yanlış kullanımdan ötürü hasar almasını engellemek için özel ihtimam gösterilmelidir. Konteynır aşırı sıcaklıklardaki yüksek gerilimlere dayanacak şekilde dizayn edilmiştir. Ancak matris sonuna ulaşıldığında konteynırın gerilimi çok daha yüksek değerlere ulaşır çünkü burada ekstrüzyon işlemi ilerlemiş, billet uzunluğu azalmış, basınç ve sıcaklık daha yüksek değerlerde daha uzun süre uygulanmıştır.

Gömlek-konteynır montajı için aşağıdaki gibi bazı dizayn kriterleri vardır:

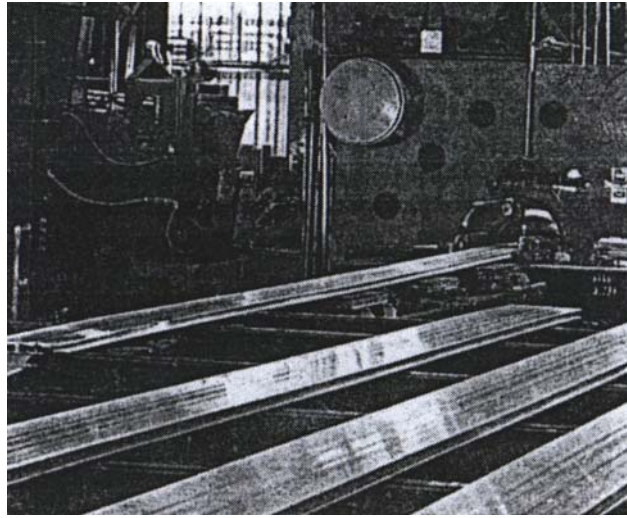
- Özgül basınç (konteynır gömleğinin içerisindeki basınç), P_c ; pres gücünün, gömlek çapının alanına oranıdır. Birimi ise (ton/lb.in²) veya (N/mm²) dir.
- Konteynırın maksimum dış çapı
- Dikdörtgen konteynırlar için genişlik/yükseklik oranı

Normal olarak tüm dünyada yuvarlak şekilli Konteynır gömlekleri hem yuvarlak ve som billetlerde kullanılır. Sadece çok az sayıdaki türde pres hem yuvarlak hem de dikdörtgen konteynırlar ile çalışabilirler. Şekil 4.70'de gösterilen dikdörtgen konteynırları kullanmanın iki avantajından biri Şekil 4.71'de gösterilen ve uçakların yere inmesinde kullanılan büyüklükte

geniş profiller üretmek ve daha sonra özgül pres yükünü azaltacak olan daha üniform malzeme akışını sağlamaktır.



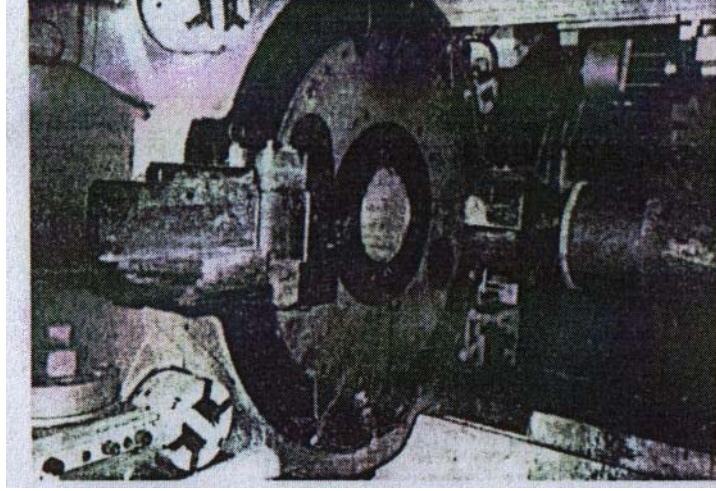
Şekil 4.70 Dikdörtgen konteynır ile ıstampa ve billet yükleyici (Saha, 2000).



Şekil 4.71 Direkt pres, uçakların alüminyum iniş takımları için dikdörtgen konteynırdan imalat gerçekleştirmekte (Saha, 2000).

Konteynır, ısıya maruz kaldığında her yöne serbestçe genişleyecek şekilde monte edilmelidir. Gömleklerin aşınmasına karşı bir garanti oluşturmak için konteynır aksenal olarak dönebilmelidir. Konteynır, presin boylamsal ekseni doğrultusunda hidrolik olarak hareket edebilen konteynır tutucusuna bağlanmıştır. Konteynır, kendi içerisine ya da tutucusunun içerisine yerleştirilen resistanslı ısıtma birimi vasıtasıyla 800 °F (427 °C) civarındaki sıcaklıklara kadar ısıtılır. Büyük kapasitedeki preslerin devasa konteynırlarının kütle ve uzunluklarından dolayı gömleklerin iç sıcaklığının konteynıra ait konvensiyonel ısıtıcı elementlerle sürdürülebilmesi oldukça zordur. Ekstrüzyon sıcaklığının daha iyi kontrol

edilebilmesi için çok bölgeli kontrol aletleri geliştirilmiştir (Saha, 2000).Şekil 4.72’de de görüldüğü üzere ısıtıcılar bağımsız olarak altı bölgeden kontrol edilmektedir.Konteynıra takılan indüksiyon ısıtıcısı 932 °F (500 °C) a kadar ısıtma yapabilmektedir.Eğer konteynır gömlekleri uygun bir çelikten yapılmışsa ve de doğru bir şekilde dizayn edilmiş bir konteynıra monte edilmiş ise 30000 ila 40000 çevrime kadar dayanabilir.



Şekil 4.72 Konteynır ısıtıcısının çok bölgeli kontrolü (Saha, 2000).

4.4.4.2 Istampı

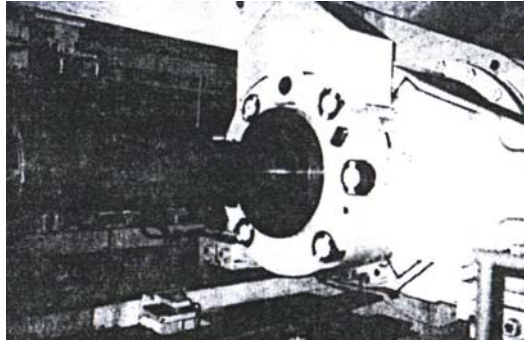
Günümüzde çekici sistemlerin kullanıldığı, özellikle 6063 gibi yumuşak alaşımların ekstrüzyonunda, ön levha ile birleştirilen ıstampı standart bir teknik haline gelmiştir.Ekstrüzyon preslerinin çoğunluğu günümüzde ön levhalı sistemlere dönüştürülmüştür ki göz önüne alınması gereken birçok faktör vardır.Konteynır çapı ile yardımcı bloğun diziliş ve yardımcı bloğun dizaynı bu faktörler arasındadır.Uzman üreticiler tarafından karşılanan birkaç ön levha dizaynı mevcuttur.Şekil 4.73 (a)’da ön levhanın tipik bir dizaynı gösterilmektedir.Şekil 4.73 (b)’de ise ıstampı ile birleştirilmiş ön levhayı göstermektedir.Ön levhanın başarılı bir şekilde birleştirilmesine ait operasyon pratiğe olduğu kadar dizayna da bağlıdır.Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Castle performansın birçok faktöre bağlı olduğuna değinmiştir.Dizayndan ayrı tutulmak suretiyle yardımcı bloğun performansını belirleyen faktörler şu şekildedir:

- Yağlama
- Diziliş
- Ön ısıtma
- Ön levha ve konteynır arasındaki açıklık

Daha önceden de belirtildiği gibi ıstampanın çabuk bir şekilde serbest bırakılması modern ekstrüzyon preslerinin temel özelliklerinden biridir.Şekil 4.74’de buna bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.73 Yardımcı bloğa ait tipik bir dizayn.a) Ön levha ve kavraması.b) Istamp ve tutturulmuş ön levha (Saha, 2000).

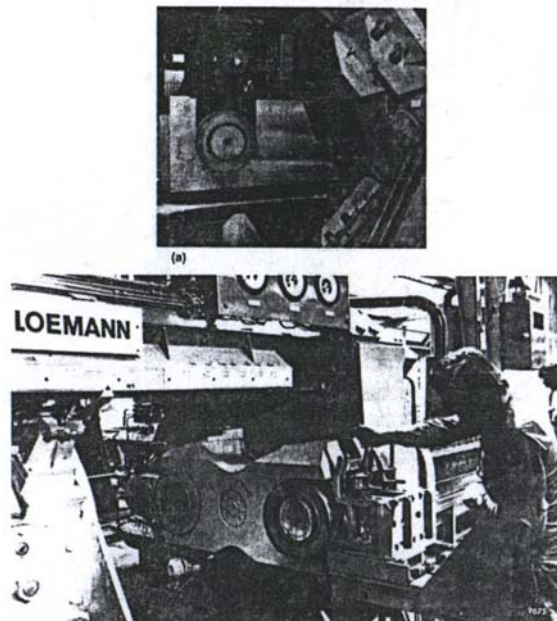


Şekil 4.74 Istamp çabuk değiştirme aygıtı (Saha, 2000).

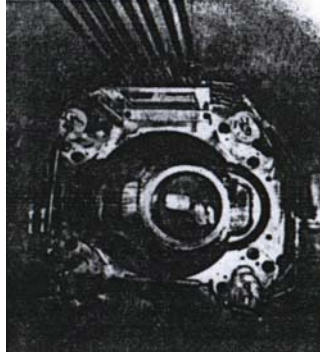
4.4.4.3 Matris Kaydırıcı ve Döner Matris Başlığı

Matris kaydırıcı veya döner matris başlığı, matris ve yardımcı ekipmanların takılı bulunduğu preslerin başlıca bileşenleridir. Şekil 4.75 (a)'da gösterildiği üzere matris kaydırıcılar pres orjininde dik açı yapacak şekilde hareket ederler. Hem matris kaydırıcılar hem de döner matris başlıkları presin karşı kızağında konumlandırılmışlardır. İlave dışarı atıcı deliğe sahip matris kaydırıcıları genellikle bir ya da iki matris barındırmak için dizayn edilirler, oysa ki döner matris başlıkları iki matrisi Şekil 4.75 (b)'de de gösterildiği gibi taşıyabilirler. Döner matris başlığının kullanıldığı durumlarda; matrisi yenisiyle değiştirme, düzeltme ve soğutma, presin her zaman aynı tarafında yapılabilir. Matrisler ve matris taşıyıcıları ve de yedekleri kolay ve hızlı bir şekilde değiştirilebilmeleri için U profilli açıklığa sahip matris kaydırıcıları ya da döner matris başlıklarının içerisine yerleştirilmişlerdir.

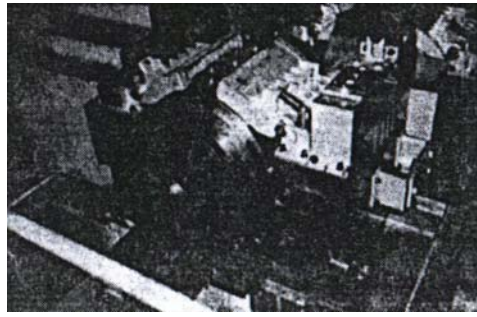
Son gelişmeler büyük kapasiteli ekstrüzyon preslerinin matris taşıyıcılarının bazı özellikleri üzerinde meydana gelmiştir. Bunların içinde hassas kesme ve kutucuklu tip matris ısıtma için matris konumlandırma aygıtı (Şekil 4.76) da vardır. Orta büyüklükteki preslerle karşılaştırıldığında matris istif uzunluğu fazla olduğu için matrisin kesme yüzü termal genişleme ve büzülmeyle dolay konum itibarıyla bir miktar değişmektedir. Kesme yüzü uygun şekilde konumlandırılmadığında matris yüzüne alüminyum bulaştığı görülür ve de bu sonraki billetlerde kıvrımlar ve/veya kabarcıklara neden olur. Kovanlı ısıtıcı, matris sıcaklığını stabil tutmak ve matris değişim durumunda matris sıcaklığını tespit etmek ve görüntülemek için kutucuklu tip matrisin içerisine gömülmüştür (Şekil 4.77).



Şekil 4.75 Matris taşıyıcısı. a) Matris kaydırıcısı. b) Döner matris başlığı (Saha, 2000).

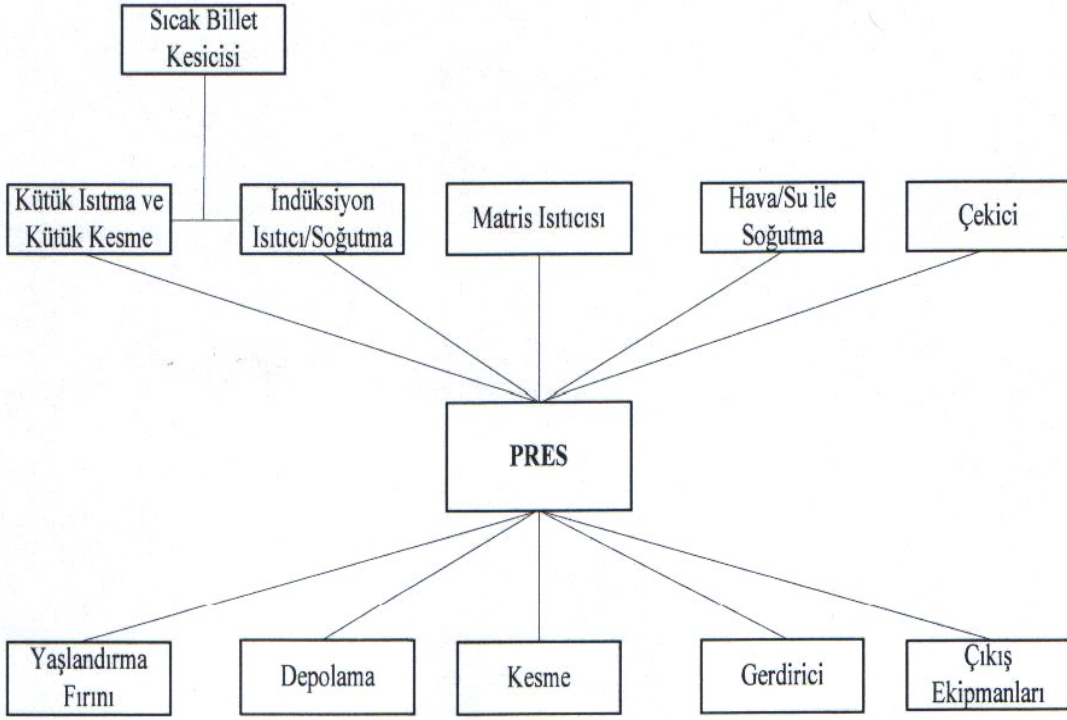


Şekil 4.76 Tam bir kesme işlemini sağlamak için matris konumlandırma aygıtı (Saha, 2000).

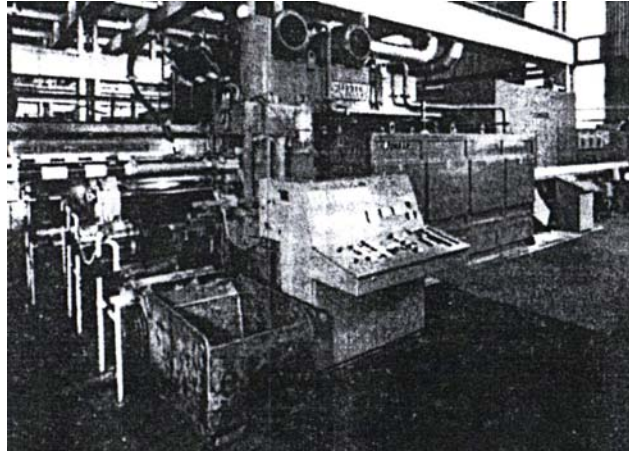


Şekil 4.77Kutucuklu tip matris ısıtıcı (Saha, 2000).

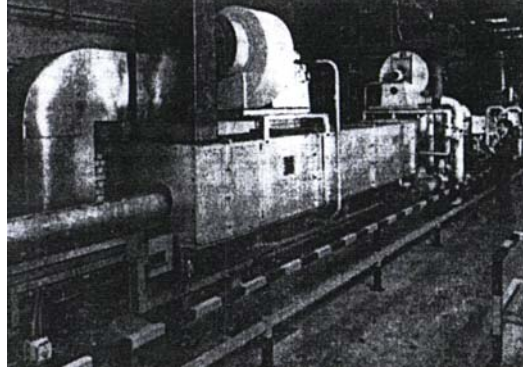
Şekil 4.78’de de gösterildiği gibi preslere ilave olarak, alüminyum ekstrüzyonunda pres hattına yerleştirilecek bazı ekipmanlara ihtiyaç vardır. Birçok sistemde indüksiyon tipli (Şekil 4.79) veya gazlı (Şekil 4.80) kütük ısıtıcıları sıcak kütük kesicileri ile donatılmışlardır (Şekil 4.81). Kullanılan farklı matrisler ve arzu edilen ekstrüzyon boyları için kütükler, optimum billet uzunluklarına kesilirler. Özellikle boşluklu profillerin ekstrüzyonunda, matris uygun ısı dengeyi yakalayamadığında, matris köprüleri içerisinde gelişen istenmeyen çatlakları önlemek için sıcak kütük kesme oldukça kullanışlıdır. İzotermal ekstrüzyonu sağlamak için kütük kesiminden sonra bir indüksiyon şok ısıtıcı veya suyla soğutucu bir ünite de yerleştirilir (Şekil 4.82).



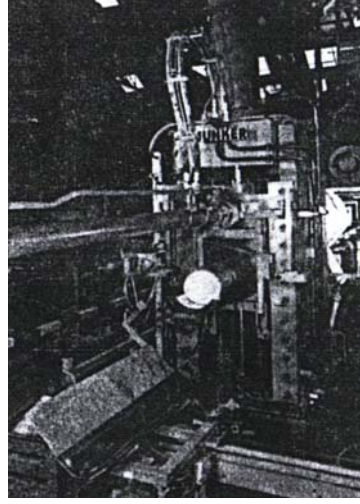
Şekil 4.78 Prese bağlanan yardımcı ekipmanlar (Saha, 2000).



