

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA FİREYİ
AZALTACAK KALIP TASARIMI

Davut BAŞARAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GEBZE
2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA FİREYİ
AZALTACAK KALIP TASARIMI

Davut BAŞARAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
YRD. DOÇ. DR. İlyas KANDEMİR

GEBZE
2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15 /01/2010 tarih ve 2010/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/01/2010 tarihinde tez savunma sınavı yapılan DAVUT BAŞARAN'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Yrd. Doç.Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE

:Doç.Dr. Fehmi ERZİNCANLI

ÜYE

:Yrd.Doç.Dr. Cenk Çelik

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

**TEZİN BAŞLIĞI: ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA FİREYİ
AZALTACAK KALIP TASARIMI**

YAZAR ADI : DAVUT BAŞARAN

Günümüzde alüminyum alaşımlarının birçok üstün özelliğinden dolayı, uygulama alanları ve şekillendirme yöntemleri hızla artmıştır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri de ekstrüzyon yöntemidir.

Ekstrüzyon yöntemi günümüzde çok yaygın uygulama alanı bulmuştur. Geliştirilen yöntemler sayesinde, ekstrüzyon parametreleri ve dolayısıyla mamul kalitesi iyileşmiştir. Malzeme akışını iyileştirmek, ekstrüzyon hızını arttırmak, kaliteli mamul elde etmek, fireyi ve üretimi maliyetini azaltmak için ekstrüzyon parametreleri üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Ekstrüzyon yönteminde yöntemin ekonomikliğini, ürünlerin yüzey kalitesini ve ekstrüzyon firesini etkileyen en önemli eleman ekstrüzyon kalıbıdır. Kalıp ekstrüzyon mamul ve yarı mamulüne son şeklini veren eleman olması dolayısıyla, kalıp tasarımında ve imalatında gereken dikkatin gösterilmesi gerekmektedir.

Bu tezin içeriğinde ekstrüzyon konusunda genel bazı bilgiler verildikten sonra alüminyum ve alaşımları hakkında bilgiler verilmiştir. Alüminyum malzemesinin özellikleri ve ekstrüzyon işleminin temel hatları ile anlatımından sonra da tezin asıl çalışma konusu olan ekstrüzyon hataları, ekstrüzyon kalıpları, ekstrüzyon kalıp tasarımı ve alüminyum ekstrüzyonunda fireyi azaltan kalıp tasarımı konularının incelenmesine geçilmiştir.

SUMMARY

**TITLE : ALUMINUM EXTRUSION DIE DESING THAT
REDUCING PIPING**

AUTHOR : DAVUT BAŞARAN

Because of the numerous superior properties that aluminum alloys possess, the application fields and the variety of forming methods have increased rapidly today. Extrusion method is one of the most important of those methods.

It is known that the extrusion method has a very wide range of application field today. With the help of new techniques developed, extrusion parameters and consequently the quality of product has been improved.

The studies on parameters for following aspects are still in progress, improving the material flow, increasing the extrusion speed, achieving quality products, decreasing the piping and lowering the cost.

In this process, extrusion die significantly has an effect on product quality, piping and cost saving. Necessary importance and attention should be given for fabrication of extrusion dies since they gave the final shape on semi-finished products.

In this thesis study, general infromation about extrusion has been introduced and some information about aluminum and its alloys has been presented. After the introduction of aluminum material charecteristics and basic of extrusion process, the research about the main study of this thesis; extrusion defects, extrusion dies, extrusion die desing and aluminum extrusion die desing that reducing piping has been examined.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın bütün aşamalarında engin bilgi ve tecrübeleri ile benden yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR'e en samimi teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve yardımlarından fazlaca yararlandığım kıymetli arkadaşım Sn. Arş. Gör. Alaattin Metin KAYA'ya en içten şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında beni destekleyen ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli çalışma arkadaşlarım Sn. Mak. Müh. Mustafa ŞEN, Sn. Çev. Müh. Mahmut Rüçhan DÜZYOL ve tüm MES MAKİNA A.Ş. çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu aşamasında da benden manevi desteğini esirgemeyen eşime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	
xvi	
1. GİRİŞ	1
2. EKSTRÜZYON	2
2.1. Ekstrüzyonun Tanımı	2
2.2. Ekstrüzyon Yöntemleri	3
2.2.1. Direkt Ekstrüzyon Yöntemi	3
2.2.2. Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi	6
2.2.3. Püskürtme Ekstrüzyon Yöntemi	7
2.2.4. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi	9
2.3. Ekstrüzyon Takımları	11
2.3.1. Kovan	12
2.3.2. İstampa	15
2.3.3. Kalıp Sürgüsü veya Döner Kalıp Başlığı	16
2.3.4. Yardımcı Donanımlar	18
2.4. Entegre Sistemler	24
2.5. Ekstrüzyon Presi Seçimi	26
2.6. Ekstrüzyon Malzemeleri	27
2.6.1. Alüminyum Ekstrüzyonu	28
2.6.2. Bakır Ekstrüzyonu	28
2.6.3. Magnezyum Ekstrüzyonu	29
2.6.4. Çeliklerin Ekstrüzyonu	29
2.6.5. Zirkonyum Ekstrüzyonu	29
2.6.6. Kurşun ve Kalay Ekstrüzyonu	
30	
2.6.7. Titanyum Ekstrüzyonu	30
2.6.8. Berilyum Ekstrüzyonu	30
2.6.9. Nikel Ekstrüzyonu	30
2.7. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı	31
2.7.1. Malzeme Akışı Araştırma Yöntemleri	33
2.7.2. Direkt Ekstrüzyon Yönteminde Malzeme Akışı	34
2.7.2.1. A Tipi Malzeme Akışı	35
2.7.2.2. B Tipi Malzeme Akışı	36
2.7.2.3. C Tipi Malzeme Akışı	36
2.7.2.4. D Tipi Malzeme Akışı	37
2.7.2.5. Profillerin Ekstrüzyonunda Akış	37
2.7.2.6. Çok Delikli Matrislerde Akış	40
2.7.2.7. Konik Matrislerde Akış	42

2.7.2.8. Boruların Ekstrüzyonunda Akış	43
2.7.2.9. Merkezden Kaçış, Eksantrik Deliklerden Akış	43
2.7.3. Endirekt Ekstrüzyonda Akış	44
3. ALUMİNYUM VE ALUMİNYUMUN EKSTRÜZYONU	45
3.1. Alüminyumun Özellikleri	45
3.1.1. Atom Yapısı ve Kristal Kafesi	47
3.1.2. Fizikokimyasal Özellikleri	48
3.1.2.1. Yoğunluk	48
3.1.2.2. Ergime Noktası	49
3.1.2.3. Kaynama Noktası	49
3.1.2.4. Isı iletkenliği	49
3.1.2.5. Viskozite ve Yüzey Gerilimi	49
3.1.2.6. Elektrik İletkenliği	50
3.1.2.7. Ergime Isısı	50
3.1.2.8. Özgül ısı ve Entropi	50
3.1.3. Mekanik Özellikler	51
3.2. Alüminyum ve Alaşımları	52
3.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılmaları	52
3.2.2. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarına Kazandırdıkları Özellikler	53
3.2.3. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlem Durumuna Göre Sınıflandırılması	56
3.2.3.1. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri ve Isıl İşlem Simgeleri	56
3.2.4. AlMgSi Alaşımları (6xxx serisi)	58
3.2.4.1. 6xxx Serisi Alaşımlarının Özellikleri	60
4. EKSTRÜZYON HATALARI	65
4.1. Yüzey Hataları	65
4.1.1. Çanak ve Kabarcık Oluşumu	66
4.1.2. Yüzey Pürüzlülüğü	67
4.1.3. Kaba Tane Oluşumu	70
4.1.4. Geometrik Boyut ve Biçim Hataları	72
4.1.5. Malzemenin Kalıp Kenarından Kaçak Yapması	74
4.1.6. Boru Ekstrüzyonunda İç Hatalar	74
4.2. Ekstrüzyon Sonunda Boşluk Oluşumu	75
4.3. İkilenme Hatası	78
5.EKSTRÜZYON KALIPLARI VE KALIP TASARIMI	81
5.1. Ekstrüzyon Kalıpları	81
5.1.1. Kalıp Malzemesi	81
5.1.2. Kalıp Çeşitleri ve Tasarımı	83
5.1.2.1. Düz ve Konik Kalıplar	83
5.1.2.2. Kalıp Deliği Kanal Uzunluğu	86
5.1.2.3. Dolu ve İç Boş Profil Kalıpları	87
5.1.2.4. Köprülü Ekstrüzyon Kalıbı	88
5.1.2.5. Spider Ekstrüzyon Kalıbı	88
5.1.2.6. Odalı Ekstrüzyon Kalıbı	89

5.2 Ekstrüzyon Kalıbının Boyutlandırılması	89
5.2.1. Ekstrüzyon Kalıp Çapının Boyutlandırılması	90
5.2.2. Ekstrüzyon Kalıp Kalınlığının Boyutlandırılması	90
5.2.3. Kalıp Grubu Dış Çapının Boyutlandırılması	90
5.2.4. Destek Kalınlığı ve Kalıp Grubu Toplam Yüksekliği	91
 6. ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA FİREYİ AZALTACAK KALIP TASARIMI	92
6.1. Ekstrüzyon Kalıbı Tasarımı	92
6.2. Ekstrüzyon Kalıbı Arkalığı Tasarımı	97
6.3. Ekstrüzyon Kalıbı Sürgüsü Tasarımı	98
6.4. Ekstrüzyon Kalıbı Destek Plakaları Tasarımı	98
6.5. Ekstrüzyon Kalıp Setinin Tasarımı	100
 7. UYGULAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	102
7.1. Deney Tasarımı	103
7.1.1. Taguchi Metodu	103
7.2. Deneysel Çalışmalar	105
7.2.1. Faktörlerin Seçimi	105
7.2.2. Deneyin Tasarlanması	105
7.2.3. Deney Sonuçlarının Belirlenmesi	106
7.2.4. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı	107
7.2.5. Varyans Analizi (ANOVA)	110
 8.SONUÇLAR	114
8.1. Öneriler	114
 KAYNAKLAR	115
 ÖZGEÇMİŞ	117

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

σ_A	Akma gerilmesi
φ_{Fr}	Şekil değiştirme kabiliyeti
W	şekil değiştirebilirlik
A^0	Angstrom
MN	Meganewton
HB	Brinell sertlik değeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Ekstrüzyonun temel prensibi	2
2.2. Çeşitli ekstrüzyon ürünleri	3
2.3. Direkt ve endirekt ekstrüzyon	4
2.4. Direkt ve endirekt ekstrüzyon yöntemlerinde ıstampanın hareketiyle yük veya basıncın değişimi	5
2.5. Püskürtmeli ekstrüzyon yönteminin şematik gösterimi a) ileriye püskürtme b)geriye püskürtme	8
2.6. Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş basınçlı tüpler	9
2.7. Hidrostatik ekstrüzyon	9
2.8. İleriye ekstrüzyon presinin şematik görüntüsü	12
2.9. Bir ileriye ekstrüzyon presinin karakteristik büyüklükleri	12
2.10. İndüksiyon sistemi ile ısıtılmalı üç parçalı	13
2.11. Sabit bir takoz yastığı ve ıstampası	15
2.12. Kalıp tutucu sistem a) kalıp sürgüsü, b) döner kalıp başlığı	16
2.13. Doğru bir kesme işlemi için kalıp yerleştirme düzeneği	17
2.14. Kalıp kaset ısıtıcısı	18
2.15. Presle bağlantılı çalışan yardımcı donanımlar	19
2.16. 150 tonluk sıcak takoz soyma sistemi	20
2.17. Çok kamaralı, ayrı ayrı açılabilen kalıp fırını	20
2.18. Profiller için özel su püskürtmeli ani soğutma sistemi	21
2.19. Sıcak kesme ve çekme çenelerinin görüldüğü bir pres çıkış sistemi	22
2.20. Gerdirme düzeneği arka çenesi	23
2.21. Otomatik profil istifleme düzeneği	24
2.22. Verimlilik kontrol sisteminin işlevsel blok diyagramı	26
2.23. Ekstrüzyondaki hız dağılımı	32
2.24. Koordinat usulüne göre hazırlanmış blok	33
2.25. Vasıtasız ekstrüzyonda takozun çevresinin ve merkezin izlediği yol	34
2.26. Ekstrüzyonda oluşan malzeme akış tipleri	35
2.27. Direkt ekstrüzyonda takozdaki hız dağılımı	36
2.28. İki delikli profil ve H profil bloklarının matris deliğine akışı	38

2.29.	Direkt ve endirekt ekstrüzyonda blok yüzeyinin şekil değiştirmesi	44
3.1.	Alüminyum kristal kafesi elementel küpünün yapısı	48
3.2.	Alüminyum kristal kafesi elementel küpündeki iyon dizilişi	48
3.3.	Ergimiş alüminyumun viskozitesi	50
4.1.	Ekstrüzyonda oluşan hız çatlağı	69
4.2.	Boru ekstrüzyonunda salgılı ürün	73
4.3.	Boru ekstrüzyonunda iç hatalar	75
4.4.	Direkt ekstrüzyonda küresel hız alanları ve boşluk oluşumu	76
4.5.	Direkt ekstrüzyonda oluşan boşluk	77
4.6.	Çeşitli boşluk oluşumu örnekleri	78
4.7.	Ms63 malzemeden çubuk ekstrüzyonunda oluşan ikilenme hatası	79
5.1	Düz ve konik matrisler	84
5.2.	Direkt ekstrüzyonda değişik matris açılarında takozun durumu	85
5.3.	Çok parçalı ve çok delikli köprülü matris	88
5.4.	Spider matris için takım tertibi	89
6.1.	Ekstrüzyonda boşluk oluşumu	92
6.2.	Alüminyum ekstrüzyon kalıbı tasarımı	94
6.3.	Tasarlanan ekstrüzyon kalıbının kesit görünüşü	95
6.4.	Ekstrüzyon kalıbı arkılığı tasarımı	97
6.5.	Ekstrüzyon kalıbı sürgüsü	98
6.6.	Ekstrüzyon kalıbı 1. destek plakası	99
6.7.	Ekstrüzyon kalıbı 2. destek plakası	100
6.8.	Ekstrüzyon kalıbı montaj resmi	101
6.9.	Ekstrüzyon kalıbı montajlanmış hali	101
7.1.	Tüm faktörler ve seviyeler için ortalama S/N oranları	109
7.2.	Pompa debisi için sağlam üretim uzunluğu tablosu	111
7.3.	Kovan sıcaklığı için sağlam üretim uzunluğu tablosu	112
7.4.	Takoz sıcaklığı için sağlam üretim uzunluğu tablosu	113

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
7.1. Deney faktörleri ve seviyeleri	105
7.2. 3 seviyeli 3 faktör için Taguchi L9 deney planı	106
7.3. Taguchi L9 Deney Tasarımına göre deney sonuçları	107
7.4. Taguchi L9 Deney Tasarımına göre deney sonuçları ve S/N oranları	108
7.5. Tüm faktörler ve seviyeler için ortalama S/N oranları	109
7.6. Pompa debisi için Taguchi L9 deney tasarımına göre varyans analizi tablosu	110
7.7. Kovan sıcaklığı için Taguchi L9 deney tasarımına göre varyans analizi tablosu	111
7.8. Takoz sıcaklığı için Taguchi L9 deney tasarımına göre varyans analizi tablosu	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Ekstrüzyon takımları koruyucu bakım kontrol listesi	14
2.2. Malzeme akışını etkileyen faktörler	31
2.3. Direkt ekstrüzyon yönteminde malzeme akış tiplerinin karakteristikleri	38
3.1 Alüminyumun özellikleri	44
3.2 Alüminyumun özgül ısısı	50
3.3 Alüminyum alaşım çeşitleri	52
3.4 AA6005A'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları	59
3.5 AA6016'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları	60
3.6 AA6060'ın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları	60
3.7 AA6061'in çeşitli özellikleri ve uygulama alanları	61
3.8 AA6063'ün çeşitli özellikleri ve uygulama alanları	61
3.9 AA6082'nin çeşitli özellikleri ve uygulama alanları	62
3.10 AA6106'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları	63
5.1. Matris ve malafa malzemeleri	80
6.1. 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi	90

1.GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımlarının birçok üstün özelliği bulunduğundan, uygulama alanları hızla çoğalmaktadır. Buna bağlı olarak alüminyum şekillendirme yöntemleri çeşitlenmektedir. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri, belki de en önemlisi ekstrüzyon yöntemidir. Ekstrüzyon yöntemi, çeşitli kesit ve geometriye sahip profillerin biçimlendirilmesinde kullanılan önemli bir şekil verme yöntemidir. Ekstrüzyon yönteminde en çok kullanılan malzeme olan alüminyumun korozyon direncinin düşük olması, hafif olması, uzun ömürlü olması, yoğunluğunun düşük olması, ve işlenmesinin kolay olması gibi bir çok üstün özelliğinden dolayı otomotiv, inşaat, havacılık, savunma sanayisi, deniz ve demiryolu taşıtları, ambalaj sektörü gibi birçok sektörde kullanılmaktadır.

Endüstriyel çapta üretilen alüminyum, günümüzde demir dışı metallerin toplam kullanım miktarından daha fazla miktarda kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları içerisinde en çok kullanılan alaşım çeşidi 6xxx (AlMgSi) serisidir. Ekstrüzyon yönteminde de oldukça yaygın olarak kullanılan bu alaşım çok iyi plastik şekil alabilmekte, temiz yüzeyli olarak üretilebilmekte ve yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulup dayanımları arttırılabilmektedir.

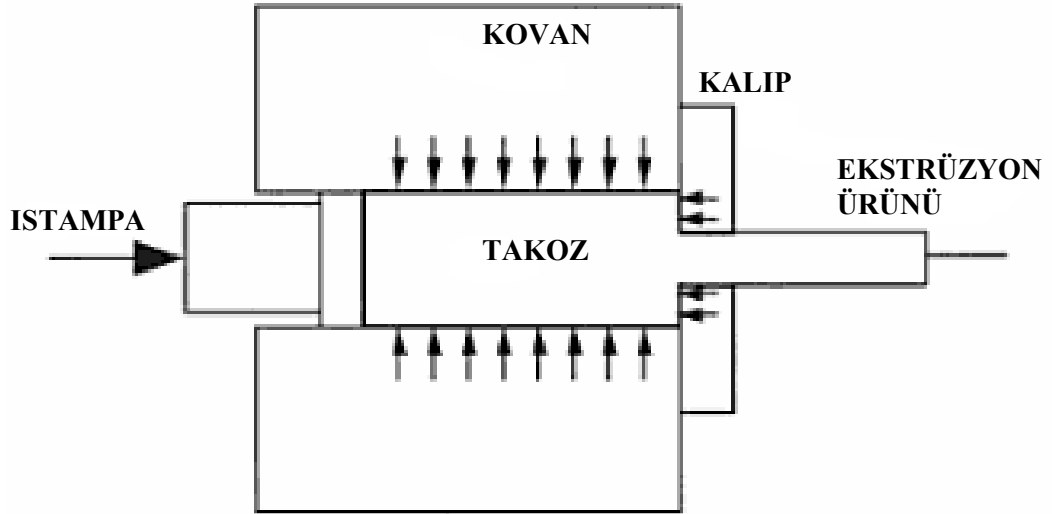
Bu tezin amacı da endüstride çok yaygın olarak kullanılan 6061 serisi alüminyum alaşımı malzemesinin ekstrüzyonunda ortaya çıkan ekstrüzyon firesini incelemek; bu fire miktarını azaltacak ekstrüzyon kalıbı tasarımı yapmak, tasarımını yapılan bu ekstrüzyon kalıbını imal ederek; çeşitli ekstrüzyon parametrelerinin ekstrüzyon firesi üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerini incelemektir.

2.EKSTRÜZYON

2.1 Ekstrüzyonun Tanımı

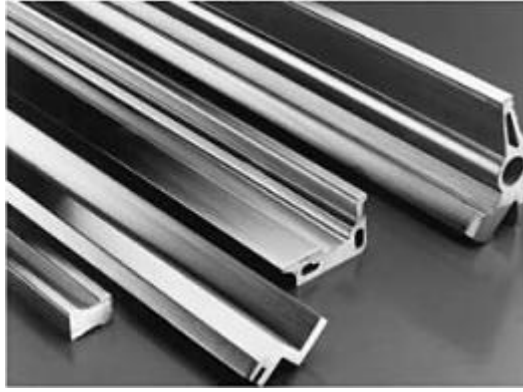
Ekstrüzyon, bir metal bloğun (takozun) sıkıştırılarak; daha küçük kesit alanına sahip kalıp boşluğundan akmaya zorlandığı bir plastik şekillendirme yöntemidir. Ekstrüzyon dolaylı bir sıkıştırma işlemidir. Dolaylı sıkıştırıcı kuvvet, metal blok ile kalıp ve kovan arasındaki tepki vasıtasıyla gelişir ve bu kuvvetler yüksek değerlere ulaşır.

Ekstrüzyon yöntemi kullanılan alaşıma ve kullanılan metoda bağlı olarak soğuk veya sıcak şekilde yapılabilmektedir. Sıcak ekstrüzyonda, takoz baskı öncesi ısıtıldığından şekil değiştirme daha kolay sağlanabilmektedir. Ekstrüzyon temel prensibi Şekil 2.1’de gösterilmektedir. (Saha,2000)



Şekil 2.1. Ekstrüzyonun temel prensibi [Saha,2000].

Ekstrüzyon ile 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 kesit şekilleri elde edilebilmektedir [Çapan,1999]. Şekil 2.2’de çeşitli ekstrüzyon ürünleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Çeşitli ekstrüzyon ürünleri [Bauser,2006]

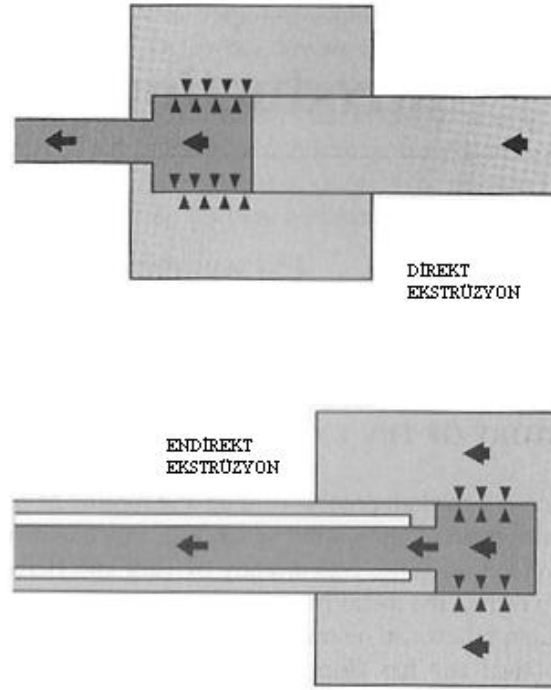
2.2 Ekstrüzyon Yöntemleri

Ekstrüzyon yöntemlerini malzemenin akış yönü ve kuvvetin iletilme biçimine, matrisin hareketli veya sabit olmasına göre dörde ayırabiliriz:

- Direkt ekstrüzyon yöntemi
- Endirekt ekstrüzyon yöntemi
- Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi
- Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi

2.2.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

Direkt ekstrüzyon yönteminde, kovan içerisindeki takoz ıstampa tarafından itilerek, diğer uçtaki matris deliğinden geçirilir. Malzeme akışı ve zorlama aynı yöndedir. Matris sabittir, ıstampa ve takoz kovana göre bağıl hareket yaparlar. Bu bağıl hareketten dolayı kovan ile takoz arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünme kuvveti, takozun matrise doğru hareket etmesini önlemeye çalışır, gerekli ekstrüzyon kuvvetini ve ekstrüzyon artığını artırır [Sönmez,1989]. Şekil 2.3’de direk ekstrüzyon yöntemi gösterilmiştir.



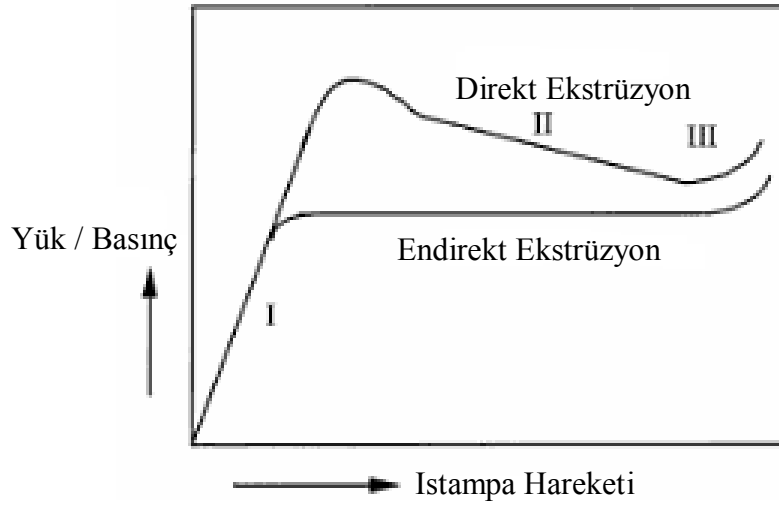
Şekil 2.3. Direkt ve indirekt ekstrüzyon [Sheppard,1999]

Bununla birlikte takoz çevresinin yavaş, merkezinin ise hızlı hareket etmesinden dolayı takozun sonunda huni şeklinde bir boşluk meydana gelir. Büyük kuvvetler kullanılıp; takozun hepsi ekstrüzyon edilmeye çalışılsa dahi, ekstrüzyon işleminden çıkan ürünün sonu hatalı olmaktadır. Bu nedenle direkt ekstrüzyon yönteminde bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmadır(takozun yaklaşık %30'u kadar).

Direkt ekstrüzyon sırasında ıstampanın hareketiyle birlikte yük veya basınçtaki değişim genel olarak Şekil 2.4'te verilen formadadır. Geleneksel olarak bu proseste üç farklı evre tanımlanmaktadır:

1. Takoz sıkışmaya başlar ve basınç hızla artarak en yüksek değerine ulaşır.
2. Ekstrüzyon işlemi gerçekleşmeye başladığında basınç azalır, bu bölge "rejim" hali olarak adlandırılmaktadır.

3. Basıncın en düşük olduğu değere inmesinin ardından takozdan arta kalan “koçan” sıkışmaya başladığından basınç aniden yükselmeye başlar.



Şekil 2.4. Direkt ve endirekt ekstrüzyon yöntemlerinde ıstampa hareketiyle yük veya basıncın değişimi [Saha,2000]

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

Direkt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. İstenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta yarı mamul imal olanağı sağlar.
2. Takım düzenlemesi koladır.
3. İşletme yönünden kolaylıklar sağlar.
4. Çeşitli dolu ve içi boş profiller kolaylıkla elde edilebilir.
5. Matris çapı, kovanın iç çapı tarafından sınırlanmamaktadır.

Direkt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Gerekli ekstrüzyon kuvveti, endirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha yüksektir. Bundan dolayı da ekstrüzyon oranı ve hızı istenildiği kadar yükseltilememektedir.
2. Takoz ile kovan arasındaki sürtünme uzun takozların kullanılmasını önlemektedir.

3. Ekstrüzyon artığı (ara iş) fazladır.
4. Malzeme akışı endirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha düzensiz olmaktadır.
5. Ekstrüzyon hataları oluşabilmektedir.
6. Takım ömrü kısadır. [Sönmez,1989]

2.2.2 Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi

Endirekt ekstrüzyon yönteminde kalıp, içi boş bir ıstampanın ucuna monte edilir ve ıstampa ile birlikte hareket eder. (Şekil 2.3) Kalıp hareketli, takoz sabit olduğundan ıstampa kovana göre bağıl hareket yaparken; takoz ile kovan arasında bağıl bir hareket yoktur. Malzeme akışı ile zorlanma yönü tam zıttır.

Bu yöntem ile ekstrüzyonda, takoz yüzeyi ile kovan cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır. Hem direkt hem de endirekt ekstrüzyon işlemlerinde kuvvetin veya basıncın, ıstampa hareketine bağlı olarak değişimi Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Kuvvet önce yükselip bir tavan nokta yaptıktan sonra değişmeden yatay olarak devam eder ve ıstampa strok sonuna yaklaştığında tekrar yükselir. Çünkü matris (kalıp) yüzeyi ile kovanın dip kısmında büyük sürtünme kuvvetleri meydana gelir. İşleme bu anda son verilir. Bu ekstrüzyon yönteminde kayıp miktarı %5 ile 10 arasındandır.

Endirekt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. Direkt ekstrüzyon yöntemine göre yaklaşık %20-30 arasında kuvvet kazancı sağlandığından; daha büyük ekstrüzyon oranları, daha yüksek ekstrüzyon hızları, daha düşük takoz sıcaklığında çalışma imkanı sağlamaktadır.
2. Kullanılan yüksek ıstampa kuvveti ya ince et kalınlıklı profillerin ekstrüzyonunda ya da düşük takoz sıcaklıklarında çalışmayı sağlamak için kullanılır.
3. Takoz merkezinin takoz çevresinden daha hızlı hareketi önlendiğinden takoz uzunluğunun ıstampa basıncından bağımsızlığı sağlanmaktadır. Bu nedenle takoz

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. Takozy ile kovan arasında sürtünmeden dolayı sıcaklık artışı oluşmadığından yüzey çatlaklarından kaynaklanan hatalar azalmaktadır.
7. Takımların ömrü, özellikle de kovandaki iç gömleğin ömrü, cidar sürtünmesinin önlenmesi nedeniyle artmaktadır.

Endirekt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

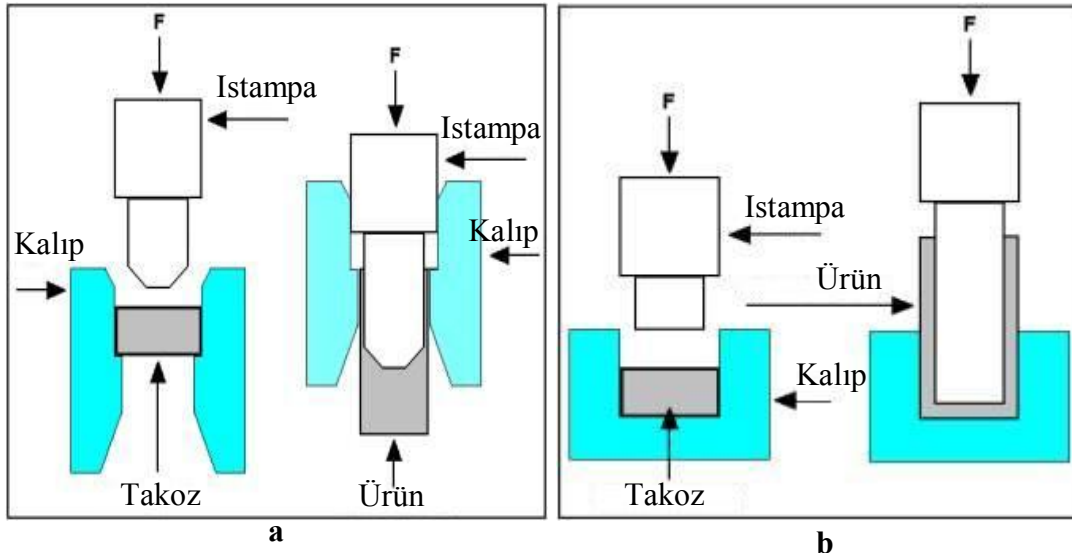
1. Profil veya çubuk boyutları, içi boş ıstampanın delik çapı ile sınırlanmaktadır.
2. ıstampanın uzunluğu, eğme gerilmesi ile sınırlanmaktadır.
3. Kalıp ölçüsü, kovan çapı ile sınırlanmaktadır.
4. Kompleks kesitlerin ekstrüzyonuna uygun bir yöntem değildir.
5. Takımların düzenlenmesi zor olmaktadır.
6. Takozy yüzeyindeki bozukluklar mamul yüzeyine geçeceğinden birçok durumda takoz yüzeyini bir ön işleme tabi tutmak gerekir [Sönmez,1989].

2.2.3 Püskürtme Ekstrüzyon Yöntemi

Püskürtme ekstrüzyon yöntemi genellikle dönel simetriye sahip içi boş veya dolu parçaların imalatında kullanılır. Bu yöntemde çapı, imal edilecek tüpün dış çapına eşit olan kovan veya kalıp içine yerleştirilen ekstrüzyon malzemesine, ıstampa ile basarak biçim verilir. ıstampa önündeki ön levhanın çapı, imal edilecek

tüpün iç çapına eşittir. Kovan içindeki malzeme istampanın basıncı ile ön levhanın çevresinden akarak yükselir ve silindirik kap biçimini alır.

