

106409

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Doç. Dr. Hüseyin Sönmez

Prof. Nevralta Gültekin

Prof. Dr. Nisan Sönmez

**SÜREKLİ EKSTRÜZYONDA KAYNAMA OLAYI VE  
KAYNAMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN  
ARAŞTIRILMASI**

Makine Müh. Sedat BİNGÖL

F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ (YTÜ)

106409

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMAN İZLENİM MERKEZİ**

**İSTANBUL, 2001**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Ekstrüzyon Yöntemleri .....	2
1.1.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi .....	2
1.1.2 Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi .....	3
1.1.3 Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi.....	4
1.2 Ekstrüzyon Malzemeleri .....	5
1.2.1 Metal ve Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği .....	6
1.2.2 Kurşun ve Kalay Ekstrüzyonu .....	9
1.2.3 Magnezyum Ekstrüzyonu .....	9
1.2.4 Bakır Ekstrüzyonu .....	9
1.2.5 Titanyum Ekstrüzyonu .....	10
1.2.6 Zirkonyum Ekstrüzyonu .....	10
1.2.7 Berilyum Ekstrüzyonu .....	10
1.2.8 Nikel Ekstrüzyonu .....	10
1.2.9 Çeliklerin Ekstrüzyonu .....	10
1.3 Ekstrüzyonda Malzeme Akışı.....	11
1.3.1 Mevcut Sınıflandırma Sistemleri .....	12
1.3.1.1 S Tipi Malzeme Akışı.....	13
1.3.1.2 A Tipi Malzeme Akışı .....	14
1.3.1.3 B Tipi Malzeme Akışı .....	14
1.3.1.4 C Tipi Malzeme Akışı .....	15
1.3.2 Direkt ve Endirekt Ekstrüzyonda Malzeme Akışlarının Karşılaştırılması..	15
1.3.3 Malzeme Akışı ve Yağlama .....	16
1.4 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyonu.....	16
1.4.1 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği.....	17
1.4.2 Alüminyum ve Alaşımlarının Ekstrüzyonunda Yağlama ve malzeme akışı.....	19
1.4.2.1 Yağlama.....	19
1.4.2.2 Malzeme Akışı.....	21
1.4.3 Alüminyum Alaşımlarından Profillerin Ekstrüzyonu.....	22
1.4.4 Alüminyum Alaşımlarından İçi Boş Profillerin Ekstrüzyonu.....	24
1.5 Ekstrüzyon Takımları.....	25
1.5.1 Matris.....	26
1.5.2 Matris Şekilleri.....	27
1.5.3 Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri.....	32
1.5.4 İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri.....	32
1.5.4.1 Köprülü Matrisler.....	34
1.5.4.2 Spider Matris.....	35
1.5.4.3 Odalı (Porthol) Matris.....	35

1.6	Sürekli Ekstrüzyon.....	36
2.	EKSTRÜZYON KAYNAKLARI.....	38
2.1	Dikiş Kaynakları.....	39
2.2	Alın Kaynakları.....	40
2.3	Kalıp Durma İzi ve Alın Kaynaklarının Yeri.....	41
2.4	Ekstrüzyon Kalıntısının (Ara İş) Uzaklaştırılması.....	42
2.5	Ekstrüzyon Kaynaklarının Metalurjisi.....	44
2.6	Ekstrüzyon Kaynaklarının Mekanik Özellikleri.....	48
2.6.1	Alın Kaynaklarının Mekanik Özellikleri.....	49
2.6.2	Dikiş Kaynaklarının Mekanik Özellikleri.....	54
2.7	Matris Dizaynı.....	58
2.8	Kaynama Odası.....	59
2.9	Ön Oda.....	65
2.10	Kaynama Sıcaklığı.....	68
2.11	İşlem Temizliği ve Kalite.....	70
2.12	Kaynama Odası Gerilme Analizleri.....	71
3.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	81
3.1	Numuneler.....	81
3.2	Deney Şartları.....	81
3.3	Deney Donatımları.....	82
3.4	Deneylerin Yapılması ve Değerlendirilmesi.....	82
3.4.1	Birinci Gruptaki Numuneler.....	83
3.4.2	İkinci Gruptaki Numuneler.....	87
4.	SONUÇLAR.....	90
	KAYNAKLAR.....	92
	ÖZGEÇMİŞ .....	94

## SİMGE LİSTESİ

$\eta$	Ekstrüzyon işleminin verimi
$\phi$	İşlenebilirlik
$\beta$	Lode katsayısı
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\sigma_{\theta}$	Normal gerilme
$\sigma_A$	Şekil değiştirme mukavemeti
$\phi_{Fr}$	Şekil değiştirme kabiliyeti
$\tau_k$	Sürtünme kayma gerilmesi
$\sigma_l$	Direkt eksen gerilimi
$\sigma_r$	Radyal gerilme
$a_{av}$	Kesitin ortalama kalınlığı
$c$	Kesitin biçim kaktörü
$F_D$	Deformasyon için harcanan kuvvet
$F_d$	Kaynama odasındaki deformasyon kuvveti
$F_F$	Sürtünme için harcanan kuvvet
$F_{fb}$	Matris kanalındaki sürtünme kuvveti
$F_{fw}$	Kaynama odasındaki sürtünme kuvveti
$F_T$	Toplam ekstrüzyon kuvveti
$k_f$	Kaynama odasındaki malzemenin akma gerilmesi
$m$	Sürtünme faktörü
$N_{FR}$	Devir
$P$	Basınç
$P_{min}$	Minimum basınç
$R$	Ekstrüzyon oranı
$R_m$	Çekme dayanımı
$T$	Sıcaklık
$V$	Ekstrüzyon hızı
$W$	Şekil değiştirebilirlik

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Direkt ekstrüzyon yöntemi .....2
Şekil 1.2	Direkt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri ..... 3
Şekil 1.3	Vasitasız ekstrüzyon yöntemi..... 4
Şekil 1.4	Endirekt ekstrüzyon yönteminin prensibi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi..... 4
Şekil 1.5	Hidrostatik ekstrüzyon donatımı .....5
Şekil 1.6	Hidrostatik ekstrüzyon, kuvvet eğrisi ve malzeme akışı ..... 6
Şekil 1.7	CuZn39Pb3'ün sıcaklığa bağlı olarak işlenebilirlik karakteristikleri (kullanılan numune boyutları; çap 10 mm, uzunluk 50 mm) .....7
Şekil 1.8	Ekstrüzyondaki hız dağılımı a) Tipik akış, b) Arzu edilen akış ..... 11
Şekil 1.9	Metal akışı için sınıflandırma sistemi ..... 13
Şekil 1.10	Direkt ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı .....14
Şekil 1.11	Direkt ve endirekt ekstrüzyonunda blok yüzeyinin şekil değiştirmesi ..... 15
Şekil 1.12	A <sub>1</sub> ve B <sub>1</sub> akış tiplerinin eklenmesiyle tanımlanan sınıflandırma sistemi..... 21
Şekil 1.13	Kenar bölgenin akış bölgesini gösteren tanımlanmış sınıflandırma sistemi..... 22
Şekil 1.14	Birleştirme odalı takımlarla imal edilmiş içi boş bir alüminyum profilde mümkün olan kaynak yerlerinin konumu ..... 24
Şekil 1.15	Ekstrüzyon takımları ve montaj durumları ..... 26
Şekil 1.16	Matris dizaynı ..... 27
Şekil 1.17	Düz ve konik matris .....28
Şekil 1.18	Matris tipleri ..... 29
Şekil 1.19	Farklı açılı matrisler için ölü metal bölgeleri ..... 29
Şekil 1.20	Farklı matrisler için ana deformasyon bölgesinin geometrisi ..... 30
Şekil 1.21	Farklı açılı matrisler vasıtasıyla R= 6,25 ekstrüzyon oranıyla 450 °C' de ekstrüzyon edilen Al 1050 alaşımının metal akışı: a) 60 °C, b) 90 °C, c) 105 °C ..... 31
Şekil 1.22	Farklı açılı matrisler vasıtasıyla, 450 °C' de ekstrüzyon edilen Al 1050 alaşımının mikro yapısı: a) 60°, b) 90°, c) 105° ..... 32
Şekil 1.23	Üç parçadan oluşan ön odalı matris ..... 33
Şekil 1.24	Köprülü matrisler ..... 33
Şekil 1.25	İki parçalı spider matris: a) matris alt parçası, b) matris üst parçası, c) matris alın yüzeyi, d) A-A kesiti, e) matris kanal uzunlukları, f)matris boşluğunun kesiti, g)profil kesiti .....34
Şekil 1.26	Odalı matris: a) çok parçalı ve çok delikli odalı matris, b) odalı matris.....35
Şekil 1.27	Odalı matrisin şematik görünümü .....36
Şekil 1.28	Sürekli ekstrüzyonun iki yöntemi: a) birleşme odalı matris, b) normal matris..... 37
Şekil 2.1	İç boşluklara sahip bir kesitin ekstrüzyonundaki ardışık adımlar: portlara giriş, b) kaynama odalarının dolması, c) iç boşluklar arasındaki bölgenin doldurulması, d) şeklin ekstrüzyonu ..... 40
Şekil 2.2	Porthol matris içerisinde laminer akış ve taralı kısım olarak görülen ölü metal bölgeleri ..... 40
Şekil 2.3	Alın kaynağı: a) yeni bloğun basılması, b) alın kaynağının ilerlemesi.....41
Şekil 2.4	Beş portlu bir porthol matris vasıtasıyla ekstrüzyon edilen profildeki alın kaynaklarının yeri ..... 42

Şekil 2.5	Kalıp durma izine göre alın kaynaklarının yeri .....	43
Şekil 2.6	Dikiş kaynaklarına yaklaşan alın kaynakları. a) delikli kesitin bir kenarı, b-e) daire içindeki kaynağın kalıp durma izinden 1, 1,5, 2 ve 2,5 m sonraki hali .....	43
Şekil 2.7	Matris ceplerinden veya portlarından ekstrüzyon kalıntısının kesilmesi yöntemleri: a) itici, b) ince ara iş, c) ara iş içinden kesme .....	44
Şekil 2.8	Katı hal yapışması .....	45
Şekil 2.9	Lifli iç bölgeler ve bünyesi oluşmamış çevre tabakaları: a) ayrı ayrı ekstrüzyon edildiklerinde, b) içi boş bir kesit olarak ekstrüzyon edildiklerinde .....	46
Şekil 2.10	Ekstrüzyon kaynağı içeren kenar boyunca kesit: a) dikiş kaynağı boyunca ağır bir şekilde işlenmiş çevresel bölge, b) çevre bölgelerden ve kaynak bölgelerinden başlayan yeniden kristalleşme .....	47
Şekil 2.11	Ekstrüzyon kaynağına paralel tane sınırları boyunca kırılma .....	47
Şekil 2.12	Bükülme yorulması testinde, profilin duvarlarındaki alın kaynağı boyunca nihai kopma .....	48
Şekil 2.13	Alın kaynaklarının oluşumu: a) kalıntının alıcıda bırakılmasıyla, kaynama odalı bir matriste, c) İçi boş bir profilin ekstrüzyonu için matris girişlerinde .....	49
Şekil 2.14	Şekil 2.13a'deki gibi önceki blok kalıntısı ile yeni blok arasında kaynayan yüzeyin büzülme ve genişlemesi .....	50
Şekil 2.15	Şekil 2.13b'deki gibi kaynama odasında kalan malzeme ile yeni blok arasında kaynayan yüzeyin büzülmesi ve genişlemesi .....	50
Şekil 2.16	Makroskobik büzülme bölgesinde alın kaynağının dolambaçlı şekli, büyütme; X100.....	51
Şekil 2.17	Kaynayan yüzeydeki alın kaynağı boyunca nihai çekme dayanımı ve çatlak yayılma enerjisinin, alın kaynağının tepesinden olan uzaklığa göre grafiği, bilgiler Şekil 2a'ya göredir .....	52
Şekil 2.18	Kalıp durma izinden uzaklığa göre ekstrüzyon kaynağı boyunca özelliklerin değişimi .....	53
Şekil 2.19	Alın kaynaklarının uçları boyunca özellikler .....	53
Şekil 2.20	Değiştirilebilir köprü ve kaynama odalarıyla, bir I kirişi için ekstrüzyon matrisi .....	54
Şekil 2.21	Kaynama odalarındaki metal akış tipleri: a) çok küçük oda, eksik dolun, küçük oda, köprü altında boşluk, c) büyük oda, köprü altında ölü metal bölgesi .....	55
Şekil 2.22	Geniş bir kaynama odasından çıkan malzemenin kesiti, X5 büyütme ile ölü metal bölgesinin oluşumu görülmektedir.....	55
Şekil 2.23	Ortasında dikiş kaynağına sahip düz bir kesit için köprülü matris.....	56
Şekil 2.24	AlZnMg alaşımından kesitlerden, kopmuş enine çekme numuneleri: a) dikiş kaynaklı, b) dikiş kaynaklı, lifli yapıya geçiş görülmekte.....	56
Şekil 2.25	Ekstrüzyon basıncının bir fonksiyonu olan mekanik özellikler.....	59
Şekil 2.26	Tavsiye edilen kaynama odası boyutları .....	60
Şekil 2.27	a-b) İç gözler arasındaki boşluk, çok düşük ve çok yakın, c) Krişin tam olarak dolmaması .....	60
Şekil 2.28	a-b) Şekil 2.27'e göre gözler arasındaki boşluklar, c) zayıf dikiş kaynaklarında meydana gelen kırılma .....	61
Şekil 2.29	a-b) Gözler arasındaki anahtar deliği şeklinde boşluk, c) mandrel altındaki ölü metal bölgesi, d) dikiş kaynağının dışındaki kırılma .....	62
Şekil 2.30	a) dolu kiriş, b) incelmış kiriş, c) yırtılmış kiriş.....	62
Şekil 2.31	Bir dış halka, dil (tongue) ve bir alt diskten oluşan modüler matris.....	63

Şekil 2.32	Kaynama odalarındaki metal akımlarının kaldırılmasıyla yapılan inceleme: a-b) köprünün arkasında meydana gelen tam dolun, c-d) köprünün arkasında meydana gelen gaz cebi.....	64
Şekil 2.33	Kaynaklanmamış şeritler olarak tanımlanan kaynak kusurunun oluşum mekanizması: a) Kaynama için elverişli olan düz yüz, b) yivli yüz, c) yivlerin neden olduğu birleşme kusuru.....	65
Şekil 34	Yüzey kusurları: a) kalıp durma izi, b) kırışteki depresyon, c) kaynak dikişindeki hücrelenme (recession), d) dikişteki enine çatlama, d' de görülen çatlamanın büyütülmüş hali, f) dikişte toplanan metal parçaları.....	66
Şekil 2.35	Ön adalı matris kesiti.....	66
Şekil 2.36	Sonsuz boyda profil üretimi için standart ön odalı matris.....	67
Şekil 2.37	Expansion ön odalı matris.....	67
Şekil 2.38	Kaynak sıcaklığının bir fonksiyonu olan kaynaklı numunelerin nihai çekme dayanımı değerleri .....	68
Şekil 2.39	Kaynak sıcaklığının bir fonksiyonu olan kaynaklı numunelerdeki uzama değerleri.....	70
Şekil 2.40	Çeşitli bloklardan portun altında kalan malzeme tabakaları.....	71
Şekil 2.41	Boruların ekstrüzyonunda köprülü matris içerisindeki gerilme dağılımı....	72
Şekil 2.42	Istampa yolunun bir fonksiyonu olan ekstrüzyon kuvveti.....	75
Şekil 2.43	Yapılmış olan deneylerdeki delik kesitlerin ekstrüzyonunda blok uzunluğunun bir fonksiyonu olan ekstrüzyon basıncı diyagramları .....	78
Şekil 2.44	İnce et kalınlıklı (a) ve kalın et kalınlıklı (b) delikli kesitlerin ekstrüzyonu için kaynama odasının biçimi.....	79
Şekil 3.1	1 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme.....	83
Şekil 3.2	2 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme.....	83
Şekil 3.3	3 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme.....	84
Şekil 3.4	4 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme.....	84
Şekil 3.5	5 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme.....	84
Şekil 3.6	1 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.....	86
Şekil 3.7	2 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.....	86
Şekil 3.8	3 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma. ....	87
Şekil 3.9	4 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.....	87
Şekil 3.10	5 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.....	88

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1	Çeşitli alaşımların burulma deneyinde elde edilen şekil değiştirme özellikleri..... 8
Çizelge 1.2	İşlenebilirlik ile ekstrüzyon edilebilirlik arasındaki ilişki..... 8
Çizelge 1.3	Malzeme akışını etkileyen faktörler..... 12
Çizelge 1.4	Alüminyum ve alaşımlarının homojenleştirme sıcaklıkları ve ekstrüzyonu için belirli değerler..... 18
Çizelge 1.5	Alüminyum ve alaşımlarının bağıl ekstrüzyon edilebilirlik değerleri..... 20
Çizelge 1.6	Özel matrislerle boruların ve içi boş profillerin imalatı için sıcak ekstrüzyonda kullanılan alüminyum alaşımlarının kaynama özellikleri..... 26
Çizelge 2.1	Bir köprülü matrisle ekstrüzyon edilen kesitlerin enine özelliklerinde, dikiş kaynağının etkisi..... 57
Çizelge 3.1	Birinci grup numuneler için deney şartları..... 82
Çizelge 3.2	İkinci grup numuneler için deney şartları..... 82
Çizelge 3.3	İkinci gruptaki numunelere uygulanan çekme testi sırasında meydana gelen değerler..... 88





## ÖNSÖZ

**Bu çalışmada, ekstrüzyon kaynaklarının incelenmesi, teorik ve deneysel olarak yapılmıştır. Gerek teorik gerek deneysel çalışmalarım sırasında, göstermiş oldukları ilgi, anlayış ve yardımlarından dolayı danışman hocam Sn. Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ'e teşekkürlerimi borç bilirim.**

**Deneyler için ekstrüzyon profillerinin elde edilmesinde buldukları fedakarlıktan dolayı ON – AT Ekstrüzyon firması yetkilileri Sn. Dr. Tanju ÇELİKEL'e ve Sn. Mak. Müh. Orhan ÇELİKEL'e; numunelerdeki mikro yapı incelemeleri ve çekme testleri için yapılan deneyler esnasında önemli katkılarda bulunan Malzeme ve Metalurji Mühendisliği bölümünün değerli hocalarına ve teknisyenlerine; ayrıca, hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu aşamasında da manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.**



## **ÖZET**

**Alüminyum ve alaşımlarının birçok özelliklerinden dolayı, uygulama alanı ve buna bağlı olarak şekillendirme yöntemleri, günümüzde hızla artmıştır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri de ekstrüzyon yöntemidir. Ekstrüzyon yöntemiyle dolu ve içi boş profiller üretilmektedir.**

**Alüminyum alaşımlarından içi boş profillerin ekstrüzyonunda dikiş kaynağı, aynı bloktan gelen metalin laminer akımları arasında meydana gelir. Alın kaynağı ise, artarda ekstrüzyon edilen bloklar arasında meydana gelmektedir. Ekstrüzyon kaynakları diğer birleştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, kalite, dizayn esnekliği, ağırlık ve maliyet yönünden daha avantajlıdır. Bir profildeki ekstrüzyon kaynak bölgelerinin metalurjik ve mekanik özellikleri, ana profil malzemesinin bu özelliklerinden farklı olabilmektedir. Alın ve dikiş kaynaklarına birçok işlem faktörleri etki etmektedir. Bu nedenle kaynakların oluşum mekanizmasının, kaynak yerlerinin metalurjik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi gerekir.**

**Teorik ve deneysel olarak yaptığımız bu çalışmada, sürekli ekstrüzyonda alın kaynağı ve dikiş kaynağının oluşum mekanizmaları, etkileyen faktörler ve etkileyiş yönleri araştırılmıştır.**

**Anahtar kelimeler: Alüminyum alaşımları, sürekli ekstrüzyon, ekstrüzyon kaynakları, alın kaynağı, dikiş kaynağı.**

## **ABSTRACT**

**Application area and shaping methods due to many of properties of aluminum and its alloys have been increased rapidly today. The one of the most important of these methods is extrusion method. Solid and hollow profiles have been manufacturing by extrusion method.**

**Seam weld occurs between the laminar streams of metal that occurred the same billet in the extrusion of hollow profile of aluminum alloys. However transverse weld occurs between the billets that are consecutively extruded. When the extrusion welds are compared with the other joint methods, they are more advantageous from the view points quality, design flexibility, mass and cost. The metallurgical and mechanical properties of extrusion weld zone in a profile may have been different from main material's. Many process factors have been effect to transverse and seam welds. For this reason, the formation mechanism of the welds, the metallurgical and mechanical properties of the weld zone should be detected.**

**In this theoretical and experimental study, the formation mechanisms of transverse and seam weld, effecting factors and the way how they effected in the continuous extrusion are investigated.**

**Keywords: Aluminum alloys, continuous extrusion, extrusion welds, transverse weld, seam weld.**

## 1. GİRİŞ

Ekstrüzyon yöntemi; çubuk, profil, boru, tel ve kalın cidarlı profillerin biçimlendirilmesinde kullanılan önemli bir plastik şekil verme yöntemidir (Sönmez, 1989). Ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen yarı mamüllerin kullanım alanı gün geçtikçe genişlemektedir. Ekstrüzyon yönteminde en çok kullanılan malzemelerden biri de alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının hafif olması, korozyon direncinin yüksek olması ve beyaz renklerinden dolayı, inşaat, otomotiv ve uçak sanayi başta olmak üzere, çok sayıda farklı sektörde kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarından blokların ekstrüzyon edilmesiyle elde edilen içi boş profillerde dikiş kaynakları ve blokların art arda sürekli ekstrüzyon edilmesiyle de alın kaynakları oluşmaktadır. Bu kaynakların; metalurjik ve mekanik özellikler olarak, ana profil malzemesinin özelliklerine eşit veya yakın olması gerekir. Kaynak bölgelerinin ideal özellikleri, malzemenin kaynama kabiliyetine ve çok sayıda işlem parametrelerine bağlıdır. Yapılan bu çalışmanın amacı da; ekstrüzyondaki kaynama olayını incelemek ve kaynamaya etki eden faktörleri araştırmaktır.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın birinci bölümünde; ekstrüzyon yöntemleri, ekstrüzyon malzemeleri, malzeme akışı ve ekstrüzyon matrisleri incelenmiştir. Bununla birlikte, ekstrüzyonda en çok kullanılan alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonu da birinci bölümde incelenmiştir.

İkinci bölümde, ekstrüzyon kaynakları tanımlanıp, bu kaynakların oluşum mekanizmalarını etkileyen faktörler ve etkileyiş yönleri araştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında, ekstrüzyon kaynaklarının mekanik ve metalurjik özellikleri incelenmiştir. Bununla birlikte, kaynama odası boyutlarının ve kaynama odasında meydana gelen basınç ve sıcaklığın, matris dizaynının ve ekstrüzyon esnasındaki işlem temizliğinin önemi belirtilmiştir.

Üçüncü bölüm, deneysel çalışmaya ayrılmıştır. Deneysel çalışma için öncelikle bir firma belirlendi. Bu firmada belirli ekstrüzyon şartlarında elde edilen profillerden hazırlanan numuneler, çekme testine tabi tutuldu ve Taramalı Elektron Mikroskobunda mikro yapıları incelendi. Ayrıca, bu firmadan alınmış, kaynaklı bölgelerden kopmuş numunelerdeki kaynak bölgesi ve ana malzemedeki mikro yapılar incelenmiştir.

Dördüncü bölüm, teorik ve deneysel olarak yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçları içermektedir.

## 1.1 Ekstrüzyon Yöntemleri

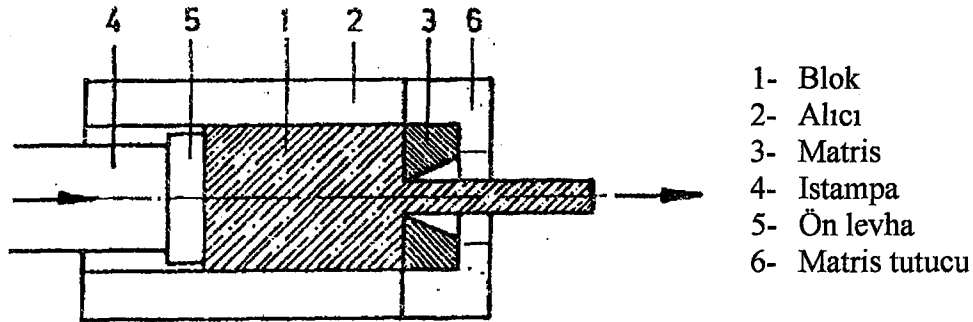
Ekstrüzyon yöntemlerini, zorlama ve malzeme akış yönüne, matrisin hareketli veya sabit olmasına ve kuvvet iletim tarzına göre üç'e ayırabiliriz.

1. Direkt Ekstrüzyon
2. Endirekt Ekstrüzyon
3. Hidrostatik Ekstrüzyon

Yöntemin ilk uygulaması olan direkt ekstrüzyondan itibaren üretkenliği arttırmak için ekstrüzyon kuvveti, malzeme akışı, takım tasarımı, ekstrüzyon malzemesi, profil kalitesi gibi faktörler üzerinde yapılan araştırmalarla diğer ekstrüzyon yöntemleri geliştirilmiştir (Sönmez, 1989; Arabacı, 1996).

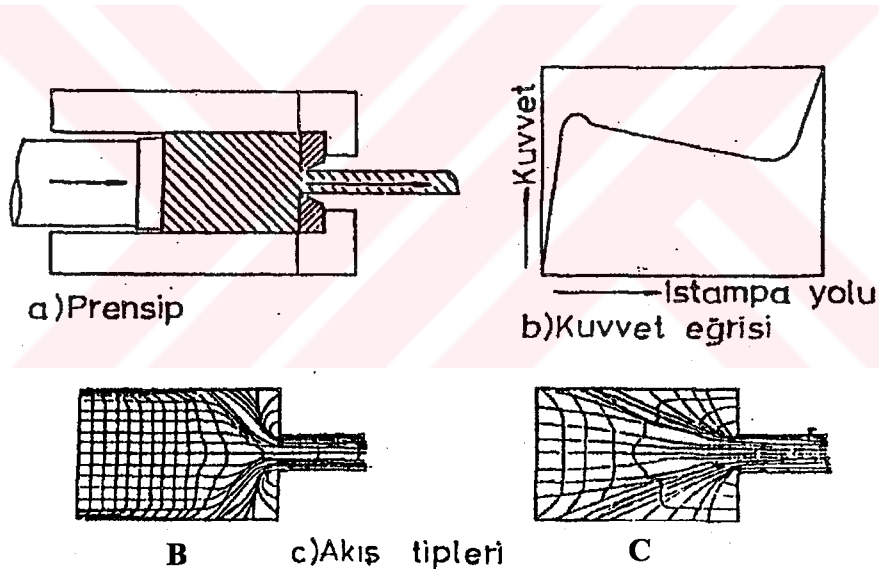
### 1.1.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

Direkt ekstrüzyon yönteminde, alıcı içerisindeki blok ıstampa tarafından itilerek, diğer uçtaki matris deliğinden geçirilir (Şekil 1.1). Malzeme akışı ve zorlama yönü aynıdır. Matris sabittir, ıstampa ve blok alıcıya göre bağıl hareket yaparlar. Bu bağıl hareketten dolayı alıcı ile blok arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünme kuvveti, bloğun matrise doğru hareket etmesini önlemeye çalışır, gerekli ekstrüzyon kuvvetini ve ekstrüzyon artığını artırır. Bununla birlikte, blok ile alıcı arasındaki sürtünmeden dolayı blok çevresinin yavaş, blok merkezinin hızlı hareket etmesiyle blok sonunda huni şeklinde bir boşluk meydana gelmektedir. Büyük ekstrüzyon kuvveti uygulandı blok tamamı ekstrüzyon edilse dahi, yarı mamülün sonu hatalı olmaktadır. Bu nedenle direkt ekstrüzyon yönteminde bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmalıdır (yaklaşık olarak bloğun %30'u kadar).



Şekil 1.1 Direkt ekstrüzyon yöntemi (Sönmez, 1989).

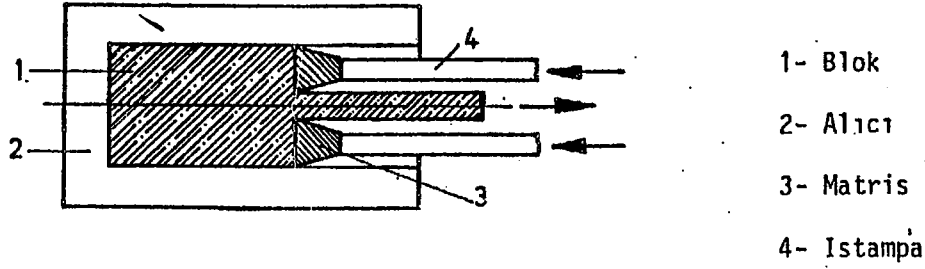
Sürtünme, ekstrüzyon kuvvetini arttırdığı gibi, düzensiz bir malzeme akışına da neden olmaktadır. Sürtünme düşük olduğunda B tipi akış, yüksek olduğunda C tipi akış oluşmaktadır. Sürtünmenin bu etkisi, ekstrüzyon profilinin uzunluğu boyunca özelliklerinin değişmesine ve bazı hatalara neden olmaktadır. Şekil 1.2’de direkt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri toplu olarak görülmektedir. Direkt ekstrüzyon yöntemi dezavantajlarına rağmen, takım düzenlemesinin basit olması ve işletme yönünden kolay olmasından dolayı çok tercih edilen bir yöntemdir. Çeşitli uzunluk, çap, kalınlığa sahip; çeşitli içi boş ve dolu profiller kolaylıkla elde edilir. Bu yöntemde matris çapı, alıcı tarafından sınırlandırılmamaktadır. Ancak bu avantajlara karşılık; takım ömrü, endirekt ekstrüzyona göre daha sınırlıdır. Gerekli ekstrüzyon kuvveti endirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerindeki kadar değildir. Blok ve alıcı arasındaki sürtünmelerden dolayı uzun blokların kullanılmasının önlenmesi, ekstrüzyon artığının fazla olması, malzeme akışının endirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerindeki kadar düzensiz olması, direkt ekstrüzyon yönteminin diğer dezavantajlarından (Derinöz, 1984; Sönmez, 1989).



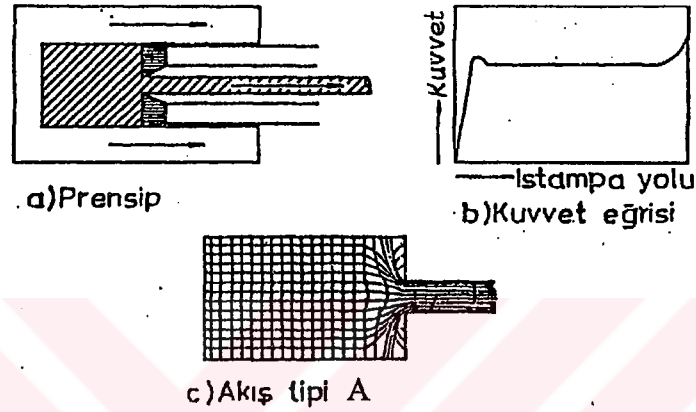
Şekil 1.2 Direkt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri (Sönmez, 1989).

### 1.1.2 Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi

Bu ekstrüzyon yönteminde matris, içi boş bir ıstampanın ucuna monte edilir ve birlikte hareket eder (Şekil 1.3). Matris hareketli blok sabit olduğundan ıstampa alıcıya göre bağlı hareket yaparken, blok ile alıcı arasında bağlı hareket yoktur. Malzeme akışı ile malzeme yönü tam zıttır.



Şekil 1.3 Endirekt ekstrüzyon yöntemi (Sönmez, 1989).



Şekil 1.4 Endirekt ekstrüzyon yönteminin prensibi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi (Sönmez,1989).

Bu yöntem ile ekstrüzyonda, blok yüzeyi ile alıcı cidarı arasında sürtünme oluşmadığından ekstrüzyon artığı azalmaktadır. Akış tipi, direkt ekstrüzyon yönteminden daha farklı olmaktadır (A tipi akış). Şekil 1.4'te endirekt ekstrüzyon yönteminin prensibi, kuvvet eğrisi ve akış tipi görülmektedir.

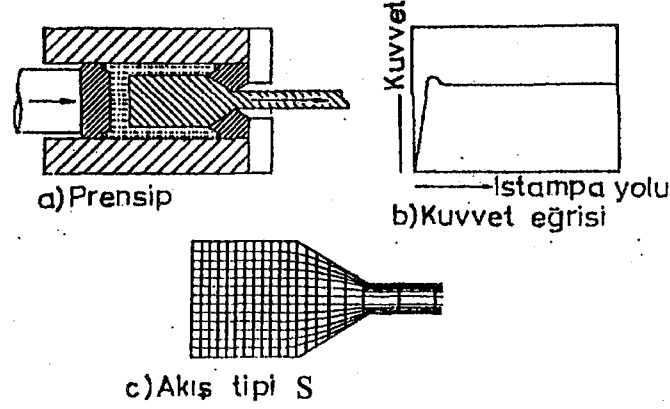
Endirekt ekstrüzyon yönteminde; malzeme artığı azalmakta (%5-10), daha yüksek ekstrüzyon hızlarında çalışılabilmekte ve blok sıcaklıkları daha düşük tutulabilmektedir. Ancak, matris çapının alıcı çapı ile sınırlandırılması, karmaşık şekilli parçaların ekstrüzyonuna elverişli olmaması, takımların düzenlenmesinin zor olması yöntemin dezavantajlarıdır (Sönmez, 1989).

### 1.1.3 Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi

Bu yöntem, bloğun alıcıdan ıstampa kuvvetinin etkisiyle değil, basınç ortamıyla geçirildiği bir yöntemdir (Şekil 1.5). Bu yöntemde blok yüksek basınç akışkanıyla çevrilmiştir ve akışkanın basıncıyla ekstrüzyon edilmektedir.







Şekil 1.6 Hidrostatik ekstrüzyon, kuvvet eğrisi ve malzeme akışı (Sönmez 1989).

Ekstrüzyon edilebilen malzemeler büyük farklılıklar gösterir. Bunlardan bazılarının ekstrüzyon edilmeye karşı eğilimleri fazla olmakla beraber, ekstrüzyon işlemi sırasında birtakım güçlükler doğururlar. Bazı metaller ise, değişik sıcaklık derecelerinde daha fazla güçlükler çıkarırlar ve özel teknik ve donatım gerektirirler. Bu farklılıklara sebep olarak; metallerin sertlikleri, ekstrüzyon esnasındaki sıcaklık derecesi, ekstrüzyon hızı vs. gösterilebilir (Sönmez, 1989).