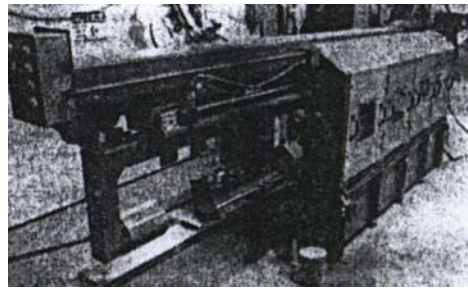
Şekil 4.79 İndüksiyon ısıtıcısı ve sıcak kütük kesme (Saha, 2000).



Şekil 4.80 Kütük ısıtma, gaz alevli ocak (Saha, 2000).



Şekil 4.81 Sıcak kütük kesme (Saha, 2000).



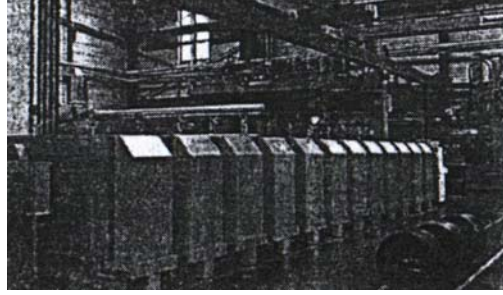
Şekil 4.82 Sıcak kütük kesme işleminden sonra gerçekleşen soğutma (Saha, 2000).

Ekstrüzyon matrisinin doğru bir şekilde işlemesi ve değerli pres zamanının harcanmaması için modern ekstrüzyon sistemlerinin uygun matris ısıtıcı sistemlere gereksinimi vardır. Geleneksel üstten yüklemeli kutu tipli matris fırınlarının yerini çok çekmeceli matris fırınları almıştır (Şekil 4.83). Her çekmece, matris veya takım sıcaklıklarını kontrol için ayrı bir ısıtma ve

sıcaklık kontrol sistemine sahiptir.Bir başka çok odalı matris fırını Şekil 4.84'te de görüldüğü gibi, herbir matrisesi, kontrollü nitrojen atmosferi altında sabit bir sıcaklıkta tutmak için geliştirilmiştir.Bu dizayn, yüksek sıcaklıklarda oksidasyondan korunmayı sağlayarak matris ömrünü büyük ölçüde arttırır, bu da profilin nihai kalitesinin artmasını sağlar.Matris sıcaklığı sabittir ve geleneksel fırınlarda karşılaşılan diğer matrisleri içeri koyup dışarı çıkarma esnasında yaşanan termal şoklarla karşılaşmaz.



Şekil 4.83 Birden çok bölümleri olan matris ocakları (Saha, 2000).



Şekil 4.84 Çok odalı matris fırını (Saha, 2000).

Alüminyum ekstrüzyonunda dikkate alınması gereken bir diğer önemli nokta da çıkış tablası üzerindeki ekstrüzyon ürününün soğutulmasıdır.Suyla soğutma sistemleri giderek yerlerini tank tipli sulu soğutuculara ve tabla üstü ve tabla altı soğutma fanlarına bırakmaya başlamışlardır.Daha yüksek mekanik özellikler ve arzu edilen nihai kaliteyi elde etmek için kritik sıcaklıkların altında karmaşık profilleri çabuk ve iyi bir şekilde soğutma amacıyla gerektiğinde hava yardımıyla püskürtme kullanan yüksek basınçlı ve yüksek hızlı spreyle geliştirilmiştir (Şekil 4.85).

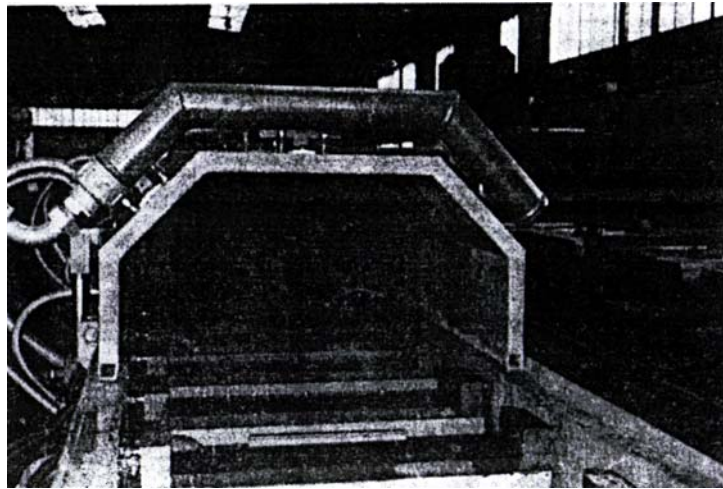
Şekil 4.86'da da da görüldüğü gibi ayarlanabilir sıcak kesme sistemine sahip çekiciler normalde besleyici plakalı, oyuklu ve boşluklu odalı matrislerin ekstrüzyonunu gerçekleştirmek için kullanılırlar.Ayrıca konvansiyonel tekli çekiciler yerine ayarlanabilir sıcak kesicili ve çift çekicili sistemler de geliştirilmiştir.Mevcut sistemlerden biri Şekil 4.87'de gösterilmiştir.

4400 tonluk (44MN) bir ekstrüzyon presine ait çıkış sistemi Şekil 4.86’da gösterilmiştir. Bu sistem, profiller üzerinde yumuşak bir şekilde çalışan merdaneleri, grafiti (kirletmeyen özellikte) ve bütün çıkış hattını alçaltmak suretiyle ilk kayış üzerindeki profillerin düşey düzlemde konumlandırılmasını içermektedir. İyi bir şekilde ayarlanmış taşıyıcı sistem, hem tam otomatik operasyonu hem de hassas profillerin itinayla transferini garanti eder.

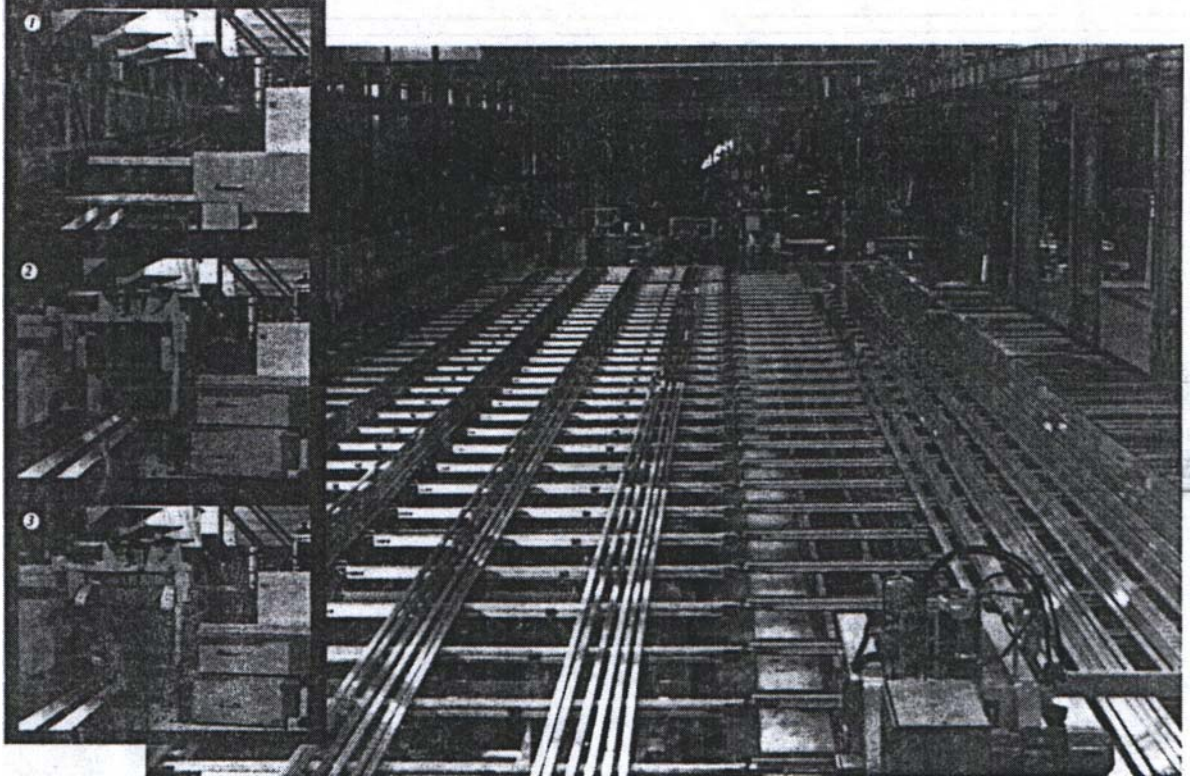
Şekil 4.86 aynı zamanda çıkış tablasından otomatik gerdirme hattına profillerin nasıl taşındığını da göstermektedir. Şekil 4.88, profillerin yavaşça kavranması için dizayn edilen gerdirici başlığı ve gövdesini göstermektedir. Profiller için toplama tablası ile durgun kayış formundan oluşan taşıyıcı, profillerin uygun bir şekilde yığılmasını sağlar. Son olarak, profil yığınları yumuşak bir şekilde dairesel testerenin bulunduğu merdanelere geçer ve Şekil 4.89’da da gösterildiği gibi merdaneler üzerinden ileri doğru transfer edilir.

Gelecekte, verimliliğin yükselmesine ve maliyet verimliliğine olan talep devam edeceğinden ekstrüzyon endüstrisinde daha da büyük otomasyon sistemleri oluşacaktır. Profillerin kesme ve stoklanmasına ait talepler iyi bir şekilde karşılanmıştır. Tablaaltı nihai kesicisi, istenen uzunlukta kesmeyi sağlayan iş tablası, kesilmiş profillerin istifleyiciye aktarımı ve birçok ilave özellikleri içeren, en modern kesme sistemlerinden biri Şekil 4.89’da gösterilmiştir.

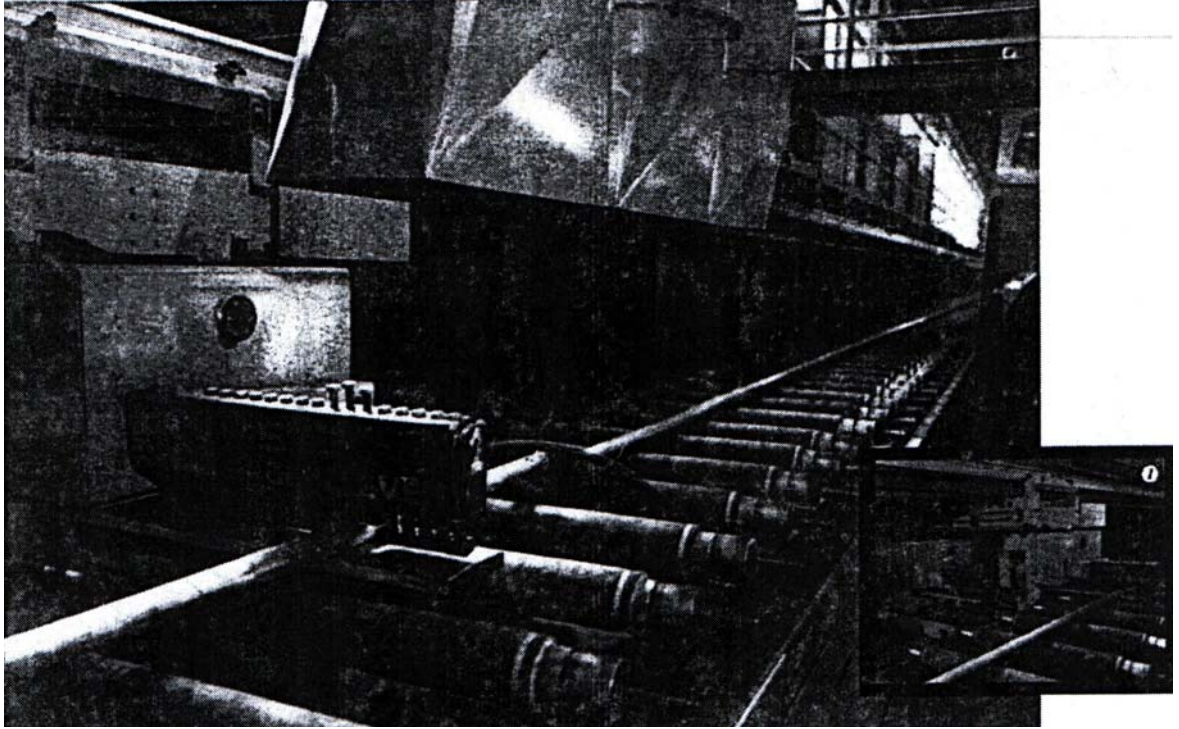
Şekil 4.90’da görüldüğü gibi kesme sistemi ile olan bağlantı noktasında profil istifleyici, “bir içeri-bir dışarı” prensibine dayanılarak dizayn edilmiştir. Aynı zamanda bu sistem, profillerle dolu olan sepetlerin yığılma alanından ısıtılma fırınlarına taşıyıcılar vasıtasıyla transferini sağlayan ekipmanlarla donatılmıştır.



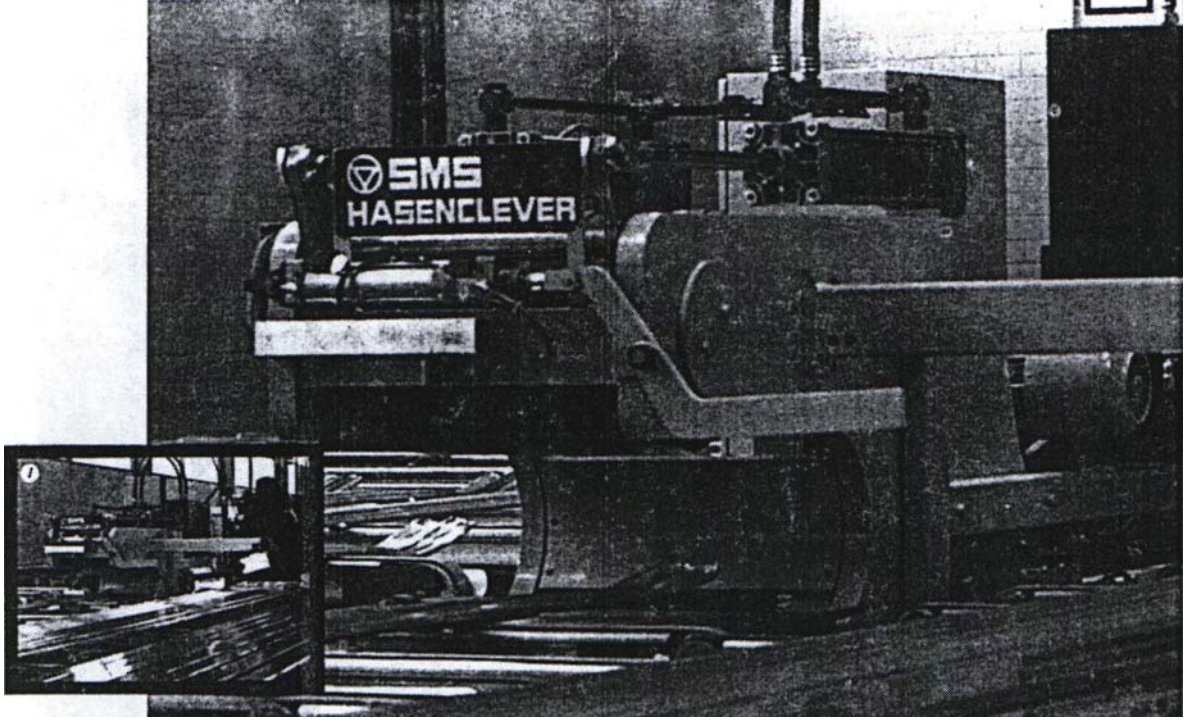
Şekil 4.85 Profiller için özel, su spreyli soğutma sistemi (Saha, 2000).



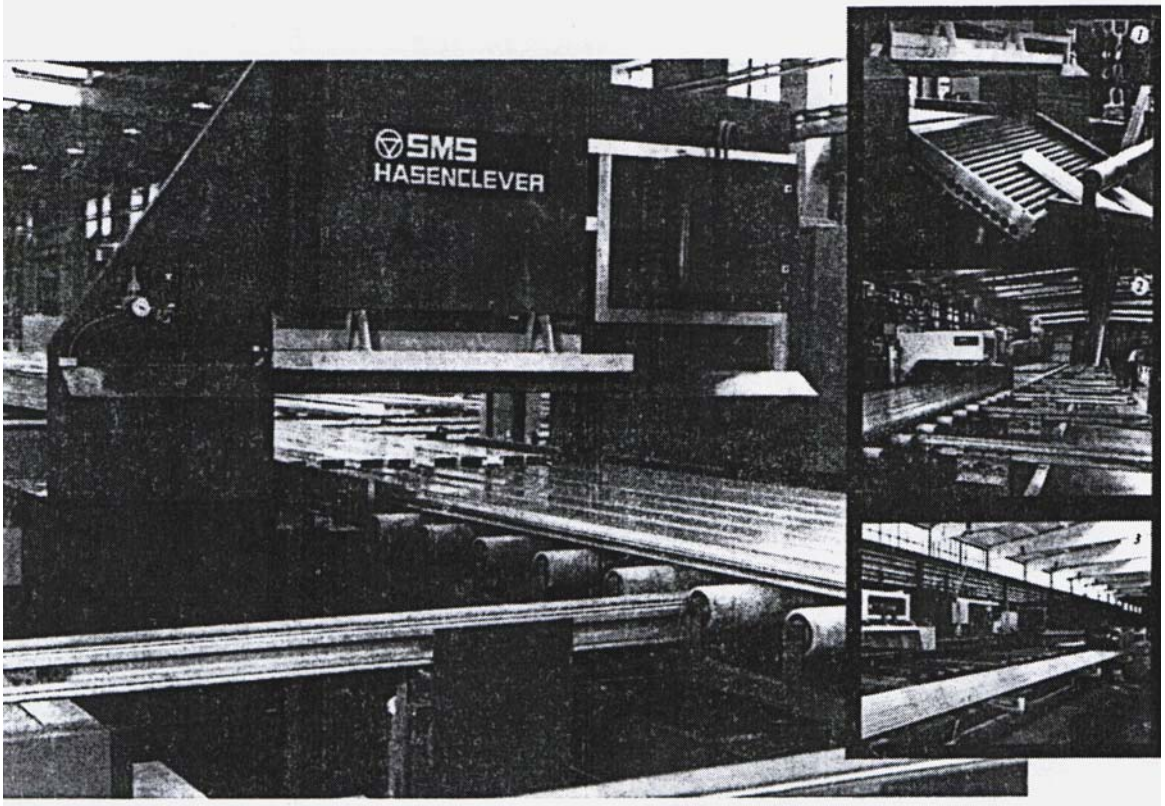
Şekil 4.86 Sıcak kesme ve çekici mengenerleri gösteren çıkış ekipmanları.1) Sıcak şekillendirici testere.2) Çekiciler (sıkıştırıcılar açık).3) Profilleri kavramış çekiciler (Saha, 2000).