Püskürtmeli ekstrüzyonu ileri, geri ve karışık püskürtme olmak üzere ayrılır. Şekil 2.5’de püskürtmeli ekstrüzyon yöntemleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Püskürtmeli ekstrüzyon yönteminin şematik gösterimi a) ileriye püskürtme b) geriye püskürtme [www.ent.ohiou.edu]

Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi ile ilaç sanayinde çeşitli tüpler, metal sanayinde basınçlı tüpler, sübaplar ve çeşitli küçük makine parçaları imal edilmektedir(Şekil 2.6).

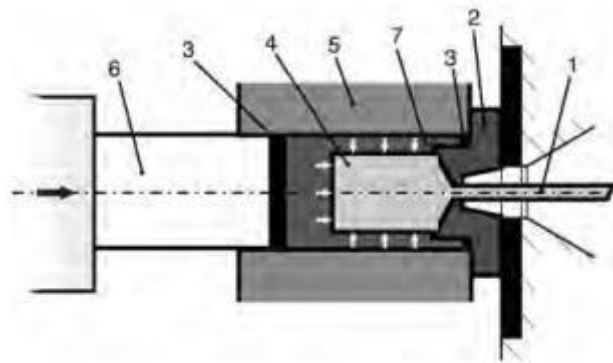
Püskürtmeli ekstrüzyon malzemesi olarak demir dışı metaller (alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, çinko, pirinç, kurşun, kalay) ve çeşitli çelikler kullanılır. Püskürtmede kullanılacak malzemelerin akma sınırının ve sertliğinin düşük, uzama ve büzülme özelliklerinin yüksek olması istenir [Sönmez,1989].



Şekil 2.6. Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş basınçlı tüpler
(www.mesaluminium.com)

2.2.4 Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

Hidrostatik ekstrüzyon, takozun kovanda ıstampa kuvvetinin aracılığıyla değil de basınç ortamıyla kalıptan geçirildiği bir yöntemdir. Bu yöntemde takoz, yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüze edilmektedir. Şekil 2.7’de hidrostatik ekstrüzyon yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Hidrostatik ekstrüzyon. 1. Ekstrüzyon ürünü; 2. Kalıp; 3. Conta; 4. Takoz; 5. Kovan; 6. Istamp; 7. Hidrostatik ortam [Bauser, 2006]

Hidrostatik ekstrüzyon sadece plastiklik özelliği az olan metallerin ve alaşımlarının biçimlendirilmesinde kullanılmayıp, alüminyum ve bakır alaşımlarının biçimlendirilmesinde de birçok avantaj sağlamaktadır. Hidrostatik

ekstrüzyonla klasik ekstrüzyon yöntemleri arasındaki temel farklardan biri, klasik ekstrüzyonda kovan cidarını etkileyen radyal basıncın alalım ve ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak ıstamp basıncından %20-80 düşük olduğudur. Hidrostatik ekstrüzyonda ise radyal basınç aksenal basınca eşit olmaktadır. Bu nedenle daha yüksek basınç zorlamalarının etkisinde kalacaklarından, takımların konstrüksiyon ve malzemelerinin seçiminde ve kovan yapımında gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir.

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

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. Takoz ile kovan arasında sürtünme oluşmadığından işlem başlangıcındaki ıstamp kuvveti küçülmekte ve ekstrüzyon basıncında bir artış olmaksızın istenilen uzunlukta takozlar ekstrüzyon edilebilmektedir.
2. Belli sınırlar içerisinde kalmak şartı ile, boyutları kontrol edilmiş silindirik takozlar kullanmak şart değildir. Doğrusal olmayan takozlar, sarılmış teller dahi bu yöntemle ekstrüze edilebilirler.
3. Takoz ile kalıp yüzeyi arasında oluşan yağ filmi nedeniyle kalıp yüzeyinde sürtünme büyük oranda azalmaktadır. Ekstrüzyon basıncını ve lüzumsuz şekil değiştirmeleri azaltmak için küçük açılı kalıpların kullanımına olanak sağlamaktadır. Sert malzemeler soğuk ekstrüze edilebilmektedir.
4. Azalan ekstrüzyon kuvveti ve kalıp sürtünmesi nedeniyle büyük ekstrüzyon oranlarında çalışılabilmektedir.
5. Yüksek basınçlı akışkan ile çevrili kalıba destek sağlanabilir. Bu nedenle karışık kesitli mamuller ince cidarlı matrisler içerisinde ekstrüze edilebilirler.

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Akışkanın sıkıştırılmasıyla yüksek basınçlar oluşur. (yaklaşık 30000 kp/cm³). Bu ise verimi düşürür ve tehlikeli olabilecek kadar büyük miktarda enerji getirir.
2. Takoz ekstrüzyon edilemeye başlandığında ekstrüzyon hızını kontrol etmek zordur. Bunun neticesinde ekstrüzyon hızı daha da yükselir ve takozda arzu edilemeyen ısınma ve yumuşama olabilir. Böyle durumlarda kontroller sağlanmazsa takoz ve akışkan kovandan şiddetli olarak beraber fişkirabilir.
3. Takozun bir ön işleme tabi tutulması gerekir.
4. Donatımda çok iyi bir sızdırmazlık sağlanması gereklidir.
5. Kalıba aşırı yük gelmemesi için ekstrüzyondan önce takozun, kalıp deliğine uygun bir koniklikte işlenmesi gerekmektedir.
6. Döküm takozlar kullanıldığında, takoz yüzeylerinin hatalardan arındırılması gerekmektedir [Sönmez,1989].

2.3 Ekstrüzyon Takımları

Dolu kesitlerin, çubuk ve bantların, boruların ve boşluklu parçaların üretiminde kullanılabilecek temel bir ekstrüzyon presinin ana kısımları Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Metal akışı, kalıp ömrü, verimlilik ve ürün kalitesi açısından en iyi kalıp performansını elde edebilmek için üç pres parçasının Şekil 2.9’da görüldüğü gibi birbirine göre doğru bir şekilde hizalanması gerekmektedir. Bu parçalar:

1. Kovan, kovan gömleği
2. Istamp, takoz yastığı
3. Kalıp sürgüsü, kalıp setidir [Saha,2000].

üç parçalı olarak tasarlanmaktadır. Kovan sisteminin tasarımında seçim yapılırken dikkate alınması gereken kriterler aşağıdaki gibidir:

- Özgül basınç (kovan gömleğindeki iç basınç), P_c ; pres gücünün gömlek iç yüzey alanına oranıdır. Birimi ise (ton/in²) veya (N/mm²) dir.
- Kovanın azami dış çapı
- En-Boy oranı (Dikdörtgen kovanlar için)



Şekil 2.10. İndüksiyon sistemi ile ısıtılmalı üç parçalı kovan [Bauser,2006]

Tüm dünyada yuvarlak ve dolu kesitli takozların basıldığı direkt ve endirekt ekstrüzyon preslerinde genel olarak yuvarlak şekilli kovan gömlekleri kullanılmaktadır. Çok az sayıdaki preste ise hem yuvarlak hem de dikdörtgen kovanlar kullanılmaktadır. Dikdörtgen kovan kullanılmasında amaçlardan biri hava araçlarının iniş paletleri gibi geniş profillerin üretilebilmesi, bir diğeri ise daha üniform malzeme akışıdır; böylelikle özgül pres yükünün daha düşük olması sağlanmaktadır [Saha,2000].

Çizelge 2.1. Ekstrüzyon takımları koruyucu bakım kontrol listesi [Saha,2000].

Parça	Kontrol
Kovan	Eksenellik
	Termokupullar ve bağlı sistemler
	Termal şok olmaması
	Gaz aleviyle ısıtmadan doğrudan temas olmaması
	Tutucuya göre pozisyonu
	Sertlik
Kovan gömleği	Yataklama yüzeyi
	Sertlik
	Çatlama
	İç kısımda soğuma olmaması
	Gömlek içinin temizlenmesi
	Kovana göre hizalaması
Istampa	Kovan ile eksenellik
	Istampa bağlantı somunları
	Çatlama
Takoz yastığı	Dış çapı ve bunun kovan gömleği iç çapıyla kıyaslanması
	Temas yüzey alanı
	Aşırı malzeme yapışması olup olmadığı
Kalıp seti / Kalıp sürgüsü	Kovan ve ıstampayla hizalanması
	Ara blok kilit sürgüsü
	Kalıp sıkıcı
	Kalıp yüzeyinde malzeme yapışması olup olmadığı
	Kalıp yüzeyi ile makas arasındaki boşluk

Kovanlar ısındıklarında her yönde serbestçe genişleyebilecekleri bir şekilde monte edilirler. Bu sayede kovanın pres merkez hattına göre yeri değişmez. Kovan gömleğin düzgün bir şekilde aşınmasını sağlamak amacıyla merkez hattı çevresinde döndürülebilmelidir. Kovan, pres hattı boyunca hidrolik olarak hareket ettirilebilen bir kovan yuvası içerisine sabitlenmektedir. Doğrudan kovan içerisine veya kovan yuvasına yerleştirilen elektrik dirençli ısıtıcı yardımıyla kovan yaklaşık 427 °C'ye kadar ısıtılmaktadır. Büyük kapasiteli preslerde son derece büyük olan kovan kütlesi ve kovan boyutu nedeniyle geleneksel çepeçevre kovan ısıtıcı elemanları kullanarak gömlek iç sıcaklığını sabit tutmak oldukça zordur. Ekstrüzyon sıcaklığının daha iyi bir şekilde kontrol edilebilmesi için, çok bölgeli sıcaklık

kontrolü ve ısıtma sistemlerinin kullanıldığı kovan ısıtma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde, altı bölgeye ayrılan ısıtıcılar birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmektedir. Kovan içerisine yerleştirilen indüksiyon ısıtıcı ile de kovayı 500 °C'ye kadar ısıtmak mümkündür. Kovan gömleğinin yumuşamaya karşı yüksek dirençli uygun bir çelikten yapılması ve iyi tasarlanmış bir kovan içerisine yerleştirilmesi halinde, bir gömlek 30000 ile 40000 baskı yapabilmektedir [Saha,2000].

2.3.2 Istampı

Vidalanabilen yastıklı ıstampalar ekstrüzyon sanayinin standart bir ekipmanı haline gelmiştir, özellikle 6063 gibi yumuşak alaşımların çekici sistemler kullanılarak yapılan ekstrüzyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Takoz yastığının kovan ile hizalanması ve yastığın tasarımı gibi pek çok faktör dikkate alınarak günümüz ekstrüzyon preslerinin çoğu vidalı takoz yastıklı hale dönüştürülmüştür. (Şekil 2.11) Vidalı yastığın işlem sırasında başarıyla kullanılabilmesi, yastığın tasarımında, uygulamada kazanılan tecrübelerden olduğunca yararlanılmasına bağlıdır.



Şekil 2.11. Sabit bir takoz yastığı ve ıstampası [Saha,2000].

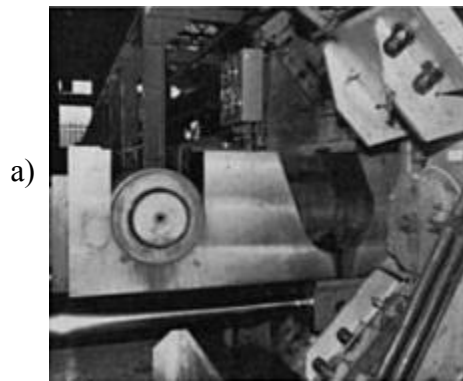
Tasarım dışında; vidalı yastığın performansını belirleyen faktörler şu şekildedir:

- Yağlama

- Hizalama
- Ön ısıtma
- Yastık ile kovan arasındaki boşluk koşulları sayılabilir [Saha,2000].

2.3.3 Kalıp Sürgüsü veya Döner Kalıp Başlığı

Kalıp ve destek takımlarının içine yerleştirildiği kalıp sürgüsü ya da döner kalıp başlığı bir presin ana parçalarındandır. Şekil 2.12a’da gösterilen kalıp sürgüsü, presin merkez hattına dik doğrultuda hareket etmektedir. Hem kalıp sürgüsü hem de döner kalıp başlığı presin karşı platformu üzerine yerleştirilmektedir. Kalıp sürgüsü genel olarak aynı anda bir ya da iki kalıp yerleştirilebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Buna karşın döner kalıp başlığı Şekil 2.12b’de gösterildiği gibi iki kalıbı birden aynı anda taşıyabilmektedir.

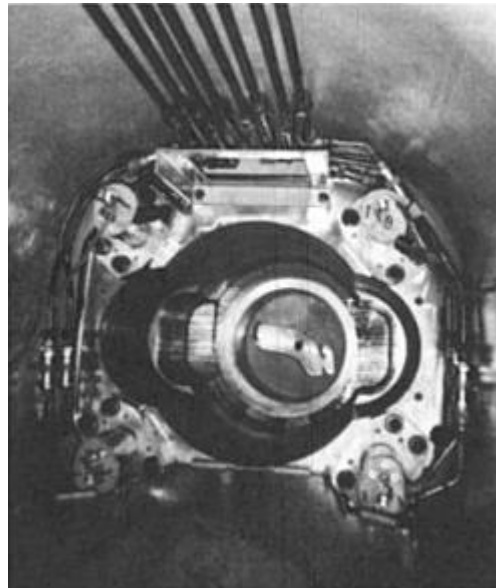


Şekil 2.12. Kalıp tutucu sistem: a) kalıp sürgüsü, b) döner kalıp başlığı.

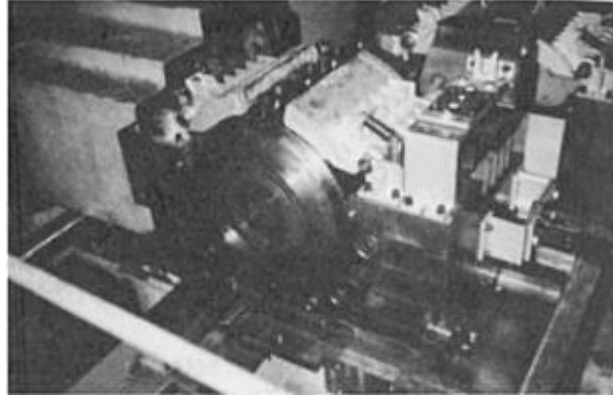
[Saha,2000].

Döner kalıp bağılığı kullanılması halinde kalıbın değiştirilmesi, düzeltilmesi ve soğutulması daima presin aynı tarafında gerçekleştirilmektedir. Kalıp, kalıp tutucular ve destekler hızlı ve kolay bir şekilde değiştirilebilmeleri için, sürgüye yada döner başlığa U- şekilli bir açıklıktan takılmaktadırlar.

Son zamanlarda büyük kapasiteli preslerin kalıp tutucularında, doğru kesme amacıyla kalıp pozisyonlama cihazları (Şekil 2.13) ve kaset tipi kalıp ısıtıcı gibi pek çok yenilik gerçekleştirilmiştir. Orta ölçekli preslerle kıyaslandığında bu preslerde kalıp seti kalıp seti kalınlığı fazla olduğundan kalıbın kesme yüzeyinin pozisyonu ısı genleşme ve büzülme nedeniyle bir miktar değişmektedir. Kesme yüzeyi uygun bir şekilde yerleştirilmediğinde, kalıp ön yüzünde alüminyum kalmakta ve bu durum daha sonraki takozlarda renklenmelere ve kabarcıklanmaya sebep olmaktadır. Kalıp sıcaklığını rejim halinde tutmak, kalıp değiştirme pozisyonunda kalıp kaseti içerisine bir kartuş ısıtıcı (Şekil 2.14) yerleştirilmektedir [Saha,2000].



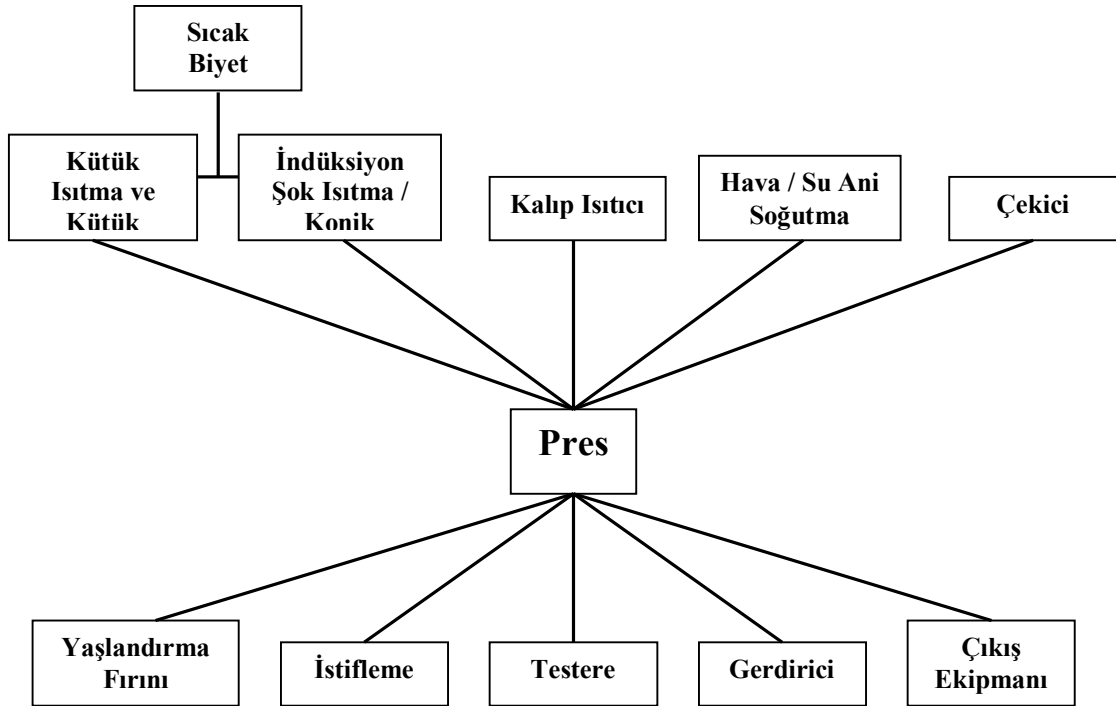
Şekil 2.13. Doğru bir kesme işlemi için kalıp yerleştirme düzeneği [Saha,2000].



Şekil 2.14. Kalıp kaset ısıtıcısı [Saha,2000].

2.3.4 Yardımcı Donanımlar

Alüminyum ekstrüzyonunda prese ilaveten şekil 2.15’de gösterilen pres hattıyla bağlantılı bazı düzeneklere de gereksinim duyulmaktadır. Çoğu ekstrüzyon sisteminde indüksiyonla ya da gazla kütük ısıtma ve sıcak kütük kesme düzenekleri geleneksel indüksiyon veya gazla takoz ısıtma düzeneklerinin yerini almıştır. Kütükler kullanılan kalıba göre ve arzulanan ürün boyuna göre ideal boylarda kesilerek takoz haline getirilmektedir. Sıcak kütük kesme, özellikle içi boş kesitlerin ekstrüzyonunda, kalıbın dengeli ısınmadığı başlangıç koşullarında kalıbın köprü ve bacaklarında çatlamların oluşmasını önlemek amacıyla akma basıncını düşürmek içinde avantaj sağlamaktadır; bunun için başlangıçta kısa boylu takozlarla işleme başlayarak uygulanan basınç azaltılmaktadır.

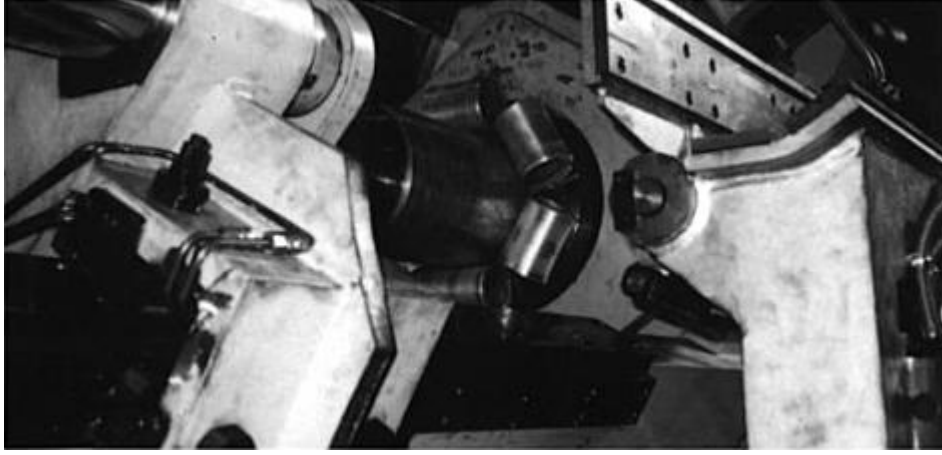


Şekil 2.15. Presle bağlantılı çalışan yardımcı donanımlar [Saha,2000].

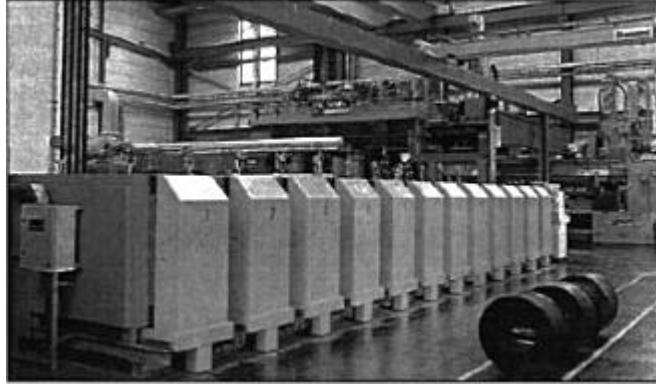
Eşsıcaklık ekstrüzyon işlemi gerçekleştirebilmek için kütük kesme sisteminin ardına indüksiyonla şok ısıtma ya da konik su soğutma düzenekleri de monte edilmektedir. Ayrıca hava araçlarında kullanılan ekstrüzyon ürünlerinin geriye ekstrüzyonla üretiminde kullanılmak üzere sıcak takoz soyma sistemleri de (Şekil 2.16) geliştirilmiştir.

Ekstrüzyon kalıplarının uygun bir şekilde çalıştırılması ve pres baskı süresini boşa harcamamak için modern ekstrüzyon sistemlerinde iyi bir kalıp ısıtma sisteminin kullanımı bir zorunluluk halini almıştır. Her kalıp için ayrı bir kamaranın olduğu ve her kalıbın ayrı arabalarla yüklendiği çok odalı kalıp fırınları geleneksel üstten yüklemeli, sandık tipi kalıp fırınlarının yerini almıştır. Bu yeni fırınlarda her kalıp setinin kendine özgü ısıtma koşullarının sağlanabilmesi amacıyla her bir yükleyici ayrı bir ısıtma ve sıcaklık kontrol sistemine sahiptir. Şekil 2.17’de her kalıbın azot atmosferinde, sıcaklık kontrolünün hassas olduğu odalarda ısıtılması için geliştirilmiş bir diğer çok odalı kalıp fırını gösterilmektedir. Bu tip bir tasarım, kalıp ömrünü uzatırken, yüksek sıcaklık oksidasyonunu önleyerek daha iyi bir ürün yüzey kalitesi sağlamaktadır. Bu yöntemde kalıp sıcaklığı hassas bir şekilde

ayarlanmakta ve geleneksel kamaralı fırınlarda diğer kalıpların yüklenmesi ve alınması sırasında oluşan ısı şokları oluşmamaktadır.

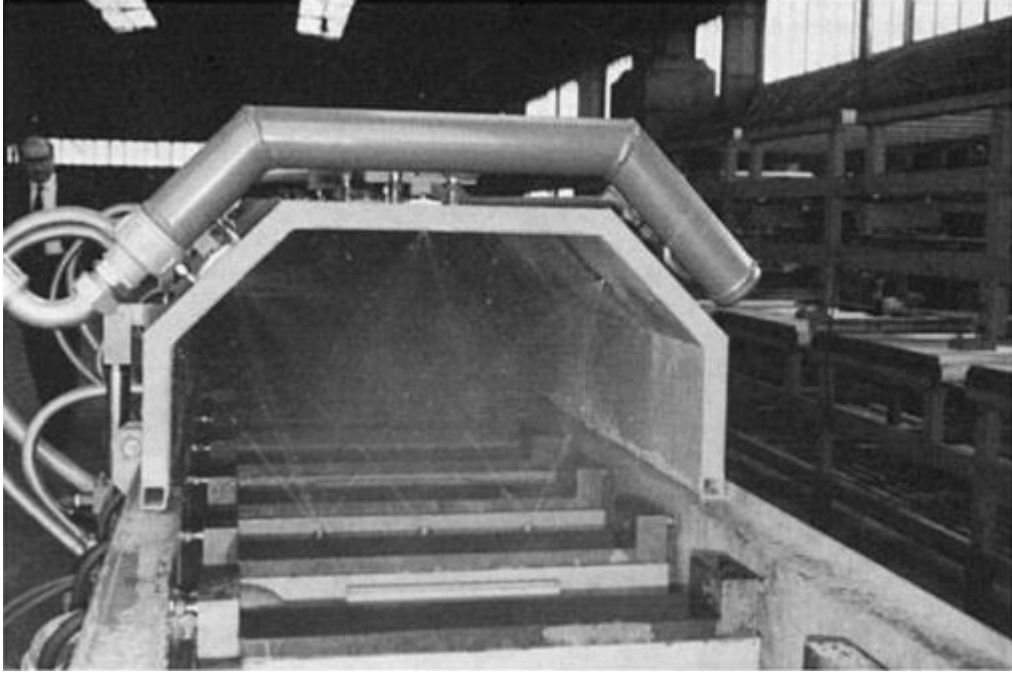


Şekil 2.16. 150 tonluk sıcak takoz soyma sistemi [Saha,2000].



Şekil 2.17. Çok kamaralı, ayrı ayrı açılabilen kalıp fırını [Saha,2000].

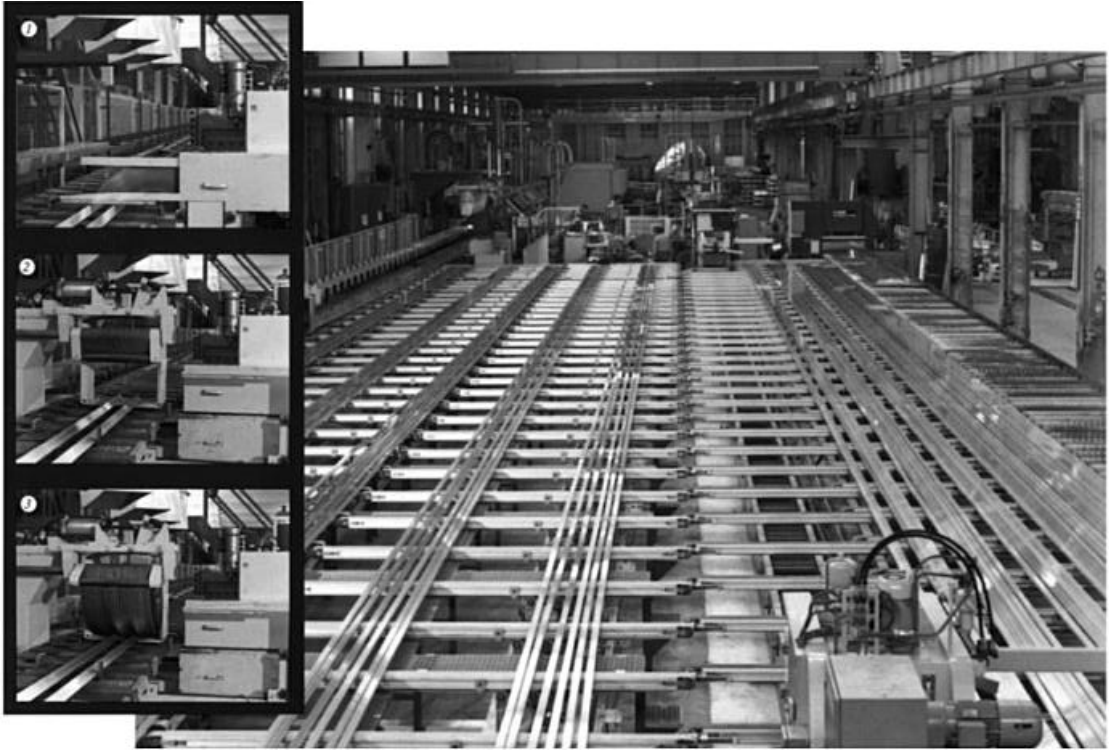
Ürünün presten çıkarken çıkış hattında ani soğutulması alüminyum ekstrüzyon sanayisinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. Su tankında ani soğutma ya da çıkış tablası altından ve üstünden fan ile soğutma düzeneklerinin yerine gittikçe su spreyi ile soğutma sistemleri almaktadır. Karmaşık şekilli ürünleri arzulanan mekanik özelliklere ve yüzey kalitesine sahip olması için gerekli kritik soğuma hızının üzerinde bir soğuma hızı sağlamak amacıyla suyun havayla püskürtüldüğü yüksek basınç ve yüksek hızlı su püskürtme düzenekleri geliştirilmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Profiller için özel su püskürtmeli ani soğutma sistemi [Saha,2000].

Besleyici plakalı, ön giriş boşluklu ve hazneli kalıplarla yapılan ekstrüzyonda genel olarak çıkışta bir çekici sistem kullanılır; bu çekici sistem aynı zamanda ayarlanabilir bir sıcak kesme testeresine de sahiptir. Günümüzde geleneksel tek çekici ve sıcak kesme testereli sistemlere kıyasla daha avantajlı olan çift çekicili sistemler geliştirilmiştir.

Şekil 2.19’da 4400 ton (44 MN) kapasiteli bir presin çıkış hattı gösterilmektedir. Bu düzenekte profillerin zedelenmeden, rahatça hareket edebilmesi ve (kirlenme olmaması için) mümkün olduğunca az grafit kullanılması için merdanelerden yararlanılmıştır. Düzenekte tüm çıkış yolu aşağı indirilerek ilk kayış üzerinde ürünlerin dikey pozisyonları ayarlanmaktadır. Hassas bir şekilde ayarlanan konveyör sistemi ile hem tam otomatik bir çalışma sağlanmakta hem de hassas profiller dikkatli, bir şekilde taşınmaktadır. Şekil 2.19’da profillerin çıkış hattından gerdirme hattına nasıl aktarıldığı da görülebilmektedir.



Şekil 2.19. Sıcak kesme ve çekme çenelerinin görüldüğü bir pres çıkış sistemi:
(1)Sıcak kesme testeresi (2) Tutma kısıkaçları açık halde bir çekme çenesi, (3)
Parçayı tutmakta olan bir çekme çenesi [Saha,2000].

Şekil 2.20’de ise ürünlerin zedelenmeden tutulması için tasarlanmış ön ve arka gerdirmе çeneleri gösterilmiştir. Gerdirmе düzeneğinin çalışması televizyon kameralarıyla izlenebilmektedir; istenilen profil boyunun kendi kendine ayarlanabilmesi tamamen otomatik bir çalışmaya olanak sağlamaktadır. Ayrıca parçalı sıkıştırma çeneleri profil uçlarında oluşabilecek bozulmaları en aza indirmektedir. Sabit bir bant konveyör şeklindeki profil toplama tablası profillerin iyi bir şekilde demetlenmesine yaramaktadır.

Sürekli olarak verimliliği artırma talepleri ve geleceğe yönelik maliyetleri azaltma arzusu nedeniyle ekstrüzyon endüstrisinde daha büyük otomasyon sistemlerinin gelişmesi devam etmektedir. Günümüzde bu konuda, ürünlerin kesilmesi ve istiflenmesine yönelik talepler karşılanmıştır. Tezgah altı nihai kesme testeresi, boy kesme tablası, kesilen parçaların istiflenmeye taşınması gibi pek çok diğer sistemleri de içeren en modern testere sistemleri de vardır.

Testere sistemiyle bağlantılı olarak, “önce gelen, önce gider ” prensibine göre tasarlanmış profil istifleme düzeneği Şekil 2.21’de gösterilmektedir. Bu düzenek aynı zamanda profilleri sepet içerisinde istifleme bölgesinden ısıt işlem fırınına taşıyan bir konveyöre, boş sepetleri istifleme bölgesine geri taşıyan bir konveyöre sahiptir.



Şekil 2.20. Gerdirme düzeneği arka çenesi. (1) Gerdirme düzeneği ön çenesi
[Saha,2000].



Şekil 2.21. Otomatik profil istifleme düzeneği. (1) Profil sepetine profillerin istiflenmesi [Saha,2000].