### 1.2.1 Metal ve Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği

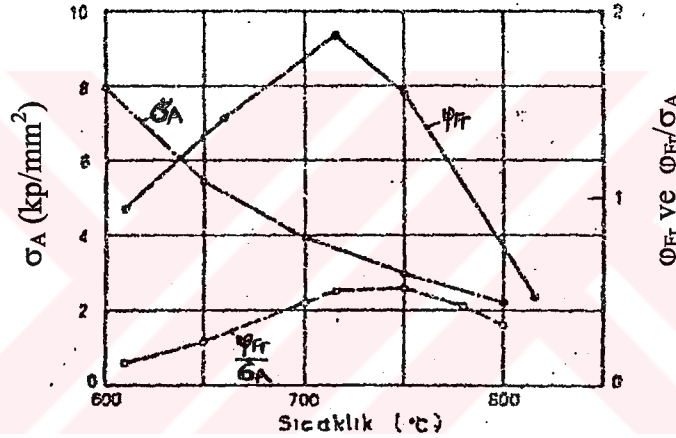
Şekil değiştirme ve ekstrüzyon edilebilme, ekstrüzyon malzemesine ve şekil değiştirme şartlarına bağlı karışık parametrelerdir. Şekil değiştirme kavramı, bir malzemenin hangi kolaylıkta ve düzgünlükte şekil değiştirebildiğine işaret eder. Bir malzemenin kolay şekil değiştirebilmesi, verilen şartlarda geçerli olan şekil değiştirme mukavemeti (akma gerilmesi)  $\sigma_A$ 'ya bağlıdır ve şekil değiştirebilirlik ise, şekil değiştirebilme kabiliyeti  $\varphi_{Fr}$ ' ile orantılıdır. Buna göre şekil değiştirebilirlik şöyle ifade edilebilir;

$$W = \frac{\varphi_{Fr}}{\sigma_A} \quad (1.1)$$

Şekil değiştirme parametreleri  $\varphi_{Fr}$  ve  $\sigma_A$ 'yı ekstrüzyon işlemi sırasında tayin etmek çok zordur ve bu işlenebilirlik ( $W$ ), genellikle laboratuvar şartlarında belirlenir. Bulunan sonuçlar, ekstrüzyon denemelerinin yerini alamaz, ancak, bu denemeleri tanımlayabilir.  $\varphi_{Fr}$  ve  $\sigma_A$ 'nın ölçülmesi için, sıcak şekil değiştirmede, burulma deneyi en uygun deneydir.

$\sigma_A$ , zorlamanın çeşidinden yani şekil değiştirme yönteminden hemen hemen bağımsız olduğundan, şekil değiştirme kabiliyeti şekil değiştirme esnasında etkili olan gerilme durumuna bağlıdır. Bu nedenle, burulma deneyinde ölçülen kırılma şekil değiştirmesi, ekstrüzyon için geçerli olacak şekil değiştirme kabiliyetine uygun değerler vermediği için ölçülen değerde düzeltme yapılmalıdır. Böylece ekstrüzyon değerine uygun  $\phi_{Fr}$  değerleri elde edilir.

Niceliksel çeviri ilişkileri mevcut olmadığı için, burulma testinde ölçülen şekil değiştirebilirlik; farklı metalleri, farklı malzeme koşullarını ve deformasyon koşullarını karşılamak için kullanılabilir. Bu tür bir karşılaştırma Şekil 1.7'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Burada CuZn39Pb3 için şekil değiştirme mukavemeti (akma gerilmesi), şekil değiştirme kabiliyetinin ve şekil değiştirebilirliğin değişimi sıcaklığa bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.7 CuZn39Pb3'ün sıcaklığa bağlı olarak işlenebilirlik karakteristikleri (kullanılan numune boyutları; çap 10 mm, uzunluk 50 mm) (Sönmez, 1989).

Diyagramda da görüldüğü gibi en iyi şekil değiştirebilirlik, 740 °C civarında iken maksimum yumuşaklık 715 °C'dedir. Bu şartlar altında, hangi şekil değiştirme sıcaklığının optimal olduğunun tespiti için, seçilen ekstrüzyon şartlarında malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti sınırına ve ekstrüzyon presinin kapasitesine bağlıdır. Şekil değiştirme kabiliyeti düşük olan malzemeler, burulma deneyi sırasında kırılma öncesi çatlaklar gösterirler. Çizelge 1.1'de çeşitli ekstrüzyon malzemelerinde sıcak burulma deneyi ile elde edilen şekil değiştirme özellikleri bir arada verilmiştir.

İşlenebilirlik ( $\phi_{Fr}/\sigma_A$ ), ekstrüzyon edilebilirlikte göreceli bir değer verir. İşlenebilirlik ile ekstrüzyon edilebilirlik arasındaki bağıntı tam olarak güvenilir değildir (Çizelge 1.2). Dolayısıyla gerçeği yansıtmaz. Buna rağmen bu sınıflandırma işe yarayabilir.

Çizelge 1.1 Çeşitli alaşımların burulma deneyinde elde edilen şekil değiştirme özellikleri (Sönmez, 1989).

Malzeme	Şekil değiştirme sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	( $\text{kp}/\text{mm}^2$ ) $\phi=6 \text{ s}^{-1}$ $\sigma_A$	$N_{Fr}$	$\phi_{Fr}$	$\phi_{Fr}/\sigma_A$
CuZn39Hb3(Ms58)	700	4,0	5,5	1,7	0,43
CuZn37(Ms63)	750	5,2	6,5	2,1	0,40
CuZn30(Ms70)	800	6,2	5,5	1,7	0,27
CuZn35Ni	800	3,0	15,5	4,9	1,64
CuNi18Zn20(Ns6218)	950	9,0	4,8	1,5	0,17
CuNi3Si	900	17,8	11,6	3,7	0,21
CuAl10F(AlBz10Fe)	800	5,2	25,0	7,9	1,52
X3CrNiMo1805	1100	12,5	9,0	2,8	0,22
X10CrNiMoTi1810	1150	17,3	9,0	2,8	0,16
X10NiCrAlTi3220	1150	17,8	19,0	6,0	0,34
CuNi10Fe	950	9,2	10,4	3,3	0,36
AlMgSi0,5	500	4,2	65,0	20,5	5,10
AlMgSi1	520	4,2	11,8	3,4	0,81
AlZnMg1	500	6,0	6,8	1,9	0,32
AlMg3	500	8,2	5,0	1,7	0,21
AlMg1	450	7,0	52,0	16,4	2,34
AlCuMgPb	380	12,9	1,2	0,6	0,04
AlSi5	460	5,0	13,3	6,6	1,32
$N_{Fr} : \text{Devir}$		$\phi_{Fr} = R \cdot \pi \cdot N_{Fr} / L$	$R = 5 \text{ mm}$	$L = 50 \text{ mm}$	

Çizelge 1.2 İşlenebilirlik ile ekstrüzyon edilebilirlik arasındaki ilişki (Sönmez, 1989).

$\phi_{Fr}/\sigma_A$ ( $\text{kp}/\text{mm}^2$ )	Ekstrüzyon edilebilirlik
< 0,2	Zayıf
0,2 – 0,4	Orta
0,4 – 1,5	İyi
> 1,5	Çok iyi

Bir çok alüminyum ve alüminyum alaşımlarının, nikel alaşımlarının ve yüksek dayanımlı çeliklerin de içinde bulunduğu bir çok malzemenin ekstrüzyon edilebilirliği çok dar sınırlar arasındadır. Ekstrüzyon edilebilirlik, aşağıda belirtilen bir çok parametreye bağlı olarak değerlendirilebilir (Sönmez, 1989).

- a) Şekil değıştirebilirlik, ( $\phi_{Fr}/\sigma_A$ )
- b) Ekstrüzyon sıcaklığı
- c) Çalışma sıcaklığı aralığı
- d) Kuvvet ihtiyacı ve özgül basınç
- e) Sabit ekstrüzyon kuvvetinde çıkış sıcaklığı
- f) Maksimum ekstrüzyon hızı
- g) Maksimum ekstrüzyon oranı

### 1.2.2 Kurşun ve Kalay Ekstrüzyonu

Oda sıcaklığı ile 300 °C arasında ekstrüzyon edilebilen malzeme grubunu oluştururlar. Bu grup sadece kurşun ve kalay veya bu iki elementin birbiriyle olan alaşımlarını veya bu elementlerin en önemlileri antimon, bakır, gümüş ve kadmiyum olan elementlerle olan alaşımları içerir. Bu ekstrüzyon malzemeleri genel olarak borular, yumuşak lehim telleri ve kablo kaplamalarında kullanılır (Sönmez, 1989).

### 1.2.3 Magnezyum Ekstrüzyonu

Magnezyum alaşımlarının özellikleri, alüminyum alaşımlarının özelliklerine benzemektedir. Yoğunlukları ile mukavemet değerleri arasında çok uygun bir değer vardır. Bu özelliklerinden dolayı havacılıkta, uzay ve reaktör teknolojisinde kullanılmaktadırlar.

Bu alaşımlar, hegzagonal kristal yapısına sahip olduklarından alüminyumdan daha zor şekil değıştirme derecesine sahiptirler. Bloğun homojenleştirilmesi, şekil değıştirme dayanımını düşürür fakat, ekstrüzyon işleminden önce uzun süre tavllanması Mg<sub>4</sub>Al<sub>3</sub> fazı gibi heterojen bileşenlerin çözünmesi ve bu sayede iyi bir ekstrüzyon edilebilirliğinin sağlanması için gereklidir (Sönmez, 1989).

### 1.2.4 Bakır Ekstrüzyonu

Bakır ve alaşımları, ekstrüzyon sıcaklığı 600 – 1000 °C arasında olan gruptadırlar. Ekstrüzyonda kullanılan bakır ve alaşımları; bakır - çinko alaşımları (prinç, özel prinç), bakır-

kalay alaşımları (kalay bronz), bakır - alüminyum alaşımları (alüminyum bronz), bakır - nikel alaşımları ve bakır - nikel - çinko alaşımlarıdır (Sönmez, 1989).

### 1.2.5 Titanyum Ekstrüzyonu

Titanyum yüksek ergime sıcaklığına sahiptir (1668 °C) ve 822 °C' nin altında hekzagonal ( $\alpha$ ) yapısına ve bu sıcaklığın üzerinde kübik hacim merkezli ( $\beta$ ) 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 artırıcı olarak alüminyum ve vanadyum, krom, mangan, molibden ve bakır içerirler.

### 1.2.6 Zirkonyum Ekstrüzyonu

Korozyon dayanımının ve sıcak dayanımlarının yüksek olması nedeniyle, nükleer reaktörlerde konstrüksiyon elemanı ve radyoaktif çubuklar için zarf malzemesi olarak kullanılırlar. Zirkonyumun ekstrüzyonu sırasında takımlara sıvanması önemli bir problemdir. Bunun için çok iyi bir yağlama yapmak gerekir. Aynı zamanda bloğa ekstrüzyondan önce bir gömlek geçirilmektedir. Dökülen bloklar çoğu durumda bakır ve prinçle kaplanır. Gömlek, gaz absorpsiyonunu önler (Sönmez, 1989; Özyürek, 1997).

### 1.2.7 Berilyum Ekstrüzyonu

Berilyum, yüksek ısı kapasitesi ve sıcaklığa dayanıklılığı yanında korozyon direncinde yüksek olması nedeniyle nükleer mühendislik ve uçak teknolojisinde kullanılmaktadır. Döküm yöntemi ile imal edilen blokta kaba tane oluşumu ve buna bağlı olan kırılma eğilimi, döküm tekniği açısından engellenememektedir. Bu nedenle berilyum bloklar sinter tekniğiyle hazırlanmaktadır. Ekstrüzyon blokları, toz malzemelerin soğuk sıkıştırılması ve koruyucu atmosferde sinterleme ile üretilmektedir (Sönmez, 1989).

### 1.2.8 Nikel Ekstrüzyonu

1000 °C'nin üzerinde ekstrüzyon edilen malzeme grubundadırlar. Nikel alaşımından yapılan yarı mamüllerin 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 yüksek ısıda iyi mukavemet özellikleri göstermesi bu metalin önemini arttırmıştır (Sönmez, 1989).

### 1.2.9 Çeliklerin Ekstrüzyonu

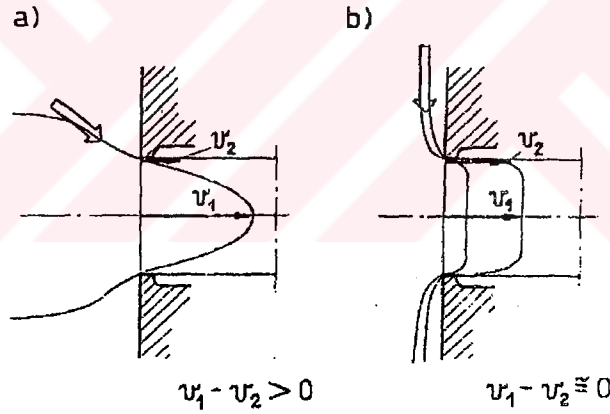
Çelik borular ve profiller genellikle St 37, St 42, ve St 52 karbon çeliklerinden imal edilmektedirler. Bununla birlikte az miktarlarda, gerekli olduğu durumlarda, kaliteli çelikler

(örneğin; paslanmaz ve asitlere dayanıklı çelikler), ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilebilmektedir.

Çelikler de nikel alaşımları gibi zor ekstrüzyon edilen malzemeler grubundadırlar. 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.

### 1.3 Ekstrüzyonda Malzeme Akışı

Ekstrüzyon işleminde, genellikle aralıklı bir çalışma yapılmakta, yani ilk bloğun ekstrüzyonundan sonra ikinci blok alıcıya yerleştirilmekte ve bundan dolayı alıcıda sıcaklık farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, blok ile alıcı, ön levha, matris yüzeyi ve kanalında sürtünme oluşmaktadır. Bu durumda, blok ön kısmında, blok 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 neden olmaktadır.



Şekil 1.8 Ekstrüzyondaki hız dağılımı: a) Tipik akış, b) Arzu edilen akış (Zasadzinski vd., 1996).

Sürtünmeler, blok merkezindeki malzemenin blok çevresindeki malzemeye göre daha hızlı akmasına neden olur. Bu durum, daha düzensiz bir malzeme akışına ve ölü bölgelerin artmasına neden olur. Mümkün olduğu kadar, bloğun merkezindeki malzeme akış hızı ile bloğun çevresindeki malzemenin akış hızı arasındaki farkı azaltmak gerekir. Hız farkları ne kadar azalır, malzeme akışı o kadar ideal akış tipine yaklaşır ve ölü bölgeler de azalır. Şekil 1.8'de tipik akış ve arzu edilen akış gösterilmiştir.

Ekstrüzyon işlemi esnasında malzemenin akışı, imalatın kalitesini çok büyük oranda etkilemektedir. Aynı zamanda ekstrüzyon kuvvetlerinin belirlenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Malzeme akışını birinci derecede, ekstrüzyon edilen malzemenin özellikleri olmak üzere çok sayıda işlem faktörü etkilemektedir. Çizelge 1.3'te malzeme akışını etkileyen faktörler verilmiştir.

Çizelge 1.3 Malzeme akışını etkileyen faktörler (Sönmez, 1989).

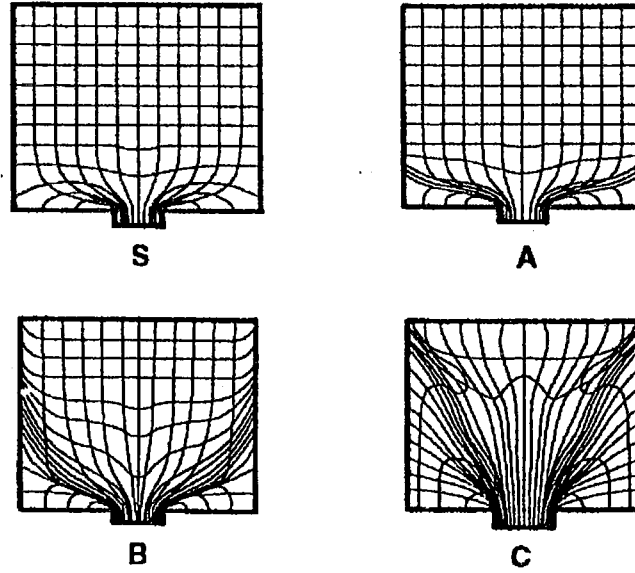
Faktörler	Olasılıklar
Yöntem	Direkt, endirekt, hidrostatik
Yağlama	Yağlamalı, yağlamasız
Sıcaklık	Soğuk, sıcak
Matris biçimi	Düz, konik, tek delikli, çok delikli
İş parçası	Plastiklik özelliği
Mamül biçimi	Çubuk, profil, boru, tel
Ekstrüzyon oranı	Küçük, büyük

Metal ekstrüzyonu, malzeme akışından dolayı çok karmaşık olabilir ve farklı metaller için oldukça değişebilir. Gözlemlenen farklı akış tiplerini tanımlayan bir sınıflandırma sistemi yapmak faydalıdır.

Blok ve alıcı / matris arasındaki sürtünme şartları değiştirilirse (örneğin, yağlama yapılmasıyla), spesifik bir metal alaşımı için bile, malzeme akışı oldukça değişebilir. Bununla birlikte, metal ekstrüzyonunda meydana gelen akış yapısıyla ilgili ekstrüzyon kusurları, farklı akış tiplerinin ilkesinde anlaşılabilir ve açıklanabilir (Valberg, 1996a).

### 1.3.1 Mevcut Sınıflandırma Sistemleri

Halen yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma sistemi, düz yüzlü matrisler vasıtasıyla yapılan ekstrüzyon işleminde oluşan sınıflandırma sistemidir. Bu sınıflandırma sistemi Şekil 1.9'da görüldüğü gibi S, A, B ve C olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılır. Mevcut akış tiplerinden S akış tipi, ideal akış tipini ve C akış tipi, istenmeyen akış tipini karakterize eder. (Pearson ve Parking, 1960; Laue ve Stenger, 1981; Sönmez, 1989; Valberg, 1996a).



Şekil 1.9 Metal akışı için sınıflandırma sistemi (Valberg, 1996a).

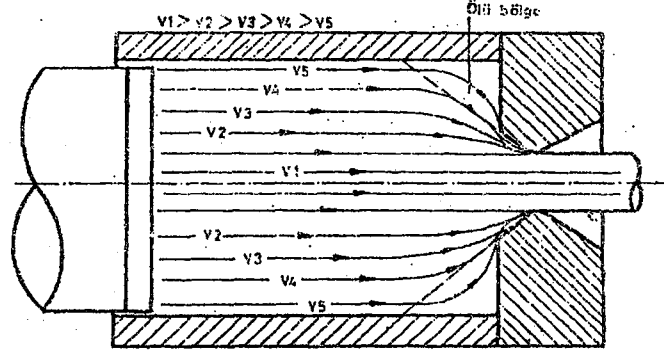
Eğer spesifik bir metal yağlanmamış durumda B tipi akış ile uyumlu akarsa ve blok ile matris arasındaki sürtünme yağlarının girişiyle kademeli olarak düşük bir değere indirilirse; B→A→S doğrultusunda metal akışı için sürekli bir değişiklik bu malzeme için meydana gelebilir (Valberg, 1996a).

#### 1.3.1.1 S Tipi Malzeme Akışı

Bloğun üniform olarak aktığı durumlarda yapısal olarak S akış tipi meydana gelir. Blok ile alıcı arasında ve blok ile matris arasında sürtünme değeri çok küçüktür (Valberg, 1996a). Bloğun plastik akışı, matrise çok yakın bir şekil değiştirme bölgesinde olmakta ve bloğun ekstrüzyon edilmeyen kısmı, biçim değiştirmeden matris yönünde hareket etmektedir. Bloğun ön kısımları, tabaka tabaka şekil değiştirme bölgesine girmektedir. Bu akış tipi sürtünmenin olmadığı homojen malzemelerde meydana gelmektedir. Sürtünme olmadığından dolayı, bloğun çevresi frenlenmeden kolayca hareket etmektedir. Etkili bir yağlama yapılmasıyla sürtünme yok edilebilir, örneğin; hidrostatik ekstrüzyon, cam yağlamalı ekstrüzyon ve endirekt ekstrüzyonda matrisin yağlanması. Ancak, bu yüksek yağlama etkisine rağmen bloğun merkezi bloğun çevresine göre daha hızlı akmaktadır. Şekil 1.10'da görüldüğü gibi, küçüğe olsa ölü bölge oluşmasından dolayı, malzemede sapmalar meydana gelir. Blok merkezinin kat ettiği yol daha kısa ve merkezden uzaklaştıkça daha uzun olmaktadır. Akış hızı, merkezden çevreye doğru küçülmektedir. İdeal bir yağlama ile, merkez ile çevre



arasındaki hız farkı minimuma indirilebilir. Çeşitli araştırmacılar, plastilin ve bal mumu malzemelerin ideal yağlama ile ekstrüzyonunda S tipi akışı elde etmişlerdir (Sönmez, 1989).



Şekil 1.10 Direkt ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı (Sönmez, 1989).

### 1.3.1.2 A Tipi Malzeme Akışı

A tipi akış, matris ile blok ara yüzeyinde sürtünme varken, fakat alıcı ile blok arasında tam bir kayma olduğu durumlarda homojen malzemelerde meydana gelir (Valberg, 1996a). Bu tip akışta, kenar bölgelerin matris deliği doğrultusundaki radyal akışı engellenir ve bunun sonucu olarak daha büyük kayma gerilmesi ortaya çıkabilir. Böylece S tipi akışa göre daha büyük bir ölü bölge ve genişlemiş bir biçim bölgesi oluşur. Bloğun merkezinde biçim değiştirme düzgün olarak meydana gelir (Sönmez, 1989).

### 1.3.1.3 B Tipi Malzeme Akışı

B tipi akış, matris ve blok ara yüzeyinde sürtünmenin artmasıyla eğer bloğun çevresindeki metalin akışı, blok çevresi ile alıcı duvarları arasındaki sürtünme tarafından yeterince azaltılırsa meydana gelir (Valberg, 1996a). Şekil değiştirme, A tipine göre matrisin çok uzaklarında başlar. Kayma bölgesi kesin hatlarla ortaya çıktıkça, şekil değiştirmenin homojenliği gittikçe kaybolur.

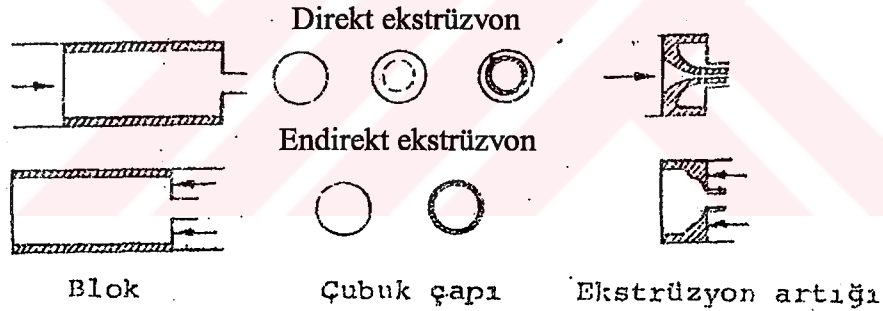
Sürtünme nedeniyle frenlenen çevre malzemesi ile hareket eden merkez malzemesi arasındaki kayma bölgesi, ekstrüzyon malzemesine ve ekstrüzyon şartlarına (blok ile alıcı arasındaki sıcaklık farkına, malzemenin ısı iletme kabiliyetine, sıcaklığa bağlı biçim değiştirme direncine, yağlamaya vs.) göre az veya çok bloğa çekilir. Bu durumda ölü bölge büyür. Ekstrüzyon ilerledikçe merkeze doğru büyüyen kayma bölgesinden kirler ve yağlama malzemeleri, kayma bölgesi boyunca blok içine akarlar ve ekstrüzyon edilmiş ürün üzerine çıkma tehlikesi doğururlar (çanak hataları) (Sönmez, 1989).

### 1.3.1.4 C Tipi Malzeme Akışı

C tipi malzeme akışı, B tipinde olduğu gibi, sadece sürtünmenin çok olduğu durumlarda değil, ekstrüzyon malzemesinin biçim değiştirme direncinin blok kenar bölgesinde, blok içine göre çok fazla olduğu durumlarda meydana gelir. Biçim değiştirme, matristen çok uzakta başlar. Ekstrüzyon işleminin başlangıcında malzeme akışının yönü, ön levhanın dış kenarından matris profiline doğrudur. Bu nedenle, bu akış tipinde oluşan ölü bölge, B tipinden daha büyüktür. Buna bağlı olarak kayma bölgelerinin meydana geldiği konik bölge daha büyük ve belirgindir (Sönmez, 1989).

### 1.3.2 Direkt ve Endirekt Ekstrüzyonda Malzeme Akışlarının Karşılaştırılması

Çeşitli malzemeler, direkt ve endirekt ekstrüzyon yöntemlerine tabi tutularak malzeme akışları arasındaki fark açıklanmaya çalışılmıştır. Endirekt ekstrüzyonda, direkt ekstrüzyona göre daha iyi akış tipleri oluşmaktadır. Endirekt ekstrüzyonda malzemenin şekil değiştirmesi her zaman, bloğun matrise yakın kısmında meydana gelir. Blok ile alıcı arasındaki sınır yüzeyin durumu, oluşacak akışın karakteristiği için önemsizdir. Matris yüzeyinin durumuna göre S tipi veya A tipi akış meydana gelir.



Şekil 1.11 Direkt ve endirekt ekstrüzyonunda blok yüzeyinin şekil değiştirmesi

(Sönmez, 1989).

Endirekt ekstrüzyonda bloğun temiz olmayan kenar tabakasının, çubuğun içine akışına neden olan malzeme girdabı oluşmaz. Bu durum Şekil 1.11' de mum malzemenin ekstrüzyonunda görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, bloğun dış yüzeyindeki malzeme, direkt ekstrüzyonda burkularak çubuk merkezine akarak ekstrüzyon hatasına neden olur ve akış idealden uzaklaşır. Endirekt ekstrüzyonda ise böyle bir durum oluşmamaktadır.

### 1.3.3 Malzeme Akışı ve Yağlama

Ekstrüzyon işleminde sürtünme, çok önemli bir etkidir. Yağlama işlemiyle sürtünme azaltılabilir ve bu da malzeme akışına direkt olarak etki edeceğinden, malzeme akışı bakımından çok önemlidir. Matris ve blok / alıcı arasındaki sınır yüzeylerinin, bir yağlama maddesi ile yağlanması suretiyle malzeme akışının kolaylaştığı ve şekil değiştirmenin homojenleştiği görülmüştür. İdeal bir yağlama yapıldığında S tipi malzeme akışı sağlanabilmektedir. Uygulamada, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda yağlayıcı olarak genellikle balmumu kullanılır. Renkli metaller için grafit yağı kullanılır. Bakır oksit de bakırın ekstrüzyonunda yağlayıcı görevi yapmaktadır. İlave yağlayıcı malzemesi kullanılmadığı halde kurşunun da A tipi akış vermesine neden olarak, kurşun oksitin yağlama etkisi gösterilmektedir.

Malzeme akışını iyileştirmek için yapılan yağlama, ekstrüzyon kabiliyeti için bir tehlikeyi de beraberinde getirir. Alıcı cidarı tamamen yağ ile kaplandığında, kayma bölgesinin yakınında blok yüzeyinde kırılmalar görülür. Buradan yapışkan yağ filmi akar ve şekil değiştirme bölgesine doğru hareket eder. Sonuçta ürün yüzeyinde kabarcıklar veya yüzeyde istenmeyen kabuklar meydana gelebilir. Ayrıca, homojen olarak yapılmayan bir yağlama da, farklı bölgelerde farklı sürtünme değerleri meydana getirerek malzeme akışını kötü yönde etkiler ve ekstrüzyon hatalarına neden olur.

Hatasız, parlak yüzeyli ve düzgün bir malzeme akışının sağlanması için malzemenin cinsine, ekstrüzyon şartlarına uygun yağlama maddesi seçilmeli ve homojen bir yağlama yapılmalıdır (Sönmez, 1989).

### 1.4 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyonu

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, 300 – 600 °C arasında ekstrüzyon edilebilen gruptandırlar. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları çok geniş olmakla beraber; esas kullanıma alanları; inşaat sektörü, taşıt sanayii vs. de toplanabilir. Her bir mamül grubu için aşağıdaki alaşımlar kullanılmaktadır;

Borular: AlMgSi1, AlMg3, AlCuMg1, AlCuMg2, AlMn, Al99,5,

Çubuklar: AlCuMgPb, AlMgSi1, AlMg3, AlMgSiPb,

Profiller: AlMgSi0,5, AlMgSi1, AlZnMg1

Teller: Al99,5 (elektrik kabloları için), çubuklarda kullanılan diğer malzemeler (Sönmez, 1989).

Aluminyum alaşımlarından levha ve şerit, istenen mekanik özellikleri elde etmek için genellikle soğuk işlenir. Üretimden farklı olarak AlMgSi, AlCuMg ve AlZnMgCu ailelerinin ısı işleminden geçebilen alaşımları ekstrüzyon için çok önemlidir. Özellikle karmaşık şekilleri nedeniyle soğuk çekme ile bitirilemeyen profiller için bu önem daha fazladır. Yaşlandırma da, çubuk ve boruların yüksek dayanımlı alaşımlardan ve çekilmesi zor olan alaşımlardan üretiminde kullanılmaktadır (Sönmez, 1989; Özyürek, 1997).

#### 1.4.1 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği

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

- a) Tane sınırı segregasyonları, düşük ergime noktalı öteklikler ve kırılğan intermetalik bileşikler metalin işlenebilirliğini zorlaştırır.
- b) Aşırı doymuş olarak çözülmüş alaşım bileşenleri (örneğin; Al<sub>6</sub>Mn, AlFeMn, Mg<sub>2</sub>Si), yüksek sıcaklıkta akma gerilmesini yükselttiklerinden dolayı metalin işlenebilirliğini zorlaştırırlar.
- c) Magnezyum, demir, zirkon gibi belirli alaşım elemanları, çözülmüş ya da ayrılmış durumda yeniden kristalleşmeyi engellerler. Bu etki, özellikle AlMgSi(Mn) alaşımlarının ekstrüzyonunda renk anodizasyonunda önemli derecede rol oynar.
- d) Sürekli dökümden sonra soğuma sırasında AlMgSi alaşımlarında Mg<sub>2</sub>Si çökmesi, ekstrüzyon edilen kesitlerin sertleşebilirliğini azaltır ve yüzey parlaklığını düşürür.
- e) Tane ayrışmaları (örneğin; çözülmemiş alaşımlama elementlerinin konsantrasyonlarındaki farklılık), eloksal işleminden sonra bünyeye bağlı çizgiler oluşturur.
- f) Heterojen tane ve tane sınırı ayrışmaları, bünyede ton farklılıklarına neden olarak profilin parlaklığını azaltır.

Döküm bloklarına ısı işlemler uygulanarak bu etkiler kısmen veya tamamen kaldırılabilirler. Uygulamada yaygın olarak kullanılan tavlama sıcaklıkları Çizelge 1.4'te verilmiştir.

Çizelge 1.4 Alüminyum ve alaşımlarının homojenleştirme sıcaklıkları ve ekstrüzyonu için belirli değerler (Sönmez, 1989).

Malzeme	Aşırı tavlama sıcaklığı (°C)	En az bekleme süresi (saat)	Alıcı sıcaklığı (°C)	Blok sıcaklığı (°C)	Çıkış hızı (zorluk derecesine göre m/dak)
Al99,8..99,9	580-600	6	380	420	50-100
Al99,9Mg0,5..2	560-580	6	390	430	50-80
AlMg	600-620	6	430	450-480	30-70
AlMg1	550-560	12	390	430	30-75
AlMg3	530-540	12	425	460	3-6
AlMg5	500-520	12	410	460	1,5-3
AlMgMn	550-560	12	420	450	6-15
AlMg4,5Mn	520-540	12	410	450	2-6
AlMgSi0,5	560-580	6	410	460-480	35-80
AlMgSi1	560-570	6	430	450-500	5-30
AlMgSiPb	430-450	12	360	350-400	2-5
AlCuBiPb	420-440	12	360	350-380	2-15
AlCuMgPb	430-450	12	360	350-420	1,5-3
AlCuMg1	480-490	12	400	420-450	1,5-3
AlZnMg1	460-480	12	480	500-530	5-25
AlZnMgCu0,5	470-480	12	400	420-430	0,8-2
AlMgSi1	560-570	6	430	450-500	5-30
AlMgSiPb	430-450	12	360	350-400	2-5
AlCuBiPb	420-440	12	360	350-380	3-15
AlCuMgPb	430-450	12	360	350-420	1,5-3
AlCuMg1	480-490	12	400	420-450	1,5-3
AlZnMg1	460-480	12	480	500-530	5-25
AlZnMgCu0,5..1,5	470-480	12	400	420-430	0,8-2

Alüminyum ve alaşımları, ekstrüzyon edilebilirliklerine göre üç grupta sınıflandırılırlar;

- a) Kolay ekstrüzyon edilebilenler: Saf alüminyum, AlMn, AlMg1, AlMgSi0,5, AlMgSi0,8.
- b) Orta zorlukta ekstrüzyon edilebilenler: AlMg2-3, AlMgSi1, AlZnMg1.
- c) Zor ekstrüzyon edilebilenler: AlCuMg, AlCuMgPb, AlZnMgCu, AlMg > %3Mg.

Ekstrüzyon hızını yüksek tutabilmek için genel olarak blok sıcaklıkları düşük tutulur. Bazen ekstrüzyon edilebilirliğin değerlendirilmesi için özgül ıstampa basıncı değerleri verilmektedir. Ancak ıstampa basıncının ekstrüzyon oranına bağlı olması ve kolay ekstrüzyon edilebilen alüminyum alaşımlarının düşük sıcaklıkta bile yüksek olması, özgül ıstampa basıncına güvenilirliği azaltmaktadır. Ekstrüzyon edilebilirliğin ekonomik açıdan değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir ölçüde çıkış hızıdır (Çizelge 1.4). Ancak ekstrüzyon edilebilirlik sadece çıkış hızına bağlı olmayıp, alaşım özelliklerine, sıcaklığa ve ekstrüzyon oranına bağlıdır. Çizelge 1.5'te sık kullanılan bir alüminyum alaşımı olan AlMgSi0,5 ile mukayeseli olarak diğer alüminyum alaşımlarının bağlı ekstrüzyon edilebilirlik değerleri verilmiş ve mukayese değeri 100 olarak kabul edilmiştir.

Ekstrüzyon edilebilirlik, blok uzunluğuna da bağlıdır. Ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak uygun ekstrüzyon hızlarına ulaşabilmek için daha küçük blok uzunlukları seçilmelidir (Sönmez, 1989).

## **1.4.2 Alüminyum ve Alaşımlarının Ekstrüzyonunda Yağlama ve Malzeme Akışı**

### **1.4.2.1 Yağlama**

Ekstrüzyon sırasında meydana gelen sürtünmelerin azaltılabilmesi için yağlama yapılmaktadır. Ancak alüminyum ve alaşımlarının sıcak ekstrüzyonunda düz matrisler kullanıldığında; alüminyum, takımlara kaynama yapmakta ve bu durum yağlamayla bile etkili bir şekilde önlenememektedir. Alıcı cidarında da aynı kaynama oluşabilmektedir. Bu kaynama sonucu alıcıda ideal olmayan bir akış meydana gelmekte ve genellikle direkt ekstrüzyon için B ve C akış tiplerine yakın akış tipleri oluşmaktadır. Blok dış yüzeyinin ve alıcının yağlanması ile malzeme akışı önemli derecede değiştirilemediğinden ve yağların kayma bölgesi boyunca ilerleyerek ürüne geçmesi ve burada kabarcıklar ve gözenekler oluşturma tehlikesi bulunduğundan alıcıda yağlama yapılmamaktadır. Alüminyumun, matrise ve boru ekstrüzyonunda malafaya yapışması, yüzey kalitesi açısından önemli problemler oluşturmaktadır. Yapışan partiküller, yüzeyde derin yivler meydana getirmekte ve mamülün yüzey kalitesini bozmaktadır. Yüzey kalitesini ve matris temizleme zamanını kısaltmayı sağlamak için, matrisin veya bloğun alın yüzeyinin yağlanması gerekir.