Şekil 4.87 Çift çekici sistem ve havada sıcak kesme.1) Çift çekicili sistem (Saha, 2000).



Şekil 4.88 Gerdirici başlığı ve gövdesi.1) Gerdirici başlığı (Saha, 2000).



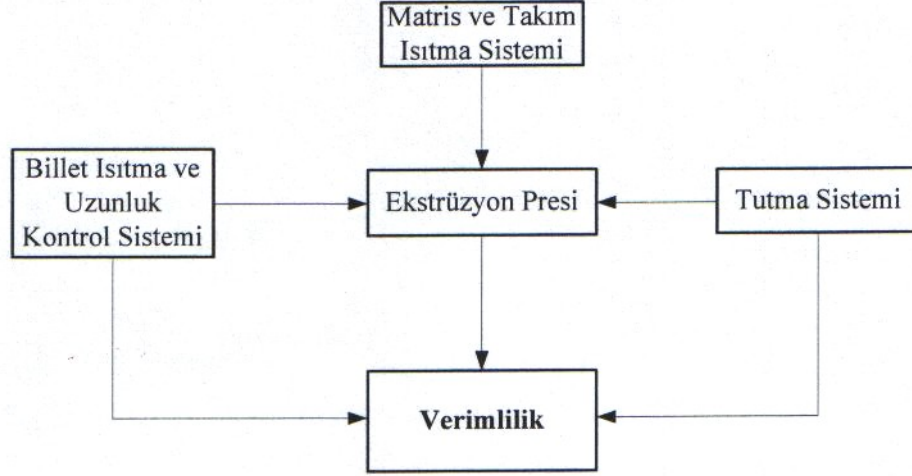
Şekil 4.89 Kesme aleti ve boşaltma bantları.1) Kesme, merdaneli tabla ve profillerin transportu.2) Birikmiş profillerin tam bir şekilde konumlandırılabilmesi için ayarlanabilir kesici teması.3) Profil teması ile kesme ve boşaltıcı bantlar (Saha, 2000).



Şekil 4.90 Otomatik profil gruplayıcısı.1) Profil gruplayıcısı profilleri haznede biriktiriyor (Saha, 2000).

Bir alüminyum ekstrüzyon fabrikasının performansı büyük ölçüde yardımcı ekipmanlara bağlıdır. Pres kontrolündeki ilerlemelere ve yardımcı ekipmanlardaki kayda değer gelişimlere daha önceki sayfalarda değinilmişti. Şekil 4.91’de de gösterildiği üzere ekstrüzyon fabrikasının verimliliği üç temel sisteme bağlıdır, bunlar; billet ısıtma ve uzunluk kontrol, ekstrüzyon presi ve tutma sistemleri. Bu üç bileşen hem kayıp zamanı hem de hurdayı kontrol altında tutar. Ayrıca pres performansı uygun matris ve takım ısıtma sistemine bağlıdır. Uygun bir şekilde dizayn edilmiş matris ve takıma ilaveten hızlı ve verimli bir ısıtma; matris ömrü, pres performansı ve en nihayetinde verimlilik üzerine etki eden kritik bir faktördür. Verimlilik kontrolü aşağıdakileri içerir:

- Kütük ısıtılmasıyla elde edilen optimum billet sıcaklığı ve sıcak kütük kesme ve soğutma yoluyla bileti doğru boyutlarında kullanma
- Önlenebilir kayıp zamanı azaltmak için doğru matris ve takım sıcaklıklarını kullanma
- Otomatik çift çekici sistemler yardımıyla çıkış hızı ve sıcaklığını kontrol etme
- Çıkış tablasından gelen ürünü otomatik tutma sistemleri vasıtasıyla önce yığılma sonra da yaşlandırma vasıtasıyla tutma esnasındaki hasarı ve işçilik maliyetlerini azaltma



Şekil 4.91 Prodüksivite kontrol sistemine ait fonksiyonel blok diyagramı (Saha, 2000).

Günümüz pres imalatçıları sadece presleri kurmakla kalmıyor, aynı zamanda bileti ısıtma safhasından, soğutulmuş ve gerdirilmiş ürünü kesmeye kadar olan herşey için komple bir kurulum sağlıyorlar. Bu gelişme özellikle alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde önemli başarıları beraberinde getirmiştir.

Fabrikanın verimliliği yüksek oranda yardımcı tertibatların operasyon verimliliğine bağlı olduğundan dolayı, çalışma çevriminin sürekliliği bütün yardımcı ekipmanları sağlayan pres imalatçıları tarafından optimize edilebilir. Prosesin ekonomikliği birinci derecede öneme sahiptir ve herhangi bir ekstrüzyon çevrimi içerisindeki ölü-çevrim zamanını minimuma indirmek için değişik pres programları için bütün bir çevrimin otomatik operasyonu hem presin hem de yardımcı ekipmanlarının operasyonunu içermektedir.

Profil üretiminde muazzam bir artış olduğundan dolayı alüminyum ekstrüzyonunda operasyon gerçekleşirken presin çıkış kısmı üzerine çalışmalar detaylandırılmıştır. Ekstrüzyon fabrikalarının dizaynı esnasında dikkate alınması gereken bir diğer önemli nokta ise ince ve kırılğan profillerin taşınması esnasında hasar görmemeleridir.

Entegre bir alüminyum ekstrüzyon sisteminde kütük ısıtmadan yaşlandırma fırınlarına kadar kullanılan ekipmanlar aşağıdakilerdir:

- Kütük ısıtma sistemi (indüksiyon veya gazlı sistemler) ve buna entegre kütük kesme sistemi
- Şoklu indüksiyon ısıtıcısı/suyla soğutma
- Çok odalı veya tek hücreli matris fırınları

- Ayrı veya kombine olmak üzere hava ve suyla soğutma sistemleri
- Müşteri talebine göre tekli ya da çiftli çekici
- Otomatik tutma sistemli gerdiriciler
- Profil kesiciler ve ölçü sistemleri
- Depolama sistemleri
- Yaşlandırma fırınları

4.4.5 Pres ve Yardımcı Ekipmanlara Ait Değişkenler İçin Proses Kontrol

Ekstrüzyonda toplam kalite tamamen ekstrüzyon presi ve onun yardımcı ekipmanlarına bağlıdır. Koruyucu bakımın gerçekleştirilmesinin yanısıra pres ve yardımcı ekipmanlarının her bir ünitesine ait işlevlerin kontrol listelerinin rutin olarak doldurulması günlük görevler içerisinde önemli bir yer tutar. Pres ve yardımcı ekipmanlarının performanslarının uygun şekilde dökümantasyonunu sağlamak için hem presin hem de yardımcı ekipmanlarının önemli değişkenlerini toplamak adına Çizelge 4.13'teki şekilde bir sistem dizayn edilebilir (Saha, 2000).

Çizelge 4.13 Ekstrüzyon fabrikasının tipik bir bakım kontrol listesi (Saha, 2000).

Pres büyüklüğü:		Tarih:
Parametreler	Kontrol Edilmiş	Yorumlar
Presin her bir ünitesinin fonksiyonu		
Ana Ram Hareketi		
Istampa ve piston yatağı		
Konteynir hareketi		
Matris kayma hareketi		
Dikey kesme		
Billet yükleyici		
Pompaların fonksiyonu		
Pompa no1		
Pompa no2		
Pompa no3		
Yedek pompa		
Sızdırmazlık pompası		
Basınç ölçüm aletleri		
Ana basınç		
Sızdırmazlık basıncı		
Kontrol basıncı		
Pres düzeneği		
Konteynir ve istampa		

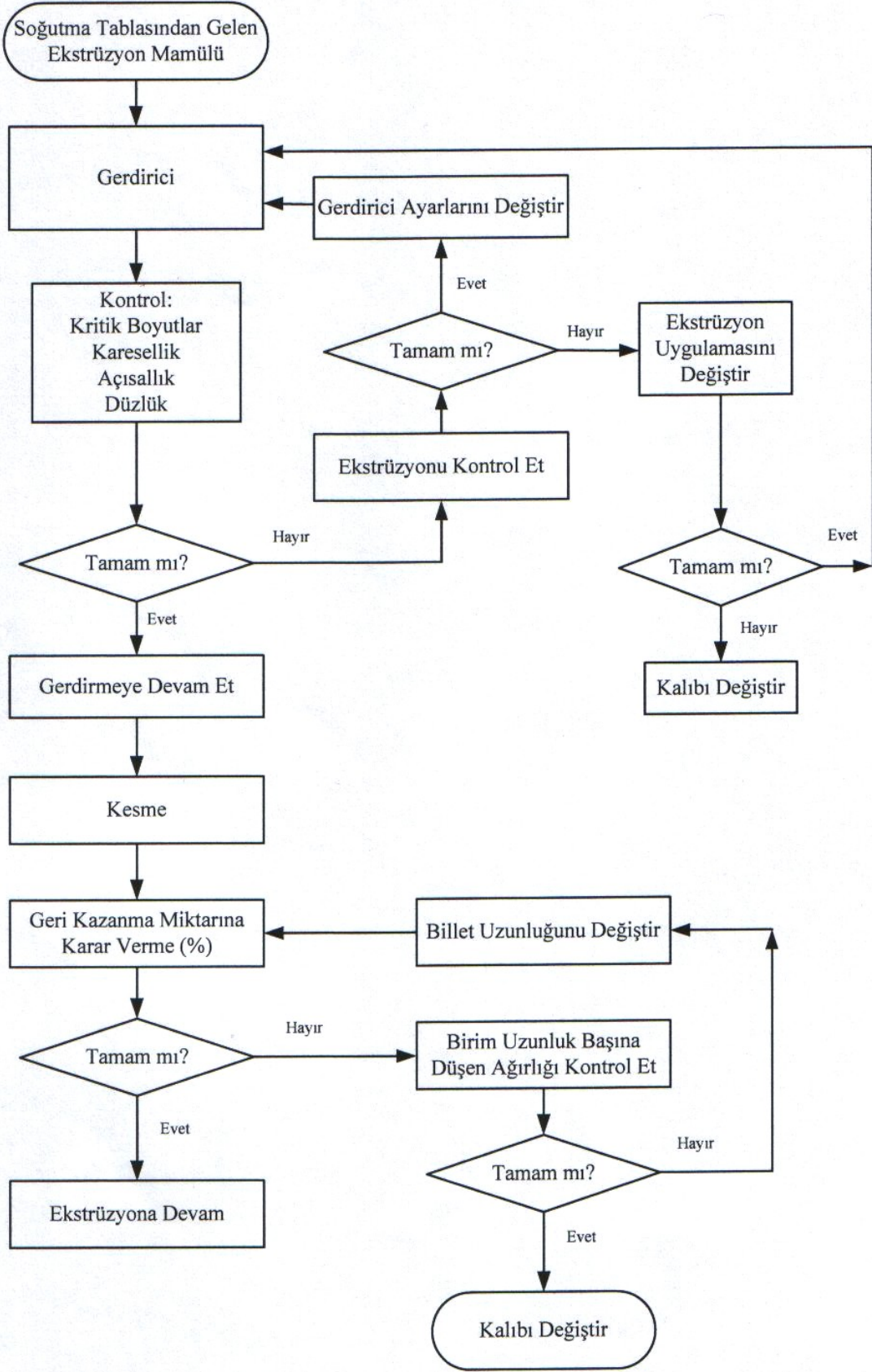
Matris kayması ve alıcı		
Pres yağ sıcaklığı		
Hareketin başlangıcı		
Hareketin sonu		
Isı eşanjörü		
Soğutucudaki su sıcaklığı		
Konteynır sıcaklığı		
Ayarlanan sıcaklık		
Gerçek sıcaklık		
Matris sıcaklığı		
Ayarlanan sıcaklık		
Gerçek sıcaklık		
Billet ısıtıcısı (indüksiyon/gaz)		
Ayarlanan sıcaklık		
Gerçek sıcaklık		
Yardımcı ekipmanlar		
Kesme		
Çıkış tablasının yüzeyi		
Çekme sistemi		
Soğutma tablası		
Hava akımlı soğutma fanları		
Gerdirme tablası		
Biriktirme tablası		
Kesme değiştirme tablası		
Kesme ölçüm tablası		
Denetleme tablası		
Otomatik depolama (paletlerle)		

6063 alüminyum alaşımının ekstrüzyonunda gerdirme ve kesme için örnek bir proses kontrol tablosu Çizelge 4.14’te verilmiştir. Ayrıca gerdirme ve kesme değişkenleri akış diyagramları ile birlikte Şekil 4.92’de verilmektedir.

Çizelge 4.14 Gerdirme ve kesme işlemleri için kontrol listesi (Saha, 2000).

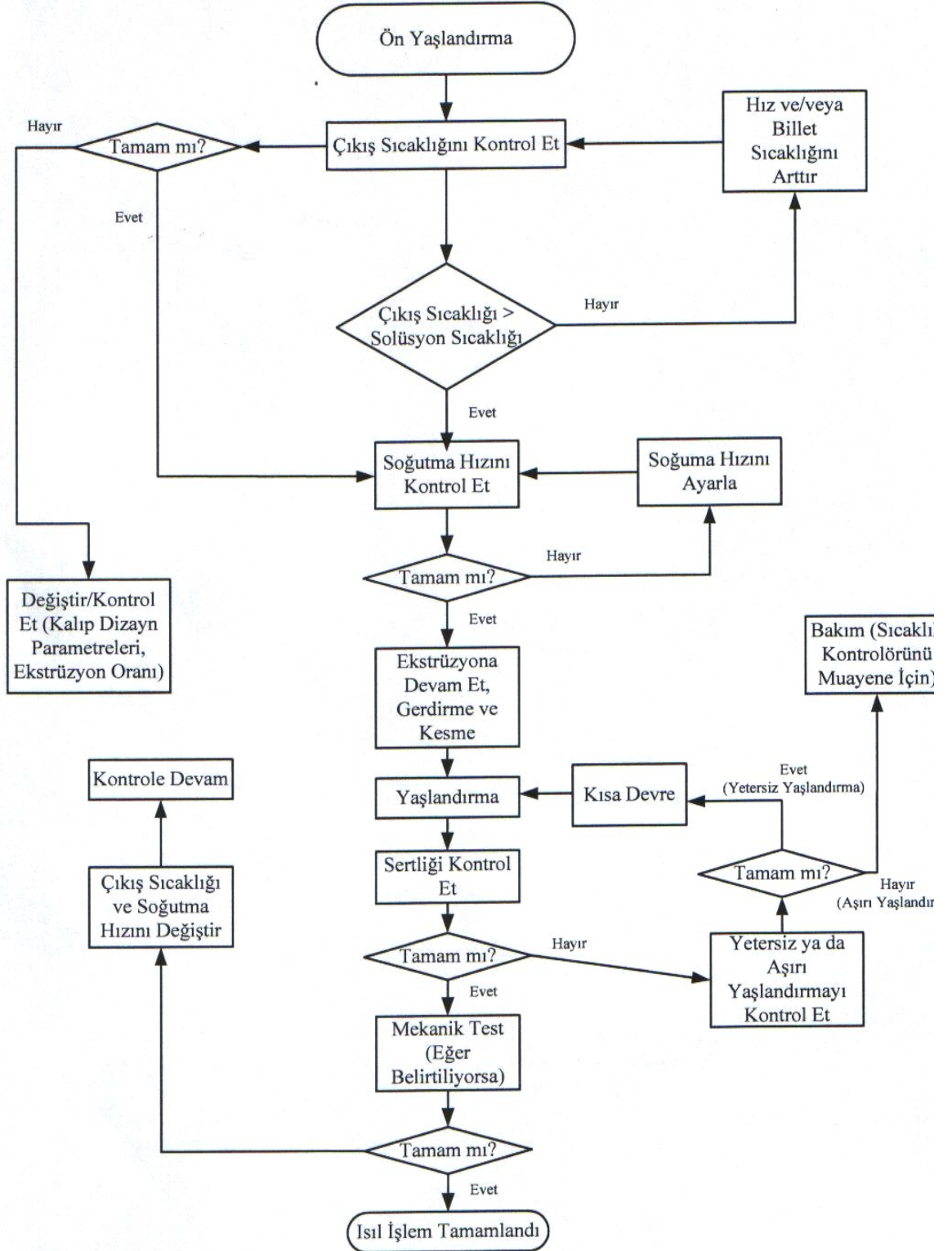
Gerdirmeci operatörü:				Tarih:	
Kesme operatörü:				Vardiya:	
Parametreler	Matris tanımı (matrisin numarası ve tipi)				
	1	2	3	4	
Kritik boyutlar					
Dörtgenlik					
Açısallık					
Düzlük					
Nihai yüzey					

Kesme boyutu				
Raf numarası/depo numarası				
Parça sayısı/billet				
Hurda uzunluğu/billet				
Ön				
Orta (kaynak bağlantısı)				
Arka				
Toplam hurda/billet				
Ağırlık/birim uzunluk				
Geri kazanım,%				
Yorumlar:				



Şekil 4.92 Gerdirme ve kesme değişkenleri için akış diyagramı (Saha, 2000).