2.4 Entegre Sistemler

Bir alüminyum ekstrüzyon tesisinin performansı büyük ölçüde yardımcı donanımlara bağlıdır. Pres kontrolündeki gelişmelerle birlikte yardımcı düzeneklerde de önemli iyileşmeler gerçekleştirilmiştir. Bir ekstrüzyon işletmesinin verimliliği Şekil 2.22’de gösterildiği gibi takoz ısınma ve boy kontrolü, ekstrüzyon presi ve yükleme boşaltma sistemleri olmak üzere üç ana faktöre bağlıdır. Ayrıca pres performansı da uygun kalıp ve takım ısıtma sistemlerinin kullanımına bağlıdır. Uygun kalıp ve takım tasarımının yanında hızlı ve etkin bir ısıtma; kalıp ömrü, pres performansı ve sonuç olarak verimlilik üzerinde önemli bir etmendir. Verimliliğin kontrolü:

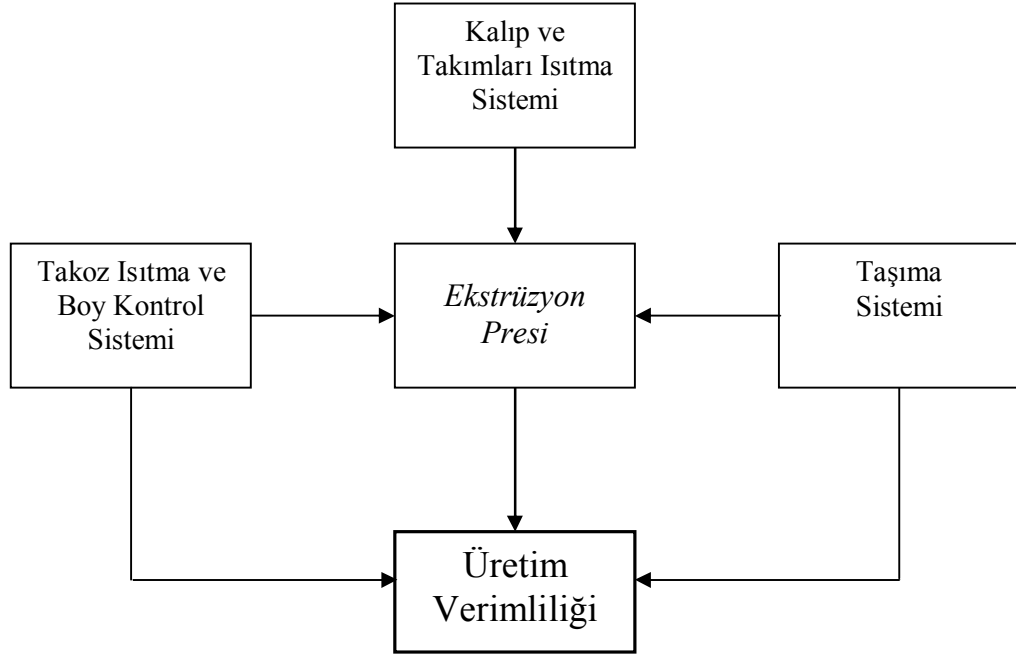
- Kütüklerin ısıtılması ve sıcak kütüklerin en uygun boyda sıcak kesme ile takoz haline getirilmesi ve ardından konik ani soğutma işlemiyle ekstrüzyona hazırlanması,
- Kalıp ve takımları uygun sıcaklıkta kullanarak durma süresinin azaltılması,

- Otomatik çift çekici sistemlerle çıkış sıcaklığı ve çıkış hızının kontrol altında tutulması,
- Çıkış hattından, ısıtım işlem için istifleme aşamasına kadar otomatik taşıma sistemleri kullanarak taşıma hasarlarının ve işçilik maliyetlerinin azaltılması ile sağlanabilmektedir.

Günümüz büyük pres üreticileri sadece pres imali ve montajı ile kalmayıp, takozların ısıtılmasından, soğuyan ve gerdirilen ürünlerin kesilmesine kadar her türlü ekipmanı sağlamaktadır. Bu gelişmeler özellikle alüminyum ekstrüzyon tesislerinde başarı ile kullanılmaktadır. İşletme için proses maliyeti birincil önceliğe sahiptir ve ekstrüzyon işleminde ölü zamanı en aza indirmek amacıyla farklı pres programları için tüm çalışmanın otomatik olarak yürütülmesi hem presin hem de yardımcı düzeneklerin çalışmasını kapsamaktadır.

Alüminyum ekstrüzyonunda pres çıkışında gerçekleştirilen işlemler tüm ayrıntılarıyla araştırılmaları konu olmaktadır, zira üretilen kesitlerin çeşitliliği oldukça artmıştır. Bir ekstrüzyon sisteminin tasarımındaki en önemli hususu hassas kesitli ürünlerin zedelenmeden nakledilmesidir. Kütüğün ısıtılmasından ısıtım işlem fırınlarına kadar tüm aşamaları barındıran entegre bir alüminyum tesisi aşağıdaki donanımlara sahip olmalıdır:

- Takoz ısıtım sistemleri (İndüksiyon ya da gazlı) ve bu sisteme ekli takoz kesme düzenekleri,
- İndüksiyonlu şok ısıtıcı / su ile konik soğutma düzenekleri,
- Havacılıkta kullanılan alaşımların geriye ekstrüzyonu için sıcak takoz soyma düzeneği,
- Çok bölmeli / çok odalı tek hücre kalıp fırınları,
- Ayrı ayrı ve birlikte kullanılabilen hava ve su ile hızlı soğutma sistemleri,
- Müşteri ihtiyaçlarına göre tek ya da çift çekici,
- Otomatik taşıma sistemleri gerdirme düzenekleri,
- Profil testereleri ve ölçme sistemleri,
- İstifleme sistemleri,
- Isıtım işlem fırınları [Saha,2000].



Şekil 2.22. Verimlilik kontrol sisteminin işlevsel blok diyagramı [Saha,2000].

2.5 Ekstrüzyon Presi Seçimi

Birim alanda ekstrüzyon için gerekli basınç (birim basınç) değeri ekstrüzyon presi seçimindeki temel kriterdir. Kapasitesi, ton cinsinden uygulayabileceği kuvvet olarak verilen aynı iki preste, kovan çapı daha düşük olandan daha yüksek birim basınç elde edilir. Sabit bir kuvvet için kovan çapı arttıkça özgül basınç azalmakta ve sonuç olarak presin ekstrüzyon kapasitesi azalmaktadır.

Ekstrüzyon işleminin gerçekleşebilmesi için presin birim veya özgül basınç değeri, işlem koşullarında malzemenin ekstrüzyonu için gerekli basınç değerinden daha büyük olmalıdır. Alaşım türü ve görmüş olduğu işlemlere, ekstrüzyon oranına, takoz boyuna ve sıcaklığına, ekstrüzyon hızına ve çevrel çember çapına bağlı olarak ekstrüzyonun gerçekleşmesi için gerekli basınç değeri değişebilmektedir.

Daha yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip ürünler elde etmek amacıyla takoz sıcaklığının düşük ve ekstrüzyon hızının tutulduğu uygulamalarda, buna uygun yeterli kapasitede bir presin kullanılması tavsiye edilmektedir. Ekstrüzyon presi; pres karşı platformu ve germe çubukları da dahil olmak üzere oluşacak gerilmeleri kaldırarak kadar yeterli rijitliğe sahip olmalıdır. Modern

ekstrüzyon preslerinde geniş kalıp setlerini tutabilen, ön gerilmeli gergi çubukları kullanılmaktadır; bu sayede kalıp esnemesi mümkün olduğunca azaltılarak, ürünün boyut tolerans aralığı daraltılmaktadır. Ekstrüzyon presleri aynı zamanda doğru ve ayarlanabilir bir hizalama düzeneğine sahip olmalıdır. Hizalama sistemi ıstampa, kovan ve kalıbın Şekil 2.9 görüldüğü gibi aynı merkez hattı üzerinde olmasını sağlamaktadır. [Saha,2000].

2.6 Ekstrüzyon Malzemeleri

Ekstrüzyon yöntemiyle şekil vermede, genellikle diğer plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirilebilen tüm malzemeler kullanılmaktadır. Ekstrüzyon yönteminin ilk uygulamaya konduğu zaman çok az sayıda malzeme ekstrüzyon edilebiliyordu. Ekstrüzyon presleri ve takımları geliştirildikçe ekstrüzyon edilen malzeme çeşidi de çoğalmaya başlamıştır. 20.yüzyılın başlarında bakır ve alaşımlarının ekstrüzyon edilmesi, ekstrüzyon yönteminde bir dönüm noktası olarak kabul edilmiştir. Günümüzde ekstrüzyon mamullerine duyulan ihtiyaca paralel ekstrüzyon edilebilen malzeme çeşidi hızla artmaktadır.

Ekstrüzyon edilebilen metaller büyük farklılıklar gösterir. Bunlardan bazılarının ekstrüzyona karşı eğilimi fazla olmakla beraber, ekstrüzyon işlemi esnasında birtakım güçlükler doğururlar. Bazı metaller ise, değişik sıcaklık derecelerinde daha fazla güçlükler çıkarırlar ve özel teknik ve donatım gerektirirler. Bu farklılıkları oluşturmaya yardım eden faktörler arasında metallerin sertlikleri, ekstrüzyon esnasındaki sıcaklık derecesi, ekstrüzyon hızı gösterilebilir. Bu metallerden plastiklik özelliği yüksek olanlar soğuk olarak ve diğer metaller sıcak olarak ekstrüzyon edilebilirler.

Genel olarak şekil değiştirme ve ekstrüzyon edilebilme, ekstrüzyon malzemesi ve şekil değiştirme şartlarına bağlı karmaşık parametrelerdir. Şekil değiştirme kavramı, bir malzemenin hangi kolaylıkla ve iyilikle şekil değiştirebildiğini belirler. Bir malzemenin kolay şekil değiştirebilmesi verilen şartlarda geçerli olan şekil değiştirme mukavemeti (Akma Gerilmesi) σ_A 'ya bağlıdır. İyi şekil değiştirebilmesi ise şekil değiştirme kabiliyeti ϕ_{Fr} ile orantılıdır. Buna göre şekil değiştirebilirlik;

$$W = \frac{\Phi_{Fr}}{\sigma_A} \quad (2.1)$$

Bu iki şekil değiştirme özelliği σ_A ve Φ_{Fr} ekstrüzyon işleminde çok zor tayin edilebildiğinden, şekil değiştirebilirlik genel olarak laboratuvar denemeleri ile tayin edilebilir. σ_A ve Φ_{Fr} 'in ölçülmesi için sıcak şekil değiştirmede “burulma deneyi” en uygundur [Sönmez,1989].

2.6.1 Alüminyum Ekstrüzyonu

Hafif metal ve alaşımları birçok önemli özelliğinden dolayı ekstrüzyon yönteminde kullanılan malzemelerin başında yer almaktadır. Alüminyum ve alaşımları 300 °C ve 600 °C sıcaklık aralığında ekstrüzyon yapılır. Esas olarak bilinen bütün alüminyum alaşımları ekstrüzyona uygundur. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanları çok geniş olmakla beraber, esas kullanım alanları inşaat sektörü, taşıt yapımı, yan sanayi olarak toplanabilir. Mukavemeti yüksek ve soğuk çekilebilir alaşımlardan çubuk ve boru imalinde sertleşme işleminden yararlanılabilir. Eğer toleransların daraltılması isteniyorsa, korozyon gibi nedenlerden dolayı sertleşebilir malzemeler istenmiyor ise, ekstrüzyon ile imal edilemeyen veya ekonomik olarak ekstrüzyon küçük mamul kesitleri isteniyor ise yarı mamul boru, çubuk veya tel şeklinde soğuk olarak çekilir [Sönmez,1989].

2.6.2 Bakır Ekstrüzyonu

Bakır ve alaşımları, ekstrüzyon sıcaklığı 600–1000 °C arasında olan gruptandır. Ekstrüzyonda kullanılan bakır ve alaşımları; bakır-çinko alaşımları (pirinç, özel pirinç), bakır-kalay alaşımları (kalay bronz), bakır-alüminyum alaşımları (alüminyum bronz) , bakır-nikel alaşımları ve bakır-nikel-çinko alaşımlarıdır [Bingöl,2001].

2.6.3 Magnezyum Ekstrüzyonu

Magnezyum alaşımlarının özellikleri, alüminyum alaşımlarının özelliklerine benzemektedir. Yoğunluk ile mukavemet değerleri arasında çok uygun bir değer vardır. Bu özelliklerinden dolayı havacılıkta, uzay ve reaktör teknolojisinde kullanılmaktadır. Bu alaşımlar, hegzagonal kristal yapısına sahip olduklarından alüminyumdan daha zor şekil değiştirme derecesine sahiptir. Takozun homojenleştirilmesi, şekil değiştirme dayanımı düşürür fakat ekstrüzyon işleminden önce uzun süre tavlanması Mg_4Al_3 fazı ile heterojen bileşenlerin çözünmesi ve bu sayede iyi bir ekstrüzyon edilebilirliğin sağlanması için gereklidir [Bingöl,2001].

2.6.4 Çeliklerin Ekstrüzyonu

Çelik boruları ve profiller genellikle St37, St42, St52 karbon çeliklerinden imal edilmektedir. Bununla birlikte az miktarda, gerekli olduğu durumlarda, kaliteli çelikler (örneğin; paslanmaz ve asitlere dayanıklı çelikler), ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilebilmektedir. Çelikler de nikel alaşımları gibi zor ekstrüzyon edilen malzeme grubundandır. Şekil değiştirme dirençleri yüksek olduğundan gerekli ekstrüzyon kuvvetini belli değerlerde tutabilmek için 1000-1300 °C'lik yüksek sıcaklıklar kullanılmaktadır. Ancak bu durumda takımlarda aşınma problemleri ortaya çıkmaktadır [Bingöl,2001].

2.6.5 Zirkonyum Ekstrüzyonu

Korozyon dayanımının ve sıcak dayanımlarının yüksek olması nedeniyle, nükleer reaktörlerde konstrüksiyon elemanı ve radyoaktif çubukları için zarf malzemesi olarak kullanılır. Zirkonyumun ekstrüzyonu sırasında takımlara sıvanması önemli bir problemdir. Bunun için çok iyi yağlama yapmak gerekir. Aynı zamanda takozu ekstrüzyondan önce bir gömlek geçirilmektedir. Dökülen takozlar çoğu durumda bakır ve pirinçle kaplanır. Gömlek, gaz absorpsiyonunu önler [Sönmez,1989].

2.6.6 Kurşun ve Kalay Ekstrüzyonu

Oda sıcaklığı ile 300 °C arasında ekstrüzyon edilebilen malzeme grubunu oluşturur. Bu grup sadece kurşun ve kalay veya iki elementin birbiriyle olan alaşımlarını ve bu elementlerin en önemlileri antimon, bakır, gümüş ve kadmiyum olan elementlerde olan alaşımları içerir. Bu ekstrüzyon malzemeleri genel olarak borular, yumuşak lehim telleri ve kablo kaplamalarında kullanılır [Bingöl,2001].

2.6.7 Titanyum Ekstrüzyonu

Titanyum yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. (1668 °C) ve 822 °C'nin altında hegzagonal (α) ve bu sıcaklığın üzerine kübik hacim merkezli (β) bir yapıya sahiptir. Korozyon dirençleri yüksektir ve tercih edilen dayanım yoğunluk oranına sahiptir. Bu alaşımın ekstrüzyonuyla profil, boru ve çubuklar elde edilir. Titan alaşımları, dayanım arttırıcı olarak alüminyum ve vanadyum, krom, mangan, molibden ve bakır içerirler [Bingöl,2001].

2.6.8 Berilyum Ekstrüzyonu

Berilyum, yüksek ısı kapasitesi ve sıcaklığa dayanıklılığı yanında korozyon direncinin de yüksek olması nedeniyle nükleer mühendislik ve uçak teknolojisinde kullanılmaktadır. Döküm yöntemi ile imal edilen blokta kaba tane oluşumu ve buna bağlı olarak kırılgenlik ve çatlama eğilimi, döküm tekniği açısından engellenememektedir. Bu nedenle berilyum takozlar sinterleme tekniğiyle hazırlanmaktadır. Ekstrüzyon takozları, toz malzemelerin soğuk sıkıştırılması ve koruyucu atmosferde sinterlemesi ile üretilmektedir [Bingöl,2001].

2.6.9 Nikel Ekstrüzyonu

1000 °C'nin üzerinde ekstrüzyon edilen malzeme grubundandır. Nikel alaşımlarında yapılan yarı mamullerin mekanik mühendisliğinde, kimya mühendisliğinde, elektrik mühendisliğinde, elektronik mühendisliğinde, güç istasyonlarında ve nükleer teknolojisinde birçok kullanım alanı vardır. Nikel ve nikel alaşımlarının korozyon dirençlerinin yüksek olması ve ısıda iyi mukavemet özellikleri göstermesi bu metalin önemini arttırmıştır [Sönmez,1989].

2.7 Ekstrüzyonda Malzeme Akışı

Ekstrüzyon işleminde, genellikle ara verilerek bir çalışma yapılmakta, yani ilk takozun ekstrüzyonundan sonra ikinci takoz kovana yerleştirilmekte ve böylece takozda sıcaklık farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca takoz ile kovan ön levha, matris yüzeyi ve kanalında sürtünme oluşmaktadır. Bu durumda takoz ön kısmında, takoz sonuna kadar eşit olmayan akış durumları ortaya çıkmaktadır. Farklı akış durumları, ekstrüzyon kuvvetinin değişmesine, malzeme kesiti ve boyunda farklı malzeme özelliklerine ve diğer ekstrüzyon hatalarına sebep olmaktadır. İstenmeyen bu etkenleri ortadan kaldırmak için kovandaki malzeme akışının incelenmesi gerekmektedir.

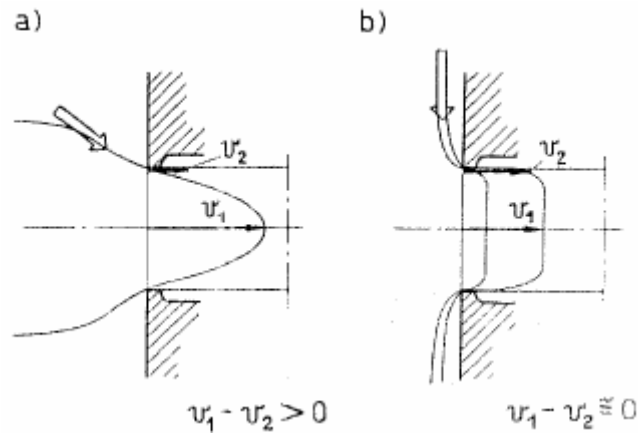
Ekstrüzyon yönteminde, malzeme akışına ait kanıtlanabilir ilk araştırmalar Tresca ve Von Obermayer tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, plakalardan oluşan kurşun silindirler ve değişik renklerde boyanmış plakalardan oluşan kil takozlar kullanmışlardır. Araştırmacılar akma olayını hidrodinamik bir problem olarak düşünmüş ve malzeme hareketinin kesin olarak araştırması için değişik yöntemler geliştirmişlerdir.

Ekstrüzyon işlemi esnasında malzemenin hareketi yani malzemenin akışı imalatın kalitesini çok büyük oranda etkilemektedir. Malzeme akışının düzenli ve düzensiz olması mamulün kalite ve kalitesiz (çeşitli ekstrüzyon hataları) olmasına sebep olur. Aynı zamanda ekstrüzyon kuvvetlerinin belirlenmesinde de önemli rol oynamaktadır. Malzeme akışına, birinci derecede ekstrüzyon edilen malzemenin özellikleri olmak üzere çok sayıda işlem faktörü etkilemektedir. Çizelge 2.2’de malzeme akışını etkileyen tüm faktörler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Malzeme akışını etkileyen faktörler [Sönmez,1989].

Faktörler	Olasılıklar
1- Yöntem	Direkt, Endirekt, Hidrostatik
2- Yağlama	Yağlamalı, Yağlamasız
3- Sıcaklık	Soğuk, Sıcak
4- Matris biçimi	Düz, Konik, Tek delikli, Çok delikli
5- İş parçası	Plastiklik özelliği
6- Mamul biçimi	Çubuk, Profil, Boru, Tel
7- Ekstrüzyon oranı	Küçük, Büyük

Sürtünmeler, takoz merkezindeki malzemenin takoz çevresindeki malzemeye göre daha hızlı akmasına neden olur. Bu durum, daha düzensiz bir malzeme akışına ve ölü bölgelerin artmasına neden olur. Mümkün olduğu kadar, takozun merkezindeki malzemenin akış hızı ile takozun çevresindeki malzemenin akış hızı arasındaki farkı azaltmak gerekir. Hız farkları ne kadar azalırsa, malzeme akışı o kadar ideal akış tipine yaklaşır ve ölü bölgeler de azalır. Şekil 2.23'de tipik akış ve arzu edilen akış gösterilmiştir [Sönmez,1989].



Şekil 2.23. Ekstrüzyondaki hız dağılımı: a)Tipik Akış b)Arzu edilen akış
[Zasadzinski,1996]

2.7.1 Malzeme Akışı Araştırma Yöntemleri

Malzeme akışının araştırılmasında değişik birçok yöntem geliştirilmiştir. Bütün bu yöntemler, blokun içinde malzeme akışını gösterecek markalama tarzına ve araştırmada kullanılan malzeme cinsine göre üç grupta toplanabilir.

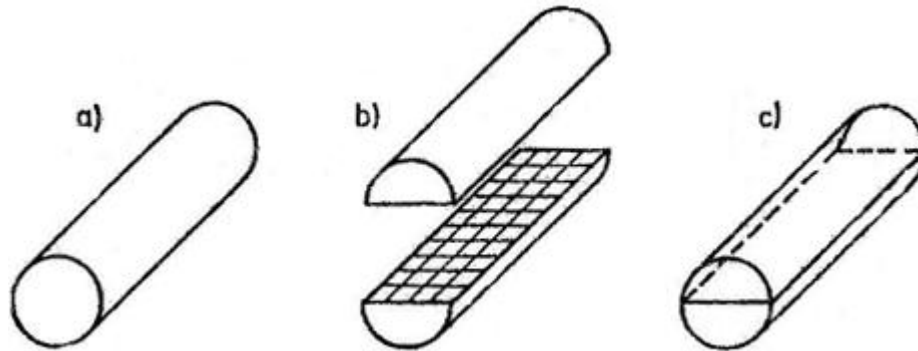
Kullanılan malzeme cinsine göre;

- Plastikliği yüksek malzemeler (mum, plastilin vs.) modeller
- Şekil değiştirtme kabiliyeti yüksek metalsel malzemelerden modeller (Pb, Sn, Bi ortam sıcaklığında veya düşük sıcaklıklarda).
- Al, Cu ve bunların alaşımlarından modeller (işletme şartlarında).

Malzeme akışını izleyebilecek markalama modellerine göre;

- Plaka usulü: Optik ve metalografik bakımından farklı, fakat birbirine benzer malzemelerden plakalar bir blok teşkil edecek şekilde bir araya getirilerek ekstrüzyon işlemine tabi tutulur.
- İndikatör usulü: Ekstrüzyon işleminde blok yüzeyinin tutumunu incelemek için değişik malzemelerden küçük pimler blok yüzeyine yerleştirilir. Ancak bu usulde blok merkezinin akışı hakkında bilgi vermemektedir.
- Koordinat usulü: Blok simetri düzleminde ikiye bölünmekte ve bölme yüzeyine koordinatlar çizildikten sonra yarıklar grafit veya benzer maddelerle doldurulur. Blok yarıları tekrar birleştirilir ve bu durumda ekstrüzyon edilir.

Ekstrüzyon işleminden sonra blokta şekil değiştirmiş koordinat sistemi incelenerek akış hakkında fikir edinilmektedir. Bu usul araştırmacılar tarafından çok kullanılmaktadır [Sönmez,1989] (Şekil 2.24).

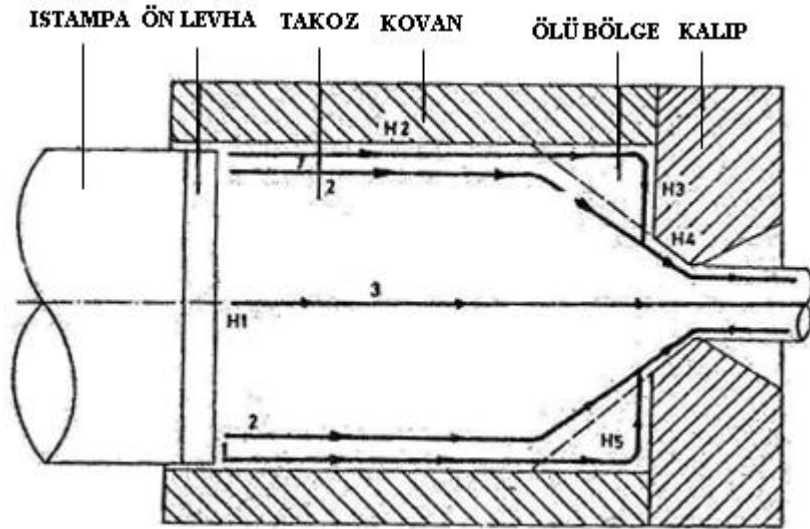


Şekil 2.24. Koordinat usulüne göre hazırlanmış blok [Sönmez,1989].

A-)Blok B-)Koordinat ağı çizilmiş blok yarıları C-)Birleştirilmiş blok

2.7.2 Direkt Ekstrüzyon Yönteminde Malzeme Akışı

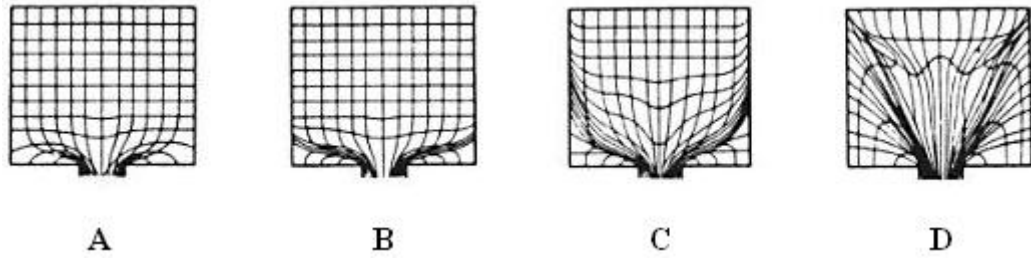
Malzemenin kovan içindeki hareketini, malzemenin plastikliği ve blok ile takımlar arasındaki dış sürtünme önemli ölçüde etkilemektedir. Takozun plastikliğinin homojen olmaması; takoz içinde sıcaklık dağılımının farklı oluşundan, kovan, ıstampa, matris, takoz sıcaklıklarının farklı oluşundan ve takozun içyapısından kaynaklanmaktadır. Dış sürtünme ise şekil 2.25’de gösterildiği gibi blok ile ön levha yüzeyi (H1), kovan yüzeyi (H2), matris alın yüzeyi (H3) ve matris delik yüzeyi (H4) arasındaki sürtünmeden meydana gelmektedir. Ayrıca takoz ile ölü bölge yüzeyi (H5) arasında da sürtünme meydana gelmektedir (ölü bölge oluşmuş ise).



Şekil 2.25. Vasıtasız ekstrüzyonda takozun çevresinin (1 veya 2) ve merkezin (3) izlediği yol (şematik) [Sönmez,1989].

Takozun çevresi şekil 2.25’de gösterilen 1 veya 2 yolunu izleyerek matrisi terk etmektedir. Ancak 1 yolu, 2 yolundan daha uzundur. Kovan içindeki malzeme tabiat kuvvetleri gibi en kısa yolu takip etmekte dolayısıyla 2 numaralı yolu seçmektedir. Bu nedenle vasıtasız ekstrüzyonda küçük veya büyük bir ölü bölge meydana gelir. Blok yüzeyi ile takım yüzeyleri arasındaki sürtünme blok çevresini engellemeye çalışırken, blok merkezi hiçbir engellemeyle karşılaşmadan akacaktır. Yukarıda sözü edilen faktörlerin aynı anda ekstrüzyon işlemini etkilemesi neticesinde farklı akış tipleri oluşmaktadır (Şekil 2.4) [Sönmez,1989].

Şekil 2.26’da gösterilen A,B,C,D akış tiplerinden A tipi ideal akış tipini ve D tipi ise istenmeyen akış tipini karakterize etmektedir.

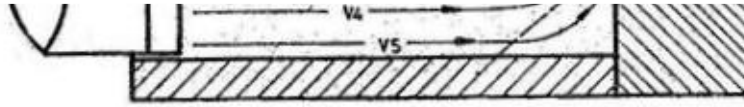


Şekil 2.26. Ekstrüzyonda oluşan malzeme akış tipleri [Saha,2000].

2.7.2.1. A Tipi Malzeme Akışı

A tipi akışta, takozun kovandan ayrışması mümkün olabilecek en düzenli bir şekilde olmaktadır. Takozun plastik akışı, matrise çok yakın bir şekil değiştirme bölgesinde olmakta ve takozun ekstrüzyon edilemeyen kısmı biçim değiştirmeden matris yönünde hareket etmektedir. Takozun ön kısımları tabaka tabaka şekil değiştirme bölgesine girmektedir. Bu akış tipi, kovan iç cidarında, matris yüzeyinde, matris deliği yüzeyinde sürtünmenin olmadığı ve homojen malzemelerde oluşmaktadır. Bütün sınır yüzeylerinde sürtünme olmadığından bloğun çevresi frenlenmeden kolayca hareket edecektir. Bunun neticesinde takozun bütün kütlesi aynı hızla hareket etmektedir. Sürtünme, etkili bir yağlama yöntemi ile yok edilebilir. Ancak bu yüksek yağlama etkisine rağmen takoz merkezi ve takoz çevresinden daha hızlı akmaktadır. Şekil 2.27’de görüldüğü gibi küçük de olsa ölü bir bölge oluşmasından malzemede sapmalar meydana gelir.

Takoz merkezinin kat ettiği yol daha kısa ve merkezden uzaklaştıkça daha uzun olmaktadır. Akış hızı merkezden çevreye doğru küçülmektedir. Bunun neticesinde malzeme akışı Şekil 2.27’de a tipi ile tam uyum sağlamaktadır. İdeal bir yağlama ile merkez ile çevre arasındaki hız farkı minimuma indirilebilir [Sönmez,1989].



Şekil 2.27. Direkt ekstrüzyonda takozdaki hız dağılımı [Sönmez,1989].

2.7.2.2 B Tipi Malzeme Akışı

Takoz ile kovan arasındaki sürtünmenin sıfır kabul edildiği, fakat matris ve matris tutucusu yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin ihmal edilemeyecek kadar küçük olmadığı durumlarda homojen malzemelerde B tipi akış meydana gelir. Bu durumda, kenar bölgelerinin matris deliği doğrultusundaki radyal akışı engellenir ve bunun sonucu olarak daha büyük bir kayma gerilmesi meydana gelir. Böylece A tipine göre daha büyük bir ölü bölge ve genişlemiş bir biçim değiştirme bölgesi oluşur. Takozun merkezinde biçim değiştirme düzgün olarak meydana gelir [Sönmez,1989].

2.7.2.3 C Tipi Malzeme Akışı

C tipi malzeme akışı, kovan cidarında, matris ve matris tutucu yüzeyinde, matris deliğinde sürtünme olduğunda ve homojen malzemelerde oluşur. Takozun çevresi saha kovan cidarında frenlemekte ve takozun merkezi az direnç görmesi nedeniyle matris deliği yönünde hareket etmektedir. Şekil değiştirme, B tipine göre matrisin çok uzaklarında kayma başlar. Kayma bölgesi kesin hatalarla ortaya çıktıkça, şekil değiştirmenin homojenliği gittikçe kaybolur. Matrizen dışarıya çıkan her bir kesit sürtünme etkisiyle takozun iç kısmı ile irtibatta kaldığından müteakip kesitler için çıkış açıklığı sürekli olarak daralır. Bundan dolayı şekil değiştirme miktarları çubuk ucundan sonuna gittikçe artar. B tipinde görülen çubuğunun

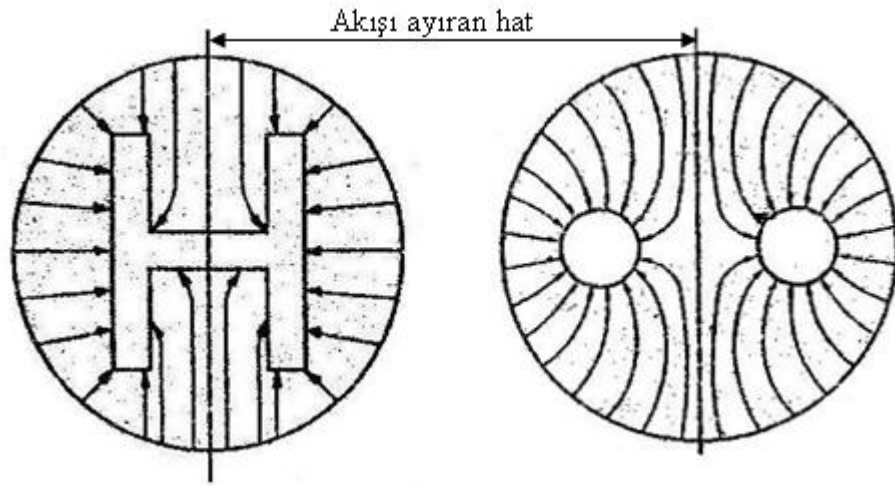
ortasında yaklaşık sabit şekil değiştirme bu tipte olmaz. Sürtünme nedeniyle frenlenen çevre malzemesi ile hareket eden merkez malzemesi arasındaki kayma bölgesi, ekstrüzyon malzemesine ve ekstrüzyon şartlarına göre az veya çok şekilde takoz çekilir. Bu durumda ölü bölge büyür. Ekstrüzyon ilerledikçe merkeze doğru büyüyen kayma bölgesinden kirler ve yağlama malzemeleri kayma bölgesi boyunca takoz içine akarlar ve ekstrüzyon edilmiş çubuk yüzeyine çıkma tehlikesi doğururlar [Sönmez,1989].

2.7.2.4 D Tipi Malzeme Akışı

D tipi malzeme akışı, C tipinde olduğu gibi, sadece sürtünmenin çok olduğu durumlarda değil, ayrıca ekstrüzyon malzemesinin şekil değiştirme direncinin takoz kenar bölgesinde, takoz içine göre fazla olduğu durumlarda meydana gelir. Şekil değiştirme matrsten çok uzakta başlar. Ekstrüzyon işleminin başlangıcında malzeme akışının yönü, ön levhanın dış kenarından matris profiline doğrudur. Bu nedenle D tipinde oluşan ölü bölge C tipinden daha büyüktür. Buna bağlı olarak kayma gerilmelerinin meydana geldiği koni bölgesi daha büyük ve belirgindir. Bu akış tipinin olduğu durumlarda hiç istenmeyen ekstrüzyon hataları meydana gelir. Özellikle pirinç ekstrüzyonun da ikilenme denen ekstrüzyon hatası işlem esnasında çok erken başlar. Ekstrüzyonda malzeme akışı için yapılan araştırmaların çoğu D tipi akış için yapılmıştır. D tipi akış ekstrüzyon asla istenmeyen akış tipidir [Sönmez,1989].

2.7.2.5 Profillerin Ekstrüzyonunda Akış

Çok karmaşık profillerin akış olayları henüz tam olarak açıklığa kavunmuş değildir. Bu konuda tüm çalışmalar basit profiller üzerinde olmuştur. Profil ekstrüzyonu esnasında ve tüm takoz çevresi boyunca ortaya çıkan bir ölü bölge görülmektedir. Akış bölgelerinin büyüklüğü, matris üzerindeki delik ile matris çevresi arasındaki uzaklığa bağlıdır. Bu uzaklık ne kadar büyük ise ölü bölge o kadar büyük olmaktadır. (Şekil 2.28). Buna bağlı olarak kaymaya zorlanan bölgenin şeklinde olmayıp düzensiz bir şekil gösterebilir.



Şekil 2.28. İki delikli profil ve H profil bloklarının matris deliğine akışı
[Akaret,1981]

Çizelge 2.3. Direkt ekstrüzyon yönteminde malzeme akış tiplerinin karakteristikleri [Sönmez, 1989].

Akış Tipi	Ekstrüzyon Malzemesi	Sürtünme	Ekstrüzyon Hatası	Artık Malzeme	Biçim Değiştirme Başlangıcı	Uygulamada Karşılaşılan Yerler	Akış Tipinin Hangi Modelle Edildiği
A	Homojen	Yok	Yok	Matris girişinde	En az	Cam ile yağlama	Plastilin ve mum (yağlama ile)
B	Homojen	Az (matriste)	Yok	Matris yakınında	Az	Pb, Sn, Bi, Al (yağlama ile)	Plastilin ve mum (yağlama ile)
C	Homojen	Yüksek (matriste ve kovanda)	Yüzeyde çanak oluşumu	Matristen uzak	Çok	HCu, Pb, Sn, Bi ve Al ve Al alaşımları	Plastilin ve parafin
D	Homojen değil	Çok yüksek (kovanda ve matriste)	İkileme	Matristen çok uzak	En çok	Pirinç, Al, AlMg, AlZnMg, Mg	Değişik plastiğe sahip silindirik tabakalardan yapılmış mum bloklar

Araştırmacılar teorik düşünceden hareket ederek kurşun malzemelerden üçgen, dörtgen kesitli profillerde ve I- profillerinde akış şekillerini incelemişlerdir. Dörtgen profilili çubuklarda en büyük akış hızına, tıpkı dairesel kesitli çubuklarda olduğu gibi, ekstrüzyon edilen malzemenin merkezinde rastlanmıştır. Üçgen kesitli çubukta ise en büyük hız değeri, ağırlık merkezinin yakınından geçen eksen üzerinde görülmüştür.

I-profillerinde ise hız maksimumuna rastlanmıştır. Bu maksimumların bulunduğu hat, flanşların gövdeyle birleştiği bölgeye rastlamaktadır. Genel bir kural söylemek gerekirse, matris üzerindeki deliğin yanaklarından en uzak olan noktalardaki hız en yüksek değerde olmaktadır. Ancak bu kuralın doğru olabilmesi için sürtünmenin profil yüzeyleri boyunca sabit olması ve geçiş yüzeylerinin aynı uzunlukta olması gerekir. Komplike bir profilde, belli bir noktada malzeme akışını daha hızlandırmak ve etkin duruma getirilmek istiyorsa sürtünme değerinin kayma boyunca homojenliğini bozmak veya belli yerlerde geçiş yüzeylerinin uzunluklarını değiştirmek başvuru çarelerinden biri olabilir.

Profillerin et kalınlığı, fazla olan yerlerinde geçiş yüzeyini uzatarak malzeme akışının yavaşlatılması gerekir. Böylece et kalınlığı fazla olan bölgelerdeki malzeme akış hızı, ince et kalınlıklı bölgelere nazaran ve blok ekseninden uzak bölgelere nazaran azalır. Böylece çubuk düzgün ve doğru bir şekilde çıkar. Bu amaç için yapılacak değişikliklerin (geçiş yüzeyi ve sürtünme değişiklikleri) ne miktarda olacağı yapılacak deneylerle saptanabilir [Sönmez,1989].

2.7.2.6 Çok Delikli Matrislerde Akış

Ekstrüzyon işlemi, aynı anda iki veya daha çok profil veya çubuk ekstrüzyon edilmek istendiğinde çok delikli matris kullanılmaktadır. Ancak malzeme akışının düzenli olabilmesi için deliklerin matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Eğer matris üzerinde, takoz eksenine simetrik olarak düzenlenmiş iki delik varsa takozun simetri düzlemi bir sınır görevi yapar ve takozun her iki yarısından malzeme ayrı ayrı akar. Takozun merkezindeki malzeme düzgün bir şekilde her iki deliğe dağılmaktadır. Matris üzerinde iki yerine üç veya dört delik bulunuyorsa, malzeme akışı burada da her bir deliğe düzenli ve eşit bir şekilde olur. Takoz

merkezindeki malzeme kütlesi, deliklerden dışarı ekstrüzyon edilen çubukların yüzey tabakalarında yer alır. Matrisin ortasında kubbe biçiminde bir ölü bölge meydana gelir.

Matrisin merkezinde bir delik bulunuyor ve diğer delikler merkezdeki deliğe eş uzaklıkta dağılmış bulunuyorsa, takozun merkezindeki malzeme orta delikten akar, takozun çevresindeki malzeme ise diğer delikten akar, yani diğer çubukları oluşturur. Ölü bölgenin şekli üç delik için yassı bir halka şeklindedir. Dört veya daha fazla delik için ise, yıldızlardan yapılmış bir halka şeklindeki ölü bölgeye rastlanabilir.

Çok delikli ekstrüzyonda takoz kütlesi farklı çubuklara dağıldığından, çubuk kesitlerinin takoz kesitiyle tam uyuşması beklenmez. Halbuki merkezde tek deliğin bulunması halinde takoz kesiti ile çubuk kesiti tam uyum gösterirler. Takoz çevresindeki malzeme kütlesinin akışı incelenecek olursa durum daha iyi anlaşılır. Kovan cidarı ile takoz çevre yüzeyinin sürtünmesinden dolayı oluşan kayma bölgesi, tel delikli ekstrüzyonda elde edilen çubuğun üzerinde eş kalınlıklı dış tabaka oluşturur (Şekil 2.26 C-tipi akış). Halbuki çok delikli ekstrüzyonlar da kayma bölgesi malzemesi çubuklar üzerinde düzgün bir tabaka meydana getirmezler, aksine yer yer kalınlığı değişen düzensiz bir örtü meydana getirirler. Buradan şu sonuca varılabilir; kayma bölgesindeki malzeme yalnız matris çevresiyle direk komşu olan deliklerden ekstrüzyon edilen çubukların üzerinde bir tabaka oluştururlar. İç tarafta kalan deliklerden çıkan çubuklarda kayma bölgesi malzemesi görünmez. Çünkü bu delikler, çevrelerindeki diğer deliklerce korunmaktadır.

Takoz ile kovan arasındaki sürtünmeden dolayı vasıtasız ekstrüzyonda takozun merkezindeki malzeme, çevresindeki malzeme kütlesine göre daha hızlı akar. Dolayısıyla matrisin ortasındaki delikten çıkan çubuğun hızı, çevredeki deliklerden çıkanlara göre daha yüksek olmaktadır. Ancak çubukların çıkış hızını yağlama maddeleri kullanmak suretiyle önemli oranlarda değiştirmek mümkündür. Araştırmacılar Pb ve Al ile yaptıkları deneylerde yağlama yapılması halinde, merkeze yakın olan deliklerden çıkan çubukların hızının, uzakta olanlardan daha yavaş olduğunu görmüşlerdir. Yağlama yapmadıkları zaman ise, beklenen normal

sonucu elde etmişler, yani merkezdeki çubuğun çıkış hızının daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

Değişik çaplardaki çubukların aynı anda ekstrüzyon edilmesi halinde, çıkış hızları arasındaki oranı etkileyen faktör, yine deliklerin merkeze uzaklığıdır. Ekstrüzyon işlemi sırasında hızlarda bir değişiklik olacak olursa çubuklar eğilmeye meylederler.

Çok delikli matrislerin kullanılması halinde, delikler matrisler üzerinde öyle düzenlenmelidir ki ve delik yüzeyleri boyunca sürtünme o şekilde ayarlanmalıdır ki, tüm çubuklar aynı hızda çıksınlar. Burada takozun şekil değiştirmesinin heterojenliğin ve kovan cidarlarında sürtünmenin dikkate alınması gerektiği hemen anlaşılmaktadır. Dolayısıyla başarıya ulaşmak için deneyler yaparak optimum durumu tespit etmek gereklidir [Sönmez,1989].

2.7.2.7 Konik Matrislerde Akış

Malzeme akışı yönünden, dik açılı matrislerin bazı malzemeler için uygun olmadığı anlaşıncı konik matrislerde çalışmalar başlamıştır. Araştırmacılar kalayı değişik giriş açılı matrislerle ekstrüzyon etmişler ve deliğin giriş açısı ne kadar küçük ise, malzemenin hareketi o kadar düzenli olmuştur. Dik açılı bir matris B tipi akışı verirken, ölü bölge açılarında malzeme birikimine ve homojen olmayan şekil değiştirmeye neden olmuştur. Yüzeye yakın bölgelerdeki şiddetli kayma bölgeleri kaybolmuştur. Hacim elemanlarının her biri yaklaşık eş değerde şekil değiştirmişlerdir.

Konik matrisler genellikle kurşun alaşımının, çeliklerin, titanyum alaşımlarının ve yüksek sıcaklıkta ekstrüzyon edilen alaşımların ekstrüzyonunda kullanılabilir. Matrislerin optimum giriş açıları genellikle ekstrüzyon oranına bağlıdır. Ekstrüzyon oranının küçük olması durumunda matris açısı da küçük olabilir. Ancak pratikte ekstrüzyon oranı ekonomik yönden büyük olmaktadır. Malzeme akışının düzenli olması için matris girişi açısı da büyük olması gerekir. Pb'nin değişik ekstrüzyon oranlarında yapılan ekstrüzyonun da matris açısı büyüdükçe malzeme akışı iyileşmektedir. 30 °C'de C tipi malzeme

akışı elde edilirken 120 °C’de B tipi malzeme akışı elde edilir (Şekil 2.9). Kurşun ve kurşun alaşımlarında 90° - 120° , titanyum alaşımlarında 120° ve yüksek sıcaklıklarda ekstrüzyon edilebilen alaşımlarda 120° - 130° ‘lik matris açıları kullanılabilir. Matris girişi açıları bu değerlerin üzerine çıktığı zaman, matris koniklikten uzaklaşmakta ve dik açılı matrislere benzemektedir. Uygun matris açıları seçerek ve uygun bir yağlama yaparak, zor ekstrüzyon edilebilen malzemeler, konik matrisle ekstrüzyon edilebilir [Sönmez,1989].

2.7.2.8. Boruların Ekstrüzyonunda Akış

Boru ekstrüzyonun da, dolu takozlar veya ortası delik takozlar kullanılır. Dolu takozlar kullanılması durumunda malafa sürtünmesi ilave bir etki büyüklüğü olarak ortaya çıkmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, bakır ve bakır alaşımlarından dolu takozlar kullanılarak yapılan boru ekstrüzyonun da, çeşitli araştırmacılar akış olaylarını incelemişlerdir. Alüminyum delinmesinde ve ekstrüzyonun da, birbirlerine dişlerle bağlanmış plakalardan yapılan takozlar kullanılmış ve C tipi akış görülmüştür. Borunun en dış yüzeyinin, takozun en alt tabakasında meydana geldiği saptanmıştır. Boru iç yüzeyi ise takozun en üst tabakasından oluşmuştur. Takozun alt tabakaları genellikle borunun başlangıç kısımlarını oluştururken, üst tabakalar borunun son kısımlarını meydana getirmişlerdir. Bakır ve alaşımlarının ekstrüzyonun da konik matrisler ve ön levhalar kullanılmıştır. Kullanılan dilimli takozların yüzeyine de takozlar yerleştirilmiştir ve 0,75 mm kalınlıkta çubukla çalışılmıştır. Burada iki akış tipi tespit edilmiştir; yağlanmış ve yağlanmamış akış. Yağlanmamış akma olayında C tipi akış görülürken, yağlanmış akma olayında A tipi akışa benzer bir akış tipi gözlenmiştir [Sönmez,1989].

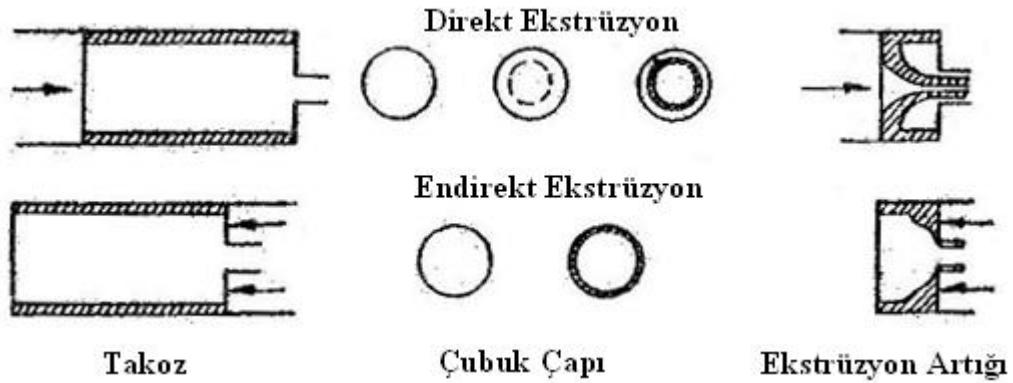
2.7.2.9 Merkezden Kaçış, Eksantrik Deliklerden Akış

Plastilin malzeme ile eksantrik delikli matrislerle ekstrüzyon yapılarak çubuktaki akışlar üzerinde araştırmacılar çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu parametrelerin kombinezonu, çubuğun çıkış yönünü, çubuğun eğriliğini ve ölü bölgenin biçimini saptar. Kovandaki sürtünme çubuğun eğriliğine neden olan önemli bir etkidir. Sürtünme değeri arttıkça çubuğun eğriliği azalır.

2.7.3. Endirekt Ekstrüzyonda Akış

Çeşitli malzemeler, direkt ve endirekt ekstrüzyon yöntemine tabi tutularak malzeme akışları arasındaki fark açıklanmaya çalışılmıştır. Endirekt ekstrüzyonda, direkt ekstrüzyondan daha ideal akış tipleri oluşabilmektedir. Endirekt ekstrüzyonda malzemenin şekil değiştirmesi her zaman, takozun matris içinde kalan bölgesinde meydana gelir. Takoz ile kovan arasındaki sınır yüzeyin durumu, oluşacak akışın karakteri için önemsizdir. Matris yüzeyinin durumuna göre A tipi ve B tipi akış meydana gelir.

Endirekt ekstrüzyonda takozun temiz olmayan kenar tabakasının çubuk içine akışına neden olan malzeme girdabı oluşmaz. Bu durum şekil 2.29'da, mum malzemenin ekstrüzyonun da görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi takozun dış yüzeyindeki malzeme direkt ekstrüzyonda burkularak çubuk merkezine akarak ekstrüzyon hatasına neden olur ve akış idealden uzaklaşır. Endirekt ekstrüzyonda ise böyle bir durum oluşmamaktadır [Sönmez,1989].



Şekil 2.29. Direkt ve endirekt ekstrüzyonda blok yüzeyinin şekil değişimi [Sönmez,1989].

3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUMUN EKSTRÜZYONU

3.1 Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum güçlü, dayanıklı ve 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 kullanılmaktadır. 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 [Bingöl,2001].

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

Çizelge 3.1. Alüminyumun özellikleri (Biro,2004)

1.Özgül ağırlığı 2,7 gr/cm ³ olan alüminyum; demir (7,9 gr/cm ³) ve bakırın (8,9 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.

Çizelge 3.1.'in devamı: Alüminyumun özellikleri (Biro1,2004)

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 yıkanabilirdir ve üzerinde mikrop barınmadığından hijyeniktir.	Bu özelliklerinden 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 ve 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'ı kadardır bununla birlikte alüminyumun özkütlesi bakırın yaklaşık üçte biri kadardır.	Bu özelliklerinden dolayı alüminyum güç iletişim kablolarında, ampullerde ve diğer elektrikli alanlarda kullanılır.

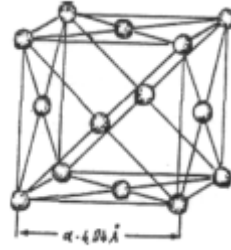
Çizelge 3.1.'in devamı: Alüminyumun özellikleri (Biro1,2004)

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.

3.1.1 Atom Yapısı ve Kristal Kafesi

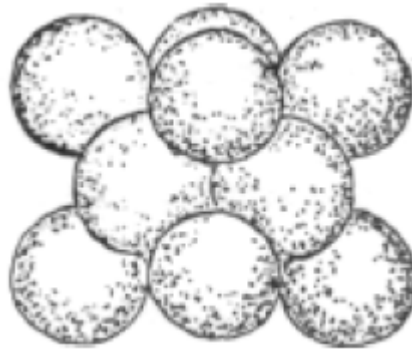
Alüminyum, periyodik tablonun "3A" grubundadır; atom numarası 13, atom çapı $1,43\text{\AA}$, iyon çapı $0,86\text{\AA}$ ve atom ağırlığı 26,97'dir.

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



Şekil 3.1. Alüminyum kristal kafesi elementel küpünün yapısı [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].



Şekil 3.2. Alüminyum kristal kafesi elementel küpündeki iyon dizilişi [Sezer,1975].

3.1.2 Fizikokimyasal Özellikleri

3.1.2.1 Yoğunluk

Hem sıvı hem katı alüminyumun yoğunluğu artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. Aşağıda tavllanmış katı metalin 20°C 'deki yoğunluğu için birkaç değer verilmiştir [Sezer,1975]:

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 saflık 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 birbirinden oldukça ayrılmaktadır. Çok muhtemelen atmosferik basınçta 2500 °C'luk bir kaynama noktası doğru değere en iyi şekilde uymaktadır. [Sezer,1975].

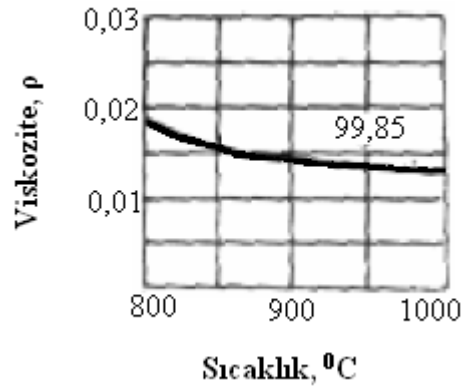
Sıcaklık, °K	1475	1880	2770
Buhar basıncı, mmHg	0,01	1,0	760

3.1.2.4 Isı İletkenliği

Alüminyumun ısı iletkenliği artan saflık 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 [Sezer,1975].

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 [Sezer,1975].



Şekil 3.3. Ergimiş alüminyumun viskozitesi [Sezer,1975].

3.1.2.6 Elektrik İletkenliği

Bakırınki ile karşılaştırılmış olan aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi alüminyumun elektrik iletkenliği yükselen saflık ile artar [Sezer,1975].

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. Özgün ısının değeri takriben 93 kcal/g, atom ısısınıniki ise 2520 kcal/g atomdur [Sezer,1975].

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	0,3541	0,2667	7,19

3.1.3 Mekanik Özellikler

Mekanik özellikler de büyük ölçüde saflık derecesine bağlıdır. Yüksek saflıktaki alüminyum teknik saflıktaki metale nazaran çok daha yumuşak ve plastiktir, mekanik mukavemeti ise daha düşüktür.

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

Çok sayıda araştırma alüminyum çekme mukavemetinin artan saflık 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 kg/ mm², basınç dayanımı 10,8 ve 1,2 kg/ mm², uzama % 5,5 ve % 40-50 [Sezer,1975].

3.2 Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum ve alaşımları, dünyada demir esaslı malzemelerden sonra en önemli metal grubu olarak ikinci sırada yer almaktadır. Ayrıca, hafif metaller arasında da gerek saf halde, gerek alaşım olarak en çok kullanılan ve en popüler olan malzemelerdir. Alüminyum, 19. yüzyılın ikinci yarısından bu yana endüstriyel çapta üretilen çok genç bir metal olmasına rağmen, bugün bakır ve alaşımları, kurşun, kalay ve çinko gibi tüm demir dışı metallerin toplam kullanımından daha çok miktarda kullanılmaktadır (Ulucak, 2006).

3.2.1 Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Yapılarına Göre

Sınıflandırılmaları

Alüminyuma çeşitli özellikler vermesi için çeşitli metaller karıştırılır. İlave edilen metallere göre sınıflandırma yapılır (Çizelge 3.1). Bir alaşım 4 rakamdan oluşan notasyon ile tanımlanır. Alüminyum alaşımlarının işaretlendirilmesi için dört tam sayılı endeks sistemi kullanılır. Bunlardan 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 gösterir.

Minimum %99,00 saf alüminyum içeren 1xxx grubunun son iki rakamı 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.

3.2.2 Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarına

Kazandırdıkları Özellikler

Saf alüminyumun iyi olan birçok özelliğinin (hafiflik, iyi haddelenebilme özelliği, yüksek elektrik iletkenliği, korozyona karşı mukavemet, manyetik olmayışı vs.) yanı sıra dökme ve mekanik özellikleri çok kötüdür. Kötü olan bu özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla alüminyuma ilave alaşım elementleri katılmıştır. Alaşımların kullanılma yerlerine göre seçimlerinin yapılabilmesi açısından, alaşım elementlerinin alüminyum üzerindeki etkileri bilinmelidir.

Alüminyuma en fazla ilave edilen alaşım elementleri ve etkileri kısaca aşağıda belirtilmiştir. [Bingöl,2006].

Bakır: Bakırın düşük sıcaklıklarda ısıtılma işlemi ile ve yüksek sıcaklıklarda ise diğer alaşım elementleri ile meydana getirdiği ara fazlar, malzemenin mukavemetini artırır. Bununla birlikte bakır, korozyon direncini düşürür, tavlama durumunda pitting(küçük noktalar halindeki korozyon) meydana gelmesine yol açabilir.

Çizelge 3.3. Alüminyum alaşım çeşitleri [Bingöl,2006].

<i>Alaşım grubu</i>	<i>Ana Alaşım Elementi ve Tipik Özellikler</i>
<i>1XXX</i>	<i>Alaşımsız alüminyum (minimum %99 al);</i> Yüksek korozyon direnci, kolay birleşme özelliği , düşük dayanım, düşük işleme kabiliyeti, yüksek elektrik iletkenliği ve termal iletkenlik.
<i>2XXX</i>	<i>Bakır'lı alaşım;</i> Yüksek dayanım, nispeten düşük korozyon direnci, işlenebilme kabiliyeti çok iyi, ısıtılma işlemi görebilir.
<i>3XXX</i>	<i>Manganez'li alaşım;</i> Düşük-orta arası dayanım, iyi korozyon direnci, işleme kabiliyeti düşük.

Çizelge 3.3.'ün devamı: Alüminyum alaşımları

4XXX	<i>Silisyum'lu alaşım</i> ; Ekstrüzyon işlemi için kullanışlı değildir.
5XXX	<i>Magnezyum'lu alaşım</i> ; Düşük sayılabilecek dayanım, denizcilikte mükemmel korozyon direnci, çok iyi kaynak kabiliyeti.
6XXX	<i>Silisyum ve magnezyumlu alaşım</i> ; Ekstrüzyonda en popüler alaşımdır, iyi ekstrüzyon edilebilme özelliği, iyi dayanım, iyi korozyon direnci, iyi işlenebilme kabiliyeti, iyi kaynak kabiliyeti, iyi plastik şekillendirme kabiliyeti.
7XXX	<i>Çinko'lu Alaşım</i> ; Çok yüksek dayanım, talaşlı işlenebilme kabiliyeti iyi, ısıtılabilir.
8XXX	<i>Demir ve Silisyum'lu alüminyum alaşımı</i>
9XXX	<i>Yeni bulunan alaşımlar</i> (Örnek: Lityum'lu alaşımlar)

Magnezyum: Magnezyum yüksek mukavemet, süneklik ile korozyon mukavemeti ve kabiliyeti sağladığı gibi malzeme yoğunluğunu da düşürmez. Mg₂Si (magnezyum silisit) yapacak miktarda magnezyum ve silisyum ihtiva eden alaşımlar ısıtılabilir ve kolay işlenebilen alaşımlardır.

Silisyum: Silisyum miktarı arttıkça çekme ve akma mukavemeti artış gösterir. Alaşımın içerisinde silisyum ihtiva eden fazın şekli ve dağılımı önemlidir. Küçük ve yuvarlak primer faz veya ötektik yapı yüksek mukavemet ve süneklik verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür

Çinko: Alüminyum-Çinko alaşımları genellikle en yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarıdır. Çinko, alüminyum alaşımlarının işleme kabiliyetini artırır. Sıcak yırtılmaya sebep olmasına rağmen diğer alaşım elementleri ile bu kötü özellik ortadan kaldırılabilir.

Manganez: Manganez korozyon mukavemetini düşürmeden mekanik özellikleri iyileştirir. %0,75'e kadar Mn. İlavesi, döküm alaşımlarında sertliği artırır, sünekliği azaltır. Dövme alaşımlarında Mn, yüksek mukavemet, korozyona karşı dayanıklılık ve iyi kaynak kabiliyeti verir. Fazla miktarda Mn veya Mg veya her iki elementin fazlaca bir arada olması haddeleme sırasında çatlak teşekkülüne yol açar. Mn, %10 Mn-Al alaşımı halinde alaşıma ilave edilir.

Demir: Alüminyum alaşımlarında demire genellikle rastlanır. Redüksiyon ve izabe işlemlerinde istenmeyerek de olsa bir miktar demir alaşımda kalır.

Titanyum: Titanyum genellikle, boksitte çok az miktarda bulunan TiO_2 'den gelen bir empüritedir.

Zirkonyum: Zirkonyum tane küçültücü gerilmeli korozyona mani olan ve yüksek sıcaklıkta sürünme mukavemetini arttıran bir alaşım elemanıdır.

Krom: Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarında korozyona karşı mukavemeti artırır ve gerilmeli korozyon ihtimalini azaltır. Krom, alaşıma %2 Cr-Al esas alaşım halinde ilave edilir. AlMgSi alaşımlarının sıcak şekillendirme işlemlerinde yeniden kristalleşmeyi geciktirici rol oynar.

Fosfor: Fosfor genellikle boksitte bulunan fosfatlardan gelen tali bir empürite elemanıdır. Ötektik üstü alüminyum-silisyum alaşımlarına silisyumlu primer fazın daha küçük ve daha muntazam dağılmış olarak bulunması için ilave edilir. (Bingöl,2006).

Kalay: Metal ergidikten sonra ilavesi oldukça kolaydır. Alüminyum alaşımlarında kalay, düşük ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı düşürür

Kurşun: Özellikle kalay ve bizmut ile kullanıldığında alaşımın işlenebilme kabiliyetini artırır. Alüminyum içerisindeki erirliği çok düşüktür

Bor: Genellikle %0,01 oranında kullanılır. Titanyumla beraber iyi bir tane küçültücüsüdür.

Berilyum: Yüksek magnezyumlu (%4 ve daha fazla) döküm alaşımlarında curuflanmayı azaltmak ve yeniden ergime esnasında magnezyumun yanarak kaybolmasını önlemek için berilyum ilave edilir.

Sodyum: Sodyum, alüminyum-silisyum alaşımlarını modifiye etmek için kullanılır. Sodyum ihtiva eden alüminyum alaşımlarında mekanik özelliklerde süneklik ile darbe mukavemetinde çok düşme, sertlikte de çok az artma yapmakla beraber %0,01 mertebesindeki sodyum, sıcak yırtılmaya yol açabileceği gibi korozyon mukavemetini de düşürür [Bingöl,2006].

3.2.3 Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlem Durumuna Göre

Sınıflandırılması

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

Isıl İşlem uygulanabilir alaşımlar; 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi alaşımlar

Isıl İşlem uygulanamayan alaşımlar; 1xxx, 3xxx ve 5xxx serisi alaşımlar

3.2.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri ve Isıl İşlem

Simgeleri

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

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

H. Germede sertleştirilmiş ve kısmi tavlanmış ürünlerin kodu olup; alaşımlı metalin kısmi olarak tavlanması için yeterli oda sıcaklığında ısıtıl işleme tabi

tutulmuş ya da tabi tutulmamış ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş üretilere uygulanır.

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

T. Isıtma işlemle sertleştirilmiş malzemenin kod adı olup, ilgili ısıtma işlemler şu şekilde uygulanır;

Çözeltiye alma ısıtma işlemi, soğutma, doğal yaşlandırma, suni yaşlandırma

T1. Sıcak şekillendirmeden sonra soğutulmuş ve tabi yaşlandırılmış.

T2. Tavlanmış (sadece döküm malzemeler için).

T3. Çözeltiye alma ısıtma işlemi yapılmış ve sonra soğuk işlenmiş.

T4. Çözeltiye alma ısıtma işlemi yapılmış ve sabit şartlarda tabi olarak yaşlandırılmış.

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

T6. Çözeltiye alma ısıtma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırılmış.

T7. Çözeltiye alma ısıtma işlemi yapılmış ve sonra stabilize edilmiş.

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

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

T10. Suni yaşlandırılmış ve sonra soğuk işlenmiş.

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

T12. Sıcak biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş ve suni olarak yaşlandırılmış.

Suni yaşlandırmanın uygulanabildiği alaşımlar 2xxx, 6xxx ve 7xxx serileridir.

H- Isıtma işlemleri ise 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx ve 8xxx'li serilere uygulanabilir.

[Bingöl,2006].