Çizelge 1.5 Alüminyum ve alaşımlarının bağıl ekstrüzyon edilebilirlik değerleri  
(Sönmez, 1989).

Kolay ekstrüzyon edilebilenler:  $z = 50 - 150$

Orta derecede ekstrüzyon edilebilenler:  $z = 30 - 50$

Zor ekstrüzyon edilebilenler:  $z < 30$

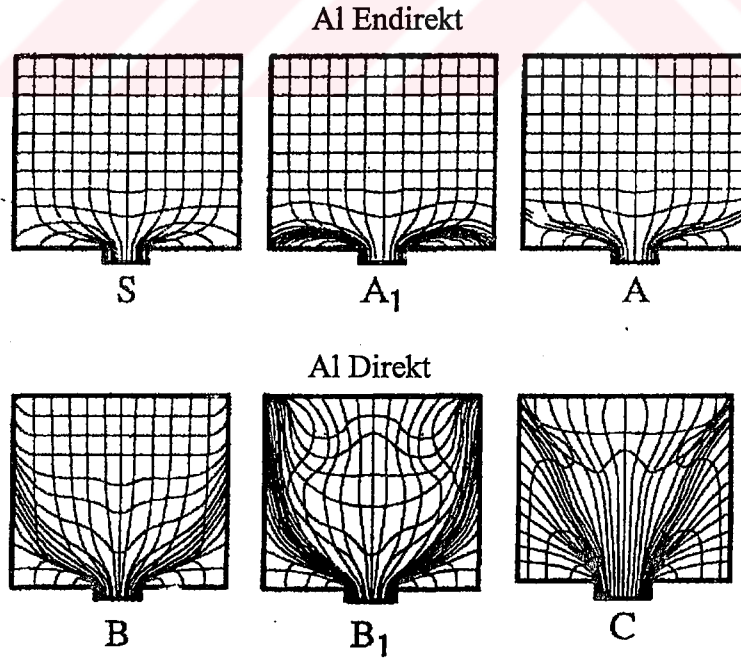
Malzeme No. AA	Malzeme sembolü	Bağıl ekstrüzyon edilebilirlik (Z)
EC	Al99,9	150
1060	Al99,6	150
1100	Al99	150
2011	AlCuBiPb	15
2014	AlCuSiMnMg	20
2024	AlCuMg1	15
3003	AlMn	100
5052	AlMg2,5	80
5083	AlMg4,5Mn	20
5086	AlMg4	25
5154	AlMg3,5Cr	50
5254	AlMg3,5Cr	50
5454	AlMg2,7Mn	50
5456	AlMg5Mn	20
6061	AlMgSi1	60
6063	AlMgSi0,5	100
6066	AlMgSiCuMn	40
6101	AlMgSi (elektrik iletkeni)	100
6151	AlMgSiFe (demir alaşımlı)	70
6463	AlMgSi0,8	100
7001	AlZnMgCu2,5	7
7075	AlZnMgCu1,5	10
7079	AlZnMgCu0,5	10
6061	AlMgSi1	60
6063	AlMgSi0,5	100
6066	AlMgSiCuMn	40
6351	AlMgSiMn	60

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda yağlayıcı olarak genellikle balmumu kullanılır. Bundan başka; matris yağı, suda veya alkolde koloidal grafit (blok alın yüzeyinin yağlanması için sıvı veya sprey halinde), aşırı doymuş silindir yağı ile grafit karışımı, yağda molibden disülfid kullanılmaktadır.

Bazı durumlarda bloğun arka yüzeyi de yağlanmaktadır. Böylece ön levha ile bloğun birbirine yapışması önlenir ve ekstrüzyon artığı ile ön levhanın ayrılması kolaylaşır (Sönmez, 1989).

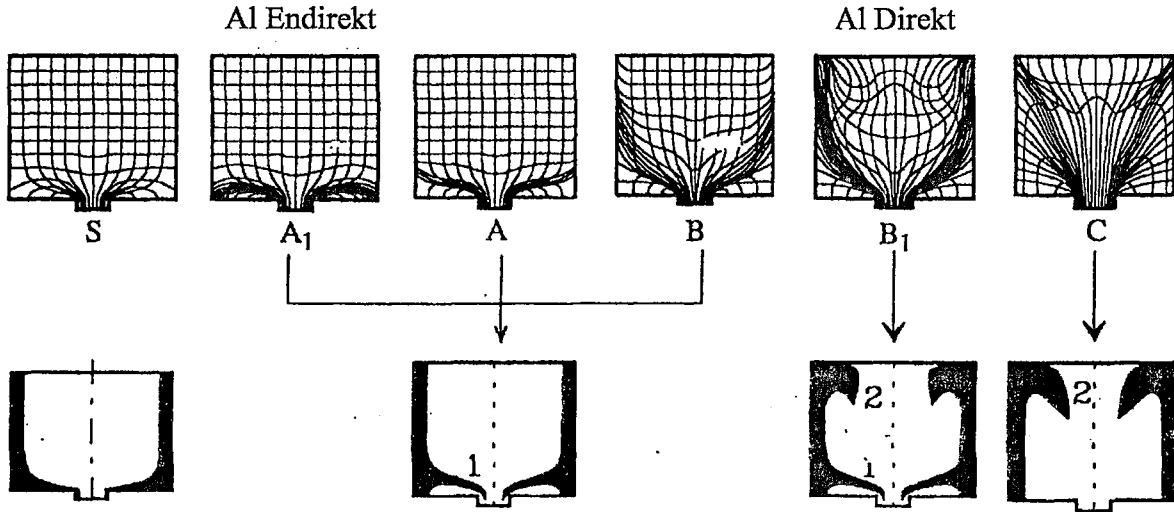
#### 1.4.2.2 Malzeme Akışı

Pearson ve Durrschnabel tarafından önerilen mevcut sınıflandırma sistemindeki S, A, B, C akış tipleri, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının direkt ve endirekt ekstrüzyonu sırasında meydana gelen akışlara tam olarak cevap vermez. Bu nedenle, mevcut akış tiplerine alüminyum ve alüminyum alaşımlarının direkt ve endirekt ekstrüzyonunda iki yeni ara akış çeşidi ilave edilebilir. Bu yeni sınıflandırma sisteminde; endirekt ekstrüzyonda malzeme akışı  $A_1$  akış tipine karşılık gelirken, direkt ekstrüzyonda malzeme akışı  $B_1$  akış tipine karşılık gelmektedir. Şekil 1.12'de görüldüğü gibi  $A_1$  akış tipi, S ve A akış tipleri arasındaki akış tipidir.  $B_1$  akış tipi ise B ve C arasındaki akış tipidir. Şekil 1.13'te ise bloğun kenar bölgesinin akışı görülmektedir (Valberg, 1996a).



Şekil 1.12  $A_1$  ve  $B_1$  akış tiplerinin eklenmesiyle tanımlanan sınıflandırma sistemi (Valberg, 1996a).





Şekil 1.13 Kenar bölgenin akış bölgesini gösteren tanımlanmış sınıflandırma sistemi (Valberg, 1996a).

#### 1.4.3 Alüminyum Alaşımlarından Profillerin Ekstrüzyonu

Alüminyum profiller çoğunlukla, sertleşebilir alüminyum alaşımlarından  $AlMgSi0,5$ ,  $AlMgSi1$  ve  $AlZnMg1$ 'den imal edilirler. Öte yandan,  $AlMg3$  gibi sertleşmeyen alüminyum alaşımlarından ekstrüzyon edilen profillerin oranı azdır. Yukarıda belirtilen bu alüminyum alaşımları, iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri ve iyi mukavemet özellikleri göstermeleri, dekoratif görünümleri ve korozyon dayanımları açısından diğer malzemelerle imal edilen ekstrüzyon mamüllerinden daha çok önem kazanmışlardır.

En çok kullanılan alüminyum alaşım profilleri,  $Al99,5$  esasına dayalı alaşımlardır. Bu alaşımlardan ekstrüzyon edilen profiller, metal fabrikasyonu ve mimari amaçlar için kullanılmaktadırlar. Bu profillerden beklenen özellikler;

- Sıcakta mukavemet özellikleri
- İyi yüzey kalitesi
- İyi dekoratif eloksal özellikleri
- Dar ölçü toleranslarıdır.

$AlMgSi0,5$  ve kısmen  $AlZnMg$  alaşımlarından parlak profiller, geçmişte genellikle otocam çerçevelerinde kullanılmaktaydı. Günümüzde kimyasal olarak parlatılmış ve eloksal yapılmış bu profiller oto, ev aletleri, mobilya endüstrisinde dekoratif amaçlı olarak kullanılmaktadır.  $AlMgSi0,5$  alaşımı, yüksek parlaklık gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Bu parlaklık durumu, sertleşebilir alüminyum alaşımlarında çok zor sağlanabilmektedir. Çünkü; imalatın

çeşitli kademelerinde ikinci fazın ( $Mg_2Si$ ) heterojen ayrışması ve anodik olarak oluşturulan oksit tabakasını bulundurma tehlikesi vardır. Bu nedenle, bütün profil imalatında ana hedef  $Mg_2Si$  ayrışmasını önlemektir.  $AlMgSi_{0,5}$  parlak bloklar için kullanılan yüksek homojenleştirme tavlama sıcaklığında sertleşebilirlik için gerekli olan  $Mg_2Si$  fazı tamamıyla çözünür. Bu durumda önemli olan, bloğun su ile soğutulması ve çözünme durumunu mümkün olduğu kadar sürekli hale getirmektir. Bloğun soğutulması ve şekil değiştirme sıcaklığına kadar ısıtılması sırasında çok ince  $Mg_2Si$  ayrışmalarının oluşumu çok önemlidir. Matristen çıktıktan sonra profilin su ile hızlı bir şekilde soğutulması, şekil değiştirme sıcaklığında ulaşılmış çözünme durumunun kaybolması için gereklidir.

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

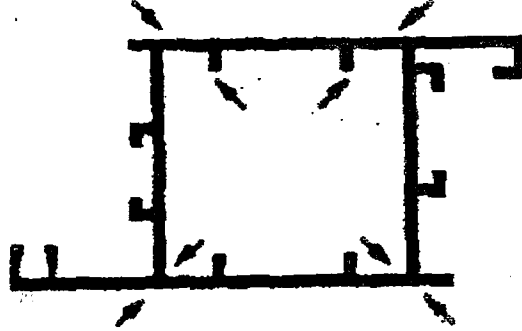
Konstrüksiyon profili olarak kullanılan  $AlMgSi_{11}$  alaşımı,  $AlMgSi_{0,5}$ 'e nazaran alaşım elementi miktarının yüksek olması nedeniyle, tam bir sertleşme elde etmek için çözünme sıcaklığından soğutmanın daha hızlı olması gerekir.

Renkli eloksal yöntemi ile  $AlMgSi(Mn)$  alaşımlarından profiller, dekoratif amaçlar için çok miktarda kullanılmaktadır. Bu malzemenin imalatı daha önceden kullanılmakta olan  $AlSi_5$ 'e göre daha avantajlıdır. Eğer mangan nedeniyle yükselen yeniden kristalleşme sınırından dolayı sadece kısmi yeniden kristalleşme olursa önemli problemler olacağı açıktır. Alıcıda kayma ile şekil değiştirme olduğunda; ekstrüzyon çubuğunun çevre bölgesindeki malzemede, merkezindeki malzemeye göre daha fazla şekil değiştirme meydana gelmektedir. Çevre bölge, şekil değiştirme ısısı nedeniyle kaba tane yeniden kristalleşmesine neden olabilecek bir kritik şekil değiştirmeye ulaşabilir. Kaba tane oluşturmak eğilimi, imalat esnasında yüzey bölgesinde büyük zorluklar doğurur. Profil çevresi boyunca, özellikle köşeler, bağlantı noktaları ve yığılmalar gibi süreksizlik noktalarındaki sıcaklık – şekil değiştirme şartları, belirli kesit bölgelerinde kritik şekil değiştirme aralığında bulunurlar ve orada ani kaba tane yeniden kristalleşmesini oluştururlar. Komşu bölgelerde ise kritik şekil değiştirme büyüklüğü ve yeniden kristalleşme şartlarına ulaşılmaz. Bu nedenle bu bölgelerde yeniden kristalleşme olmamış ince lifli bir yapı görülür. Renkli eloksal sırasında farklı bünye yapıları, farklı yapı göstereceğinden tüm profil boyunca renk farklılıkları gözlenir. Yeniden kristalleşmiş bölgeler koyu renkli olup, yeniden kristalleşmemiş bölgeler açık renklidir (Sönmez, 1989).

#### 1.4.4 Alüminyum Alaşımlarından İçi Boş Profillerin Ekstrüzyonu

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

- Metalin yarılması nedeniyle takımındaki sürtünme artacağından ekstrüzyon kuvveti büyür.
- Yarılmış metalin birleşme odasında kaynayabilmesi için minimum 500 °C' nin üzerinde bir sıcaklık gereklidir.
- Birleştirme odası yönteminde meydana gelen dikiş kaynağı bölgeleri, eloksaldan sonra metalurjik etkiler nedeniyle profilin diğer yüzeylerine nazaran daha açık bir renge sahip olurlar. Bu nedenle takım konstrüksiyonunda kaynama bölgelerinin, profilin mümkün olduğu kadar görünmeyen yerinde veya köşelerde olmasına dikkat edilir (Şekil 1.14).
- Ekonomik açıdan ve ekstrüzyon kuvvetinin düşürülmesi açısından, birleştirme odalı takımlarda küçük içi boş profiller, dolu profillerde olduğu gibi çok delikli matrislerle imal edilirler ve delik sayısı genellikle dört ile sınırlanırlar.



Şekil 1.14 Birleştirme odalı takımlarla imal edilmiş içi boş bir alüminyum profilde mümkün olan kaynak yerlerinin konumu (Sönmez, 1989).

Kolay kaynamayan alüminyum alaşımlarından (Çizelge 1.6) içi boş profiller, sabit bir malafa ile önceden delinerek hazırlanmış bloklardan imal edilirler. Ancak malafanın yana eğilmesi

nedeniyle, cidar kalınlığı toleransları birleştirme odası yönteminde olduğu kadar dar değildir (Sönmez, 1989).

Çizelge 1.6 Özel matrislerle boruların ve içi boş profillerin imalatı için sıcak ekstrüzyonda kullanılan alüminyum alaşımlarının kaynama özellikleri (Sönmez, 1989).

Alaşım	Kaynama Özellikleri	Şartlar
Saf Alüminyum	Çok iyi	Şekil ve cidar kalınlığına bağlı
AlMn	Çok iyi	
AlMg1	Çok iyi	
AlMgSi0,5	İyi – çok iyi	
AlMgSi1	İyi – çok iyi	
AlZnMg1	İyi	
AlMgSi0,8	İyi – çok iyi	
AlMg2	Sınırlı	
AlMg3	Çok sınırlı	
AlMgSiPb	Çok sınırlı	
AlCuMg	Çok zayıf	Pratikte sıcak ekstrüzyonda özel matrislerle ekstrüzyon imkanı yoktur.
AlZnMgCu	Çok zayıf	
AlCuMgPb	Çok zayıf	
AlMgPb	Çok zayıf	
AlMg5	Çok zayıf	

### 1.5 Ekstrüzyon Takımları

Önceleri ekstrüzyon takımları, yardımcı takımlar ve ekstrüzyon takımları diye ikiye ayrılırmaktaydı. Yardımcı takımlar olarak; alıcı, ıstampa ve özellikle ekstrüzyon presinin elemanları kastedilmekteydi. Matrisler, malafalar, ön levha ve birleştirme odası takımları şekil değiştirme takımları olmakta ve fazla aşındıklarından dolayı sık sık değiştirilirler. Yardımcı takımlar ile şekil değiştirme takımları arasında böyle bir ayırıma gitmek doğru olmamaktadır. Alıcı gömleğide aşınmakta ve değiştirilebilmektedir. Aynı zamanda bütün takımlar, ısıl ve mekanik gerilimler altındadır.

Ekstrüzyon takımları, yapıları ve montaj durumları Şekil 1.15'te görülmektedir. Hangi yöntemde hangi takımların gerekli olduğu, kullanılan malzeme ve kullanım cinsine göre;

boru, çubuk veya profile bağlı olmaktadır. Her takımın ayrı görevi vardır. Bu takımların görevlerini kısaca tanıtırız;

**Matris:** Ekstrüzyon mamülüne ve yarı mamülüne şekil verir.

**Matris Tutucu:** Matrisi ve kısmen de destekleri tutar.

**Destekler:** Matrisin eğilmesini ve kırılmasını önlemek için desteklerler.

**Altlık:** Ekstrüzyon kuvvetini desteklerden takım tutucusuna aktarır.

**Ön levha:** İstampa'nın aşınmasını ve malzemenin ıstampaya sıvanmasını önler. Aynı zamanda malzemenin geri akmasını da önler.

**Takım taşıyıcısı:** Ekstrüzyon presinde matris ve grubunu tutar.

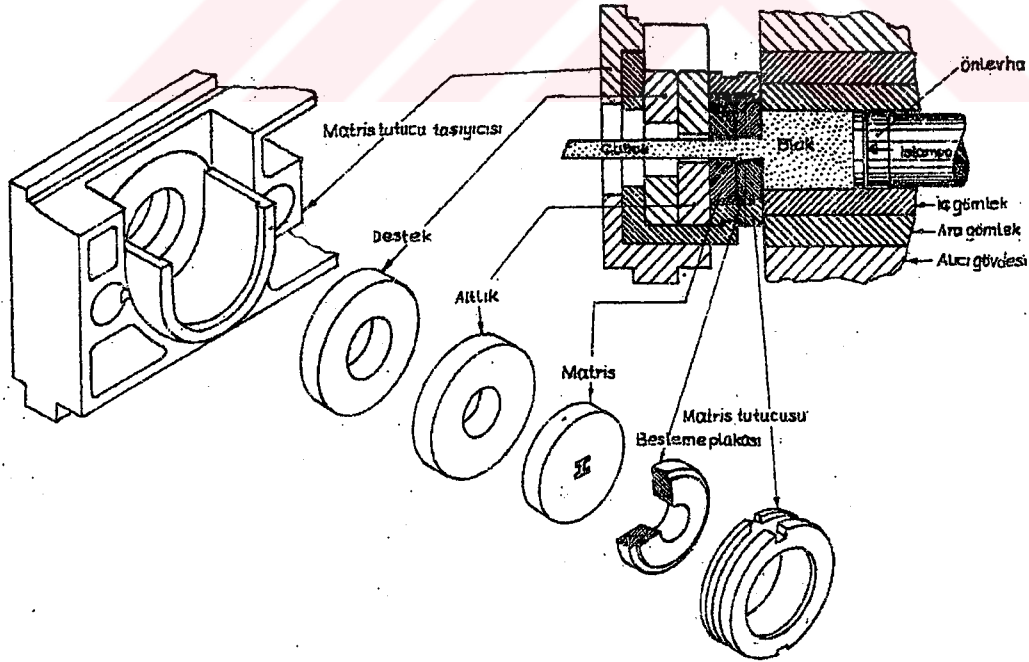
**Köprü, spider:** Metal akışını böler ve malafayı tutar.

**Ön oda:** Matris yönünde metal akışını düzenler ve önceki blok kalıntısıyla yeni blok arasındaki birleşmeyi sağlar.

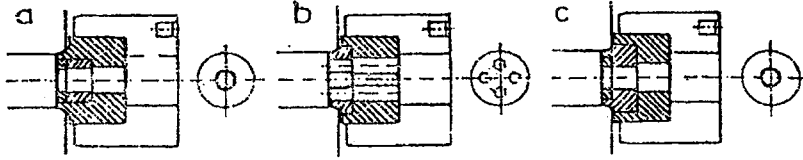
**İstampa:** Ekstrüzyon kuvvetini ön levha vasıtasıyla bloğa iletir.

**Kama:** Matris ve grubunun klitlenmesini sağlar.

**Alıcı:** Çelikten yapılmış, genellikle hareket edebilir iki ucu açık bir silindir şeklindedir. İç çapı ekstrüzyon edilecek bloktan biraz daha büyüktür.



Şekil 1.15 Ekstrüzyon takımları ve montaj durumları (Sönmez, 1989).



Şekil 1.16 Matris dizaynı, a) alıcı ve matris tutucusu – matris ve matris tutucusu, b) alıcı ve matris – matris ve tutucusu, c) alıcı ve matris desteği – matris ve tutucusu (Sönmez, 1989).

Bu takımlardan matrisin, özellikle ağır metal ekstrüzyonunda ve yüksek çıkış sıcaklıklarında, montajının kolay ve her ekstrüzyondan sonra değiştirilmesinin çok kolay olması gerekir. Matrisin hızlı değiştirilmesi ekonomik avantajlar sağlar. Dış tarafı hafif konik olan matris, matris tutucusunun ön tarafından tutucu boşluğuna yerleştirilir, böylece kolay ve hızlı bir şekilde değiştirilmesi sağlanabilir (Şekil 1.16).

Matris, matris tutucusu,, alıcı ve ıstampanın eksenlerinin çakışması kadar, matris veya matris tutucusu ile alıcı arasındaki sızdırmazlık sağlanamadığı takdirde metal kaçıışı meydana gelmekte ve ekstrüzyon hatasına neden olmaktadır (Sönmez, 1989).

### 1.5.1 Matris

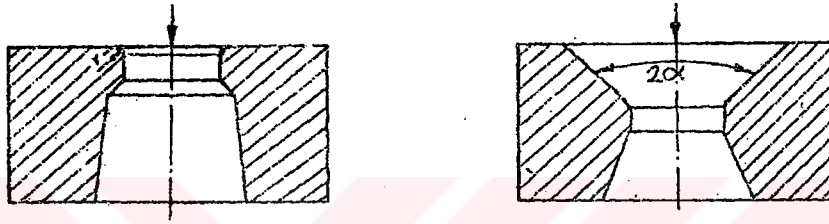
Matris, bir disk şeklinde olup üzerinde imal edilecek profilin kesiti kanal şeklinde açılmıştır. Matris, bloğa basınç altında profil şeklini veren ve en çok değiştirilen takımdır. Bu nedenle matris, profilin tüm detaylarını ve toleranslarını içerir. Matriste oluşacak hatalar, direkt olarak profile yansır. Bu hatalar, özellikle şekil, yüzey ve boyut hatalarıdır.

Matrisin dizaynı ve şekli, ekstrüzyon basıncını, hızını, çıkış sıcaklığını, malzeme akışını ve sürtünmeyi etkiler. İnce kesitli profillerin ekstrüzyonunda basınç oldukça yüksektir ve yüksek basınç altında matriste, eğilme ve çatlama için matris desteklenir. Destek, matrisin arkasına konan bir ekstrüzyon takımıdır. Matris, ekstrüzyon presinde tek başına çalışmaz. Destek, ön oda gibi diğer takımlarla bir grup oluşturarak görev yapar. Malzeme akışını ve profil yüzeylerinin düzgünleştirilmesi için sürtünmeyi azaltan işlemler uygulanır. Bunlar; yağlama, matris yüzeylerinin taşlanması, matris kanalının leplenmesi, matris kanalına nitrasyon uygulanması ve matris kanal uzunluğunun düzenlenmesidir (Göymen, 1988; Sönmez, 1989).

### 1.5.2 Matris Şekilleri

Ekstrüzyon yönteminde dolu profiller için basit matrisler kullanıldığı gibi, içi boş profillerde odalı, köprülü ve spider matrisler kullanılmaktadır.

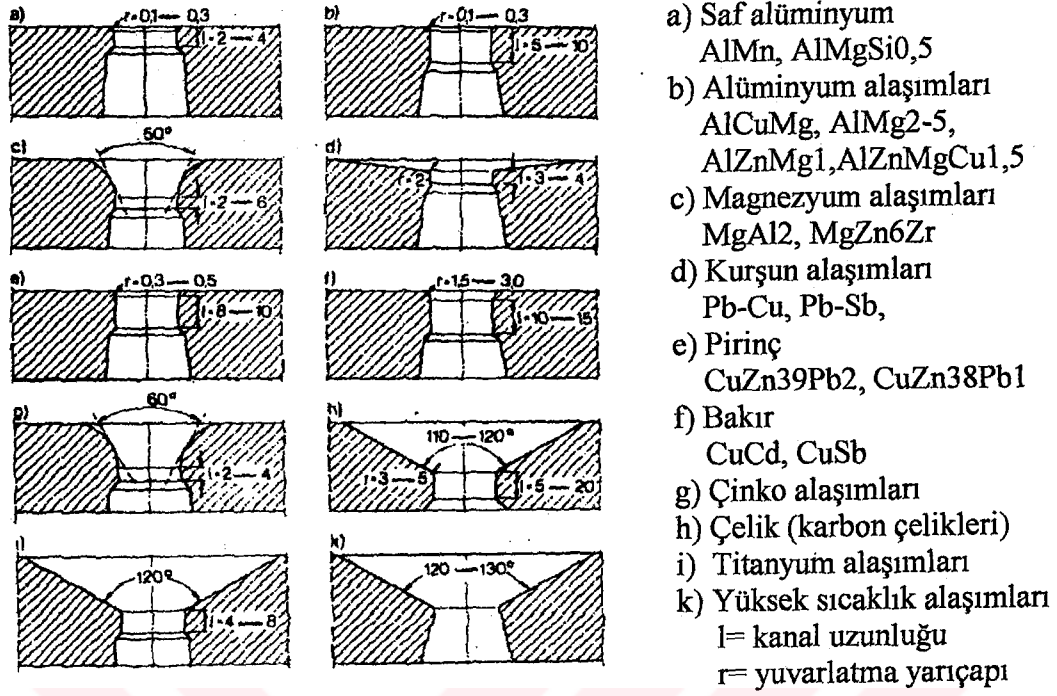
Ekstrüzyon yönteminde malzeme akışı, ekstrüzyon edilen malzemeye göre çok farklı olduğundan matris deliğinin giriş tarafının şekli ve kesit boyutları karakteristik büyüklük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çeşitli malzemeler ve çok çeşitli profiller üzerinde denemeler yapılarak uygun malzeme akışını sağlayacak delik giriş şekilleri elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 1.17). Bazı malzemelerde, örneğin alüminyum alaşımlarında dik açılı matrislerin daha uygun olduğu görülmüştür, fakat deliğin dik kenarlarının çabuk aşınması ve çubuğun yüzey kalitesinin bozulması nedeniyle bu kenarlar yuvarlatılmıştır. Ekstrüzyon basıncını bir miktar arttırmasına rağmen bu yuvarlatmalar, özellikle plastiklik özelliği düşük alaşımların ekstrüzyonunda yüzey çatlamlarının önlenmesine yardım etmektedir (Sönmez, 1989; Arabacı, 1996).



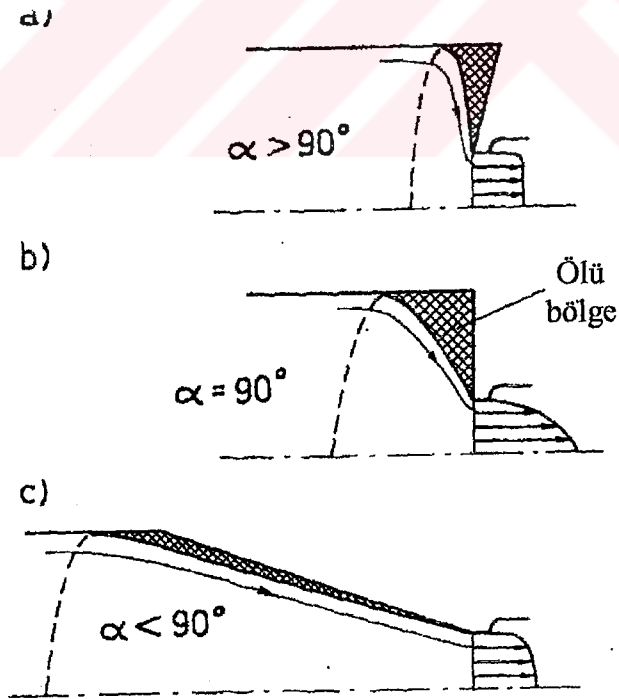
Şekil 1.17 Düz ve konik matris (Sönmez, 1989).

Yuvarlatma yarıçapları matris çapına ve malzeme cinsine göre değişmektedir (örneğin; alüminyum alaşımlarında küçük, bakır alaşımlarında büyük olmaktadır). Dik açılı matrislerin bazı malzemeler için malzeme akışı ve ekstrüzyon yönünden uygun olmadığı görülünce, matris deliği girişine bir açı verilmiştir. Araştırmacılar, kalayı değişik açılı matrisler ile ekstrüzyon ederek malzeme akışını incelemişler ve matrise belirli bir açı verilince malzeme akışının daha homojen olduğu görülmüştür. Şekil 1.18’de ekstrüzyon matrisleri için matris tipleri verilmiştir. Matris açısı büyüdükçe ölü bölge küçülmekte, akış daha düzgün olmakta ve ekstrüzyon kalıntısı azalmaktadır (Sönmez, 1989; Arabacı, 1996).

Görüldüğü gibi, matrisler metal akışını ve ölü bölgeyi ve dolayısıyla ekstrüzyon kalıntısını direkt olarak etkilemektedir. Zasadzinski vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada konveks matris kullanılarak, meydana gelen metal akışının ve deformasyon bölgesinin bir analizi yapılmıştır. Önerilen bu matriste amaç; matris deliğinin radyal doğrultusunda metali akmaya mecbur etmektir. İçbükey, dik açılı ve dışbükey (konveks) olmak üzere üç tip matris kullanılmıştır. Bu matris tipleri ve meydana getirdikleri metal akışları ve ölü bölgeler Şekil 1.19 ve Şekil 1.21’de görülmektedir. Şekil 1.20 ise, farklı açıldaki matrisler için ana deformasyon bölgesinin geometrisini göstermektedir.

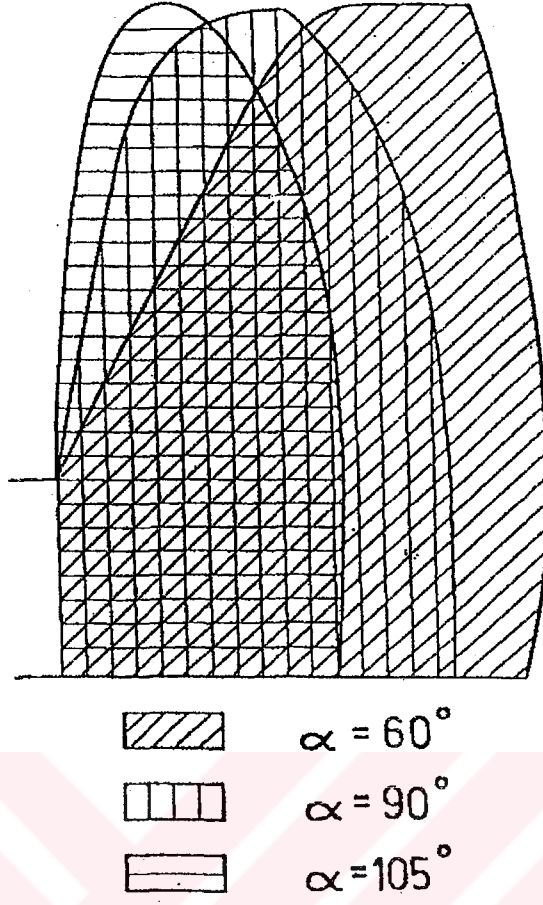


Şekil 1.18 Matris tipleri (Sönmez, 1989).

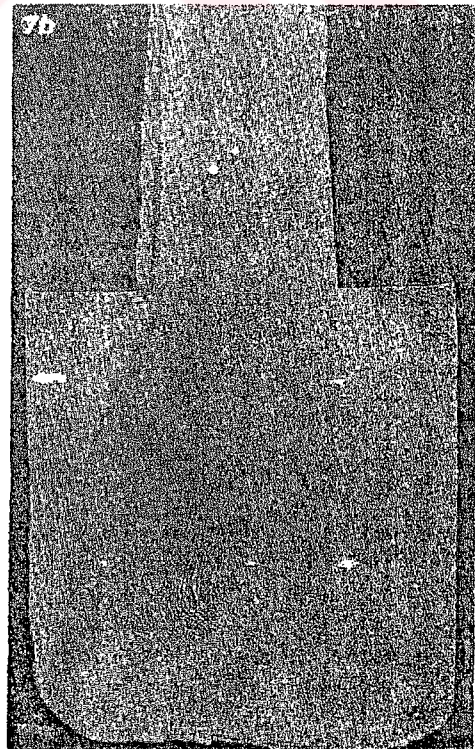
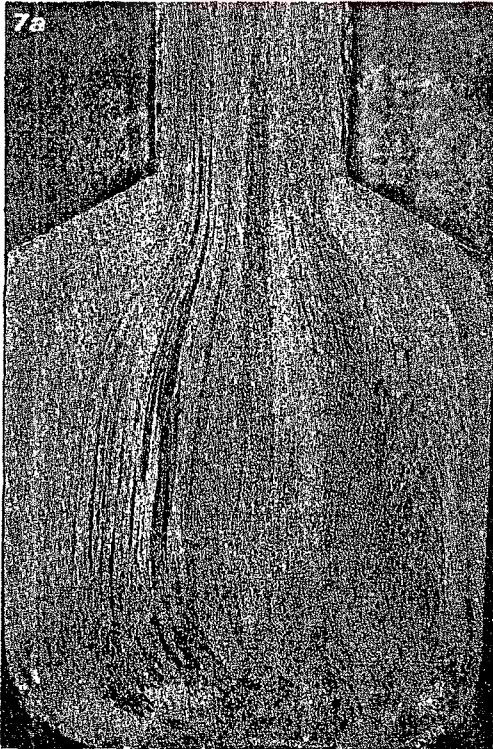


Şekil 1.19 Farklı açılı matrisler için ölü metal bölgeleri: a)  $\alpha > 90^\circ$ , b)  $\alpha = 90^\circ$ , c)  $\alpha < 90^\circ$  (Zasadzinski vd.1996).