Yumuşak alaşımlar için ısıtım işlem değişkenleri Şekil 4.93'deki akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 4.93 Yumuşak ekstrüzyon alaşımlarının ısıtım işlem değişkenleri için akış diyagramı (Saha, 2000).

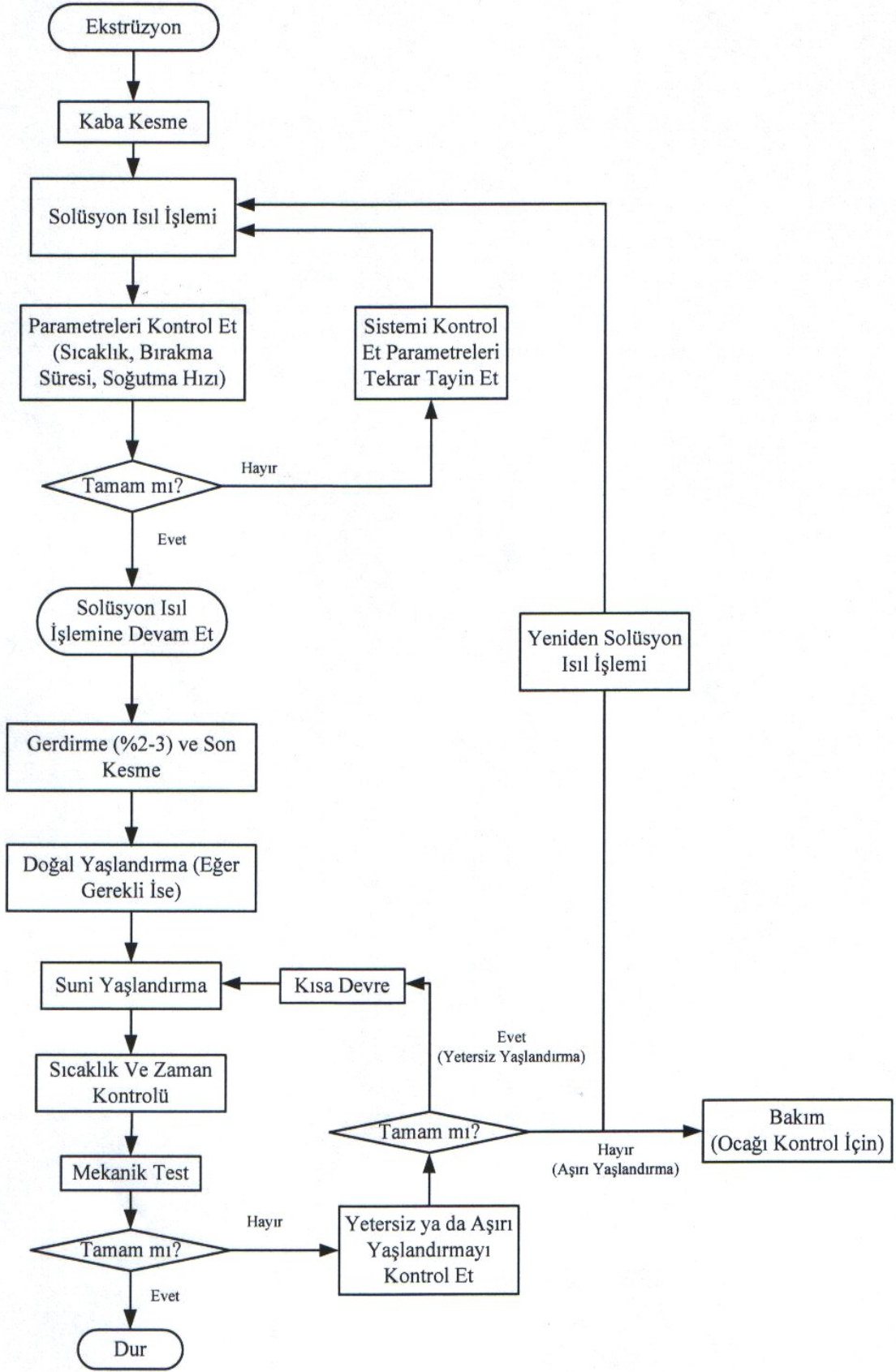
Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Laue ve Strenger (1981) alaşım ve ürüne bağlı olarak iki değişik ekstrüzyon prosedüründen bahsetmişlerdir:

- **Isıl İşlem Uygulanmayan Alaşımlar:** Mekanik özellikler bakımından ekstrüzyon ürününün soğuması ve çıkış sıcaklığı kritik değildir.
- **Isıl İşlem Uygulanan Alaşımlar:** Eğer yaşlandırmadan önce ayrı bir çözelti ısıl işlemi varsa, çıkış sıcaklığı ve ekstrüzyon ürününün soğutulması genellikle kritik olmaz; takip eden bir çözelti ısıl işlemi olmadan, ekstrüzyon ürün sıcaklığından (çözelti sıcaklığı) itibaren derhal yapılan soğutma işlemi soğutma hızı ve soğutma sıcaklığının kontrolünü gerekli kılar.

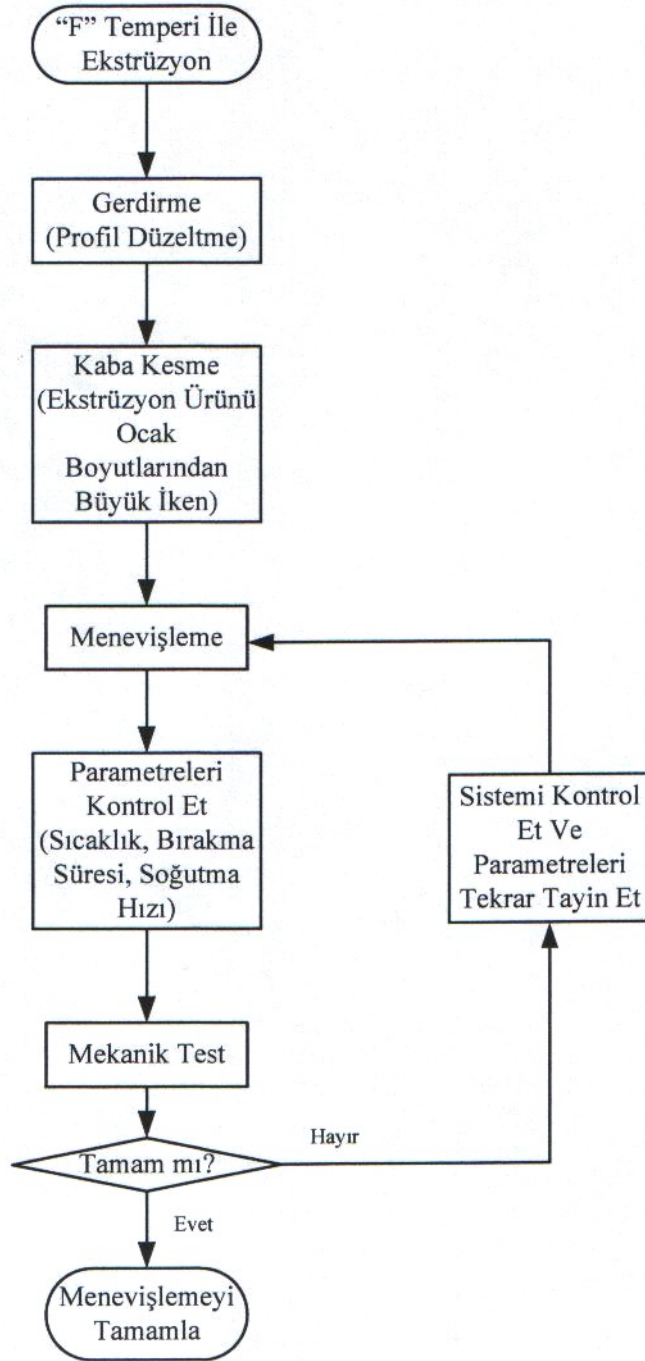
Sert alaşımlar normal şartlar altında aşağıdaki faktörlerden dolayı pres soğutmasına iyi bir şekilde yanıt vermezler:

- Çalışma sıcaklık aralığı daha yumuşak alaşımlarinkinden daha düşüktür.
- Düşük ekstrüzyon hızından dolayı çıkış sıcaklığı genelde çözelti sıcaklık aralığının altında kalır.

Isıl işlem değişkenlerinin akış diyagramı Şekil 4.94'te gösterilmiştir. Sert alaşımların tavlama proses değişkenlerinin akış diyagramı ise Şekil 4.95'te verilmiştir.



Şekil 4.94 Sert ekstrüzyon alaşımlarının ısıl işlem değişkenleri için akış diyagramı (Saha, 2000).



Şekil 4.95 Sert alaşımların tavlama prosesi için akış diyagramı (Saha, 2000).

Yaşlandırma prosesi ve onu takip eden fiziksel test parametrelerinin uygun bir şekilde dokümantasyonu için Çizelge 4.15’teki gibi bir çizelge düşünülmüştür.

Çizelge 4.15 Yaşlandırma fırını ve mekanik test parametreleri (Saha, 2000).

Fırın Numarası:						
Operatör:						
Raf/parti	Adet	Alaşım/ temper	Yaşlandırma çevrimi			Webster sertliği (yumuşak alaşımlar için)
			Sıcaklık	Çevrim	Daldırma	

Çizelge 4.15 (devamı) (Saha, 2000).

Tarih:			
Vardiya:			
Mekanik testler (sert alaşımlar için)			
Akma dayanımı	Maksimum gerilme	Uzama, %	Dağlama testi

Ekstrüzyon tamamlandıktan sonra korozyon ve oksidasyon direncini arttırmak için yüzey işlemlerinin yapılması gereklidir. Yüzey işlemleri genellikle mekanik yolla, anotlamayla, elektrolitik renklendirmeye ve boyama (hem toz hem de sıvı) prosesleri ile yapılır. Tesisleri ve müşteri ihtiyaçlarına göre her şirket kendi yüzey işlem prosesine sahiptir. Yüzey işlem parametreleri kontrol tabloları var olan prosese göre dizayn edilebilir çünkü her proses değişiktir, yüzey işlemleri için genelleştirilmiş bir proses tablosu sağlanamaz.

5 ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA HATALAR

Ekstrüzyon prosesinde, bir önceki bölümde anlatılan değişkenlerin düzgün bir şekilde kontrol altına alınmaması sonucu çeşitli hataların meydana gelmesi aşırıdır. Bu bölümde meydana gelebilecek bu hatalar ve bunlara karşı alınabilecek önlemlere kısaca değinilecektir.

5.1 Ölçü Hataları veya Şekil Bozuklukları

- Kalıp imalatında muhtelif hatalar olması. Hatayı önlemek için tasarım ve dizayn aşamasında çok titiz ve dikkatli çalışmalar yapılmalıdır.
- Kalıp destekleme ve yardımcı ekipmanların uygun olmayışı. Hatayı önlemek için ara parçalar, kalıp arkası v.b. gibi destekleyici veya yardımcı ekipmanlar uygun kalınlıkta ve mukavemetli olmalı, yırtık veya çatlak olmamalıdır.
- Isı hatalarının meydana gelmesi. Hatayı önlemek için konteynır, matris, billet ısıları çok iyi ve normlara göre ayarlanmalıdır. Normalden fazla sıcak veya soğuk çalışmalarda muhtelif ekstrüzyon veya ölçü hataları oluşacaktır.
- Baskı şartları hatalarının meydana gelmesi. Hatayı önlemek için pres çalışma şartları matrislerin durumuna ve profilin kesitine göre iyi ayarlanmalıdır. Hızlı veya yavaş baskı, çeşitli yüzey ve ölçü hatalarına neden olacaktır.
- Matris, konteynır ve zımba gibi ekipmanların montaj veya mukavemet hataları. Hatayı önlemek için bu gibi önemli ekipmanlarda eksen kaçıklığının, fazla gevşekliğin ve fazla sıkılığın olmaması gerekmektedir. Ayrıca belirli aralıklarda bu durum devamlı kontrol edilmelidir.
- Matris, konteynır ve zımba gibi ekipmanların temizlik hataları. Bu gibi önemli ekipmanlar çok temiz olmalı, muhtelif metal çapakları veya boşluklar, tozlanmalar, aşırı yağlanma v.b. gibi hatalar olmamalıdır.
- Ekstrüzyon sonrası uygun olmayan şartlar. Pres çıkışından sonra malzemeler normlara uygun şartlarda muamele görmelidir. Sıcak kesme, soğutmalar, germe, soğuk kesme v.b. işlemler için gerekli kurallara mutlaka uyulmalıdır.

5.2 Yapısal İz, Yapısal Çizgi Hataları

- Konteynır ısıtma hatası. Konteynır üniform olarak ısıtılmalıdır. Alt ve üst yanlardaki sıcaklıklar eşit şartlarda olmalı, konteynır sıcaklığı billet sıcaklığından en az 10°C düşük olmalıdır.
- Billet doku yapısı değişkenliği. Billet tane yapısı ve tane iriliğinin değişkenliği baskı

şartlarında veya profil yüzeyinde farklı görüntülere neden olmaktadır, mutlaka homojenize edilmiş biletler kullanılmalıdır.

- Matris imalatında metal akışının yanlış dizayn edilmesi.Bu durum, kaynama noktalarının profil yüzeylerine değil de köşelerine gelecek şekilde yapılmasıyla büyük ölçüde çözümlenebilir.
- Bilet alaşım yapısının uygun olmayışı.Bilet imalatındaki ekstrüzyon veya eloksala uygun olmayan alaşım yapıları da kaynama noktalarında ve profil yüzeylerinde yapısal çizgilere neden olmaktadır.Yüzey işlemlerine uygun alaşımında hammaddeler kullanılmalıdır.
- Presin eksenden kaçık oluşu.Pres, konteynır, zımba ve matrisin eksen ayarı devamlı kontrol edilmelidir.Buradaki eksen kaçıklıkları baskı ayarlarında, dolayısıyla da profil yüzeylerinde muhtelif çizgisel hatalara neden olabilmektedir.

5.3 Profil Yüzeyinde Enine Çizgiler

- Bilet bitmeden baskının durması.Çok mecbur kalınmadıkça pres durdurulmamalıdır.
- Ekstrüzyon hızında ani değişimler.Ekstrüzyon sabit bir hızda devam ettirilmeli, hızlarda fazla değişiklik yapılmamalıdır.
- Ekstrüzyon basıncında ani değişimler.Presin hidrolik devrelerinde hava kabarcığı veya yabancı maddeler olmamalıdır.
- Ekstrüzyon esnasında profilin sağa sola sallanması.Konveyör düzgün ve gönyede olmalı, keskin köşelerden kaçınılmalıdır.
- Enine çizgiler.Özellikle porthole matrislerde çalışılırken oluşur.Bunlar bilet yüklemeleri için durulduğu zaman meydana gelir.Matris ön hazneleri iyi dizayn edilmeli, önlenemiyorsa bu kısımlar kesilmelidir.
- Matrisler üzerindeki uzun dilin esnemesi.Ön hazne kullanılarak veya yeterli destekler kullanılarak bu olumsuzluklar giderilir.

5.4 Ekstrüzyon Esnasında Kesintili Olarak Meydana Gelen Enine Çizgiler

Bir önceki maddede anlatılan çizgilere çok benzerler.Yumuşak alüminyum malzemenin (saf alüminyum) matris geçiş yüzeyine yapışarak geri kalmasından meydana gelirler.Daha sıcak bilet kullanılarak ve hızlı baskı ile aşılabilirler.Matrisin temiz olması da önemlidir.

5.5 Kırılan Yüzey veya Sıcak Yırtılmalar

Yüksek sıcaklıklar ve yüksek ısılarda yapılan çalışmalardan meydana gelirler.Bilet ve konteynır sıcaklıkları aşırı derecede yüksek olmamalı, ekstrüzyon hızı da fazla

arttırılmamalıdır.

5.6 Matris Çizgileri veya Pislük Çizgileri

- İyi tesviye edilmemiş matris. Matris geçiş yüzeyleri iyi temizlenmeli ve parlatılmalıdır.
- Bilet yüzeylerinden gelen pislükler. Biletlerin dış yüzeyleri çok iyi temizlenmelidir.
- Zimba ve konteynırın eksen kaçıklığından dolayı biletlerin dış oksitli kabuğunun matris geçiş yüzeylerine akması. Konteynır, zimba, matris aynı ekseninde olmalıdır ve sık sık kontrol edilmelidir.
- Konteynır gömleği içerisinde alüminyum birikmesi veya sıvanması. Kullanılan pulun çapı küçülmüş olabilir, pul çapı ile gömlek iç çapı arasındaki fark en fazla 1,57 mm olmalıdır. Pul yüzeyleri de temiz olmalı, her vardiyada en az bir defa mutlaka pul ve konteynır gömleği temizlenmelidir.
- Konteynırın aşırı sıcak olması. Konteynır sıcaklığı devamlı kontrol edilmeli, bilet sıcaklığından en az 10°C düşük olmalıdır.
- Konteynır gömleğinin içinin hasarlı olması. Gerekli kontroller yapılarak tedbirler alınmalı, değişmesi gerekiyorsa değiştirilmelidir.
- Pulun çevresinden dışarı metal sızması. Pul soğutulup ölçü kontrolü yapılır, gerekirse değiştirilir.
- Gereğinden fazla yağlanması. Pul ve matris gereğinden fazla yağlanılmamalıdır. Bu durum profillerde çeşitli yüzey hatalarına neden olabilmektedir.
- Aşırı sıcaklık ve aşırı hız. Bilet, konteynır, matris sıcaklıkları ve çalışma hızları normalden fazla olmamalıdır.
- Bilet bünyesinden gelen pislükler. İyi kalitede ve temiz biletler kullanılmalıdır.
- Homojenize edilmemiş bilet kullanımı. Kaliteli imalatlar için homojenize edilmiş biletler kullanılırsa, matris ömürleri de uzayacaktır.
- Geçiş yüzeyinin derinliğindeki ani değişiklikler (keskin köşeler). Geçiş yüzeyindeki değişiklikler tatlı ve kademeli olmalıdır.
- Profil kenarı ile konteynır gömleği duvarı arasındaki yetersiz mesafe. Profil matrisin kenarına çok yakın ise gömlekten oksit gelebilir. Profilin matrise yerleştirilme şeklini kontrol etmek veya daha büyük konteynır kullanmak gerekebilir.