3.2.4 AlMgSi Alaşımları (6xxx serisi)

6000 serisi olarak bilinen AlMgSi alaşımları iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri, yüksek korozyon dayanımları, sıcak deformasyon sonrasında temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edebilmek için uygulanan süreçlerin düşük maliyetli olması ile tanınırlar. Dünya alüminyum ekstrüzyon üretiminin yaklaşık % 80'inden fazlasını 6000 serisi alaşımlar, bu serinin %70'ini de AA 6063 grubu oluşturmaktadır.

Alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları Mg_2Si fazı partikülleri ihtiva ederler. Mg_2Si metaller arası bileşiğinin Mg:Si oranı 1.73'tür. Maksimum çözünürlüğü ise %1,85 olup sıcaklıkla azalır. Bu faz solüsyona alma ısı işlemi esnasında çözünür ve yapay yaşlandırma esnasında küçük bir miktarı çökelir. Sonuç olarak, bu fazın miktarı ve dağılımı alaşıma uygulanan ısı işlemin süreci ve derecesini gösterir. Ayrıca yapıda Mg_2Si oluşumundan artan silisyum partikülleri mevcut olabilir [Bingöl,2006].

6000 serisi alaşımlardaki alaşım elementlerinden silisyumun oranı % 0,2-0,7 arasında, magnezyum oranı ise %0,35-0,9 arasında değişmektedir. AA 6000 serisi alüminyum alaşımlarındaki en önemli empürite olan demir için bazı standartlarda alt ve üst sınırlar belirlenmiş, diğerlerinde ise sadece üst sınır verilmiştir. Empürite elementlerinden titanyum ile çinkonun miktarının genelde % 0,1-0,2'nin altında olması istenilmekle birlikte, bazı standartlarda toplamı %0,15'in altında olması gereken “diğer empüriteler” grubuna dahil edilmiştir. Empürite elementlerinden bakır ve kromun ağırlığının %0,05-0,12'nin altında olması istenirken alaşımındaki manganez miktarının alt ve üst sınırları arasındaki fark geniş olup, %0,1-0,3 arasında değişmektedir.

AlMgSi alaşımlarının ana bileşenleri magnezyum ve silisyum olup, bu elementler yapıdaki Mg_2Si metaller arası bileşiğini oluşturur. Genellikle demir, manganez ve krom gibi elementler düzenleyici olarak bulunur. Bazen korozyon direncinden ödün vermeksizin az miktarda çinko veya bakır, mukavemeti artırır. İletkenlerde titanyum ve vanadyumu almak için bor, tane boyutunu kontrol etmek

için zirkonyum veya titanyum bulunur. Malzemenin talaşlı işlenebilirliğini arttırmak için kurşun veya bizmut ilave edilir.

AA 6063 alaşımının Mg ve Si içerikleri Mg_2Si oluşturacak şekilde seçilirler ve dengelenmiş alaşım olarak nitelendirilirler. Yapı içerisinde çoğunlukla serbest Mg ve Si bulunmamaktadır. Silisyumun bir kısmı Al-Fe-Si fazlarının oluşumunda yer almaktadır. Çok sınırlı olmakla birlikte bazı hallerde dökülebilirliği iyileştirmek için serbest veya fazla silisyuma müsaade edilmektedir(Erarslan,1999). Serbest veya fazla Mg korozyon direncini artırır, fakat mukavemet ve deformasyon kabiliyetini azaltır. Deformasyon kabiliyetini azaltarak ekstrüzyon edilebilirliği olumsuz etkilediğinden fazla Mg kesinlikle istenmez. Aşırı silisyum ise daha yüksek mukavemeti deformasyon kabiliyetinden ödün vermeden sağlar. Ancak yüksek dayanım değerleri elde etmek amacıyla alaşımdaki silisyum oranının arttırılması durumunda silisyumun çökmesi sonucu yüzeyde “dark spots” (siyah benekler) olarak adlandırılan hatalar oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

AlMgSi alaşımlarında manganez, krom, zirkonyum gibi çökelti oluşturan elementler bulunduğunda, homojenizasyon işlemi sırasında yüksek sıcaklıkta çökelen fazlar (~ 500 °C) oluşacaktır. Bu çökelti ekstrüzyon sürecinde ince bir alt tane yapısı oluşturarak yeniden kristalleşmeyi önler ve ekstrüzyon sonrasında lifli yapının korunmasını sağlar. Oluşan bu altyapı daha sonraki yaşlandırma işlemi ile oluşacak mukavemet artışının daha fazla olmasına neden olur. Ancak dispersoid oluşturan elementler alaşımı su vermeye daha duyarlı yaparlar. Bu da yaşlandırma işleminden sonraki soğuma hızının azalması durumunda, yaşlandırma işlemi ile elde edilebilecek dayanımın azalmasına neden olur. Altyapı oluşumu, su verme duyarlılığının artmasının neden olacağı kaybı, süneklik ve tokluğu artırarak karşılar.

6000 serisi alüminyum alaşımlarında magnezyum ve silisyum 1.73:1 oranında birleşip Mg_2Si çözeltisini oluşturmaktadırlar. Mg_2Si miktarına bağlı olarak Al-Mg-Si alaşımlarının mekanik özellikleri değişmektedir. Artan Mg_2Si ile mekanik özellikler iyileştirmekte buna karşılık ekstrüzyon yapılabirlik azalmaktadır.

Al-6063 alaşımda katı çözelti sertleşmesi için gerekli olan Mg_2Si miktarı minimum %0,3'tür. Malzemede kontrollü emprüte olarak bulunan demir, bir kısım silisyum ile birleşir ve magnezyum/silisyum oranını değiştirir. Bu nedenle malzemede hem demir hem de magnezyumla birleşmeye yetecek kadar silisyum bulunmalıdır. Aksi taktirde, magnezyumun tamamı silisyum ile birleşip Mg_2Si çökeltilerini oluşturmayacak ve bunun sonucu olarak, alaşımda dayanımı AA6063 için belirlenmiş olan dayanım değerlerinin altında kalacaktır [Bingöl,2006].

3.2.4.1 6xxx Serisi Alaşımlarının Özellikleri

Daha önce de belirtildiği gibi alüminyum alaşımları en popüler alaşım 6000 serisi alaşımdır. Bununla birlikte ekstrüzyon işleminde de en fazla bu alaşım grubu ekstrüzyon edilmektedir. Bundan dolayı bu kısım 6xxx serisi alaşımların özelliklerine ayrılmış olup aşağıdaki Çizelge 3.2 'den 3.8'e kadar olan çizelgelerde, 6000 serisi alüminyum alaşımı grubundan olan her bir alaşım çeşidi için yapısal özellikler, alaşımda uygulama alanları, kompozisyonu, ürün formu gibi özelliklere ait bilgiler sunulmuştur. (www.aluminium.matter.org.uk)

Çizelge 3.4. AA6005A'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları

EN AW-6005A / ISO: AlSiMg(A)	
Bileşim:	Al 0,6 Mg 0,7Si Mn Cr
Uygulamalar:	Karmaşık kesitli demir yolu ve otobüs profilleri, yapısal mühendislik, platformlar, boru hatları, elektriksel ve mekaniksel hassas endüstrilerdeki uygulamalar, yelkenli gemiler ve botlar için direkler, mobilyacılık.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci, çok iyi kaynak kabiliyeti, AA6060 ve AA6063 alaşımlarına göre biraz daha yüksek dayanım.
Ürün Formu:	Çubuk, boru, profil

Çizelge 3.5. AA6016'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları

EN-AW-6016	
Bileşim:	AlXXXX
Uygulamalar:	Otomotiv dış panellerinde gövde panelleri olarak, mimari uygulamalarda polimer kaplı halde.
Yapısal Özellikler:	Levha halinde ve ekstrüzyon edilmiş halde 6000 serisi, Al-Mg-Si ve Al-Mg-Mn-Si alaşımlarını içerir. Isıl işlem ile daha iyi dayanım, korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti kazanırlar.
Ürün Formu:	Levha

Çizelge 3.6. AA6060'ın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları

EN-AW-6060 / ISO: Al Mg ₂ Si	
Bileşim:	Al 0,5Mg 0,5Si Fe
Uygulamalar:	Kapı, pencere, çerçeve ve iç dekorasyon sistemleri, aydınlatma sistemleri, merdivenler, parmaklıklar,elektronik modüller, elektromotor çerçeve ve levhaları, esnek montaj sistemleri, özel makine elemanları, kamyon ve römork döşemeleri, pnomatik tesisatlar, demiryolu uygulamaları, sulama, ısıtma ve soğutma sistemleri, mobilyacılık, ofis ekipmanları.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti, özellikle T4 temperinde çok iyi soğuk şekillendirme kabiliyeti. Orta derecede dayanıma (ısııl işlemli halde iken) sahip olup 6005A alaşımına göre dayanımı biraz daha düşük.Çok karmaşık kesit olarak kullanılabilme özelliği. Dekoratif kalitesi çok iyi.
Ürün Formu:	Düz ve silindirik çubuklar, teller, çeşitli karmaşıklıklara sahip profil kesitleri

Çizelge 3.7. AA6061'in çeşitli özellikleri ve uygulama alanları

EN AW-6061 / ISO: Al Mg1SiCu	
Bileşim:	Al 1.0Mg 0.6Si Cu Cr
Uygulamalar:	Demir yolu vagonlarında kuvvetli yapılar olarak, kamyon çerçeveleri, gemi inşalarında, köprüler, havacılık, direk ve kuleler, taşımacılık, ocak-soba-kazan yapımı, deniz botlarında, uzay ve havacılık uygulamaları, helikopter ve aircraft uygulamaları, perçinler.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci. Çok iyi kaynak kabiliyeti,kaynak bölgesinde azalan dayanım. Orta-yüksek arası derecede dayanım özelliği olup 6005A'ya göre daha yüksek dayanıma sahiptir. T4 temperinde iyi soğuk şekillendirilebilme özelliği. Çok karmaşık kesitler için uygun değildir.
Ürün Formu:	Levha, düz ve silindirik çubuklar, tüpler, dövme parçaları, profiller.

Çizelge 3.8. AA6063'ün çeşitli özellikleri ve uygulama alanları

EN AW-6063 / ISO: Al Mg0,7Si	
Bileşim:	Al 0,7 Mg 0,4Si
Uygulamalar:	Pencereler, kapılar ve perde duvarlar için mimari kesitler, iç dekorasyon tertibatı, çerçeve sistemleri, aydınlatma sistemleri, merdivenler, parmaklıklar vs., elektronik modüller, elektromotor çerçeve ve levhaları, esnek montaj sistemleri özel makine elemanları, kamyon ve römork döşemeleri, pnomatik tesisatlar, demiryolu uygulamaları, sulama boruları, mobilyacılık uygulamaları, ofis ekipmanları, radyatör ve diğer ısı değiştirici uygulamaları.

Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci ve çok iyi kaynak kabiliyetine sahiptir. Düşük-orta dereceli dayanım özelliği olup 6005A alaşımına göre biraz daha az dayanıma sahiptir. Özellikle T4 temperinde çok iyi soğuk şekillendirilme kabiliyeti vardır. Çok karmaşık kesitler için uygundur. Dekoratif kalitesi çok iyidir.
Ürün Formu:	Levha, düz ve silindirik çubuklar, teller, profiller.

Çizelge 3.9. AA6082'nin çeşitli özellikleri ve uygulama alanları

EN AW-6082 / ISO: Al Si1Mg Mn	
Bileşim:	Al 0,9Mg 1,0Si 0,7Mn
Uygulamalar:	Demir yolu vagonlarında ağır hizmet elemanları olarak, kamyon çerçeveleri, gemi inşaları, köprüler, bisikletler, soba, ocak ve kazan yapımlarında, platformlar, flanşlar, hidrolik sistemler, maden ekipmanları, direkler ve kuleler, deniz botları, nükleer teknoloji, gemi direkleri ve kirişleri, iskele malzemeleri, çadır ve büyük salonlar için iskelet yapılarında, perçinlerde.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci ve çok iyi kaynak kabiliyeti (kaynak bölgesinde zayıf dayanım). İyi işlenebilme kabiliyeti. T4 temperinde soğuk şekillendirilme kabiliyeti. Orta-yüksek arası derecede dayanım özelliği olup 6061 alaşımına göre dayanımı daha iyidir. Karmaşık kesitler için uygun değildir.
Ürün Formu:	Levha, çubuk, tel tüp, profil.

Çizelge 3.10. AA6106'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları

(www.aluminium.matter.org.uk)

EN AW-6106 / ISO: Al MgSiMn	
Bileşim:	Al 0,6Mg 0,4Si Mn
Uygulamalar:	Yapısal uygulamalar, merdivenler, direkler ve kuleler, otoraylar ve denizcilik uygulamaları, otomotiv yapıları.
Yapısal Özellikler:	Al-Mg-Si ve Al-Mg-Mn-Si alaşımları halinde bulunan 6000 serisi alaşımlar hadde ve ekstrüze edilmiş halde bulunurlar. Isıl işlem ile daha iyi dayanım, korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti kazanırlar. 6106 alaşımı, mekanik özellikler, kesit karmaşıklığı, minimum kesit kalınlığı iyi yüzey özelliği gibi özelliklerin optimum kombinasyonunu sağlamak için bir ekstrüzyon alaşımı olarak tasarlanmıştır. Çok karmaşık kesitli profillerin bu alaşımla elde edilmesi olanaklıdır.
Ürün Formu:	Profiller

4. EKSTRÜZYON HATALARI

Ekstrüzyon edilmiş mamul ve yarı mamullerin yüzeylerinde ve iç kısımlarında özellikle yönteme bağlı olan hatalar oluşabilmektedir. Hatalar genellikle ekstrüzyon sonuna doğru ortaya çıkarsa da, işlemin her kademesinde (takoz kalitesiz olması durumunda ekstrüzyon işleminin başlangıcında) oluşmaları mümkündür.

Ekstrüzyon yöntemindeki gelişmelere paralel olarak üretilen çubuk veya profillerdeki hataları önleyerek, ıskarta oranını minimuma indirilmeye çalışılmaktadır. Ancak diğer şekil verme yöntemlerinde olduğu gibi, ekstrüzyon yönteminde de mamul kalitesini kötü yönde etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- a) Malzeme içyapısının döküm sonunda homojen olarak meydana gelmesi,
- b) Sürtünme,
- c) Blok yüzeyinin kalitesi,
- d) Takım yüzeyinin kalitesi,
- e) Takım dizaynı,
- f) Yağlama,
- g) Ekstrüzyon sıcaklığı,
- h) Blok-alıcı sıcaklık dengesi,
- i) Ekstrüzyon hızı
- j) Yardımcı donatım yüzeyleri.

Ekstrüzyon yönteminde yukarda sıralanan faktörlerin olumsuz etkilerinden dolayı oluşan hatalar neticesinde ıskarta oranı çoğalmakta, malzeme, iş gücü ve enerji kaybı olmaktadır. Bu bölümde, ekstrüzyonda oluşan hatalar incelenecek ve çeşitli tedbirler önerilecektir.

4.1 Yüzey Hataları

Ekstrüzyon edilmiş profil veya çubukların yüzeylerinde görülen ve çeşitli biçimlerde oluşan hatalardır.

4.1.1 Çanak ve Kabarcık Oluşumu

Kovan içindeki malzeme akışı B ve C tiplerine göre oluyorsa, ekstrüzyon profilinin veya çubuğun yüzeyine yakın bölgelerde ve yüzeyinde çanak veya kabarcık biçiminde hatalar oluşmaktadır. Aynı zamanda D akma tipinde de oluşması mümkün olabilmektedir. Hem direkt ve hem endirekt ekstrüzyon yöntemlerinde bu hatalar ortaya çıkmaktadır.

Bu hatanın nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

- a) Takoz yüzeyindeki pislikler, oksitler, yağlama maddeleri,
- b) Takoz yüzeyinin pürüzlü olması,
- c) Kovan cidarına yağlama maddesinin sürülmesi,
- d) Yağlanmanın bütün yüzeyde homojen olmaması,
- e) Uzun takozların homojen olarak ısıtılmaması,
- f) Takoz alın yüzeyinde kofluk oluşması.

Takoz cidarı ölü bölgeden şekil değiştirme bölgesine doğru girerken içeriye doğru burkulmaktadır. Eğer takoz yüzeyi pislikler, oksitler, yağlama maddeleri içeriyorsa, bunlar tabakalar veya partiküller halinde kayma bölgesi boyunca, akan malzeme ile hareket ederler. Takoz yüzeyindeki gayri safiyetler istenmeyen durumlarda ekstrüzyon edilmiş çubuğun yüzeyine çıkarlar. Bu hatalar ölü bölgenin büyümesiyle ve ekstrüzyon işleminin sonuna doğru artar. Hatalar takoz yüzeyindeki malzemenin cinsine ve miktarına bağlı olarak çeşitli şekillerde ortaya çıkarlar. İnce tabakalar halinde ve dışarıdan görülmeyecek şekilde olduğu gibi, yırtılmış çanaklar, kabuklar veya kabarcıklar dizileri şeklinde de oluşabilir.

Kayma bölgesinin içeri sızan yağlama yağı ise, şekil değiştirme sıcaklığında gaz oluştursa kabarcıklar meydana gelir. Bu kabarcıklar kesilip incelendiğinde, yağ kalıntıları, grafit tozları, oksitler gibi maddeler içerdiği görülmektedir.

Kabarcıkların çoğu, yüzey altında kalan yağın yanmasıyla, yüksek basınç altındaki şekil değiştirme bölgesinde oluşur ve matris çıkışında basınç düştüğünden kabarcıklar biçiminde yüzeye çıkar.

Yağlamalı ekstrüzyonda düzgün olmayan yağlamadan dolayı farklı sürtünmelere sahip bölgeler arasındaki geçişler sırasında yüzeyde boşluklar oluşmaktadır. Kabarcıkların bazıları ekstrüzyon işleminden hemen sonra oluşmazlar, sonradan yapılan ısı işlem neticesinde ortaya çıkarlar. Yüzeye yakın bölgelerde sızmış yağ ve pislikler var ise işlem sıcaklığında kabarcık oluşur. Uzun takozların sıcak ekstrüzyonunda, tavlama blok boyunca homojen olmadığı zaman, çok ısınan kısımlar üzerine taşarak katlamalara neden olmaktadır.

Çanak ve kabarcık oluşumlarını önlemek için aşağıda belirtilen tedbirler alınabilir.

1) Çanak ve kabarcık oluşumu, takoz cidarı ve kayma bölgesinde homojen olmayan şekil değiştirmelerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, takoz cidarının çubuk içerisine girmesine engel olmak için çeşitli önlemler alınabilir.

a) Yüzeyleri temiz, parlak ve alınları tornalanmış takozlar kullanmak,

b) Yağlama malzemesi kullanmadan düz matrislerle ekstrüzyon yaparak yağ sızmaları önlenir ve sürtünme nedeniyle takoz cidarı, kovan tarafından tutulur. Bu yöntem alüminyum ekstrüzyonunda iyi bir önlemdir. Ayrıca yağlama görevi yapan oksitlerden arınmış bakır ve bakır alaşımlarının ekstrüzyonunda da kullanılabilir.

c) Takoz cidarını ekstrüzyon işlemine iştirak ettirmeden ince bir zarf şeklinde alıcıda kalacak şekilde ekstrüzyon yapmak.

d) Temiz ve parlak yüzeyli takozlar kullanarak, yağlamalı ve konik matrislerle ekstrüzyon yapmak. Alıcı ve matrisin iyi bir şekilde yağlanması ile ölü bölge küçülecek ve konik matrisle malzeme akışı daha düzenli olacaktır.

2) Bilhassa sürekli ekstrüzyonda, ekstrüzyon artığı ile takozun arasındaki havayı boşaltmak için alıcının havalandırılması kabarcık oluşumunu önlemede etkili olmaktadır.

3) Uzun takozların homojen olarak tavllanması ve takoz boyunun çapına oranının (L/Do) küçük seçilmesi katlanmaları önlemektedir [Sönmez,1989].

4.1.2 Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, ekstrüzyon edilmiş çubuk veya profil yüzeyinde çatlaklar, yırtılmalar, uzun ve kısa çizgiler şeklinde oluşan ve yüzey düzgünlüğünü bozan

hata çeşididir. Bu hatalar zor ekstrüzyon edilebilen alaşımlarda, kolay şekil değiştirenlere nazaran daha fazla oluşmaktadır.

Ekstrüzyon çubuğunun veya profilinin yüzeyinde oluşan bu hataların oluşum nedenleri şöyle sıralanabilir:

- a) Matris giriş ağının yanlış imal edilmesi,
- b) Matris yüzeyinin aşınması,
- c) Sürtünme,
- d) Ekstrüzyon malzemesinin takımlara sıvanması,
- e) Ekstrüzyon sıcaklığının ve hızının iyi seçilmemesi,
- f) Odalı matrislerle ekstrüzyon edilen içi boş profillerin kaynak dikişlerindeki kaba tane oluşumu,
- g) Ekstrüzyon profilinin üzerinden hareket ettiği yüzeyin kalitesi.

Matris giriş ağzının şekli ekstrüzyon mamulünün yüzey kalitesini önemli şekilde etkilemektedir. Giriş ağzıları keskin köşeli olan matrislerde, keskin köşelerde sıkıştırma nedeniyle malzeme kaynaması tehlikesi oluşmaktadır. Matristeki bu kaynamalar belirli bir sınır aşıldığında çubuk yüzeyinde çizgiler şeklinde hatalar oluşmakta ve çubuğun sonunda malzeme yığılmaları olmaktadır. Bu malzeme yığılmaları yüzeylerden koptuğunda çubuk yüzeyinde gözeneklere neden olmaktadır. Bu durumlarda yüzeyden kopan malzemeler sürüklenerek çubuk yüzeyinde derin izler oluşmakta ve boru yüzeylerinde ise yırtılmalara neden olmaktadır.

Malzemeler yüksek sıcaklıkta ve yüksek hızda ekstrüzyon edilirlerse, ekstrüzyon çubuğunun veya profilinin yüzeyinde radyal çatlak hataları oluşmaktadır. İşlem esnasında ekstrüzyon sıcaklığı değişmekte, ekstrüzyon çubuğunun veya profilinin sıcaklığı; şekil değiştirme işi ve sürtünme nedeniyle yükselmektedir. Şekil değiştirme işinin tamamen ısıya dönüşmesiyle sıcaklık yükselmektedir. Bu sıcaklık artışı malzemenin akma gerilmesi ile doğru orantılıdır. Akma gerilmesi yüksek olan malzemelerde şekil değiştirme işinden dolayı sıcaklık artışı daha yüksek olmaktadır.

Alıcı cidarında ve matris kanalındaki sürtünme nedeniyle oluşan sıcaklık artışları ise hem akma gerilmesi ve hem de ekstrüzyon hızı ile doğru orantılıdır. Ekstrüzyon hızı yükseldikçe sıcaklık artışı da yükselmektedir. Şekil değiştirme işi ve sürtünme nedeniyle oluşan toplam sıcaklık artışı ince bir çevre tabakada yoğunlaşmakta ve bölgesel ergimeler oluşabilmektedir. Bu bölgesel ergimelerde ekstrüzyon esnasında radyal çatlakların oluşmasını sağlamaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Ekstrüzyonda oluşan hız çatlağı (Mes Makine A.Ş.)

Eloksal alüminyum profillerde renk değiştirme ile birlikte görülen çizgilenme durumu kayma bölgesinde intermetalik fazların çok hassas dağılması ile ortaya çıkabilmektedir. Odalı matrislerde ekstrüzyon edilen içi boş alüminyum profillerde çok defa kaynak dikişi boyunca kaba taneli bölgelere rastlanmaktadır. Kendini eloksallaşma ile belli eden bu kısımlar, bölgede malzeme akışının düzgün olmadığını göstermektedir.

Matris kanalı yüzeyi kaliteli olarak işlenmemiş veya zamanla aşınmış ise ekstrüzyon mamulün yüzeyinde çizgiler oluşmakta ve parlak bir yüzey sağlanamamaktadır. Aşınmış matrisler aynı zamanda boyut hatalarına da neden olmaktadır. Ekstrüzyon edilen profilin üzerinden hareket ettiği kanal veya kılavuzların yüzeyleri pürüzlü ve kirli profil yüzeyinde çizgiler ve lekeler oluşmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak veya önlemek için aşağıdaki önlemler alınabilir:

- a) Temiz, parlak yüzeyli ve düzgün alın tornası edilmiş takozların kullanılması,
- b) Konik matris kullanılmayan malzemelerde, matris deliği girişi ağzı yuvarlatılmış veya çok az koniklik verilmiş matrislerin kullanılması.

- c) Matris kanal yüzeyinin honlanması,
- d) Matris kanal uzunluğu mümkün olduğu kadar kısa yapılmalıdır,
- e) Alıcı-takoz sıcaklık dengesinin sağlanması ve sıcaklık malzeme cinsine ve ekstrüzyon şartlarına göre seçilmelidir.
- f) Ekstrüzyon hızı iyi seçilmelidir. Çok küçük kesitler düşük hızlarda ekstrüzyon edilmelidir.
- g) Bilhassa profil matrislerinde matris kanal uzunluğu ile ekstrüzyon hızı birlikte düşünülmelidir. Kanal uzunluğu kısaldıkça ekstrüzyon hızı arttırılabilir.
- h) Alıcı yüzeyindeki sürtünmenin minimuma indirilmesi,
- i) Odalı matrislerle ekstrüzyonda kaynak dikişlerinin kenarlara kaydırılması ve laminar akışı sağlayan büyük ve derin kaynak odalarının kullanılması,
- j) Eloksallaşma ile ortaya çıkan çizgilenmede, matris deliği ile matris kenarı arasındaki mesafenin büyütülmesi faydalı olmaktadır.
- k) Ekstrüzyon edilen profilin üzerinden hareket ettiği kanal veya kılavuzların yüzeylerinin (Profil ile metal arasındaki teması azaltmak için) ısıya dayanıklı plastikle kaplanması [Sönmez,1989].

4.1.3 Kaba Tane Oluşumu

Sıcak ekstrüzyon yöntemi ile, özellikle sertleşebilen malzemelerden, elde edilen çubuk veya profiller gerilme giderme tavlamasından sonra çok defa kaba taneli bir kenar bölge göstermektedirler.

Bu kaba taneli tabakanın kalınlığı ekstrüzyon başlangıcında çok küçük, ancak çubuk veya profilin sonuna doğru daima artma göstermektedir. Çok sayıda araştırmacının gösterdiği gibi kaba taneli bölge, ekstrüzyon esnasında kayma bölgesinde büyük ölçüde şekil değiştiren malzemenin ekstrüzyonu ile oluşmaktadır. Çubuk veya profillerin kaba taneli bölgesinde malzeme özellikleri, merkez malzemeye göre geniş ölçüde değişmektedir.

Kaba tane oluşumunun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- a) Kovan içinde malzeme akışının düzgün olmaması,
- b) Ekstrüzyon sıcaklığı ve hızının yanlış seçilmesi,
- c) Sürtünme,

- d) Alaşımın cinsi,
- e) Ekstrüzyon oranının büyüklüğü.

İdeal şartlarda ekstrüzyon edilmiş çubuk veya profil hem kesit içinde hem de bütün boyda homojen bir bünye ve özelliklere sahip olmalıdır. Ancak çubuğun çevre bölgesi itilmeler ve sürtünmeler nedeni ile merkezdeki malzemeden daha yüksek bir plastik şekil değiştirme yapmaktadır. Bu plastik şekil değiştirme ekstrüzyon sonuna doğru artmakta ve bütün keside yayılmaktadır. Aynı zamanda çevre bölgelerde ekstrüzyon sonuna doğru sıcaklık yükselmektedir.

Sıcak ekstrüzyonda, döküm bünyesinin yeniden kristalleşme ile giderilmesine çalışılır. Sıcak değiştirme esnasında meydana gelen yeniden kristalleşme ve bu sayede oluşan tane büyüklüğü dağılımı, şekil değiştirme bölgesinde, şekil değiştirme miktarına, hızına ve sıcaklığına bağlıdır.

Yeniden kristalleşme sıcaklığı düşük olan saf alüminyum ve alaşımları normal sıcak ekstrüzyon şartlarında tamamen yeniden kristalize olurlar. Diğer taraftan yeniden kristalleşmeyi engelleyen alaşım elemanları (Mn,Cr,Zr) alaşımlarda (Örneğin; AlMgSi, AlCuMg, AlCuSiMnMg) yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltmekte ve sıcak ekstrüzyon esnasında genel olarak hızlı bir yeniden kristalleşme olmaktadır. Ancak ekstrüzyon işleminden sonra yapılan bir gerilim giderme tavlamasında yapı farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Şiddetli şekil değiştiren kenar bölge, daha az şekil değiştiren iç bölgeden bir yarım ay şeklinde ayrılmaktadır. Ekstrüzyon şartlarının uygun olmaması ve kristalleşmeyi engelleyen alaşım elemanları nedeniyle kenar bölge kritik şekil değiştirmeye ulaştığı için kaba taneli olarak yeniden kristalize olurken, iç bölge kristalize olmamaktadır. Sıcaklık artışı kritik şekil değiştirmeyi küçültmekte ve tane boyutlarının büyümesine yardımcı olmaktadır.

Ekstrüzyon işleminin sonuna doğru kayma bölgesinin genişlemesi ile, çubuk veya profil kesitinde kaba tane bölgesinde malzemenin özellikleri çubuk veya profilin merkezindeki malzemeye göre kuvvetle değişmektedir. Bu şekilde korozyon dayanımının düşmesi, boyuna zorlamalarda dayanım değerlerinin azalması, enine doğrultuda boyuna doğrultudan farklı olarak daha yüksek dayanım

verebilmesi, daha sonraki şekil değiştirmelerde pürüzlü yüzeylerin oluşması ve su verme durumunda çatlama gibi zararlı etkiler oluşabilmektedir.

Kaba tane oluşumunun önlenmesi veya azaltılması için birçok metod denenmiştir:

1. Bütün kesitte yeniden kristalleşme oluşumunu azaltmak veya hiç olmamasını sağlamak amacıyla; özellikle Mn,Cr,Zr olmak üzere alaşım elemanları ilave etmek,

a) Takozun ekstrüzyondan önce kısa süre ortalama bir sıcaklıkta tavlama veya mümkün olduğunca yüksek ekstrüzyon sıcaklığından kaçınmak,

b) Mümkün olan en küçük ekstrüzyon oranının kullanılması,

c) Ekstrüzyondan sonra bir ısı işlem (Gerilim giderme tavlama) yapılması,

2. Yeniden kristalleşme oluşumunu kolaylaştırarak bütün kesitte ince taneli yeniden kristalleşmeyi sağlamak amacı ile;

a) Yeniden kristalleşmeyi engelleyen alaşım elemanlarını kullanmamak,

b) Takozun ekstrüzyondan önce yüksek sıcaklıkta uzun süre tavlama,

3. Ekstrüzyon sıcaklığının ve hızının değiştirilmesi,

4. Ekstrüzyondan sonra soğuk şekil değiştirme yapmak,

5. Malzeme akışının değiştirilmesi,

a) Endirekt ekstrüzyona geçmek,

b) Konik matrislerin kullanılması,

c) Yağlama elemanlarının kullanılması [Sönmez,1989].

4.1.4 Geometrik Boyut ve Biçim Hataları

Boyut ve biçim hataları genellikle et kalınlıkları arasında büyük fark olan profillerde olmak üzere çeşitli çubuk ve profillerde oluşabilmektedir. Bu hataların oluşum sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a) Malzeme akışının, profilin et kalınlığı fazla olan kısımlarında aşırı şekilde çoğalması ve hızlanması.

b) Matris deliği kanal uzunluklarının dengeli bir şekilde doğru olarak imal edilmemesi,

- c) Matris yüzeyi üzerine profilin yanlış yerleştirilmesi,
- d) Homojen olmayan basınç dağılımı ve sürtünme,
- e) Germe işlemi esnasında şekil değiştirme miktarının çoğalması.

Et kalınlıkları farklı olan profillerin ekstrüzyonunda malzeme akışı matris kanal uzunluğu ile dengelenmemiş ise profilde burkulmalar ve katlanmalar oluşur. Aynı şekilde içi boş profil ve boruların köprülü veya odalı matrislerle ekstrüzyonun da iyi merkezleme yapılmamış ise malzeme akışı dengesi bozulduğundan burulma meydana gelmektedir. Odalı matrisler ana matrise yerleştirilmesinde merkezleme tam olmadığından matris deliğinde dengesiz bir boşluk oluşur. Profil et kalınlığı eşit olduğundan, matris kanal uzunluğu da eşittir. Basma işlemi başladığında matris kanalındaki geniş boşluktan daha çok ve daha kolay malzeme akışı meydana geldiğinden burulma oluşmuş olur.



Şekil 4.2. Boru ekstrüzyonunda salgılı ürün (Mes Makine A.Ş.)

Profilin matris yüzeyine yerleştirilmesi doğru yapılmaz ise ıstampanın uyguladığı basınç homojen olmamakta ve böylece malzeme akışı düzenli olmamaktadır. Bu surette boyut ve şekil hataları oluşmaktadır. Ekstrüzyon işleminden sonra yapılan doğrultma işlemleri esnasında uygulanan çekme kuvveti büyük olursa profilin şeklinin bozulmasına neden olmaktadır. Çekme esnasında şekil değiştirme miktarı arttığından profilin şekli ve boyutu değişmektedir. Geometrik boyut ve şekil hatalarını önlemek için en önemli çare matriste malzeme akışının düzenli olmasını sağlamaktadır. Düzenli malzeme akışını sağlayarak hataları önlemek için aşağıdaki önlemler alınabilir:

a) Profilin et kalınlığına göre matris kanal uzunluklarının doğru imal edilmesi gerekir. Kalın et kalınlığı olan kısımların kanal boyu uzun, ince et kalınlığı olan kısımlarının kısa imal edilerek akış dengelenir.

b) Basıncın homojen olması için profilin matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmelidir. Bunun için tek profil ise profilin ağırlık merkezi matrisin ağırlık merkezine gelecek şekilde, birden çok profil aynı anda ölçülerde yerleştirilmelidir.

c) Matris kanal yüzeylerinde sürtünmenin homojen olmasını sağlamak, örneğin et kalınlıkları aynı yüzey büyüklükleri kanal uzunluklarının eşit imal edilmesi,

d) Ekstrüzyon işleminden sonra doğrultma esnasında büyük şekil değiştirmeler meydana getirecek kuvvetler uygulanmaması [Sönmez,1989].

4.1.5 Malzemenin Kalıp Kenarından Kaçak Yapması

Ekstrüzyon işlemi esnasında çeşitli nedenlerden dolayı dışarı fışkırarak malzeme yığılmaları, yüzey pürüzlülüğü gibi hatalara ve malzeme israfına sebep olmaktadır. Bu hatanın nedenleri şöyle sıralanabilir:

- a) Matris grubu ile alıcı arasındaki sızdırmazlığın iyi sağlanamaması,
- b) Matris tutucusu ve alıcı gömleğinin aşınması neticesinde sızdırmazlığı bozulması,
- c) Ekstrüzyon presinin hassas olarak merkezlenmemesi,
- d) Matris grubu ile alıcı arasındaki yüzeyin yağlanması.

Malzeme kaçığının önlenmesinde en önemli tedbir optimal bir dizaynla matris grubu ile alıcı arasında iyi bir sızdırmazlığın sağlanmasıdır. Temas yüzeylerinin aşınması dikkatle izlenmeli ve gerekli önlem alınmalıdır. Ayrıca ekstrüzyon takımlarının ve presin tamamında hassas bir merkezleme yapılmalıdır [Sönmez,1989].

4.1.6 Boru Ekstrüzyonunda İç Hatalar

Takozların delinmesinde boyuna şekil değiştirme oldukça küçük olduğundan takoz ve kovan arasındaki sürtünme sorun yaratmamaktadır. Ancak malzeme ve

yağlamaya bağlı olarak malafa ile takoz iç yüzeyi arasındaki sürtünme iç yüzeyde malzeme akışında düzensizliklere neden olur. Sıcak ekstrüzyon esnasında saf alüminyum, bazı alüminyum alaşımları ve çeşitli bronzlar gibi malzemelerin çeliğe yapışma eğilimi göstermeleri nedeniyle delme işleminde D-akış tipi meydana gelir ve böylece boru iç yüzeyinde çizikler ile uzaklaştırılması zor olan malafa yığılmaları söz konusu olur. En önemli tedbir malafanın malafa yağı ile homojen olarak yağlanmasını sağlayarak malafa ile takoz iç yüzeyi arasındaki sürtünmeyi minimuma indirmektir. [Sönmez,1989].



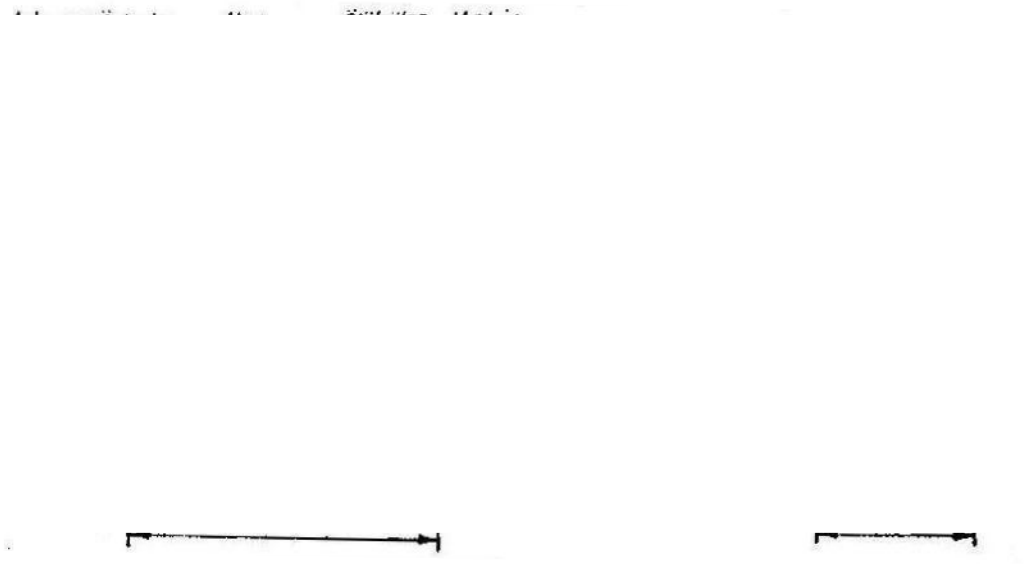
Şekil 4.3. Boru ekstrüzyonunda iç hatalar (Mes Makine A.Ş.)

4.2. Ekstrüzyon Sonunda Boşluk Oluşumu

Ekstrüzyon işleminde, ıstampa matrise yaklaşıncaya kadar işleme devam edilirse, takozun sonunda huniye benzeyen bir boşluk oluşur. Bu hata kovan cidarındaki sürtünmeden dolayı meydana gelen akma homojensizliklerden bağımsız olarak ortaya çıkmaktadır. Takoz sonunda oluşan boşluğun çapı ve derinliği yavaş yavaş olarak büyür ve ekstrüzyon edilmiş çubuğun içerisine ilerler. Bu nedenle takoz tam olarak ekstrüzyon edilemez ve takozun bir kısmı ıskarta (ekstrüzyon artığı) olarak bırakılır.

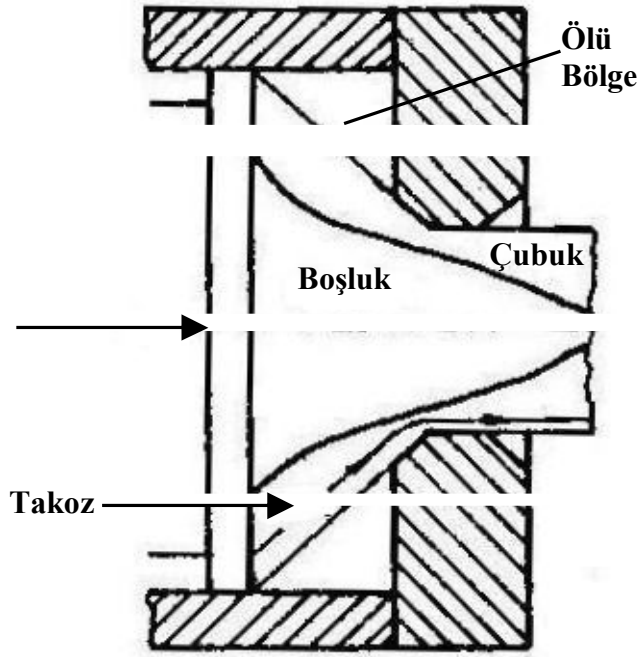
Matris tutucusu ve matris yüzeyi (ekstrüzyon oranı, matris açısı ve bu yüzeylerdeki sürtünme vs. nedeniyle) civarında takoz çevre bölgesinin sapması neticesinde malzeme kaymaları olabilir ve ölü bölge oluşur. (Şekil 4.4) Istamp H2 yüzeyine temas ettiğinde hız alanı bozulur. Şekil 4.4. b’de görüldüğü gibi ıstampa

II. bölgeye girdiğinde radyal mesafe r , r_o ' dan daha küçüktür ve simetri ekseninde takozun hızı, ıstampa hızından (V_o) daha büyük olmaktadır.



Şekil 4.4. Direkt ekstrüzyonda küresel hız alanları ve boşluk oluşumu a) küresel hız alanı b) boşluk oluşumu (Sönmez,1989)

Istampa ile temasta olan merkezdeki matris deliği doğrultusunda, çevredeki malzemeden daha hızlı akmasıyla boşluğun çapı ve derinliği büyür (Şekil 4.5). Bu hata, ölü bölgenin genişlemesiyle artar, küçülmesiyle azalır, ancak genelleştirilemez. Blok çevresindeki malzeme akışını zorlaştırılması nedeniyle, ön levhanın yüzeyinin pürüzlü olması bu hatanın oluşmasını kolaylaştırmaktadır. Boşluk oluşumu vasıtalı ekstrüzyon yönteminde de oluşabilir. Çünkü matris civarındaki malzeme kaymaları önlenememektedir.

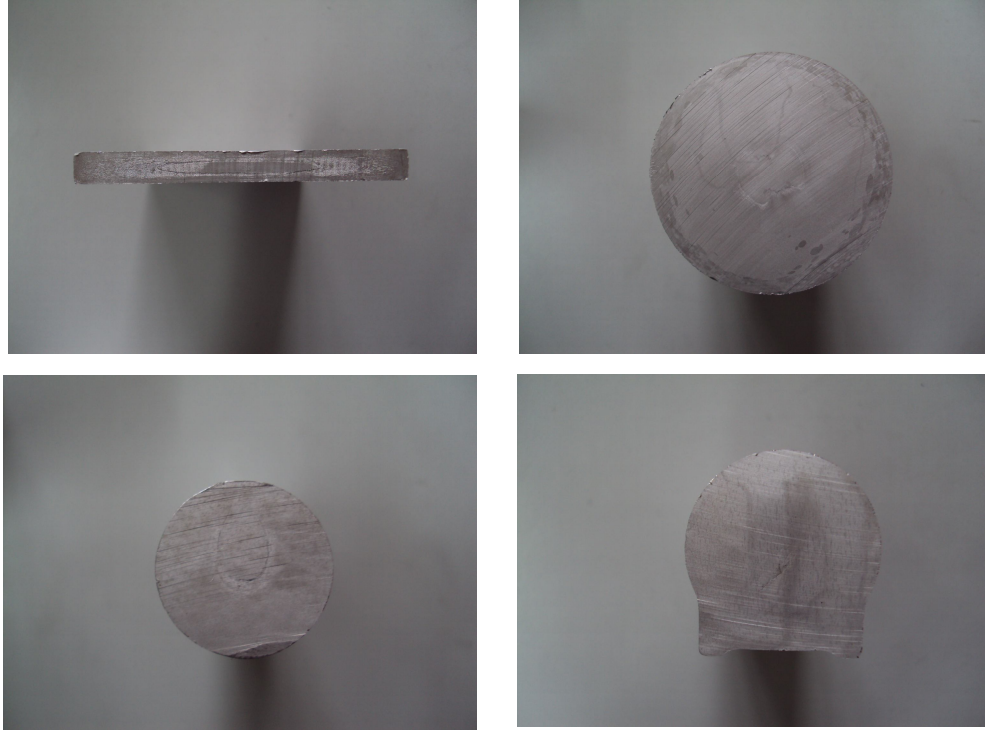


Şekil 4.5. Direkt ekstrüzyonda oluşan boşluk (Sönmez,1989)

Boşluk oluşumunu azaltmak veya tamamen önleyebilmek için aşağıdaki tedbirler alınabilir:

a) Boşluk oluşumu işleminin sonlarına doğru olduğundan, yaklaşık olarak ölü bölge yüksekliğinde bir ekstrüzyon artığı bırakarak önlenabilir. Ekstrüzyon artığının uzunluğu yani kalın çubukların ekstrüzyonunda, boşluk çubukta oluşacağından ekstrüzyon artığı, büyük ekstrüzyon oranlarına nazaran daha uzun olmalıdır. Ancak simetri ekseninde ön levhanın ilk temasında kritik blok uzunluğu hesaplanabilir.

b) Konik matrisle ekstrüzyonda, küçük açılı matrisler kullanarak boşluk azaltılabilir veya önlenir. [Sönmez,1989].



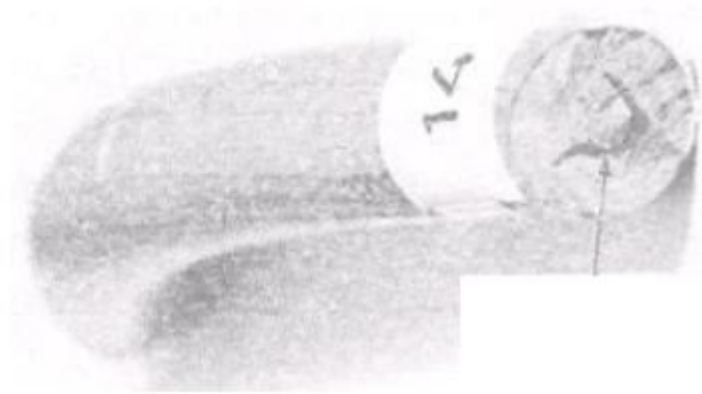
Şekil 4.6. Çeşitli boşluk oluşumu örnekleri (Mes Makine A.Ş.)

4.3. İkilenme Hatası

İkilenme bir çubuğun kesitinde ayrılma meydana getirmesi, çubuk merkezi ile çevre bölge arasındaki bağlantının bozulmasıdır. Bu hata genellikle çubuğun arka kısmının 1/3’de oluşur. 1. bölümde açıklanan boşluk oluşumu ile karıştırılmamalıdır çünkü ikisinin de oluşum nedenleri farklıdır.

D-akma tipi şartlarına göre ekstrüzyon edilen bütün ekstrüzyon parçalarında genel olarak bu hataya rastlanır. Özellikle $(\alpha+\beta)$ pirinç çubuklarının ekstrüzyonunda ortaya çıktığı gibi bazı alüminyum alaşımlarında da görülmektedir. Alıcı cidarında, matris ve matris tutucusu yüzeyinde sürtünme olduğunda ve ekstrüzyon malzemesinin şekil değiştirme direncinin blok çevre bölgesinde, blok içine göre fazla olduğu durumlarda ikilenme hatası oluşmaktadır. $(\alpha + \beta)$ pirincinin yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarında, blok kesitindeki plastikliğin homojen olmaması ve kovan cidarındaki sürtünmeden dolayı ekstrüzyon başlangıcından itibaren düzgün olmayan bir malzeme akışı görülür (Şekil 4.7). Takozun zor şekil değiştiren

çevre bölgesi ilk akışa iştirak etmemekte ve ıstampanın önünde diyagonal doğrultuda matrise doğru ilerlemektedir. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi ekstrüzyon işlemi sonuna doğru, blok dış cidarı ön levha önünde harekete geçip blok içine akarak, çubuğun merkezine ulaşmaktadır. Takozun dış yüzeyinde, genellikle oksitler, yağlama malzemesi kalıntıları gibi gayri safiyetler bulunduğundan, malzemenin birbirine kaynaması önlenmekte ve ikilenme hatası ortaya çıkmaktadır. Ekstrüzyon takozunun alın yüzeyinin gayri safiyetlerle kaplı olması durumunda da ikilenme olabilir. Bu gayri safiyetler, ekstrüzyon işlemi sonuna doğru blok içine çekilir ve hem blok hem de çubuk ekseninde ayrışma olur.



Şekil 4.7. Ms63 malzemedan çubuk ekstrüzyonunda oluşan ikilenme hatası.
(Sönmez,1989)

İkilenmeyi önlemek için aşağıdaki tedbirler alınabilir:

a) Ekstrüzyon işleminde D akma tipi önlenemediği oranda, ikilenme hataları azalabilir. Şayet bu akma tipi sıcaklık gradyanlarının meydana getirdiği plastik homojensizlikler nedeni ile oluyorsa, alıcı cidar sıcaklığı ile blok sıcaklığının dengelenmesi yararlı olur, ancak bu durum şekil değiştirme sıcaklığı yüksek olan alaşımlarda mümkün olmamaktadır (Cu- alaşımları gibi). Bu önlemin tersi olarak, blok sıcaklığı düşürülür ve ekstrüzyon uygun bir yağlama ile yapılır ise malzeme akışı ikilenmeyi önleyebilecek kadar dengelenir.

b) Blok yüzeyindeki gayri safiler malzeme ayrışmalarına neden olduğundan bu gayri safilerin uzaklaştırılması ile bu hata sınırlandırılabilir. Zarf oluşturarak ekstrüzyonda dış tabakanın alıcı içinde kalması sağlanır.

c) Malzeme burkulması meydana gelmeden önce işlem sona erdirilir ve bir ekstrüzyon kalıntısı bırakılır. Ekstrüzyon, kalıntısının uzunluğu blok uzunluğunun % 10-25'i kadar olmalıdır. Bu tedbir en çok çubuk kalitesinin garantilenmesi gereken durumlarda uygulanır.

d) Vasıtalı ekstrüzyonda (endirekt ekstrüzyon) malzeme burkulması olmayacağından ikilenme hatası oluşmaz.

e) Blok merkezindeki malzemenin akışını yavaşlatmak amacıyla konkav ön levhalar kullanılmaktadır. Bu yöntemle ikilenme hatasının oluşumu azaltılabilir.

f) İkilenme hatasının oluşması için, ön levha boyunca malzemenin enine hareket etmesi gerekir. Pürüzlü veya soğuk ön levha kullanılmasıyla enine hareket önlendiğinde hata oluşumu zayıflayabilir. Buna karşılık, ön levhanın yağlanması ikilenmeyi kolaylaştırır, çünkü enine hareket kolaylaşır. [Sönmez,1989].

5.EKSTRÜZYON KALIPLARI VE KALIP TASARIMI

5.1 Ekstrüzyon Kalıpları

Ekstrüzyon kalıbı diğer bir ifadeyle matris, üzerinde imal edilecek profilin kesiti kanal şeklinde açılmış belirli kalınlıkta bir disk şeklindedir. Matris takoza basınç altında profil şeklini veren en çok değiştirilen bir takımdır. Bu nedenle matris, profilin tüm detaylarını ve toleranslarını içerir. Matriste oluşacak hatalar direk olarak profile yansır, yani profilde 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 yüksek basınçta matriste eğilme ve çatlamları önlemek için matris desteklenir. Destek matris arkasına konan ve delik boyutları matrisinkinden büyük olan bir ekstrüzyon takımıdır.

Ayrıca matriste sürtünmeyi azaltmak ve malzeme akışını homojenleştirmek için bazı işlemler (kanal yüzeylerinin kalitesini yükseltmek için gerekli işlemler, kanal boylarının dengelenmesi, yağlama yapılması vs.) uygulanmaktadır.

Ekstrüzyon kuvvetinin azaltılması, mamul veya yarı mamul kalitesini iyileştirmek, ekstrüzyon edilebilir profil çeşidini artırmak için çeşitli matrisler geliştirilmiştir. Bunlar, düz ve konik matrisler, köprülü matrisler, odalı matrisler ve spiderli matrislerdir.

5.1.1 Kalıp Malzemesi

Matrisler ısısal ve mekanik gerilmelerin etkisi altında çalışırlar. Matris malzemeleri bu gerilmeleri karşılayabilecek özelliklere sahip olması gerekir. Ayrıca takozun şekil değiştirmesini gerçekleştirmesi ve bundan dolayı oluşacak aşınmaya karşı direncinin yüksek olması gerekir.

Ekstrüzyon yönteminin ekonomikliğinde takımların kullanım sürelerinin büyük önemi vardır. Bir matrisle ne kadar çok ekstrüzyon yapılır ise o kadar ekonomik olur. Matrisler genellikle çelikten imal edilirler. Sinterlenmiş karbürlerde matris malzemesi olarak kullanılabilir. Matrislerin ömürleri nikel, kobalt gibi alaşım elemanları ile uzatılabilir. Matris malzemelerinin sünek olması ve ekstrüzyon sıcaklığında mukavemetlerinin yüksek olması gerekir. Karışık şekilli matrislerde, süneklik sertlikten daha çok önemlidir. Bazı durumlarda 450 HB kadar yükselebilir, ancak 300 HB'den az olmamalıdır.

Ekstrüzyon edilecek profilin şekli, takoz malzemesinin sertliği, bileşeni ve ekstrüzyon şartları, matrisler için gerekli mukavemet değerlerine etki eder. Matris malzemesi olarak kullanılan çelikler yaklaşık 1200 ° C sıcaklıkta yağda sertleştirmeye tabi tutulurlar ve istenen şartlarda 580 ° C- 650 ° C sıcaklıklarda gerilme giderme tavlama gibi ısı işlemleri uygulanır. Çizelge 5.1'de ekstrüzyon malzemelerine göre yaygın olarak kullanılan matris malzemeleri verilmiştir. Son yıllarda sertlik derecesinin yükselmesi ile mukavemetin artması metal karbürlerin bazı malzemelerin ekstrüzyonunda kullanılmaya başlanmıştır. Alt ve üst matris plakaları için malzemeleri şekil değiştirme basıncına dayanabilecek şekilde seçilmelidir. Bu malzemeler alaşımlı çelikler veya takım çelikleri olabilir.

Çizelge 5.1 Matris ve malafa malzemeleri (Sönmez,1989)

Takım	Fe-Ni veTi-esaslı alaşımları	Bakır alaşımları	Alüminyum alaşımları	Zn-Pb-Sn Esaslı Alaşımları
	Sıcak iş malzemeleri			
Ekstrüzyon matrisleri	2343/2344 2705/2731	2356/2567/2706 2581/2705/2731 2885/2888/2889	2343/2344 2367/2885	2343/2344
Özel matrisler	Kullanılmaz	2.4668 / 2.4979	2343/2344/2367	2343/2344
Köprülü matrisler	Kullanılmaz	Kullanılmaz	2343/2344	2343/2344
Parçalı matrisler	Kullanılmaz	Kullanılmaz	2343/2344/2367	Kullanılmaz
Sipider matrisler	Kullanılmaz	Kullanılmaz	2343/2344/2367	Kullanılmaz
Malafalar	2343/2344	2343/2344/2365 2567/2581/2885 2889	2343/2344/2367 2567/2885	2344
Malafa uçları	Kullanılmaz	2.4668 / 2.4979	2344/2567/2885	Kullanılmaz

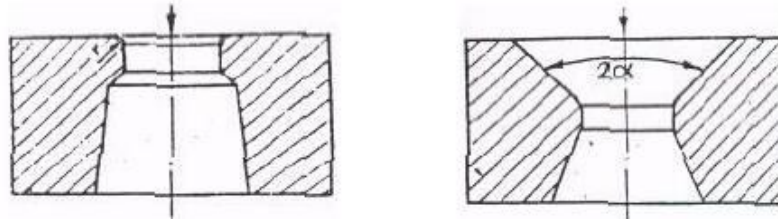
5.1.2 Kalıp Çeşitleri ve Tasarımı

Ekstrüzyon matrislerinin delik şekli, tasarımı ve matris üzerindeki yeri ekstrüzyon işleminin ekonomikliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle matris dizaynı ve imalatı bilgi, tecrübe ve ileri teknoloji gerektiren bir iştir. Ekstrüzyon edilecek malzeme özelliklerine ve imal edilecek profilin şekline göre matris delik şekli seçilmeli ve dizayn edilmelidir. Uygun olmayan matris delik şekilleri ve dizaynı, malzeme akışını idealden saptırmakta, enerji sarfiyatını arttırmakta, ısıkarta oranını çoğaltmakta, profil yüzey kalitesini bozmakta ve takım ömrünü kısaltmaktadır. Bütün bu faktörleri dikkate alarak çeşitli matris dizaynları geliştirilmiş ve uygulamaya konmuştur.

5.1.2.1 Düz ve Konik Kalıplar

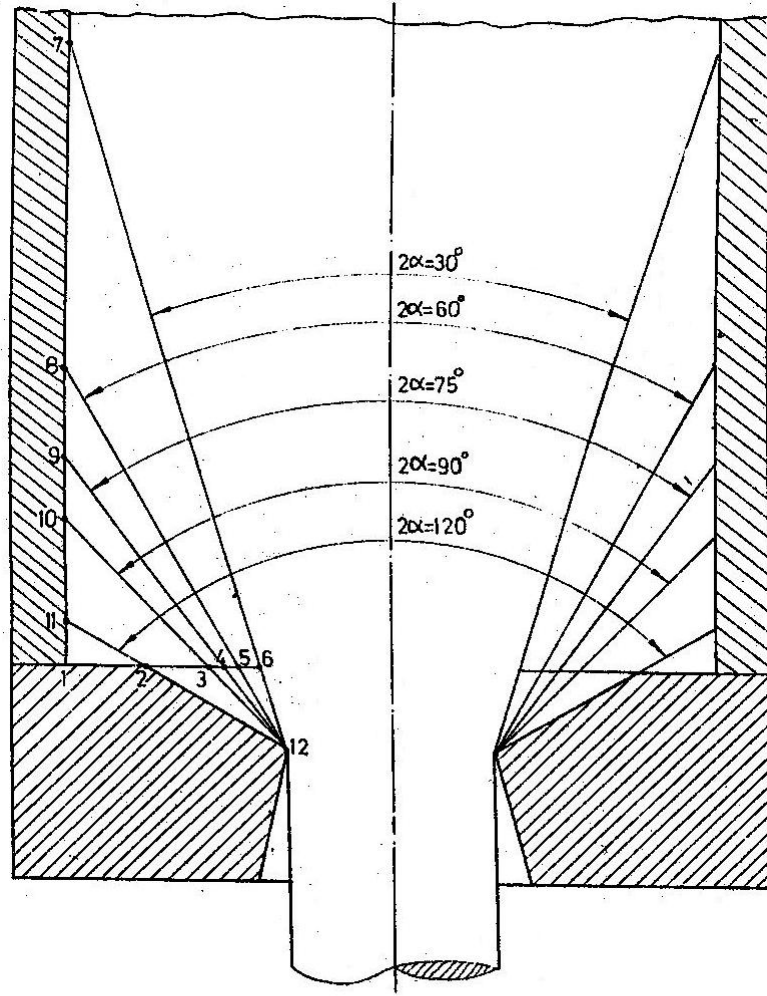
Ekstrüzyon yönteminde malzeme akışı ekstrüzyon edilen malzemeye göre çok farklı olduğundan matris deliğinin giriş tarafından şekli ve kesit boyutları karakteristik büyüklük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çeşitli malzemeler ve çok çeşitli profiller üzerinde denemeler yapılarak uygun malzeme akışını sağlayacak delik giriş şekilleri elde edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde dik açılı ve konik matrisler kullanılmıştır. (Şekil 5.1) Bazı malzemelerde, örneğin alüminyum alaşımlarında dik açılı matrislerin daha uygun olduğu görülmüştür. Ancak deliğin

dik kenarlarının çabuk aşınması ve çubuk yüzey kalitesinin bozması nedeniyle bu kenarlar yuvarlatılmıştır. Ekstrüzyon basıncını bir miktar artırmaya rağmen bu yuvarlatmalar, özellikle plastik özelliği düşük alaşımların ekstrüzyonunda yüzey çatlamlarının önlenmesine yardım etmektedir. Yuvarlatma yarıçapları matris çapına ve malzeme cinsine göre değişmektedir. (örneğin alüminyum alaşımlarında küçük bakır alaşımlarında büyük olmaktadır.)



Şekil 5.1 Düz ve konik matrisler [Sönmez,1989]

Dik açılı matrislerin, bazı malzemeler için malzeme akışı ve ekstrüzyon yönünden uygun olmadığı görülünce matris deliği girişine belirli bir açı verilmiştir. Araştırmacılar, kalayı değişik açılı matrisler ile ekstrüzyon ederek malzeme akışını incelemişler ve matrise belirli bir açı verilince malzeme akışının daha homojen olduğunu görmüşlerdir. Matris açısı büyüdükçe ölü bölge küçülmemekte, akış daha düzgün olmakta ve ekstrüzyon artığı azalmaktadır. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi ekstrüzyon ilk başlamasında takozun matris yüzeyinde kat ettiği mesafe matris açısı küçüldükçe ($120^\circ \rightarrow 30^\circ$) artmaktadır ($1m_1 > 1m_2 > 1m_3 > 1m_4 > 1m_5$). Bu mesafenin büyümesi malzemenin ilk akışını engelleyen sürtünmeyi de çoğaltmaktadır. Matris yüzeyinde sürtünmenin çoğalması, takozun matris deliğine yönelmesini matristen çok uzakta başlamaktadır ($1b_1 > 1b_2 > 1b_3 > 1b_4 > 1b_5$). $1b$ mesafesinin büyümesi malzemenin malzeme üzerinde kayma yüzeyini büyütmemekte ve böylece sürtünme daha çok artmaktadır. Ekstrüzyon edilen her bir kesit bu aşırı sürtünme etkisi ile ekstrüzyon edilmeyen blok (ölü bölge) irtibatta kaldığından müteakip kesitler için çıkış açıklığı sürekli olarak daralır. Bunun neticesinde şekil değiştirmenin gittikçe arttığı ve blok merkezi ile çevresi arasındaki hız farkını yükseltmektedir.



30°	1-6 → l m1	6-7 → l b1
60°	1-5 → l m2	5-8 → l b2
75°	1-4 → l m2	4-9 → l b3
90°	1-3 → l m4	3-10 → l b4
120°	1-2 → l m5	2-11 → l b5
Matris açısı	Matris yüzeyi uzunluğu	Ölü bölge yüzeyi uzunluğu

Şekil 5.2. Direkt ekstrüzyonda değişik matris açılarında takozun durumu
(Sönmez, 1989)

Bu olaylar malzeme akışını zorlaştırır ve alıcı ile matrisin meydana getirdiği köşede malzeme birikimini (ölü bölge) çoğaltır. Bu etkiler ekstrüzyon oranı büyüdükçe artmakta, küçüldükçe azalmaktadır. Matris açısı 120° olduğunda malzemenin çıkış açıklığı yeteri kadar geniş olduğundan fazla malzeme birikimi olmadan ve şekil değiştirme matrise daha yakın bir yerden başlayarak düzgün bir malzeme akışı sağlanabilir. aynı zamanda gerekli ekstrüzyon kuvveti minimum olur. Ancak matris açısı belli bir büyüklüğü aştığı zaman matris deliğinin konik

yüzeyi üzerinde de ölü bölge oluşmakta ve çok daha büyük açılarda ise matris konik matristen çok dik açılı matrise benzemektedir. Bu nedenlerden dolayı düzgün bir malzeme akışını, en az güç sarfederek sağlayan optimum matris açısı deneylerle tespit edilmelidir. Konik matrisler, kurşun ve çelikler gibi malzemelerde de kullanılmaktadır. Matris açıları malzeme cinsine göre 60° - 150° arasında değişmektedir [Sönmez,1989].

5.1.2.2 Kalıp Deliği Kanal Uzunluğu

Matris deliğinin, malzemenin temas ederek üzerinden aktığı yüzeylerin uzunluğu matris kanalı uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Matris kanal uzunluğunun, malzeme akışına, profilin yüzey kalitesine ve geometrik şekline, ekstrüzyon kuvvetine ve takım ömrüne etkisi çok önemlidir. Kanal uzunluğu, malzeme akışının homojen ve ekstrüzyon kuvvetinde minimum olmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Simetrik dolu çubukların ekstrüzyonunda kanal uzunluğu fazla problem olmamaktadır. Ancak simetrik olmayan ve eşit cidar kalınlığına sahip profillerde malzeme akışını yavaşlatıcı etkisi olan kanal uzunlukları değiştirilerek ayarlanabilir. Hafif metallerin ekstrüzyonunda matris kanal uzunluğu, cidar kalınlığının en az 2 katı olabilmekte ve 2,5 - 3 mm'den küçük olmamalıdır. Çünkü 3mm'den küçük kanal uzunluklarında düzeltmelerin yapılması zor olmaktadır. Malzeme akışı metrisin orta kısmında hızlı, kenarlarda yavaş olduğundan düzeltmeler bu duruma uygun yapılmalıdır, yani matrisin merkezinde bulunan profil bölümlerinde kanal uzunluğu uzun, çevreye yakın yerlerde kısa düzenlenir.

Matris kanal uzunluğunda asıl problem, farklı kalınlıkta kesitler içeren profillerde çıkmaktadır. Kalın kesitlerde malzeme akışı hızlı, ince kesitlerde sürtünme ve matrisin soğutma tesirinin artması nedeniyle yavaş olmaktadır. Bu ise profilin uzunluğunda dönmelere ve eğilmelere, ince kısımlarda kenarların yırtılmasına ve sürtünmenin fazla olduğu ince kesitli ve geniş yüzeyli kısımlarda kaba tane oluşumuna neden olur. Ayrıca ıstampa ve matris dengesiz olarak zorlanır. Bütün bu etkileri ortadan kaldırmak için matris kanal boyunca ince ve kalın kesitlere göre düzenleme yapılmalıdır. Genel olarak ince kesitlerde kanal boyu kısa,

kalın kesitlerde uzun tutulur. Böylece profilin matristen çıkış hısında ve malzeme akışında homojenlik sağlanmış olur.

Matris kanal uzunluğunun tespitinde çeşitli çalışmalar yapılmasına rağmen henüz tam bir çözüm getirilmemiştir. Avrupa’da yapılan çeşitli çalışmalarda küçük kesitlerde kanal uzunluğu kesit kalınlığının dört katı alınmıştır. Bir çok tasarımcı en küçük kanal uzunluğu olarak 2,4 mm göre almış ve malzeme akışını kontrol etmişlerdir. Kesit şekline göre 2,4 mm’lik minimum kanal uzunluğu ile başlangıç noktası saptandıktan sonra, bu noktadan merkeze doğru her 13 mm ilerleme için kanal uzunluğu 0,8mm artırılmaktadır. Bu kural yaklaşık 5 mm kalınlığındaki her kesite uygulanabilmektedir [Sönmez,1989].

5.1.2.3 Dolu ve İçi Boş Profil Kalıpları

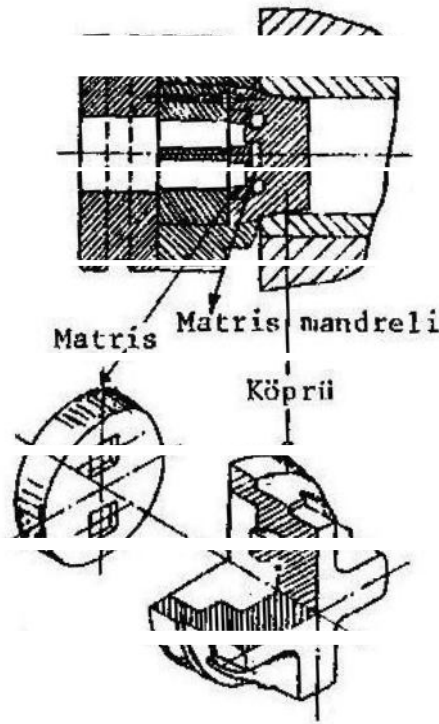
Ekstrüzyon yönteminde dolu profiller için basit matrisler kullanıldığı gibi içi boş ve yarı açık profillerde odalı, köprülü, spiderli matrislerde kullanılabilir. Dolu ve yarı açık profiller için kullanılan normal matrisler ekstrüzyon edilebilen bütün malzemeler için kullanılabilir. Profil ekstrüzyonunda kullanılan matrislerden şu özellikler beklenir.

- a) İlave bir doğrultma işlemine ihtiyaç duyulmayacak ölçü ve şekil hassasiyetine sahip profil temini,
- b) Mümkün olan en yüksek matris ömrü,
- c) Maksimum ekstrüzyon çubuk boyu,
- d) Çok sayıda ekstrüzyon işlemi sonunda dahi düzgün çubuk yüzeyi,
- e) Yüksek ekstrüzyon hızı,
- f) Düşük imalat giderleri.

Silindirik çubuklarda ve basit profillerde bu şartlara genel olarak ulaşılır. Ancak profilin karmaşıklığı arttıkça bu şartların yerine getirilmesi zorlaşır. Bir matrisin düzenlenmesi ve imalinde akış şartları, ekstrüzyon basıncı, profilin geometrik şekli, cidar kalınlıkları gibi birçok faktör göz önüne alınmalıdır [Sönmez,1989].

5.1.2.4 Köprülü Ekstrüzyon Kalıbı

Köprülü matrisler eskiden beri kullanıldığından geliştirilerek bugün kullanılan (Şekil 5.3) köprülü matrislere ulaşılmıştır. Köprülü matrisler genel olarak profil yüzeyinden iyi bir kalite beklendiğinde kullanılmaktadır. Her ekstrüzyon işleminden sonra kalıntı uzaklaştırıldığından köprülü matris düşük sıcaklıklarda kullanılır. Bu konstrüksiyonun diğer bir avantajı da matrisin arka taraftan monte edilmesi olup, yeni matris durumunda matris giderlerinin düşük olmasıdır. Ekstrüzyon kalıntısının her işlemten sonra alınması ıskarta miktarının artması sistemin dezavantajıdır. Ayrıca çekme ve basma neticesinde birbirine ters yönde ortaya çıkan zorlamalar nedeniyle takımda kısa sürede aşınma veya kırılma olabilir [Sönmez,1989].

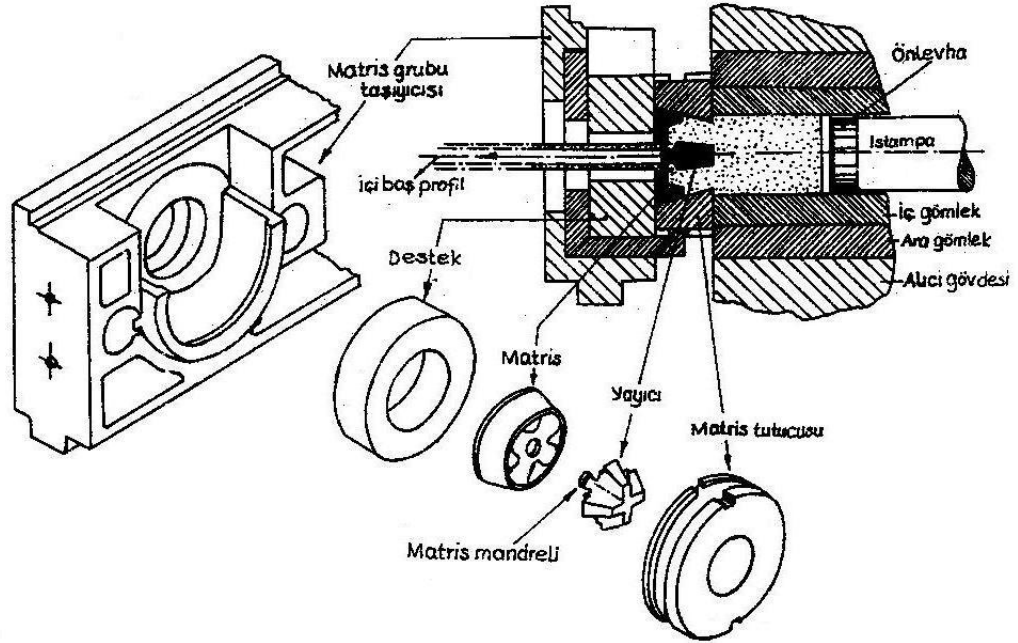


Şekil 5.3. Çok parçalı ve çok delikli köprülü matris (Sönmez,1989)

5.1.2.5 Spider Ekstrüzyon Kalıbı

Spider matris genellikle düşük ekstrüzyon oranlarında büyük içi boş profiller için kullanılır.(Şekil 5.4) Bu matrisin kontrol ve ayarı için uzun süre temizlik gerektiğinden kullanılması ikinci plana atılmıştır. Ayrıca ekstrüzyon kalıntısı dış konikler nedeniyle kısmen pres içinden uzaklaştırılamamaktadır. Keller tarafından

geliştirilen yeni konstrüksiyon eski konstrüksiyonların dezavantajlarını kısmen ortadan kaldırmıştır ve pratikte daha çok kullanılmaktadır [Sönmez,1989].



Şekil 5.4. Spider matris için takım tertibi (Sönmez,1989)

5.1.2.6 Odalı Ekstrüzyon Kalıbı

Bu konstrüksiyon her şart altında kullanılabilmekte ve ekstrüzyon tekniğinde beklenen en iyi neticeyi vermektedir. Çok delikli olarak kullanılabilmeleri yanında kapalı konstrüksiyon şekilleri sayesinde maksimum stabiliteye sahiptirler.

Alıcı çapına oranla profil çapı çok büyük olduğunda dahi odalı matrisler kullanılabilmekte, bu durumda bütün matris tutucuları oda takımı olarak görev yapmaktadırlar. Bu matrisler çok kritik kesitleri olan profillerin ekstrüzyonunda rahatlıkla kullanılabilir. Ancak bu matrisler tek bir düzeltmek yapmak zordur [Sönmez,1989].

5.2 Ekstrüzyon Kalıbının Boyutlandırılması

Matris ve grubun boyutlandırılmasında birçok araştırmacı tarafından yapılan çeşitli çalışmalar değerlendirilerek yeni öneriler getirilmiştir. Bulunan değerler,

profil çevre çapına, yarı mamül kesit şekline ve yarı mamül malzemesine bağlı olarak ortaya çıkmıştır.

5.2.1 Ekstrüzyon Kalıp Çapının Boyutlandırılması

Kovan iç çapına (D_a) bağlı olarak profilde en büyük çevre dairesi çapı şu şekilde ifade edilir.

$$D_{u \text{ mak.}} = (0,8-0,85) D_a \quad (\text{mm}) \quad (6.1.)$$

Belirli bir profil dairesi çapı için gerekli olan matris çapı; profilin şekline, zorlu derecesine ve malzemesine bağlıdır. Basit profillerde, silindirik ve prizmatik çubuklarda ve borularda matris çapı;

$$D_1 = (1,25-1,45) D_u \quad (\text{mm}) \quad (6.2.)$$

$D_{u \text{ mak.}}$ sınır durumunda (6.3.) eşitliği kullanılır.

$$D_1 = (1,1-1,36) D_a \quad (\text{mm}) \quad (6.3.)$$

5.2.2 Ekstrüzyon Kalıp Kalınlığının Boyutlandırılması

Matris kalınlıkları yeni gelişmelerle büyük ölçüde azaltılmıştır. Bunun nedeni gerekli ekstrüzyon kuvvetini matrisin karşılamayıp yeterli büyüklükteki desteğin karşılamasıdır. Tecrübelerden elde edilen değerler aşağıdaki gibidir.

20 mm, 25mm, 30 mm, 40 mm, 50mm, 70 mm, 100mm

Matris kalınlıkları D_{100} (100 kg/mm² özgül basınca göre kovan iç çapı) fonksiyonu olarak ifade edilebilirler.

$$L_1 = (0,12-0,22) \cdot D_{100} \quad (\text{mm}) \quad (6.4.)$$

5.2.3 Kalıp Grubu Dış Çapının Boyutlandırılması

Ekstrüzyon presi imalatçıları D_{100} mukayese büyüklüğünden, büyük ölçüde yararlanmaktadırlar. Bu büyüklük her biri takımın boyutlandırılmasında temel

büyüküktür. Pres imalatçıları bir matris grubu dış çapının belirlenmesinde aşağıdaki bağlantıyı kullanmaktadırlar.

$$D_w = 2,65 \cdot D_{100} \quad (\text{mm}) \quad (6.5.)$$

5.2.4 Destek Kalınlığı ve Kalıp Grubu Toplam Yüksekliği

D_{100} büyüklüğünden yararlanarak matris ve destek toplam yüksekliği şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$L_1 + L_2 = (0,65-1) D_{100} \quad (\text{mm}) \quad (6.6.)$$

Buna göre matris ve destekten oluşan bir grubun tüm yüksekliği (6.7.)eşitliği ile ifade edilir.

$$L_w = 2,8 \cdot D_{100} \quad (\text{mm}) \quad (6.7.)$$

Boşluk oluşumu azaltacak şekilde tasarlanacak kalıpta, kalıp alın yüzeyine bir açılı verilerek; ürünün kalıp alın yüzeyine çarparak boşluk içerisine girmesi azaltılacaktır. Ayrıca kalıp girişini basamaklar şeklinde tasarlayarak; hem ürünün daha büyük bir çaptan kalıba girmesi sağlanacak hem de ürünün çarparak geriye döneceği alan azaltılarak; boşluk içerisine giren ürün miktarı azaltılacaktır.

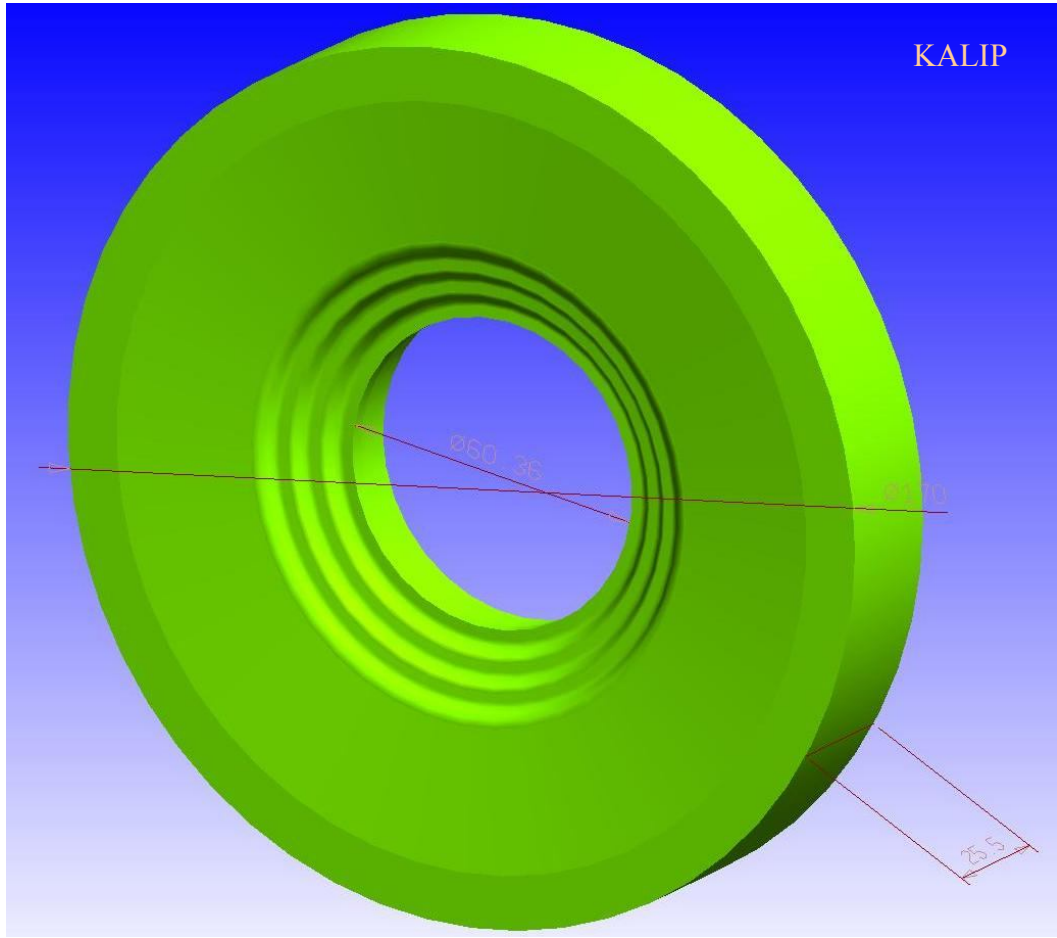
Alüminyum ekstrüzyon kalıbı tasarlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri alüminyumun çekme miktarıdır. Alüminyum ekstrüzyon kalıbı istenilen ürün çapından çekme miktarı kadar büyük yapılmalıdır. Bu kalıbın uygulamasında kullanılacak olan AA6061 malzemedeki çekme miktarı % 11'dir. Ekstrüzyon kalıbı da istenilen ürün çapından % 11 büyük tasarlanılacaktır.

Tasarlanacak olan ekstrüzyon kalıbı 1.2344 sıcak iş takım çeliği malzemesinden üretilecektir. 1.2344 sıcak iş takım çeliği; tokluğu yüksek, ısıya şoklara dayanımlı, yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımını yitirmeyen bir çeliktir. İyi bir ısı iletkenliğe sahip olduğundan kalıbın çalışması esnasında, kalıpta biriken ısı uzaklaştırılacaktır. Sertliği 54 HRC'dir. Çekme mukavemeti 1910 MPa'dır. Hem takım ömrünün uzun olması, hem de tokluğu yüksek olduğundan bu çelik tercih edilmiştir.

Çizelge 6.1. 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
0.40	1.00	0.40	5.1	1.30	-	1.00	-

1.2344 sıcak iş takım çeliği ekstrüzyon kalıpları dışında, hafif metallerin enjeksiyon kalıplarında, dövme kalıpları ve çekirdekleri, aşındırıcı plastiklerin kalıplarında kullanılır.



Şekil 6.2. Alüminyum ekstrüzyon kalıbı tasarımı

Şekil 6.2.'de gösterilen ekstrüzyon kalıbı, ekstrüzyon firesi azaltacak şekilde tasarlanmıştır. Ürünün ekstrüzyon esnasında kalıp alın yüzeyine çarparak boşluk oluşumunun içerisine girmesini azaltmak amacıyla kalıp alın yüzeyine 5°'lik bir açı verilmiştir. Bu sayede bir kısım ürün, açılı yüzeye çarptığında geriye dönmeyerek kalıp içerisine doğru bir yol izleyecektir. Kalıp içersine giden ürün, boşluğun içine girmeyerek fire olmayacaktır.

Kalıp girişine üç adet büyüyen çaplarda basamaklar konulmuştur. Kalıp içerisine girecek olan ürün, daha büyük bir çaptan kalıp içine girerek boşluğu azaltacaktır. Ayrıca kalıp alın yüzeyindeki büyük çaplı basamak sayesinde, kalıp alın yüzeyindeki alan küçülmüş olacaktır. Böylelikle ürünün kalıp alın yüzeyinden geri dönmesini gerektirecek alın yüzeyi alanı azaldığından, ekstrüzyon firesi boşluğuna girecek ürün miktarı azalmış olacaktır.

Ayrıca Şekil 6.3'te görüleceği gibi; kalıp alın yüzeyine paralel ve ıstampa eksenine dik olması gereken basamak yüzeyleri, aynı kalıp alın yüzeyinde olduğu gibi 5°'lik bir açı verilerek tasarlanmıştır. Böylelikle basamak yüzeylerine verilen bu açılar ürünün kalıp içerisine akışını kolaylaştırmıştır.

Basamak girişli kalıpla alüminyumun yüksek çalışma hızlarında kalıptan kolayca geçirilmesine imkan vermektedir. Basamak girişli kalıplarda ekstrüzyon hızındaki artış;

$$A_C V_R = A_{Cm} V_{Cm} = A_E V_E \quad (6.1)$$

eşitliği ile ifade edilen hacim sabitliği ile açıklanabilmektedir. Eşitlikteki A_C iç kovan çapını, V_R ıstampa hızını, A_{Cm} basamaklı boşluğun ortalama alanını, V_{Cm} söz konusu basamaktaki metal akış hızını, A_E ürünün kesit alanını ve V_E ekstrüzyon hızını simgelemektedir.

Basamaklı boşluğun ortalama alanı;

$$A_{Cm} = (A_1 + A_2 + A_3) / 3 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Ekstrüzyon hızı;

$$V_E = \frac{A_{Cm} V_{Cm}}{A_E} \quad (6.2)$$

eşitliği ile bulunur.

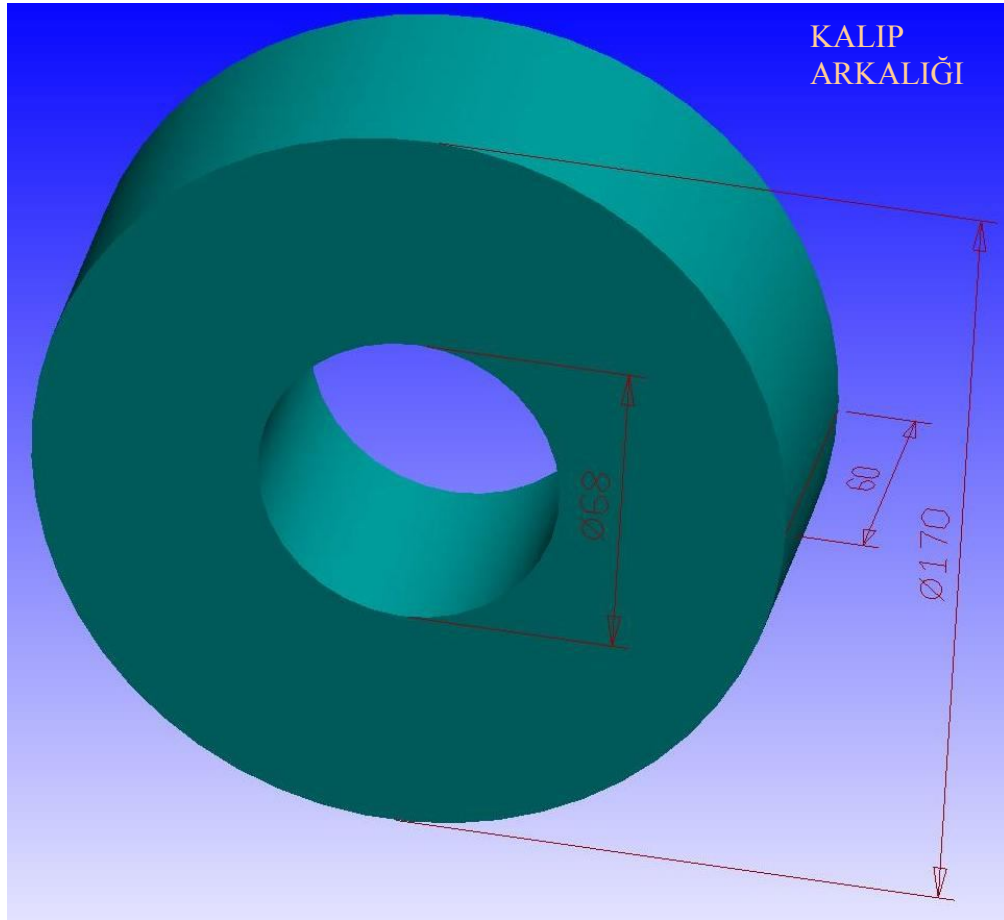
Alüminyum çubuk üretiminde kullanılacak bu kalıbın aşağıdaki özelliklere sahip olması arzulanmaktadır.

- Doğru boyutlara ve doğru ürün şekline sahip olmalı, herhangi bir düzeltme işlemine gerek duyulmamalıdır.
- Mümkün olan en uzun kullanım ömrünü sağlamalıdır.
- Ekstrüzyon boyunda maksimum boşluk oluşumu olmayan uzunluğu sağlamalıdır.
- Çok uzun süre yüksek kaliteli ürün üretimine uygun olmalıdır.
- Yüksek ekstrüzyon hızı sağlayabilmelidir.
- İmalat maliyeti düşük olmalıdır.

6.2 Ekstrüzyon Kalıbı Arkalığı Tasarımı

Ekstrüzyon kalıp arkalıkları; ekstrüzyon kalıpları ile beraber kalıp yuvasına (kalıp sürgüsü) takılan parçalardır. Kalıp arkalıkları, presleme esnasında kalıp üzerine gelen yükü azaltmak ve kalıbın kırılmasına engel olmak amacıyla yapılmaktadır. Tasarımı yapılan kalıp arkalığı parçasının malzemesi 1.2344 sıcak iş takım çeliği olarak seçilmiştir.

Kalıp arkalıklarının deliği; ekstrüzyon edilecek ürün çapından daha büyük olmak zorundadır. Kalıp arkalığının delik çapının kalıp çapından büyük yapılmasının sebebi; kalıptan çıkan ürünün büyük olan kalıp arkalığı deliğinden rahatça çıkarak ilerleyebilmesidir. Kalıptan çıkan ürünün baş tarafında hıza bağlı olarak bir tarafa doğru eğilmeler olabilir. Kalıp arkalığının deliği de bu eğilmelerin rahatça geçebileceği büyüklükte yapılmaktadır.

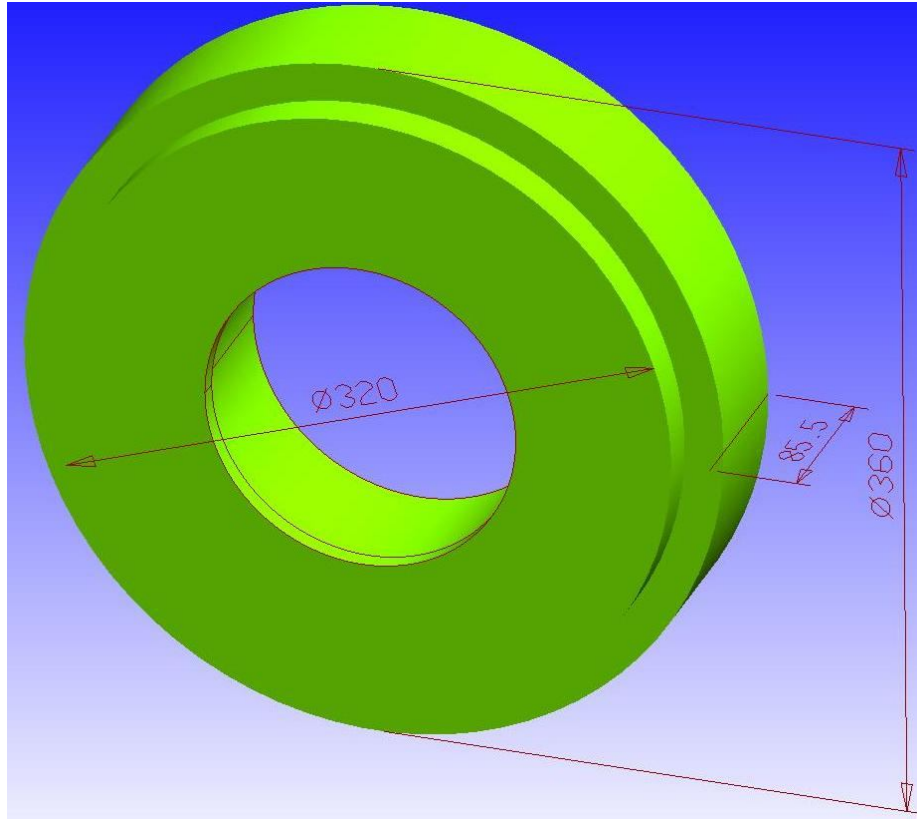


Şekil 6.4. Ekstrüzyon kalıbı arkalığı tasarımı

6.3 Ekstrüzyon Kalıbı Sürgüsü Tasarımı

Kalıp sürgüsü ekstrüzyon kalıbının ve kalıp arkalığının içine yerleştirildiği ekstrüzyon presinin ana parçalarındandır. Kalıp sürgüsünün kalınlığı, ekstrüzyon kalıbı kalınlığının ve kalıp arkalığının kalınlığının toplamına eşit olmalıdır. Ayrıca kalıp sürgüsünün delik çapı ekstrüzyon kalıbının dış çapı ile aynı olmalıdır.

Kalıp sürgüsü, ekstrüzyon esnasında büyük yüklere ve ısılara maruz kalacağından; tokluk ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilen 1.2344 sıcak iş takım çeliği malzemesinden üretilecektir.



Şekil 6.5. Ekstrüzyon kalıbı sürgüsü

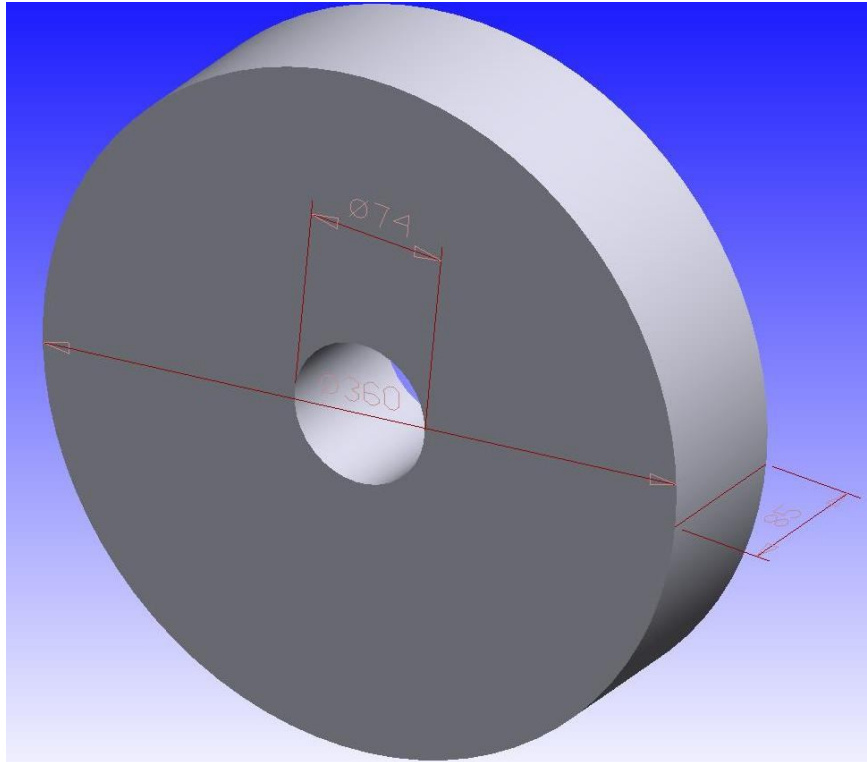
6.4 Ekstrüzyon Kalıbı Destek Plakaları Tasarımı

Ekstrüzyon kalıbı ve kalıp arkalığının içinde bulunduğu ekstrüzyon kalıbı sürgüsünün arkasına, hem kalıbın hem de kalıp sürgüsünün eğilme ve kırılmasını önlemek amacıyla genellikle iki adet olmak üzere destek plakaları monte

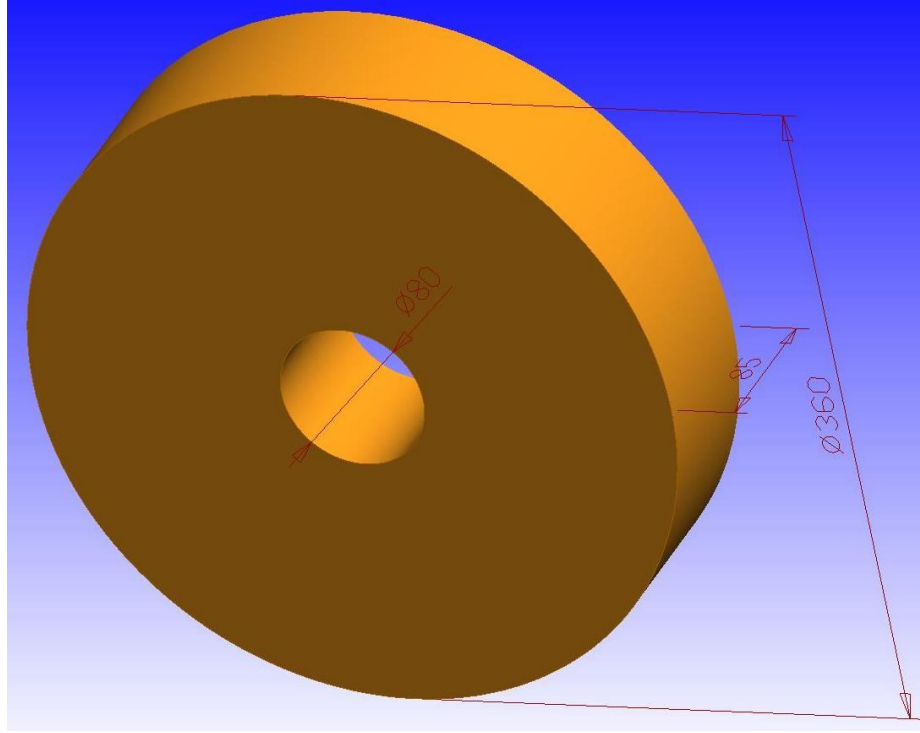
edilmektedir. Destek plakalarının kalınlıkları genellikle kalıp sürgüsünün kalınlığı kadar ya da kalıp sürgüsünün kalınlığından daha fazla seçilir.

Ayrıca kalıp destek plakalarının delik çapları, kalıp arkalığının delik çapından daha büyük olmalıdır. Kalıp seti montajlandığında en dış tarafta kalan destek plakasının delik çapı, kalıp sürgüsü tarafındaki destek plakasının delik çapından daha büyük olmalıdır. Ürün kalıptan çıktıktan sonra delik çapı kendi çapından daha büyük olan kalıp arkalığı içerisinde rahatça geçer. Daha sonra ilk destek plakasından, daha sonra delik çapı en büyük olan destek plakasından geçer.

Destek plakalarının delik çapları ürün çapından büyük olmalıdır. Ancak destek plakalarının delik çapları ürün çapından aşırı derecede büyük yapıldığında, ürünün arkasında kalan artık makaslandığında; konveyörde uzamaya devam eden ürünün ön tarafından yukarıya doğru bir hareket oluşur. Destek plakalarının deliğine çarparak bu kalkış frenlenmiş olur. İş kazalarına sebebiyet vermemek için destek plakası çapları, ürün çapının 1.5 katından fazla yapılmaz.



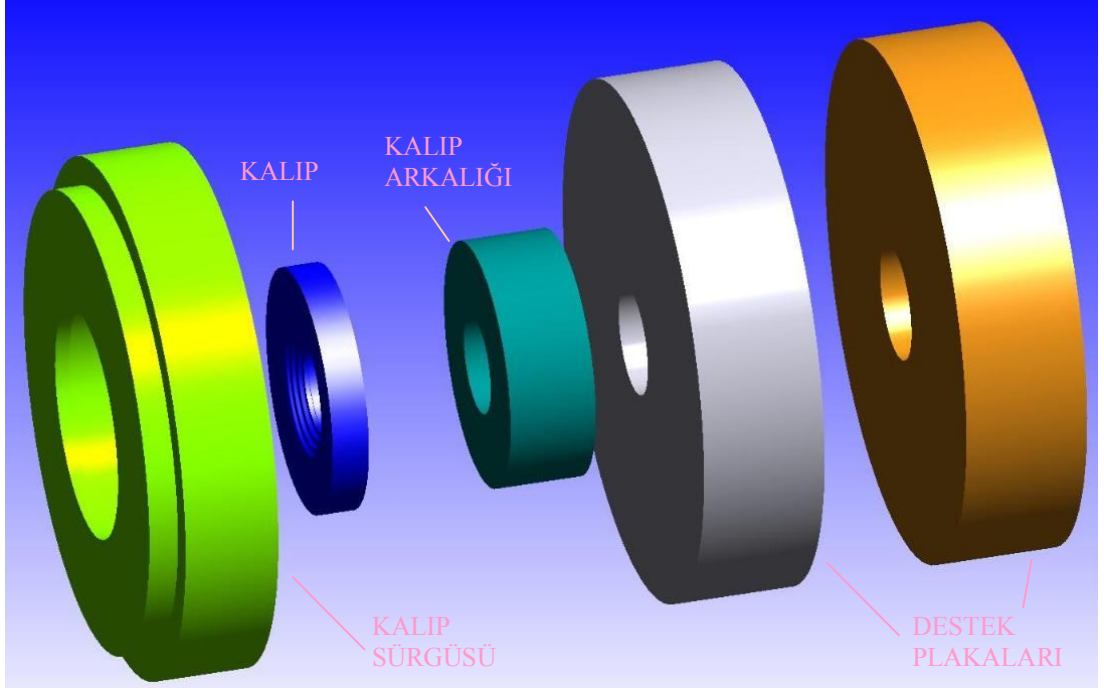
Şekil 6.6. Ekstrüzyon kalıbı 1. destek plakası



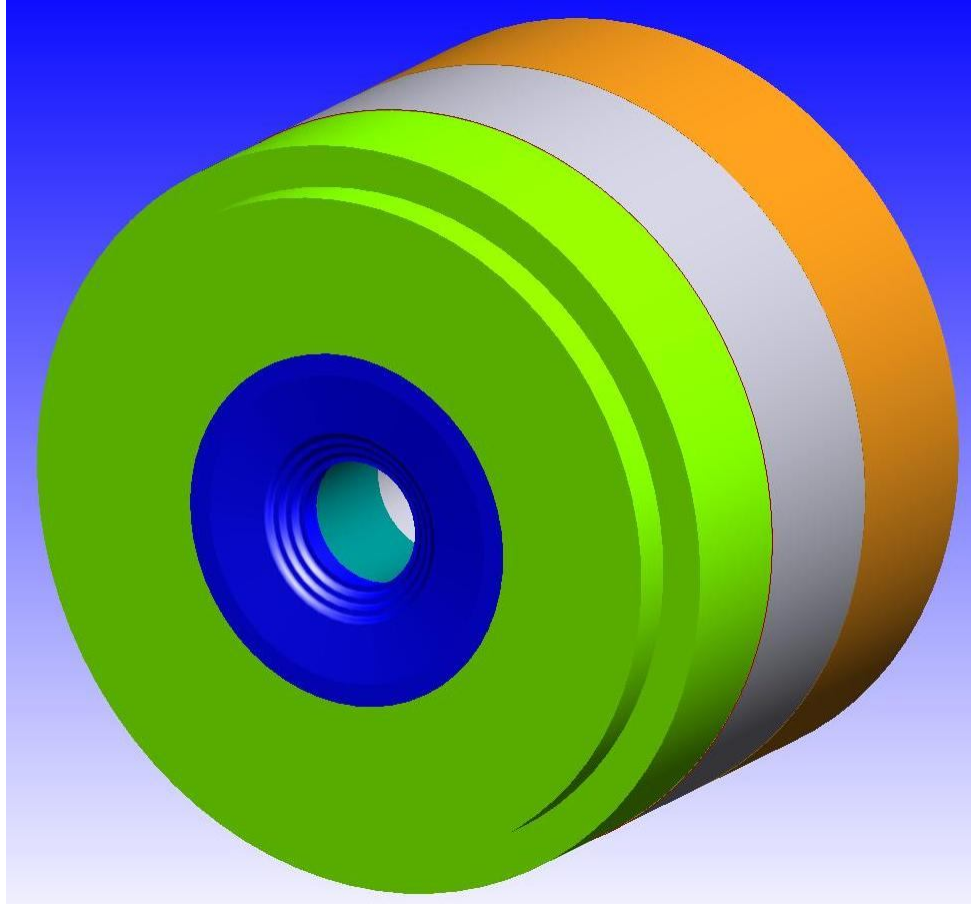
Şekil 6.7. Ekstrüzyon kalıbı 2. destek plakası

6.5 Ekstrüzyon Kalıp Setinin Tasarımı

Ekstrüzyon kalıbı, kalıp arkalığı, kalıp sürgüsü ve kalıp destek plakalarından oluşan ekstrüzyon kalıp setinin montaj tasarımları Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Ekstrüzyon kalıbı ve kalıp arkalığı; kalıp sürgüsünün içine girmektedir. Kalıp sürgüsünün arkasına da 1. destek plakası ve 2. destek plakası bağlanmaktadır.



Şekil 6.8. Ekstrüzyon kalıbı montaj resmi



Şekil 6.9. Ekstrüzyon kalıbı montajlanmış hali

7. UYGULAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu uygulamada daha önceki bölümde tasarımı yapılmış olan ekstrüzyon firesini azaltan ekstrüzyon kalıbı ile üretilmiş AA6061 alüminyum alaşımı üründeki değişimler incelenecektir. Buna göre yeni tasarım yapılmadan önceki durum belirtilecek, üründe azalan firenin hangi parametreler tarafından etkilendiği Taguchi deney tasarımı yöntemi ile incelenecektir.

Teze konu olan ekstrüzyon kalıbı ile üretilcek ürün AA6061 malzemedir. Ürün çapının Ø59,70 olması istenmektedir. AA6061 malzemede çekme miktarı % 11'dir. Ekstrüzyon kalıbı da istenilen ürün çapından % 11 büyük tasarlanmıştır. Ø152 AA6061 alüminyum alaşımı takozdan 3500mm içi dolu çubuk şeklinde ürün üretilmektedir.

Ekstrüzyon kalıbının yeni tasarımı yapılmadan önceki haliyle üretilen ürünün arka kısmında daha önceki bölümlerde anlatılan boşluk oluşumu sebebiyle 600mm'lik kısmı ekstrüzyon firesi olarak atılmaktadır. Bunun sebebi ekstrüzyon firesindeki boşluk kısmından üretilcek olan basınçlı kap yüzeyinde, bu firedeki boşluk kısmının çatlak olarak gözükmesi ve ürünün hurdaya atılmasıdır. Dolayısıyla 3500mm'lik çubuğun 600mm'lik kısmı fireye atıldığından, büyük miktarda bir üretim kaybı yaşanmaktadır.

Yeni tasarlanmış ekstrüzyon kalıbı ile üretilen çubukta, üretim aynı parametreler ile yapıldığında; 3500mm'lik çubuğun 400mm'lik kısmı fire olarak atılmaktadır. 200mm'lik kısımda ekstrüzyon firesi oluşmamaktadır. Böylelikle üretilen çubuktan daha uzun sağlam ürün elde edilebilmektedir.

Üretilcek üründen en iyi sonucu yani birim zamanda üretilebilecek en uzun sağlam ürünü alabilmek için boşluk oluşumunu direkt olarak etkileyen ekstrüzyon parametrelerinin incelenmesi gerekmektedir. Bunun için Taguchi deney tasarımı kullanılarak; en iyi sonucun elde edileceği parametreler araştırılacaktır.

7.1 Deney Tasarımı

Deney tasarımı teknikleri sadece istatistiksel bir yaklaşım değil, tüm araştırma-geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilecek, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren, sonuçların güvenilirliğini sağlamlaştıran, tüm diğer kalite tekniklerini destekleyen ve tamamlayan tekniklerdir. Uygulamada getirdikleri avantajlar performans ve kalitenin artırılması, kaynakların verimli kullanılması, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin hızlandırılması ve ürünün ve/veya prosesin kalite özelliklerini belirleyen değerlerin kontrol edilemeyen veya edilmesi zor/maliyetli faktörlere karşı daha az duyarlı olması şeklinde sıralanabilir.

7.1.1 Taguchi Metodu

Temel olarak deney tasarımı yöntemleri yüzyıl başında tarımsal araştırmalarda kullanılarak Fischer tarafından geliştirilmiştir [Montgomery, 2001]. Ancak klasik deney tasarım yöntemleri kullanımları endüstriyel şartlar altında verimli ve sağlıklı olmayan yaklaşımlardır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktadır. Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm getirmiştir [Ross, 1989].

Bu sayede deney öncesinde yapılan ayrıntılı analiz ve değerlendirmelerle gereken deney sayısını önemli şekilde düşürmek mümkün olmuştur. Taguchi metodu bir deney tasarım tekniği olmanın ötesinde yüksek kalitede sistem tasarımı için son derece faydalı bir tekniktir. Diğer taraftan deney sayısında elde edilen azalma, faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde gözardı edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/gürültü oranı değeri küçük değer iyi, büyük değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir.

Hangi S/N oranı değerlendirilmede kullanılırsa kullanılsın, sonuç olarak karşımıza çıkan değerlerde daha büyük olan S/N oranı daha iyi deney sonucunu ifade eder. Böylelikle deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olan değerler en iyi performansı verecektir.

Bunun yanı sıra varyans analizi (ANOVA) ile hangi proses üzerinde hangi faktörlerin ne derecede önemli oldukları istatistiksel olarak ortaya konulur. Hem S/N oranı, hem de varyans analizi yardımı ile de faktörlerin, prosesi optimum performansa ulaştıracak kombinasyonu tespit edilir.

Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirebilmesini sağlaması ve bunun için de tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur [Ross, 1989].

Taguchi Deney Tasarımı tekniğine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar aşağıdaki şekildedir [Yang et al.,1998]:

1. Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi (beyin fırtınası, akış diyagramı, sebep sonuç diyagramı gibi metotlar kullanılarak).
2. Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi.
3. Doğru dengeli tasarımın seçimi.
4. Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki kolonlarla eşleştirilmesi.
5. Deneylerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi.
6. Sonuçların analizi.
7. Onama deneylerinin yapılması.

Bu adımların izlenmesi sonucunda proses veya ürün için optimum performansın elde edileceği deney parametreleri belirlenecek, deneyde ele alınan faktörlerin kalite değeri üzerindeki etkisi tahmin edilebilecek ve optimum deney parametreleri sonucunda elde edilebilecek kalite değeri öngörülebilecektir.

7.2 Deneysel Çalışmalar

7.2.1 Faktörlerin Seçimi

Ekstrüzyon prosesinde, ekstrüzyon hızı ürün kalitesini direkt olarak etkiler. Ekstrüzyon presinin yavaş veya hızlı çalışmasını sisteme yağ pompalayan pompaların çalışma debisi belirler. Bu bakımdan ilk faktör olarak pompa debisi seçilecektir.

Ekstrüzyon işlemi esnasında ekstrüze edilen takozun ilk sıcaklığı büyük rol oynamaktadır. Hem ürün yüzey kalitesini, hem ürün içyapısını hem de ekstrüzyon hızını etkiler. Bu bakımdan ikinci faktör olarak takoz sıcaklığı seçilecektir.

Ekstrüzyon işlemi esnasında ekstrüze edilen takozun sıcaklığının istenilen değerde korunması kovan sıcaklığına bağlıdır. Kovan sıcaklığı, ekstrüzyon hızını ve kalitesini etkiler. Bu bakımdan üçüncü faktör olarak kovan sıcaklığı seçilecektir.

Üç değişik faktörden her biri en düşük, en yüksek ve orta değer olmak üzere 3 seviyeli olarak belirlenmiştir. Yapılacak deneylerde incelenilmesi düşünülen faktörler ve seviyeleri Tablo 1'deki gibi öngörülmüştür.

Tablo 7.1. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler		1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
Pompa Debisi	L / dak	150	250	350
Kovan Sıcaklığı	°C	380	400	420
Takoz Sıcaklığı	°C	380	410	450

7.2.2 Deneyin Tasarlanması

Deneyler sırasında incelenecek faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesinden sonra yapılacak deneylerin belirlenmesi aşaması gelmektedir. Taguchi Deney Tasarımı metoduna göre seçilecek dik düzenin belirlenmesi için tespit edilecek ilk veri, toplam serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi kısa tanımı ile hangi seviyenin optimum sonucu vereceğini belirlemek için tasarım parametreleri arasında yapılması gereken karşılaştırma sayısını gösterir. Üç seviyeli bir faktör için

serbestlik derecesinin iki olması dolayısı ile seçilecek tasarımın sağladığı serbestlik derecesi, üç faktör için ihtiyaç duyulan altı serbestlik derecesinden yüksek olmalıdır. Bu açıdan da değerlendirildiğinde çalışma için uygun tasarım olarak dokuz deneyli Taguchi L₉ dik düzeyi karşımıza çıkmaktadır.

Tam faktöriyel bir deney tasarımına göre gereken 27 deneye kıyasla Taguchi Deney Tasarımına göre üç seviye faktöryel olarak seçildiğinde yapılması gereken 9 deney ortaya çıkar. Bu deney tablosu Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. 3 seviyeli 3 faktör için Taguchi L₉ deney planı

DENEY NO	POMPA DEBİSİ L/dak.	KOVAN SICAKLIĞI °C	TAKOZ SICAKLIĞI °C
1	150	380	380
2	150	400	410
3	150	420	450
4	250	380	410
5	250	400	450
6	250	420	380
7	350	380	450
8	350	400	380
9	350	420	410

7.2.3 Deney Sonuçlarının Belirlenmesi

Tablo 7.2’de belirtilen Taguchi L₉ dik düzeni çerçevesinde gerçekleştirilen deneylerde üretim zamanları ve ekstrüzyon firesi olmayan ürün uzunluğu bulunmuştur. Ekstrüzyon firesi olmayan ürün uzunluğu üretim zamanına bölünerek, deney sonucu olarak birim zamanda üretilen sağlam ürün uzunluğu Tablo 7.3’e girilmiştir.

Tablo 7.3. Taguchi L9 Deney Tasarımına göre deney sonuçları

DENEY NO	POMPA DEBİSİ L/dak.	KOVAN SICAKLIĞI °C	TAKOZ SICAKLIĞI °C	SAĞLAM ÜRÜN UZUNLUĞU mm
1	150	380	380	10,74
2	150	400	410	11,80
3	150	420	450	12,18
4	250	380	410	37,62
5	250	400	450	42,04
6	250	420	380	35,71
7	350	380	450	34,15
8	350	400	380	31,01
9	350	420	410	33,84

7.2.4 Sinyal/Gürültü Oranı

Taguchi Deney Tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder.

Sinyal/gürültü oranının hesaplamasında deneyler sonucunda ulaşılması hedeflenen kalite değerinin özelliği de önemlidir. Burada temel üç önemli kategori söz konusudur:

- düşük değer iyi (hedef en düşük değere ulaşmaktır)
- yüksek değer iyi (hedef en yüksek değere ulaşmaktır)
- nominal değer iyi (hedef nominal bir değere ulaşmaktır)

Yapılan araştırmaya söz konusu olan ekstrüzyon ürünüde karakteristik değer birim zamanda üretilen sağlam ürün uzunluğu olduğu ve en yüksek ürün uzunluğunun sağlanması istenildiği için deneylerin analizinde “yüksek değer iyi” yaklaşımına göre hesaplanan sinyal/gürültü oranı kullanılacaktır [Ross,1989; Taguchi, 1990].

Bu yaklaşıma göre S/N oranını hesaplamakta kullanılacak olan denklem:

$$\eta = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (7.1.)$$

şeklindedir.

Tablo 7.4'te her deney için ölçülen birim zamanda üretilen sağlam ürün uzunluğu üzerinden denklem 1 yardımıyla hesaplanan sinyal/gürültü oranları verilmiştir. Denklemde y, o deney şartlarında ölçülen karakteristik değeri, n ise o deney şartlarında yapılan deney sayısını ifade etmektedir. [Ross, 1989].

Tablo 7.4. Taguchi L9 Deney Tasarımına göre deney sonuçları ve S/N

o

DENEY NO	POMPA DEBİSİ L / dak.	KOVAN SICAKLIĞI °C	TAKOZ SICAKLIĞI °C	SAĞLAM ÜRÜN UZUNLUĞU mm	S / N ORANI (dB)
1	150	380	380	10,74	20,62
2	150	400	410	11,80	21,44
3	150	420	450	12,18	21,71
4	250	380	410	37,62	31,51
5	250	400	450	42,04	32,47
6	250	420	380	35,71	31,05
7	350	380	450	34,15	30,67
8	350	400	380	31,01	29,83
9	350	420	410	33,84	30,59

Bir sonraki aşamada ise her faktörün her seviyedeki etkisinin ayrıştırılması gerekir. Bunun için Tablo 7.3'te hesaplanan sinyal/gürültü oranlarının ortalaması her faktörün her bir seviyesi için ayrı ayrı alınır. Mesela kovan sıcaklığının 380 °C olduğu birinci seviyeye ait oranı belirlemek için 1, 4 ve 7 numaralı deneyler için hesaplanan sinyal/gürültü oranlarının ortalaması alınır. Tablo 7.4'te tüm faktörler ve seviyeler için bu şekilde hesaplanmış ortalama sinyal/gürültü oranları verilmiştir.

3 faktör için 9 deney sonucunun analizleri MINITAB 15 paket programı ile yapılmıştır.

Tablo 7.5. Tüm faktörler ve seviyeler için ortalama S/N oranları

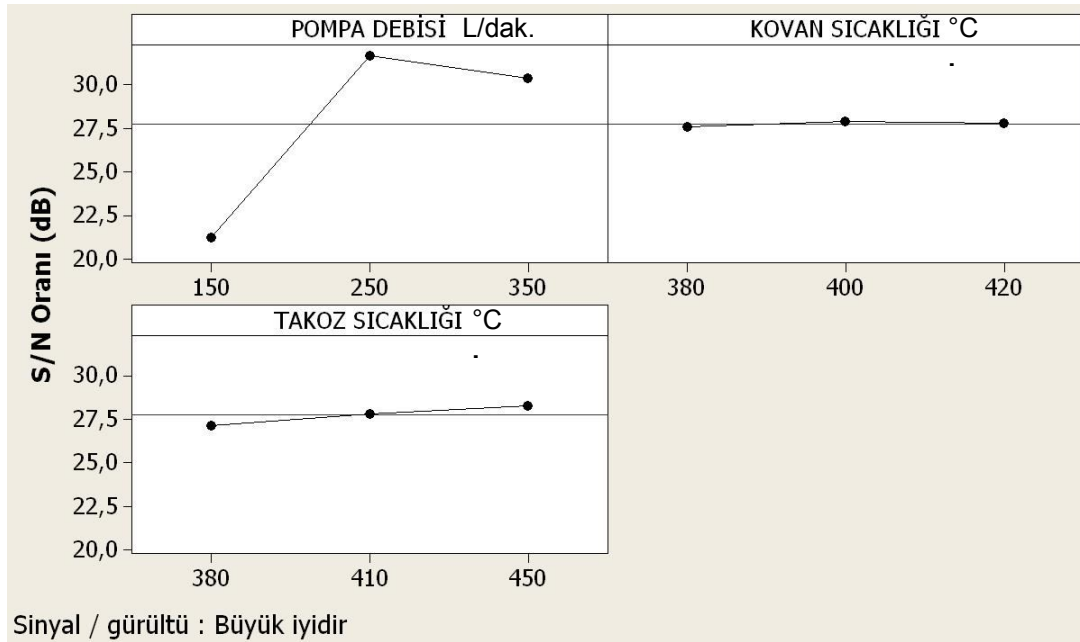
	SEVİYE	POMPA DEBİSİ	KOVAN SICAKLIĞI	TAKOZ SICAKLIĞI
Ortalama S/N Oranları (dB)	1	21,26	27,6	27,17
	2	31,68	27,91	27,85
	3	30,36	27,78	28,28
	Delta	10,42	0,31	1,12
	Sıra	1	3	2

Bunların yanı sıra yapılan toplam dokuz deneyin toplam sinyal/gürültü oranı da hesaplanır. Toplam ortalama sinyal/gürültü oranı 27.77 dB olarak karşımıza çıkar. Toplam sinyal/gürültü oranı denklemi:

$$\eta_m = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n y_i = \quad (7.2)$$

Bütün bu hesaplamalar sonucunda her faktör için belirlenen en yüksek sinyal/gürültü oranı en iyi deney sonucuna, yani sağlam ürün uzunluğunun en yüksek olduğu deney sonucuna işaret eder.

Şekil 7.1. Tüm faktörler ve seviyeler için ortalama S/N oranları



7.2.5 Varyans Analizi

Varyans analizinde hedeflenen, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktıdeğerini (üretilen ürün uzunluğunu) ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını ortaya koyabilmektir. Bunun yanı sıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir.

Tablo 7.6. Pompa debisi için Taguchi L9 deney tasarımına göre varyans analizi tablosu

Source	DF	SS	MS	F	P
POMPA DEBİSİ	2	1211,64	605,82	128,92	0,000
Error	6	28,20	4,70		
Total	8	1239,83			

S = 2,168 R-Sq = 97,73% R-Sq(adj) = 96,97%

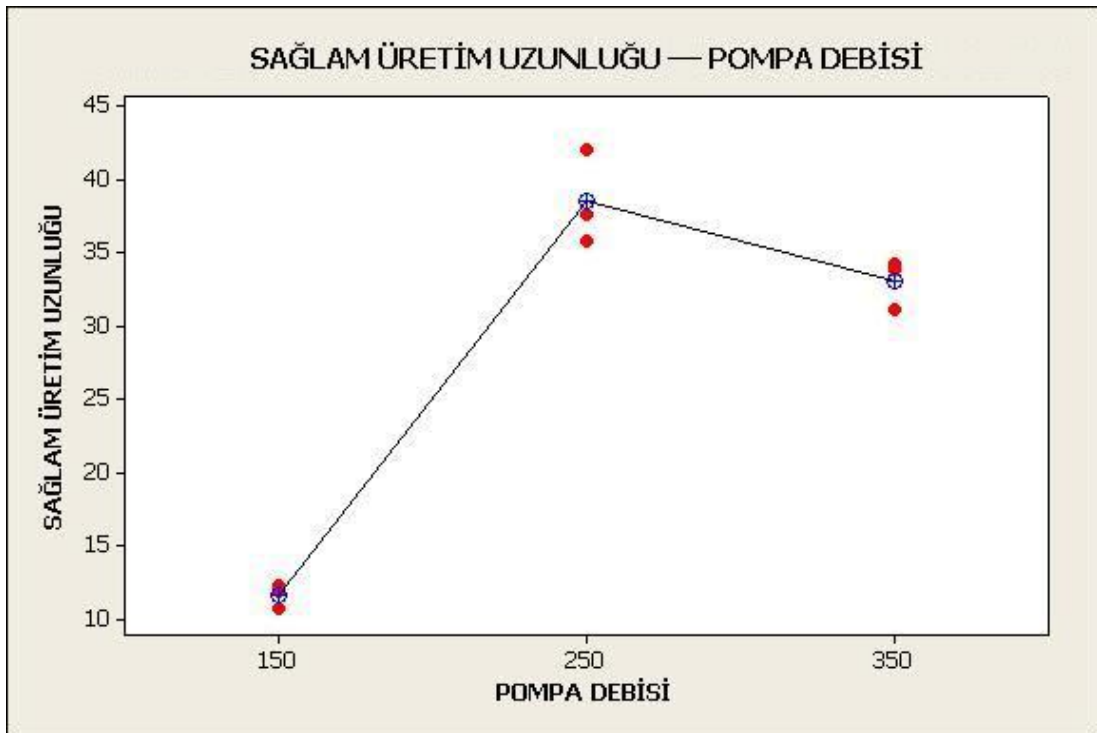
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
150	3	11,573	0,745	(--*--)
250	3	38,456	3,249	(--*--)
350	3	33,002	1,729	(--*--)

10 20 30 40

Pooled StDev = 2,168

Şekil 7.2. Pompa debisi için sağlam üretim uzunluğu tablosu



Tablo 7.7. Kovan sıcaklığı için Taguchi L9 deney tasarımına göre varyans analizi tablosu

Source	DF	SS	MS	F	P
KOVAN SICAKLIĞI	2	2	1	0,00	0,996
Error	6	1238	206		
Total	8	1240			

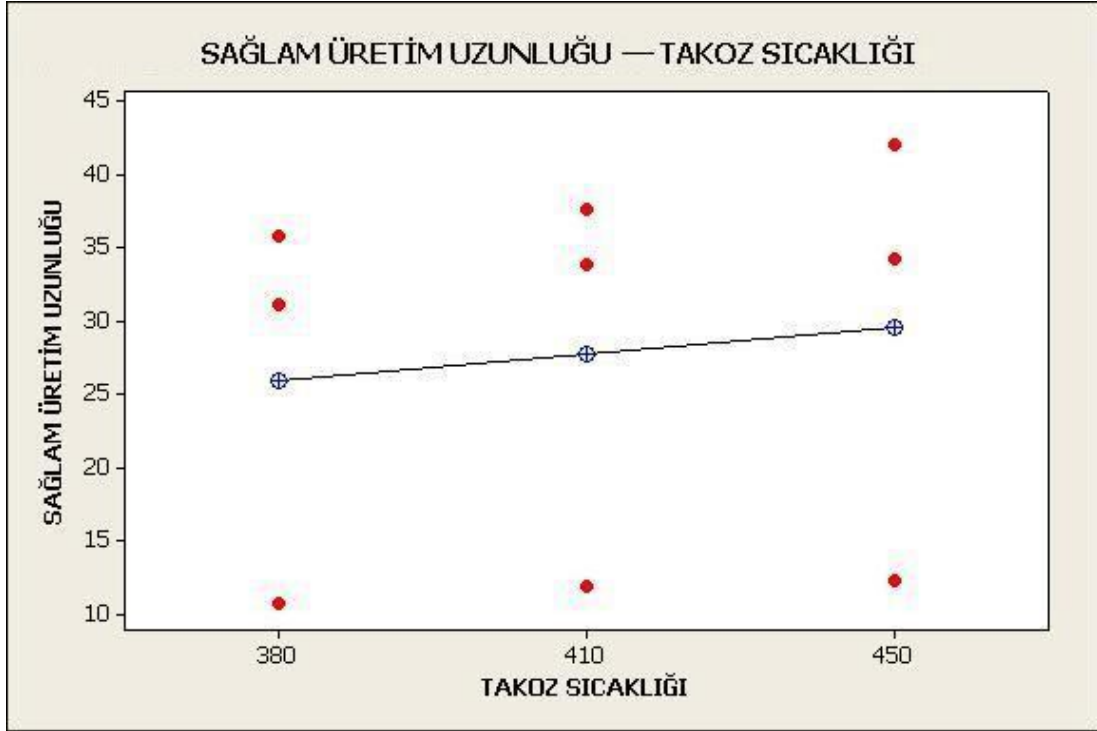
S = 14,36 R-Sq = 0,14% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
380	3	27,50	14,62	(-----*-----)
400	3	28,28	15,30	(-----*-----)
420	3	27,24	13,08	(-----*-----)

12 24 36 48

Pooled StDev = 14,36

Şekil 7.4. Takoz sıcaklığı için sağlam üretim uzunluğu tablosu



Bütün bu hesaplamalar sonucunda pompa debisi faktörünün 250 L/dak., kovan sıcaklığı faktörünün 400°C ve takoz sıcaklığı faktörünün 450°C olduğu 5 numaralı deneyin belirlenen en yüksek sinyal/gürültü oranına sahip olduğu ve sağlam ürün uzunluğunun en yüksek olduğu deney sonucu olduğu görülmüştür.

8.SONUÇLAR

Ekstrüzyon firesini azaltacak kalıp tasarımı konusunda yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Ekstrüzyonda boşluk oluşumu, piping veya göbeklenme olarak bilinen ekstrüzyon firesi hatasının ekstrüzyon kalıbı tasarımı ile doğrudan bir ilişki içerisinde olduğu görülmüştür.

Ekstrüzyon kalıbı giriş alın yüzeyine açısı verilmesinin ekstrüzyon firesini azalttığı görülmüştür. Ekstrüzyon kalıbı delik girişine yapılan basamak şeklindeki kademelerin ekstrüzyon firesini azalttığı görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalarda seçilmiş olan pompa debisi, kovan sıcaklığı ve takoz sıcaklığı parametrelerinden pompa debisinin ekstrüzyon fire miktarı üzerinde çok büyük bir etkisi olduğu görülmüştür.

8.1 Öneriler

Bu çalışmadan sonra yapılacak olan çalışmalarda giriş alın yüzeyine verilen açısı ve delik girişine yapılan basamak şeklindeki kademeler ayrı ayrı yapılarak incelenebilir.

Üç basamaktan oluşan bu çalışma haricinde basamak sayısı artırılarak ekstrüzyon firesi üzerindeki etkileri incelenebilir.

Ayrıca giriş alın yüzeyine verilen 5°'lik açısı büyütülerek ekstrüzyon firesi üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akaret, R., (1981), Influence of Shape and Die Design on Metal Flow, Extrusion Load and Speed, Switzerland.

Bauser, M., Sauer, G., Siegert K., (2006), Extrusion, ASM International, U.S.A.

Bingöl, S., (2006) Çeşitli Ekstrüzyon Şartlarında Üretilen Alüminyum Alaşımı Ürünlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

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 AA6063 Billets, Materials Processing Technology

Çapan, L., (1999), Metallerde Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitapevi, İstanbul

Montgomery, D. C., (2001), Design and analysis of experiments, 5th Edition, John Wiley, Wiley & Sons, New York.

Ross, P. J., (1989). Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design, McGraw-Hill International Book Company.

Saha, P.K., (2000), Aluminum Extrusion Technology, ASM International, U.S.A.

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

Sheppard, T., (1999), Extrusion of Aluminium Alloys, Kluwer Academic Publishers, Netherlands

Sönmez, H.; (1989), Metal Ekstrüzyonu, Eğitim Yayınları A.Ş., İstanbul.

Taguchi, G., (1990). Introduction to quality engineering, Asian Productivity Organisation, Japan.

Ulucak, T., (2006), AA 6063 Alüminyum Alaşımının Metalurjisi, Saray Alüminyum

Yang W. H., Tarng Y. S., (1998). Desing optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method, Journal of Materials Processing Technology.

Zasadzinski, J., (1996), Convex Dies for Aluminum Extrusion, Proceedings of the 6th International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, Chicago

www.aluminium.matter.org.uk

www.ent.ohiou.edu

www.mesaluminium.com

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kadıköy’de doğdu. Lise öğrenimini Sezai Türkeş-Fevzi Akkaya Anadolu Teknik Lisesi’nde tamamladıktan sonra Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünde eğitime devam etti. 2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına kayıt oldu. Halen bu enstitüde yüksek lisans çalışmalarına devam etmektedir.