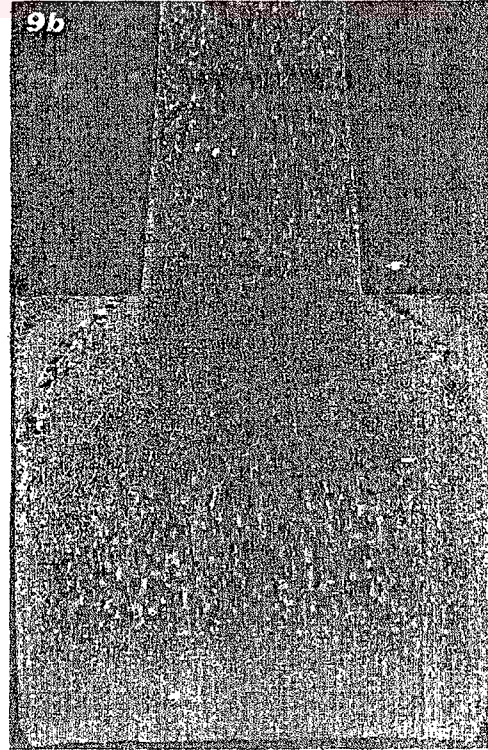
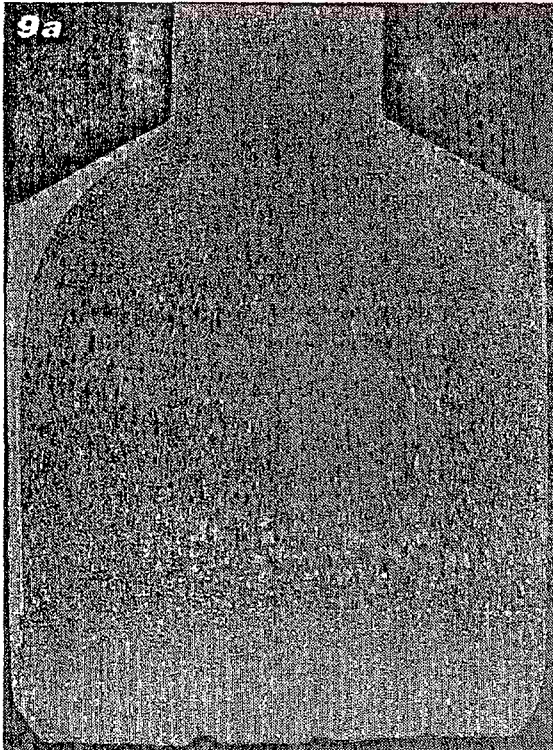


Şekil 1.20 Farklı matrisler için ana deformasyon bölgesinin geometrisi (Zasadzinski, 1996).





Şekil 1.21 Farklı açılı matrisler vasıtasıyla  $R=6,25$  ekstrüzyon oranıyla  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de ekstrüzyon edilen Al 1050 alaşımının metal akışı: a)  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , b)  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , c)  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Zasadzinski vd., 1996).





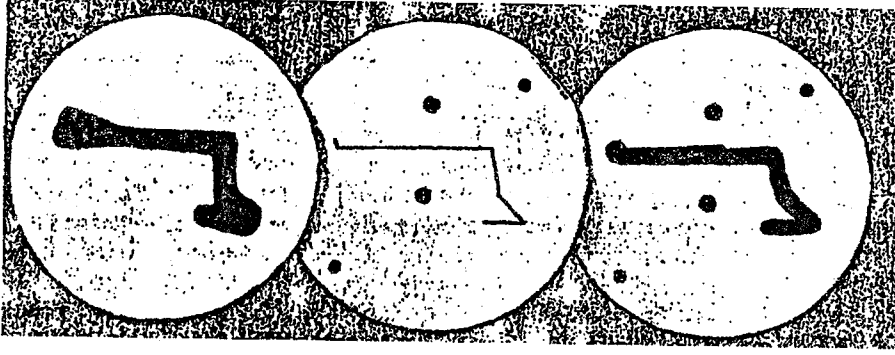
Şekil 1.22 Farklı açılı matrisler vasıtasıyla, 450 °C' de ekstrüzyon edilen Al 1050 alaşımının mikro yapısı: a) 60°, b) 90°, c) 105° (Zasadzinski vd., 1996).

### 1.5.3 Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

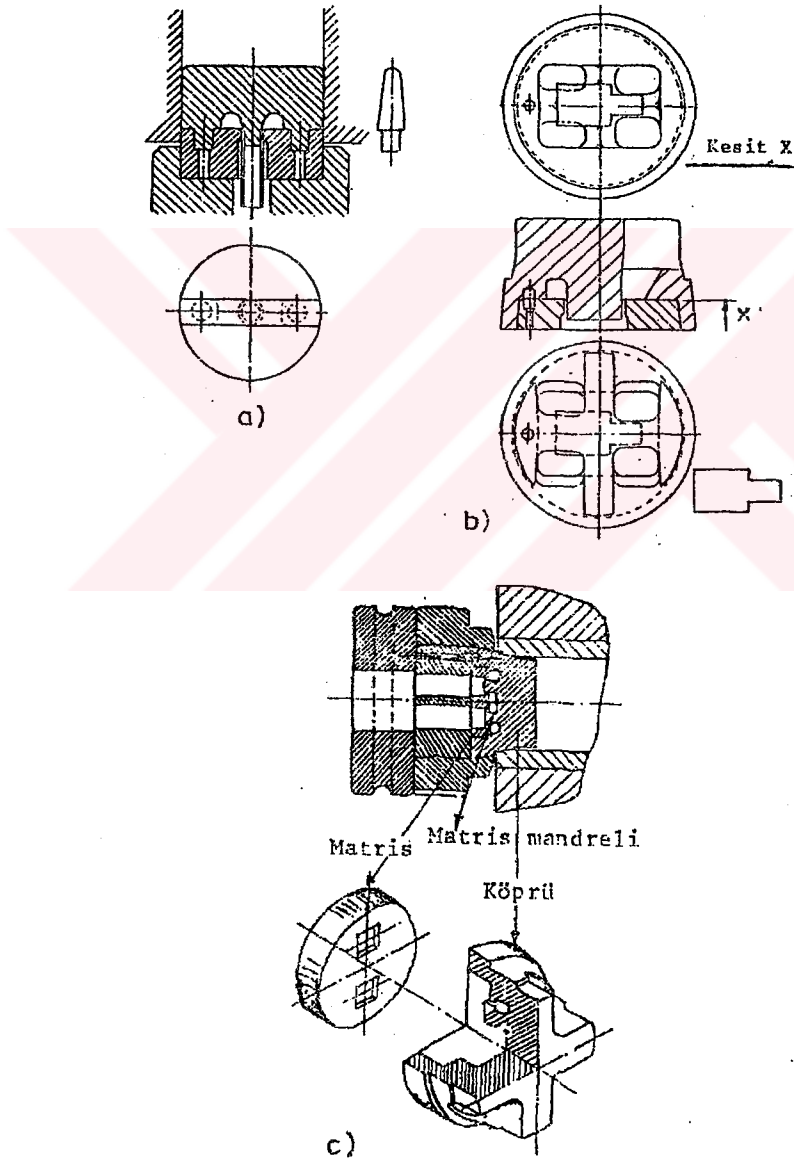
Dolu profiller için matrislerin düzenlenmesinde matris deliğinin yerini belirleyecek bazı temel kurallar dikkate alınmalıdır. Malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar, matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece matris kanal uzunluğunda bir düzenleme yapılmadan belli bir dengeleme elde edilebilir. Simetrik bir profilde simetri eksenleri, ön levhanın orta noktasında olacak şekilde bir düzenleme yapılmalıdır. Çok delikli matrislerde, delikler mümkün olduğu kadar simetrik şekilde yerleştirilmelidir. Dolu profiller için, düz matrislerden başka, ön odalı matrisler birleştirme ön odalı matrisler, expansion ön odalı matrisler ve destekli matrisler kullanılmaktadır. Şekil 1.23'te üç parçadan oluşan ön odalı matris görünmektedir.

### 1.5.4 İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

Ekstrüzyon tekniğinin bugün ulaştığı nokta, yüksek sıcaklıkta çalışan çeliklerin gelişmesine ve ısıl işlemlere, işleme makinelerindeki ve ekstrüzyon preslerindeki gelişmelere bağlıdır. Günümüzde çok karmaşık şekilli profilleri, uygun matrisleri kullanarak ekstrüzyon yöntemiyle elde etmek mümkündür. İçi boş profillerin ekstrüzyonunda köprülü, odalı ve spider matrisler kullanılmaktadır (Sönmez, 1989).



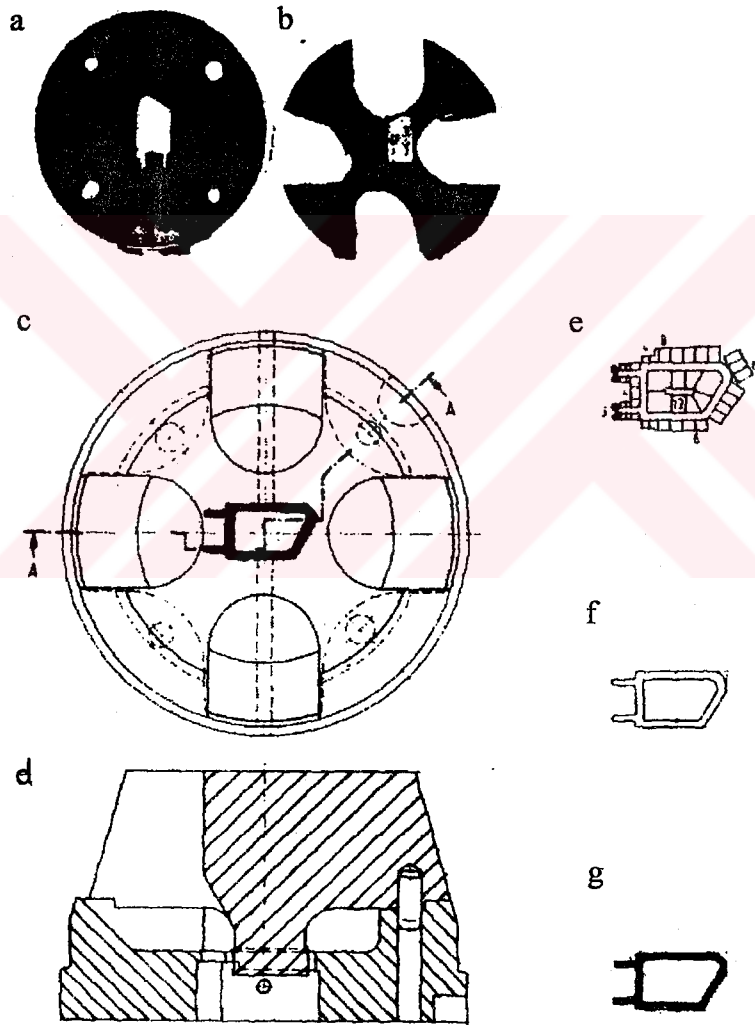
Şekil 1.23 Üç parçadan oluşan ön odalı matris (Sönmez, 1989).



Şekil 1.24 Köprülü matrisler (Sönmez, 1989).

### 1.5.4.1 Köprülü Matrisler

Köprülü matrisler genel olarak, profil yüzeyinde iyi bir kalite beklendiğinde kullanılmaktadır (Şekil 1.24). Her ekstrüzyon işleminden sonra metal kalıntısı uzaklaştırıldığından, köprülü matris düşük sıcaklıklarda kullanılır. Bu matris tipiyle iyi yüzey kalitesi elde edilmesinin yanında diğer bir avantaj; matrisin arka taraftan monte edilmesi olup, yeni matris durumunda matris giderlerinin düşük olmasıdır. Ekstrüzyon artığının her işlemde sonra alınması, ıskarta miktarının artması sistemin dezavantajıdır. Ayrıca, çekme ve basma neticesinde, birbirine ters yönde ortaya çıkan zorlamalar nedeniyle takımda kısa sürede aşınma ve kırılma olabilir (Sönmez, 1989).



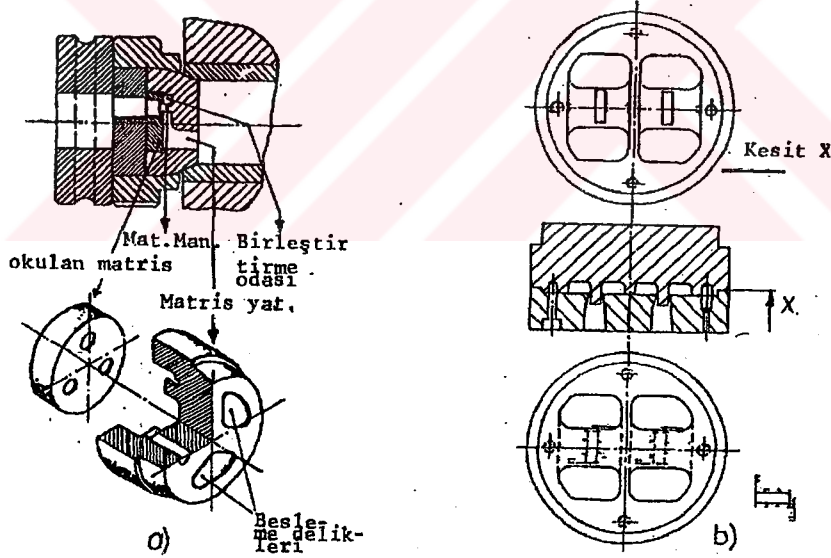
Şekil 1.25 İki parçalı spider matris: a) matris alt parçası, b) matris üst parçası, c) matris alın yüzeyi, d) A-A kesiti, e) matris kanal uzunlukları, f) matris boşluğunun kesiti, g) profil kesiti (Arabacı, 1996).

### 1.5.4.2 Spider Matris

Spider matris genellikle, düşük ekstrüzyon oranlarında içi boş büyük profiller için kullanılır. (Şekil 1.25). Bu matrisin kontrol ve ayarı için uzun süre temizlik gerektiğinden kullanılması ikinci plana atılmıştır. Ayrıca, ekstrüzyon kalıntısı dış koniklik nedeniyle uzaklaştırılmamaktadır. Keller tarafından geliştirilen bir konstrüksiyon, eski konstrüksiyonların dezavantajlarını kısmen ortadan kaldırmıştır ve pratikte daha çok kullanılmaktadır (Göymen, 1988; Sönmez, 1989).

### 1.5.4.3 Odalı (Porthol) Matris

Bu konstrüksiyonlar her şart altında kullanılabilmekte ve ekstrüzyon tekniğinde beklenen en iyi neticeyi vermektedir. Çok delikli olarak kullanılabilmeleri yanında, kapalı konstrüksiyon şekilleri sayesinde maksimum stabiliteye sahiptirler (Şekil 1.26). 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 (Göymen, 1988; Sönmez, 1989).



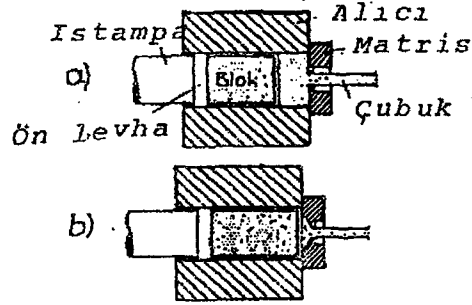
Şekil 1.26 Odalı matris: a) çok parçalı ve çok delikli odalı matris, b) odalı matris (Sönmez, 1989).

Malzeme akışına olan etkisi yönünden odalı matrisler, diğer tiplere göre daha üstündür. Kaynak dikişlerinde daha estetik görünüm sağlamak için, giriş ve kaynak odalarının dizaynında dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Kaynak odalarındaki şekil değiştirme basıncının yeterli olması için uygun giriş büyüklüğü sağlanmalıdır. Arkadan gelen bloğun,



- e) Kirli havanın kabarcık ve diğer ekstrüzyon hatalarına neden olmaması için alıcının işlem başlangıcından önce havalandırılması.

Sürekli ekstrüzyon yönteminde geliştirilmiş iki yöntem vardır (Şekil 34). Yöntemlerin birinde, ekstrüzyon kalıntısı uzaklaştırılır ve bir sonraki blok ile birleşme matristeki metal kalıntısıyla sağlanır (Şekil 1.28a). İkinci yöntemde ise kalıntısız çalışılır, yani bir sonraki blok diğerinin üzerine basılır (Şekil 1.28b).



Şekil 1.28 Sürekli ekstrüzyonun iki yöntemi: a) birleşme odalı matris, b) normal matris (Sönmez, 1989).



## 2. EKSTRÜZYON KAYNAKLARI

Ekstrüzyon kaynakları, ekstrüzyon edilmiş içi boş profillerde hem dikiş kaynağı olarak hem alın kaynağı olarak görülürler. Dolu kesitte ise sadece alın kaynağı olarak görülürler (Akaret, 1972). İçi boş profillerin ekstrüzyonu esnasında katı durum yapışması, mandrel destekleri altında aynı bloktan gelen metalin laminar akımları arasında meydana gelir ve kesit uzunluğu boyunca ilerler. Bu kaynaklara dikiş kaynakları denir. Buna benzer olarak kaynaklar, birbirini takip eden blokların metalleri arasında da oluşur. Bu kaynaklara da alın kaynakları denir (Akaret, 1992; Duplancic ve Prgin, 1996). Dikiş kaynaklarında yeterli olmayan metal beslemesi dolayısıyla problemler ortaya çıkabilir. Alın kaynakları, deformasyon esnasında bozulan ve böylece metalik yapışmanın gerçekleşmesine izin veren oksit ve diğer yüzey tabakalarıyla kaplı iki yüzey arasında meydana gelir. Bununla birlikte, bazı yüzeylerde kaynayan yüzeylerin genişlemesi çok küçüktür, hatta ekstrüzyon esnasında kendini çekmeler bile meydana gelebilir. Bu nedenle, içi boş profillerin kalite problemleri sık sık alın kaynaklarının gevrek kırılmasıyla ortaya çıkar. Kalite kontrol amaçları için kaynakların yeri, matris dizaynı, yeni blok basılmadan önce ekstrüzyon kalıntısının uygun bir şekilde kesilmesi ve temiz çalışma koşulları dikkate alınmalıdır (Akaret, 1992).

Her yıl milyonlarca kilometre uzunluğunda ekstrüzyon kaynakları gerçekleştirilmesine rağmen, bu kaynaklar kalite problemlerinden ve araştırmalardan uzak kalmışlardır. Ekstrüzyon kaynaklarında, yaygın birleştirme yöntemleri için uygun kriterler ve zorunlulukların birçoğu mevcut değildir. Kaynağın bütünü boyunca, malzemenin kompozisyonu ve sertliği sabittir, doldurucu herhangi bir metal bulunmamaktadır. Bu nedenle; içi boş bir kesit, dolu bir kesitin şekillendirilmiş bir parçası olmaktan çok, bir birleşme olarak düşünülmelidir. Ekstrüzyon kaynaklarını diğer birleştirme yöntemleriyle karşılaştırdığımızda; kalite, dizayn esnekliği, estetik ve maliyetlerin azaltılması yönlerinden birçok belirgin avantajlara sahiptirler.

Bazı durumlarda ekstrüzyon kaynaklarının gevrek kırılması, üretimin diğer aşamalarında, hatta bazen bu gevrek kırılma, daha yüksek dayanımlı 6xxx serili alüminyum alaşımlarından ekstrüzyon edilmiş et kalınlığı fazla olan geniş kesitli profillerde bile meydana gelebilir. Bu nedenle, üretim kapasitesinin sınırları içerisinde, ekstrüzyon kaynaklarının kalitesi açısından bazı tanımlamalarının yapılabilmesi oldukça faydalıdır.

Ekstrüzyon kaynakları, özel ürünlerin ekstrüzyonuna entegre edilebilir. Çubuk ve telleri de içeren dolu kesitler için kaynak; takımların kaynama ceplerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilirler. Bir veya birçok boşluğa sahip delik kesitlerin ekstrüzyonunda kaynak,

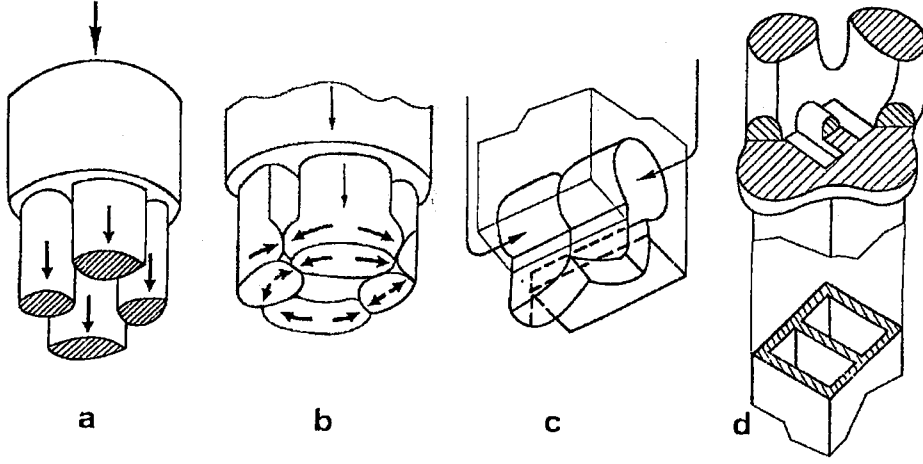
portlarda ve kaynama odalarında meydana gelir.İçi boş profillerin ekstrüzyonu için, dış çevreyi belirleyen matris plakasına ilave olarak, iç şekli belirleyen ve mandrel olarak adlandırılan ikinci bir takım gereklidir. Mandreli sabitlemek için de destekler kullanılır. Destekler, aksenal itmeyi ve radyal kuvvetleri matris plakasına iterek, mandrelin yer değiştirmesini minimize ederler.

Ekstrüzyon kaynağı bir katı durum yapışmasıdır. Bu işlemde, iki dolu hacim yüzeyleri içten birbirine temas etmeye başlar ve daha sonra yapışır. Tam bir yapışmanın meydana gelebilmesi için karşılaşılan yüzeyler arasındaki boşluk, herhangi bir noktada atomlar arası mesafe mertebesinde olmalıdır. Mükemmel ve temiz yüzeyler haricinde, bunu sağlamak için; pürüzlülükler ezilmeli, yüzey tabakaları parçalanmalı ve temiz metale sahip yeni yüzeyler karşılaştırılmalıdır (Akaret, 1992).

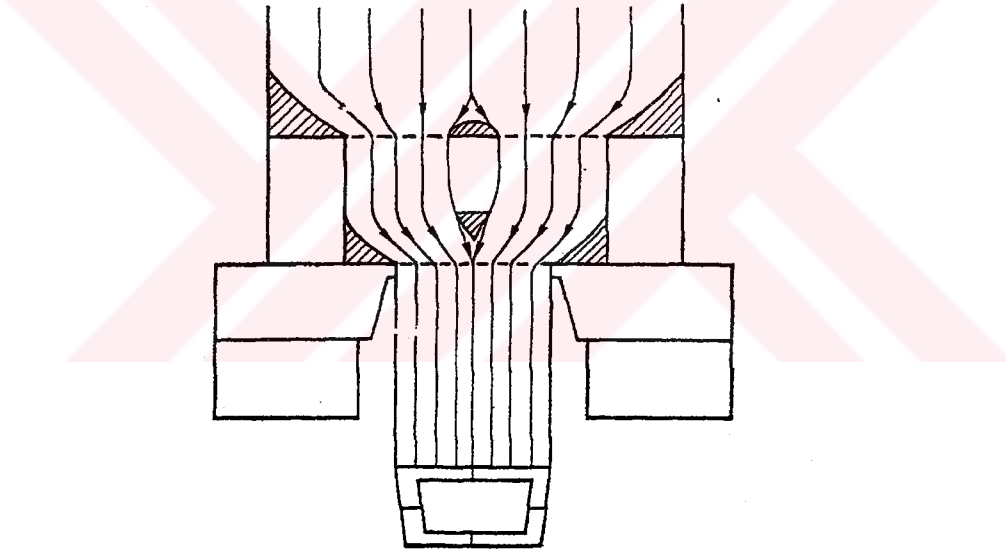
## 2.1 Dikiş Kaynakları

Porthol matrisle, içi boş profillerin ekstrüzyonunda metal akışı karmaşık ve üç boyutludur. İçi boş bir profilin ekstrüzyonu, profilin iç şeklinin karmaşıklığına göre üç yada dört adımda tanımlanabilir. Bu adımlar Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekil 2.1a, matris yüzeyindeki portların sayısı kadar bölünen metal akımlarını gösterir. İkinci adımda; her metal akımı, mandrel desteklerinin altındaki boşluğa doğru teğetsel olarak akan iki küçük akımı oluşturur (Şekil 2.1b). Kaynama odalarında, iki porttan gelen metalin iki akımı bir araya gelmeye zorlanır. Böylece bu iki akımın ön uçları, kaynak için önceden gerekli olan yakın temasa geçerler. Bu ikinci adımın sonunda, iç boşluğu yada boşlukları çevreleyen bir halka meydana gelir. Eğer ekstrüzyon edilecek şeklin kesiti birden fazla boşluk içeriyorsa; diğer bir yana ekstrüzyon adımı, bir mandrelin oluşturduğu bir çok boşluklar arasındaki bölgeyi oluşturmak için gereklidir (Şekil 2.1c). Son adımda; iç boşluk yada boşluklara sahip kesit, iç boşluklar arasındaki çerçeveden ekstrüzyon edilir ve son şeklini alır (Şekil 2.1d). Burada, metal akımları arasındaki temas yüzeyi büyük miktarda genişlerken ve hala basınç altında iken ekstrüzyon kaynağı oluşur (Akaret, 1992; Valberg, 1996b).

Bazı yanlış anlamalar açısından, ekstrüzyon kaynağı sırasında oluşan işlemler, detaylı bir incelemeye gereksinim duyarlar. Uygulanan ıstampa hızlarında atalet kuvvetleri, takım boyunca yapışma sürtünmesinin üstesinden gelmek için gerekli olan kuvvetlerle karşılaştırıldığında önemsizdir. Tahmin edileceği gibi, mandrel destekleri çevresinde ve altında metal akışı tamamen laminerdir ve desteklerin hem giriş hem çıkış kısımlarında ölü metal bölgesi oluşur (Şekil 2.2). Metalin ergimiş hale geldiği yada lapa gibi olduğu ve



Şekil 2.1 İç boşluklara sahip bir kesitin ekstrüzyonundaki ardışık adımlar: a) portlara giriş, b) kaynama odalarının dolması, c) iç boşluklar arasındaki bölgenin doldurulması, d) şeklin ekstrüzyonu (Akaret, 1992).

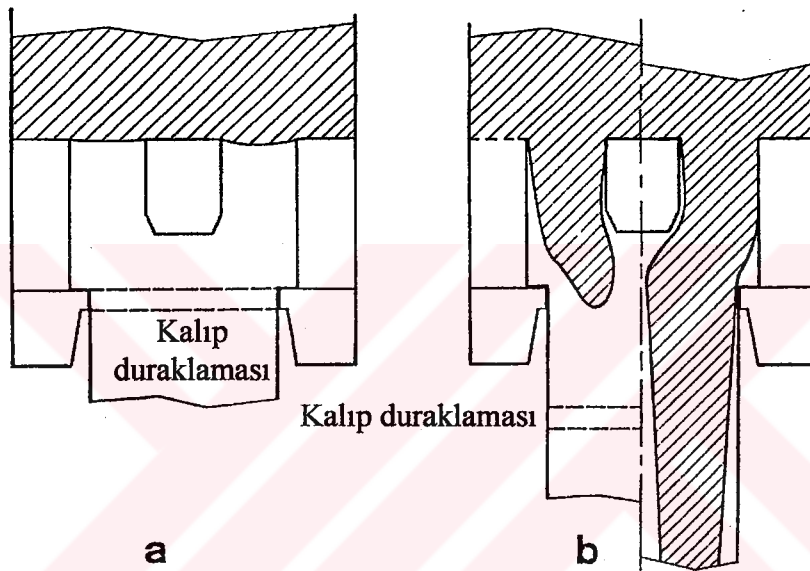


Şekil 2.2 Porthol matris içerisinde laminer akış ve taralı kısım olarak görülen ölü metal bölgeleri (Akaret, 1992).

## 2.2 Alın Kaynakları

Sürekli ekstrüzyonda birden fazla blok ekstrüzyon edilmektedir. Her ekstrüzyon stroğunun sonunda ekstrüzyon kalıntısı (ara iş) kesilip uzaklaştırıldıktan sonra, matris portları metal ile dolu kalmaktadır. Aynı durum kaynama plakalı ve cepli matrislere de uygulanır. İstisna olan köprülü matrislerdir. Bu matrisler her ekstrüzyon stroğunun sonunda boşaltılırlar.

Önceki bloktan kalan ekstrüzyon kalıntısı uzaklaştırılarak bir sonraki blok ekstrüzyon edildiğinde; bloğun ön yüzü, daha önce portlarda kalmış metal (önceki bloktan kalan) ile temasa geçer (Şekil 2.3a). Sonradan ekstrüzyon edilen blok ile matriste kalan metal ile kaynama meydana gelir. Temas yüzeyleri sırasıyla; portlar, kaynama odaları boyunca ve ekstrüzyon edilen ürünün içerisine girip yayılırlar (Şekil 2.3b). Ekstrüzyon kaynağının bu ikinci tipine alın kaynağı denir. Yeni ve temiz bir matristen ilk blokla ekstrüzyon edilecek kesit, sadece dikiş kaynağı taşıyabilir. Ancak, ilk bloktan sonra yapılacak bütün ekstrüzyonlar alın kaynağı taşıyacaktır. Ekstrüzyon edilen dolu kesitler, sadece alın kaynağı taşırlar (Akaret, 1992).



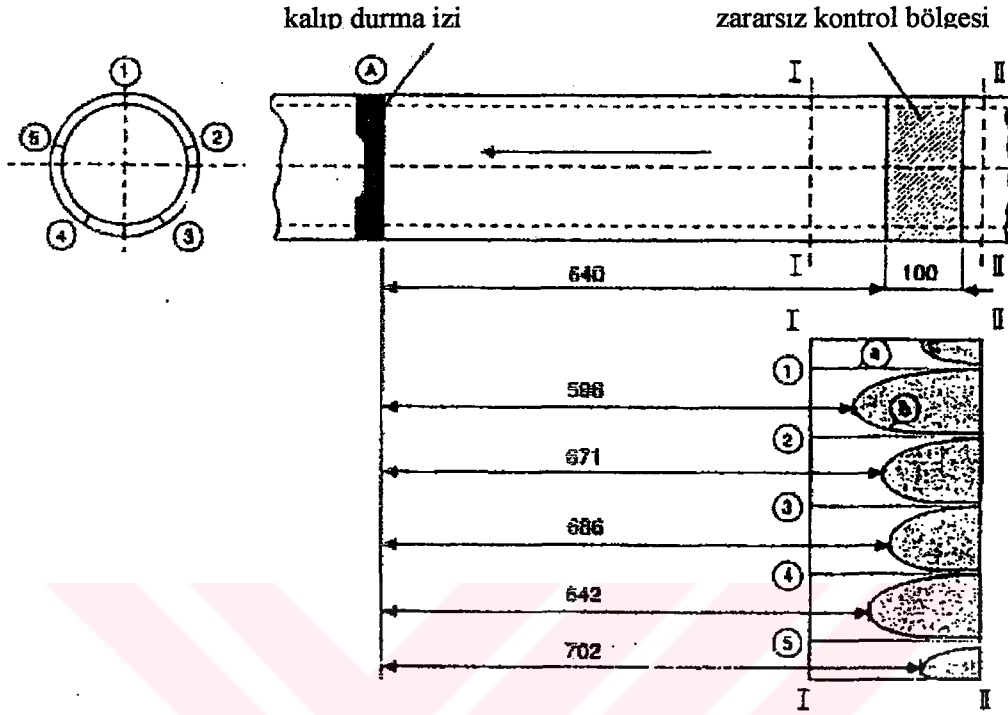
Şekil 2.3 Alın kaynağı: a) yeni bloğun basılması, b) alın kaynağının ilerlemesi (Akaret, 1992).

### 2.3 Kalıp Durma İzi ve Alın Kaynaklarının Yeri

Ekstrüzyon edilmiş ürünlerin dış yüzeyinde görülebilen kalıp durma izinin, alın kaynağı olarak adlandırılması yanlıştır. Daha önce belirtildiği gibi, ekstrüzyon stroğunun sonunda matris hala bir önceki bloktan kalan metalle doludur. Bir önceki bloktan matriste kalan metalin üçte biri ile üçte ikisi arasındaki metal, yeni bloğun metaliyle yer değiştirmedikçe alın kaynağının uç kısmı matristen çıkmaz (Akaret, 1992; Duplancic ve Prgin, 1996).

Bir profildeki alın kaynağının yerini tespit etmek çok zordur. Alın kaynağının yerini tespit etmek için bir yol; her ekstrüzyon stroğunun sonunda görülebilen, profil yüzeyindeki kalıp durma izini bulmaktır. Ekstrüzyon işleminde önce kalıp durma izi, onun arkasından da alın kaynağı matristen çıkar. Şekil 2.4'te, beş porta sahip bir matris vasıtasıyla gerçekleştirilen ekstrüzyon işleminden sonra, profil yüzeyindeki alın kaynaklarının yeri kalıp durma izinden

sonra belirtilmiştir. Profilin yüzeyindeki kalıp durma izinin biçimi (Şekil 2.4'te A pozisyonu), matris kanalının uzunluğu ve biçimine bağlıdır (Duplancic ve Prgin, 1996).



Şekil 2.4 Beş portlu bir porthol matris vasıtasıyla ekstrüzyon edilen profildeki alın kaynaklarının yeri (Duplancic ve Prgin, 1996).

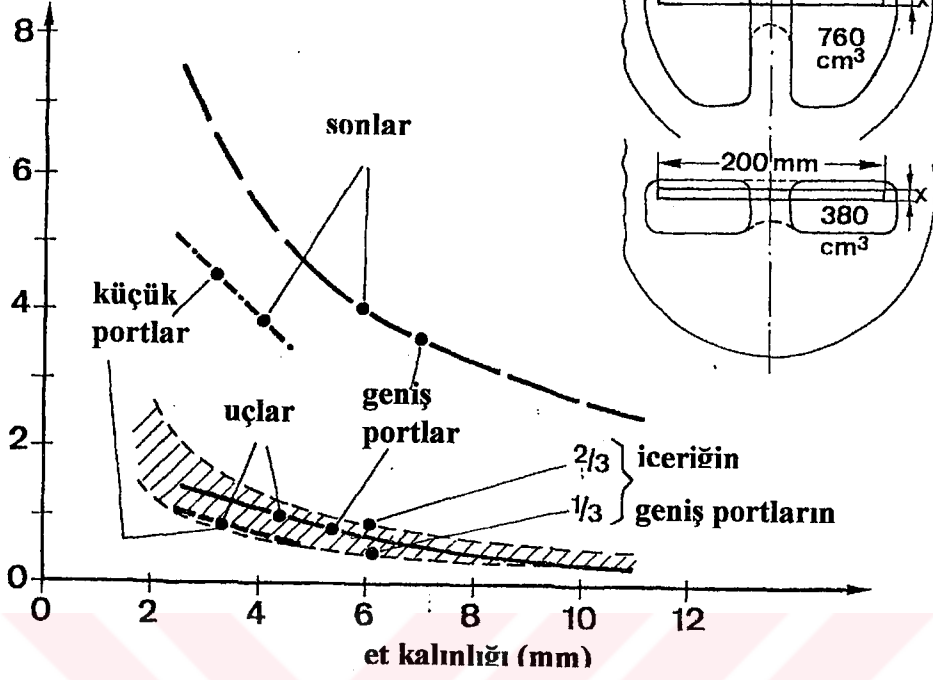
Akaret (1992), kalıp durma izinden alın kaynağının ucunun mesafesini, iki deneysel matris vasıtasıyla, ekstrüzyon edilen sabit genişlikteki düz bir kesitin kalınlığına bağlı olarak göstermiştir (Şekil 2.5). Deney matrislerinden biri geniş, diğeri dar portlara sahiptir.

Ekstrüzyon ilerledikçe, profilin kesit alanının artan bir bölümü, yeni bloktan gelen malzeme tarafından doldurulur. Sonuçta alın kaynağı, her bir porttan gelen metal akımının çevresine doğru yaklaşır. Ekstrüzyon edilen profil uzunluğunun büyük kısmı boyunca, alın kaynakları iç ve dış yüzeylere yakın olarak bulunurlar ve dikiş kaynaklarının her iki tarafında da meydana gelirler (Şekil 2.6).