5.7 Profil Yüzeyindeki Kabarcıklar

- Profillerin içerisine yağ girmesi. Matrise, pula ve makasa sürülen yağ miktarları kontrol edilmelidir.

- Konteynır, zımba ve matrisin eksenden kaçıklığı nedeniyle sisteme hava girmesi.Presin aksenel simetrisi tekrar sağlanmalı ve sık sık kontrol edilmelidir.
- Konteynır gömleği içerisinde billetlerin oksitli tabakalarının birikmiş olması.Her vardiyada en az bir defa temiz bir pul ile konteynır gömleği temizlenmeli, kullanılan pulun çapı aşınmadan dolayı küçülmüş olabilir, pul çapı ile konteynır gömleği arasındaki maksimum fark 1,57 mm olmalıdır.Pul yüzeyleri temiz olmalı, yüzeyde çukurlar olmamalıdır.
- Konteynırın çok sıcak olması.Aşırı sıcaklıktan kaçınılmalı, konteynır sıcaklığı billetten en az 10°C düşük olmalıdır.
- Konteynır gömleğinin içinin hasarlı olması.Gerekli incelemeler yapılarak tedbir alınmalı, değişmesi gerekiyorsa değiştirilmelidir.
- Preste havalandırma programının olmaması nedeniyle billetin çok hızlı şişirilmesinden dolayı bünyesine hava alması.Havalandırma programı mutlaka yaptırılmalı ve şişirme hızı yavaşlatılmalıdır.
- Profil yüzeyinde kabarcık oluşumu.Kısa takoz arkası (ara iş) bırakılması sonucu oksit tabakasının profil bünyesine geçmesinden kaynaklanmaktadır.Takoz arkası ara iş boyu uzatılmalıdır.
- Çok sıcak bir billetin yüksek hızda basılması.Billet sıcaklığı düşürülmeli, pul soğutulmalı ve baskı hızları kontrol edilmelidir.
- Üzerinde çatlaklar, yarılmalar veya boşluklar bulunan billetlerin kullanılması.Billetler kontrol edilmeli ve hatalı olanlar kullanılmamalıdır.
- Billet ısıtma fırını sıcaklığının normalden fazla olması.Sıcaklık ölçerler kontrol edilmeli, el pirometresi ile billet sıcaklıkları sık sık denetlenmelidir.
- Billet bünyesinde pisliklerin olması.İyi kaliteli, homojenize edilmiş ve yüzeyi temiz billetler kullanılmalıdır.

5.8 Profilin Yüzeyinin Kat Kat Olması veya Yabancı Madde İhtivası

- Profilin bünyesine yağ girmesi.Matrise, pula ve makasa sürülen yağ miktarı kontrol altında tutulmalıdır.
- Zımba ve konteynırın aynı merkezde olmamaları.Pres merkezi sık sık kontrol edilmelidir.
- Konteynır gömleğinin içinin hasarlı olması.Gerekli incelemeler yapılarak tedbirler alınmalı, değişmesi gerekiyorsa değiştirilmelidir.
- Konteynır gömleği içerisinde billetin oksit tabakasının birikmesi.Her vardiyada en az bir kere gömlek temizlenmelidir.
- Yetersiz takoz arkası ara işi uzunluğu.Tkoz arkası ara işi uzunluğu arttırılmalıdır.

- Billet bünyesinde pisliklerin bulunması.İyi kaliteli, homojenize edilmiş ve yüzeyleri temiz billetler kullanılmalıdır.

5.9 Kaynama Çizgisi veya Kaynama Hatası

- Porthole, köprülü (bridge) veya örümcek (spider) matrislerden çıkan malzemelerin tam olarak kaynamamış olması.Billet sıcaklığı düşüktür, ekstrüzyon hızı fazladır veya yağlama miktarı fazladır, kontrol edilmelidir.
- Matristeki kaynama odasının hacmen yetersiz olması.Matris dizaynı incelenerek gerekli tedbirler alınmalıdır.

5.10 Portakal Kabuğu Görünümü Hatası

Profillerin germe işlemi sırasında aşırı derecede gerilmesi sonucu bu tür hatalar meydana gelebilir.Gerekli tedbirler alınarak germe işlemi kontrol edilmelidir.

5.11 Dalgalanma ve Esneme Şeklindeki Hatalar

- Metalin matristen dengesiz akışı.Pres merkezi kontrol edilmeli, homojen akış temin edilecek şekilde matris geçiş yüzeyleri düzeltilmeli, eğer takoz sonunda meydana geliyor ise takozun her tarafının eşit sıcaklıkta olması sağlanmalıdır.
- İnce uzun dilleri bulunan profil kesitlerinin dengesiz soğutulması.Profilin her tarafı aynı anda yavaş veya hızlı soğutulmalıdır (Kesit tasarımına karar verirken değişken et kalınlıklarından kaçınılmalıdır).
- Matris desteklenmesinin iyi olmayışı.Matris montajına ve yardımcı destekleme ekipmanlarına dikkat edilmelidir.
- Yanlış matris geçişleri dizaynı.Matris dizaynı yapılırken geçişler ve mukavemet tasarımları iyi ayarlanmalıdır.

5.12 Dönüklük ve Doğruluktan Sapma Hataları

- Metalin matristen dengesiz akışı.Presin merkezi kontrol edilmeli, homojen akış temin edilecek şekilde matris geçiş yüzeyleri değiştirilmeli, matris takımları incelenmeli, matris takımlarının çalışmasını, yetersiz matris desteği veya matris arkası derinliği yönünden düzeltilmelidir.

5.13 Keskin Köşelerin Oluşması Şeklindeki Hatalar

- Profillerin dengesiz soğuması.Profiller homojen olarak soğutulmalıdır.
- Yetersiz germe.Profillerin germe işlemleri kontrollü ve yeterli derecede yapılmalıdır.

- Ekstrüzyon sırasında, profilin yanlmasına ani hareket ettirilmesi, dolayısıyla baskı yönünün de ani olarak değişmesi.Knöveyörün düzgün ve gönyesinde olmasına ve keskin köşeler içermemesine dikkat edilmeli, eğer profili birisi çekiyorsa profil üzerindeki gücün aynı kalmasına ve profilin sağa sola sallanmamasına da dikkat edilmelidir.

5.14 İstenmeyen Keskin Köşeler

Kırılmış veya çatlamış matrisler bu tür hatalara neden olur.Kırılan veya çatlayan matris geçişlerinin arkasına, geçiş boyunca 3-5 mm lik yuvarlak uçlu punta ile vurularak geçişler şişirilir ve tekrar istenilen ölçülere getirilir.

5.15 Profil Yüzeyinde Lekeler Oluşması

- Sıcak profil ile su veya yağın temas etmesi.Profiller sıcak bölgede iken su veya sulu şartlarla karşılaşılmalıdır.Ayrıca yağlama işlemlerinde de dikkatli olunmalıdır.
- Kesme işleminde testerede fazla veya uygun olmayan yağ kullanılması.Testerede kesme işlemi yapılırken aşırı yağ püskürtme yapılmamalı ve termik işlemi (suni yaşlandırma) sırasında yanabilecek veya uçabilecek cinsten yağ kullanılmalıdır.

5.16 Sürtme Hataları

Matrisi destekleyen yardımcı ekipmanlara sürtünen profillerin yüzeyinde belirli çizgiler oluşur.Matris takımları iyi kontrol ve montaj edilmeli, kullanılan destek takımlarının açıklığı iyi ayarlanmalıdır.Çıkan profilin kıvrılarak kanca şeklinde çıkması önlenmelidir.

5.17 Karbon İzleri Şeklindeki Hatalar

Sıcak ekstrüzyon profillerinin konveyörde grafitlere sürtünmesi ile oluşurlar.Bunun önlenmesi kolay değildir, karbonu ıslatmak yolu ile daha yüksek özgül ağırlığı olan grafit veya meşe ağacı kullanarak izler azaltılabilir.Esas çözüm, matris dizaynı yapılırken, görünen yüzeylerin sürtünmemesini sağlamaktır.

5.18 Sıcak Sürtme Sonucu Oluşan Hatalar

Birden fazla çıkışı olan (çok figürlü) profillerin birbirine sürtmesi ile oluşurlar.Çok figürlü matrislerin imalatında profiller arası grafit ayırıcılar kullanılarak sıcak sürtünmeler engellenebilir.

5.19 Ezilme Şeklindeki Hatalar

- İnce dillerin konveyöre takılması.Profiller konveyöre dikkatli yerleştirilmelidir.
- Profiller sepetlere dizilirken aralarına konulan çıtaların uygun olmayışı ve dizme işlemlerinin uygun olmayan yüzeyler üzerine yapılması.Profil aralarına uygun çıtalar (yanmayan tahta, mukavva, teflon, polyester gibi) konulmalı ve de profiller ağırlıklarını taşıyamayacak yüzeyler üzerine dizilmemelidirler (Profiller ambalaj yapılırken de bu kurallara dikkat edilmelidir).

5.20 Derin Çizgiler Şeklindeki Hatalar

- Matris geçişlerinin bazı kısımlarının uzun oluşu.Bu bölgelerdeki matris geçişleri düşürülmelidir.
- Matrisi geçişlerindeki değişimler.Matris geçişleri keskin olarak değişim göstermemeli, eğimli veya radyüslü birleştirilmelidir.Yırtılmaları önlemek için bütün geçiş değişimleri yuvarlatılmalıdır.
- Profillerin temas ettiği yerlerde, çivi, sert talaş, çapak gibi yabancı maddeler olabilir.Profillerin temas ettiği bütün yüzeyler son derece temiz ve mukavemetli olmalıdır.

5.21 Ekstrüzyon Kaynaklı Yüzey Hataları

5.21.1 Kaynama Çizgisi

Matris dizaynında metal akışının yanlış ayarlanması nedeniyle kaynama noktalarının geçişlerde; köşelerde değil de yüzeylerde oluşmasıdır.Bu geçişin kostik banyosundan çıktıktan sonra bir renk çizgisi şeklinde profil yüzeyinde belirgin bir halde gözükmesi, bu hatanın ortaya çıkmasında hammaddelerin de büyük etkisi vardır.Kaynama noktaları köşelere getirilmiş olsa bile, bağ yapılarının iyi homojenize olmaması veya kullanılan alaşımların uygun olmayışı farklı yerlerde kaynamalar meydana getirebilmektedir.

Matris dizaynlarında metal akışının, profillerin görünmeyen yüzeylerine veya köşelere getirilmesi, kostik banyolarında profillerin kalış sürelerinin azaltılması hataları minimuma indirebilse de tamamen ortada kaldırmamaktadır.

5.21.2 Pullanma, Galvaniz Etkisi, Kristalleşme

Presten çıkışta metal akışının homojen olmayışı ve billet sıcaklığının normalin üzerinde olması nedeniyle ekstrüzyon sırasında oluşan ve profilin bir kısmının kristal yapısının diğer kısımlara nazaran farklı tane büyüklüğünde oluşmasına sebebiyet verebilmesi neticesinde, kostik işlemi sonrasında profil yüzeylerinin değişik görünüm alması biçiminde ortaya

çıkar.Pres çıkışında metal akışının homojen hale getirilmesi, baskı anında billet sıcaklığının aşırı yükseltilmemesi ve kostik banyosunda kalma sürelerinin azaltılması, hataları minimuma indirebilse de tamamen ortadan kaldıramamaktadır.

5.21.3 Yüzeylerde Pürüzlenme Etkisi

Kalıp geçiş yüzeylerinin temiz olmaması ve uygun olmayan alaşımlarda hammaddeler kullanılması bu tür hatalara neden olmaktadır.Aşırı sıcak hammadde ile hızlı baskı da pürüzlenme etkisi yaratmaktadır.Eloksal işlemi öncesinde satinaj veya zımpara ile bu tür hatalar büyük ölçüde giderilebilir.

5.21.4 Yüzeylerde Renk Ayrımı

Preste uygulanan sıcaklık ve baskı şartlarından kaynaklanan bu hatalar neticesinde eloksal sonrasında profil yüzeylerinde şeritler halinde iki farklı rengin ortaya çıkması şeklinde görünür.Geçiş yüzeylerindeki ani kademeler de bu durumu yaratmaktadır.Preslerde baskı şartlarını ayarlayarak, kaliteli hammaddeler kullanarak ve eloksal öncesinde çok dikkatli bir şekilde satinaj yapılarak bu tür hatalar büyük ölçüde giderilebilmektedir.

5.21.5 Soğuma Lekesi Görünümleri

Pres çıkışında 500°C civarında sıcaklığa sahip olan profillerin grafit kollara değen kısımları diğer bölgelere göre daha geç ve farklı soğumaktadır.Bu kısımlar daha çok dolu, kalın etli ve kutu şeklindeki profillerde görülmektedir.Bu kısımlar eloksal sonrası iri ve siyah lekeler olarak görülür.Baskı anında pres çıkışından itibaren konveyör hattındaki fanlar kontrollü bir şekilde çalıştırılarak tüm yüzeylerin homojen soğutulması sağlanmalıdır.Profilin çıkış hızı ile konveyörün dönüş hızı aynı olmamalıdır.

5.21.6 Atmosferik Korozyon (Karıncalanma)

Hava sirkülasyonlarına karşı uygun olmayan stok sahası hataları; stok sahasında bekleyen profillerin üzerine konan tozlar ve oksijen, rutubet ve nem oranları ile orantılı olarak bekleme süresine göre yüzeyde korozyon meydana getirirler.Bu korozyon; hammadde kalitesine göre de orantılı olarak azalır veya artar, eloksal işlemi öncesi bu durum görülebilir.Eloksaldan sonra ise çok net olarak belirginleşir.Preslerden çıktıktan sonra malzemeler, rutubetli ortamlarda bekletilmemelidir.Bekletileceklerse de mutlaka amlalajlanarak stoklanmalıdırlar.

5.21.7 Metal Akışına Bağlı Matris Çizgileri

Matris çizgileri genellikle profil yüzeylerinde görünen girintili çıkıntılı yapı olarak

belirir.Başlıca nedenleri; matris yüzeyinin hasarlı olması, matris yüzeylerine yapışık olan alüminyum tabası içinde bulunan kir ve yabancı maddeler veya sert tanecikler olabilir.Bundan dolayı çizikler meydana gelir.Derinliğine bağlı olarak bu çizikler matlaştırma işleminden sonra da görülebilir.Profillerin satinaj, polisaj ve zımpara yapılması ile de giderilmeyebilir.Önlemenin en iyi yolu, billet ve matris yüzeylerinin ekstrüzyon öncesi ve sırasında kirletici maddelerden arındırılmış olduğundan emin olmaktır.

5.21.8 Kaba Yüzey Çizgileri

Bunlar şeritler veya gruplar halinde ince matris çizgileri olarak profillerin yüzeyinde görünürler, matlaştırma veya eloksal öncesi işlemlerle giderilmeleri mümkün değildir.Bu çizgilerin belirmesi profilin pozisyonuna veya geometrik yapısına bağlı değildir.Bunlar daha ziyade ince şekillerde problem yaratırlar ve bu problem ekstrüzyon hızının artmasıyla artış gösterir.Ekstrüzyon hızına duyarlı bu çizgilerin sebebi billet kalitesidir (mikroyapı homojenizasyon derecesi).Bu durumda metalurjik işlemlere dikkat edilmelidir.

5.21.9 Profil Yapısına Bağımlı Çizgiler

Bu çizgiler geniş ve düz yüzeylerde kesit kalınlığının değişmesinden dolayı ekstrüzyon yönü doğrultusunda görülen çizgilerdir.Eloksal öncesi işlemler ile giderilemezler.Profile bağlı çizgiler kesit kalınlığındaki değişmeden dolayı tane yapısı ve tane iriliğinin değişmesi neticesi meydana gelirler.Zımpara ve satinaj işlemlerinden sonra değişik yapılar ortaya çıkar ve bu yapılar matlaştırmada değişik tepkimeler verir.Bu yapılardaki değişik yansıtma oranlarından dolayı eloksal sonrasında profil yüzeyinde çizgi olarak görülür.Bu tür çizgilerin oluşumunu anlamak zordur.Tane iriliğinin etki olduğu düşünülürse bile tane yapısının etkisi olduğu muhtemeldir.Bu hataları önlemenin tek yolu matrisleri düzeltmektir.Çizgiler oluştuğu bölgedeki metalurjik değişikliklere ek olarak matris içine farklı metal akışından dolayı meydana gelen bölgesel değişmeler nedeniyle de oluşabilir.Matris sürtünme yüzeylerinin yumuşatılması bu tip hataları azaltabilir.

5.21.10 Kabuk Bölgesi Çizgileri

Profil şekline bağlı olmayan, ekstrüzyon yönüne paralel, değişik genişliklerde koyu veya açık çizgilerdir.Başlıca nedeni billetlerin kabuk kısımlarının profil içine sürüklenmesi ve normal billet yapısı içinde yarılmasıdır.Çizgilerin oluşması demir oranındaki dağılımın düzgün olmaması nedeniyle matlaştırma ve eloksal sonrasında değişik reaksiyonlar oluşmasından kaynaklanmaktadır.Bu çizgiler yüzey işlem uygulamaları ile giderilemez.Bu tip hataları

önlemenin yolu, döküm esnasında kabuk bölgesini azaltıcı yöntemler kullanmaktır. Ayrıca, takoz arkası ara işi miktarını bir miktar arttırarak oksitli kısmın profile geçmesi engellenebilir.