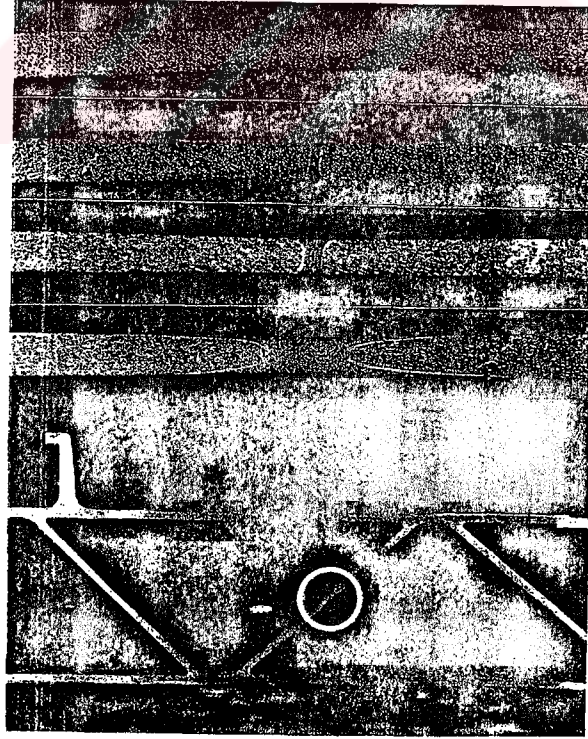
#### 2.4 Ekstrüzyon Kalıntısının (Ara İş) Uzaklaştırılması

Daha önceden de belirtildiği gibi, direkt ekstrüzyon yönteminde genellikle bloğun tamamı ekstrüzyon edilmez. Bloğun bir miktarı ekstrüzyon kalıntısı olarak bırakılır. Daha sonra bu ekstrüzyon kalıntısı kesilerek hurdalığa sevk edilir. Alın kaynaklarında kalite problemlerine yol açmayacak şekilde, temiz bir kesme işlemi yapabilmek çok güçtür. Bundan dolayı matris portlarından ekstrüzyon kalıntısının kesilmesi oldukça önemli bir işlemdir.

kalıp durma izinden  
uzaklık (m)



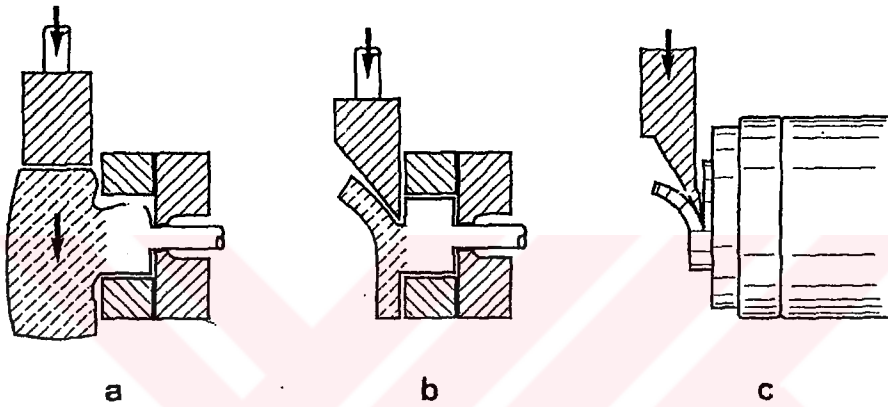
Şekil 2.5 Kalıp durma izine göre alın kaynaklarının yeri (Akaret, 1992).



Şekil 2.6 Dikiş kaynaklarına yaklaşan alın kaynakları. a) delikli kesitin bir kenarı, b-e) daire içindeki kaynağın kalıp durma izinden 1, 1,5, 2 ve 2,5 m sonraki hali (Akaret, 1992).

Ekstrüzyon kalıntısı; bir taraftan makas diğer taraftan da matris yüzü tarafından kesilir (Şekil 2.7a). Burada makasa itme hareketi verilerek kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu tür kaba bir kesme işlemi esnasında, bir kısım metalin porttan dışarı doğru çekilmesi mümkündür. Bunun sonucunda da, yeni bloğun ekstrüzyonu sırasında hava kabarcıkları görülebilir.

Diğer bir yöntem, gerçek bir kesme kenarı bulunan bir makas bıçağı kullanmaktır. Kullanılacak bu bıçak, matris yüzeyine çok yakın hareket edecektir. Bu düzenleme, ince bir ara iş gerektirir. Ara iş ince olurca, kıvrılacağından dolayı makasın hareketi yönünde makasa yol açacaktır (Şekil 2.7b).



Şekil 2.7 Matris ceplerinden veya portlarından ekstrüzyon kalıntısının kesilmesi yöntemleri: a) itici, b) ince ara iş, c) ara iş içinden kesme (Akaret, 1992).

Diğer iki yönteme göre yeni olan bir yöntemle; kesme işlemi portlar boyunca yapılmak yerine, doğrudan doğruya ara iş içerisinde yapılmaktadır (Şekil 2.7c). Böylece matris yüzeyinde bir tabaka kalmaktadır. Bu yöntem mantıklı olmasına rağmen, daha fazla kesme kuvvetlerini de beraberinde getirebilir.

## 2.5 Ekstrüzyon Kaynaklarının Metalurjisi

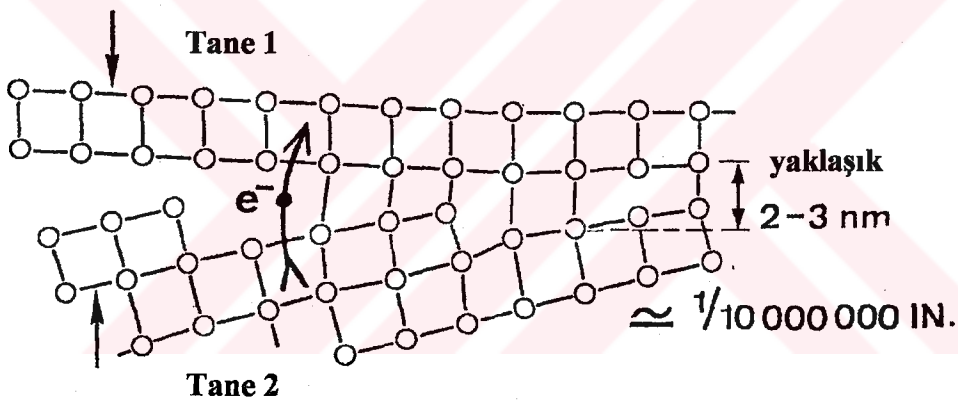
Ekstrüzyon kaynakları esas olarak, suni tane sınırlarının bir düzlemidir. Diğer katı hal yapışmalarında olduğu gibi, ekstrüzyon kaynaklarında da yapışan ara yüzeylerin küçük yada büyük kesit alanı; birbirleriyle karşılaşan ara yüzeylerin genişlemesine bağlı olarak, hala daha önceki yüzey tabakalarının partiküllerinden oluşmaktadır. Ayrıca, komşu bölgelerdeki metal, daha uzak bölgelerdeki metalden; bölgesel gerinimler, tane ve alt tanelerin ölçüleri bakımından ve intermetaliklerin boyutlarına ve dağılımlarına göre farklı olabilir.

Suni tane terimi, herhangi bir noktada birbirine olan mesafeleri intermetalik ölçüde olan iki metal hacmi arasındaki ara yüzeyi belirtir (Şekil 2.8). Serbest elektronlar, bu tür ara yüzeyi

herhangi bir diğere tane sınırnı geçebildikleri gibi kolaylıkla geçebilirler. Bunun sonucunda meydana gelen yapışma, mükemmel bir yapışma olur.

Katı halde mükemmel yapışmanın meydana gelmesindeki esas engel, birbirleriyle karşılaşacak yüzeylerin bulaşıklığıdır. Alüminyum oksit, ana metalden serttir; kaynama yüzeyi gerildiği zaman ince parçacıklara ayrılır ve bu parçacıklar arasındaki boş alanlardan temiz metale sahip olan bölgeler birbirleriyle temas ederek katı hal yapışmasını oluştururlar.

Yapışmanın oluşmasını önleyen ana engel olan bulaşıklıklar, çoğu zaman grafit yada blok yüzeylerinden veya ekstrüzyon kalıntısının kesilmesi sırasında makastan gelen yağlayıcı kalıntılardır. Bu bulaşıklıklar kolaylıkla alın kaynağının ara yüzeyine yayılabilirler. Şayet bulaşıklıklardan dolayı moleküler kalınlıkta bir tabaka meydana gelirse; bu tabaka, birbirleriyle karşılaşacak yüzeyler arasına girebilir ve bunun sonucunda da yapışmayı önleyebilir.



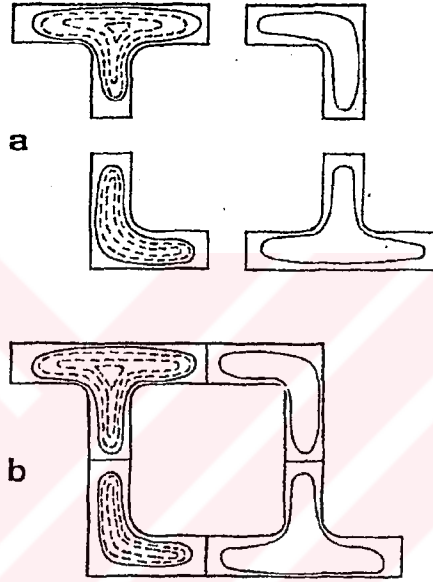
Şekil 2.8 Katı hal yapışması (Akaret, 1992).

Dikiş kaynaklarıyla kıyaslayınca, alın kaynaklarının bulaşıklık içermesi çok daha kolaydır. Kostikte yapılan dağlama işleminden sonra yapılan gözlemede, dikiş kaynaklarının bulunması gereken bölgelerde görülen aslında alın kaynaklarıdır. Burada gözlemcinin göreceği, dikiş kaynağının her bir tarafında birer tane olmak üzere iki paralel çizgidir ve bu çizgiler, dış ve iç yüzeylere yaklaştıkça kıvrılmaktadır (Şekil 2.6). Üst üste binmiş dağlanmış oyukların bu sıraları; ya blok yüzeyinden gelen oksit partikülleri yada makas bıçağı, matris yüzü yada metalin yapışmasının önlenmeye çalışıldığı herhangi bir kısımdan kaynaklanan dağılmış hidrokarbon yağlayıcılar nedeniyledir.

İçi boş bir kesit gerçekte, bir çok düzlem ve köşelerin, T yada I şekillerinin bir bileşimidir. Bu bileşimlerin her biri aynı şekillerin ayrı ayrı ekstrüzyon edilmeleri halinde taşıyacakları tipik



yapısal karakteristiklerin tümüne sahiptir (Şekil 2.9a). En önemli özellik, daha az işlenmiş iç kısımlar ile daha ağır işlenmiş çevre kısımlardır. İç kısımda, döküm yapısının taneleri düz şeritler şeklinde deforme olmuş ve kalınlık yönleri en yakın ekstrüzyon yüzeyine dik olacak şekilde düzenlenmiştir. Döküm yapısının tane sınırındaki intermetalik partiküllerin yığılması, uzun kırımlar içerisine çekilmiştir. Bununla birlikte dikiş kaynakları, iki çevre tabakanın arasında bulunmaktadır (Şekil 2.9b). Bu tür malzemelerin mikroyapı karakteristikleri, düzgün tane sınırının yokluğu ve intermetalik partiküllerin gelişmiş dağılımıdır.



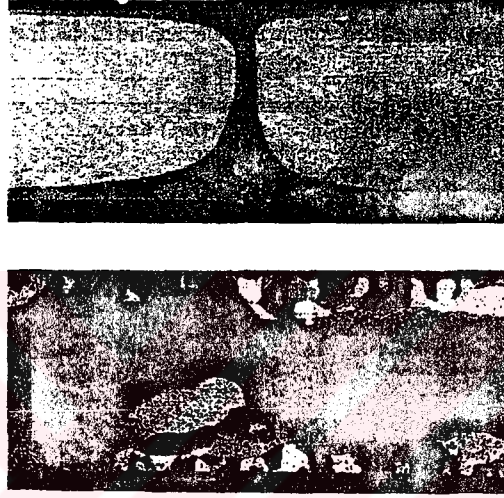
Şekil 2.9 Lifli iç bölgeler ve bünyesi oluşmamış çevre tabakaları: a) ayrı ayrı ekstrüzyon edildiklerinde, b) içi boş bir kesit olarak ekstrüzyon edildiklerinde (Akaret, 1992).

Kaynak bölgeleri, ekstrüzyon işlemi sırasında yada daha sonraki ısıl işlemler sırasında ilk önce yeniden kristalleşirler. Eğer kısmi bir yeniden kristalleşme oluşursa, kaynama bölgesinin bütünü boyunca kaba tane yapısı oluşur. Bu durumda kaynama bölgeleri lifli bölgelerle karşılaştırıldığında, daha zayıf bir yapıya sahip olacaktır (Şekil 2.10). En çok istenen durum, yeniden kristalleşmenin tamamen meydana geldiği durumdur. Bu durumda, kaynak bölgesindeki tane boyutu en iyi tane boyutudur ve dolayısıyla akma dayanımı en yüksek değerine ulaşacaktır.

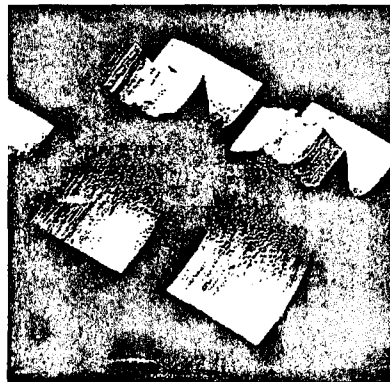
Anodizasyondan sonra, kaynama bölgesi komşu bölgelerden parlaklık farkından dolayı kolaylıkla ayırt edilebilir. Alaşıma ve ekstrüzyon koşullarına bağlı olarak bu tür farklılıklar,

dağlanmış oyuk yoğunluğundaki yada yeniden kristalleşmiş boyut ve şekil yönelmelerindeki farklılıklar nedeniyle ortaya çıkar.

Ekstrüzyon kaynaklarının her iki tarafında da şerit şeklinde taneler, kalınlık yönleri kaynayan ara yüzeye dik olacak şekilde dönmüştür. İçi boş kesitler düşünüldüğünde, bu yönelme aslında genişlik yada çevresel yöndedir. Kırılmanın, tane sınırında bileşiği meydana getiren, intermetalik tabakalar boyunca meydana gelmesi mümkündür. Şekil 2.11'de görülen numuneler, ekstrüzyon kaynağının dışında fakat, ekstrüzyon kaynağına paralel olarak kırılmışlardır. Bu durum da, numunelerin enine yöndeki düşük sertliklerine işaret eder.



Şekil 2.10 Ekstrüzyon kaynağı içeren kenar boyunca kesit: a) dikiş kaynağı boyunca ağır bir şekilde işlenmiş çevresel bölge, b) çevre bölgelerden ve kaynak bölgelerinden başlayan yeniden kristalleşme (Akaret, 1992).

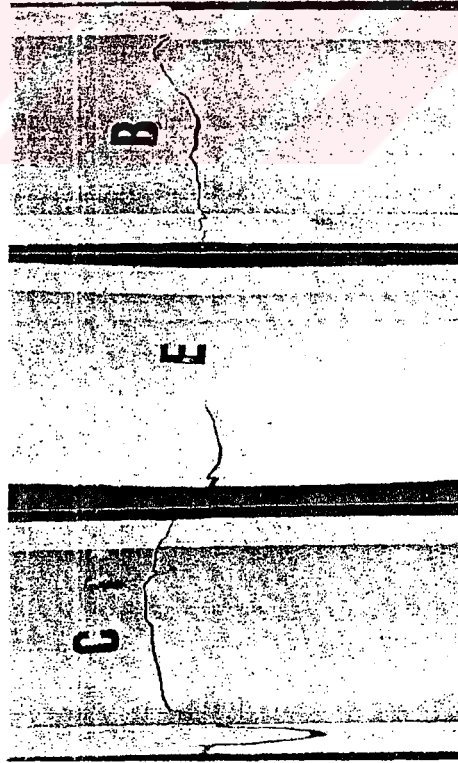


Şekil 2.11 Ekstrüzyon kaynağına paralel tane sınırları boyunca kırılma (Akaret, 1992).

## 2.6 Ekstrüzyon Kaynaklarının Mekanik Özellikleri

Bir profildeki ekstrüzyon kaynaklarının ve bu kaynaklara yakın bölgelerin mekanik özellikleri, kaynak bölgelerinden belli bir uzaklıkta bulunan bölgenin mekanik özelliklerinden farklı olabilir. Yapılması gereken mukayese; kaynak bölgesinin ana malzemedan daha zayıf olup olmadığıdır. Bir grup mekanik testler uygulanarak bu cevaba varılabilir.

Kaynaklı bölgeye sahip bir düz çekme numunesi, birçok durumda akma yada nihai çekme dayanımında önemli bir azalma göstermez. Buna karşılık, uzamalar daha düşük olabilmektedir. Kesitteki küçülmenin ve kırılmanın, kaynaklı bölgede olması zorunlu değildir. Fakat, kaynak bölgesinde bir kırılma meydana gelirse, kırılma bölgesi bazı açıklayıcı bilgilere işaret edebilir. Kırılma gerçekleşmeden önce, kırılacak bölgenin alanında meydana gelen azalma, ana malzemedan (kaynaksız malzeme) alınan numuneden daha az olabilir. Kırılma yüzeyinin bir bölümü, ufak çukurlu yumuşak kırılma yüzeyinin kaba görünüşüyle farklı bir görünüşe sahip olacak şekilde düz olabilir. Numunenin iki yarısı bir araya getirildiğinde, genellikle bu düz alanların arasında açıklık kalır. Bu da, bu bölgenin kırılma başlangıç noktası olduğuna işaret eder. Yapılan metalografik incelemeler, bu düz alanların dikiş kaynakları boyunca ilerleyen alın kaynaklarında mevcut olduğunu göstermiştir.



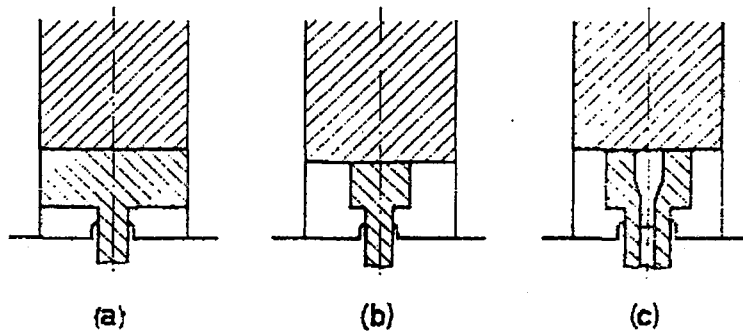
Şekil 2.12 Bükülme yorulması testinde, profilin duvarlarındaki alın kaynağı boyunca nihai kopma (Akaret, 1992).

Öte yandan, eğer bir profilden alınan numunede ilerleyen çatlak, ekstrüzyon kaynağına varıp yırtılma meydana getirirse; çatlak, yönünü aniden değiştirip kaynağı takip edebilir. Bu da, çatlağın zayıf yada kırılğan olduğu yönünde bir etki yaratabilir. Şekil 2.12'de, bükülme yorulması testine tabi tutulmuş profillerin duvarlarından uzunlamasına alınmış kesitler görülmektedir. Burada alın kaynağının yorulma ömrüne etkisi oldukça azdır. Çünkü, çatlaklar oldukça geç bir zamanda başlamışlardır. Bununla birlikte, nihai kırılma esnasında çatlaklar; alın kaynağı boyunca bir süre ilerlemişler, hatta belli bir zaman sonra alın kaynağının uç noktasının çevresine kadar varmışlardır.

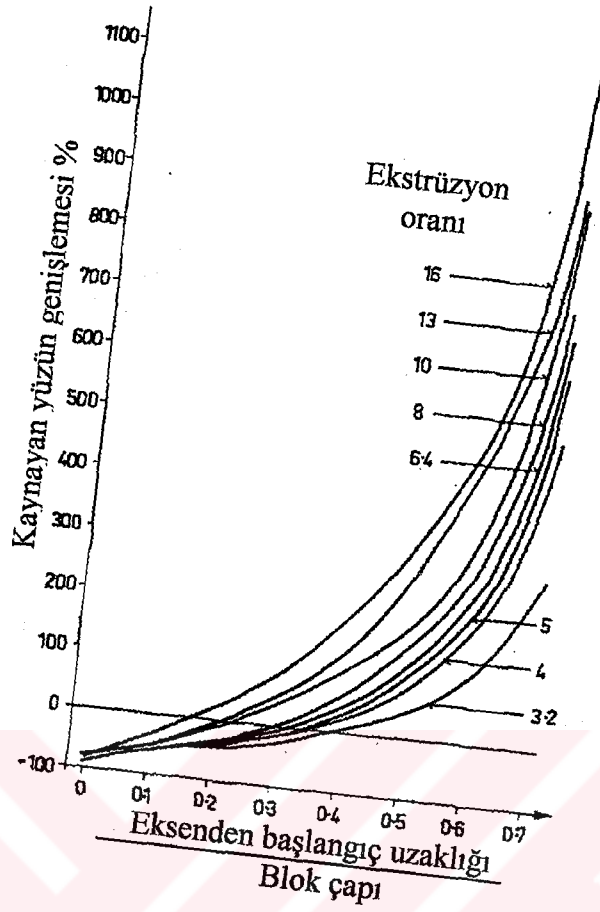
### 2.6.1 Alın Kaynaklarının Mekanik Özellikleri

Daha öncede belirtildiği gibi alın kaynakları, ardışık blokların metalleri arasındaki kaynaktır. Şekil 2.13, iki ardışık metal arasındaki matris tiplerini gösterir. Üç durumda da kaynak, atmosferik oksidasyona yeni maruz kalmış yüzeyler arasında meydana gelir. Kaynak oluşumu için gerekli basınç; sırasıyla alıcı, kaynama odası yada matris girişiyle nihai kesitte belirlenen kesit alanındaki azalmaya bağlıdır. Matris yüzeylerindeki adhezyonun ve kesit alanındaki azalmanın birleşik etkisi, lokal deformasyonları belirler.

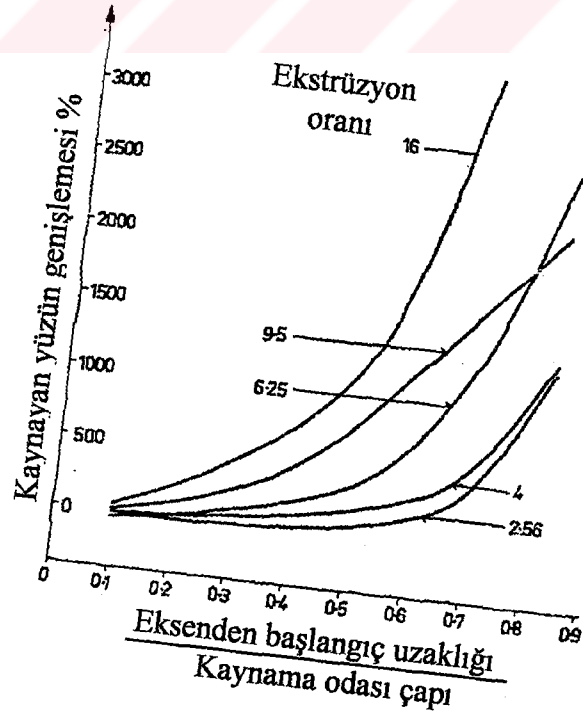
Şekil 2.14, yeni blok ile önceki bloğun kalıntısı arasında oluşan ara yüzeyin, Şekil 2.13'ün karşılığı olan işlemden nasıl kısmen büzüldüğünü ve nasıl kısmen genişlediğini gösterir. Bütün ekstrüzyon oranlarında, blok ekseninin bölgesindeki ara yüzey, büzülme göstermiştir. Buna karşılık, daha uzak bölgelerde genişleme göstermiştir. Ekstrüzyon oranları yükseldikçe, büzülmeden yayılmaya geçiş orta kısımlara daha yakın olmuştur. Şekil 2.15, Şekil 2.13b'de gösterilen bir tipteki kaynama odasındaki blok ile kalıntı ara yüzeyinin durumunu içermektedir.



Şekil 2.13 Alın kaynaklarının oluşumu: a) kalıntının alıcıda bırakılmasıyla, b) kaynama odalı bir matriste, c) İçi boş bir profilin ekstrüzyonu için matris girişlerinde (Akaret, 1972).

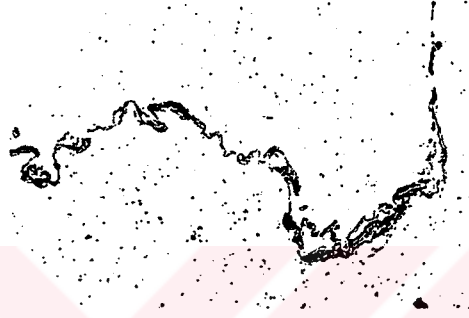


Şekil 2.14 Şekil 2.13a'deki gibi önceki blok kalıntısı ile yeni blok arasında kaynayan yüzeyin büzülme ve genişlemesi (Akaret, 1972).



Şekil 2.15 Şekil 2.13b'deki gibi kaynama odasında kalan malzeme ile yeni blok arasında kaynayan yüzeyin büzülmesi ve genişlemesi (Akaret, 1972).

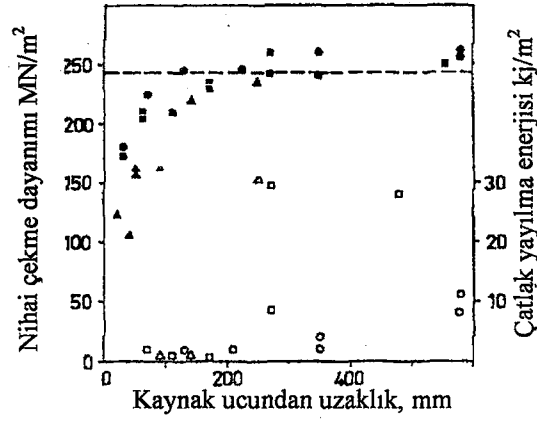
Niteliksel olarak benzer durumlar, Şekil 2.13c'deki gibi bir matrizen içi boş profillerin ekstrüzyonunda da meydana gelir. İç boşluklara sahip kesitin her bir bileşeninin epey zayıf biçimi genellikle ara yüzeyin ilave genişlemesiyle sonuçlanır. Makroskobik ölçekte, ara yüzey büzülmesinin olduğu alın kaynağının oluşturduğu eğrinin yakınında yüzey makroskobik ölçekte dalgalı ve dolambaçlı bir şekil almadıkça daha geniş hale gelmez (Şekil 2.16). Böylece ara yüzeyin bu bölgesinde bile belli bir derecede kaynak meydana gelir.



Şekil 2.16 Makroskobik büzülme bölgesinde alın kaynağının dolambaçlı şekli, büyütme; X100 (Akaret, 1972).

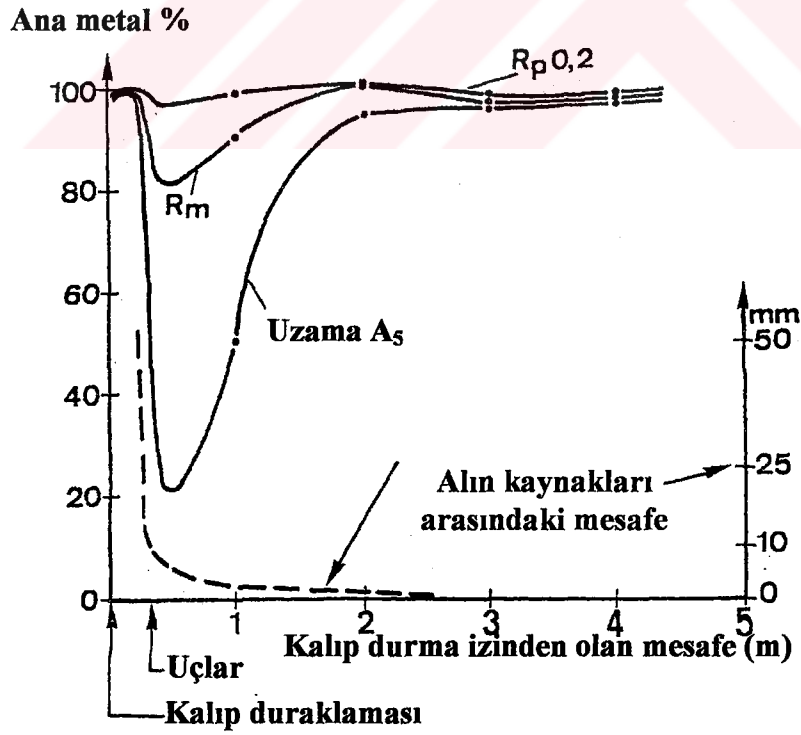
Şekil 2.17, bir blok kalıntısı ile sonraki blok arasında oluşan ara yüzeyin lokal deformasyonun farklı derecelerinin mekaniksel özelliklere nasıl etki ettiğini gösterir. Buradaki malzeme; test edilmeden önce çözelti ısı işleminden geçmiş, sulandırılmış ve yaşlandırılmış bir AlMgSi0,5 alaşımıdır. Nihai çekme dayanımı, alın kaynağının tepesinden olan uzaklığın artmasıyla artar. Benzer olarak, çatlakın yayılma enerjisi, tepeden artan uzaklığın artmasıyla artma eğilimindedir. Bununla birlikte değerler, geniş bir şekilde yayılmış ve bu değerler ana malzemenin değerlerinin altındadır.

Dolu kesit olarak ekstrüzyon edilmiş kesitin çekme kopmasına, sadece alın kaynağının tepe noktasının ara yüzeyinde çekme dayanımı azalmasına ve kopmasına yol açacak kadar geniş olmasından dolayı rastlanır. Bu durum, bölgesel zayıflamanın mevcut olduğu düşük ekstrüzyon oranlarında görülür. Yeterince yüksek ekstrüzyon oranlarında tam çekme dayanımı elde edilir. Ekstrüzyon edilen alaşım malzemesine ve ekstrüzyon koşullarına göre ara yüzeyde az yada çok çatlaklar görülebilir. Kalıntının uzaklaştırıldığı kaynama odalı matrislerde, kaynama odasının kesit alanının ekstrüzyon edilen ürünün kesit alanına oranı, kaynak kalitesini belirler (Akaret, 1972).



Ekstrüzyon oranı	Kaynayan ara yüzey boyunca nihai çekme dayanımı	Çatlak yayılma enerjisi
4	▲	△
8	■	□
16	●	○

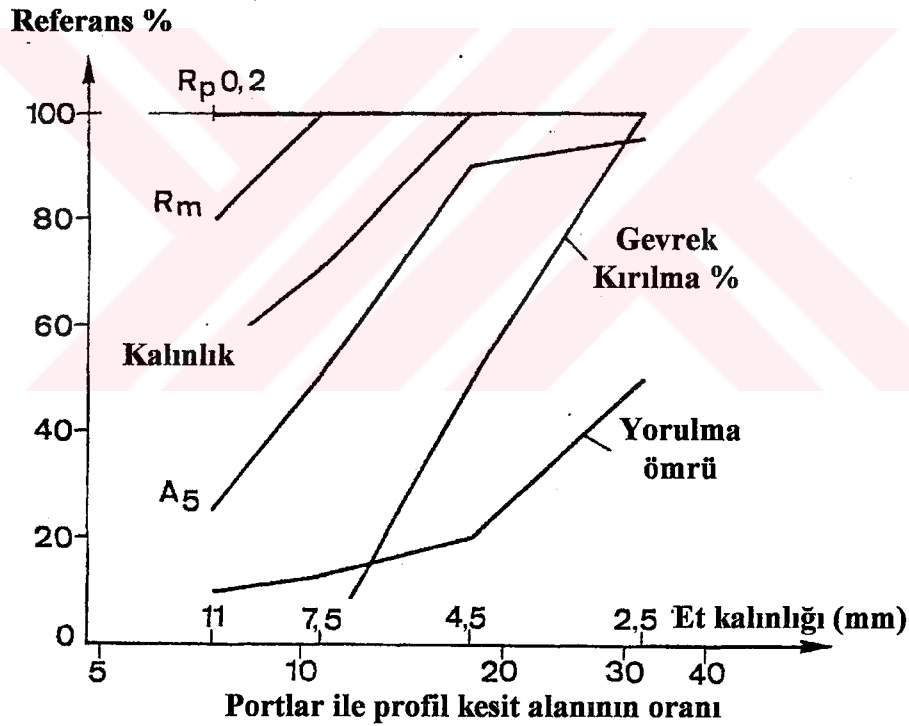
Şekil 2.17 Kaynayan yüzeydeki alın kaynağı boyunca nihai çekme dayanımı ve çatlak yayılma enerjisinin, alın kaynağının tepesinden olan uzaklığa göre grafiği, bilgiler Şekil 2a'ya göredir (Akaret, 1972).



Şekil 2.18 Kalıp durma izinden uzaklığa göre ekstrüzyon kaynağı boyunca özelliklerin değişimi (Akaret, 1992).

Kaynağın kritik mekanik özellikleri, zarar görme ve kırılma mekanizmaları esasına göre değerlendirilmelidir. Araştırma amaçları için ortalarında ekstrüzyon kaynaklarına sahip düz bir kesitin imal edilmesi olanaklıdır. Bu düz kesitin üzerindeki kalıp durma izi veya temas yüzeylerinin artışı kullanılarak, kaynak boyunca mekanik özelliklerin değişimi incelenebilir.

Şekil 2.18, her birinin kesit alanı  $8000 \text{ mm}^2$  olan iki portlu bir matrizen imal edilen  $200 \times 11$  mm boyutlarındaki düz bir kesite aittir. Burada özelliklerin konumlara bağımlılığı; alın kaynağının ucunda en küçük değerden başlayarak açıkça görülmektedir. Akma dayanımı  $R_{p0,2}$ , alın kaynağından pratik olarak etkilenmemektedir. Nihai çekme dayanımı  $R_m$  ise, bir dereceye kadar düşerken, uzama  $A_5$  üzerindeki etki çarpıcıdır. Kalıp duraklamasından yaklaşık 2,5 m sonra nihai çekme dayanımı ve uzama değerleri, orijinal değerlerine varmaktadır. Bu aynı noktada, iki alın kaynağının birbirinden ayrılması mümkün değildir ve kırılan numunelerde artık düz alanlar görülmez.



Şekil 2.19 Alın kaynaklarının uçları boyunca özellikler (Akaret, 1992).

Diğer deney numuneleri için yapılan testlerde, alın kaynaklarının uç kısımlarındaki minimum değerler, düz bir şeklin farklı kalınlıkları için belirtilmiştir. Bunun anlamı, portlar ile biçimin kesiti arasındaki farklı kesit alanları, yani farklı ekstrüzyon oranlarıdır (Şekil 2.19). Orijinal temas alanının gerinim miktarının artmasıyla, nihai çekme dayanımı hemen ana metalinki



kadar olur. Uzama, sertlik ve yorulma ömrü; kırılma davranışıyla ilişkili olarak çok daha yavaş bir oranda gelişir.