5.21.11 Kaba Tane Bandı

Matlaştırma ve eloksal sonrasında ortaya çıkan değişik tane boyutlarıdır. Genellikle orta kuvvette 6000 serisi alaşımlarda ve 3000 ve 3102 alaşımlarda ortaya çıkar, tane iriliğindeki değişimler, homojenizasyon, profil geometrisi, matris tipi ve tasarımı, baskı hızı ve sıcaklık gibi parametrelere bağlıdır. Düzgün bir homojenizasyon ve ekstrüzyon bu hataları azaltır.

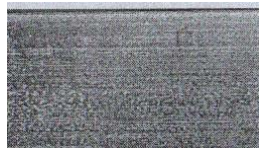
5.21.12 Takoz Arkası Hataları

Matlaştırma ve eloksal sonrası ortaya çıkan, ekstrüzyon yönüne doğru bir açı ile beliren koyu çizgilerdir. Bu çizgiler takoz üzerindeki akışı engelleyen bölge içinde birikmiş olan oksiti ihtiva etmektedir. Takozun son bölgesinde meydana gelir. Takoz arkası ara işlerinin boyunun ayarlanması ile bu hatalar önlenir.

5.21.13 Kesişen Kaynama Çizgileri

Bu hata kaynama odası olan matrislerde ve tüm boş profillerde her takozun başlamasında ortaya çıkar (ilk takoz hariç). Matris girişindeki alüminyum ile yeni takoz yüzeyindeki oksit tabakasının birleşmesinden ortaya çıkar ve kaçınılmazdır. Koyu "V" şeklindeki çizgilerdir ve V'nin ucu profilin ileri ucunu gösterir. Sabit bir kaynaktan ve kaliteli billet kullanılması, billetin ısı işlem ve döküm kalitesinin kontrol altında tutulması bu hataları azaltacaktır. Bu hatayı önlemek imkansız gibi görünse de bunu azaltmanın bir diğer yolu da matris girişindeki metal hacmini azaltmaktır. Ancak bu yolla "V" şeklinin boyu kısalmır.

Aşağıda tüm bu anlatılanlar ekstrüzyon hataları ile ilgili çeşitli şekiller gösterilmiştir.



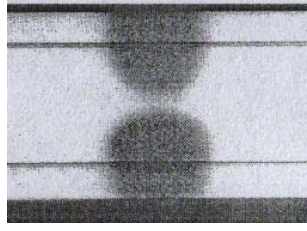
Şekil 5.1 Elokshal işlemi esnasında ortaya çıkan atmosferik korozyon lekeleri (AYİD, 2004).



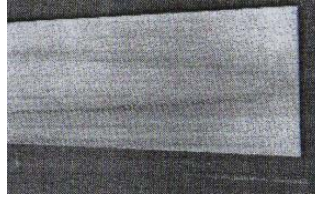
Şekil 5.2 Konveyörde oluşan hatanın eloksalda ortaya çıktığı durum (AYİD, 2004).



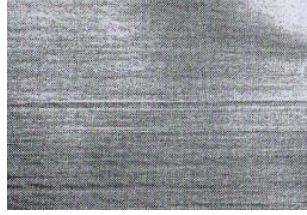
Şekil 5.3 Titanyum askı kullanılması sırasında galvanik tesir dolayısıyla boyanmamış bölgeler (AYİD, 2004).



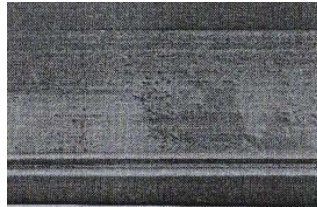
Şekil 5.4 Elokstada ortaya çıkan, presteki soğuma hatası izleri (AYİD, 2004).



Şekil 5.5 Köprülü matrislerde kaynama hatası (AYİD, 2004).



Şekil 5.6 Matris çizgileri (AYİD, 2004).



Şekil 5.7 Hammadde korozyonu dolayısıyla beyaz aşındırılmış bölgeler (AYİD, 2004).

6 UYGULAMA

Bu uygulamada AA6063 alüminyum alaşımının ekstrüzyon yöntemiyle üretimi esnasında meydana gelen kabarcık ve krater hatalarının sebebi ve bu hataya ait çözüm yoluna değinilecektir. Buna göre ilk olarak alaşıma ait detaylar verilecek ve daha sonra problemle ilgili öneriler ve uygulanan yöntem üzerinde durulacaktır.

6.1 Alaşım Detayları

Alaşıma ait detaylar uygulama alanı ve alaşım özelliklerini içermektedir.

6.1.1 Alaşımın Uygulama Alanı

Parlak çubuklar ve pencere çerçeveleri gibi mimari uygulamalar, motorlu taşıtların ön camlarına ait çerçeve profilleri ve transport sektörü alaşımın kullanıldığı yerlere ait tipik örnekler olarak verilebilir.

6.1.2 Alaşım Özellikleri

Özellikler; alaşım bileşenleri, dayanım özellikleri, fiziksel özellikler ve ekstrüzyon özellikleri olarak ele alınacaktır.

6.1.2.1 Alaşım Bileşenleri

Alaşıma ait kimyasal bileşim Çizelge 6.1’de, çeşitli normlarda alaşıma ait adlandırma ise Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Alaşıma ait kimyasal bileşim.

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Diğer elementler	
									Herbiri	Toplam
Minimum	0,40	0,18	-	-	0,45	-	-	-	-	-
Maksimum	0,45	0,22	0,02	0,03	0,50	0,02	0,02	0,02	0,02	0,10

Çizelge 6.2 Çeşitli normlarda alaşıma ait adlandırma.

Almanya DIN	İngiltere	Amerika	ISO	Fransa	İtalya	İsveç	Norveç
AlMgSi0.5 F22	6063	6063	Al-MgSi	6060	9006-1	4103	17310

6.1.2.2 Dayanım Özellikleri

Mekanik özellikler üretim ekipmanları, ekstrüzyonda kullanılan proses parametreleri ve proses parametrelerinin tutarlılığıyla değişiklik gösterebilir. Dayanım özelliklerinin her bir üretim çevrimi için kontrol edilmesi gerekmektedir. Ancak alaşım aşağıdaki mekanik özellikleri sağlamak için geliştirilir:

Çizelge 6.3 Isıl işlem sonrası alüminyum alaşımına ait mekanik özellikler.

Temper (AA)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Brinell Sertliği
T4	70	150	23	43
T6 (5 saat 185°C)	190	215	10	67

Dayanım, yaşlandırma işleminden önceki ara saklama zamanı ile değişiklik göstermektedir. Bu alaşım için dayanım değerleri, artan ara saklama zamanı ile artış gösterir. Suni yaşlandırmadan önceki 24 saatlik saklama dayanımı %5 oranında arttırır.

Düşük sıcaklıklardaki yaşlandırma (daha uzun süreyle) genellikle yüksek sıcaklıklardaki (daha kısa süreyle) yaşlandırmadan daha yüksek dayanım verir. Görsel bilgi ileride ısıl işlem başlığında grafiklerle verilecektir.

6.1.2.3 Fiziksel Özellikler

Tüm fiziksel özelliklere ait tipik değerler aşağıda bir çizelge şeklinde verilmiştir.

Çizelge 6.4 AA 6063 alüminyum alaşımına ait fiziksel özelliklerin tipik değerleri.

Özkütle	-	2,70-2,71 kg/dm ³
Elastisite modülü	-	69 kN/mm ²
Kayma modülü	-	26 kN/mm ²
Lineer genleşme katsayısı	20-100 °C	23 μ °C ⁻¹
Termal iletkenlik	20 °C	200 W/(m.K)
Özgül ısı kapasitesi	0-100 °C	880-900 J/(kg.k)
Özdirenç	20 °C	33 n Ω .m
İletkenlik	20 °C	52 %IACS
Erime aralığı	-	600-655 °C
k = kilo μ = mikro (10 ⁻⁶) n = nano (10 ⁻⁹)		

6.1.2.4 Ekstrüzyon Özellikleri

6.1.2.4.1 Ön Tavlama

Ekstrüzyon işleminde mümkün olan en verimli hızı sağlamak için ön tavlama sıcaklığı mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır fakat gereken solüsyon sıcaklığını ve iyi bir malzeme akışını sağlayabilmek için de yeterince yüksek seçilmelidir. Yüksek sıcaklıklarda çok uzun süre kalmak (örneğin presin durması ile ilgili olarak) billetin optimize edilmiş iç yapısını yok edebilir ve bu ekstrüzyon edilebilirliği ve mekanik özellikleri de düşürür.

6.1.2.4.2 Malzeme Akışı

Malzeme akışı aşağıdakilere bağlıdır:

- Konteynır ile olan sürtünme (Konteynır sıcaklığı).
- Deformasyon direnci (Katı çözeltildeki Mg ve Si).
- Konteynır gömleğinin yüzeyi.
- Ön levhanın yağlanması.
- Billetin başındaki sıcaklık ile sonundaki sıcaklık arasındaki fark (Taper).
- Ekstrüzyon oranı.
- Billet uzunluğunun billet çapına oranı.

6.1.2.4.3 Soğutma

Maksimum dayanımı sağlamak için çıkış sıcaklığı; Mg₂Si için çözelti sıcaklığının üzerinde olmalıdır ve soğutma; çökeltme miktarını azaltacak kadar hızlı olmalıdır. Bu ise alaşım için şunu ifade etmektedir; hava ile soğutma genellikle 10mm kalınlığa kadar olan açık profiller üzerinde taminkar sonuç vermektedir. Açık profiller için tavsiye edilen üretim parametreleri aşağıdaki gibidir:

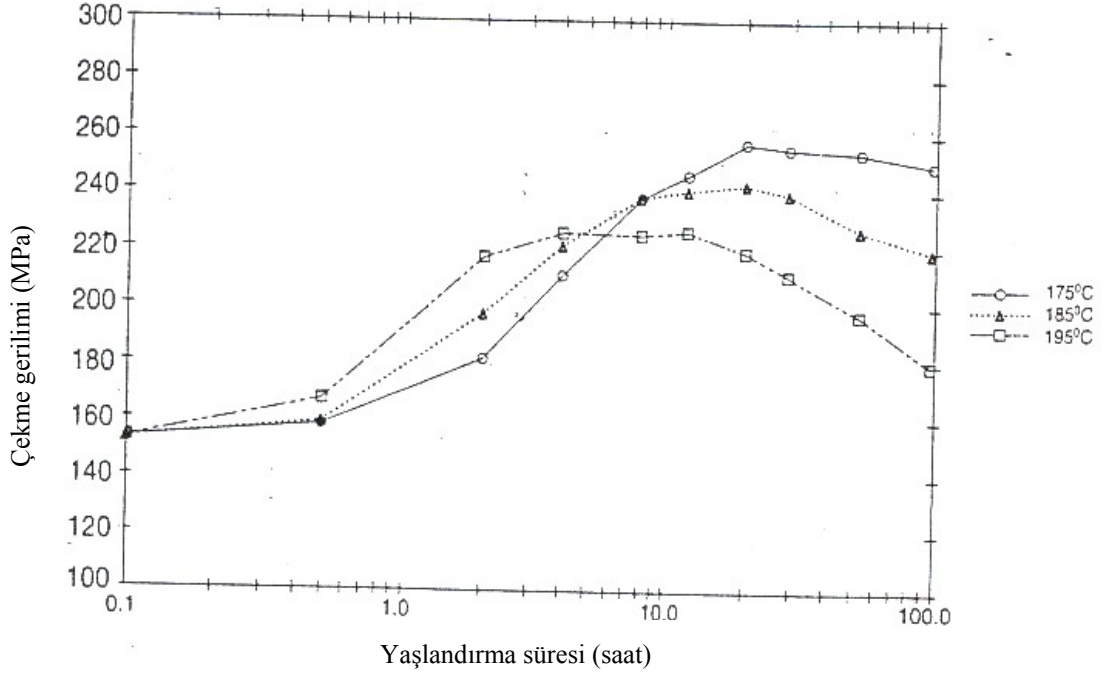
Çizelge 6.5 Açık profiller için üretim parametreleri.

Ön tavlama sıcaklığı (°C)	Sıc.farkı (°C)	Konteynır Sıcaklığı (°C)	Minimum çıkış sıcaklığı (°C)	Ekstrüzyon hızı (m/dk)	500°C den 250°C ye kadar tavsiye edilen maksimum soğutma zamanı
430-470	50-90	400	480	40	4 dk.

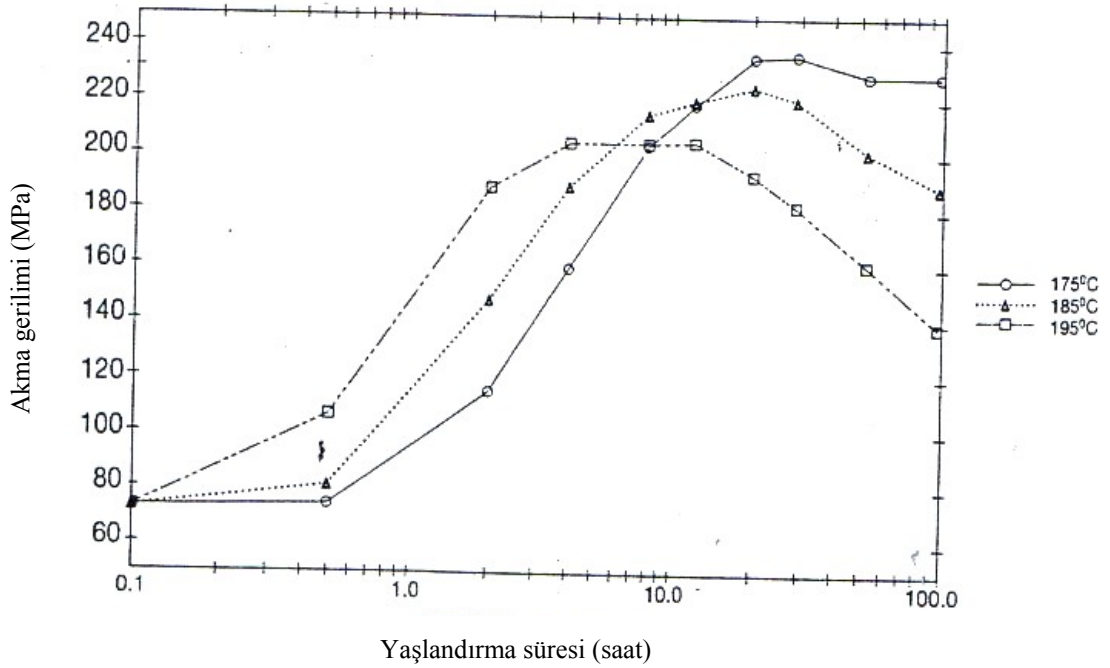
6.1.2.5 Isıl İşlem Özellikleri

Aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3) değişik sıcaklıklarda uygulanan suni

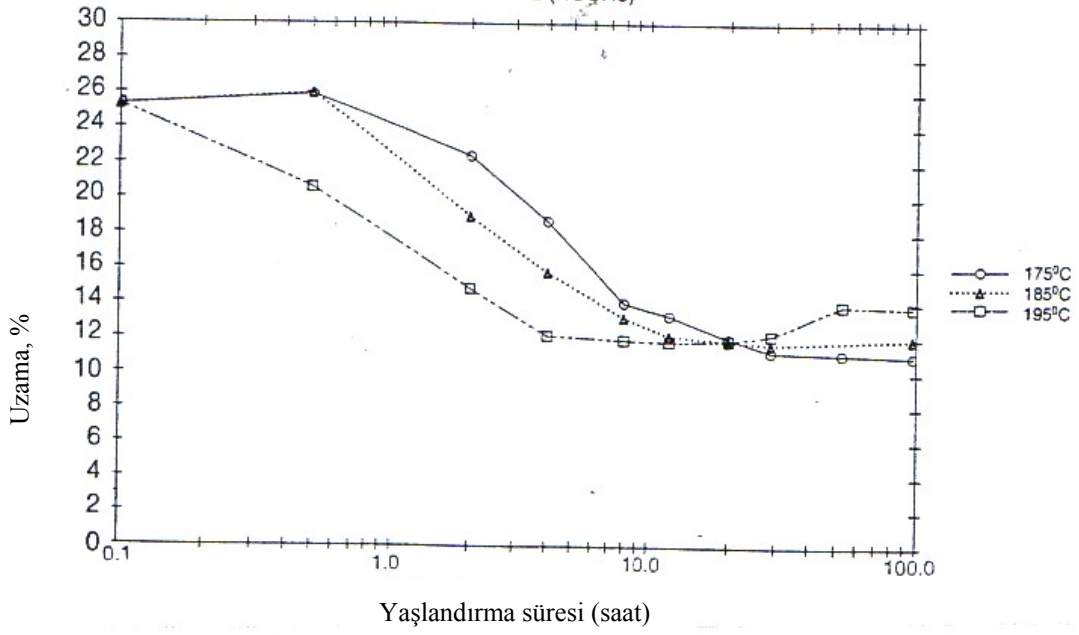
yaşandırmadan sonra elde edilen, alaşıma ait mekanik özellikler verilmiştir. Veriler; 540°C (20dk) solüsyon ısıt işlemleri gören, su ile soğutulan ve yaşlandırmadan önce 4 saat saklanan profillerden alınmıştır.



Şekil 6.1 Değişik sıcaklıklarda uygulanan suni yaşlandırmadan sonra alaşıma ait çekme gerilimi değerleri.



Şekil 6.2 Değişik sıcaklıklarda uygulanan suni yaşlandırmadan sonra alaşıma ait akma gerilimi değerleri.



Şekil 6.3 Değişik sıcaklıklarda uygulanan suni yaşlandırmadan sonra alaşıma ait uzama değerleri.

6.2 Problem Tanımı ve Çözüm Yolları

6.2.1 Problem Tanımı

Tedarikçi firmadan sağlanan AA 6063 biletlerle yapılan ekstrüzyon işlemi esnasında konteynırdan patlamaya benzer sesler duyulmuş bununla birlikte kabarcık ve krater problemlerleriyle karşılaşmıştır. Bunun üzerine üründe karşılaşılan kabarcık problemine çözüm bulunması kararına varılmıştır.