### 2.6.2 Dikiş Kaynaklarının Mekanik Özellikleri

Dikiş kaynaklarının mekanik özelliklerinin minimal değerleri için gerekli olanlar, ekstrüzyon edilmiş kesitin amacına bağlıdır. Hemen hemen bütün standartlar, işletmede çekme yüküyle karşı karşıya getirilecek içi boş profiller için, homojen malzemenin mekanik özelliklerine benzeyen mekanik özelliklere sahip dikiş kaynaklarını gerektirir (Duplancic ve Prgin, 1996).

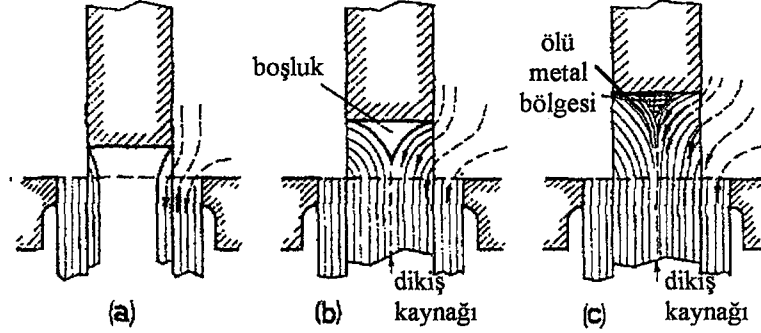
Ekstrüzyon edilmiş içi boş profiller tarafından karakterize edilen dikiş kaynaklarının oluşumu ve kalitesi hakkında çalışma Akaret (1992) tarafından başlangıç için Şekil 2.20'de gösterilen matris tipleri kullanılarak küçük deneysel preslerde gerçekleştirilmiştir. Çeşitli şekillerde biçimlendirilmiş kaynak odalı köprüler vasıtasıyla, bir I profilin kirişinde bir kaynağın oluşumu gerçekleştirilmiştir. Kiriş kalınlığına eşit kaynama odası genişliği ile metal akışının farklı tipleri, kaynama odasının yüksekliğinin değiştirilmesiyle gözlenebilir (Şekil 2.21).



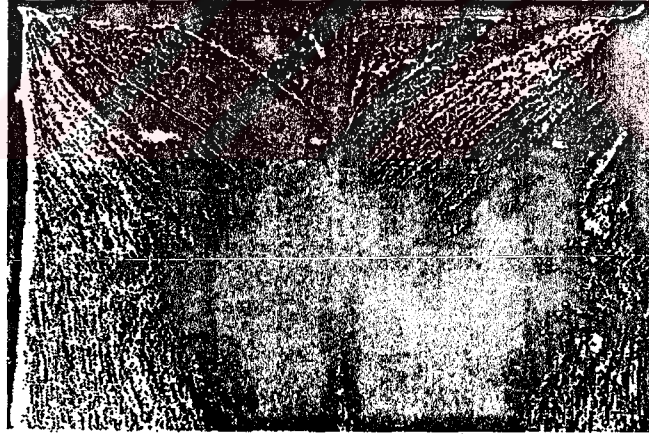
Şekil 2.20 Değiştirilebilir köprü ve kaynama odalarıyla, bir I kirişi için ekstrüzyon matrisi (Akaret, 1972).

Çok alçak kaynama odalarıyla (Şekil 2.21a), kirişin enine kesiti tam olarak dolmaz. Yalnız, her birinin ortasında birer tümsek bulunan iki yaka matristen çıkar. Daha yüksek kaynama odalarıyla (Şekil 2.21b), iki yandaki metal akımları karşılaşıyor ve matrisin çıkış yönüne doğru karşılıklı kıvrılırlar. İşlem esnasında köprünün altındaki kısım tam olarak dolmaz. Zayıf kalitedeki kaynakların sonucu olarak enine dayanım, ana malzemenin dayanımının %40'ına düşebilir, uzama fiili olarak sıfırdır ve kaynak yüzeyindeki ayrılmadan dolayı kopma meydana gelir. Sadece daha geniş kaynama odalarında matris köprüsünün altındaki boşluğu

doldurmak için gerekli basınç sağlanabilir (Şekil 2.21c). Her iki taraftan giren metal akımları, son kesit şekline deforme edilmek için akma gerilmesinden daha büyük basınç gerektirirler. Sonra, köprünün altında ölü metal bölgesi oluşur (Şekil 2.22) ve iki metal akımı arasında, bu iki akımın temas yüzeylerinin matris çıkışına doğru sürekli ilerlemesiyle dikiş kaynağı meydana gelir. Ekstrüzyon devam ederken, başka oksit yada pislikler kaynayan yüzeye ulaşamayacaklarından iyi bir kaynak kalitesi elde edilir.

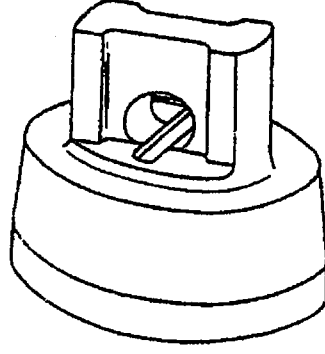


Şekil 2.21 Kaynama odalarındaki metal akış tipleri: a) çok küçük oda, eksik dolum, b) küçük oda, köprü altında boşluk, c) büyük oda, köprü altında ölü metal bölgesi (Akaret, 1972).



Şekil 2.22 Geniş bir kaynama odasından çıkan malzemenin kesiti, X5 büyütme ile ölü metal bölgesinin oluşumu görülmektedir (Akaret, 1972).

Farklı alaşımlar için bu olayı incelemek için 50 ve 60 mm çapındaki bloklar deneysel olarak preslerde ekstrüzyon edilmiştir. Şekil 2.23 de görülen tipte matrisler kullanılmış ve ortalarında dikiş kaynağı bulunan 40x8 mm boyutlarında düz kesitler elde edilmiştir. Çekme ve yırtma testlerinin bu kesitler üzerindeki sonuçları, kaynaksız kesitteki sonuçlarla karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.23 Ortasında dikiş kaynağına sahip düz bir kesit için köprülü matris (Akaret, 1972).

Sadece AlCuMg<sub>1,5</sub> ve AlZnMg<sub>1,5</sub> alaşımlarındaki numuneler, tabii ve suni yaşlandırma koşullarında çekme dayanımlarında bir azalma göstermişlerdir. Bu alaşımların kaynaklı numunelerdeki çatlak yayılma enerjisi, ana malzemedeki çatlak yayılma enerjisinin ancak yarısıdır. Bununla birlikte bu durumlarda bile, kaynak yüzeylerinde ayrılma meydana gelmiştir. Bunun sebebi; kaynaklı numunelerdeki şerit şeklinde tanelerin boyuna yönde gerilmeleri gerçeğine bağlanabilir. Aynı test koşulları altında, dikiş kaynağının her iki yanındaki şerit şeklindeki taneler enine yönde gerilmektedir ve yapılan deneyler buradaki dayanım ve sertliğin daha düşük olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.24 AlZnMg alaşımından kesitlerden, kopmuş enine çekme numuneleri: a) dikiş kaynaklı, b) dikiş kaynaklı, lifli yapıya geçiş görülmekte (Akaret, 1972).

Ekstrüzyon koşullarında lifli yapıya sahip diğer alaşımlarda, kaynaklı numuneler, çekme dayanımları sezilebilir bir şekilde etkilenmesine rağmen, çatlak yayılma enerjilerinde ana malzemeyle karşılaştırıldığında %30-50 arasında bir düşüş göstermektedir. Bu kopmaların görünüşü, ana malzemede meydana gelen kopmadan oldukça farklıdır (Şekil 2.24).

Numuneler soğuk işlenip yeniden kristalleşmenin oluşması için ısı işleme tabi tutulduğunda, dikiş kaynağına sahip kopmalarla kaynaklı malzemedeki kopma arasındaki fark azalır. Ama bu farklar tamamen kaybolmaz Akaret, 1972).

Çizelge 2.1 Bir köprülü matrisle ekstrüzyon edilen kesitlerin enine özelliklerinde, dikiş kaynağının etkisi (Akaret, 1972).

Malzemenin şartları	Nihai çekme dayanımı (MN/m <sup>2</sup> )		Çatlak yayılma enerjisi (kJ/m <sup>2</sup> )	
	0	1	0	1
Al99,5 % sadece ekstrüzyon edildiği durumda	83	85	156	153
Al + 1% Mn sadece ekstrüzyon edildiği durumda	97	103	191	208
Al + 1,5% Mg sadece ekstrüzyon edildiği durumda	142	147	262	253
Al + 2,5% Mg + 1% Mn sadece ekstrüzyon edildiği durumda	224	222	270	228
Al + 3% Mg sadece ekstrüzyon edildiği durumda	191	194	329	240
Al + 4,5% Mg + 1% Mn sadece ekstrüzyon edildiği durumda	301	294	226	138
Al + 0,5% Mg + 0,5% Si				
Tabi yaşlandırılmış durumda	178	176	264	223
Suni yaşlandırılmış durumda	224	267	115	79
Al + 1% Mg + 1%Si + 0,3 Mn				
Tabi yaşlandırılmış durumda	273	270	213	172
Suni yaşlandırılmış durumda	372	365	77	56
Al + 1% Mg + 1%Si + 1 Mn				
Tabi yaşlandırılmış durumda	279	280	165	164
Suni yaşlandırılmış durumda	365	364	109	74
Al + 4% Cu + 0,5% Mg				
Tabi yaşlandırılmış durumda	462	455	170	118
Al + 4,5% Cu + 1,5% Mg + 1% Mn				
Al + 4% Cu + 0,5% Mg	509	413	102	≈54
Al + 4% Zn + 1% Mg				
Tabi yaşlandırılmış durumda	344	334	82	66
Suni yaşlandırılmış durumda	324	315	87	67
Al + 5,5% Zn + 2,5% Mg + 1,5% Cu				
Suni yaşlandırılmış durumda	601	461	120	≈59

0 = Ana metal, 1 = dikiş kaynağı boyunca

## 2.7 Matris Dizaynı

Ekstrüzyon kaynakları için istenen şartları sağlayabilmede matris dizaynının çok önemli bir yeri vardır. Matris dizaynı, uygun matris tipini ve dizaynını seçerek ekstrüzyon kaynaklarının yerine ve biçimine ve diğer özelliklerine etkide bulunabilir. Matris dizaynı; portların sayısını, mandrel desteklerinin biçimini, kaynama odasının biçimini ve matris kanallarının biçimini belirler. Bununla birlikte, matris dizaynı bu ayrı kısımların hepsinin biçimlendirilmesiyle metal akışında direkt etkiye sahiptir. Metal akışının yavaş yada hızlı olması basınca direkt etki eder (Duplancic ve Prgin, 1996).

Kaliteli ekstrüzyon kaynaklarının oluşumu açısından matris dizaynı, aşağıdaki hususları sağlamalıdır;

- Kaynama odalarında yeterli metal beslemesi,
- Matris portlarının ve mandrel desteklerinin uygun yerleşimi, profilin kritik yerlerinde mümkün olduğu kadar kaynaklardan sakınmak,
- Portların uygun ölçülerde olacak şekilde dizayn edilmesi. Portun kesit alanı, besleyeceği şeklin kısmıyla orantılı yapılırsa; alın kaynaklarının uç noktaları sadece kısa bir bölgede toplanacak ve böylece; eğer alın kaynağının ucunun kesilip atılması gerekiyorsa bu azalmış olacaktır.

İyi dizayn edilmiş bir matris; kaynama odalarına yeterli basıncı verecek, kaynayan yüzeyin yeterince genişlemesini sağlayacak ve alın kaynaklarının bütün uç noktalarının kısa bir bölgede bulunmasını sağlayacaktır. Eğer alın kaynaklarının uçlarının profil içerisinde kalması gerekiyorsa, bu uçlar büyük uzunluklara dağıtılmalı yada büyük kesit alanına sahip matris cepleri yada portları kullanılmalıdır.

Tüm bu bilgiler dikkate alınmasına rağmen, matrislerin doğru dizayn edilip edilmediği ancak ekstrüzyon esnasında anlaşılır. Alın kaynakları ekstrüzyonda zayıf kaynaklar olarak bilindiği için; alın kaynaklarının, yeni bir şekil için yapılan ilk matriste test edilmesi önerilir. Bir matris aşağıdaki koşulları sağlamadıkça, o matristen istenen koşullar tam olarak elde edilmez;

- Uygulama hızlarında, bir kesitin bütün kısımlarını uygun şekilde beslemesi gerekir. Dikkat edilecek husus; gözler arasındaki kırılganlıktır.
- Uygun bir alın kaynağı oluşumunu sağlamak. Her bir alın kaynağının ucundan kalıp durma izine kadar olan kısım belirlenmelidir. Kalıp durma izinin arkasındaki kesilip atılacak kısmın mümkün olduğunca az olması gerekir. Alın kaynağının profil içinde

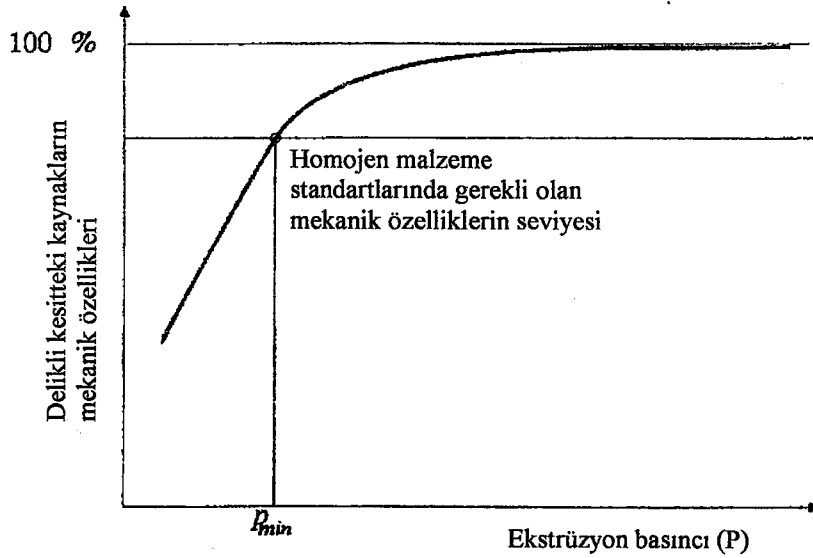
kalması gereken durumlarda; alın kaynaklarının uçlarında yeterli sağlamlığı oluşturabilmelidir (Akaret, 1992).

## 2.8 Kaynama Odası

Optimum matris dirençleri için kaynama odasının dar olması gerekir. Ancak kaynama odasındaki metal beslemesinin tam olması ve optimum basınç şartlarının sağlanabilmesi için; kaynama odasının yeterli genişlikte olması gerekir. Kaynama odasının boyutları bu iki duruma göre uygun bir şekilde düzenlenmelidir (Valberg, 1996b).

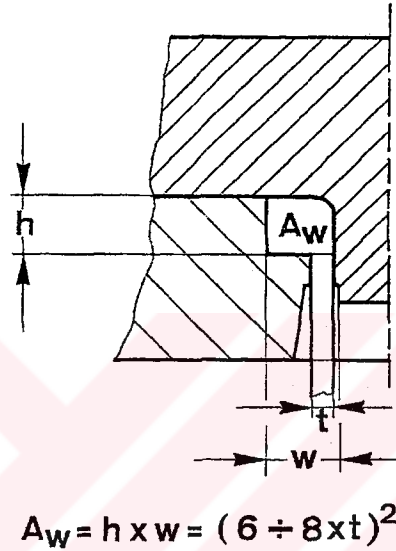
Birleşme için gerekli olan minimum ekstrüzyon basıncı, delik matrisler vasıtasıyla alüminyum delik kesitlerin bütün tiplerinin ekstrüzyonu için eşit olan basitçe tanımlanmış bir değer değildir. Minimum ekstrüzyon basıncı; matris dizaynına, blok malzemesine ve bloğun hazırlanışına ve ekstrüzyon şartlarıyla ilgili bir çok faktöre bağlıdır. Bundan dolayı delik matristeki birleşme işlemi için proses dizaynır ve matris dizaynının birçok sorumlulukları vardır. Proses dizaynır; ekstrüzyon oranı, blok, alıcı, ve matris sıcaklığı gibi ekstrüzyon parametrelerine karar vermede direkt etkide bulunur. Matris dizaynır ise, matris dizaynı ve çeşidini seçerek iyi bir birleşmenin meydana gelebilmesinde direkt etkide bulunur.

Matrisin kaynama odasındaki basıncın artırılmasıyla, dikiş kaynaklarının mekanik özelliklerinin düzeldiğini yapılan deney göstermiştir. Bu deney şekil 2.25’de görülmektedir (Duplancic ve Prgin, 1996).



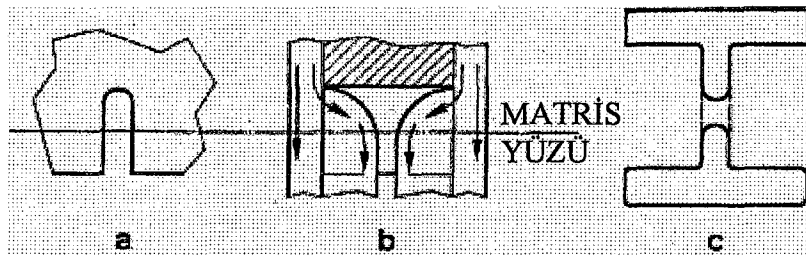
Şekil 2.25 Ekstrüzyon basıncının bir fonksiyonu olan mekanik özellikler (Duplancic ve Prgin, 1996).

Kaynama odasında yüksek basıncı sağlamak için son adımdaki (Şekil 2.1d) bölgesel ekstrüzyon oranı, şeklin herhangi bir kısmındaki oranın en az üç katı mertebesinde olmalıdır. Prensipde, bloktan şekle varıncaya kadar meydana gelen gerinimlerin toplamının mümkün olan en büyük kısmı, metal akımlarının kaynama odalarında karşılaşmalarından sonra meydana gelmelidir. Arzu edilen bir şekilde metal beslemesinin olabilmesi için, destek altındaki bölgede kaynama odalarındaki genişlik ve yüksekliğin içi boş bir kesitin et kalınlığının 6 ile 8 katında olması tavsiye edilmektedir (Şekil 2.26).

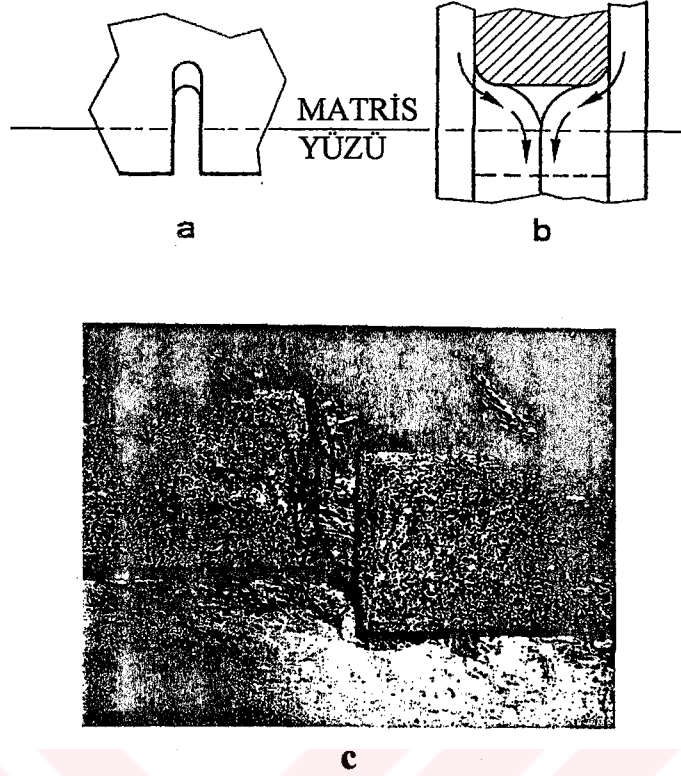


Şekil 2.26 Tavsiye edilen kaynama odası boyutları (Akaret, 1992).

Aynı mandrel tarafından oluşturulan boşluklar arasının yeterli bir metal beslemesi ile doldurulması çok zordur. Aynı kesitin birbirine komşu mandrel gözleri arasındaki krişler, boşluklardan ekstrüzyon edilirler. Bu boşluklar alçak yada dar olursa, iki taraftan gelen metal akımları arasında bir temas meydana gelmeyecek ve kaynak oluşmayacaktır (Şekil 2.27a – c).



Şekil 2.27 a–b) İç gözler arasındaki boşluk, çok düşük ve çok yakın, c) Krişin tam olarak dolmaması (Akaret, 1992).

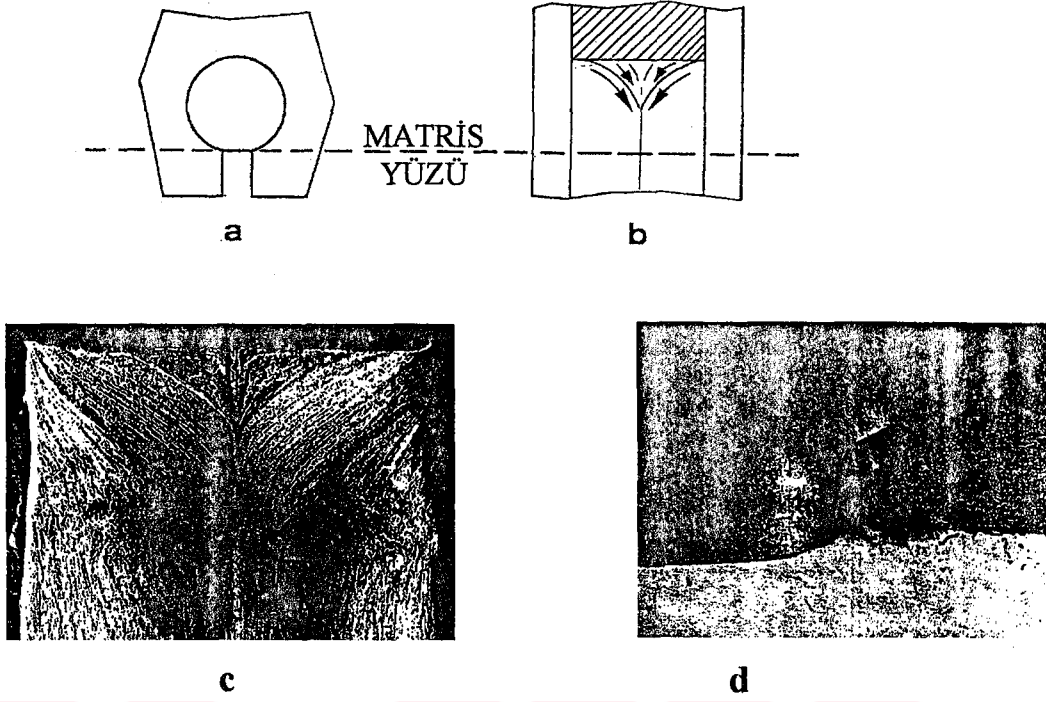


Şekil 2.28 a-b) Şekil 2.27'e göre gözler arasındaki boşluklar, c) zayıf dikiş kaynaklarında meydana gelen kırılma (Akaret, 1992).

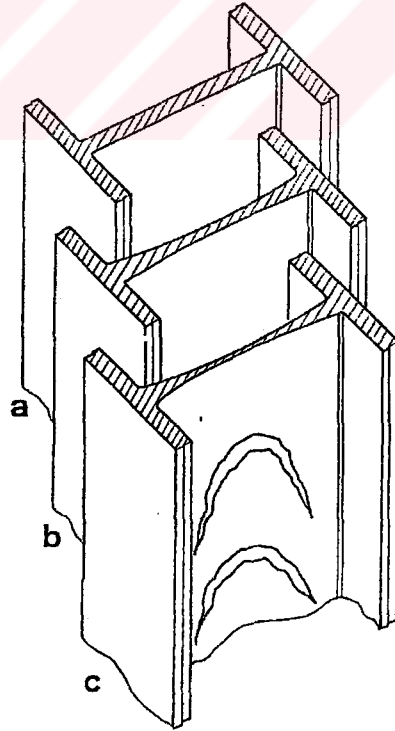
Biraz daha geniş bir boşlukla, iki taraftan gelen metal akımları temas haline gelir ve çıkış yönüne doğru kıvrılırlar. Ama bu durumda da boşluk tam olarak dolmamıştır (Şekil 2.28 a-b). Birleşme, sadece temas yüzeylerinin sırt kısmında meydana gelecektir ve dayanımı düşük olacaktır. Çekme testinde bu tip zayıf birleşmeler, kaynama yüzeylerinden kırılır (Şekil 2.28c).

Matris deliğinin tam olarak dolması ile oluşan kısmi yapışma, göreceli olarak küçük redüksiyonlarla tüp ekstrüzyonunda da görülmüştür. Boşluklardan kirişe kadar olan bölgedeki redüksiyon yeterince büyük olduğunda, yeterli bir basınç meydana gelecek ve bu da bütün boşluğu doldurabilecektir (Şekil 2.29 a-c). Mandrelin alt akış ucunda ölü metal bölgesi oluşacak ve bloğun iç kısmından gelen temiz metal akımları bir araya gelmeye zorlanacaktır. Böylece kaliteli bir dikiş kaynağı meydana gelecektir. Ancak, boşluktaki metalin akışı çok yavaş olursa; kiriş, matristen çıkmış olan kısımlardan dolayı güçlü bir şekilde çekilecektir ve sonuçta kirişte büyük incelmeler yada tekrar edilen yırtılmalar meydana gelecektir (Şekil 2.30). Bu olay daha çok yüksek hızlarda, hızlı yada yavaş akan metal akımları arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşmaktadır (Akaret, 1992).





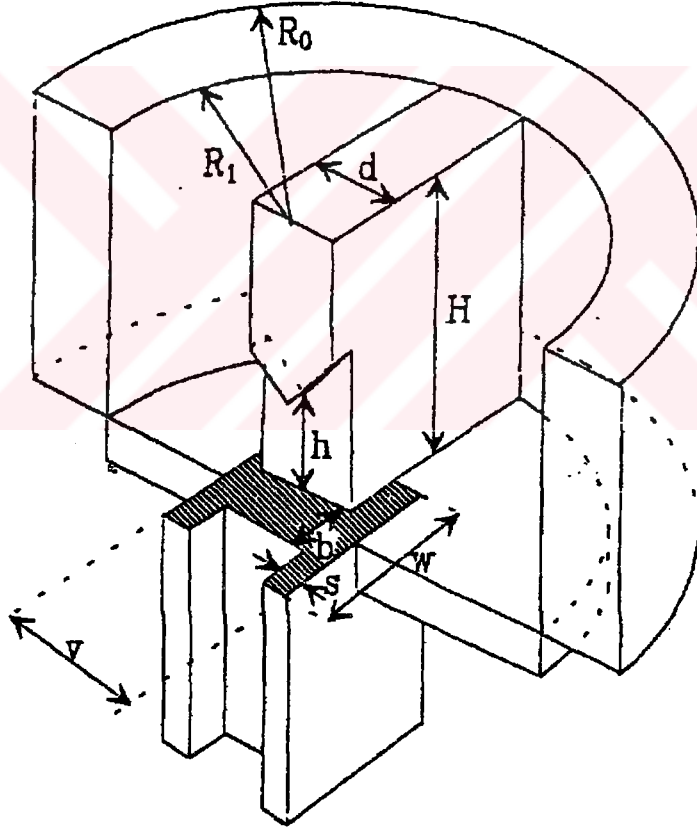
Şekil 2.29 a-b) Gözler arasındaki anahtar deliği şeklinde boşluk, c) mandrel altındaki ölü metal bölgesi, d) dikiş kaynağının dışındaki kırılma (Akaret, 1992).



Şekil 2.30 a) dolu kiriş, b) incelmış kiriş, c) yırtılmış kiriş (Akaret, 1992).

Farklı geometrideki kaynama odalarının ekstrüzyon kaynağına etkisini araştırmak için, matris köprüsünün arkasında bir gaz cebi formasyonunun yardımıyla, porthol matrislerde ekstrüzyon deneyleri yapılmıştır. Matrisler şekil 2.31’de görülen bir modüler prensipte imal edilmiştir. İmal edilen matrisler üç modülden oluşmaktadır; bir dış halka, dil (tongue) ve bir alt disk.

Bu matris tiplerinin kullanımıyla köprülerin en sonunda meydana gelen metal akışı, ekstrüzyon sonundan sonra kaynama odasından ekstrüzyon kalıntısının kaldırılmasıyla incelenmiştir. Bu yolla elde edilen çeşitli karakteristik metal kalıntıları Şekil 2.32’de gösterilmiştir. Şekil 2.32a ve 2.32b tam olarak doldurulmuş kaynama odalarındaki metal kalıntılarını gösterir. Şekil 2.32c ve 2.32d ise, kısmen doldurulmuş kaynama odalarındaki metal kalıntılarını gösterir. Bu durumda kaynama odalarında stabil gaz cepleri oluşmuştur ve ekstrüzyon stroğu sırasında orada kalmıştır.



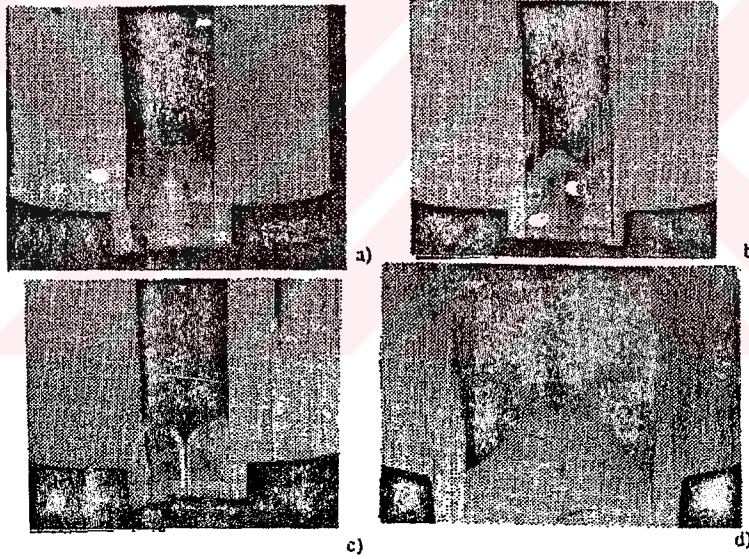
Şekil 2.31 Bir dış halka, dil (tongue) ve bir alt diskten oluşan modüler matris (Valberg, 1996b).

Şekil 2.32c, büyük hacimdeki bir gaz cebini gösterir, Bu durumla yapılan deneyde, profil girişindeki metal beslemesinin eksik olduğu ve profil içindeki gaz ceplerinin genişlediği

görülmüştür. Şekil 2.32d'de ise, köprünün en sonunda sınırlı yayılmış daha küçük bir gaz cebi söz konusudur.

Dar kaynama odası nedeniyle metal odayı tam olarak doldurmaz ve gaz cebiyle çevrelenmiş serbest yüzeylerle bileşik hareket eden metal yüzleri oluşur. Bileşik hareket eden bu metal yüzleri, kaynama odası içinden akar ve yavaş yavaş birbirine yaklaşır. Sonuçta birbirleriyle karşılaşarak pres kaynağını meydana getirirler.

Bu durum Şekil 2.33c'de gösterilmiştir. Şekil 2.33c, metal yüzlerinin karşılaşmasının görünüşünü değerlendirmek için kaldırılan köprüyle, kaynama odası içinde birbirine birleşmiş, bileşik hareket eden metal yüzlerinin görünüşünü üç boyutlu olarak gösterir. Bu şekil, metal yüzlerinin birbirlerine nasıl yaklaştığını ve birbirleri içine nasıl kaydığını gösterir. Bu şekilde, metal yüzlerinin takım yüzleriyle temas halinde olduğu bölgede belirtilmiştir.

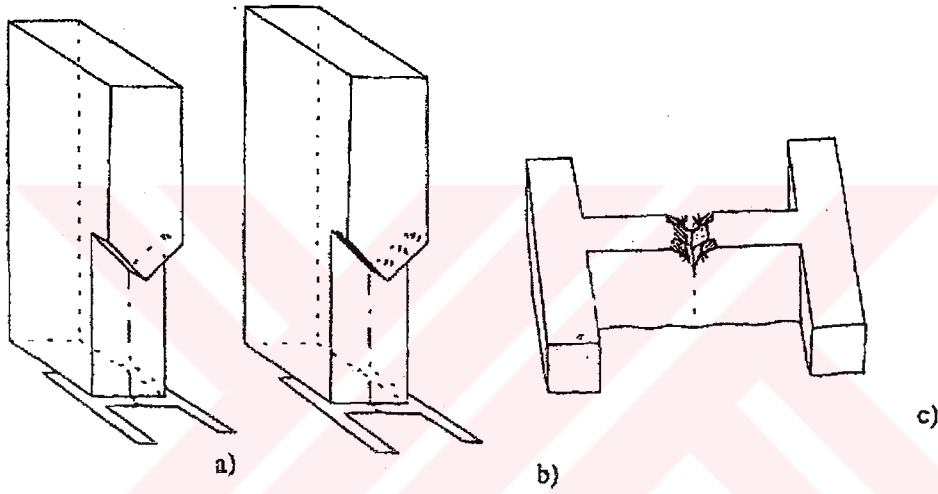


Şekil 2.32 Kaynama odalarındaki metal akımlarının kaldırılmasıyla yapılan inceleme: a-b) köprünün arkasında meydana gelen tam dolum, c-d) köprünün arkasında meydana gelen gaz cebi (Valberg, 1996b).

Köprüyle takım yüzü arasından akan metal yüzünün biçimi, matris yüzünün geometrisine bağlıdır. Şekil 2.33a'da görüldüğü gibi düz bir yüz olduğu takdirde kaynama için elverişli bir geometri sağlanabilecektir. Fakat temas halinde olan takım yüzlerinin ortasında yivler oluştuğunda (Şekil 2.33b); metal yüzleri, ortasında bir çıkıntıyla hafif bir şekilde konveks olacaktır. Karşılaşma esnasında basınç kaynağı vasıtasıyla kaynama bu durumda zor olacaktır. Çıkıntılar kolayca kaynak olacak, fakat çıkıntıların hemen altındaki metal yüzünün

depresyonunun, karşı yüzün aynı yüzünde bulunan eşleşecek metal depresyonu ile birleşmesi oldukça zor olacaktır. Bu nedenle, metalik bağlanmayan bir şerit tarafından karakterize edilen bir dikiş kaynağı kusuru muhtemelen meydana gelecektir. Meydana gelen kusur, daha sonra kaynak profili boyunca yayılır.