Üründe karşılaşılan problemler aşağıdaki makro resimlerle gösterilebilmektedir.



Şekil 6.4 Hatalı ürüne ait örnek.



Şekil 6.5 Hatalı ürüne ait örnek.



Şekil 6.6 Hatalı ürüne ait örnek.

6.2.2 Çözüm Yolları

Problemin kaynağını bulmak için bir billet dilimi, iki profil ve bir ara iş parçası değerlendirmeye alınmıştır.Yapılan incelemelere aşağıda başlıklar halinde değinilmiştir.

6.2.2.1 Araştırma Sonuçları

Problemin kaynağını bulmak için ilk adım malzemeyi incelemektir, böylelikle ekstrüzyon kalitesi üzerindeki negatif etki elemine edilebilir.

6.2.2.1.1 Standart Billet Kontrolü

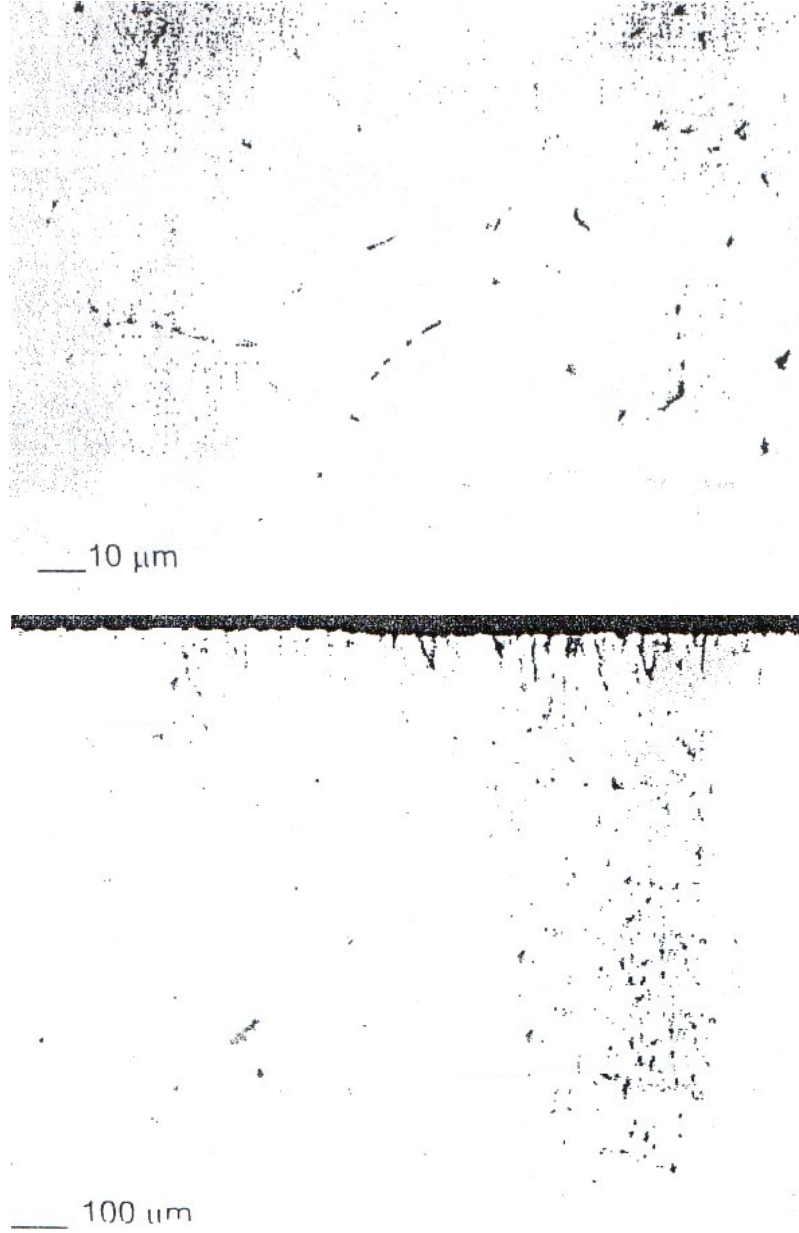
Billet bileşiminin standart billet kalite kontrolü yapılmıştır.Çizelge 6.6'da standartlar ve kimyasal analiz sonuçları birlikte gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 Billet dilimine ait kimyasal analiz sonuçları.

	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Na
Standart Değer	0,40-0,45	0,18-0,22	0,02	0,007-0,03	0,45-0,50	-
Kimyasal Analiz	0,43	0,19	> 0,001	0,009	0,47	0,0009

Şekil 6.7'de billet dilimine ait mikroyapılar gösterilmiştir.Buna göre;

- Demir içeren fazlar yapı içerisine dağılmış ve dönüşmüştür ($\beta \rightarrow \alpha$ AlFeSi).Dönüşüm derecesi iyidir.
- Partiküllerin sayısı limitler dahilindedir.
- Örnekteki ortalama tane büyüklüğü 100 μ m civarındadır.
- Ters segregasyon bölgesinin büyüklüğü 0 μ m den 80 μ m'ye kadar değişmektedir, ortalama değer 48 μ m'dir.Bu da ince bir ters segregasyon bölgesini ifade eder.
- Mg₂Si partiküllerinin sayısı istenen sınırlar dahilindedir.
- Porozite 3.sınıf olarak değerlendirilmiştir (1: en iyi, 6: en kötü).
- Örneğe ait sertlik değeri 42 HV5 tir.



Şekil 6.7 Alınan billet dilim örneğine ait mikroyapı (500x, üstte) ve ters segregasyon bölgesi (100x, altta).

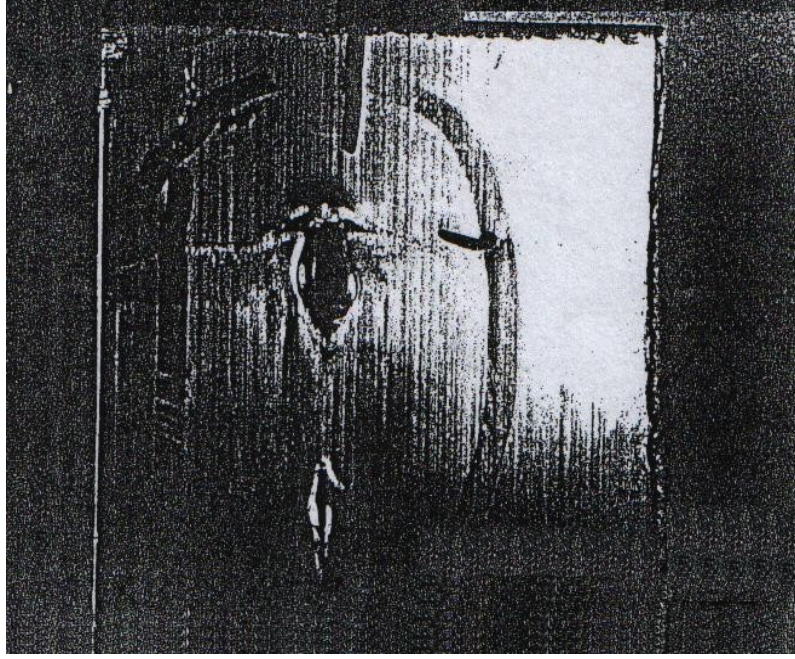
Billet kalite kontrolüne ilave olarak hidrojen analizleri de yapılmıştır. Bu analiz sonucunda ortalama değer 0,126 ml/100g Al olarak bulunmuştur.

Billet kalite kontrolü ve hidrojen analizleri şunu göstermiştir ki hem mikroyapı hem de alaşım bileşimi alınan billet dilimi için standartlar dahilindedir. Bundan dolayı araştırma sonucunda billetlerin bu şartlar altında hava kabarcıklarına neden olduğuna dair bir belirti yoktur.

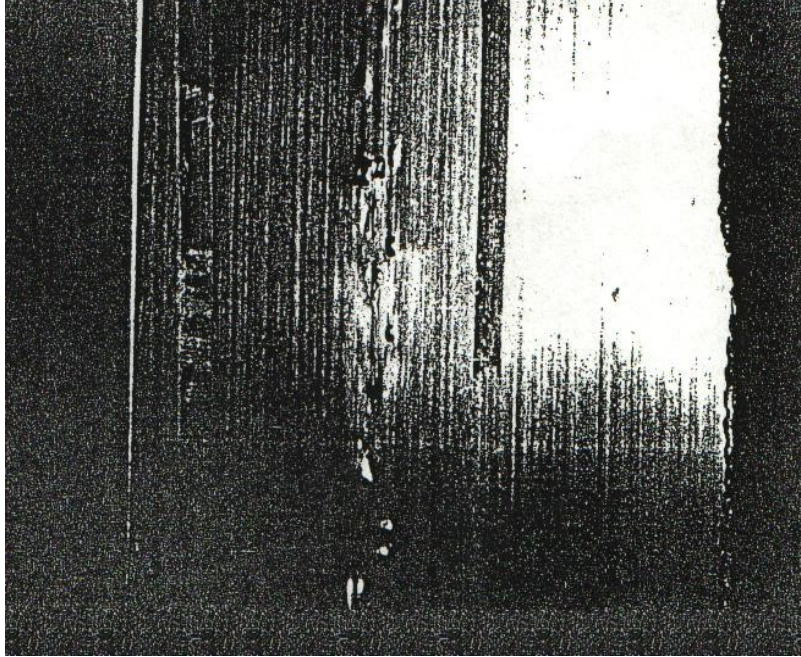
6.2.2.1.2 Profil Parçalarının İncelenmesi

Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da iki profil parçasındaki hatalar görülmektedir. Kraterler tüm uzunluk

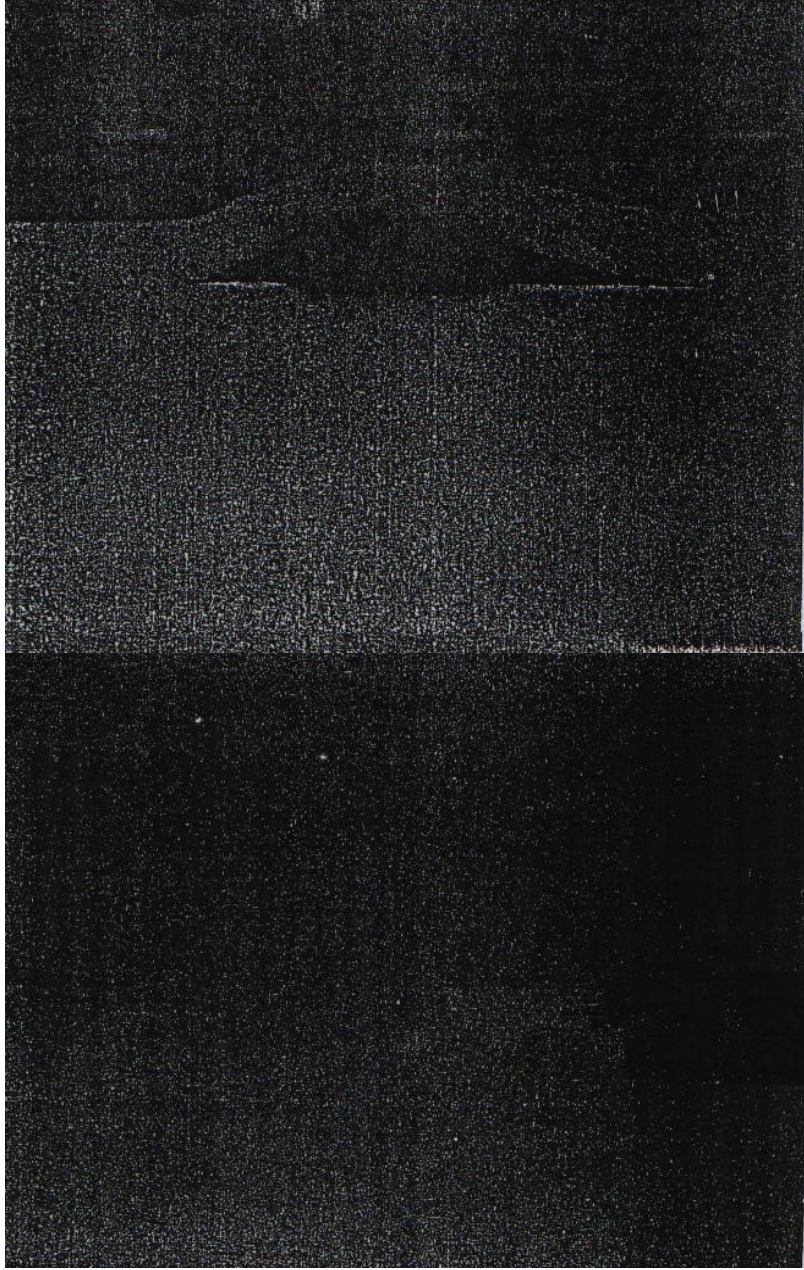
boyunca devam etmektedir.Hata bölgesinden hem enine hem de boyuna örnekler alınmıştır.Metalurjik araştırmaların sonuçları Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilmiştir.Őekillerdeki koyu alanlar profil üzerindeki kraterleri göstermektedir.Hata bölgesi ‘‘Tarama Elektron Mikroskopu’’ (SEM) ile incelenmiştir fakat inklzyona rastlanmamıştır.



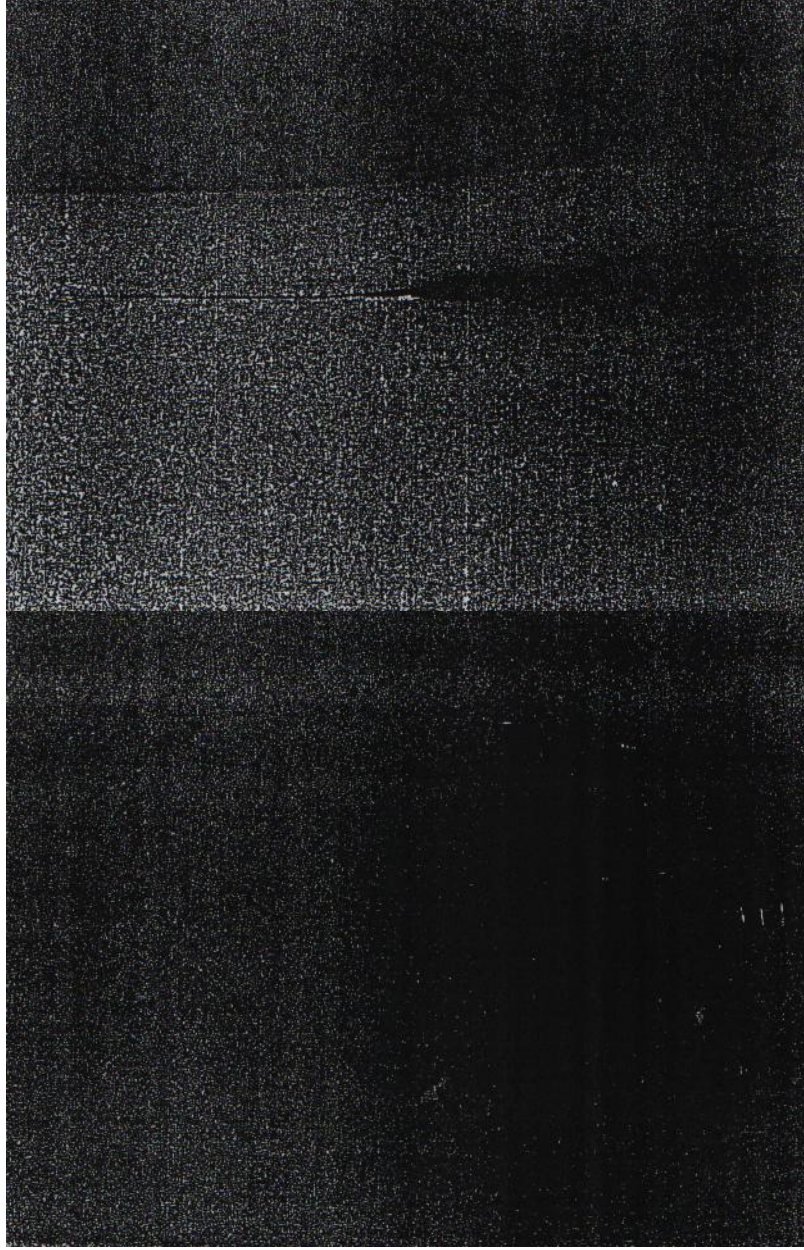
Şekil 6.8 Profildeki kraterlerin görünümü (1,6x).



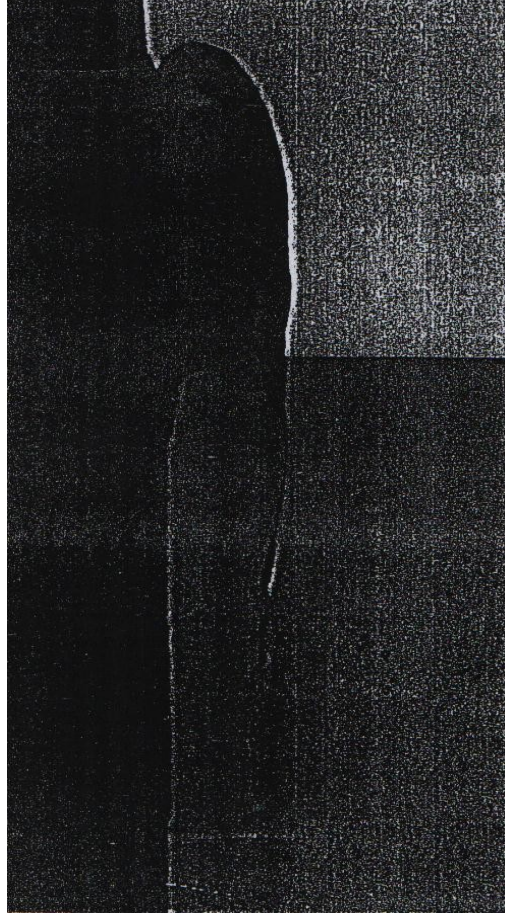
Şekil 6.9 Profildeki kabarcıkların görünümü (1,6x).



Şekil 6.10 Profilin hata alanı boyunca enine kesiti (50x üstte, 500x altta).



Şekil 6.11 Profilin hata alanı boyunca boyuna kesiti (50x üstte, 500x altta).

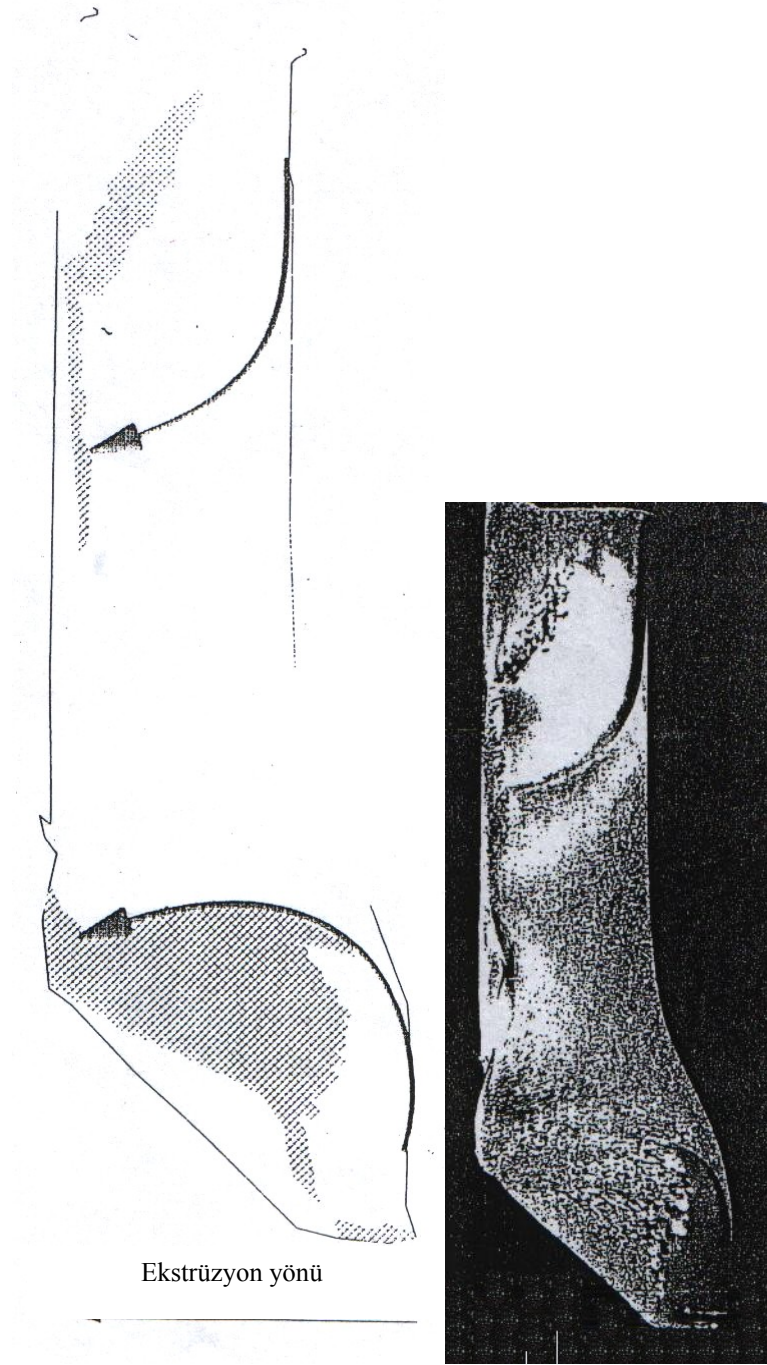


Şekil 6.12 Profilin hata alanı boyunca boyuna kesiti (50x).

Profil parçalarının incelenmesi sonucu malzemenin hava kabarcıklarına sebep olmadığı sonucuna varılmıştır. Konteynırın içerisine havanın sıkışması daha çok proses ile ilgili görünmektedir.

6.2.2.1.3 Ara İş Parçasının İncelenmesi

Ara iş parçası iki eşit parçaya bölünmüş ve metalurjik olarak tane yapısı ve malzeme akışını gösterecek şekilde hazırlanmıştır (Şekil 6.13). Şekil 6.13'te tane yapısı dağılımının gösterdiği gibi, konteynır içerisindeki malzeme akışı düzgün değildir. Bazı yüzey metallerinin içeri doğru aktığı (Şekil 6.13'teki oklar) tespit edilmiştir.



Şekil 6.13 Ara iş parçasının mikroyapısı ve malzeme akışına ait çizim (Oklar yüzey malzemesinin akışını, şeklin altındaki ok ekstrüzyon yönünü, taralı alanlar ise kaba taneleri göstermektedir).

Ara iş parçasının incelenmesi sonucu malzemenin hava kabarcıklarına sebep olmadığı sonucuna varılmıştır fakat düzgün olmayan malzeme akışı tespit edilmiş ve böylelikle konteynır düzeneğinin düzgün olmadığı ve konteynırın aşındığı görülmüştür.

6.2.2.1.4 İlave Bilgiler

Bu bilgiler tüm araştırmaları içermektedir.

- Billetlerin çapı 201,65mm ila 201,75mm arasında değişmektedir.
- Billet olarak başta da belirtildiği gibi AA6063 kullanılmaktadır.
- Proses parametreleri şu şekildedir:
Billet öntavlama sıcaklığı: 480°C'ta 1,5 dakika
Çekici hızı: 10,3 m/dk
Konteynır sıcaklığı: 445°C
Profil sıcaklığı: 535-543°C
Ayrıca tek boşluklu matris kullanılmıştır.

Konteynır sıcaklığının (445°C) bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiştir ve 420 ila 430°C luk bir sıcaklık aralığı daha uygun bulunmuştur.

Buna göre incelemeler sonrası alınan kararlar ise şu şekildedir:

- Billetler standart billet kontrol sonrasında iyi kalitede olduklarını kanıtlamışlardır; kimyasal bileşim doğru aralıktadır, ters segregasyon bölgesi incedir, dönüşüm derecesi ve Mg₂Si partiküllerinin sayısı standartlara uygundur.
- Hidrojen analizleri H₂ içeriğinin 0,126 ml/100g Al olduğunu göstermiştir.
- Ne billette ne de profilde inklüzyon yoktur fakat ekstrüzyon edilen profilin yüzeyinde küçük miktarda içeriye akış vardır.
- Ara iş parçasının incelenmesi düzgün olmayan malzeme akışını ortaya koymuştur.

Bu araştırmaların sonucunda hava kabarcıklarının, konteynır içerisinde havanın sıkışmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Ayrıca incelemeler sonrasında hatayı engellemek için önerilenler şu şekilde sıralanabilir:

- **Yığma basıncı:** Eğer basınç yeterli değilse yaklaşık %10 arttırılabilir. Ayrıca daha düşük bir şişirme hızı da yardımcı olacaktır.
- **Sıcaklık farkı:** Billet içerisindeki sıcaklık dağılımı veya seviyesi prosesin gerek duyduğu limitler içerisinde olmalıdır. Billetler ön tarafta komple deformasyona uğramadan arka tarafta deformasyona uğrayabilir, böylelikle hava hapsolmuş olur. Tüm bir billet boyunca pozitif temper (önde daha yüksek arkada daha düşük sıcaklık) sağlanmalıdır.
- **Ön levha:** Ön levhanın fonksiyonelliği büyük önem arz eder. Eksenden kaçıklıklara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- **Pres:** Ön levha, konteynır ve matrisin aynı ekseninde olması, iyi bir ekstrüzyon kalitesi ve düzgün bir malzeme akışını garanti altına almak amacıyla kontrol edilmelidir.
- **Konteynır sıcaklığı:** Tüm ekstrüzyon çevrimi boyunca operasyon sıcaklığı 420-430°C olmalıdır.

Alınan bu kararların ardından billetlerle ile yeni bir test yapılmıştır.

Üretim koşulları ise şu şekildedir:

- Billet sıcaklığı: 445°C
- Sıcaklık farkı: 140°C
- Konteynır sıcaklığı: 423°C
- Çekici hızı: 16m/dk

Test esnasında elde edilen gözlemler şu şekildedir:

Test 2 adet boşluktan oluşan daha geniş bir profile ile gerçekleştirilmiştir (açık profil 3mm et kalınlığındadır) çünkü kabarcık hataları duvar kalınlığı büyük olan geniş profillerde gözlenmektedir. Kabarcık oluşumları tekrar meydana gelmiştir ve bunlar daha çok üretilen profilin arka (son) kısmında meydana gelmektedir. Burada billetin arka kısmında akış karakteristiğinden dolayı bir çukurluk meydana geldiği tespit edilmiştir, dolayısıyla hava bu kısımda sıkışmaktadır.

Ayrıca yapılan inceleme sonucunda sıcaklık farkının lineer olmadığı ve en düşük sıcaklığın billetin orta bölümde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bir sonraki adım olarak billet sıcaklığı artırılmıştır. Sıcaklık önce 480°C'a daha sonra ise 490°C'a çıkartılmıştır. Çıkış sıcaklığında 15°C'lık bir dalgalanma gözlemlenmiştir. En soğuk çıkış sıcaklığı değeri arka uçta, bu da sıcaklık farkının çok büyük olduğunu göstermektedir. Billet ısıtıcısında bazı ayarlamalar yapılmıştır ve sıcaklık farkı daha makul hale getirilmiştir.

Böylelikle kabarcık oluşum ihtimalini arttıran etkenleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Şişirme çok düşük basınç ve çok kısa sürede gerçekleşmektedir. Bu ise konteynırın tamamen dolmasını engellemektedir.
- Havanın dışarı atılması sırasında ön levha çok kısa bir mesafeye kadar gitmektedir. Dolayısıyla havanın bir kısmı billet içerisinde hapsolmektedir.

Sonuç olarak ekstrüzyon işleminde kabarcıkların önlenmesi için parametrelerin şu şekilde

olması gerekmektedir:

- Şişirme basıncının 138 bar'a (2000 psi) arttırılması ve 2-3 saniye kadar daha uzun süre bu değerde tutulması gerekmektedir.
- Hava boşaltma sürecinde ön levha 5 ila 10mm daha fazla hareket ettirilmelidir.Böylelikle havanın dışarı atılması garanti altına alınmış olunur.
- Geniş profillerde billet sıcaklığı yaklaşık olarak 480°C'a çıkartılmalıdır.
- Sıcaklık farkı üzerinde çalışmalar yapılmalıdır.Billetin arka kısmı sıcaklığın en az olduğu kısım olmalıdır.Bu doğrultuda sıcaklık farkı 70°C ila 80°C civarına düşürülmelidir.
- Billet ısıtıcısının işlevselliği kontrol edilmelidir.Billetin istenen doğrultuda ısıtılabilmesi için bu madde büyük önem taşımaktadır.

Tüm bu verilerin ışığı altında, ekstrüzyon kalitesini bozan kabarcık hataları Şekil 4.1'deki değişkenlerin birer birer taranması ile bertaraf edilmiştir.Hatanın billet içerisine hava sıkışması yoluyla meydana geldiği ve bunun sebebinin ise presin hava boşaltma sürecinde yeteri miktarda ilerlememesi ve yeterli basıncın sağlanamaması olduğu tespit edilmiştir.Bununla birlikte ekstrüzyonun daha da düzenli hale getirilebilmesi için çıkış sıcaklıklarındaki dalgalanmalar minimuma indirilmiştir.

7 SONUÇLAR

Teorik ve uygulamaya dayalı olarak yaptığım bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Alüminyum ekstrüzyon prosesinde kontrol listelerinden toplanan parametrelerin akış şemaları vasıtasıyla analiz edilmesiyle proses verimliliğinin arttırılabileceği tespit edilmiştir.
2. Billet sıcaklığı ve çıkış sıcaklığının sürekli kontrolü ile sağlanan izotermal ekstrüzyon yöntemiyle profilin yüzey kalitesinin ve mekanik özelliklerinin artacağı saptanmıştır.
3. Optimum billet sıcaklığı ve buna bağlı çıkış sıcaklığı, doğru matris ve takım sıcaklıklarını kullanma, çıkış hızını kontrol etme, germe esnasındaki hasarı ve işçilik maliyetlerini azaltma yoluyla verimliliğin arttırılabileceği tespit edilmiştir.
4. Ekstrüzyon işleminde meydana gelen önemli hatalardan biri olan kabarcık ve krater hataları, konteynır sıcaklığının yüksek, şişirme basıncının düşük, şişirme hızının yüksek ve billet sıcaklığının lineer olarak dağılmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.
5. Bu önemli hatayı önlemek için, billete ait sıcaklık farkının düşürülmesi, hava boşaltma sürecinde ön levhanın bir miktar daha fazla hareket ettirilmesi, geniş profillerde billet sıcaklığının ve şişirme basıncının arttırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

AYİD, (2004), Alüminyum Ekstrüzyon Hataları.

Bingöl, S., (2001), Sürekli Ekstrüzyonda Kaynama Olayı ve Kaynamaya Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Biröl, Y., (2004), “ The Effect Of Homogenization Practice On The Microstructure of AA 6063 Billets”, Materials Processing Technology.

Chanda, T., Zhou, J., Duszczuk, J., (2001), “A Comparative Study On Iso-Speed Extrusion and Isothermal Extrusion Of 6061 Al Alloy Using 3D FEM Simulation”, Journal Of Materials Processing Technology, 114: 145-153.

Claves, S.R., Elias, D.L. ve Misiolak, W.Z., (2002), “ Analysis Of The İntermetallic Transformation Occuring During Homogenization of 6xxx Aluminum Alloys”, Materials Science Forum, Vol 396-402.

Çakmak, H.F., (1984),” Eritilmiş Alüminyumun Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Nitelik Denetimi”, II Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, 11-13 Ekim, Seydişehir.

Çapan, L., (1999), Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

Demircioğlu, P., (2002), Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Gaz Oluşumu ve Gaz Giderme Tekniklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dündar, S., Yılmaz, F., (1984),” İnküzyonların Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi”, II Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, 11-13 Ekim, Seydişehir.

Dyla, J.E., (1992), “Billet, Die and Container Lubricants”, Ekstrüzyon Teknolojileri Semineri.

Ersümer, A., (1960), Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri, İzmir Matbaası, İstanbul.

Gao, R.Q., Stiller, K., Hansen, V., Oskarsson, A., Danoix, F., (2002), “ Influence Of Aging Conditions On The Microstructure and Tensile Strength of Aluminium Alloy 6063”, Materials Science Forum, Vol. 396-402.

Göymen, H.V., (1988), Ekstrüzynda Matris Dizaynı ve Şeklinin Malzeme Akışı Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Granger, D.A., (1989), ”İngot Casting İn The Aluminum İndustry”, Treatise On Materials Science And Technology, Vol 31.

Horn, K.R.V., (1967), Aluminum Volume I, American Society for Metals, Ohio.

Horn, K.R.V., (1967), Aluminum Volume II, American Society for Metals, Ohio.

Horn, K.R.V., (1967), Aluminum Volume III, American Society for Metals, Ohio.

Jo, H.H., Lee, S.K., Lee, S.B., Kim, B.M., (2002), “Prediction Of Welding Pressure İn The

Non-Steady State Porthole Die Extrusion Of Al7003 Tubes”, International Journal Of Machine Tools & Manufacture.

Kovacs, E.C., (1987), “ The Effect Of Mn Addition and The Quenching Rate On The Properties Of An AlMgSi1 Alloy”, Materials Science Forum, Volume 13/14.

Li, L., Zhou, J., Duszczuk, J., (2004), “Prediction Of Temperature Evolution During The Extrusion Of 7075 Aluminium Alloy At Various Ram Speeds By Means Of 3D FEM Simulation”, Journal Of Materials Processing Technology, 145: 360-370.

Motegi, T., Tanabe, F., ve Sugiura, E., (2002), “Continuous Casting Of Semisolid Aluminium Alloys”, Materials Science Forum, Vol 396-402.

Onurlu, S., (1993), Homojenleştirilmiş AA 6063 Alaşımlarının İç Yapısı ve Özellikleri, Doktora Tezi, İTÜ.

Saha, P.K., (2000), Aluminum Extrusion Technology, ASM International, Ohio.

Sezer, M., (1975), Alüminyum Metalurjisi, TMMOB.

Sönmez, H., (1989), Metal Ekstrüzyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Ulucak, T., (2003), AA 6063 Alüminyum Alaşımının Metalurjisi, Saray Alüminyum.

Yurci, M.E., (1999), Talaşsız Şekil Verme, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 99.0490, İstanbul.

Zajac, S., Bengtsson, B., Johansson, A. ve Gullman, L.O., (1996), ” Optimisation of Mg₂Si Phase For Extrudability Of AA 6063 and AA 6005 Alloys”, Materials Science Forum, Vol 217-222.

Zajac, S., Bengtsson, B. ve Jonsson, C., (2002), ” İnfluence Of Cooling After Homogenization and Reheating to Extrusion and Final Properties of AA 6063 and AA 6082 Alloys”, Materials Science Forum, Vol 396-402.

Zalensas D.L., (1986), Aluminum Casting Technology, American Foundrymen's Society.

Zhou, J., Li, L., Duszczuk, J., (2004), “Computer Simulated and Experimentally Verified Isothermal Extrusion Of 7075 Aluminium Through Continuous Ram Speed Variation”, Journal Of Materials Processing Technology, 146: 203-212.

Zhuang, L., Bottema, J., Kaasenbrood, P., Miller, W.S. ve Smet, P.D., (1996), “The Effect Of Small Particles On Annealed Grain Size and Texture Of Al-Mg-Si Alloys”, Materias Science Forum, Vol 217-222.

İnternet Kaynakları:

[1] www.aga.se

[2] <http://www.alfed.org.uk/transport.htm>

[3] http://www.snelsons.co.uk/aluminium_properties.html

[4] www.Wagstaff.net

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 11.12.1979

Doğum yeri Muğla

Lise 1990-1997 Muğla Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2001 Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Makina Müh. Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

2004-2004 Klips Mühendislik