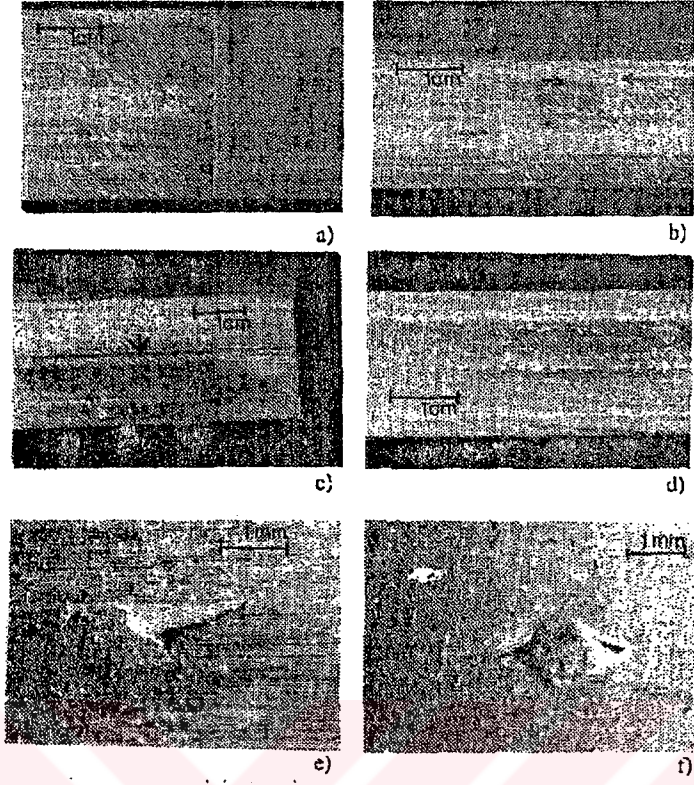
Farklı geometrideki kaynama odalarının kullanımıyla elde edilen ekstrüzyon profillerinde birtakım yüzey kusurları görülmüştür. Aslında bu kusurların meydana gelmesi normaldir. Çünkü; Valberg (1996b)'in yapmış olduğu deneylerdeki amacı da elverişsiz kaynama odaları yaratarak oluşabilecek kusurları incelemektir. Profillerde meydana gelen kusurların çeşitli tipleri Şekil 2.34' de gösterilmiştir.



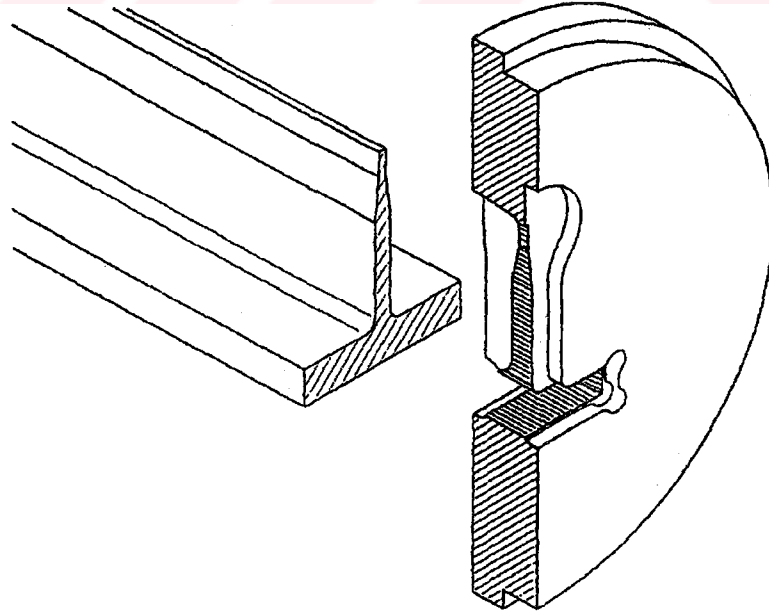
Şekil 2.33 Kaynaklanmamış şeritler olarak tanımlanan kaynak kusurunun oluşum mekanizması: a) Kaynama için elverişli olan düz yüz, b) yivli yüz, c) yivlerin neden olduğu birleşme kusuru (Valberg, 1996b).

## 2.9 Ön Oda

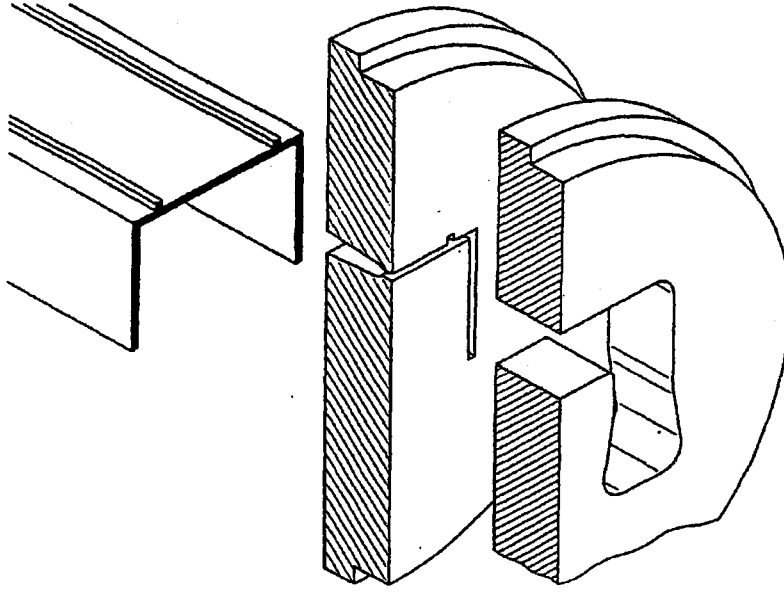
Matriste kullanılan ön odanın amacı; sınırsız boyda profil üretimini elde edebilmek, malzeme akışını düzenleyip kesitin her bölgesinde eşit ve kararlı akışı sağlamak, ince dil kısımlarını desteklemek ve alıcı çapından daha geniş profillerin imalatını sağlamaktır. Ön odalar, frezelenerek matriste işlenir (Şekil 2.35). Ön odanın matris boşluğuna olan mesafesi öyle seçilmelidir ki; malzeme akışı yönlendirilebilsin. Bu yöntemle, farklı geometrilere sahip profilin istenen ölçülerde elde edilmesi mümkündür. Sonsuz boyda profil üretimini sağlamak için basit geometrilili standart ön odalar kullanılır (Şekil 2.36). Önemli olan, ön odada kalan blok sonu ile yeni blok arasında kaynamanın oluşmasıdır. Bu kaynama, AlMgSi0,5 gibi kolay şekillendirilen malzemelerde daha iyi olmaktadır.



Şekil 34 Yüzey kusurları: a) kalıp durma izi, b) kirişteki depresyon, c) kaynak dikişindeki hücrelenme (recession), d) dikişteki enine çatlama, e) d’de görülen çatlamanın büyütülmüş hali, f) dikişte toplanan metal parçaları (Valberg, 1996b).

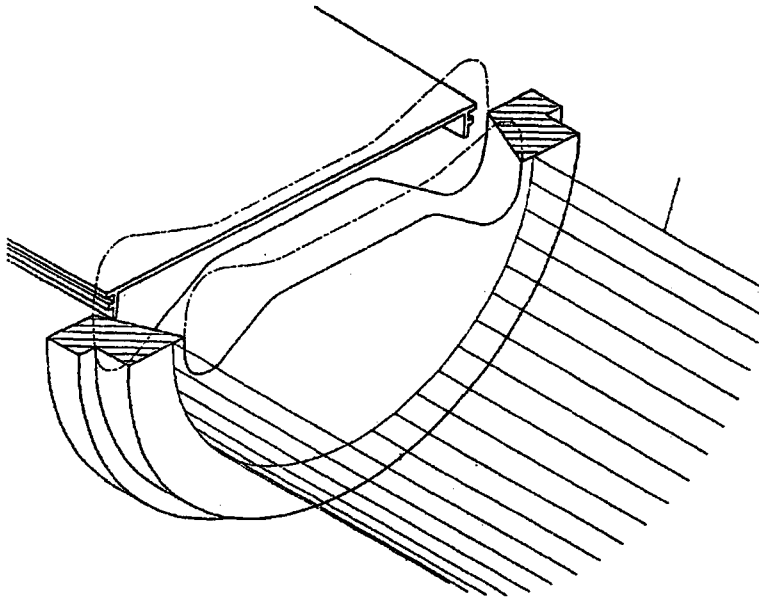


Şekil 2.35 Ön adalı matris kesiti (Arabacı,1996).



Şekil 2.36 Sonsuz boyda profil üretimi için standart ön odalı matris (Arabacı, 1996).

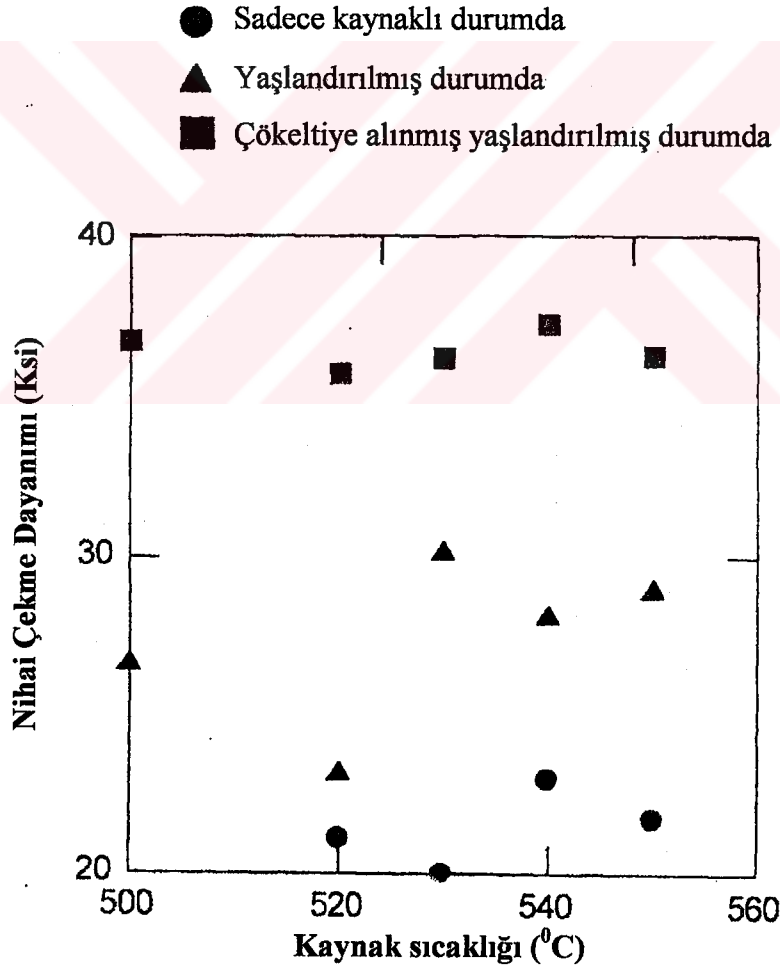
Alıcı çapından daha büyük boyuta sahip, fakat fazla geniş olmayan profillerin üretiminin expansion ön odalı matrislerin kullanımıyla gerçekleştirilmesi mümkündür (Şekil 2.37). Expansion ön odalı matrislerin kullanılmasındaki amaç; elde bulunan alıcı boyutlarıyla, üretimi istenen profili imal edebilmektir. Büyütme açısı, alaşıma bağlı olarak  $10 - 15^\circ$  arasındadır.



Şekil 2.37 Expansion ön odalı matris (Arabacı, 1996).

## 2.10 Kaynama Sıcaklığı

Ekstrüzyon kaynaklarına sahip alüminyum alaşımlarından profiller, sıcak ekstrüzyon yöntemiyle elde edilirler. Bu işlem için blok, alıcı ve matris, alaşım malzemesine ve ekstrüzyon şartlarına göre belirli bir sıcaklığa göre ısıtılarak ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilir. Kaynakların oluşabilmesi için tabii ki belirli bir sıcaklık gereklidir. Burada düşünülen esas soru; en iyi kaynak kalitesinin elde edilebilmesi için gerekli olan optimum kaynak sıcaklığı değerleridir. Yapmış olduğumuz literatür taramalarında bu konuda yeterli araştırmanın yapılmadığını gördük. Araştırma sonuçları, kaynakların mekanik özelliklerinin kaynak sıcaklığından nispeten bağımsız olduğu yönündedir. Bununla birlikte, farklı kaynama sıcaklıklarıyla farklı mekanik özelliklere sahip ekstrüzyon kaynaklarının oluştuğu görülmüş, ancak tam olarak nasıl etki ettiği yönünde direkt bir ilişki elde edilememiştir.



Şekil 2.38 Kaynak sıcaklığının bir fonksiyonu olan kaynaklı numunelerin nihai çekme dayanımı değerleri (Chakkingal ve Misiolek, 1998).

Kaynak sıcaklığının kaynak kalitesine olan etkisi, Chakkingal ve Misiolek (1998) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada, diğer ekstrüzyon parametreleri sabit tutulup, sadece sıcaklık değerleri değiştirilerek yapılan ekstrüzyon testlerinin sonucunda meydana gelen kaynakların özellikleri incelenmiştir.

Test numuneleri olarak 6063 alüminyum alaşımından numuneler kullanılmıştır. Kaynak sıcaklığının bir fonksiyonu olan kaynak kalitesini tanımlamak için, çekme testleri yapılmıştır. Bundaki esas amaç, kaynak kalitesinde kaynama sıcaklığının etkisini araştırmak ve kaynak bölgesinin kaynak bölgesinden zayıf olup olmadığını araştırmaktır.

Kaynaklar; 500, 520, 530, 540 ve 550°C'deki farklı kaynama sıcaklıklarında elde edilmiştir. Kaynak işleminden sonra numuneler, üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki numuneler; sadece kaynaklanmış şartlarda incelenmiştir. Yani kaynak işleminden sonra her hangi bir işleme tabi tutulmamışlardır. İkinci gruptaki numuneler; kaynak işleminden sonra suni yaşlandırma işlemine tabi tutularak incelenmişlerdir. Üçüncü gruptaki numunelere ise; kaynak işleminden sonra çökeltiliye alma ve yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.

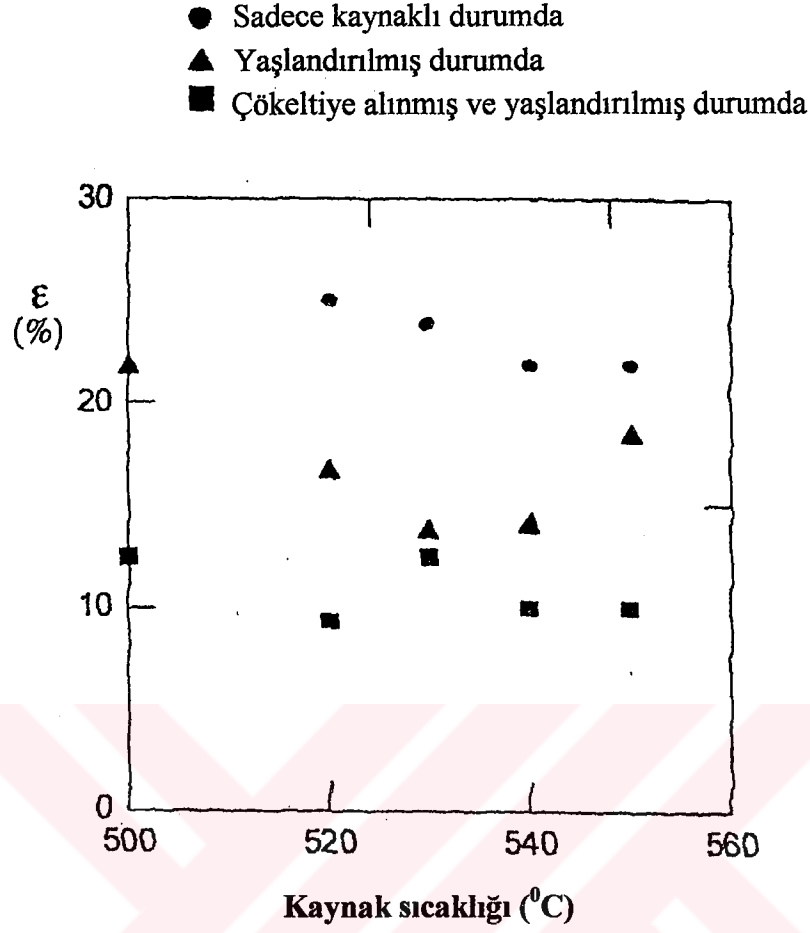
Testlerin sonunda, kaynak sıcaklığının bir fonksiyonu olan çekme dayanımı ve yüzde uzama değerleri incelenmiştir. Ölçülmüş bu değerler, Şekil 2.38 ve 2.39'da görülmektedir.

Sadece kaynaklı şartlardaki numuneler (1. grup): Kaynak sıcaklığının bir fonksiyonu olan çekme dayanımında çok küçük farklar oluşmuştur. Çekme dayanımı değerleri 138 – 159 Mpa arasındadır. Yüzde uzama değeri, 550°C'de kaynaklanmış modeller için %21,9; 500°C'de kaynaklanmış modeller için %25'den daha az bir azalma göstermiştir.

Kaynakdan sonra suni yaşlandırmaya tabi tutulmuş numuneler (2. grup): 159 – 208 Mpa aralığındaki değerlerle, çekme dayanımında biraz dağılım görülmüştür. Yüzde uzama değerleri de, %21,9 - %14 aralığında yer almıştır, Bu gruptaki numunelerden 530, 540 ve 550°C'de kaynaklanmış numuneler, 500 ve 520°C'de kaynaklanmış numunelerden daha yüksek çekme dayanımı değerlerine sahip olmuşlardır. Ancak, kaynak sıcaklığı ile yüzde uzama değerleri arasında karşılıklı bir ilişki oluşmamıştır.

Kaynamadan sonra çökeltiliye alınmış ve yaşlandırılmış numuneler (3.grup): Bu gruptaki numunelerin çekme dayanımı, 250 Mpa civarında ve yüzde uzama değerleri, %10 – 12,5 aralığında olmuştur. Çekme dayanımı ve yüzde uzama, nispeten kaynama sıcaklığından bağımsızdır.





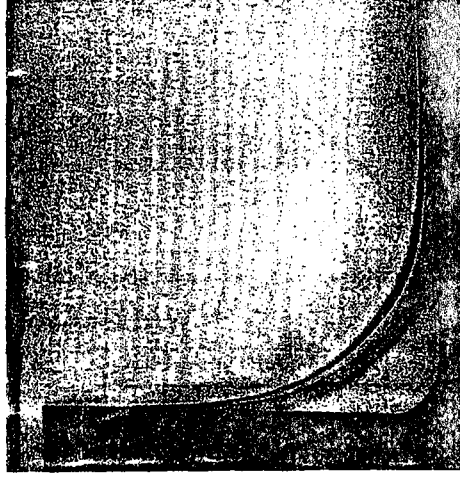
Şekil 2.39 Kaynak sıcaklığının bir fonksiyonu olan kaynaklı numunelerdeki uzama değerleri (Chakkingal ve Misiolek, 1998).

Genellikle kaynak kalitesinde kaynama sıcaklığının yeterli etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir. Yukarıdaki test sonuçları, kaynama sıcaklığıyla mekanik özellikler arasında direkt bir ilişki elde edilemediğini göstermiştir (Cakkingal ve Misiolek, 1998).

## 2.11 İşlem Temizliği ve Kalite

Üretimde; işlemin temizliği, blokların kalitesi ve ölçüleri önemlidir. Bloğun ağırlığı, kalıp durma izinden sonra kesilmesi zorunlu olan uzunluğu ve ekstrüzyon kalıntısının ölçülerini karşılayacak kadar değildir. Eğer ekstrüzyon kalıntıları, makaslama işleminin kolay yapılması için kısa tutulacak olursa; ya yüzeyi işlenmiş segregasyonsuz blokların kullanımı yada özel işlemler kullanarak dökülen blokların kullanımı gerekir. Bir kez, segregasyonlu bir tabaka

yada diğerk bir ifadeyle kirli bir malzeme matris çeperlerine yada portlarına girerse; bu tabaka sadece incelir, fakat matrisin açılıp temizlenmesine kadar asla dışarı atılamaz (Şekil 2.40).



Şekil 2.40 Çeşitli bloklardan portun altında kalan malzeme tabakaları (Akaret, 1992).

Bununla birlikte en tehlikeli kirlilikler; makas bıçağına, matris yüzüne, basınç yastığına yada blok yüzeyine yanlış uygulanan yağlayıcılardır. Bunu önlemenin yolu, matris yüzeyine çok sıkı bir şekilde yapışmış, uygun kaplama tabakalarıyla sağlanır (örneğin, nitrür tabakası) (Akaret, 1992). Matris yüzeyine uygulanan kaplamalarla ilgili daha geniş bilgi, Arabacı (1996)'nın yapmış olduğu çalışmada mevcuttur.

## 2.12 Kaynama Odası Gerilme Analizleri

Kaynama odasında meydana gelen olaylar, kaynama odası başlığı altında daha önce belirtilmişti. Bu bölümde ise, esas olarak kaynama odasında meydana gelen deformasyonlara bağlı olarak gerilme analizleri incelenecektir.

Ekstrüzyon kaynaklarına sahip bir profilin ekstrüzyonu esnasında kaynama odasında deformasyon bölgesi meydana gelir. Deformasyon bölgesinin biçimi, üretilecek profil kesitine ve matris dizaynına bağlıdır. İki veya daha fazla delikli karmaşık bir biçime sahip olan kesitlerde deformasyon bölgesinin gerçek biçimini tanımlamak oldukça zordur. Deformasyon bölgesinin gerçek biçimi genellikle deneysel olarak tanımlanabilir.

Kaynama odasındaki basıncın esas değeri için yaklaşık bir analitik çözüm, silindirik biçimindeki bir alıcıdan köprülü bir matris vasıtasıyla yuvarlak boruların ekstrüzyonunda sunulabilir. Bu prosedür, Gildengorn adlı araştırmacının çalışmasında orijinal olarak

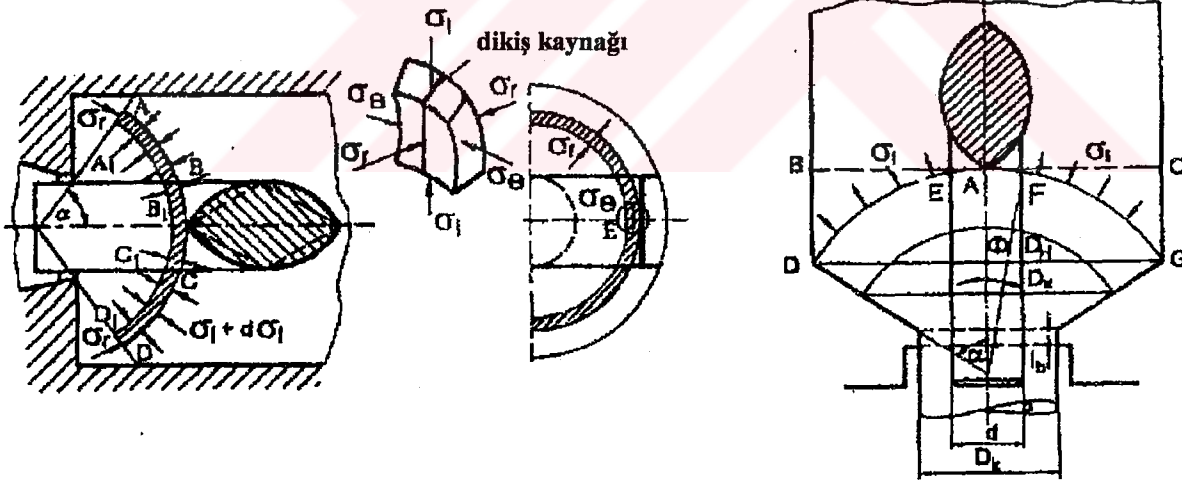
geliştirilmiştir. Deformasyon bölgesinin biçimi, Şekil 2.41’de gösterildiği gibi, ekstenel simetrik olarak üretilen borular için küresel biçimli olarak farz edilebilir.

Eğer deformasyon bölgesinin biçimi küresel biçimli olarak farz edilirse, kaynama bölgesindeki noktada gerilme hali üç farklı gerilme ile tanımlanabilir; direkt eksen gerilimi  $\sigma_l$ , ekstrüzyon kuvvetinin neden olduğu kaynağa dik gerilme  $\sigma_\theta$  ve radyal gerilme  $\sigma_r$ . Normal gerilme  $\sigma_\theta$ , kaynama odasındaki birleşme işleminde birçok önemli etkiye sahiptir. Bu etki, kaynama bölgesindeki metal akımlarının birleşmesi için gerekli basınca karşılık gelir ( $\sigma_\theta = P$  gibi).

Normal gerilme  $\sigma_\theta$ ’nın değeri, genel biçimi aşağıdaki gibi tanımlanmış olan Tresca’nın akma kriterinden hesaplanabilir;

$$\sigma_\theta = \sigma_l + 2\beta k_f \quad (2.1)$$

Burada  $k_f$ , kaynama bölgesinde malzemenin akma gerilmesinin esas değeridir ve  $\beta$ , Lode katsayısıdır (Borular için  $\beta=1,1$ ).



Şekil 2.41 Boruların ekstrüzyonunda köprülü matris içerisindeki gerilme dağılımı (Duplancic ve Prgin, 1996).

Direkt eksen gerilimi  $\sigma_l$ , Şekil 3’ten aşağıdaki gibi tanımlanabilen DEFG sıkıştırma yüzeyi üzerinde rol alır.

$$A_d \cong \frac{\pi D^2_H}{4 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} - \frac{\pi d^2}{4 \cos^2 \frac{\phi}{2}} \quad (2.2)$$

Böylece,

$$\sigma_l = \frac{F}{A_d} \quad (2.3)$$

Sonuç olarak, normal gerilme değeri  $\sigma_\theta$ , aşağıdaki gibi olur;

$$\sigma_\theta = \frac{4F}{\frac{D^2_H}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} - \frac{d^2}{\cos^2 \frac{\phi}{2}}} + 2\beta k_f \quad (2.4)$$

Burada F, BAC düzleminde malzemeye uygulanan kuvvettir. Şekil 2.41'e göre bu kuvvet şöyle ifade edilebilir;

$$F = F_d + F_{fw} + F_{fb} \quad (2.5)$$

Burada;

$F_d$ , kaynama odasındaki bir deformasyon kuvveti,

$F_{fw}$ , kaynama odasındaki sürtünme kuvveti,

$F_{fb}$ , matris kanalındaki sürtünme kuvvetidir.

Analizde, matris yüzeyinin BD kısmındaki sürtünmesini bilmek önemlidir.

Perlin'in çalışmasına göre borular için deformasyon kuvveti şöyle ifade edilebilir;

$$F_d = 1,75 \left[ \frac{D^2_H}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} - \frac{d^2}{\cos^2 \frac{\phi}{2}} \right] (\varphi_0 + \varphi_{at}) k_f \quad (2.6)$$

Burada;

$$\varphi = \arcsin(d / DH \sin \alpha), \quad (2.7)$$

$$\varphi_0 = \ln \varepsilon_k = \ln \frac{A_{BAC}}{A_k} = \ln \frac{D_H^2 - d^2}{D_k^2 - d^2} \quad (2.8)$$

kaynama odasındaki deformasyon

$$\varphi_{al} = \ln \left( \frac{Ak}{a_{av}^2} \right)^{1/4}, \quad (2.9)$$

aynı hacmin bir kesiti içerisinde dairesel deformasyona izin verebilir (borular için  $\varphi_{al} = 0$ ).

Burada  $a_{av}$ , kesitin ortalama kalınlığıdır.

Kaynama odasındaki sürtünme kuvveti  $F_{fw}$ , şöyle tanımlanır;

$$F_{fw} = \frac{\pi}{2 \sin \alpha} m k_f (D_H^2 - d^2) \ln \frac{D_H - d}{D_k - d} \quad (2.10)$$

Burada  $m$ , sürtünme faktörüdür. Yağlama olmaksızın düz bir matris vasıtasıyla ekstrüzyonda  $\alpha = 60^\circ$  ve  $m=1$  dir.

Matris yatağındaki sürtünme kuvveti  $F_{fb}$ , şöyle tanımlanır;

$$F_{fb} = \pi (D_k + d) \mu k_f \frac{D_H^2 - d^2}{D_k^2 - d^2} l_b \quad (2.11)$$

Burada  $\mu$ , sürtünme katsayısıdır. Alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonu için  $\mu = 0,2 - 0,4$  aralığında olur.

Malzemenin akma gerilmesi değeri  $k_f$ , delik matris içerisinde farklı değerlere sahiptir.

Bundan dolayı akma gerilmesi  $k_f$ 'in ortalama bir değeri basitleştirilmiş olarak kullanılır.

Bu eşitlikler göstermiştir ki; delikli bir matrisin kaynama odasındaki basınç  $\sigma_\theta$ , kaynama bölgesindeki redüksiyonun, malzemenin akma gerilmesinin, kaynama bölgesindeki ölü metal bölgesinin açısı ve matris kanalının bir fonksiyonudur. Normal gerilme  $\sigma_\theta$  için bu çözüm dairesel boruların ekstrüzyonu için geçerlidir. Bu aynı zamanda kesitin herhangi bir biçimi içinde kullanılabilir. Ancak o zaman eşit enine kesitin ve et kalınlığının boru içinin biçiminin değiştirilmesi gerekir.

Ekstrüzyon içindeki malzemenin durumu, malzemenin akma gerilmesi  $k_f$  tarafından verilir. Malzemenin akma gerilmesi  $k_f$  değerlerinin tahmini Siebel Fangemaeier adlı araştırmacı tarafından ifade edilmiştir, toplam ekstrüzyon kuvveti  $F_T$  hesabı için ve  $\sigma_\theta$  için denklem yukarıda tanımlanmıştır.

Ekstrüzyon işlemini gerçekleştiren iş iki kısımdan ibarettir; deformasyon için harcanan iş ve sürtünme için harcanan iş.

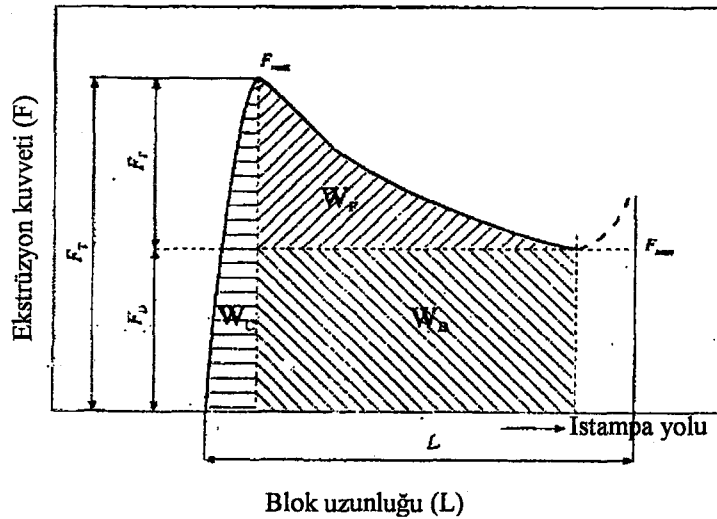
Ekstrüzyon işleminde bu işin kısımları; blok malzemesine, kesitin biçimine, delikli matrisin tipine ve ekstrüzyon işleminin parametrelerine bağlıdır. Bu işlerin her biri kuvvet – ıstampa yolu diyagramından tanımlanabilir (Şekil 2.42).

Bunun anlamı, toplam ekstrüzyon kuvveti iki kısma ayrılabilir; deformasyon kuvveti  $F_D$  ve sürtünme kuvveti  $F_F$  ve

$$F_T = F_D + F_F \quad (2.12)$$

olur.

Harcanan toplam işi ve her bir ekstrüzyon işlemi için  $F - L$  eğrisinin altındaki alandan sürtünme nedeniyle işin kısımlarını tanımlamak kolaydır (Şekil 2.42). Sürtünme işi, ekstrüzyon işleminin sonunda  $F - L$  çizgisinin açısına bağlıdır. Ekstrüzyon stroğunun sonunda, kuvvetin tekrar yükselmeye başladığı nokta,  $F_F$  ve  $F_D$  kuvvetleri arasındaki sınırı



Şekil 2.42 ıstampa yolunun bir fonksiyonu olan ekstrüzyon kuvveti (Duplancic ve Prgin, 1996).

gösterir. Sürtünme nedeniyle harcanan iş; bir ekstrüzyon işleminde harcanan toplam işin %30'una varabilir. Buna göre direkt ekstrüzyon yönteminde sınırlama faktörü olan blok uzunluğunu bilmek önemlidir.

Maksimum ve minimum kuvvetler veya basınçlar arasındaki fark, alıcı içinden bloğu hareket ettirmek için gerekli kuvvet  $F_F$ 'e atıfta bulunabilir. Sürtünme kuvveti  $F_F$ , sürtünme kayma gerilmesi  $\tau_k$ 'nın hesaplanması için kullanılabilir;

$$\tau_k = \frac{F_F}{D_0 \pi L_0} \quad (2.13)$$

Malzemenin akma direnci  $k_w$ , deformasyon kuvveti  $F_D$ 'den şöyle hesaplanabilir.

$$k_w = \frac{F_D}{A_0 \cdot \psi} \quad (2.14)$$

Akma direnci  $k_w$ 'nin değeri, ekstrüzyon işleminde aynı zamanda şöyle ifade edilebilir;

$$k_w = c \cdot \frac{k_f}{\eta} \quad (2.15)$$

Burada;  $\eta$ , ekstrüzyon işleminin verimidir.  $c$  ise, kesitin biçim faktörüdür (yuvarlak borular için  $c=1$ ).

Sürtünmenin etkisi, sürtünme kayma gerilmesiyle ekstrüzyon işleminde şöyle ifade edilebilir;

$$\tau_k = \mu \cdot k_f \quad (2.16)$$

Malzemenin akma gerilmesi  $k_f$ ; sürtünme kayma gerilmesi  $\tau_k$ , maksimum değer  $\tau_{\max}$ 'a vardığı zaman hesaplanabilir. Tresca'nın akma kriterinin kullanılmasıyla;

$$\tau_{\max} = 0,5k_f \quad (2.17)$$

ve böylece;

$$k_f = 2 \cdot \tau_k \cdot \frac{P_{\min}}{\sigma_\theta} \quad (2.18)$$

olur.

$P_{\min} / \sigma_{\theta}$  oranı, düzeltme faktörünü gösterir. Bu yolla, akma gerilmesi  $k_f$  ve minimum ekstrüzyon basıncı  $P_{\min}$  arasındaki bir ilişki, delikli kesitlerin ekstrüzyonu için saptanır.

Duplancic ve Prgin (1996), farklı alüminyum alaşımları kullanarak yapmış oldukları ekstrüzyon deneylerindeki; blok uzunluğunun bir fonksiyonu olan ekstrüzyon basıncının diyagramları Şekil 2.43'te gösterilmiştir.

$F_F$ ,  $F_D$  ve  $P_{\min}$  için değerler, diyagramlardan elde edilebilir. Bu değerler;  $\tau_k$ ,  $k_w$ ,  $\sigma_{\theta}$ ,  $P_{\min} / \sigma_{\theta}$ ,  $k_f$ ,  $c/\eta$  ve  $\tau_k / k_w$  oranı için hesaplanan değerler için kullanılır.

Eğer F – L eğrisinin açısı, alıcı içerisindeki sürtünmenin etkisi hakkında bazı şeyler gösterirse, AlMgSi0,5 alüminyum alaşımından daha zor şekil değiştiren AlZnMgCu1,5 alüminyum alaşımının ekstrüzyonunda sürtünmenin daha büyük etkisi kolaylıkla görülebilir. Sürtünme işi nispeten daha büyük bir değer olur; bu nedenle sürtünme kuvveti  $F_F$ , yapılmış olan bazı ekstrüzyon denemelerinde daha büyük olmuştur. Bu durum, alıcının alt ucunda geri kalmalara ve bundan sonrada da alıcı yüzeyinin daha soğuk olmasına neden olur. Böylece yeni ekstrüzyon edilecek bloğun yüzeyinin daha soğuk olacak ve deformasyon bölgesindeki  $\tau_{\max}$  değerinden daha büyük olan bir  $\tau_k$  değerine sahip olacaktır.

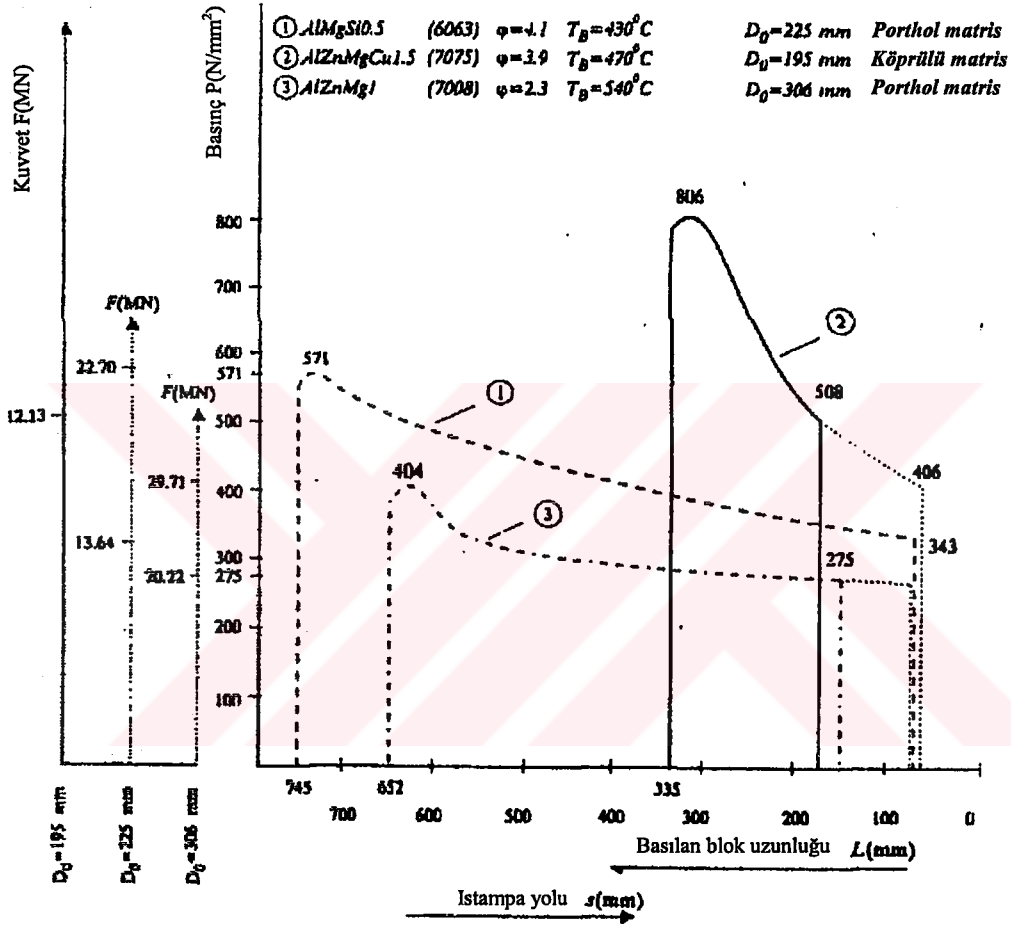
Normal şartlarda, ekstrüzyon işlemi  $\tau_{\max} > \tau_k$  ile çalışır. Ekstrüzyon işleminin sonunda ölçülen kaynama odasındaki  $\sigma_{\theta}$  gerilmesinin hesaplanmış değerlerinin  $P_{\min}$  değerinden az veya eşit olması gerekir.  $P_{\min}$  ve  $\sigma_{\theta}$  arasındaki ihmal edilebilir farklılıklar, alıcıda kalan ve bazı ilave sürtünme kuvvetleri oluşturan alt uç nedeniyle olabilir.

Kaynama odasındaki malzemenin akma gerilmesi  $k_f$ 'in değeri yukarıda belirtilmiş olan denklemden hesaplanır. Sonuçlar, ekstrüzyon işleminin aynı termo – mekanik şartları için; köprülü matrizen ziyade bir porthol matris vasıtasıyla yapılan ekstrüzyonda akma gerilmesi  $k_f$ 'in daha düşük bir değere sahip olduğunu göstermiştir. Bunun esas sebebi; daha yüksek  $P_{\min}$  basıncına sahip olan köprülü matris vasıtasıyla yapılan ekstrüzyonda alıcıda kalan nispeten daha büyük bir alt uçtan dolayıdır. Bu, Şekil 2.43'te, 3 numaralı eğri tarafından gösterilmiştir.

Hesaplanan akma gerilmesi  $k_f$ 'in değeri bu basınca dayandırılır ve özellikle deforme olması oldukça zor olan alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda düzeltilmesi gerekir.



Akma gerilmesi  $k_f$ , ekstrüzyon işleminde birkaç parametrenin fonksiyonudur (örneğin;  $k_f = f(\varphi, \text{sıcaklık})$  gibi). Bazı diğer parametreler (kimyasal bileşim, blokların prosedürlerinin ihmal edilmesi, bloğun ısıl işlemi, ötektik ve intermetalik faz dağılımı), ilave etkiye sahiptir.



Şekil 2.43 Yapılmış olan deneylerdeki delik kesitlerin ekstrüzyonunda blok uzunluğunun bir fonksiyonu olan ekstrüzyon basıncı diyagramları (Duplancic ve Prgin, 1996).

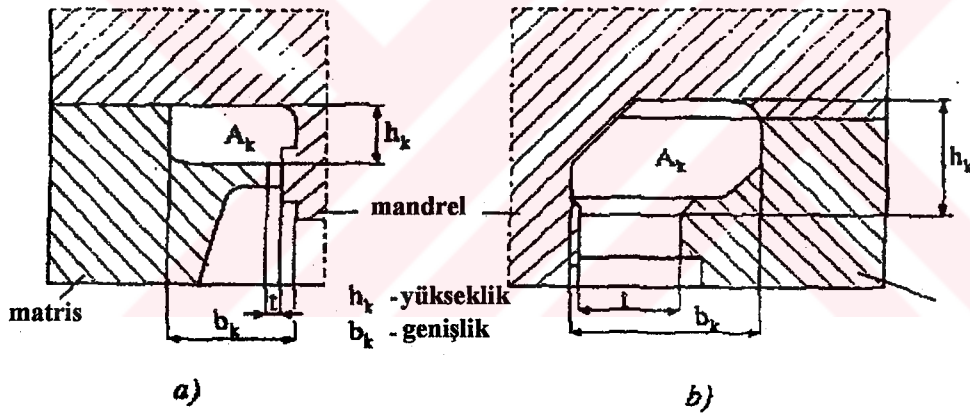
Duplancic ve Prgin (1996) tarafından yapılmış olan bu araştırmalar, aynı zamanda çok önemli olan presin termal şartlarını gösterir. Ekstrüzyon basıncı termal dengeye ( $q_i = q_p$ )'ye vardığında malzemenin sabit durum akması meydana gelir. Böylece, deformasyon kuvveti  $F_D$  ve akma direnci  $k_w$  değeri ve aynı zamanda  $c/\eta$  oranı değişmez olur.

Eğer  $k_w$  değeri bilinirse, delik matriste metal akımlarının birleşmesi gerekli minimum basıncın hızlı bir şekilde hesaplanması mümkündür;

$$P_{\min} = k_w \cdot \varphi \quad (2.19)$$

Ekstrüzyon basıncının beklenen değeri eğer çok düşükse; gerekli değere,  $\varphi$  değerinin artırılmasıyla ulaşılabilir. Bu yolla,  $P_{\min}$  basıncı ve deformasyon arasındaki direkt bir ilişki, delikli kesitin ekstrüzyonu için saptanabilir.

Blok ve alıcı arasındaki sürtünme faktöründe,  $c/\eta$  oranının önemli bir etkisi vardır.  $c/\eta$  oranı ideal durumda sifıra eşittir. Bir kaynama odasının elverişli dizaynının, nispeten küçük ekstrüzyon oranlarında ekstrüzyonda çok önemli olan minimum basınca etkisinin olduğunu gösterir. Kaynama odasının biçiminin, daha yüksek bir  $c/\eta$  oranını veren bu tür kesitler için yeterli basınca sahip olması gerekir (Şekil 2.44).



Şekil 2.44 İnce et kalınlıklı (a) ve kalın et kalınlıklı (b) delikli kesitlerin ekstrüzyonu için kaynama odasının biçimi (Duplancic ve Prgin, 1996).

İnce et kalınlıklı delikli kesitlerin ekstrüzyonunda gerekenler bununla tam zıttır. Kaynama odasının,  $c/\eta$  oranının mümkün olan en düşük prosedürüne göre dizayn edilmesi gerekir. Bundaki sebep;  $c/\eta$  oranının ekstrüzyon oranındaki (deformasyon derecesi) gibi benzer bir etkiye sahip olması olarak görülebilir.

Yapılan araştırmalar termal pres şartı ( $q_p$ )'nın çok önemli olduğunu göstermiştir. İlave olarak, sadece alıcı sıcaklığı değil aynı zamanda aynı zamanda her ekstrüzyon işleminde matrisin grubunun sıcaklığını bilmekte önemlidir.

$c/\eta$  değerinin tespiti,  $P_{\min}$  basıncı ve malzemenin akma gerilmesi  $k_f$  arasındaki liner bir fonksiyona dayandırılır. Kalın et kalınlığına sahip delikli kesitlerin ekstrüzyonunda bu oran mümkün olduğu kadar yüksektir ve çok önemlidir. Bu yolla, ekstrüzyon presinin maksimum bir verimliliği oluşabilir.  $c/\eta$  oranının artışı, kalın et kalınlığına sahip delikli kesitlerin ekstrüzyonunda konik olarak biçimlendirilmiş bir kaynama odasının kademeli bir şekilde yapılmasıyla elde edilebilir. İnce et kalınlığına sahip delikli kesitlerde ise  $c/\eta$  oranı mümkün olduğunca düşürülmelidir. Kaynama odası buna göre dizayn edilmelidir.

Yukarıda tanımlanmış olan prosedür endüstriyel uygulamalarda çok faydalı olabilir. Sadece matris dizayncıları için değil aynı zamanda metalurjiciler içinde faydalıdır (Duplancic ve Prgin, 1996).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Ekstrüzyon kaynaklarının incelenmesi için, ON – AT ekstrüzyon firmasında ve üniversite laboratuvarlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Dolu profillerin ekstrüzyonu, belirtilen şartlarda ON – AT firmasında yapılmıştır.

Ekstrüzyon yöntemi: Direkt yöntem

Ekstrüzyon presi: Yatay ekstrüzyon presi

Ekstrüzyon basıncı: 30 Mpa

Ekstrüzyon hızı (max.): 70 m/dak

Malzeme: AlMgSi0,5

Blok sıcaklığı: 460<sup>0</sup>C±10

Alıcı sıcaklığı: 410<sup>0</sup>C±10

Blok boyutları: Ø120X400

Blok boyut oranı: 3.33

Yağlama: Molibden di sülfid

Blok tavlaması: LPG'li fırında

Alıcının ısıtılması: Elektrikle

Matrislerin tavllanması: 4 – 6 saat, 450<sup>0</sup>C' de

#### 3.1 Numuneler

Numuneler, iki gruptan oluşmaktadır;

- 1) AlMgSi0,5 malzemelerden sürekli ekstrüzyon edilmiş profillerin gerdirilmeleri esnasında kaynak yerlerinden ayrılan numuneler.
- 2) AlMgSi0,5 malzemedan sürekli ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen dolu profillerin kaynaklı ve kaynaksız kısımlarından alınan numuneler.

#### 3.2 Deney Şartları

Birinci gruba ait numuneler ile ilgili bilgiler, Çizelge 3.1'de; 2. gruba ait numuneler ile ilgili bilgiler ise, Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Birinci grup numuneler için deney şartları.

Numune No	Ekstrüzyon oranı	Ekstrüzyon hızı (m/dak)	Blok Sıcaklığı (°C)	Alıcı Sıcaklığı (°C)	Malzeme
1	4,9	35	460	410	AlMgSi0,5
2	26,5	62	460	410	AlMgSi0,5
3	7,06	38	460	410	AlMgSi0,5
4	24,3	57	460	410	AlMgSi0,5
5	11,1	42	460	410	AlMgSi0,5

Çizelge 3.2 İkinci grup numuneler için deney şartları

Numune No	Ekstrüzyon oranı	Ekstrüzyon hızı (m/dak)	Blok Sıcaklığı (°C)	Alıcı Sıcaklığı (°C)	Malzeme
1	30,2	68	460	410	AlMgSi0,5
2	30,2	68	460	410	AlMgSi0,5
3	30,2	68	460	410	AlMgSi0,5

### 3.3 Deney Donatımları

Profillerin ekstrüzyonunda; hidrolik yatay ekstrüzyon presi, blokların tavlama sırasında LPG'li fırın, matrislerin tavlama sırasında elektrikli fırın kullanıldı. Numuneler; 350 kN kapasiteli çekme makinesinde çekme testine tabi tutuldu.

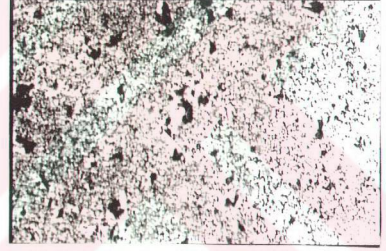
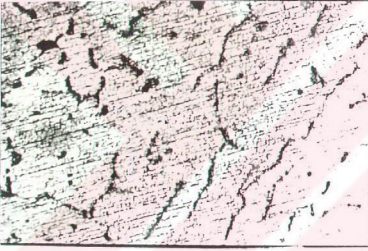
### 3.4 Deneylerin Yapılması ve Değerlendirilmesi

Belirlenen malzemeden (AlMgSi0,5) bloklar, belirli ekstrüzyon şartlarında ekstrüzyon edildi. Ekstrüzyon işleminden sonra elde edilen profiller gerdirme işlemine tabi tutuldu. Kaynaklı bölgelerinden kopan profiller bir gruba, kopmayanlar ise diğer bir gruba ayrıldı. Kaynaklı yerlerinden ayrılmayan profillerden, kaynaklı ve kaynaklı olmayan bölgelere sahip olacak şekilde ayrı ayrı çekme numuneleri hazırlandı.

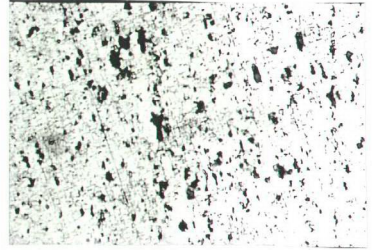
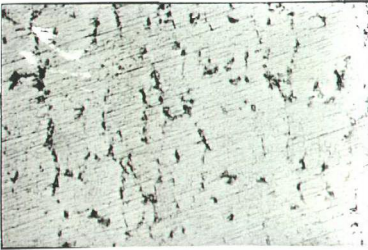
### 3.4.1 Birinci Gruptaki Numuneler

Bu gruptaki numuneler, gerdirme esnasında kaynaklı yerlerinden kopmuş numunelerdi ve sayıları beş idi. Numunelerin kaynaklı yerlerinin kaba olarak nasıl bir görünüme sahip olduklarını göstermek için öncelikle makro resimlerini çektik. Makro resimler çekildikten sonra, numunelerin mikro yapısını incelemek için, her bir numunedeki kaynaklı ve kaynaklı olmayan bölgelerden parçalar kesilerek mikro yapı için numune parçaları hazırlandı. Bu numune parçalarının yüzeylerinin parlatılması için sırasıyla; 180, 220, 320 ve 400'lük zımparalar kullanıldı. Yüzeyler parlatıldıktan sonra, her bir numune %1 HF'de 30 saniye kadar dağlandı. Dağlamadan sonra mikro yapılar için Taramalı Elektron Mikroskopunda resimler çekildi.

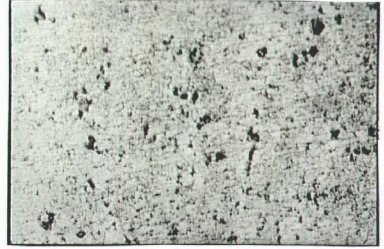
Mikro yapılar incelendiğinde; her bir numunedeki kaynaklı ve kaynaklı olmayan bölge arasında yapı farklılıklarının olduğu görüldü. Bu yapı farklılıkları, her bir numune için ayrı ayrı belirtilmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5).



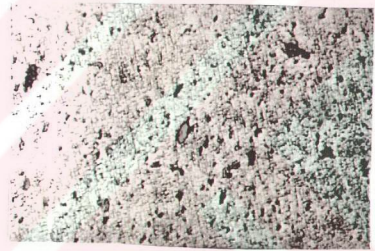
Şekil 3.1 1 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme



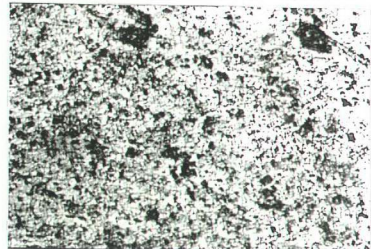
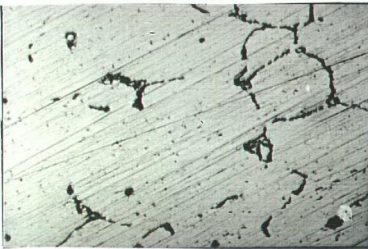
Şekil 3.2 2 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme



Şekil 3.3 3 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme



Şekil 3.4 4 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme



Şekil 3.5 5 no'lu numune için mikro yapılar: a) kaynaklı bölge, b) ana malzeme

Bu numunelerin kaynaklı bölgelerindeki tane boyutu, kaynaksız bölgelerindeki tane boyutlarına göre daha büyüktü. Kaynaklı bölgelerde meydana gelen kaba tane yapısı, yeniden kristalleşmenin tam olarak oluşmadığına işaret eder. Uygun şartlar sağlandığı takdirde; kaynak bölgeleri, ekstrüzyon işlemi esnasında ilk önce yeniden kristalleşirler. En çok istenen durum, yeniden kristalleşmenin meydana geldiği durumdur. Bu durumda; kaynak bölgesindeki tane boyutu, en iyi tane boyutudur ve dolayısıyla kaynaklı bölgenin mukavemeti de çok iyi olacaktır.

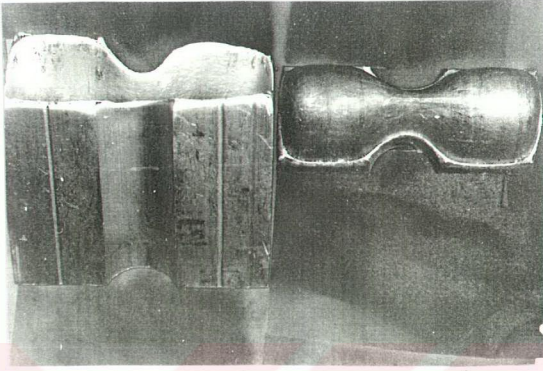
Ancak daha önce de belirttiğimiz gibi, bu numuneler gerdirme esnasında kaynaklı bölgelerinden ayrılmışlardır. Elde edilen kaynaklar zayıf kaynaklar idi ve kaynak bölgesinde tam bir yeniden kristalleşme oluşmamıştı. Düşüncemize göre; kaynak bölgelerinde, kısmi bir yeniden kristalleşme oluşmuştu ve kaynama bölgesinin bütünü boyunca kaba tane yapışması meydana gelmişti. Çünkü; kaynaklı bölgelerde meydana gelen kopmalar incelendiğinde, kaynak bölgesinin net bir şekilde ayrılmış olduğu görüldü. Bu net ayrılma, her bir numune için makro resim olarak gösterilmiştir (Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10).

Önceki bölümde ekstrüzyon kaynaklarının oluşum mekanizmasından bahsederken; iki dolu hacmin belirli ekstrüzyon şartlarında öncelikle birbirine temas ettiğini ve daha sonra birbirlerine yapıştıklarını belirtmiştik. Tam bir yapışmanın oluşabilmesi için; karşılaştıkları yüzeyler arasındaki boşluk, herhangi bir noktada atomlar arası mesafe mertebesinde olmalıdır.

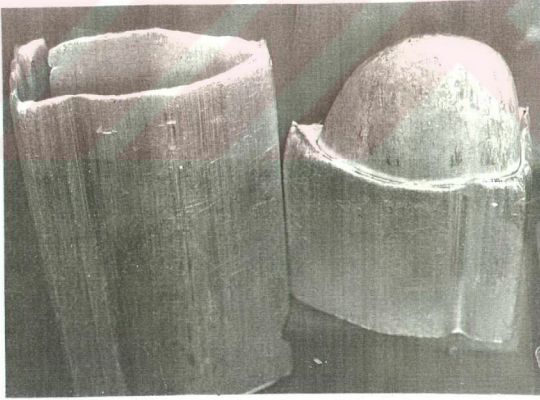
Mükemmel ve temiz yüzeyler haricinde bunu sağlamak için; pürüzlülükler ezilmeli, yüzey tabakaları temizlenmeli ve temiz metale sahip yüzeyler karşılaştırılmalıdır. Düşüncemize göre; bu gruptaki numunelerin kaynaklı bölgelerinin oluşumu esnasında, karşılaştıkları yüzeyler arasındaki boşluk, atomlar arası mesafe mertebesinde değildi ve bununla birlikte; ekstrüzyon sırasındaki işlem temizliği istenen şartlara sahip değildi ve karşılaştıkları yüzeyler temiz metale sahip değildiler.

Kaynama bölgesindeki ara yüzeylerin temiz olmaması (blok alın yüzeylerinin temiz ve düzgün olmaması, yağlamanın iyi yapılmaması, ara için uygun olmayan bir şekilde kesilmesi vs.), sıcaklığın kaynak sıcaklığı için yeterli sıcaklığa erişmemesi, basıncın iyi bir kaynama için yeterli olmaması gibi nedenlerden dolayı mukavemeti zayıf, kötü kalitedeki kaynaklar meydana geldi.

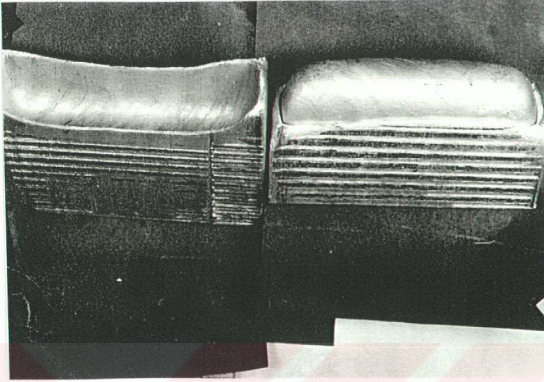




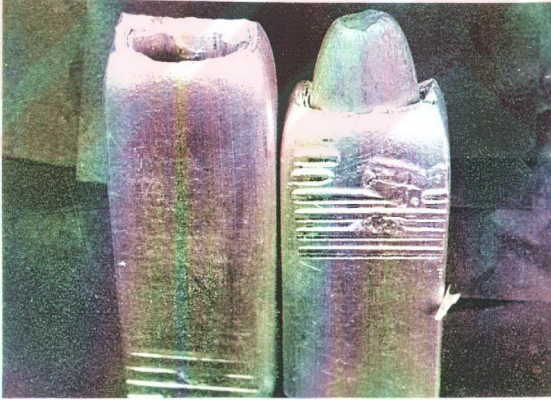
Şekil 3.6 1 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.



Şekil 3.7 2 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.



Şekil 3.8 3 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.



Şekil 3.9 4 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.



Şekil 3.10 5 no'lu numunenin kaynaklı bölgesindeki ayrılma.

### 3.4.2 İkinci Gruptaki Numuneler

Bu gruptaki numunelerin hazırlandığı profillerin ekstrüzyonu esnasındaki ekstrüzyon şartları arzu edilen şartlara yakın şartlardı. Blok alın yüzeylerinin temiz ve düzgün olması, ara işin uygun bir şekilde kesilmesi ve dolayısıyla temiz bir kalıntı malzeme yüzeyi, blokların homojen bir yapıya sahip olması, kaliteli kaynakların oluşumu için elverişliydi. Beklenen, kaliteli kaynakların oluşmasıydı.

İkinci gruptaki numuneler; ikisi kaynaklı, biri kaynaklısız olmak üzere toplam üç adet idi ve üçü de çekme numunesi olarak hazırlandı. Bu numunelerin Üniversal Hidrolik Çekme Makinesinde çekilmesiyle meydana gelen değerler Çizelge 3.3'te görülmektedir.

Çizelge 3.3 İkinci gruptaki numunelere uygulanan çekme testi sırasında meydana gelen değerler.

Numune no	a (mm)	b (mm)	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$L_0$ (mm)	$L_k$ (mm)	$R_e$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_{max}$ (N)	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Kaynak durumu
1	16,58	15,61	258,81	90	114	54,58	3600	136,45	26,6	Kaynaklı
2	15,64	16,63	260,10	90	106	62,20	3900	138,22	17,7	Kaynaklı
3	16,58	15,64	259,31	90	120	51,44	3400	128,61	33,3	Kaynaklısız

Bu gruptaki numunelerin kesildiği profillerin ekstrüzyonu esnasındaki uygun ekstrüzyon şartlarının sağlanmasıyla kaliteli kaynakların oluştuğu görüldü. Ekstrüzyon esnasında meydana gelecek kaynama için, yeterli kaynama basıncı ve sıcaklığı sağlanmıştı. Aksi takdirde, birinci gruptaki numuneler gibi mukavemeti kötü, zayıf kaynaklar elde edilecekti. Kaynaklı numunelerin çekme testi sırasında kaynaklı bölgeden kopmamarı, kaynak bölgesinin iyi bir yapıya sahip olduğuna işaret eder. Düşüncemize göre; numunelerdeki alın kaynağının metalurjik özellikleri açısından yeniden kristalleşme sağlanmıştı ve bu da kaynak bölgesinin iyi kalitedeki mekanik özelliklere sahip olmasını sağladı. Bununla birlikte, kaynaklı numunedeki kaynak bölgesi ve bu bölgenin dışındaki bölgenin mikro yapıları incelendiğinde, aralarında bir fark gözlenmedi.

Mekanik özellikler açısından bu gruptaki numunelerin çekme testleri sırasında göze çarpan; iyi bir çekme dayanımı değerlerine sahip olduklarıydı. Buna karşılık; uzamalar, kaynaksız numunedekinden daha az oldu.

#### 4. SONUÇLAR

Ekstrüzyondaki alın ve dikiş kaynakları konusunda yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda aşğıdaki sonuçlara varılmıştır.

Ekstrüzyon kaynağı bir katı durum yapışmasıdır ve tam bir yapışmanın meydana gelebilmesi için; karşılaılan ara yüzeyler arasındaki boşluk, herhangi bir noktada atomlar arası mesafe mertebesinde olmalıdır.

Ekstrüzyon edilmiş profillerin dış yüzeyinde görülebilen kalıp durma izinin, alın kaynağı olarak adlandırılması yanlıştır. Bir önceki bloktan matriste kalan malzemenin üçte biri ile üçte ikisi, yeni bloğun malzemesiyle yer değıştirmedikçe alın kaynağının uç kısmı matristen çıkmaz. Ekstrüzyon işleminde önce kalıp durma izi, onun arkasından da alın kaynağı matristen çıkar.

Kaynak bölgeleri, ekstrüzyon işlemi sırasında yada daha sonraki ısıl işlemler sırasında ilk önce yeniden kristalleşirler. Eğer kısmi bir yeniden kristalleşme oluşursa, kaynama bölgesinin bütünü boyunca kaba tane yapısı meydana gelecektir. Bu durumda, kaynama bölgeleri zayıf bir yapıya sahip olacaktır. En çok istenen durum, yeniden kristalleşmenin tam olarak meydana geldiğı durumdur. Bu durumda, kaynak bölgesindeki tane boyutu en iyi tane boyutudur ve dolayısıyla akma dayanımı en yüksek değerine ulaşacaktır.

Kaynaklı bölgeye sahip bir düz çekme numunesi, bir çok durumda, akma yada nihai çekme dayanımında önemli bir azalma göstermemektedir. Buna karşılık, uzamalar daha düşük olabilmektedir. Kesit küçülmesi ve kırılmanın kaynaklı bölgede meydana gelmesi zorunlu değildir.

Kaynak oluşumu için gerekli basınç; sırasıyla alıcı, kaynama odası yada matris girişiyle nihai kesitte belirlenen kesit alanları arasındaki redüksiyona bağlıdır.

Ekstrüzyon kaynakları için istenen şartları sağlayabilmede, matris dizaynının çok önemli bir yeri vardır. Matris dizaynı; uygun matris tipini ve dizaynını seçerek, ekstrüzyon kaynaklarının yerine ve biçimine ve diğer özelliklerine etkide bulunabilir. Portların sayısı, mandrel desteklerinin biçimi, kaynama odasının biçimi ve matris kanalının biçimi; metal akışına direkt olarak etki eder. Metal akışının hızlı yada yavaş olması da basınca direkt olarak etki etmektedir.

Optimum matris dirençleri için, kaynama odasının dar olması gerekir. Ancak kaynama odasındaki metal beslemesinin tam olabilmesi ve gerekli basıncın sağlanabilmesi için

kaynama odasının yeterli genişlikte olması gerekir. Kaynama odasının boyutları, bu iki duruma göre uygun bir şekilde ayarlanmalıdır.

Sonsuz boyda profil üretimini sağlamak için, ön odalar kullanılır. Önemli olan ön odada kalan blok sonu ile yeni blok arasında kaynamanın oluşmasıdır. Bu kaynama olayı, AlMgSi0,5 gibi kolay şekillendirilen malzemelerde daha iyi olmaktadır.

Ekstrüzyon kaynaklarının mekanik özellikleri ile kaynak sıcaklığı nispeten birbirinden bağımsızdır. Bununla birlikte, farklı kaynak sıcaklıklarıyla farklı mekanik özelliklere sahip ekstrüzyon kaynakları meydana gelebilir, ancak; kaynak sıcaklığının, ekstrüzyon kaynağına nasıl etki ettiği yönünde direkt bir ilişki elde edilememiştir.

Ekstrüzyon işleminde meydana gelen kaynakların kalitesi açısından; blok yüzeylerinin düzgün ve temiz olması, bloğun homojen bir yapıya sahip olması, ara iş kesildikten sonra temiz bir yüzey oluşması, yağlamanın uygun bir şekilde yapılması, birleştirilecek yüzeylerin temiz ve düzgün yüzeylere sahip olması gibi faktörler oldukça önemlidir.

Ekstrüzyon kaynaklarını diğer birleştirme yöntemleriyle karşılaştırdığımızda bu kaynaklar; kalite, dizayn esnekliği, ağırlık ve maliyet yönlerinden çok belirgin avantajlar sağlamaktadır.

**KAYNAKLAR**

- Akaret, R., (1972), "Properties of Pressure Welds in Extruded Aluminum Alloy Section," The Effective and Economic Use of The Special Characteristics of Aluminum and Its Alloys, 25-28 Sept. 1972, Zurich, pp. 95-100.
- Akaret, R., (1992), "Extrusion Welds – Quality Aspects are Now Center Stage," Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'92, Chicago, 22-24 May 1992, Vol.1, pp. 319-336.
- Arabacı, A., (1996), Ekstrüzyon Matrislerinde Kanal Uzunluğu ve Ön Odanın Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bandar, A. R., Lorcharoensery, K. ve Misiolek, W.Z., (1998), "Three Dimensional Material Flow Analysis of Asymmetric Hollow Extrusion," Journal of Materials Technology, Vol. 80, pp. 657-664.
- Chakkingal, U. ve Misiolek, W. Z., (1998), "Welding Phenomena in Extruded Aluminum Hollow Profiles," Automotive Alloys II, The Minerals, Metals & Materials Society, pp. 195-205.
- Derinöz, N., (1984), "Sıcak Ekstrüzyon Teknikleri," II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, 11-13 Ekim 1984, Seydişehir, sayfa: 445-459.
- Duplancic, I. ve Prgin, J., (1996), "Determination of Parameters Required for Joining Process in Hollow Dies," Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'96, Chicago, 14-17 May 1996, Vol.2, pp. 225-230.
- Göymen, V. H., (1988), Ekstrüzyonda Matris Dizaynı ve Şeklinin Malzeme Akışı, Ekstrüzyon Şekline ve Kuvvetine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- <http://www.asia-aec.org/>
- Karahan, İ., (1986), Effect of Extrusion Parameters on the Mechanical Properties of Aluminum, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lange, K., (1985), Fundamentals of Extrusion and Drawing, Handbook of Metal Forming, Chap. 13.
- Laue, K. ve Stenger, H., (1981), Extrusion; Process, Machinery, Tooling, ASM, Metals Park, Ohio.
- McQueen, H. J. Ve Celliers, O. C., (1997), "Application of Hot Workability Studies to Extrusion Processing: Part III. Physical and Mechanical Metallurgy of Al-Mg-Si and Al-Zn-Mg Alloys," Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 36, No. 2, pp. 73-86.
- Özyürek, A., (1997), Sürekli Ekstrüzyonda Kaynama Olayının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pearson, E. C. ve Parkins, R. N., (1960), The Extrusion of Metals, London.

- Prats, A. E. ve Misiolek, W. Z., (1996), "Analysis of Metal Flow in Weld Pocket Dies," Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'96, Chicago, 14-17 May 1996, Vol.2, pp. 75-78.
- Saha, P. K., (1998), "Thermodynamics and Tribology in Aluminum Extrusion," Wear, Vol. 218, pp. 179-190.
- Simonds, H. R., (1954), Extrusion of Plastics, Rubber and Metals, Chap. 17.
- Sönmez, H., (1989), Metal Ekstrüzyonu, Eğitim Yayınları A.Ş., İstanbul.
- Valberg, H., ve Malvik, T., (1996), "Metal Flow in Die Channels of Extrusion Investigated by an Experimental Grid Pattern Technique," Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'96, Chicago, 14-17 May 1996, Vol.2, pp. 17-27.
- Valberg, H., (1996a), "A Modified Classification System for Metal Flow Adapted to Unlubricated Hot Extrusion of Aluminum and Aluminum Alloys," Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'96, Chicago, 14-17 May 1996, Vol.2, pp. 95-100.
- Valberg, H., (1996b), "Extrusion Welding in Porthole Die Extrusion," Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'96, Chicago, 14-17 May 1996, Vol.2, pp. 213-224.
- Veikko, I. J., Jowett, C. W. Ve Dickson, R.F., (1996), "Transverse Weld Defects," Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'96, Chicago, 14-17 May 1996, Vol.2, pp. 89-94.
- Xie, J. X., Murakami, T., Ikeda, K. ve Tahakashi, H., (1995), "Experimental Simulation of Metal Flow in Porthole Die Extrusion," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 49, pp. 1-11.
- Zasadzinski, J., Libura, W. Ve Richert, J., (1996) "Convex Dies for Aluminum Extrusion," Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, ET'96, Chicago, 14-17 May 1996, Vol.2, pp. 231-238.



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	02.09.1975	
Doğum yeri	Diyarbakır	
Lise	1989-1992	Fatih Lisesi
Lisans	1993-1998	Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

**Çalıştığı kurumlar**

1998-2000	Dicle Üniv. Müh. Mim. Fak. Makine Müh. Böl. Araştırma Görevlisi
2000-Devam ediyor	YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi