

67765

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜREKLİ EKSTRÜZYONDA  
KAYNAMA OLAYININ  
İNCELENMESİ

Mak.Müh. Ahmet ÖZYÜREK

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 1997

Doç.Dr. Hüseyin Sönmez

Prof. M. Ulvi Avcı

Doç. Dr. Mustafa Çiğdem

1- Giriş	1
1-1- Ekstrüzyon yöntemleri	2
1-1-1- Hidrostatik ekstrüzyon	2
1-1-2- Mekanik ekstrüzyon	6
1-1-2-1- Direk (İleri) ekstrüzyon	6
1-1-2-2- Endirek (Geri) ekstrüzyon	9
1-1-2-3- Yandan ekstrüzyon	11
1-2- Ekstrüze edilebilen malzemeler	12
1-2-1- Ekstrüze edilebilirlik	12
1-2-2- Ekstrüzyonda akışlar	15
1-2-3- Ekstrüze edilebilen malzemeler	19
a- Oda sıcaklığı ile 300 C arasında ekstrüze edilen malzemeler	19
b- 300 ile 600 C arasında ekstrüze edilen malzemeler	21
1- Alüminyum ve alaşımları	21
2- Magnezyum ve alaşımları	25
3- Çinko alaşımları	27
4- Düşük ergime noktalı lehimleme alaşımları	27
c- 600 ile 1000 C arasında ekstrüze edilen malzemeler	27
1- Bakır ve alaşımları	28

2- Titanyum ve alaşımları	29
3- Zirkonyum	30
4- Berilyum	31
5- Uranyum	32
d- 1000 C'nin üzerinde ekstrüze edilen malzemeler	32
1- Nikel ve alaşımları	33
2- Çelikler	33
3- Yüksek ergime noktalı metaller	35
e- Toz metallerin ekstrüzyonu	35
1-3- Ekstrüzyonda sıcaklığın önemi	37
1-4- Ekstrüzyonda basınç	53
1-5- Ekstrüzyon matrisleri	60
1-5-1- Dolu kesitler için kalıplar	63
1-5-2- Kutu kesitler için kalıplar ve özel kalıplar	67
1-5-2-1- Köprülü kalıplar	67
1-5-2-2- Örümcek kalıplar	68
1-5-2-3- Porthol kalıplar	69
1-5-2-4- Kademeli kesitler için kalıplar	71
1-5-3- Üniform metal akışı için kalıp geçiş uzunlukları	73
1-5-4- Isıl işlem ve ekstrüzyon takımının bakımı	73
1-5-4-1- Isıl işlemler	74
1-5-4-2- Termal gerilmelerin giderilmesi	74

1-5-4-3- Sertleştirme	75
1-5-4-4- Tavlama	76
1-5-4-5- Ekstrüzyon takımlarının yüzey işlemi	77
2- Alüminyum alaşımlarının sürekli ekstrüzyonu	79
2-1- Dolu kesitler için alüminyum alaşımları	80
2-1-1- AlMgSi0.5 ila 0.8 arasındaki alaşımlar	80
2-1-2- AlMgSi0.5'ten yapılmış parlak süsleme malzemeleri	83
2-1-3- AlMgSi1'den yapılmış ekstrüzyon ürünleri	85
2-1-4- AlZnMg1'den yapılmış ekstrüzyon ürünleri	87
2-2- Kutu kesitlerin ekstrüzyonu	90
2-3- Ekstrüze edilmiş alüminyum alaşımından mamul kesitlerde basınç kaynağının özellikleri	93
1- Alın kaynakları	94
2- Dikiş kaynakları	100
2-4- Sürekli ekstrüzyonda kaynama olayı	108
2-4-1- Teknolojik olarak ekstrüzyon kaynakları	109
2-4-2- Dikiş kaynakları	110
2-4-3- Alın kaynakları	119
2-4-4- Ara işin uzaklaştırılması	123
2-4-5- Metalurji	125
2-4-6- Mekanik özellikler	131
2-4-7- Kalitenin teminatı	135
2-4-7-1- Üretim esnasında kalitenin temini	139

2-4-7-2- Ekstrüzyon kaynaklarının muayenesi	142
2-5- Sonuç	144
Ekler	146
Örnekler	152
Kaynaklar	161



## ÖZET

Ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen ürünler İnşaat sektöründe, Otomotiv sektöründe, Elektronik sektöründe, Mobilyacılık ve Süsleme sektöründe ve Reklamcılık gibi farklı sektörlerde kullanılmaktadır.

Ekstrüzyon bilindiği gibi, çok miktarlarda üretim yapmaya uygun bir yöntemdir. Bu yöntemle belli bir kesite sahip istenen uzunlukta ürünler elde edilebilir. Bu özellikleri nedeniyle ekstrüzyon yöntemi üzerine bir çok araştırmalar yapılmış ve çok büyük gelişmeler sağlanmıştır.

Bu çalışmamızda öncelikle Ekstrüzyon yöntemlerini açıklayıp daha sonra da Ekstrüze edilebilen malzemeler, Ekstrüzyonda sıcaklık, basınç, Ekstrüzyon matrislerini tanıtmaya çalışacağız. En son olarakta sürekli Ekstrüzyonda kaynama olayını inceleyeceğiz.

## ABSTRACT

Goods are produced by means of Extrusion method have been used in many different sectors such as Building sector, Electronic sector, Furniture and Decorative making sector and Advertising sector.

As it is known, Extrusion is a suitable method to make mass production. In this method, the products have specified sections can be produced at desired length. Due to its' peculiarities, there are many research on about extrusion method and have acquired many development.

In this study, we will reveal first Extrusion methods and then, Extrudable materials, Temperature and Pressure in Extrusion, and Extrusion Dies. At last, We will survey Welding phenomenon in continuous Extrusion.

## 1 - GİRİŞ

Günümüzde inşaat, otomotiv, reklamcılık, elektronik sanayii, konfeksiyon ve tekstil gibi çeşitli alanlarda diğer metallere göre hafifliği, korozyona direnci, çeşitli yüzey işlem yöntemlerinin uygulanmasına olanak sağlaması gibi nedenlerle tercih edilen Alüminyumun, yukarıda belirtilen alanlarda kullanılabilmesi için üç ekseninde değişik boyuta sahip parçalar için döküm, iki ekseninde değişik boyuta sahip ürünler için ekstrüzyon ve tek ekseninde değişik boyuta sahip ürünler için de haddeleme işlemlerinden geçirilmesi gereklidir.

Biz bu çalışmamızda ekstrüzyon işlemini tanıtmaya çalışıp, ekstrüzyona etki eden faktörler hakkında bilgi verip, ekstrüzyonda kullanılan malzemelerden bahsedip konumuz olan sürekli ekstrüzyonda kaynama olayını incelemeye çalışacağız.

Ekstrüzyon yönteminin ilk uygulaması Joseph BRAMAH tarafından 1797 yıllarında kurşun boru imali için patent alınmasıyla resmi olarak başlar. Bundan sonraki ilk gelişme Thomas BURR'un hidrolik pres kullanmasıyla 1820'lerde görülür. Daha sonraki gelişmeler sırasıyla 1837 yılında alıcı, ıstampa ve matris düzenlenmesindeki gelişmeler; 1863'de sandöviç şeklinde iki ayrı malzemenin birlikte ekstrüzyonunun sağlanması; ve bu tarihten günümüze kadar presler ve kalıplarda yapılan yenilikler ve gelişmelerle günümüze gelmiştir.

Kısaca tanımlamamız gerekirse ekstrüzyon, belli bir hacim içerisindeki malzemenin sıkıştırılarak istenen geometrideki bir açıklıktan (orifis) çıkmaya zorlanıp mamül yada yarı mamullerin elde edilmesi işlemidir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere ekstrüzyon bir kaç yönden sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalar da; kullanılan sıkıştırma vasıtasına göre (Hidrolik yada Mekanik), ıstampa ile malzemenin hareket yönlerine göre (İleri, Geri yada Yandan), işlemin yapıldığı sıcaklığa göre (Soğuk, Ilık

yada Sıcak), elde edilen ürüne göre (Mamül yada Yarımamül) şeklinde olabilir.

### 1-1 EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİ

Ekstrüze edilen çeşitli alaşımların farklı akış karakteristikleri ve ekstrüzyon parametreleri ile konteynır içerisindeki akışların doğası arasındaki farklar nedeniyle bütün malzemeler için aynı metodun kullanılması imkansızdır. Kalite ve verimlilikte optimum değerlere ulaşabilmek için alaşımların akış karakteristiklerine göre farklı metodlar kullanılır. Biz sınıflandırmamızı önce sıkıştırma vasıtasına göre;

a- Hidrolik

b- Mekanik

ve daha sonrada Mekanik ekstrüzyonu ıstampa ile malzemenin akış yönlerine göre;

a- Direk (ileri)

b- Endirek (geri)

c- Yandan

olmak üzere yapacağız.

#### 1-1-1 HİDROSTATİK EKSTRÜZYON

Hidrostatik ekstrüzyonda konteynır içerisindeki takoz, bir basınç elemanı gibi davranan bir sıvı tarafından kalıptan geçmeye zorlanır. Prensip yeni değildir, ilk patent 1894'te alınmış fakat o tarihlerde endüstriyel bir uygulama imkanı bulmamıştır. Düşünce Bridgman ve Pugh tarafından tekrar ele alınmış ve işlemin gerçekleştirilmesi için çalışılmıştır. Mekanik problemler çözülmüş ve özellikle 20 kbar gibi yüksek basınçlardaki sızdırmazlık sorunu halledilmiştir. Günümüzde 40 MN'a kadar hidrostatik ekstrüzyon presleri kullanılmaktadır.

Hidrostatik ekstrüzyon sadece gevrek malzemelerle çalışmak için değil, aynı zamanda Al ve Cu gibi yumuşak malzemeler için de uygundur. İşlem sıcak yada soğuk olarak adlandırılmaz, soğuk yada ön ısıtılmış takozlar kullanılabilir. Mekanik ve Hidrostatik ekstrüzyon arasındaki en önemli fark, mekanik ekstrüzyonda radyal basıncın aksel basınca göre % 20-80 daha az olmasına rağmen hidrostatik ekstrüzyonda radyal ve aksel basınçların eşit olmasıdır. Bununla birlikte takımlar önemli derecede büyük basınca dayanmalıdır.

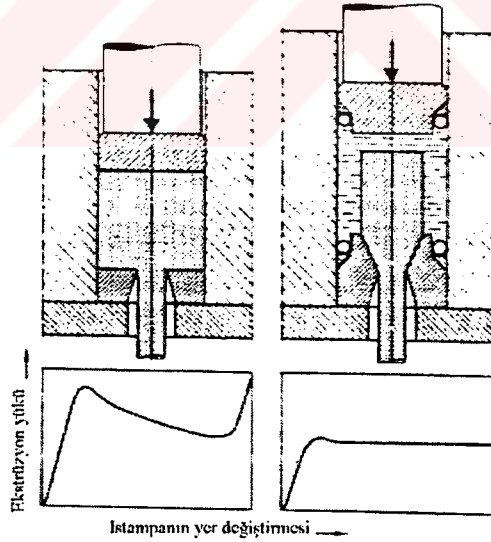
Hidrostatik ekstrüzyon esas olarak iki gruba ayrılabilir;

a- Çıkış basınçsız (Direk atmosfere çıkış)

b- Çıkış basınçlı

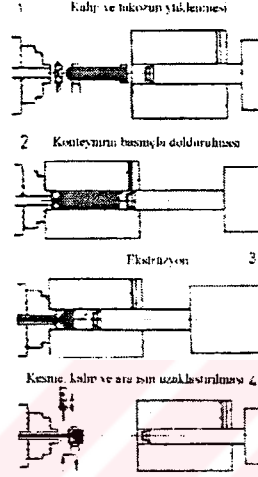
a- Çıkış Basınçsız Hidrostatik Ekstrüzyon

Hidrostatik ekstrüzyonun en basit metodudur. Malzeme konvansiyonel metodların çoğunda olduğu gibi kalıptan atmosfere açık bir ortama çıkar.(Şekil 1)



Şekil 1 Basit hidrostatik ekstrüzyonun konvansiyonel ekstrüzyonla karşılaştırılması. (a) Düz kalıp konvansiyonel ekstrüzyon (b) Konik kalıpla hidrostatik ekstrüzyonun yük profili. /1/

Konteynır ve içindeki basınç iletim sıvısı, ıstampa ve kalıp yönünden yüksek basınca dayanıklı sızdırmazlık elemanlarının yardımıyla kapatılır. Ekstrüzyon, basınç malzemenin akma gerilmesine ve ekstrüzyon oranına bağlı olarak gereken yeterli değere ulaştığında başlar. Konik kalıp yağlayıcı bir film tabakasının gelişebilmesi için kullanılır. Çalışma çevrimindeki dört safha Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2 Hidrostatik ekstrüzyonda işlem sırası. /1/

Basit hidrostatik ekstrüzyonun konvansiyonel metodlara göre ana avantajları;

(a) Takoz ve konteynır arasında sürtünme bulunmaz. Bu nedenle ekstrüzyonun başlangıcındaki yük çok daha düşüktür ve teorik olarak her uzunluktaki takozlar kullanılabilir.

(b) Kalıptaki sürtünme, deformasyona uğrayan malzeme ile kalıp yüzeyi arasında oluşan yağlayıcı film tarafından azaltılır.

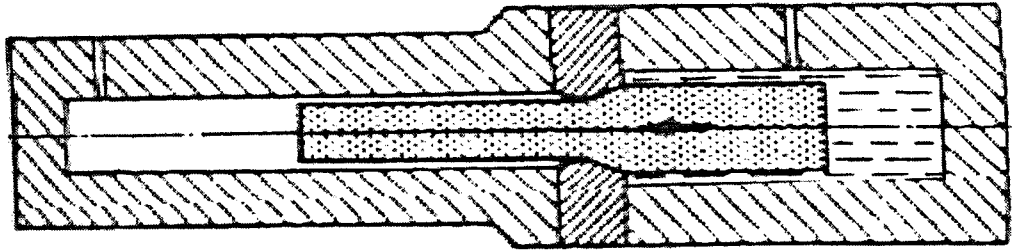
(c) Daha düşük ekstrüzyon yükü ve azalmış kalıp sürtünmesi daha yüksek ekstrüzyon oranlarının kullanılmasına izin verir

(d) Deformasyonlar tarafından ortaya çıkarılan ısının (malzeme özelliklerine ekstrüzyon oranına ve hızına bağlı olarak) aşırı olmaması şartıyla, soğuk işlenmiş malzemeler işlenebilir.

İşlemin bir dez avantajı, takozların oldukça zahmetli olan hazırlanmasıdır. Her takozun ön ucu, ekstrüzyonun başlangıcında sızdırmazlığı sağlamak için kalıp açısında sivriltilmelidir. Yine genel olarak takozların bütün yüzeyleri-özellikle döküm takozlar kullanılıyorsa- mekanik olarak işlenmelidir. Böylece, bilhassa düşük ekstrüzyon oranları kullanıldığında ekstrüze edilmiş ürünün üzerinde görülen uzunlamasına yüzey hataları önlenmiş olur.

#### b- Çıkış Basıncı Hidrostatik Ekstrüzyon

Gevrek malzemeler, konvansiyonel yöntemlerle yada soğuk ekstrüzyonla veya basit hidrostatik ekstrüzyonla, bu malzemelerin düşük süneklikleri ve kalıp çıkışında hidrostatik basıncın sıfıra düşmesi nedeniyle oluşan kırılmalar dolayısıyla ekstrüze edilemezler. Bununla birlikte, eğer ürünler yeterli yükseklikte bir çıkış basıncı içeren bir hidrolik basınç odasına ekstrüze edilirse, kalıp çıkışındaki hidrolik basınç artmış olur. Bu nedenle süneklik gelişir ve çatlaksız ekstrüzyonlar üretilebilir. Bu Şekil 3'de görülen çıkış basıncı hidrostatik ekstrüzyonun prensibidir. Çıkış basıncı ekstrüzyona devam etmek için gerekli konteynır içi basıncın miktarında arttıracaktır. Bu metodun en önemli dezavantajıdır, çünkü konteynır içerisindeki çalışma basıncı nadiren 20 kbar'ı aşar, bu gerçekleştiğinde de, maksimum ekstrüzyon oranı elde edilir.



Şekil 3 Çıkış basıncı ekstrüzyon metodu /1/

Bunların dışında hidrostatik ekstrüzyonla konvansiyonel ekstrüzyonun karışımı metodlar olduğu gibi hidrostatik ekstrüzyonun yarı sürekli ve sürekli tipte gerçekleştirilenleri de vardır.

### 1-1-2 MEKANİK EKSTRÜZYON

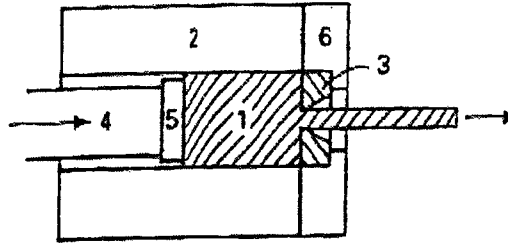
#### 1-1-2-1 DİREK (İLERİ) EKSTRÜZYON

Direk (İleri) ekstrüzyon en basit ve en yaygın ekstrüzyon yöntemidir. Direk ekstrüzyon için tipik bir işlem sırası aşağıdaki gibidir;

a- Isıtılmış takoz konteynır içerisine yerleştirilir.

b- Kullanılan pres ve ekipmanlarına bağlı olarak ıstampaya ya direk olarak takozla temas eder yada önündeki bir baskı diski ile itme kuvvetini takozla iletir. Bu kuvvet takozun ilk önce yığılmasına neden olur, daha sonrada malzemenin kalıp açıklığından akışını başlatır. Ekstrüzyon esnasında ince bir tabaka malzeme konteynır çeperlerinde kalabilir. Ekstrüzyon takozun sonuna doğru ince bir metal diskin konteynırdan çıkarılabilmesi için durdurulur.

c- Konteynır kalıptan ayrılır, varsa baskı diski bu esnada açıklıktan konteynır dışına çıkar.



Şekil 4 Direk ekstrüzyonun basit şeması /2/

d- Kalıba yapışık olarak kalan takozun son parçası (araiş) takoz yüzeyinde bulunan pislik ve kalıntıların toplandığı bir hacimdir. Bu yüzden

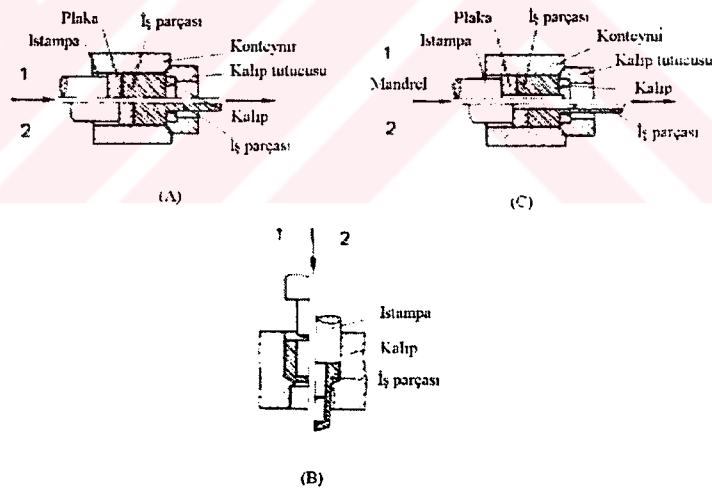
ortamdan uzaklaştırılmalıdır, aynı zamanda bu işlem ekstrüze edilen mamulün sonunda oluşması muhtemel boru (oyuk) hatasınada engel olur.

e- Araişi kesen makas yerine döndükten sonra, konteynır tekrar eski durumuna gelir ve yeni bir takoz alınarak işlem devam eder.

Direk ekstrüzyonda ıstampa doğrultusu ve yönüyle, malzemenin çıkış doğrultu ve yönü aynıdır. Direk ekstrüzyonu üretilen mamulün cinsine görede sınıflandırabiliriz. Bunlar;

Çubuk ileri ekstrüzyonu: Dolu bir kesitten (takoz) redüksiyonla daha küçük bir dolu kesit elde edilir. Takım açıklığının şekli sadece kalıp tarafından belirlenir.(Şekil 5a)

Tüp ileri ekstrüzyonu: Küçültülmüş et kalınlığındaki bir içi boş kutu yada kap, içi boş bir kutu yada gömlekten üretilir. Takım açıklığının şekli kalıp ve ıstampanın her ikisi tarafından belirlenir. Bu metod "Hooker" ekstrüzyonu olarak bilinir.(Şekil 5b)

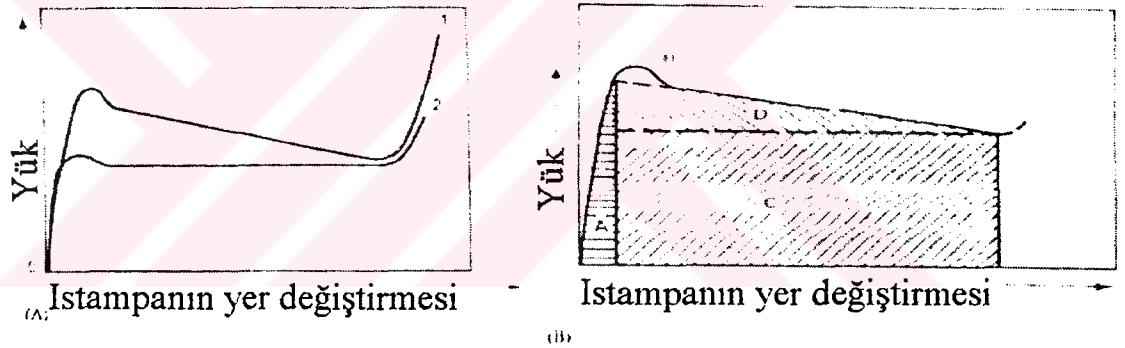


Şekil 5 Direk ekstrüzyonun çeşitleri a- Çubuk b- Tüp c- Kutu ileri ekstrüzyon /3/

Kutu ileri ekstrüzyonu: Son ürün kutu profil şeklinde bir iş parçasıdır. Kalıp açıklığının şekli kalıp ve mandrelin her ikisi tarafından

belirlenir. Mandrel avare, sabit veya ıstampaya kenetli olabilir, veya ıstampayla beraber hareket edebilir, yada kalıbın bir parçası olarak dizayn edilebilir.(Şekil 5c)

Tipik yük ıstampa yolu eğrilerinden de görüleceği gibi (Şekil 6) direk ekstrüzyonda yük başlangıçta, takoz yığılıp konteynır içerisinde tam olarak doldururken çok hızlı artmaktadır. Bunu basınçtaki bir diğer artış izlemektedir ve ekstrüzyon başlamaktadır. Bir şekilde koni şeklindeki deformasyon bölgesi kalıbın ön yüzünde oluşmaktadır. Maksimum yüke ulaşıldıktan sonra, ekstrüzyon basıncı düşer, takoz boyuda belli bir minimuma ulaşması kadar azalır, bu noktadan sonra yük yine çok hızlı olarak artar. Bu son basınç artışı işlemin sonunda sadece takozdan disk şeklinde bir kısmın kalmış olması nedeniyle, metal kalıp açıklığına doğru radyal olarak akmak zorundadır. Deformasyonlara karşı gösterilen direnç azalan takoz boyuyla orantılı olarak artar.



Şekil 6 Yağlamasız ekstrüzyon işlemi için tipik yük-ıstampa yolu eğrileri a- Yük-ıstampa yolu eğrileri Direk (1 nolu eğri) ve Endirek (2 nolu eğri) ekstrüzyon için b- Deformasyon işinin dağılımı. A yığıma işi, B deformasyonu başlatmak için gereken iş, C deformasyon işi, D direk ekstrüzyonda sürtünme ve makaslamanın üstesinden gelmek için gereken iş.

### 1-1-2-2 ENDİREK (GERİ) EKSTRÜZYON

Endirek yada geri ekstrüzyonda bir iş parçasına (takoz) doğru kalıp içi boş bir ıstampa tarafından itilir ve kalıp konteynıra göre göreceli hareket eder, fakat takoz ile konteynır arasında göreceli bir hareket bulunmaz. Sonuç olarakta takoz-konteynır ara yüzeyinde sürtünme kuvvetleri oluşmaz, böylece deformasyonlar ve sürtünmeler tarafından üretilen ekstrüzyon yükü ve sıcaklığı azalır. (Şekil 6) Kısaca ıstampa ve mamulün hareket doğrultusu aynı ancak yönleri farklıdır.

Bir dolu kesitin endirek ekstrüzyonu için işlem sırası aşağıdaki gibidir;

- Kalıp prese monte edilir.
- Takoz konteynıra yüklenir.
- Takoz ekstrüze edilir ancak bir araiş bırakılır.
- Kalıp ve araiş mamulden ayrılır.

Endirek ekstrüzyon aşağıdaki avantajlara sahiptir;

- Direk ekstrüzyona göre maksimum yükte %25 ila %30 lara varan azalış.

- Takoz ile konteynır arasında göreceli bir yer değiştirme olmadığından ekstrüzyon basıncı takoz uzunluğunun bir fonksiyonu değildir. Böylece takoz uzunluğu bu metod için gereken yük tarafından sınırlandırılmamış olur, ancak belirli bir konteynır boyu için gerekli içi boş ıstampanın uzunluğu ve stabilitesi tarafından sınırlama mevcuttur.

- Takoz ile konteynır arasında sürtünme olmaması dolayısıyla ilave ısı artışları olmamaktadır, bunun sonucunda direk ekstrüzyonda olduğu gibi ekstrüzyonun sonuna doğru takoz yüzeyinde bir sıcaklık artışı oluşmamaktadır. Bu nedenle, endirek ekstrüzyonda, kenarlarda ve yüzeyde

çatlak oluşma eğilimi daha azdır ve ekstrüzyon hızları önemli oranda daha yüksektir.

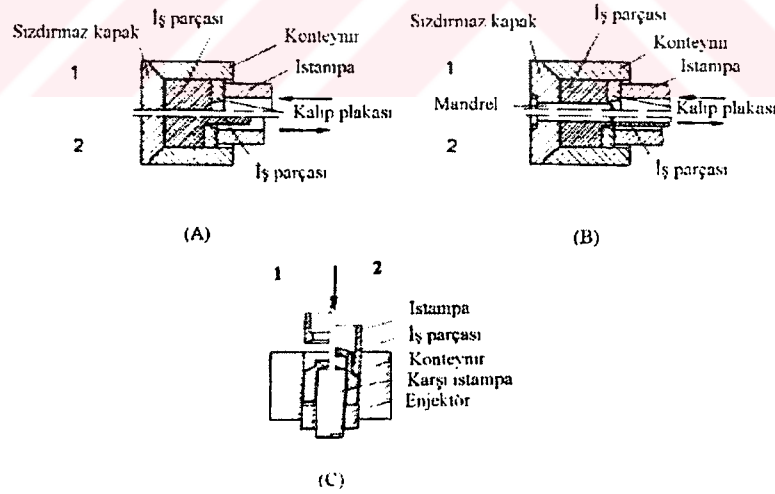
■ Takımların ömrü daha uzundur, özellikle iç konteynır gömleğinin ömrü sürtünme olmaması nedeniyle daha uzundur.

Endirek ekstrüzyonun dezavantajı, takoz yüzeyindeki kalıntı ve hataların ekstrüzyon yüzeyini etkilemesi ve araiş yada kabuk gibi konteynır dışına çıkarılmamasıdır. Sonuç olarak bir çok durumda yüzeyi mekanik olarak işlenmiş takoz kullanılmaktadır. Buna ilave olarak, ekstrüze edilecek ürünün kesit alanı da içi boş ıstampanın ölçüleriyle sınırlıdır.

Endirek ekstrüzyonu sınıflandırmak istersek;

**Dolu Çubuk Endirek Ekstrüzyon:** Son ürün profil şeklinde içi dolu bir iş parçasıdır. Kalıp açıklığının şekli sadece kalıp tarafından belirlenir. (Şekil 7a)

**Kutu Endirek Ekstrüzyon :** Son ürün kutu profil şeklinde bir iş parçasıdır. Kalıp açıklığının şekli kalıp ve mandrelin her ikisi tarafından belirlenir. Mandrel avare, sabit yada kalıba tutturulmuş olabilir. (Şekil 7b)



Şekil 7 Endirek ekstrüzyonun çeşitleri; a- Dolu çubuk endirek ekstrüzyon b- Kutu endirek ekstrüzyon c- Endirek tüp ekstrüzyonu. /3/

Endirek Tüp Ekstrüzyonu : Küçültülmüş et kalınlığındaki bir kutu yada kap, bir kutu yada gömlekten üretilir. Takım açıklığı ıstampa ve karşı ıstampa tarafından belirlenir. (Şekil 7c)

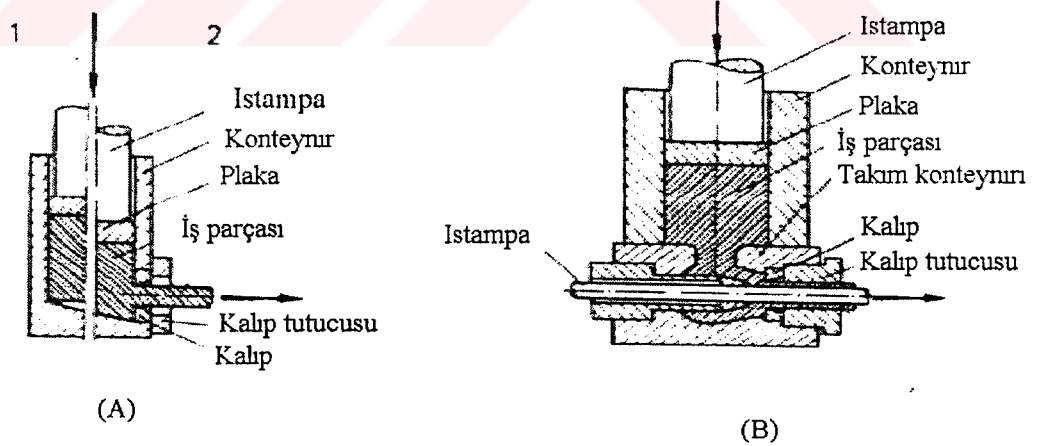
### 1-1-2-3 YANDAN EKSTRÜZYON

Bu ekstrüzyon yönteminde ıstampa ile mamulün hareket yön ve doğrultuları farklı, birbirine dik yada açılıdır. Bu yöntem genelde kablo kaplama gibi özel imalat yöntemlerinde oldukça fazla kullanılır.

Yandan ekstrüzyon yönteminin çeşitleri ise kısaca şöyledir;

Dolu Çubuk Yandan Ekstrüzyon : Son ürün profil şeklinde dolu bir iş parçasıdır. Kalıp açıklığının şekli sadece kalıp açıklığı tarafından belirlenir. (Şekil 8)

Kutu Yandan Ekstrüzyonu : Son ürün kutu profil şeklinde bir iş parçası yada yüzeyi kaplanmış bir iş parçasıdır. Kalıp açıklığının şekli kalıp ve mandrelin (yada kaplanacak malzeme) tarafından belirlenir. (Şekil 8)



Şekil 8 Yandan ekstrüzyonun çeşitleri; a- Dolu çubuk yandan ekstrüzyon b- Kutu yandan ekstrüzyon. /3/

## 1-2 EKSTRÜZE EDİLEN MALZEMELER

Ekstrüze edilen malzemeleri ve özelliklerini anlatmadan önce, ekstrüzyon işleminde önemli faktörler olan “Ekstrüze Edilebilirlik” ve “Ekstrüzyonda Akışlar” konularını inceleyeceğiz. Bu kavramları açıkladıktan sonrada ekstrüze edilen malzemeleri sınıflandırıp kısaca özelliklerinden bahsedeceğiz.

### 1-2-1 EKSTRÜZE EDİLEBİLİRLİK

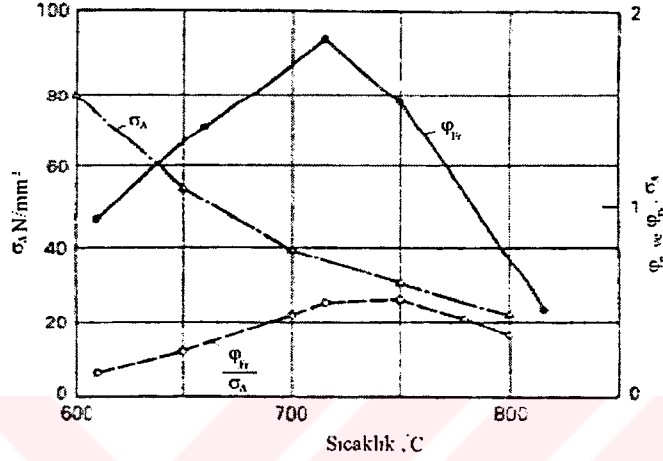
Genelde “İşlenebilirlik” ve özelde “Ekstrüze Edilebilirlik”, malzemenin ve deformasyon koşullarının fonksiyonları olan karmaşık parametrelerdir. “İşlenebilirlik” terimi, bir metalin deforme edilebilirliğinin kolaylığına ve o malzemenin dayanabileceği deformasyon derecesine işaret etmektedir. Deformasyonun kolaylığı verilen koşullardaki akma gerilmesi  $\sigma_A$  tarafından kontrol edilirken deformasyonun derecesi yumuşaklık  $\phi$  tarafından kontrol edilir. Böylece işlenebilirlik aşağıdaki gibi açıklanabilir;

$$W \cong \frac{\phi}{\sigma_A} \quad (1.1)$$

Ekstrüzyonda, iki deformasyon parametresi olan  $\sigma_A$  ve  $\phi$  nin ölçülmesi çok zordur, ve işlenebilirlik genellikle laboratuvar çalışmaları ile belirlenir, bulunan sonuçlar ekstrüzyon denemelerinin yerini alamaz ancak bu denemeleri tamamlayabilir. Sıcak işlemede Burulma testi  $\sigma_A$  ve  $\phi$  nin belirlenmesi için en uygun metottur.

Burada  $\sigma_A$  hemen hemen yüklemenin tipinden bağımsızken,  $\phi$  deformasyon esnasındaki gerilim durumuna bağlıdır. Bu nedenle, burulma testinde ölçülen kırılmaya kadar olan deformasyon ekstrüzyondaki yumuşaklığı  $\phi$  vermez. Bu ikinci durumda, ölçülen değerler daha yüksek

ortalama basınçlar ( $\sigma_m / \sigma_A$ )<sup>1</sup> kullanılarak ekstrüzyon için çok daha uygun değerler elde etmek için tekrardan hesaplanmalıdır. Bununla beraber, niceliksel çeviri ilişkileri mevcut olmadığı için, burulma testlerinde ölçülen işlenebilirlik, farklı metalleri, farklı malzeme koşullarını, ve deformasyon sıcaklıklarını karşılaştırmak için kullanılabilir.



Şekil 9 CuZn39Pb3 ün sıcaklığın bir fonksiyonu olarak işlenebilirlik karakteristiği. (Burulma testindeki numune boyutları çap 10 mm, uzunluk 50 mm) /1/

Şekil 9'da yukarıda bahsedildiği gibi bir karşılaştırma görülmektedir. Burada CuZn39Pb3 malzemesinin sıcaklığa bağımlılığı belirtilmiş ve optimum sıcak işleme sıcaklığı verilmiştir. Diyagrama göre, en iyi işlenebilirlik 740 °C civarında elde edilirken, maksimum yumuşaklık 715 °C'ta elde edilir. Bu durumda optimum sıcak işleme sıcaklığı; seçilen ekstrüzyon koşulları altında; ya işlemin metalin yumuşaklık sınırı yakınlarında gerçekleştirilmesine yada ekstrüzyon presinin kapasitesinin yakınlarında gerçekleştirilmesine bağlıdır. Sıkıştırma testleri, iyi bir işlenebilirlik ile malzemelerin yumuşaklığının ölçülmesi için uygun değildir,

<sup>1</sup>  $\sigma_m$  ortalama gerilme.  $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$

çünkü maksimum deformasyon %80 ile sınırlandırılmıştır ve kırılmaya kadar olan yumuşaklık elde edilemez.

Ek 1’de bir çok metalik malzemenin sıcak burulma testlerinde ölçülen deformasyon parametreleri görülmektedir. İşlenebilirlik  $\Phi / \sigma_A$  ekstrüze edilebilirlikle ilgili göreceli bir değer verir. İşlenebilirliğin değerleri ile ekstrüze edilebilirlik arasındaki ilişki tam olarak gerçeği yansıtmasa da, aşağıdaki sınıflandırma pratik olarak işe yarıyabilir;

$\Phi / \sigma_A$ (N/mm <sup>2</sup> )	Ekstrüze edilebilirlik
< 2	Zayıf
2 - 4	Orta
4 - 15	İyi
> 15	Çok iyi

Belirtilmelidir ki, bu değerler sadece malzemenin ekstrüze edilebilirliğine işaret eder fakat belirli bir kesitin yada bir tüp şeklindeki profilin çok iyi ekstrüze edilebilirliğe sahip bir malzemedan üretilebileceğini göstermez. Ekstrüzyon parametreleri (Ekstrüzyon oranı, takoz uzunluğu, sıcaklık gibi) mevcut pres kapasitesinin yetersiz kalacağı şekilde istenmeyen değerlere ulaşabilir. Böylece daha yüksek sıcaklıkların kullanımı gerekebilir, bu özellikle yüksek dayanımlı ve yüksek ergime noktalı alaşımlarda görülebilir. Bununla birlikte, ekstrüze edilebilirlik optimum bir sıcaklığın üzerinde azalır, çünkü ekstrüzyon yönüne dik yönde sıcak kısa çatlakların oluşma eğilimi artar.

Homojen olmayan malzemelerde ikincil fazın çökelmeleri yada yüksek sıcaklıklarda tanelerin yapışmasını zayıflatan tane sınırlarındaki

katışkılar bu çatlakların oluşum nedenleri için en kuşkulanan noktalardır, çünkü malzeme, kalıptaki sürtünmeler tarafından ekstrüzyonun yüzeyinde oluşturulan çekme gerilmelerine dayanamaz.

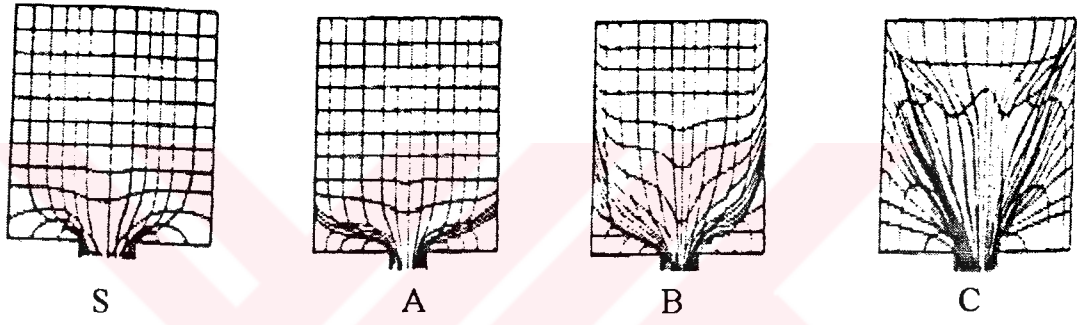
Bir çok malzemenin ekstrüze edilebilirliği, bir çok alüminyum ve magnezyum alaşımlarını, nikel alaşımlarını ve yüksek dayanımlı çelikleride içerecek şekilde, çok dar sınırlar arasındadır. Her bir durumda ekstrüze edilebilirlik bir çok parametrelere bağlı olarak değerlendirilir. Bu parametreler;

- a- İşlenebilirlik  $\phi / \sigma A$
- b- Ekstrüzyon sıcaklığı
- c- İzin verilen sıcaklık aralığı
- d- Gerekli yük yada özgül basınç
- e- Sabit ekstrüzyon yükündeki çıkış sıcaklığı
- f- Maksimum ekstrüzyon hızı
- g- Maksimum ekstrüzyon oranı

### 1-2-2 EKSTRÜZYONDA AKIŞLAR

Ekstrüzyon genellikle sürekli olmayan bir işlem şeklinde gerçekleştirilir, yani ikinci takoz ilk takoz ekstrüze edilesiye kadar işleme katılamaz. Sabit olmayan akış, takoz içerisindeki sıcaklık değişimleri, sınırlandırılmış takoz uzunluğu, konteynır ve takoz arasındaki sürtünmeler ile takoz ile baskı pulu arasındaki sürtünmeler nedeniyledir. Bu, takozun başlangıcı ile sonu arasında üniform olmayan akışa yol açar ve çevrim boyunca ekstrüzyon yükünde değişiklikler, ekstrüzyon boyunca ve kesitte malzeme özelliklerinde değişimlere yol açan sıcaklık farklılıkları ve muhtemel hatalar ile sonuçlanır. Konteynır içerisindeki akışla ilgili bir çok araştırmalar bu genellikle istenmeyen etkilerle uğraşmaktadır.

Bir çok araştırmacı tarafından deneysel yollarla ekstrüzyondaki akış tipleri tespit edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, konteynır içerisindeki takozun akışı, ekstrüze edilen malzemeye ve kullanılan işleme göre karakteristik bir şekilde değişmektedir. Bu farklılıkların ana nedeni konteynır duvarlarındaki sürtünmenin sebep olduğu direncin büyüklüğüdür. Bazı durumlarda sıcak ekstrüzyonda, konteynırdaki ısı kayıpları takoz yüzeyinin merkezine göre daha soğuk olmasına yol açar ve akma gerilmesindeki bunun karşılığı olan artış önemli bir etkiye sahiptir. Gözlenen akış paternlerinin farklı tipleri dört sınıfa ayrılır; S, A, B, ve C bu sıralama akışın üniform olmamasındaki artışıda gösterir. (şekil 10)



şekil 10 Ekstrüzyonda dört farklı akış tipinin şematik diyagramı. /1/

**Akış Tipi S :** Bu akış tipi konteynırdaki akışın mümkün olan maksimum üniformluğu tarafından karakterize edilir. Plastik akış ana olarak direkman kalıbın önündeki deformasyon bölgesinde yer alır. Ekstrüze edilmemiş takozun büyük kısmı, kalıba doğru rijit bir hacim olarak itilir, şekil 10'daki arpılmamış ızgaralardan da görüleceği gibi deforme olmadan kalır. Böylece takozun n kısmı deformasyon bölgesine doğru eşit şekilde hareket eder. Bu çok üniform akış sadece, konteynır duvarlarında yada kalıp yüzeylerinde sürtünme olmaması durumunda mümkün olur. Pratikte, sürtünmesiz ekstrüzyon mümkün değildir, fakat akış paterninin bu tipine, çok etkili bir yağlayıcı kullanıldığında yaklaşılabilir. Sürtünmenin yokluğunda bile, gerinim oranı ve gerinim potansiyeli deformasyon bölgesi

boyunca değişir çünkü malzemenin kalıp açıklığına doğru akışı esnasında hareket yönünde değişiklikler bulunmaktadır. Metal, konteynır ile kalıp arasındaki keskin köşelerin çevresinden malzemenin sınırlamaları dolayısıyla akamaz. Bu nedenle, malzeme “ölü metal bölgesi”nin önünde oluşan huni şeklindeki makaslama bölgesi boyunca akar. Bu S akış tipinde oldukça kısadır.

Akış Tipi A : Akış tipi A konteynır ile takoz arasında hemen hemen hiç sürtünme bulunmadığı fakat kalıp yüzeyinde ve kalıp tutucusunda önemli sürtünmelerin olduğu durumlarda meydana gelir. Bu çevre bölgelerdeki akışı yavaşlatır ve bu bölgelerdeki makaslama (kayma) miktarını artırır. Sonuç S akış tipindekinden daha geniş ölü metal bölgesi yani bunun karşılığı olarakta daha geniş deformasyon bölgesidir. Bununla beraber merkezdeki deformasyon hala göreceli olarak üniformdur. Bu tip akış paternleri, kurşun, kalay,  $\alpha$ -pirinçleri gibi yumuşak alaşımların yağlamalı ekstrüzyonları esnasında yada bir yağlayıcı gibi etki gösteren oksitle kaplı yüzeye sahip bakır takozlarının ekstrüzyonunda olduğu gibi, oluşur.

Akış Tipi B : Bu akış tipi, eğer konteynır duvarlarında ve kalıp yüzeyleri ve kalıp tutucularının hepsinde de sürtünme varsa ortaya çıkar. Çevre bölgeler takoz konteynır ara yüzeyinde yavaşlatılırlar, bu arada daha düşük dirençle karşılaşan merkezdeki malzeme kalıba doğru hızlanır. Yüzeydeki yavaşlatılmış bölgeler ile merkezdeki hızlanan malzeme arasındaki makaslama bölgesi, ekstrüzyon parametrelerine ve alaşıma bağlı olarak belli bir mesafeye kadar takozun gerisine doğru genişler. Bu nedenle ölü metal bölgesi geniştir. Ekstrüzyonun başlangıcında makaslama deformasyonu çevre bölgelerde yoğunlaşmışken, deformasyon sürdükçe merkeze doğru genişler. Bu takozun yüzeyinden malzeme akışı tehlikesini artırır. Bu tehlikede, takoz yüzeyinin makaslama bölgesi boyunca akışa katılması ve bunun ekstrüzyon yüzeyinin altına kadar sürmesi nedeniyle, takoz yüzeyindeki kirliliklerin yada yağlayıcının ekstrüzyon yüzeyinde

kabarcık ve pullanmaları oluşturmaktadır. Ölü metal bölgesi de tamamen rijit değildir ve ; belirli bir dereceye kadar olmakla birlikte; metalin akışını etkileyebilir. Akış tipi B, yağlayıcı oksit tabakası geliştiremeyen tek fazlı (homojen) bakır alaşımları ile bir çok alüminyum alaşımlarında gözlenir.

Akış Tipi C : Akış tipi C, sürtünme yüksek olduğunda; akış tipi B gibi; ve takozun daha soğuk çevre bölgelerindeki malzemenin akma gerilmesi  $\sigma_A$  nın merkezdeki malzemenin akma gerilmesinden oldukça yüksek olduğu durumlarda; ki bu halde takoz yüzeyi göreceli olarak sert bir kabuk oluşturur; sıcak ekstrüzyonda görülür. Bu nedenle konik ölü metal bölgesi daha geniştir ve takozun önünden arkasına kadar uzanır. Ekstrüzyonun başlangıcında malzeme kalıba doğru akarken, sadece huni içerisindeki malzeme plastiktir ve özellikle makaslama bölgesinde çok fazla deforme olmuştur. Takoz uzunluğu azalırken sert dış kabuk ve ölü metal bölgesi aksel bası kuvvetlerinin altındadır ve sonuçta dış bölgelerin yer değiştiren malzemesi, takozun arkasına doğru olan daha düşük dirençli bir yolu izler ve takozun arkasında yönünü değiştirerek merkeze ve huninin içine doğru akar.

Akışın bu tipi, takozun dış bölgelerinin soğumasının akma gerilmesinde artışa yol açtığı  $(\alpha+\beta)$ - pirinçlerinde görülür. Çünkü sıcak ekstrüzyon esnasında a fazının akma gerilmesi b fazının akma gerilmesinden çok daha yüksektir.  $(\alpha+\beta)$ - pirinçlerinde olduğu gibi C akış tipi, sert takoz kabuğu ile aynı zamanda konteynır duvarlarındaki sürtünmenin yüksek olduğu durumlarda meydana gelecektir. Eğer takoz ile konteynır arasında büyük sıcaklık farklılıkları varsa bu akış tipi, daha yüksek akma gerilmesine yol açan faz farklılığı olmaksızın da meydana gelebilir. Bu kalay, alüminyum ve alaşımlarında da görülebilir.

Boru hatası olarak bilinen ekstrüzyon hatasına C akış tipi yol açar. Bu ekstrüzyonun gerisinde kesitte görülen halka şeklinde bir ayrılımadır. Konteynır içerisindeki üniform olmayan malzeme akışı, ısının üretilmesi ve

dağılımı ile birlikte eşit olmayan sıcaklık ve gerinim oranlarıyla sonuçlanır, bunun sonucunda da eşit olmayan akma gerilmeleri oluşur.

### 1-2-3 EKSTRÜZE EDİLEBİLEN MALZEMELER

Genel olarak ekstrüze edilebilen malzemeleri işlemin gerçekleştirildiği sıcaklık aralığına göre sınıflandırmak mümkündür. Buna göre ekstrüze edilebilen malzemeler;

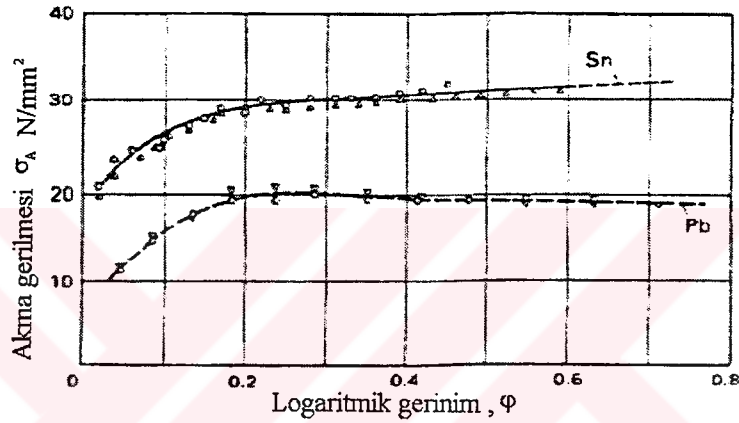
- a- Oda sıcaklığı ile 300°C arasında ekstrüze edilen malzemeler
- b- 300-600°C arasında ekstrüze edilen malzemeler
- c- 600-1000°C arasında ekstrüze edilen malzemeler
- d- 1000°C'nin üzerinde ekstrüze edilen malzemeler
- e- Toz metallerin ekstrüzyonu

olarak sınıflandırabiliriz. Şimdi bu sınıflandırmadaki malzemelerin ekstrüzyonla ilgili özellikleri ve ekstrüze edilebilirlikleri konusunda bazı bilgiler vereceğiz.

#### a- Oda Sıcaklığı ile 300°C Arasında Ekstrüze Edilen Malzemeler:

Bu grup sadece kurşun ve kalay yada bu iki elementin birbiriyle olan alaşımlarını veya bu elementlerin en önemlileri antimuan, bakır, gümüş ve kadmiyum olan elementlerle olan alaşımlarını içerir. Bu malzemeler ana olarak borularda, lehim tellerinde ve kablo kaplamalarında kullanılır. Lehimler içlerinde lehim pastası bulunan dolu yada kutu teller olarak ekstrüze edilir yada çekilirler. Kurşun borular ya kimya endüstrisinde yada bazı durumlarda %1 antimuan içeren alaşımları su borularında kullanılır. Antimuan, arsenik, kalay, kadmiyum gibi alaşımlama elemanları, kimyaşal ekipmanlar için genellikle yetersiz olan sünme yada yorulma dayanımlarını geliştirir. Yumuşak kurşun ve PbSb yada PbSn alaşımları, genelde daha uygun olan alüminyum kaplama seçilmemişse, kablo kaplamada kullanılır.

Kurşun ve kalay deformasyonlardan sonra 0°C gibi düşük sıcaklıklarda rekristalize olabilirler (yeniden billurlaşma). Bu nedenle oda sıcaklığında soğuk pekleşme olayı görülmez. Bu yumuşak kurşunun gerilim-gerinim eğrilerinden açıkça görülebilir. (Şekil 11) Düşük akma gerilmesi, çok düşük yada olmayan soğuk pekleşme, ve yüksek yumuşaklık yumuşak malzemelere yüksek plastiklik verir. Katı çözeltili sertleşmesi alaşımlama ile elde edilir. Alaşımlamada basit dayanımın, soğuk pekleşebilmenin ve yeniden billurlaşma sıcaklığının artmasına yol açar. Alaşımlama maddeleri doğal olarak ekstrüzyon yükünü artırır.



Şekil 11 Oda sıcaklığında kurşun ve kalayın gerilim-gerinim eğrileri./1/

Alaşımların daha yüksek akma gerilmesi, ekstrüzyon oranını azaltmayı ve iyi bir ürün elde etmek için mümkün olan en yüksek sıcaklıkta ekstrüze etmeyi zorunlu kılar. Tane sınırı dayanımı, özellikle alaşımlarda, erime noktasına yada solidus sıcaklığına yaklaştığında düşer. Metal ile konteynır yada kalıp arasındaki sürtünmelerden kaynaklanan ilave ısı girişi sıcaklığı kritik sınırın üzerine çıkarır ve ekstrüzyon yönüne dik sıcak kısa çatlaklar oluşur. PbSb1 için kritik sıcaklık yaklaşık 290°C dir. Kurşun ve kalay alaşımları genellikle oda sıcaklığı ile 300°C arasında ekstrüze edilirler,

ve çıkış hızı sıcaklık ile ona eşlik eden çatlak oluşum eğilimi tarafından belirlenir. Çıkış hızının normal aralığı 10 ila 60 m/dak arasında değişir.

**b- 300-600°C Arasında Ekstrüze Edilen Malzemeler:**

Bu kategorideki malzemeleride dört grup halinde değerlendirmek mümkündür. Bunlar;

- 1-Aluminyum ve alaşımları
- 2-Magnezyum ve alaşımları
- 3-Çinko ve alaşımları
- 4-Düşük ergime noktalı lehimleme alaşımları.

**1-Aluminyum ve Alaşımları:** Tüm ticari olarak bulunabilir aluminyum alaşımları ekstrüze edilebilir, ve en önemli ekstrüzyon alaşımları ürün gruplarına göre standardize edilir:

DIN 1746: Aluminyum tüpler

DIN 1747: Aluminyum çubuk ve kablolar

DIN 1748: Aluminyumdan ekstrüze edilen profiller.

Bu standartlar alaşımların çok büyük bir bölümünü kapsar, fakat hepsi büyük miktarlarda kullanılmaz. Uygulamaların mimari, araç konstrüksiyonu ve ufak makina parçalarını içeren ana bölümü, nihai kullanım alanına uygun, kolay ve ekonomik işlenebilir alaşımlardan seçilir. Aşağıdaki alaşımlar yukarıda bahsedilen standartlardaki farklı üretim grupları için en önemli alaşımlardır;(sıralama kullanım miktarlarına göredir)

Tüpler: AlMgSi1, AlMg3, AlCuMg1, AlCuMg2, AlMn, Al99.5

Çubuk: AlCuMgPb, AlMgSi1, AlMg3, AlMgSiPb

Kablo yada tel: Al99.5

Profiller: AlMgSi0.5, AlMgSi1, AlZnMg1

Aluminyum alaşımlarından levha ve şerit ;istenen mekanik özellikleri elde etmek için genellikle soğuk işlenir; üretiminden farklı olarak, AlMgSi, AlCuMg, AlZnMg ve AlZnMgCu ailelerinin ısıtılma işleminden geçebilen alaşımları ekstrüzyon için çok önemlidir. Özellikle karmaşık şekilleri nedeniyle soğuk çekme ile bitirilemeyen profiller için bu önem daha da fazladır. Yaşlandırma da çubuk ve tüplerin yüksek dayanımlı alaşımlardan ve çekilmesi zor olan alaşımlardan üretiminde kullanılmaktadır. Diğer taraftan, tüp, çubuk yada kablo şeklinde ekstrüze edilen yarı mamul ürünler, eğer dar toleranslar isteniyorsa, eğer korozyonu önlemek için ısıtılma işlemi görmeyen malzemeler (Al99.5) kullanılması zorunluysa, yada eğer istenen nihai kesit alanı çok küçükse ve ekonomik olarak ekstrüze edilemiyorsa soğuk çekilir. Bu nedenle ürün ve malzemeye bağlı olarak iki farklı ekstrüzyon metodu bulunmaktadır;

(a) Isıtılma işlemi görmeyen alaşımlar için; çıkış sıcaklığının ve ekstrüzyonun soğutulmasının mekanik özellikler için kritik olmadığı metod.

(b) Isıtılma işlemi gören alaşımlar için; eğer yaşlandırmadan önce ayrı bir çözelti ısıtılma işlemi varsa, çıkış sıcaklığı ve ekstrüzyonun soğutulması genellikle kritik değildir; ekstrüzyon çıkışında ekstrüzyon sıcaklığından (=çözelti sıcaklığı) hemen sulama sıcaklığına düşen ve sulamayı takip eden bir çözelti ısıtılma işlemi yoksa sulama sıcaklığının ve soğuma oranının kontrol edilmesinin zorunlu olduğu metod.

Aluminyum alaşımlarının ekstrüzyonu için takozlar yuvarlak bazen düz, 4-7 m uzunluğundaki kütüklerden kesilerek elde edilir. Döküm takozlar genelde ekstrüzyondan önce homojenize edilirler, çünkü döküm anındaki koşullar ürünlerde istenen kaliteyi sağlamamaktadır ve yine döküldüğü gibi olan takozlar aşağıdaki nedenlerle daha düşük işlenebilirliğe sahiptir;

(a) Tane sınırı segregasyonları (toplanmaları), düşük ergime noktalı ötektikler ve kırılğan intermetalik bileşikler metalin işlenebilirliğini azaltır.

(b) Alaşımlama elemanlarının çok iyi yayılmış çökeltilerinin aşırı doymuş çözeltileri, yüksek sıcaklık akma gerilmesini artırır ve böylece işlenebilirliği düşürür.

(c) Magnezyum, demir ve zirkonyumu da içeren belirli alaşımlama elemanları ya çözeltide yada iyi yayılmış çökeltiler olarak yeniden billurlaşmaya engel olur. Bu etki özellikle renkli anodizasyon için kullanılacak AlMgSi(Mn) alaşımlarının ekstrüzyonunda önemlidir.

(d) Sürekli dökümden sonra soğutma esnasında AlMgSi alaşımlarında Mg<sub>2</sub>Si çökmesi, ekstrüze edilen kesitlerin sertleşebilirliğini azaltır ve parlak ürünler veren alaşımlarda nihai parlaklığı bozar.

(e) Tane sınırı segregasyonları- Ör. Çözülmemiş alaşımlama elementlerinin konsantrasyonlarındaki çeşitlilik- anodizasyondan sonra yapıda yol yol çizgilerle sonuçlanır.

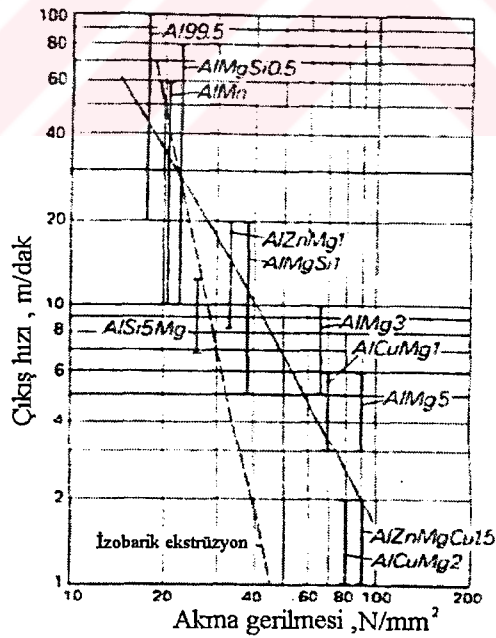
(f) Heterojen tane ve hücre sınırları çökmesi yapısal belirtiler verir ve istenmeyen yayılmalar, nihai parlak yüzey kalitesinde azalmalara yol açar.

Bu etkiler kısmen yada tamamen döküm takozların ısı işlemleriyle elimine edilirler. Bununla beraber, takozların ısı işleminin amacı, kalite ve ekonomik gereksinimlere göre ve çözülme, çökme yada alaşımlama elemanlarının üniform dağılımını da içerecek şekilde değişir. Homojenizasyon, heterojenizasyon yada birleştirilmiş ısı işlemler her bir duruma bağlı olarak değişir. Farklı alüminyum alaşımları için kullanılan metodlar bahse konu malzemenin ekstrüzyon teknolojisi ile ilgilidir. Ticari ısı işlemler Ek-2'de verilmektedir. Yüksek sıcaklık ısı işlemleri; homojenizasyon olması gerekmez; genellikle takozların sürekli şekilde döküldükleri alüminyum tasfiyehanelerinde gerçekleştirilir.

Homojenizasyon fırınları, 7 m'ye kadar uzun olan kütüklerin tamamının ısıtılmasını yapacak şekilde dizayn edilmiştir. Yaşlandırma ile sertleştirilebilir malzeme durumunda ise (özellikle parlak yüzeyler için AlMgSi0.5 kullanılması durumunda), ısıtılma sıcaklığından çabuk soğutmaya, parlak yüzey kalitesi elde edilmesini güçleştiren ikinci fazın çökmesini önlemek için gereklidir.

Takozların ısıtılmasıyla sadece yüksek sıcaklıktaki akma gerilmesi %10 yada daha fazla azaltılmakla kalmamakta, solidus sıcaklığında - yüzey yırtılmalarının başlayacağı maksimum çıkış sıcaklığı - 15 ila 30°C artmaktadır. Böylece her hangi bir alaşım için ekstrüzyon presinin çalışma aralığı artmaktadır.

Aluminyum alaşımlarının ekstrüze edilebilirlikleri, sıcak kısa çatlaklar için bir üst sınır ile uygulanan yük altında takozu plastik koşullarda tutmak için akma gerilmesinin çok yüksek olduğu düşük sıcaklık alt sınırı arasındaki sıcaklık aralığı tarafından belirlenir. Çıkış hızı ile akma gerilmesi arasındaki ilişki Akret tarafından Şekil 12'de görüldüğü gibi çizilmiştir.



Şekil 12 Akma gerilmesi ve ekstrüze edilebilirlik./1/

Aluminyum alaşımları ekstrüze edilebilirliklerine göre üç grupta sınıflandırılabilir;

(a) Kolay ekstrüze edilen alaşımlar: saf aluminyum, AlMn, AlMg1, AlMgSi0.5, AlMgSi0.8

(b) Orta zorlukta ekstrüze edilen alaşımlar: AlMg2 ve 3, AlMgSi1, AlZnMg1

(c) Zor ekstrüze edilen alaşımlar: AlCuMg, AlCuMgPb, AlZnCuMg, AlMg > %3 Mg.

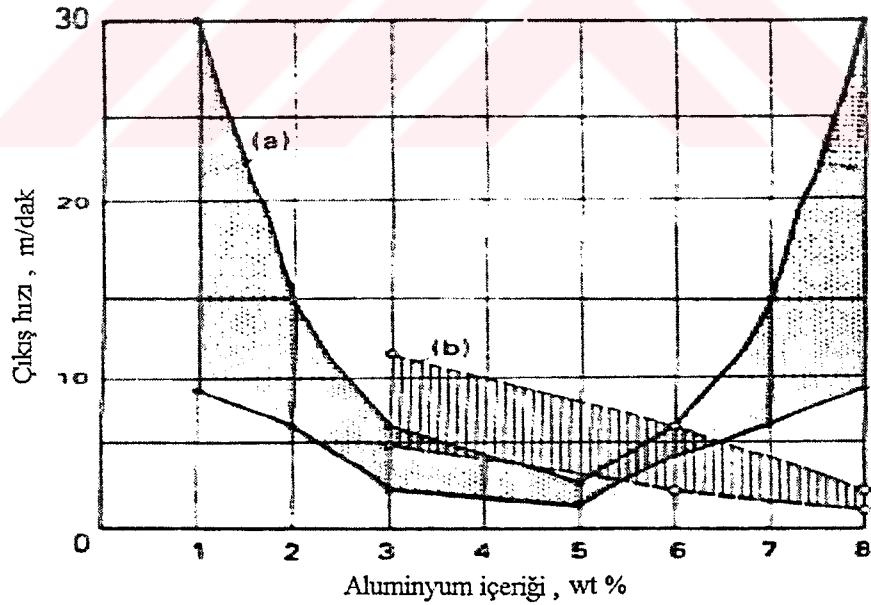
Genelde takoz sıcaklığı, mümkün olan en yüksek ekstrüzyon hızını vermek için mümkün olduğunca düşük tutulur. Özgöl ıstampa basıncı değerleri ekstrüze edilebilirliğin bir değer olarak verilir. Bunula beraber özgöl basınç bilgi verici değildir, çünkü özgöl basınç ekstrüzyon oranına bağlıdır ve hatta kolay ekstrüze edilen bir alaşım düşük sıcaklıklar kullanıldığında yüksek basınçlar gerektirebilir.

Ekstrüze edilebilirlik takoz uzunluğuna da bağlıdır. Eğer Ek-3'te verilen normal takoz uzunlukları kullanılırsa, konteynır çapı azaltılmalı ve alaşımın ekstrüze edilebilirliği azalırken özgöl basınç artırılmalıdır.

2- Magnezyum ve Alaşımları : Magnezyum alaşımları çok iyi özgöl ağırlık-dayanım oranına sahip olduğu için havacılık, uzay endüstrisinde ve nükleer endüstride kullanılır. Bu alaşımlar aynı zamanda çok iyi işlenebilirliğe de sahiptir. MgMn2, MgAl3Zn, MgAl6Zn, MgAl8Zn ve MgZn6Zr alaşımları DIN standartlarında belirtilmişken, MgZn2Zr ve MgZn3Zr İngiltere ve ABD'de, MgAl1 ve MgAl7 Rusya'da kullanılmaktadır. MgAl8Zn ve MgZn6Zr yaşlandırılabilir ve ekstrüze edilmiş haliyle kazanacağı mekanik özelliklerden %10 daha yükseği elde edilebilir. Magnezyum alaşımları mekanik özellikleri arttırmak için çekilmezler fakat çok dar boyutsal toleranslar için çekme işlemine tabi

tutulabilirler. Pres ölçüleri ve yarı mamullerin boyutları alüminyumun ekstrüzyonundakiyle aynıdır.

Magnezyum ve alaşımları hegzagonal kafes yapısına sahiptir ve bu nedenle alüminyumdan daha düşük bir soğuk işlenebilirliğe sahiptir. Isıtıldığında işlenebilirliği ortadan iyiye doğru gelişir fakat bazı özelliklere sahiptir. Takozların homojenizasyonu akma gerilmesini azaltır fakat ekstrüzyondan önce çok uzun bir ısıtma periyodu, takoz boyunca üniform bir sıcaklık ve iyi bir ekstrüze edilebilirlik için  $Mg_4Al_3$  fazını da içeren heterojen bileşenlerin aşırı çözülmesini elde etmek gereklidir. Isıtma süresini ampirik olarak belirlemek için her 50 mm takoz çapı için 1 h lik ısıtma süresi değeri kullanılabilir. Takoz sıcaklıkları ve mümkün olan ekstrüzyon hızları Ek-4'de gösterilmiştir. Eğer kritik sınır aşılsa yüzey yırtılmaya başlar. Literatürlere göre ortalama %5 Al içeren bir alaşım için ekstrüzyon hızı en düşük ve hız aralığıda en dar durumdadır. (Şekil 13) Konteynır içerisindeki akış alüminyumdakinden daha üniformdur- muhtemelen daha düşük makaslama gerilmesi nedeniyle.



Şekil 13 MgAl alaşımları için ekstrüzyon hızları. /1/

3- Çinko Alaşımaları : Haddelenmiş yarı mamullerin tersine, ekstrüze edilmiş çinko tüp, kablo ve çubuklar Cu alaşımlarının yerini alabilecek çok ufak bir paya sahiptir. Ticari çinko alaşımları Al, Cu ve Mg içerir. Çinko magnezyuma benzer şekilde hegzagonal yapıya sahiptir ve bu yüzden sadece orta derecede bir işlenebilirliğe sahiptir. Optimum ekstrüzyon sıcaklığı alaşıma bağlı olarak 200 ile 350°C arasında değişir. Çıkış hızları, gerekli göreceli olarak yüksek özgül basınç ve düşük yumuşaklık nedeniyle düşüktür ve 3 ila 6 m/dak arasındadır.

4- Düşük Ergime Noktalı Lehimleme Alaşımları : Lehimleme alaşımları CuP8 (düşük yüzey gerilimli sert ötektik lehimleme alaşımı) ve gümüş içeren alaşımları (CuZnAg, CuAgCdZn gibi) temel alır. Lehimleme sıcaklığı 610 ila 960°C arasındadır ve piyasalarda ekstrüze edilmiş yada çekilmiş teller şeklinde satılmaktadır. Çekilmesi güç olan alaşımlar (Ör kırılgan CuP8 gibi) nihai ölçülerine ekstrüze edilmelidirler. Bu ancak yatay preslerde 30 a, dikey preslerde ise 100 e kadar figürün aynı anda ekstrüzyonu ile mümkündür.

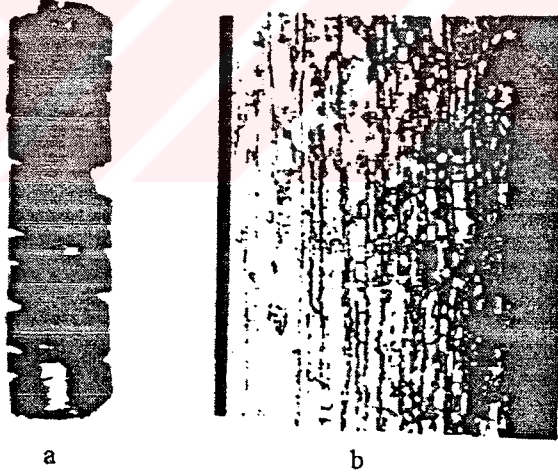
c- 600 ila 1000°C Arasında Ekstrüze Edilen Malzemeler :

Bu kategoriye giren malzemeleri de beş ayrı grupta incelemek mümkündür. Bunlar;

- 1- Bakır ve alaşımları
- 2- Titanyum ve alaşımları
- 3- Zirkonyum
- 4- Berilyum
- 5- Uranyum

1- Bakır ve Alaşımları : Standartlarda bir çok bakır alaşımları bulunmaktadır. Ekstrüzyoncular için en önemli şey hangi mamul için hangi alaşımın en iyi olduğunu bilmektir. Bu bilgide Ek-5'te kısaca özetlenmiştir. Saf bakır yada düşük alaşımlı bakır malzemelerden ekstrüze edilen yanmamul ürünlerin çoğunluğu, istenen mekanik özellikleri ve boyutsal toleransları vermesi için çekilir. Bu gibi durumlarda genellikle sadece çekme için uygun olan basit şekiller ve tüpler ekstrüze edilirler. Ekstrüze edilmiş profillerin çekilmesi zordur ve özellikle çekme kalıbının dizaynında oldukça deneyim gerektirir.

Diğer malzemelerdeki gibi, bakır alaşımlarının ekstrüze edilebilirliği, sıcak kısıp çatlakların oluşacağı sıcaklık ve minimum takoz sıcaklığı tarafından eşlik edilen akma gerilmesi tarafından belirlenir. Bu hataların doğası alaşım kompozisyonu ve ekstrüzyon parametreleri ile değişir ve ince enine yüzey çatlaklarından, çam ağacı formunda ekstrüze edilen ürünün parçalanmasına kadar gider.(Şekil 14)



Şekil 14 Aşırı ekstrüzyon sıcaklığının etkisi; (a) ekstrüze edilmiş CuSn5Al dan mamul çubuk, çap 20 mm (b) Ekstrüze edilmiş CuZn37Si'dan mamul bir tüpün dış yüzeyi. /1/

Ekstrüze edilebilirliğin sınırları, kolay ekstrüze edilen malzemelerden - $\beta$  prinçlerinden - çok zor ekstrüze edilen alaşımlara (yani yüksek özgül basınç gerektiren) - yüksek alaşım içeren alüminyum bronzları- ve sıcak çatlaklar nedeniyle ekstrüze edilebilirliği çok zayıf alaşımlara kadar değişir. Ekstrüzyon hızları genel olarak alüminyumun ekstrüzyonundakilerden yüksektir ve genelde hidrolik akümülatör sürücüleri kullanılır. Yüksek hızlı ekstrüzyon, çevrim esnasında takozun sıcaklığındaki düşüşü minimize etmek için kullanılır. Takoz sıcaklıkları genelde 600 ila 1000°C arasında iken konteynır sıcaklığı 500°C'yi aşmamalıdır, bunun sonucunda ekstrüzyonun sonuna doğru istenmeyen soğumalar ve büyük ısı kayıpları oluşur. Isı kayıpları sadece, eğer yüksek ekstrüzyon hızları ve ekstrüzyonun sonuna doğru bir sıcaklık artışı vermek için göreceli olarak düşük başlangıç takoz sıcaklıkları kullanılırsa telafi edilebilir. 300 m/dak'ı aşan çıkış hızları, boşaltıcı (runout) ekipmanlar tarafından karşılanamayacağı için yüksek ekstrüzyon hızı alaşımlarıyla mümkün olan maksimum hızın kullanımını sınırlanmaktadır.

2- Titanyum ve Alaşımları : Titanyum yüksek ergime noktasına sahiptir (1668°C) ve 882°C'nin altında hegzagonal kafes yapısındadır( $\alpha$ ). Bu sıcaklığın üzerinde kübik hacim merkezli yapıya sahiptir( $\beta$ ). Saf titanyum ve onun alaşımları korozyona karşı çok iyi bir dirence ve tercih edilen dayanım-yoğunluk oranına sahiptir. Profil tüp ve çubuklar ana ekstrüze ürünleridir. En önemli ticari titanyum alaşımları, dayanımı arttırmak için alüminyum,  $\alpha/\beta$  dönüşüm sıcaklığını düşürmek için vanadyum, krom, magnezyum, molibden, yada bakır içerir. Azalan sıcaklıkla bakır gibi alaşımlama elemanlarının azalan çözünürlükleri soğutma altında  $\beta$  fazında kalmayla sonuçlanır. Bu ( $\alpha+\beta$ ) alaşımlarının dönüşüm kinetikleri çoğunlukla karışıktır ve çelikler için kullanılan benzer zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramlarında gösterilmiştir.  $\beta$  fazı sıcaklık

aralığı ekstrüzyon için tercih edilir. Sıcak işlemede titanyum alaşımlarının akma gerilmeleri çelik alaşımlarınınkinden yüksektir ve bu nedenle ekstrüze edilmeleri zordur. Bununla beraber, 1000°C'nin üzerindeki ekstrüzyon sıcaklıkları kullanılmaz, çünkü gaz absorbe etme (hidrojen, oksijen, azot) ve gevrekleşme tehlikesi vardır. Titanyum alaşımlarının 700°C üzerinde çok çabuk oksitlenme özellikleri vardır ve çabuk takoz ısıtma kullanılmalıdır, yani indüksiyonla yada koruyucu gazlı fırınlarda ısıtma. Çeliklere oranla titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklık akma gerilmesi, artan gerinim oranlarıyla çok hızlı artar. Gerinim oranlarındaki daha fazla artış titanyum alaşımlarının ekstrüze edilebilirliklerini azaltır. Konteynır içerisinde takozların aşırı donması yada soğumasından kaçınmak için titanyum alaşımları yüksek hızlarda ekstrüze edilmelidir. Sonuç olarak titanyum alaşımları daima bir yağlayıcı ve geniş giriş radyüsüne sahip konik kalıplarla ( $2\alpha = 130^\circ$ ) ekstrüze edilmelidir.

Konteynır ve titanyum arasındaki sürtünme, yağlama yapılsa bile boru hatasıyla sonuçlanacak ve özellikle düz kalıplar kullanıldığında konteynır içerisinde homojen olmayan bir akış için yeterli yüksekliktedir. Bu nedenle konik kalıplar daha üniform bir akış elde etmek için tercih edilirler.

3- Zirkonyum : Saf zirkonyum ve özellikle zirkonyumun kalay (ZrSn1.5) ve niobyumla (ZrNb1) alaşımları, termal nötronların düşük absorpsiyonu, iyi korozyon dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımı nedenleriyle nükleer reaktör inşasında ve yakıt gömleklerinde önemlidir. Saf zirkonyum 862°C'nin altında hegzagonal  $\alpha$  kafes yapısına sahiptir, bu sıcaklığın üzerinde kübik hacim merkezli  $\beta$  yapısına dönüşür. ( $\alpha+\beta$ ) fazı bölgesi alaşımlarla hatta mevcut safsızlıklarla bile değişen bir sıcaklığın üzerinde bulunur.

$\beta$  fazı en iyi sıcak işleme özelliklerine sahiptir ve sıcak işleme için optimum sıcaklık aralığı 800 ila 1100°C arasındadır çünkü zirkonyumun

akma gerilmesi bundan sonra çok düşüktür. Bununla birlikte, 730 ila 800°C'lik ekstrüzyon sıcaklıkları, metalin mekanik özelliklerini, özellikle gevrekliği, şiddetli şekilde bozan oksijen, hidrojen ve azot absorbe etme eğilimi nedeniyle tercih edilir. Zirkonyum titanyum gibi deformasyon esnasında takımlara çok kolay yapışır ve iyi bir yağlamaya daima ihtiyaç duyar.

Bir çok zirkonyum alaşımının yüksek sıcaklık akma gerilmesi çok yüksek değildir ve bunun sonucu olarak ekstrüzyon hızlarının geniş bir aralığı kullanılabilir. En düşük hız sınırı oldukça yavaştır ve takozun yapışma tehlikesi vardır. Çıkış hızı için üst sınır 60 m/dak alınabilir.

4- Berilyum : Berilyum yüksek termal kapasiteye ve iyi korozyon direnci ile yüksek mekanik özelliklere eşlik eden sıcaklık direncine sahiptir. Nükleer mühendislik ve uzay teknolojisinde kullanılır. Döküm takozlarda kaba tane oluşumunu önlemek mümkün değildir ve bu yapı çatlaklara neden olan gevrekliği getirir. Ekstrüzyon takozları tozların soğuk preslenmeleri ve koruyucu atmosferde sinterlenmeleri yoluyla elde edilir. Tozlar direk olarak kapalı bir çelik kutu (kanister) içerisinde sıcak ekstrüze de edilebilirler.

Berilyum 400 ve 800°C'lerde maksimum yumuşaklık sergiler. . Ekstrüzyon takoz sıcaklığı 400 ila 500°C arasında ise ılık, 900 ila 1065°C arasında ise sıcak ekstrüzyon olarak sınıflandırılır. Grafit yada MoS<sub>2</sub> yağlayıcı ile ılık ekstrüzyon yüksek yükler gerektirir fakat ekstrüze edilen üründe dar boyutsal toleranslara izin verir. Sıcak ekstrüzyon daha yaygındır ve deformasyonlara daha düşük direnci vardır.

Takoz 1.5 ila 3 mm kalınlığında yumuşak çelik bir tabaka ile kaplanır ve bir gömlek içerisinde ekstrüze edilir. Kaplama içerisindekini takozun ısıtılması esnasında ve malzeme kalıptan çıkarken oksidasyona karşı koruma sağlar. Sürtünme sonradan çelik kaplamaya bakır galvanik

kaplama yapılmasıyla azaltılır. Mika yada asbest içeren özel yağlayıcılar konik kalıplarla birlikte kullanılır. Ekstrüzyon hızı takozun donmasını önlemek için mümkün olduğu kadar yüksek tutulmalıdır. (6 ila 15 m/dak)

5- Uranyum : Uranyum 668°C'nin altında rombik ( $\alpha$  fazı) kafes yapısındadır. Bu sıcaklığın üzerinde yapı tetragonal  $\beta$  fazını içerir ve buda 774°C'nin üzerinde kübik hacim merkezli  $\gamma$  fazına dönüşür.  $\beta$  fazı düşük yumuşaklığa sahiptir ve 650 ila 790°C arasındaki sıcaklıklardan kaçınılmalıdır.  $\alpha$  sıcaklık aralığı 300 ila 650°C arası ile  $\gamma$  sıcaklık aralığı 800 ila 1000°C arası ekstrüzyon için kullanılır. Yüksek sıcaklıklardaki düşük akma gerilmesinin avantajı, uranyumun 735°C üzerinde demir, nikel ve diğer metallerle çok çabuk bileşik oluşturma eğilimine ağır basar. Takım aşınması aşırıdır. Eğer ekstrüzyon için  $\gamma$  aralığı seçilirse iki alternatif vardır; ya bir gömlekle ekstrüze etmek yada krom içeren tungsten karbid kaplı çelik kalıplar kullanmak.

Uranyum takozların tehlikeli oksidasyonundan kaçınmak için özel teknikler geliştirilmiştir. Örneğin takoz paslanmaz çelik bir kabuk içerisinde ve koruyucu argon gazı ortamında 1000 ila 1100°C'a kadar ısıtılır ve ekstrüze edilir.

#### d- 1000°C'nin Üzerinde Ekstrüze Edilen Malzemeler :

Bu kategoriye giren malzemeleri de üç grupta incelemek mümkündür;

- 1- Nikel ve alaşımları
- 2- Çelikler
- 3- Yüksek ergime noktalı metaller.

1- Nikel ve Alaşımları : Nikel alaşımlarından yapılma yarı mamullerin mekanik mühendisliğinde, kimya mühendisliğinde, elektrik mühendisliğinde, elektronik mühendisliğinde, gç istasyonlarında ve nükleer teknolojiye bir çok kullanım alanı vardır.

Nikel ve en önemli nikel alaşımları kübik yüzey merkezli bir kafes yapısına sahiptir ve buna uygun olarak sıcak ve soğuk işleme için iyi yumuşaklığa sahiptir ancak alaşıma bağlı olarak çok yüksek akma gerilmesine de sahiptirler. Akma gerilmeleri genellikle karbon eliklerinininkinden daha yüksektir ve nikel alaşımları ekstrüze edilmeleri çok zor olarak sınıflandırılır. Saf nikelin akma gerilmesi 1000°C'nin altında ekstrüzyon için yeterince düşüktür. Bakır yada krom içerikleri %20'ye kadar olan yumuşak nikel alaşımlarında sıcak işleme için goreceli olarak geniş bir sıcaklık aralığına sahiptir. Diğer taraftan, daha karışık alaşımlar örneğin molibden içeren yada yüksek sıcaklık NiCr alaşımları, çatlak oluşumundan sakınmak için dar sıcaklık aralığında işlenmelidir. NiCrCo alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirmek için ilave edilen alaşımlama elemanları likidus sıcaklığını düşürür ve akma gerilmesini arttıırırlar. Ekstrüzyon işleminin bu dar işleme aralıklarıyla, optimum takoz ısıtmasına rağmen konteynır ve kalıptaki ısı kayıplarının neden olduğu donma tehlikesi daima vardır.

2- Çelikler : Çeliklerin ekonomik ekstrüzyonu, çok yüksek işlem sıcaklıkları ve oksidasyon nedeniyle uzun süre engellenmiştir. Bu problemlerin üstesinden cam yağlama metodunun geliştirilmesiyle gelinmiştir. elik ekstrüzyonu aşağıdaki üretim çeşitlerinde belirgin bir gelişme getirmiştir;

a- Haddeme ile üretilen elik profillerin küçük miktarları için mevcut haddelerin ayarlanmasının yada yeni haddelerin yapılmasının çok pahalı olduğu olduğu hallerde

b- Her şeye rağmen çelik profillerin güçlükle haddelenebildiği hallerde

c- Kutu çelik profillerde

d- Özel alaşımlardan mamul profillerin diğer vasıtalarla üretimlerinin çok zor olduğu hallerde

e- Küçük delikli standart tüplerde

f- Daha sonra haddelenecek profillerin prototiplerinde

Çelikler de Nikel alaşımları gibi zor ekstrüze edilir malzemeler sınıfına dahildir. Akma gerilmeleri göreceli olarak yüksektir ve 1000 ila 1300°C arasındaki sıcaklıklar ekstrüzyon yükünü belirli sınırlar içerisinde tutmak için kullanılmalıdır. Bu yüksek sıcaklıklar takım ve aşınma problemlerinde beraberinde getirir.

Deformasyonlara direnç artan sıcaklıkla azalır ve yük düşünüldüğünde mümkün olan en yüksek sıcaklıkla ekstrüze etmek avantajlıdır. Bununla beraber, işleme sıcaklığındaki çeliğin yapısında ekstrüzyon sıcaklığının seçiminde önemlidir. Eğer yapı tek homojen fazdan (genellikle kübik yüzey merkezli  $\gamma$  katı çözültisi) oluşmuyorsa ve diğer fazları yada tane sınırı çökelmelerini içeriyorsa, yumuşaklık ciddi şekilde azalabilir. Yumuşaklık homojen yapıdaki çeliklerde sıcaklıkla beraber üniform olarak artmaktadır. Çapraz yada kenar çatlakları, ekstrüzyon oranına, kesit profiline ve diğer faktörlere bağlı olarak ferrit içeriği yaklaşık olarak %2'den fazla olan malzemelerde meydana gelebilir. Yüksek ekstrüzyon sıcaklıkları sadece takımlarda aşırı termal gerilmelere yol açmakla kalmaz, yapışmayla sonuçlanabilecek ısı kayıplarınada yol açar. Takım ile takoz arasındaki temas süresi bu nedenle mümkün olduğunca kısa olmalı ve çelikler, alaşımsız yada düşük alaşımlı çelikler için 4 ila 10 m/s ve yüksek alaşımlı çelikler içinde 1 ila 2 m/s hızlarla ekstrüze edilmelidir.

3- Yüksek Ergime Noktalı Metaller : Yüksek ergime noktalı özel metaller uzay teknolojisinde, silah teknolojisinde, nükleer mühendislikte ve kimya endüstrisinde önemlidir. Bu metallerin hepsi kübik hacim merkezli kafes yapısına sahiptir. Bu nedenle işlenebilirlik düşüktür ve yüksek sıcaklıklar, takımların dayanabileceği seviyeye kadar akma gerilmesini azaltabilmek için gereklidir.

Alaşımlama ilaveleri ve katışımlar sıcak yumuşaklık üzerinde büyük etkiye sahiptir ve ekstrüzyon için sıcaklık aralığı çok dar olabilir. Yüksek sıcaklıklarda havadan oksijen ve azot absorpsiyonu da en azından yüzeyde gevrek bir yapı oluşturabilir. Bu nedenle deformasyon sıcaklığı ekstrüzyon yükünün izin verdiği ölçüde mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. Molibden ve tungsten yüksek sıcaklıklarda oksitlenir fakat pullanma oluşumunun yerine uçucu trioksitler yoğun bir dumanla meydana çıkar. Bu reaksiyonlar gerekirse inert gaz ortamı kullanılarak önlenir. Gömlekle ekstrüzyon yada takozu erimiş cam ile kaplamak ta diğer iki metoddur.

#### e- Toz Metallerin Ekstrüzyonu :

Bir çok metaller ve alaşımlar rijit bir şekle sahip olarak dökülemezler, bu durumda bu malzemelerden yarı mamul ürünler toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Toz takozları oluşturmak için kalıplarda preslenir. Bu kırılma olmaksızın takozların konteynıra yüklenmesine izin verecek kadar dayanıklı olmalıdır. Bu yöntemle işlenen iki sınıf malzeme vardır;

a- Yüksek ergime noktalı metaller-ör. Krom, molibden

b- Alaşımlar yada metal karışımları, ki bunların bileşenleri sıvı halde birbirine karışamazlar yada metaller ile nonmetallerin karışımları.

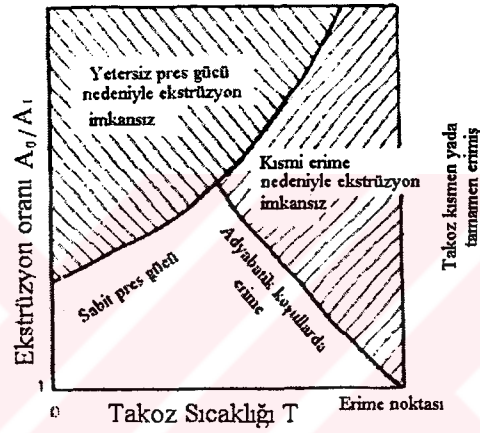
Toz metal ekstrüzyonu her bir partikülün deformasyonuna dayanır, germe yada yüzey alanını artırma ile partiküllerin üzerindeki oksit tabakası

yırtılır ve birbirine komşu partiküllerin yeni oluşan yüzeyleri bir birine kaynar. Gerinim her bir durumda tekrardan belirlenen bir minimumu aşmalıdır ve seçilen işleme metodu partikül kaynağı için gerekli basıncı vermelidir.



### 1-3 EKSTRÜZYONDA SICAKLIĞIN ÖNEMİ

Sıcak ekstrüzyonda hakim olan sıcaklığın işlem ve ekstrüze edilmiş ürünler üzerinde kati bir etkisi vardır. Şekil 15' de sıcak ekstrüzyonun niteliksel bir tanımlaması açık şekilde görülmektedir. İki taraflı alandan, birincisi ekstrüzyon işlemin yapabilmek için gerekli gücün bulunmadığı bölgeyi, ikincisi ise aşırı yüksek takoz sıcaklığının ekstrüze edilen malzemede hatalara yol açtığı (sıcak çatlaklar, solidus eğrisine ulaşan faz değişimleri) bölgeyi karakterize etmektedir. Bu nedenlerle sadece taraflı olmayan bölge ekstrüzyon için uygundur.



Şekil 15 Sıcak ekstrüzyonun sınır eğrileri./3/

Özel bir takoz sıcaklığında verilmiş bir ekstrüzyon oranı  $A_0/A_1$  için yetersiz bir ekstrüzyon yükü problemini çözmek, takozun başlangıç sıcaklığını yada konteynırın sıcaklığını yükselterek mümkün olabilir. Bununla beraber, sağdaki eğrinin sınırının aşılmasına, deformasyon esnasında aşırı ısı ortaya çıkması nedeniyle dikkat edilmelidir. Takoz sıcaklığının yüksek ekstrüzyon oranlarında, malzemenin solidus sıcaklığına yakın olduğu hallerde, deformasyon ve sürtünmeler tarafından üretilen ısının uzaklaştırılması önem arzeder. Takoz sıcaklığını bu nedenle ısı üretimindeki

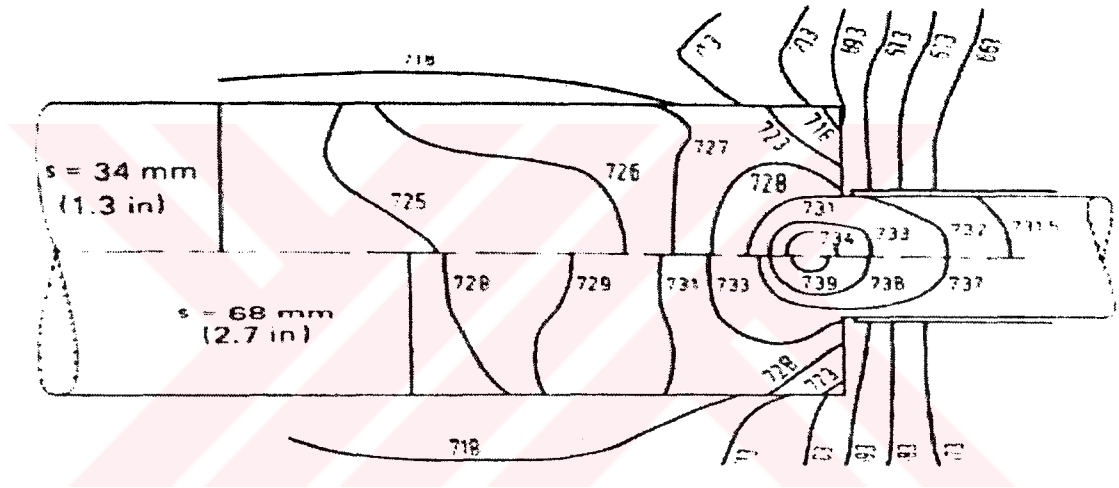
kritik faktör olan ekstrüzyon hızı sınırlar. Bu karşılıklı ilişki, ekstrüzyon sıcaklığının sabit tutulduğu (izotermal ekstrüzyon) sıcak ekstrüzyon metodlarının gelişmesine öncülük eder.

Yeni literatürler, karmaşık ısı transferi işlemini tanımlamak için geliştirilmiş bir dizi metodu içermektedir. Şu ana kadar bilinen bütün metodlar, dikkate alınmayan faktörler ile yapılacak bir yığın hesaplama arasında bir uzlaşma temeline dayanır. Bu probleme tatmin edici bir çözüm aşağıdaki faktörler dikkate alınarak bulunabilir;

- Deformasyon bölgesinde ortaya çıkan ısı.
- Takoz ile takımlar arasındaki sürtünmeden kaynaklanan, sınır bölgelerde ortaya çıkan ısı.
- Bütün takoz boyunca deformasyonların neden olduğu ısının dağılımı.
- Takoz ve takımlardan sürtünme ısısının uzaklaştırılması.
- Farklı sıcaklıklar nedeniyle takoz ile takımlar arasındaki ısı değişimi.
- Sıcak ekstrüzyon esnasında takozun yer değiştirmesinin neden olduğu ısı transferi.

Yukarıdaki liste, kararsız durum sıcaklık analizine ve sıcak ekstrüzyon esnasındaki ısı akışı çeşitlerine; takoz ve takımlarda başlangıçtaki ısı dağılımı, yapılan iş, ekstrüzyon hızı, ve ekstrüzyon çıkış sıcaklığı arasındaki ilişkinin sayısal verilerine ulaşabilmek için; ne kadar ihtiyaç olduğunu göstermektedir. İdeal başlangıç ve sınır koşulları altında, bu problem, sistemin özel bir hacim elemanı için ısı transfer eşitliklerinin integrasyonu ile çözülebilir. Burada komşu hacim elemanlarıyla olan karşılıklı bağımlılık dikkate alınmayacaktır. Diğer taraftan nümerik metodlar özel bir sıcak ekstrüzyon işleminin özel koşullarına çok daha kolay

uyarlanabilirler. Pratik olarak yaklaşık çözümler için yukarıda bahsedilen faktörlerin dikkate alınması yeterlidir. Nümerik olarak hesaplanmış sıcaklık eğrilerinin örnekleri Şekil 16 ve Şekil 17’de görülmektedir. Bu örnekler sıcaklık dağılımı ve ıstampa hızının etkilerini açıkça göstermektedir. Daha düşük hızdaki şekillendirme işlemlerinde (Şekil 16) takozdaki ve ekstrüzyondaki sıcaklık farklılıkları, alüminyum alaşımının (burada AlMgSi1 (AA 6082)) iyi ısıl iletkenliği nedeniyle çok çabuk eşitlenmektedir. İlave olarak, takımların soğutucu etkisi ekstrüzyon kesiti boyunca sıcaklık dağılımını etkilemektedir, öyleki iç bölgeler yüzey bölgelerine göre daha sıcak kalmaktadır.

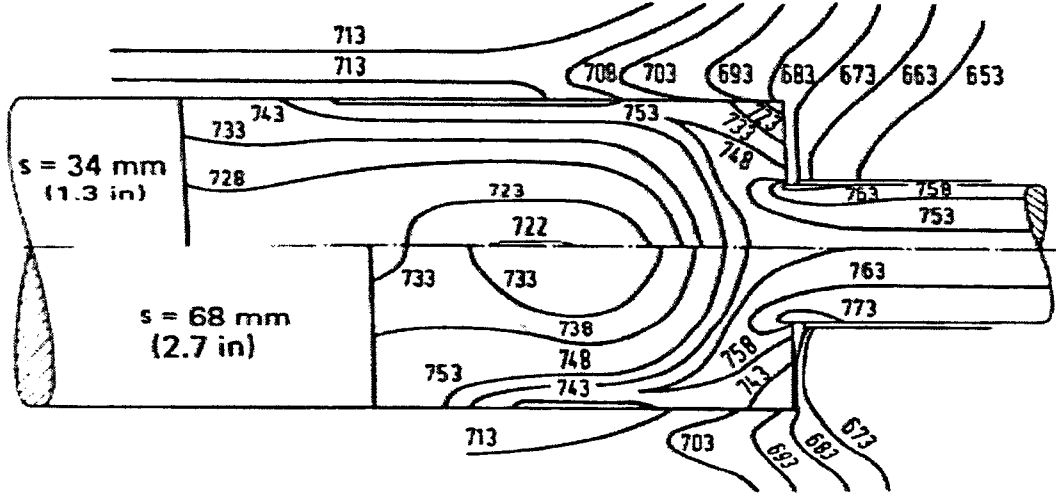


Şekil 16 AlMgSi1 (AA 6082) alaşımının ileri sıcak

ekstrüzyonundaki izotermaller.  $d_0 = 71 \text{ mm}$ ;  $\Phi = 1.6$ ;  $T_B = T_T = 450^\circ\text{C}$ ;  $v_p = 2.5 \text{ mm/s}$ ;  $l_0 = 152 \text{ mm}$ ;  $\alpha = 4 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ./3/

Artan ıstampa hızlarıyla durum tersine döner. Takoz ve ekstrüzyonun her ikisinin kesitleri boyunca sık sık oldukça fazla sıcaklık farklılıkları oluşur. Küçük yerel deformasyonlar bölgesinde, malzeme göreceli olarak soğuktur, takoz ile konteynır arasında ve çıkış noktasında oldukça fazla sıcaklık artışları meydana gelir. Sıcaklık farklılıkları, daha

yüksek ıstampa hızlarında daha belirgin hale gelir, ve adyabatik deformasyon koşullarına yaklaşır.

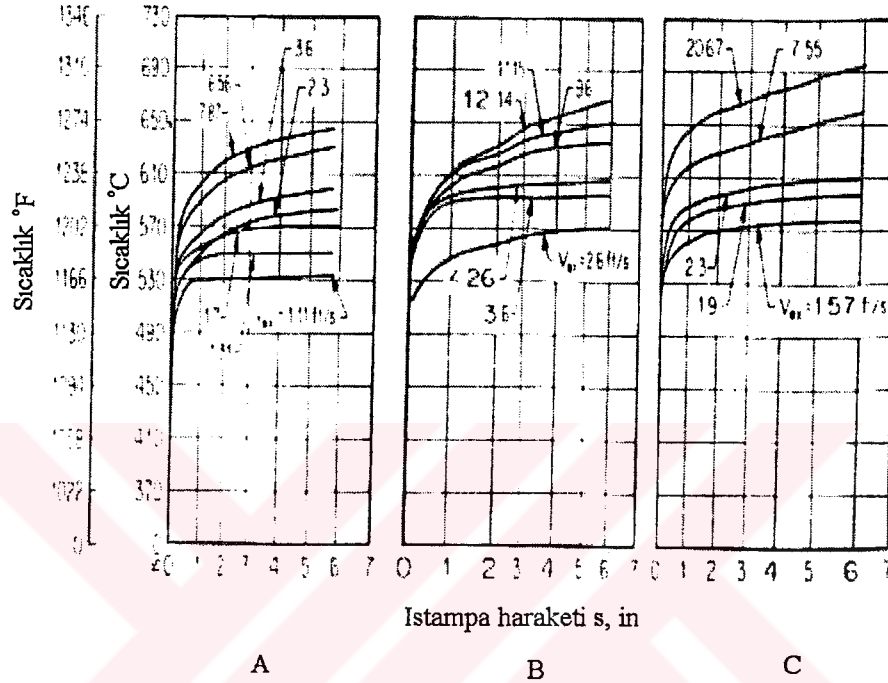


Şekil 17 AlMgSi1 (AA 6082) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonunda izotermmler.  $d_0 = 71 \text{ mm}$ ;  $\phi = 1.6$ ;  $T_B = T_T = 450^\circ\text{C}$ ;  $v_p = 31.5 \text{ mm/s}$ ;  $l_0 = 152 \text{ mm}$ ;  $\alpha = 4 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ./3/

Ekstrüzyon yüzeyinin, malzemeye ilişkili kesin sınırların ötesine ısınmaması gerektiğinden, ekstrüzyon esnasında ne çeşit bir sıcaklık artışının olabileceğinin bilinmesi önemlidir. Şekil 18 kalıp açıklığının giriş kenarında, ıstampa hareketinin, hızın, kesit küçülmesinin, ve dolu kesit geometrisinin bir fonksiyonu olarak ölçülen sıcaklık eğrilerini göstermektedir. Çok yavaş şekillendirme işlemleriyle, başlangıçtaki hızlı sıcaklık artışından sonra yaklaşık sabit sıcaklık elde edilir. Deformasyon, sürtünme ve sınır bölgelerindeki makaslama nedeniyle oluşan ısınma, iş parçası ve takım arasındaki ısı transferi nedeniyle kaybedilen ısı miktarı ile dengededir.

Artan ıstampa hızlarıyla bu denge daha fazla devam edemez. Bu nedenle sıcaklık yükselişini sürdürür, hatta deformasyonun sonunda bile.

Göreceli olarak düşük  $\Phi = 3$  için AlMgSi0.5 (AA 6060) alaşımında, ekstrüzyon yüzeyinde yerel erimelerin meydana geldiği sınıra ulaşmak hemen hemen mümkündür. Bu gibi sıcaklık değişiklikleri diğer malzemeler ve gerinim oranları içinde tipiktir.



Şekil 18 AlMgSi0.5 (AA 6060) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonu. Kalıp giriş kenarındaki yüzey sıcaklığı. Birimi belirtilmemiş ölçüler inç olarak verilmiştir, milimetreye çevirmek için 25.4 ile çarpılmalıdır. Ft/s de m/s ye çevirmek için 0.3048 ile çarpılmalıdır.  $d_0 = 71$  mm;  $l_0 = 152$  mm;  $T_B = 450^\circ\text{C}$ ; (a) Dairesel kalıp açıklığı,  $\Phi_{\max} = 3$  (b) Dairesel kalıp açıklığı,  $\Phi_{\max} = 3.91$  (c) Kare kalıp açıklığı,  $\Phi_{\max} = 3$ . /3/

Bu sıcaklık değişimleri için ana neden, ısı transferi için geçen zamanın ıstampa hızıyla ters orantılı olmasıdır; bu da artan hızlarla birlikte daha küçük miktarda ısının takımlara transferi demektir. Sınır durumunda,

adyabatik koşullar oluşur. Bundan da öte, iş parçası malzemesinin akma gerilmesi daha yüksek ıstampa hızlarıyla ve gerinim oranlarıyla artar. Daha yüksek akma gerilmeleri deformasyon işinde artışa neden olur ve böylece daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına yol açar. Bununla birlikte iş parçasındaki sıcaklık dağılımına bunun direk etkileri, akma gerilmesinin artan sıcaklıkla azalması nedeniyle göreceli olarak küçük olmaktadır.

İşlem koşullarının sıcaklık alanına etkileri, ıstampa hızının dışında, ekstrüze edilen kesitin şekli aksenal simetrik olmadığında daha da büyük olmaktadır. Köşeli profil kesitleri ile, ısının köşelerde toplanması olasıdır, sıcaklıkta önemli artışlar oluşur ve böylece ekstrüzyon yüzeyi tehlikeye girer. Lange ve Stüwe'e göre, geçişlerdeki sürtünme nedeniyle ekstrüze edilen kare kesitli bir çubuktaki sıcaklık dağılımı, ekstrüzyonun başlangıç sıcaklığını dikkate alarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$\Delta T(x,y,z) = \frac{b_{ex} \tau_{FR} v_{ex}}{(b_D + b_{ex}) k} \phi [x,y, a, LD, h] \quad (1.2)$$

Burada; a = ısı iletim katsayısı

$$b_{ex} = \text{ekstrüze edilen malzemedeki ısı yayılımı (Bkz Ek 6)}$$

$$= \sqrt{k_{ex} c_{p, ex} \rho_{ex}}$$

$b_D$  = kalıp malzemesindeki ısı yayılımı

$\tau_{FR}$  = sürtünme makaslama gerilmesi  $\leq \tau_{max} = \sigma_A / 2$ .

x,y = kare kesitin merkezinde orjini bulunan koordinat sisteminde kesit koordinatları

2h = kare kesitin kenar yüksekliği

$k$  = termal iletim katsayısı

$LD$  = kalıptaki sürtünme yüzeylerinin uzunluğu

Fonksiyon  $\phi$  üç guruba ayrılabilir. Çok küçük olmayan kesit alanına sahip profiller göreceli olarak hızlı ekstrüze edilirler;

$$\phi(h,h) = 2.26 \sqrt{\frac{aLD}{h^2 v_{ex}}} \quad (1.3)$$

kesit köşeleri ( $x = h, y = h$ ) olduğunda geçerlidir. 1.3 eşitliği

$aLD / h^2 v_{ex} > 0.3$  aralığında geçerlidir, bu koşul genelde sıcak ekstrüzyonun bulunduğu aralıktır. Bu durumda kesit köşeleri yan yüzeylerin merkezinden iki kez daha fazla ısınır:  $\phi(h,h) = 2\phi(h,0)$ . Ekstrüzyonun iç kısmındaki sıcaklık esasında değişmeden kalır.

Bir geçiş bölgesinden sonra, profil kesiti  $aLD / h^2 v_{ex} > 0.8$  olan profillerde kararlı durum sıcaklık düşüşü meydana gelir. Kesit köşelerinde ki koşul ise;

$$\phi(h,h) = \frac{2aLD}{h^2 v_{ex}} + \frac{2}{3} h \quad (1.4)$$

Kesit köşeleri ile yan yüzeyin merkezleri arasında fonksiyon değerlerindeki fark, yan yüzeylerle iç kısım arasında olduğu gibi  $h/2$  dir. Her durumda;

$$\phi(0,0) = \phi(h,0) - \frac{h}{2} = \phi(h,h) - h \quad (1.5)$$

2

Daha uzun ısınma zamanlarıyla 1.4 eşitliğindeki ilave terim düşer. Bununla beraber sıcak ekstrüzyonda bu çok ender bir durumdur.

Yukarıdaki 1.2 ve 1.4 eşitlikleri, aksenel simetrik ekstrüzyonun yüzeyindeki sıcaklık artışının hesaplanmasında da kullanılabilir. Bu sıcaklık artışları, köşeler için hesaplanmış değerler ile benzeri kesit alanına sahip kare kesitlerin yüzey merkezleri için hesaplanmış değerler arasındadır, ve daha geniş ekstrüzyon çapları ile yan yüzeylerin ortasındaki değerlere doğru değişir.

Malzeme karakteristiklerinin ve ekstrüzyon hızının önemini belirtebilmek için, Şekil 19 farklı malzemeler için kare kesitin köşelerindeki sıcaklık artışlarını göstermektedir. 1.5 ve 1.3 eşitliklerinin yardımıyla hesaplanan değerler;

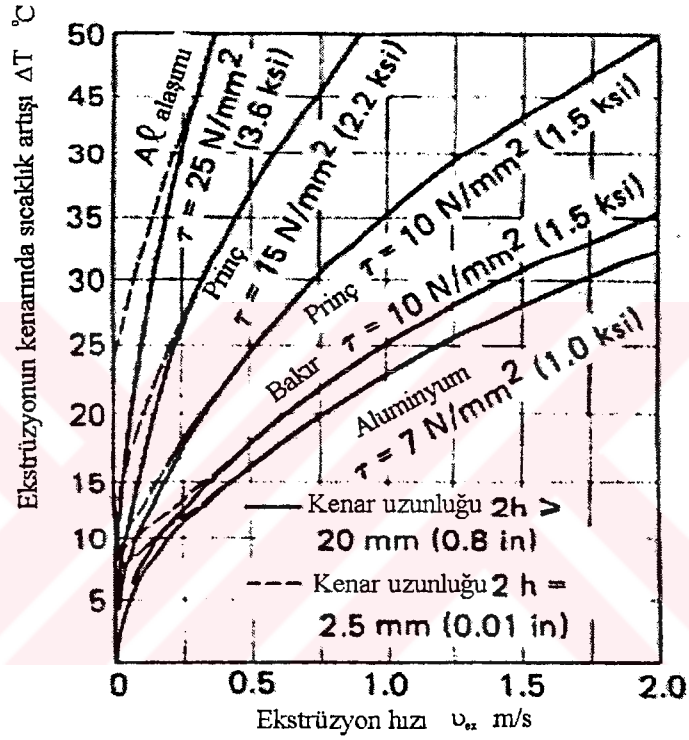
$$\Delta T(h,h) = \frac{2.26 \text{ bex } \tau_{FR} \sqrt{a LD \text{ vex}}}{(bD + \text{bex}) k} \quad (1.6)$$

ifadesini temel alır.

Malzemenin termal karakteristikleri birbirinden sadece çok az farklı olduğunda, (Ör. İki farklı çeşit pirinçte olduğu gibi) sürtünme sıcaklık artışını; malzemeye bağımlı sürtünme makaslama gerilmesi  $\tau_{FR}$  maksimum değeri olan (Tresca'ya göre)  $\tau_{FR,max} = \sigma_A / 2$  ye ulaşamayacağına göre; lineer olarak etkileyecektir.

Düşük ekstrüzyon hızları ve küçük kesitler varsayımıyla 1.3 eşitliği, kare kök fonksiyonundan (Eşitlik 1.6) sapmalar nedeniyle artık

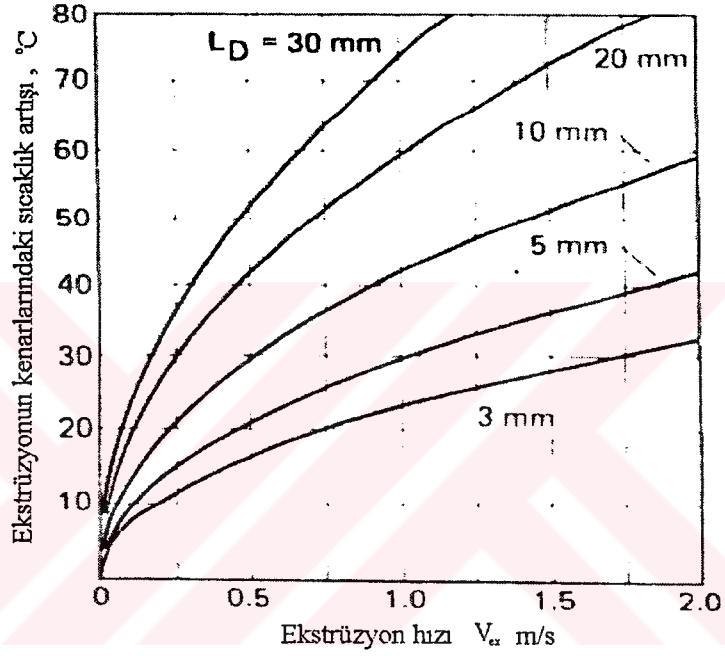
geçerli değildir. Bu, bakır, pirinç, alüminyum ve bir çok alüminyum alaşımı için, bir kural olarak, malzemeler yeterince yüksek hızlarda ekstrüze edildikleri için önemli değildir. Bununla birlikte, bu bazı alüminyum alaşımları için, örneğin AlZnMgCu 0.5, (AA 7022) gibi zor ekstrüze edilen alaşımlar için önemlidir. Bu gibi hallerde 1.2 eşitliği 1.4 eşitliği ile birlikte kullanılmalıdır.



Şekil 19 Farklı malzemeler için sıcak ekstrüze edilen bir kare çubuğun kenarlarındaki sıcaklık artışı. /3/

Köşe ısınmaları ve sürtünme yüzeyi uzunlukları arasındaki karşılıklı ilişki Şekil 20'de verilmektedir. Bu açıkça, karışık kesitli profillerin, özellikle et kalınlığı farkları büyük olan profillerin, niçin basit kesitli şekillerden çok daha yavaş ekstrüze edilmeye ihtiyaç gösterdiğini

açıklamaktadır. Çeşitli et kalınlığına sahip ekstrüzyonların kalıptan doğru bir hat şeklinde ayrılmalarını sağlamak için, kalın kesitli bölgelerde malzeme akışının uzun sürtünme yüzeyleri vasıtasıyla yavaşlatılması gerekir. Bazı durumlarda bu, normal uzunluğu olan 3-6 mm nin bir kaç katı olabilir, ve hatta 30 mm kadar ulaşabilir. Kalıbın yataklama yüzeylerindeki aşırı ısıtmadan kaçınmak için, ekstrüzyon hızı geçiş uzunluklarıyla ters orantılı olarak azaltılır.



Şekil 20 Kenar uzunluğu  $2h = 20$  mm olan bir kare kesitli alüminyumun ( $\tau_{max} = 7$  N/mm<sup>2</sup>) kenarlarındaki sıcaklık artışının ekstrüzyon hızı  $V_{ex}$  ve geçiş yüzeyi uzunluğunun  $L_D$  fonksiyonu olarak gösterilişi. /3/

Nadir kullanılan sıcak ekstrüzyon metodlarının oluşturduğu istisnalar dışında, nadir olmalarının nedeni; küçük gerinimler, basit kesit şekilleri ve düşük takoz sıcaklıklarıdır ve adyabatik koşullara yakın

koşullarda gerçekleştirilirler, genel amaç sabit çıkış sıcaklığının yüksek üretim miktarları ve ürün kalitesinde dikkate alacak şekilde sürdürülmesidir. Deformasyon bölgesindeki ısı üretimi ekstrüzyon işleminin ayrılmaz bir parçasıdır. Diğer taraftan, sınır bölgelerindeki sürtünme ve makaslama nedeniyle oluşan ısı üretimi alınacak tedbirlerle azaltılabilir. Burada İsothermal Ekstrüzyona iki temel yaklaşım mevcuttur;

### 1- Takozun eşit olmayan ısıtılması (uca doğru değişen ısıtma):

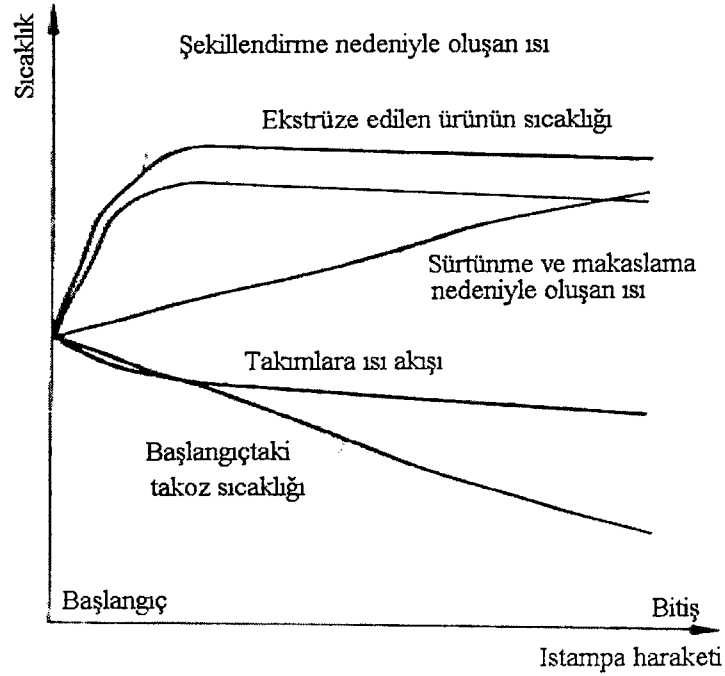
Sıcaklık dağılımı, sonradan ısı üretimine maruz kalacak kısımların başlangıçta daha soğuk tutulmasıyla kontrol edilir.

Bir radyal sıcaklık gradyenti, sınır bölgelerinin soğutulması yoluyla elde edilebilir, ve sadece kısa bir süre için sürdürülebilir ve aynı zamanda takozun farklı kesitlerinin farklı bölgesel deformasyonlara maruz kaldığı gerçeğini de hesaba katmaz.

Takozun başından sonuna doğru düşen bir sıcaklık gradyenti vasıtasıyla, ekstrüzyon çıkış sıcaklığı, ekstrüzyon işlemi esnasındaki ısı üretiminin de katkılarıyla sabit kalabilecektir. (Şekil 21) Takozdaki sıcaklık farklılıklarının vaktinden önce dengelenmesini önlemek için, bu metod en çok yüksek ekstrüzyon hızlarıyla yapılan işlemlerde kullanılır. Pratikte, istenen sıcaklık gradyenti, farklı olarak dizayn edilmiş indiksiyon bobinleri yada ısıtmadan sonra su ile kısmi soğutma yapılarak elde edilebilir.

### 2- Takozun sabit ısıtılması ve soğuma oranının kontrolü ve/veya ıstamp hızı kontrolü:

Teorik olarak, sıcak ekstrüzyon işlemi esnasında konteynır sıcaklığını, ısı uzaklaştırma oranı sabit kalacak şekilde ve sabit ekstrüzyon sıcaklığına yol açacak şekilde azaltmak mümkündür. Bununla beraber bu amacı gerçekleştirmek pratikte çok zordur. Bu nedenle yeni gelişmeler,



Şekil 21 Ekstrüzyon çıkış sıcaklığının takozun eşit olmayan ısıtılması vasıtasıyla sabit tutulması. /3/

İstampa hızı  $V_p$  nı ısı üretim oranına uydurma üzerine yoğunlaşmıştır. Probleme en iyi çözüm, ekstrüzyon çıkış sıcaklığının devamlı ölçümü ve istenen ekstrüzyon çıkış sıcaklığı ile ölçülen sıcaklık arasındaki farkın bir fonksiyonu olarak istampa hızını kontrol eden bir kapalı çevrim sistemidir.

Akaret'e göre, pres kapasitesinin tamamının kullanımı ancak takoz ve konteynir sıcaklığı seçiminin doğru yapılmasıyla mümkün olmaktadır. Bu nedenle uzun dönemde, takozun ısıtılması ve konteynir sıcaklığının kontrolü, bütün bir sistemin parçası olarak düşünülmelidir.

Ekstrüzyon çıkış hızının  $V_{ex} = f(T_{ex})$  kontrolünde bulunan bir çok teknik zorluklardan, deformasyon koşullarının operatör tarafından nasıl

seçileceğini ve bunların ekstrüzyon esnasında nasıl değişeceğini önceden hesaplayarak kaçınılabılırız. Lange'e göre eğer ekstrüzyonun kalıp çıkışında sabit sıcaklıkta olmasını istiyorsak, takoz malzemesi şekillendirme bölgesine sabit sıcaklıkta girmelidir. Her iki sıcaklıkta, şekillendirme esnasında üretilen ısının karşılığı kadar farklıdır. Bu nedenle sürtünme dolayısıyla oluşan ve takoza aktarılan ısı, termal iletim nedeniyle kaybedilen ısıyı telafi etmelidir. Bundan da öte, şekillendirme bölgesinden takoza doğru bir geri ısı akışının olmadığı farz edilmektedir.

Bu ısı-akış kabulleri, ıstampı hızı ile ekstrüzyon zamanı  $t$  arasında aşağıdaki ilişkiye yol açar;

$$v_p(t) = \frac{bc(T_B - T_C)}{\sqrt{\pi \tau_{FR}}} \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (1.7)$$

Bu eşitlik, ıstampı hareketinin  $s$  (ekstrüze edilen takoz uzunluğu) bir fonksiyonu olarak ıstampı hızı  $v_p$  ifadesinin zamanın belirlenmesine yol açtığına dikkate alarak entegre edersek;

$$v_p(s) = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{bc(T_B - T_C)}{\tau_{FR}} \right]^2 \frac{1}{s} \quad (1.8)$$

Toplan ekstrüzyon zamanı ise;

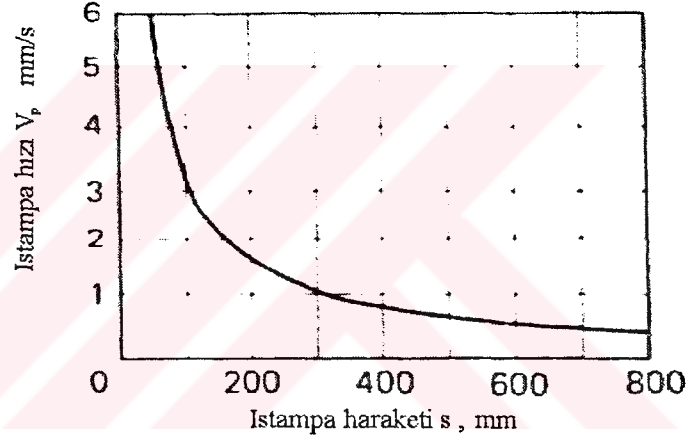
$$t_{tot} = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{\tau_{FR}}{bc(T_B - T_C)} \right]^2 l^2 \quad (1.9)$$

olur. Burada  $b_c (\cong b_D)$  = konteynırın (yada kalıbın) ısı yayılımı

$T_B - T_C$  = takoz ile konteynır arasındaki başlangıçtaki sıcaklık farkı

$l$  = takozun toplam ekstrüze edilen uzunluğu

Eşitlik 1.7 ve 1.8 kullanılarak ekstrüzyon işlemini, ekstrüzyon çıkış sıcaklığını ölçmeden de kontrol etmek mümkündür (Ör. Bir kontrol eğrisi ile). 1.8 eşitliği ve Şekil 22 daha kısa takozlar için ortalama ıstampa hızının arttırılabileceğini gösterir.



Şekil 22 AlZnMgCu 0.5 (AA 7022) alaşımının sıcak ekstrüzyonu esnasında, sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığında ıstampa hızı  $V_p$  (s) /3/

Daha uzun takozlarda bir sıcaklık gradyenti ile çalışmak tavsiye edilir ve, ilave olarak, ıstampa hızının kontrolü her iki yönteminde dezavantajlarını karşılamak için kullanılmalıdır. Tek başına verilmiş olan bir sıcaklık gradyenti deformasyon esnasındaki sıcaklık farklılıklarını yeterince sağlamazken, tek başına ekstrüzyon hızının kontrolüde ekonomik olmayan ekstrüzyon sürelerine yol açar.

Koşul ısının şekillendirme bölgesinden takozla doğru akmasıdır. Hesaplamalar, ısı akışının sadece kalıp çevresinde meydana geldiğini göstermektedir. Böylece, kararlı durum koşulları altında verilen sonuçlar geçerlidir. Başlangıç safhası, kararlı duruma ulaşmadan önce, ıstampa hızının çok küçük olmaması şartıyla oldukça çabuk tamamlanır.

Bir bütünlük sağlamak için, sıcaklık kontrolünün başlıca öneme sahip olduğu çeşitli diğer metodlarda kısaca değinilecektir;

### 1- Takoz ile takım arasındaki ara yüzün yağlanması:

Bu yağlamasız normal olarak ekstrüze edilebilen malzemelere uygulanabildiği gibi kabukla ekstrüze edilen alaşımlarda (özellikle alüminyum alaşımları) uygulanabilir. Yağlamanın amacı, sürtünme yada makaslama tarafından üretilen ilave ısıyı minimize etmektir. Bilinen uygulamaları (a) katı, sıvı yada yarı katı yağlayıcı soğuk ekstrüzyon (b) hidrostatik soğuk ekstrüzyon ve (c) yüksek erime noktalı metallerde kullanıldığı gibi katı yağlayıcılar yada cam esaslı yapışkan bağlayıcılar kullanılarak yapılan sıcak ekstrüzyon. Bu metodlar ekstrüze edilmesi güç olan alaşımlar için uygundur.

### 2- Geriye sıcak ekstrüzyon (indirek ekstrüzyon):

Geriye sıcak ekstrüzyonda takoz ile konteynir arasında göreceli olarak hareketler meydana gelmediği için, bu parçalar tarafından sürtünme ısısı üretilmez.

### 3- Soğutulan kalıpların kullanılması:

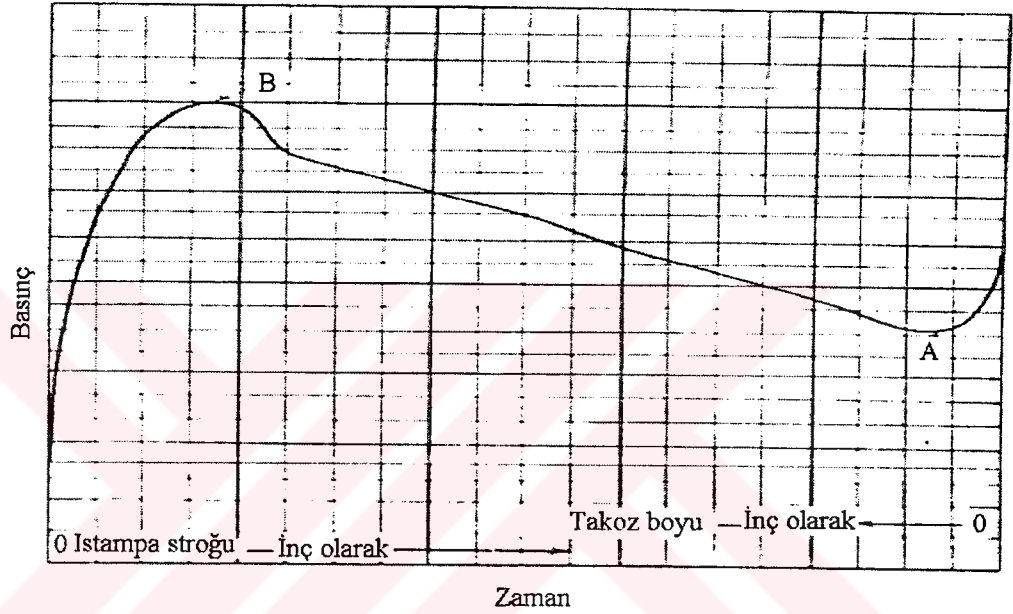
Soğutulan kalıplar deformasyon bölgesinden aşırı ısının uzaklaştırılması için kullanılırlar. Uygun bir soğutucu kullanımıyla, malzeme normal olarak zor şekillendirilse bile başarılı olarak ekstrüze edilebilir. Bununla birlikte bu malzemenin aşırı soğutulmasını önlemek için

soğutucunun doğru (sıcaklık ve miktar olarak) ayarlanmasına bağlıdır. Bu metod en çok düşük hızlarda uygulanır, çünkü çabuk ekstrüzyon işlemlerinde soğutmanın etkisi önemsizdir.



### 1-4 EKSTRÜZYONDA BASINÇ

Direk ekstrüzyon metodunda basınç, takoz maksimum uzunluğundayken kalıptan ekstrüzyonun çıktığı noktada maksimuma ulaşır. Tipik bir basınç eğrisi Şekil 23'te görülmektedir. Ekstrüzyon başladığında, takoz uzunluğu azalır böylece takoz ile konteynır duvarları arasındaki temas yüzeyi azalır dolayısıyla gerekli olan basınç ta azalır.



Şekil 23 Basınç-takoz uzunluğu eğrisi. /4/

Presin stroğu devam ettikçe, basınç düşüşü sadece takozun ince bir diski kalıya kadar devam eder. Basınç bu noktadan sonra, kalıp açıklığından bu diskin radyal iç akışının karşılaştığı artan direnç nedeniyle hızla yükselir. Minimum ve maksimum basınçlar arasındaki fark, sürtünme kuvvetlerine karşı takozu konteynır içerisinde hareket ettirmek için gereken kuvvetlere isnad edilebilir. Bu nedenle, her hangi bir anda ıstampa tarafından sarf edilen gerçek basınç, sadece kalıptan malzeme akışını hasıl etmek için gereken basınç değil, aynı zamanda bu basınca konteynır ile

takoz arasındaki sürtünmenin üstesinden gelmek için gerekli olan basıncın ilavesiyle elde edilir. Doğru ekstrüzyon basıncı, takoz uzunluğu sıfıra yaklaştıkça belirlenebilir.

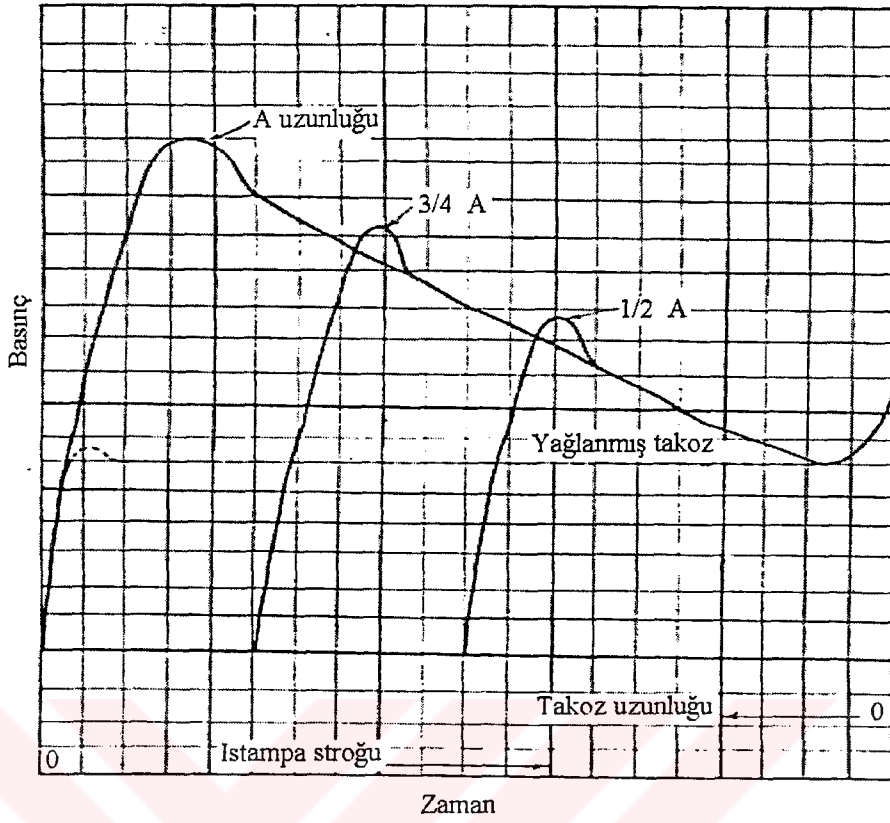
Takozu ekstrüze edilmiş ürüne dönüştürmek için gerekli basınç genel olarak kullanılan alaşıma, ekstrüzyon oranına, şekil faktörüne, takoz sıcaklığına ve takozun boyuna bağlıdır. Şekil 23'te minimum basınç A noktası ile temsil edilir. B noktası ise direk ekstrüzyonda gerekli olan maksimum basıncı gösterir. A ile B arasındaki fark ise deformasyonlara karşı olan direnç ile metal akışının neden olduğu sürtünme kuvvetlerinin üstesinden gelmek için gerekli basıncı temsil eder.

Genel olarak ekstrüzyon basıncına etkiyen faktörleri şöyle sıralayabiliriz;

- 1- İşe yarar takoz uzunluğu
- 2- Sıcaklık
- 3- Ekstrüzyon hızı
- 4- Ekstrüzyon oranı

1- İşe Yarar Takoz Uzunluğu : Uygulamadaki takoz uzunlukları, kullanılan alaşım, kesitin karışıklığı, kalıp dizaynı ve ekstrüzyon oranını da içeren bir çok faktör tarafından kontrol edilir. Takoz uzunluğu çok fazla olursa, pres kalıptan ilk çıkışı sağlayacak yarmayı gerçekleştirecek kapasitede olmayabilir, ve yine takoz uzunluğu çok kısa olursa, uzunluk ve/veya geri gelme oranı ekonomik olmaktan çıkar.

Belirli bir ekstrüzyon için en tatmin edici takoz uzunluğu, ekstrüzyon oranı hesaplandıktan ve aşağıdaki faktörler değerlendirildikten sonra bulunabilir; (1) Ekstrüze edilen ürünün istenen uzunluğu, (2) Ekstrüzyon oranı, (3) soğutma masalarının boyu, (4) pres kapasitesi.



Şekil 24 Takoz uzunluğunun basınç üzerine etkileri. /4/

Basınç stroke eğrilerinden bir serisi Şekil 24'te görülmektedir. Bu eğriler benzer koşullar altında farklı takoz uzunlukları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar daha önceki önermeleri desteklemektedir; bütün eğriler bir sıcaklık toleransı aralığı ile benzer minimum noktalara sahiptir. Takoz uzunluğu azaldıkça maksimum basınçta azalır. Takoz ile konteynır arasında etkili olan kuvvetler genel olarak "sürtünme" terimi ile nitelendirilir. Bu muhtemelen bir yanlış isimlendirmedir çünkü bu iki yüzey arasında herhangi bir hareket meydana gelse bile bu çok küçüktür. Takozun iç kısımları bir makaslama hareketiyle yüzey tabakası boyunca kayarlar. Takoz yüzeyinin bir yağlayıcı ile kaplı olduğu deneylerde, metal akışı değişir ve takoz yüzeyi ile konteynır duvarları arasında bir hareket meydana gelir. Basınç bir dereceye kadar Şekil 24'deki noktalı eğriye benzer bir gelişim

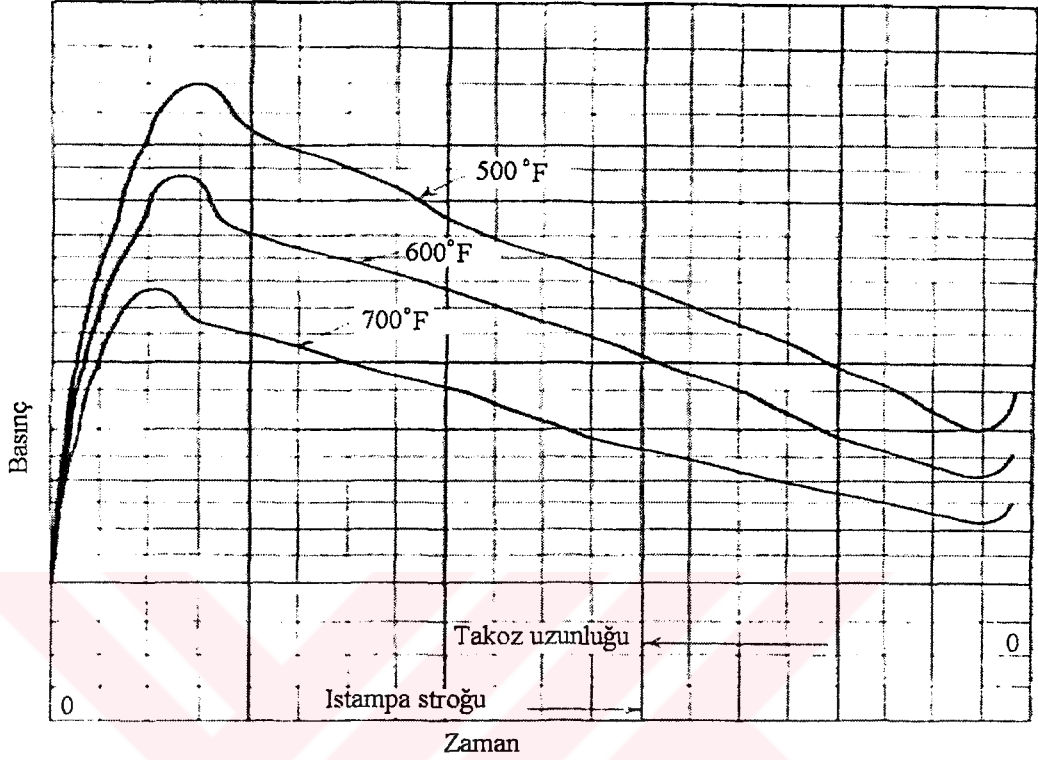
gösterir. Gerekli basıncı düşürmede yağlamanın etkisi kanıtlanırken, sıkıştırılmış sıvıların problemleri ortaya çıkar. Diğer bir deyişle, bu ekstrüzyon yüzeyinde istenmeyen bozulmalara yol açabilir. Bu nedenle üretim amaçlı takozun yağlayıcı ile çevrelenmesi nadir olarak kullanılır.

2- Sıcaklık : Alaşımların deformasyona direnci, sıcaklık yükseldikçe azalır, ve bu direnç malzemenin ergime noktası civarında çok küçük hale gelme eğilimindedir. Bununla beraber, bu değişikliğin meydana geldiği oran ile elde edilecek yumuşaklığın nihai derecesi arasında oldukça fark vardır. Daha yüksek sıcaklıklara doğru yumuşaklığın avantajlarını dikkate alarak daha az basınç gereksinimine gerek olduğu sonucuna ulaşabiliriz. Bununla birlikte, ekstrüzyon sıcaklığı artmaya devam ederken, kalıpta küçük oksit partiküllerinin toplanması (yüzey çizgileri hatta yırtılmalarla sonuçlanır) da artmaktadır. Metalurjik bir üst sınırın üzerinde, alaşıma bağlı olarak, sonuçta taneler arası mekanik bozulmaya yol açacak, metalin kohezyon mukavemetinde azalmalar görülür.

Pratikte, takoz sıcaklığı genellikle, istenen yüzey kalitesi ile maksimum verimlilik arasındaki mümkün olan en iyi dengeyi elde etmek için bir minimumun altında sürdürülür. Değişik takoz sıcaklıkları ve sabit konteynır sıcaklığı kullanılarak elde edilmiş eğrilerin bir grubu Şekil 25’de görülmektedir. Görülen eğriler, deformasyon direncinde mümkün olan değişikliklere; ya takoz yada konteynır sıcaklığını arttırarak; işaret etmektedir. Bazı alaşımlar için, ekstrüzyon sıcaklıkları yeniden kristalleşme karakteristiklerini kontrol etmek için dikkatlice tesbit edilip uygulanmalıdır.

Konteynır sıcaklığı takoz sıcaklığından daha düşük olmalıdır. Böylece takozun oksitleri içeren kabuğu soğuma dolayısıyla yavaşlatılarak bu oksitlerin ekstrüze edilmesi önlenmiş olmaktadır. Konteynır sıcaklıklarının üretim esnasında değiştirilmesi çok yavaş olduğundan, bunun yerine takoz sıcaklıklarının değiştirilmesi tercih edilmektedir. Çıkış

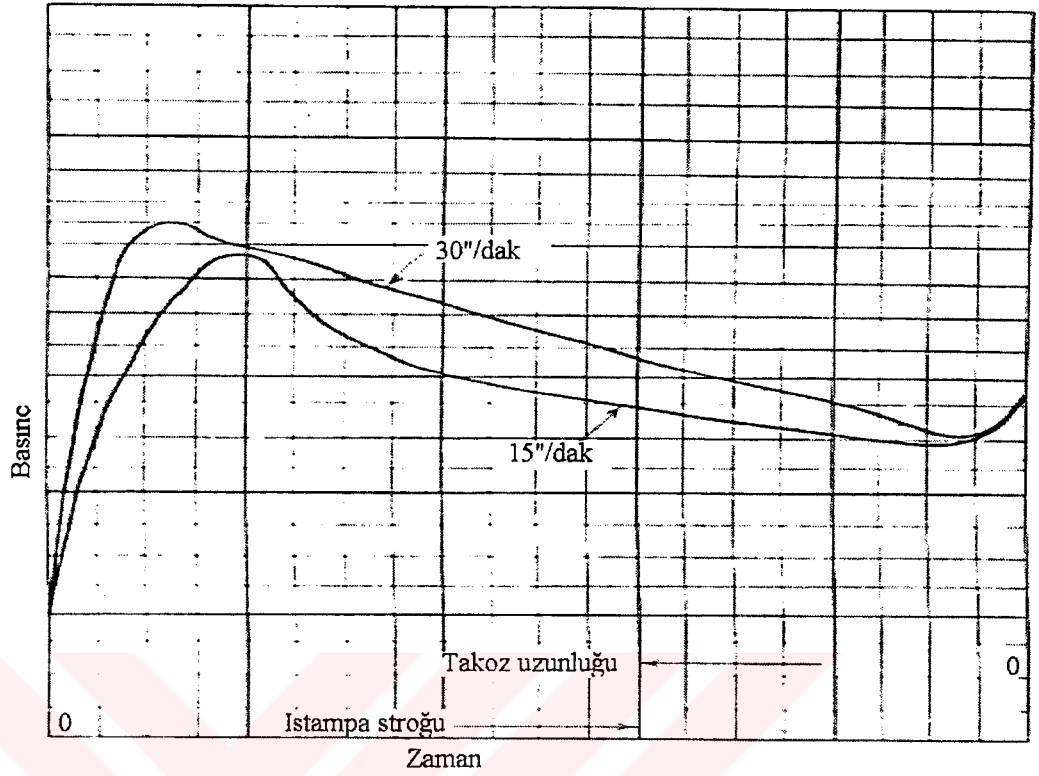
sıcaklığını sabit tutabilmek içinde daha önce bahsettiğimiz takozun farklı ısıtılması yada ekstrüzyon hızının değiştirilmesi yöntemi uygulanmaktadır.



Şekil 25 Konteynır sıcaklığı sabit tutulup, takoz sıcaklıklarının değiştirilmesi ile elde edilen basınç-strok eğrileri./4/

**3- Ekstrüzyon Hızı :** Belirli bir alaşım için, istenen özelliklerin, iyi yüzey kalitesinin ve yeniden kristalleşmenin elde edilebileceği optimum ekstrüzyon hızı basınçla direk olarak ilişkilidir. Eğer ekstrüzyon hızı çok yavaş ise takozun soğuması, alaşımın aralığının en düşük sınırının altında sıcaklıklar üretebilir. Bu yüzden ekstrüzyon için gerekli olan basınç, çevrim süresince istenmeyen şekilde yüksek kalabilir. Aynı kalıptan benzer koşullar altında farklı hızlarda ekstrüze edilmiş numunelere ait eğriler Şekil 26'da görülmektedir. Bu gibi karşılaştırmalar sadece ekstrüzyon çevriminin kısa bir zaman süresi içerisinde tamamlanması halinde geçerlidir. Ekstrüzyon çevrimleri, alaşımlara ve ekstrüzyon oranlarına bağlı olarak geniş şekilde

değişir.



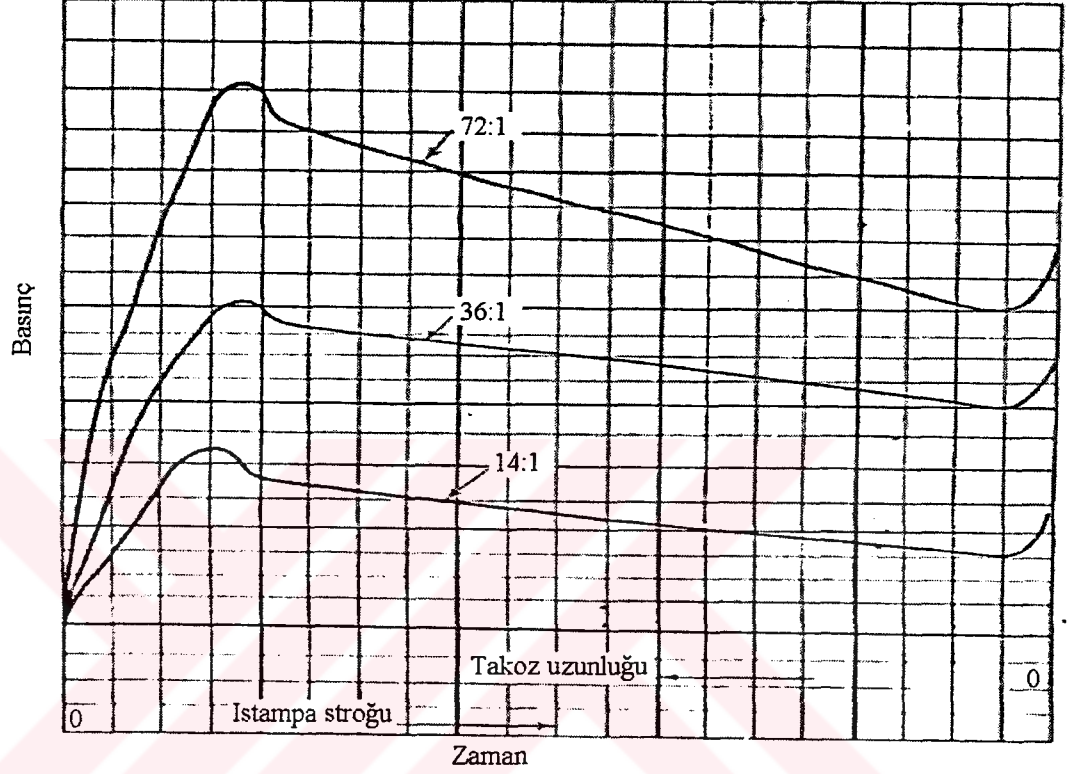
Şekil 26 Benzer ekstrüzyon koşullarında ıstampa hızının basınca olan etkisi. /4/

**4- Ekstrüzyon Oranı :** Ekstrüzyon oranı konteynır kesitinin ürün kesitine oranıdır. Ekstrüzyon oranı basınç gereksinimlerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Oran konteynır ve takoz çaplarının değiştirilmesi ile yada kalıptaki figür sayılarının değiştirilmesi ile değiştirilebilir.

Bir çalışmada, redüksiyon oranının basınç gereksinimleri üzerindeki etkilerini belirlemek üzere, bir seri takoz farklı çaplardaki konteynırlar kullanılarak aynı kalıba basılmıştır. Bu çalışmanın tipik bulguları Şekil 27'deki eğrilerle gösterilmiştir.

Genellikle ekstrüzyon oranını, istenen işlenmiş metal özelliklerini elde edebilmek için belirli bir minimum değerin üzerinde tutmak

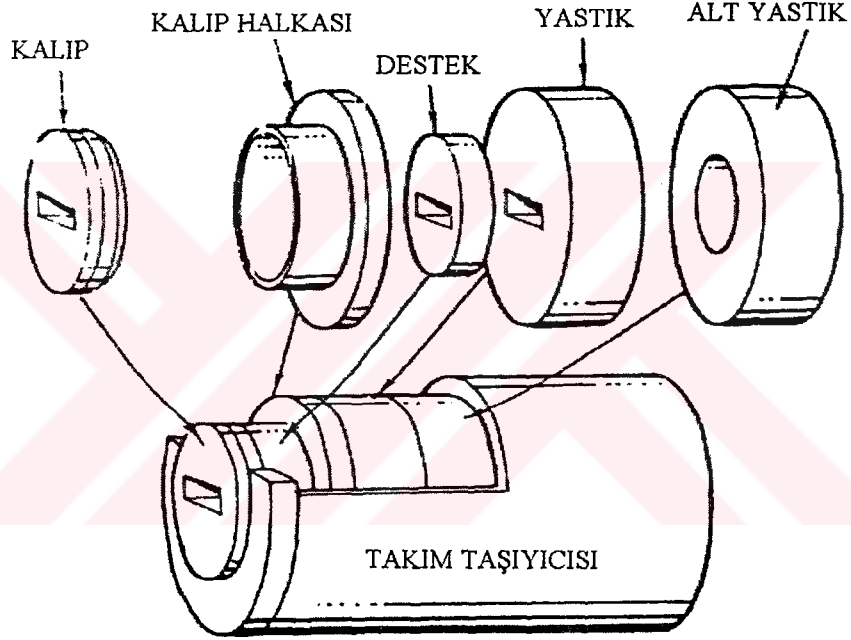
zorunludur. Eğer belirli bir pres ve konteynır söz konusu ise, ekstrüzyon oranı kalıp dizaynı dışında değişmez. Dizayn aşamasında da bir yada daha çok figürün kararı, ekstrüzyon oranı, du yarı çapı, istenen ürünün boyu ve takoz uzunluğuna bağlı olarak verilir.



Şekil 27 Redüksiyon oranının ekstrüzyon basıncına etkisi. Benzer koşullar altında aynı kalıba farklı çaplarda konteynırlar kullanılarak ekstrüzyon yapılmıştır./4/

## 1-5 EKSTRÜZYON MATRİSLERİ

Ekstrüzyon matrisleri (kalıpları) işlenecek malzemeye istenen profil kesitinin verilmesinde kullanılır. İstenen profilin kesiti şeklinde bir açıklığa sahiptirler. Matrisler istenen profile bağlı olarak; kutu profil yada dolu profil; yada pres kapasitelerinden yada teknik olanaklardan yararlanabilmek için bir çok çeşitte yapılabilmektedir. Biz önce kısaca ekstrüzyon matrislerini yada yardımcı ekipmanları oluşturan elemanlara ait terminolojiyi verdikten sonra, matris çeşitlerinden ve bu matrisleri üretime hazırlamada kullanılan yöntemlere değineceğiz.



Şekil 28 Tipik matris takım tertibatı. /5/

Tipik bir matris takımı tertibatı Şekil 28’de görülmektedir. Önden arkaya doğru bileşenler; Matris (kalıp), halka tarafından çevrilmiş destek, yastık, ve alt yastık şeklinde düzenlenmiştir. Bu bileşenler bir Takım

taşıyıcısına yerleştirilmiştir. Şimdi bu bileşenleri ve diğer yardımcı ekipmanları kısaca tanıyalım;

**Konteynir** : Bu çelikten yapılmış ve genelde hareket edebilir bir silindirdir. İki ucuda açıktır. İç çapı ekstrüze edilecek takozdan az daha büyüktür. Genelde içiçe geçmiş iki silindir olarak düşünülebilir. İç silindir takoz ile temas halinde bulunan kısmını oluştururken, dıştaki silindir iç silindiri ve konteyniri ısıtmada kullanılan teçhizatı taşıyan ve onları koruyan bir dış zarf vazifesi görür.

**Kalıp Halkası** : Kalıp ve desteğini aksel olarak birbirine bağlayan silindirik bir gömlektir. Bazen mühre olarakta isimlendirilir.

**Destek** : Kalıba benzer geometriye sahiptir, fakat genelde kalıptan 2 yada 3 kez daha kalındır. Destekler erkek ve dişi pimler vasıtasıyla kalıba düzgün ve sıkı şekilde bağlanırlar. Destekler kalıpları takoz basıncına karşı kuvvetlendirirler ve kalıbı tutmak için bir vasıta oluştururlar.

**Yastıklar** : Kalıp halkası ile aynı çapta, sertleştirilmiş alaşımli çelikten bir diskidir. Kalıp ve destekleri takviye eder ve kalıpta olabilecek sapmaları minimize etmeye yardım ederler.

**Takım Taşıyıcısı** : Bu presin bir bileşenidir ve konteynir ile pres plakası arasında yer alarak kalıp, destek ve yastıkları taşımaktadır.

**Basınç Diski** : Konteynir iç çapından az daha küçük çapa sahip çelik bir diskidir. Istampanın aşınmasını ve malzemenin ıstampaya sıvanmasını ve aynı zamanda malzemenin geri akmasını da önler. Sabit yada her çevrim sonunda düşen pul şeklinde olabilirler. Diğer isimleri ön levha yada Dummy bloktur.

**Istampa** : Ekstrüzyon presinin bir parçasıdır. Baskı esnasında konteynir içerisine doğru hareketlenir ve basınç diski vasıtasıyla kuvveti konteynir içerisindeki takozlara uygular.

Geçişler : Kalıp alın yüzeyine dik açıda bulunan, malzeme akışını kontrol eden ve istenen kesiti malzemeye veren kalıbın teknik olarak en önemli bölümüdür.

Giriş Noktası : Malzemenin geçişlerle temasa geçtiği noktadır. Bir çok alüminyum alaşımları için kalıp ön yüzü ile geçişlerin oluşturduğu dik köşedir. Bazı malzemelerin ekstrüzyonunda kullanılan kalıplarda, kalıp ön yüzü ile geçişler birbirine, malzemeyi geçişlere doğru yönlendiren bir eğik kısım ile bağlanır. Bu eğik kısma konik, havşa, yada boğma bölgesi denir.

Çıkış Noktası : Geçiş yüzeylerinin sona erdiği ve kalıp boşaltma bölgesinin başladığı noktadır. Bu noktada ekstrüzyon geçişlerden ayrılır.

Mandrel : Kutu yada yarı açık profillerin üretiminde, iç kısımdaki boşluğu elde etmek için kullanılan erkek kalıp parçasıdır. Ölçüleri istenen iç boşluğun ölçülerindedir. Mandrelin ucu dişi kalıptaki geçiş bölgesinin başladığı noktadan bir miktar içeriye kadar girer. Böylece istenen et kalınlığı ve iç boşluğa sahip kesitler elde edilir.

Ekstrüzyon kalıpları daha öncede belirttiğimiz gibi, dolu ve yarı açık şekiller için kullanılanlar ve kaynama odalı yarı kutu ve kutu şekiller için kullanılanlar olmak üzere iki grupta toplanabilir. Prensipde, dolu ve açık yarı kutu şeklindeki ekstrüzyonlar için kullanılan kalıp tipleri, ekstrüze edilen bütün metaller için kullanılabilir. Şekil ve ölçü çeşitleriyle kutu profil kalıpları, alüminyum alaşımları tarafından tamamen kullanılmaktadır. Bunun istisnası, mandrelle çelik yada ağır metallere basit kutu kesitlerin üretildiği kalıplardır.

Alüminyum bir profil için yapılan kalıp aşağıdaki koşulları sağlamalıdır;

a- Her hangi bir düzeltme işlemi gerektirmeyen hassas bir boyut ve ürün şekli.

b- Maksimum çalışılabilir ömür.

c- Ekstrüze edilen kesitten elde edilebilecek maksimum uzunluk (uzun süre kullanılıp, maksimum ürün uzunluğunu verme)

d- Bir çok ekstrüzyonlar boyunca iyi yüzey kalitesinin sürdürülmesi, Ör. Seyrek kalıp temizliği

e- Yüksek ekstrüzyon hızı

f- Düşük üretim maliyeti

Bu talepler genellikle çubuk ve basit şekilli kalıplarda tam olarak karşılanır. Bununla beraber, kalıbın karmaşıklığı arttıkça, yukarıdaki altı talebe tamamen uymak ta gittikçe artan şekilde zorlaşmaktadır. Bir kalıbın dizayn ve üretiminde bir çok faktör dikkate alınmalıdır. Bu faktörler, akış durumunu, maksimum özgül basıncı, kesitin geometrik şeklini, kesitin et kalınlıklarını, dil ölçülerini, geçiş yüzeylerinin şeklini ve kesit toleranslarını içermektedir. Yanlış bir malzeme akışı, bitmiş ürünün yüzeyinde görünür çizgiler oluşturan kritik deformasyon bölgelerinin artışına yol açar.

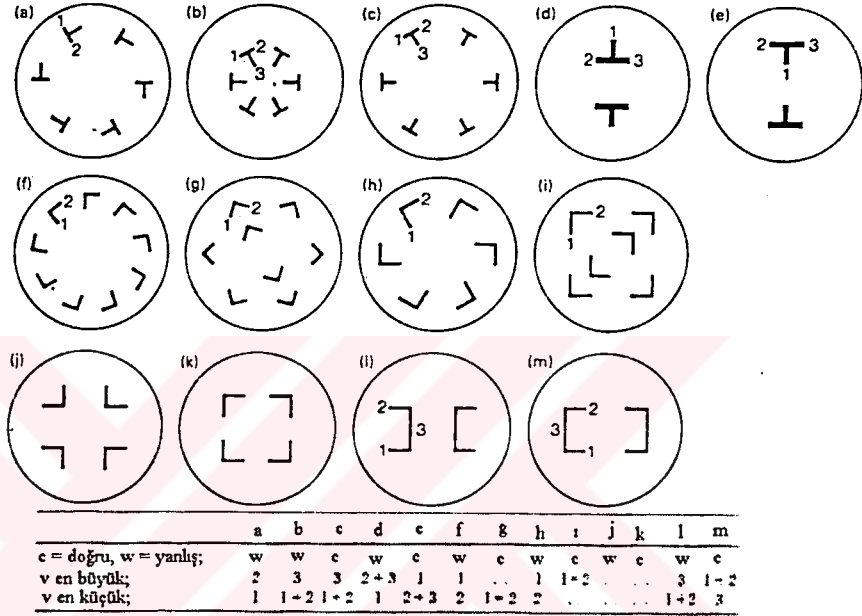
Kalıbın bütün parçaları boyunca üniform metal akışını elde etmek çok fazla yetenek ve tecrübe gerektirir, özellikle simetrik olmayan şekiller ve farklı et kalınlıkları söz konusu olduğunda. Akışa karşı direnç kalıbın dar bölgelerinde maksimumdur, bu bölgelerdeki geçişlerin uzunlukları azaltılmalıdır.

### 1-5-1 DOLU KESİTLER İÇİN KALIPLAR

Dolu kesitler için bir kalıbın dizaynının başlangıç aşamasında bazı basit kurallar takip edilmelidir ve bu kurallar kalıp açıklığının pozisyonunu belirler. Kesitin ağırlık merkezi; ki en çok malzemeni aktığı yerdir; malzemenin merkezde kenarlara göre daha hızlı akma eğilimi olduğundan mümkün olduğunca kalıbın kenarlarına yakın bir şekilde yerleştirilmelidir.

Geniş kesitlerde aynı şekilde göreceli olarak daha küçük yada daha ince kesitlerden daha hızlı ilerlemektedir. Bu gerçekler farklı geçiş uzunlukları kullanmadan bir denge oluşturmaya izin vermektedir. Bir

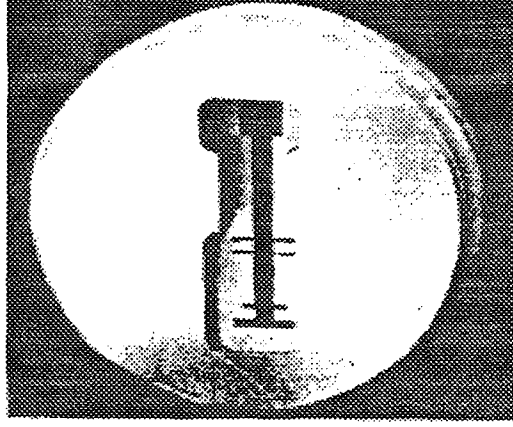
simetrik kesitte yerleştirilirken simetri ekseninin kalıbın merkezine gelecek şekilde olmasına dikkat edilir. Eğer çok figürlü kalıplar kullanılacaksa, kalıp açıklıkları mümkün olduğunca birbirine simetrik olarak düzenlenmelidir. Şekil 29'da T, L, ve U şekilli profiller için doğru düzenlemeler görülmektedir. Basitçe, her bir kesitin ağırlık merkezi daire kesmesinin ağırlık merkezinde konuşlanmalıdır. Bununla beraber bu kural, konteynır ölçülerine ve figür sayısına bağlıdır.



Şekil 29 Akış oranına göre kalıp açıklıklarının dağılımı. /1/

Bir çok figürlü kalıbın yerleşim planının, ekstrüzyonların birbirine temas ederek birbirini ovalamasına yada presi terkettiklerinde birbirlerinin üzerlerinde ilerlemelerini engelleyecek şekilde düzenlenmesi gerektiğinde dikkat edilmesi gereken bir kuraldır. Bir bacak yada şerit kenarı olmayan bir düz yüzey çıkış masalarına yada konveyörlerine temas ederek ilerlemelidir. Böylece profilin çabuk zarar görebilecek kısımları korunmuş olmaktadır.

Ön hazneli kalıplar (Şekil 30-31-32) ve kaynama odalı kalıplar (Şekil 33) , kalıplardaki uzun, ince dillerin sapmalarını minimize etmek için normal düz kalıplar yanında yarı kutu kesitler için de kullanılmaktadır.



Şekil 30 Ön hazneli kalıp /1/



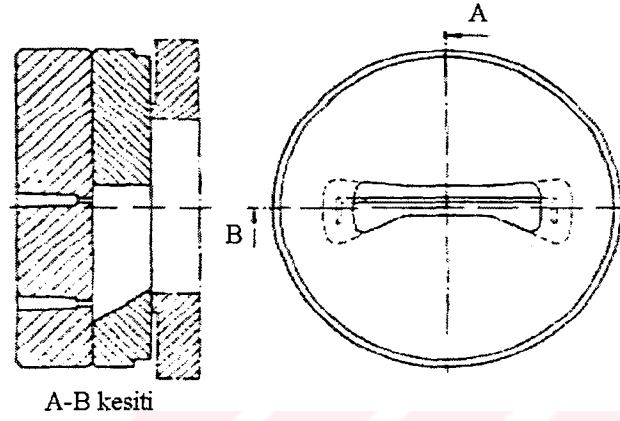
Şekil 31 Üç parçalı besleyici plakalı kalıp; sol, besleme plakası; orta, kalıp; sağ, destek. /1/

Bu tip kalıplar uzun bacakları olan kesitlerin deforme olmaksızın üretilmelerine izin verir. Aşağıdaki önlemler bu ön hazneli ve kaynama odalı kalıplarla beraber alınabilir;

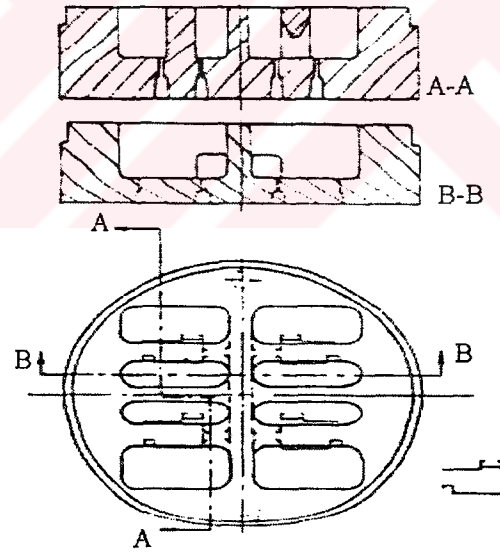
a- Bazı kalın bölgeler ile ince kesitleri olan profillerde malzeme akışının kontrolü geliştirilmelidir. (Ön hazneli kalıp)

b- Mevcut konteynır için çok geniş kesitler ekstrüze edilebilir ve bazı uç durumlarda bir genişletici besleyici plaka konteynır çapından daha geniş ekstrüzyonların üretilmesinde kullanılabilir. (Şekil 32)

c- Dar ve uzun dilleri ile yarı kutu kesitler daha iyi toleranslarla ve daha az kalıp kırılma tehlikesi ile üretilebilirler.



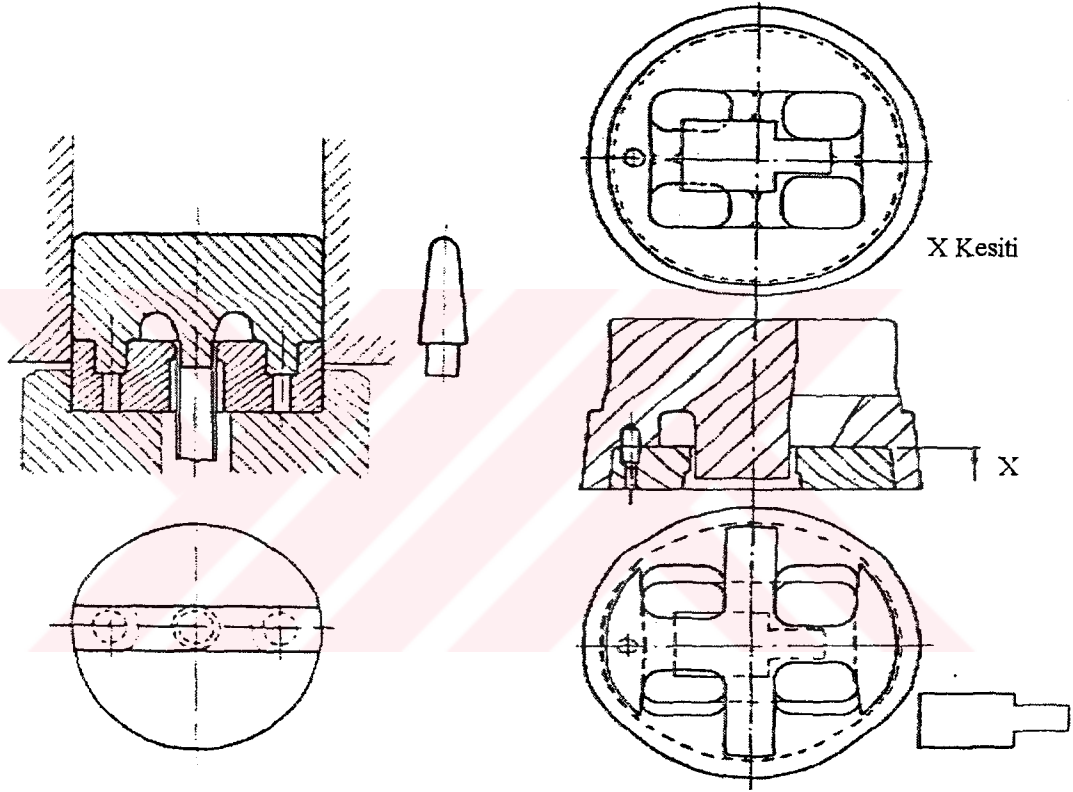
Şekil 32 Genişletici besleyici plakalı kalıp. /1/



Şekil 33 Kaynama odalı kalıp. /1/

## 1-5-2 KUTU KESİTLER İÇİN KALIPLAR VE ÖZEL KALIPLAR

Karmaşık kutu kesitleri ekstrüze etmek için kalıplar, bir kaç on yıl önce mümkün olmadığı düşünülen yöntemler ile günümüzde üretilmektedir. Bu sıcak iş çeliklerindeki ve ısıl işlem teknolojisindeki gelişmeler ile ekstrüzyon teknolojisindeki ilerlemelerle yakından alakalıdır. Kutu kesitler için kullanılan kalıplar üç grupta toplanır; Köprülü kalıplar, Örümcek kalıplar ve Porthol kalıplar.



Şekil 34 Eski tip köprülü kalıp./1/

Şekil 35 Köprülü kalıp./1/

### 1-5-2-1 KÖPRÜLÜ KALIPLAR

Günümüzün modern köprülü kalıpları daha önce kullanılan eski dizaynlarından (Şekil 34) geliştirilmiştir. Bu eski dizayn şekli günümüzde bazen kullanılmaktadır ancak köprülü kalıpların günümüzde kullanılan dizaynı Şekil 35’de görülen şeklini esas almaktadır.

Prensip olarak köprülü kalıp, elde edilecek ürün yüzeyinin fevkalade önemli olduğu durumlarda kullanılır. Kalıp düşük sıcaklıklarda işletilir, çünkü her ekstrüzyonun sonunda ıskarta ve içeriğindeki pislikler uzaklaştırılır. Bu nedenle kalıp temiz kalır ve atomize bir yağlayıcının sprey şeklinde püskürtülmesine müsaittir. Büyük ıskarta (ara iş) bir dezavantajdır çünkü hurda oranını arttırmaktadır. Konteynır açıldığında ıskarta kalıptan temizlenerek çıkarılır. Sürekli olarak çekme ile bası arasında değişen alternatif gerilmeler nedeniyle hızlanmış bir aşınma ve zamanından önce kırıma görülebilir. Köprülü kalıplar, kutu kesitli profillerin kalıpları içerisinde, çok yüksek işleme maliyetleri nedeniyle, en pahalı kalıplardır.

#### 1-5-2-2 ÖRÜMCEK KALIPLAR

Örümcek kalıplar Amerikan orijinlidir ve ana olarak düşük ekstrüzyon oranlı geniş kutu kalıpların imalinde kullanılır.(Şekil 36) Kalıpların bu tipinin kullanımı azalmaktadır, çünkü imalat esnasında herhangi bir kontrol yada değişiklik yapılmadan önce bu tip kalıplar uzun süren bir temizlikten geçirilmelidir. Konik kesitteki kalıntı kalıp pres üzerinde iken ancak kısmen giderilebilir. Geliştirilen yeni dizayn eski konstrüksiyonun dezavantajlarından bir çoğunu elimine etmektedir ve uygulamada kendini kanıtlamıştır. (Şekil 37)

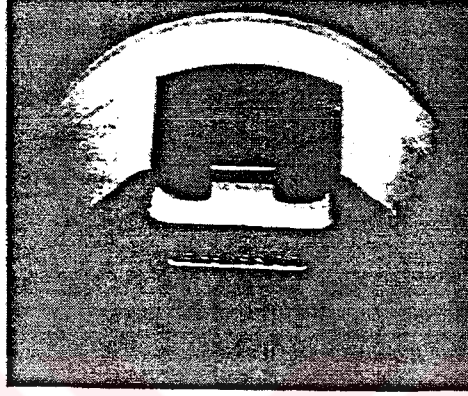
Kapalı bir çan şeklinde mandrelin konstrüksiyonu ve arka destek kısmının içine girmiş bir kalıp üç önemli avantajı beraberinde getirmektedir;

a- Kalıbın artan stabilitesi, kapalı konstrüksiyon şeklindeki bileşen kırılma ve çatlak oluşumu tehlikesini azaltır.

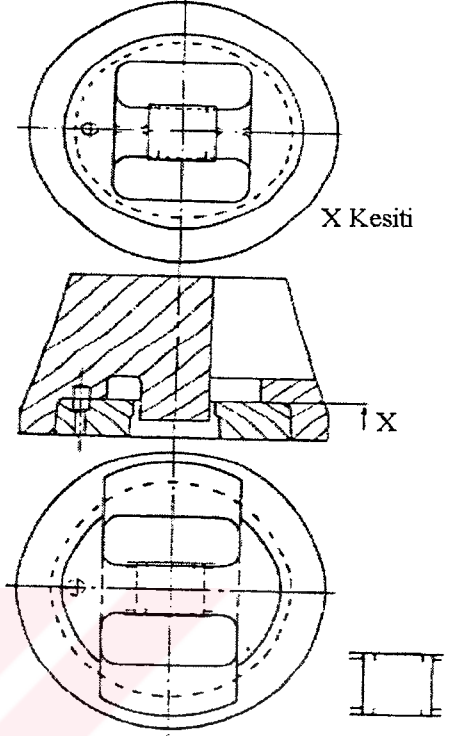
b- Kesit çevresindeki üniform, geniş kaynama odası çok iyi bir metal akışı ile sonuçlanır.

c- Kesitlerin iç yüzeylerinin kalitesinin dış yüzeylerinininki kadar yüksek olması gerekmediğinden kalıp düşük maliyetlerle sık sık

değiştirilebilir ve takımın çalışma ömrü arttırılmış olur.



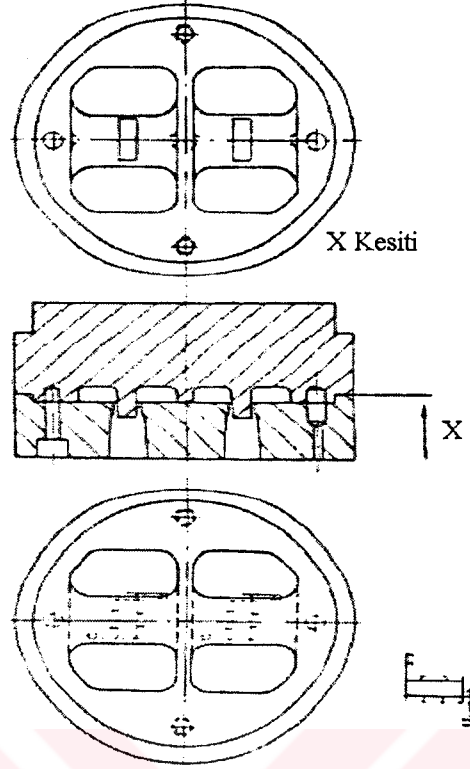
Şekil 36 Örümcek kalıp./1/



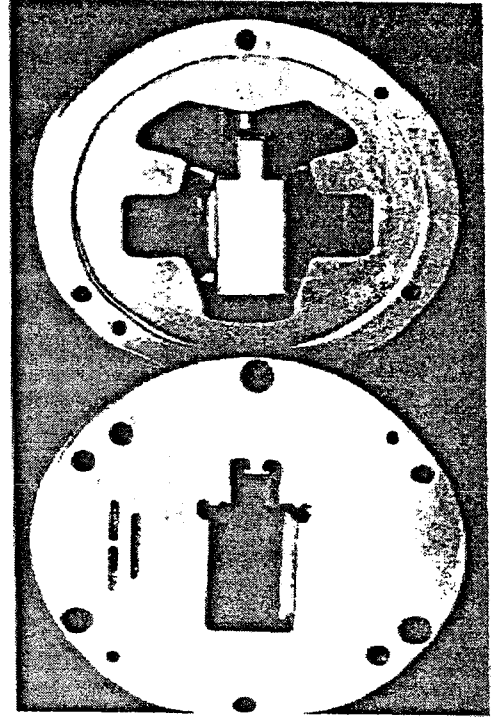
Şekil 37 Örümcek kalıp, yeni sitil./1/

### 1-5-2-3 PORTHOL KALIPLAR

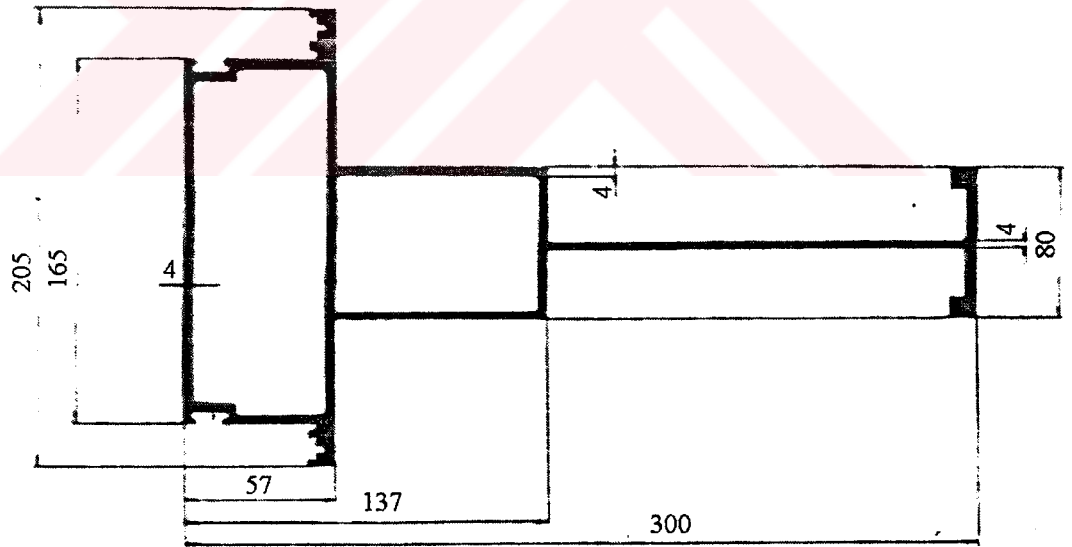
Kalıpların bu tipi hemen hemen daima kullanılmıştır ve modern gereksinimleri karşılayan en iyi ve en uygun gelişmeyi temsil ederler. Porthol kalıplar çok figürlü kalıp yapımı için de uygundur ve kapalı konstrüksiyon tipi yüksek stabilite dereceleri verir. (Şekil 38 ve 39) Porthol kalıplar, konteynır çapıyla göreceli olarak kesiti çevreleyen daire çapında da maksimum değerlere ulaşmayı sağlarlar.(Ör.Şekil 40) Burada kalıp aynı zamanda kalıp tutucusu gibide vazife görür. Optimum malzeme akışı kullanılarak tercih edilir bir ekstrüzyon oranı seçilebilir; böylece göreceli olarak düşük sıcaklıklara ısıtmak yeterli olabilir.



Şekil 38 Porthol kalıp./1/



Şekil 39 Porthol kalıp./1/



Şekil 40 Karmaşık şekilli profiller ancak porthol kalıpları ile üretilebilir. /1/

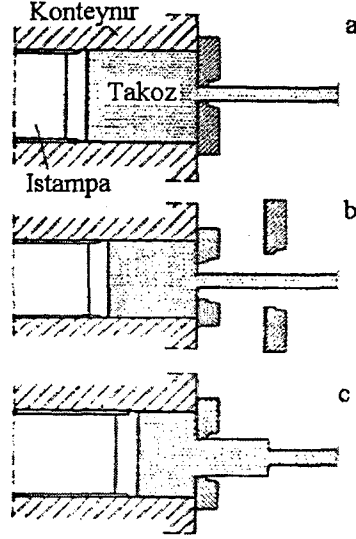
Iskarta, kesit şekline bağlı olarak, kısmen uzaklaştırılabilir. Kalıpların bu tipi çok kritik dillere ve/veya kesitlere sahip profiller için kullanılır. Bununla beraber, kalıp yekpare bir çelikten üretildiği için düzeltme amacıyla doldurma yada boşaltma yapılması çok zordur. Et kalınlığındaki geniş çeşitlilikle çok zor kesitler yada bir çok figüre sahip kalıpların imali ancak porthol kalıp türünün kullanılmasıyla mümkündür. Bu dizaynın en büyük dezavantajı yukarıda da belirttiğimiz gibi, kalıbın metal akışını yönlendirdiği bölgelere ulaşımın güç olması nedeniyle düzeltmelerin zor yapılabilmesidir.

#### 1-5-2-4 KADEMELİ KESİTLER İÇİN KALIPLAR

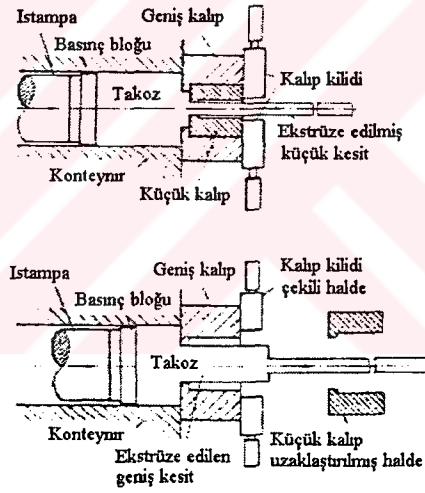
Kademeli kesitlerin üretilmesi ihtiyacı, Amerikan havacılık endüstrisinde değişik kesitli parçaların uçak ve roket yapımında geniş olarak kullanılmaya başlanması ve bunları mekanik olarak işlemenin maliyetlerinin oldukça yüksek olması nedeniyle doğmuştur ve böylece kademeli yada basamaklı ekstrüzyon geliştirilmiştir.

Kademeli kesitler Almanya'da 1950 lerden beri kayar kalıp yöntemiyle üretilmektedir.(Şekil 41) Bu yöntem basit kesitler için çok uygun bulunmaktadır. Tecrübeler göstermiştir ki, kayar kalıpların değiştirilmesi karmaşık kesitlerde oldukça zordur. Metodun esas dezavantajı kalıpları değiştirmek için gereken zamandır ve bu esnada takoz sıcaklığında meydana gelen düşüş kademeli kesitin ikinci aşamasının ekstrüzyonunu güçleştirmektedir.

Amerikan ekstrüzyoncuları, kalıp setlerinin birbiri ardına düzenlendiği bir kalıp sistemini geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, bir takım setinin destek ve güvenliğinin çift kamalı bir sistem tarafından sağlanması avantajına sahiptir. Bu sistemin uygulanabilmesi için preste değişiklik yapılması kaçınılmazdır. Metod Şekil 42'de görülmektedir.



Şekil 41 Kademeli ekstrüzyon a- küçük kesitin ekstrüzyonu b- kalıpların değiştirilmesi, c- geniş kesitle ekstrüzyonun devam etmesi. /1/



Şekil 42 Kademeli ekstrüzyon için çift kapı kilitli düzenleme. a - Küçük kesitin ekstrüzyonu, b- Kilitin çekilmesi, küçük kalıbın uzaklaştırılması, geniş kesitin ekstrüzyonu. /1/

İlk kesit ekstrüze edildikten sonra, kamalar ilk kalıp setinin serbest kalması için hareket ettirilir ve ekstrüzyonun ilk kısmı takip eden ikinci geniş kesit tarafından ileriye itilir.

### 1-5-3 ÜNİFORM METAL AKIŞI İÇİN KALIP GEÇİŞ UZUNLUKLARI

Düzensiz kalıp orifislerinin içerisinde metal akışı, frenleme etkisine sahip geçiş yüzeyi uzunlukları tarafından kontrol edilir. Geçiş uzunlukları, alüminyum kesitler için en az et kalınlığının iki katı olmalı ve 2,5 ila 3 mm'nin altına da düşmemelidir. Eğer geçiş uzunluğu 3 mm'nin altında ise düzeltmeler yapmak zordur. Metal kalıbın merkezinde kenarlarına göre daha hızlı akma eğilimindedir, bunun için merkezdeki geçiş uzunlukları daha geniş olmalıdır. Metal akışı, üniform olmayan et kalınlığına sahip kesitlerde et kalınlığı fazla olan bölümlerde de hızlı akma eğilimindedir, ve geçiş uzunluğu da buna uygun olarak artmalıdır. Dolu kesitlerde metal akışı, genellikle farklı geçiş uzunlukları tarafından kontrol edilebilir. Bununla beraber, kutu kalıpları düzeltmenin bir çok metodu bulunmaktadır. Kalıba girişler ve mandrel ilk ekstrüzyon denemesinden sonra değişiklikler yapmaya izin verecek şekilde dizayn edilir.

### 1-5-4 ISIL İŞLEM VE EKSTRÜZYON TAKIMININ BAKIMI

Sıcak iş takım çeliklerinin bütün ısıl işlemlerini anlatmamız mümkün olmadığından, sadece ekstrüzyon için en iyi özellikleri veren ısıl işlemlere değinmeye çalışacağız. Isıl işlemler yoluyla yapının kontrol edilmesi imkanları bilinmeli ve bu işlemlerin doğru olarak uygulanması anlaşılmalıdır, çünkü her çelik kullanıcısı optimum ısıl işlemin seçimi ile takım servis ömrünü arttırabilir. Her ekstrüzyoncunun kendisi için belirli çelik türleri seçerek ve bunlara ait ısıl işlemleri doğru öğrenerek bir çok problemden kurtulması mümkündür.

### 1-5-4-1 ISIL İŞLEMLER

Çeliklerin özelliklerinin her biri esas olarak mevcut alaşımlama elemanları tarafından belirlenir. Demir, demir alaşımlarında katı çözeltileri oluşturmak için kullanılan hemen hemen bütün elementleri çözer. Eğer karbon mevcutsa; alaşımlama elemanlarının etkisi geniş ölçüde bu elementlerin karbid oluşturma eğiliminde olup olmamalarına yada ana yapıda (matrix) çözünüp çözünmemelerine bağlıdır. Bir alaşımlı çelikte oluşan karbidlerin hacmi karbon içeriğinin bir fonksiyonudur. Dolayısıyla ana yapının karbon içeriği artarken alaşım içeriği azalır. Bununla beraber, karbonun ana yapıda çözünebilirliği sıcaklık yükseldikçe artar ve sonuçta, ana yapının alaşım içeriği de artar. Karbidlerin çözülmeye direnci, sıcak iş çeliklerinin yumuşamaya direncini kontrol eder. Artan sıcaklıkla sertleştirme esnasında, sertlikteki başlangıçtaki düşüşten sonra; ki bu  $Fe_3C$  çökmesi nedeniyle; daha önceden çözülmüş özel karbidlerin çok iyi çökmesinden kaynaklanan sertlikte bir artış görülür. (Çökme sertleşmesi) Sertlik tekrar azalmaya, çökelmiş özel karbidlerin artan katılaşmaları nedeniyle sadece daha yüksek tavlama sıcaklıklarında - Ör.  $550^{\circ}C$  - başlar.

Özel karbidler çözülmeye demir karbidlerden daha az gönüllüdür. Bu nedenle, maksimum çözünebilirlik sıcak iş çelikleri için kullanılan ve genellikle  $1000$  ila  $1200^{\circ}C$  arasında değişen yüksek sertleştirme sıcaklıklarında yeterli süre tutulmayı gerektirir. Optimum sertleştirme koşulları çeliklerin kompozisyonuna bağlıdır.

### 1-5-4-2 TERMAL GERİLMELERİN GİDERİLMESİ

Kaba işlemeden sonra termal gerilmelerin giderilmesi distorsiyonlardan (çarpılma) kaçınmak için yada kalıntı gerilmelerin serbest kalması yoluyla bitmiş bir kalıpta çatlak oluşumunu önlemek için tavsiye edilir. Kalıntı gerilmelerde en verimli azalma, termal gerilmelerin giderilmesi yoluyla elde edilir fakat işleme esnasında oluşan kalıntı

gerilmeler asla tamamen yok edilemezler ve bazı gerilmeler daima mevcut kalacaktır. Bazı özel durumlarda, sıcak iş çelikleri yeterli gerilim gidermeyi sağlamak için tavlamaı takipeden bir östenitleme işleminden geçerler.

Termal gerilmelerin giderilmesi genellikle 550°C ile 650°C arasında gerçekleştirilir. Bu sıcaklıklardaki süre kalıptaki kesit oranlarına bağılı olarak bir çok saat sürer. Bir termal gerilim giderme işlemi, yanlış yada çok hızlı soğutmanın sebep olduğı yeni kalıntı gerilmelerin oluşumuyla hemen hemen tamamen geçersiz hale gelebilir. Bu nedenle, kontrol edilebilir bir fırın soğutması kullanılmalıdır.

Kalıntı gerilmelerin azaltılması yada yok edilmesine daima şekil değışimleri yada çatlak oluşumu tarafından eşlik edilir. Sonuçta, gerilmeler kalıplara problemler ilave ederler, çünkü gerilim gidermeler daima boyutsal değışikliklerle beraber bulunur. Bu nedenle kritik durumlarda kalıp, gerilim gidermeden sonra ya tekrardan işlenmeli yada finiş işlemi bu safhaya bırakılmalıdır. Gerilim giderme sıcaklığına çabuk ısıtmadan da kaçınılmalıdır, özellikle değışken kesitli karmaşık kalıplarda. Yavaş ısıtma en az yavaş soğutma kadar önemlidir. Çok dikkatli soğutma, çabuk soğutma nedeniyle kalıntı gerilmelerin oluşumunu önlemek için çok önemlidir.

#### 1-5-4-3 SERTLEŞTİRME

Sertleştirme yavaş ısıtma ile başlar. Sıcak iş çeliklerinin ısılı iletkenlikleri genellikle alaşım içeriğı artarken azalır ve bu, çok değışik kesitlere sahip karmaşık şekilli kalıpların ısıtılması esnasında gelişen önemli termal gerilmelerle beraber düşünöldüğünde, yavaş ısıtmayı zorunlu kılar. Genellikle, takımlar ilk önce hava sirkölasyonlu fırınlarda yaklaşık 300 ila 400°C'ye tamamen ve üniform olarak ısıtılır ve bu ısıtmanın kalıbın iç kısımlarına ulaşmasına dikkat edilir. Bu nedenle kalıplar tamamen ısıyı emesiye kadar bu sıcaklıkta tutulmalıdır. Sertleştirme sıcaklığına kadar olan takip eden ısıtma normal olarak iki safhada gerçekleştirilir; üniform sıcaklık

verecek ve yapısal dönüşümleri tamamlamaya yetecek uzunluktaki yeterli bir süreyle 850°C'ye ısıtma; bunu takip eden sertleştirme sıcaklığına kadar kesitli ısıtma. Bu sıcaklıkta tutma süresi üniform sıcaklık elde etmeye ve özel karbidlerin yeterli erimesini sağlaya yetecek uzunlukta olmalıdır. Aşırı uzun ısı emdirme sürelerinden, aşırı yüksek sıcaklıklardan olduğu gibi mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Böylece kaba tane oluşumu ve sertliğin azalması önlenmiş olur. Bu nedenle aşağıdaki kural izlenmelidir; yüksek sertlik gerektiren kalıplar sıcaklık aralığının alt sınırında sertleştirilmeli; sertliğin giderilmesine karşı yüksek dirence sahip olması gereken kalıplar da üst sıcaklık sınırında sertleştirilmelidir.

Ekstrüzyon kalıpları en iyi şekilde tuz banyolu fırınlarda sertleştirilir. Kalıplar havadan tamamen izole şekilde; distorsiyonları azaltır; sıvı tuzların içerisinde ısıtılırlar. Çelik ile sıvı tuz arasındaki iyi ısı transfer ısıtma boyunca diğer fırınlara göre daha kolay sağlanır. Sıcak sulama banyoları da aynı sebeplerle, uygun çeliklerden yapılmış çok karmaşık kalıpların sulanmasında tercih edilir. Sertleştirmeye eşlik eden distorsiyonların önüne tamamen geçilemez ancak sıcak sulama banyolarıyla büyük oranda azaltılabilir.

#### 1-5-4-4 TAVLAMA

Tavlama ile sulamadan sonra elde edilen tetragonal martenzit kübik yapıya dönüştürülür. Bu çeliğin dayanımını artırır ve çatlak olasılığını azaltır. Yumuşamaya karşı gerekli direnç sadece çözülmüş özel karbidlerin optimum hacmi ile elde edilir. Genel bir kural olarak, tavlama sıcaklığı yaklaşık olarak takımın işletme anındaki sıcaklığından 30 ila 50°C yüksek olmalıdır. Eğer yüzey nitrürlenecek ise, tavlama sıcaklığı nitrüleme sıcaklığının da üzerinde olmalıdır, aksi taktirde tavlama nitrüleme esnasında da meydana gelir. Bu gerçekleşirse de takım çarpılabilir ve hurdaya çıkabilir.

Çok yüksek alaşımlı çelikler için, ikili yada üçlü tavlama daima tavsiye edilir. İlk tavlamanın sıcaklığı, takip eden tavlamaların sıcaklığından yüksektir. Bu çelikler, her sertleştirmeden sonra muhafaza edilen kalıntı östeniti uzaklaştırmak için çoklu tavlamadan geçirilmelidir. Sertleştirmeden sonraki kalıntı östenit genellikle yapının stabil olmayan bir bileşenidir ve ilk tavlama işleminden sonra soğutma esnasında kısmen martenzite dönüşür. Martenzit östenitten daha geniş bir hacme sahiptir ve takım oluşan yüksek kalıntı gerilmeler altında çarpılır. Kalıntı östenitin dönüşümü ile oluşan martenzit, takip eden tavlama işleminde kendiliğinden tamamen kübik yapıya dönüşür, östenit-martenzit dönüşümünden gelen kalıntı gerilmeler azaltılır ve çeliğin dayanımı geliştirilir. Unutulmamalıdır ki, kalıntı östenit çok daha sert bir yapı bileşeni tarafından çevrelenmiş bir yumuşak yapı bileşeni olarak bulunmaktadır. Kalıntı östenitin martenzite dönüşümü, eş zamanlı olarak çeliğin sertliğinde bir artış ve olumlu boyutsal değişikliklerle birlikte olur.

Tavlama en iyi sıvı banyolarında gerçekleştirilir ve doğru sıcaklık tavlama diyagramlarından elde edilebilir. Kalıntı gerilmelerden kaçınmak için yavaş ısıtma ve soğutma önemlidir.

#### 1-5-4-5 EKSTRÜZYON TAKIMLARININ YÜZEY İŞLEMİ

400 ila 550°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilen nitrojen (azot) difüzyonu sertleştirme aluminyum ekstrüzyonunda kullanılan yüzey işlem metodlarının en önemlisidir. Yüzey sertliği ve bunun sonucu olarak aşınma dayanımı nitrürleme ile önemli miktarda artırılabilir. Elde edilebilecek nitrür tabakasının kalınlığı; yani nitrojenin difüzyon derinliği; özel nitrid oluşturucu elementler içeren alaşımlı çelikler için düşüktür. Azota karşı yüksek afiniteye sahip bütün alaşım elementleri difüzyonu engeller ve sonuçta sığ bir difüzyon tabakası elde edilir.

Nitr lenmiŐ kalıpların ömrü nitr lenmemiŐ kalıplara nazaran oldukça fazladır. Toleranslar nitrürlü kalıplar ile çok daha kolay sürdürülebilir. Nitr lenmiŐ yüzeylerin sertliği ekstrüzyon miktarı arttığa yavaş yavaş azalır,  nk  akış halindeki metal ile temas halindeki kalıp geçiŐlerinin karşılaştığı sıcaklıklar nitrüleme sıcaklık aralığındadır. Azot kalıbın merkezine doğru difüze olur ve yüzeydeki konsantrasyonuyla beraber sertlik azalır. Bu Şekildeki yüzeyin yumuŐaması, alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda ürünün yüzey kalitesinde bir azalmayla sonuçlanır.(Yüzeyde kalıp çizgileri Şeklinde) Bu nedenle kalıplar 150 ila 250 takozdan sonra temizlenmeli ve bundan sonra da tekrardan nitr lenmelidir. Kalıpların nitr lenme süreleri genel olarak kesit çevresi ile kesit alanının oranından çıkarılabilir. Kesit  evresi sabit bir kesit alanına göre arttığa; yani ürünün et kalınlığı azaldıkça; nitr lemeler arası süre azalır.

Nitrüleme yukarıda belirtilen nedenler dolayısıyla 550 C'nin üzerinde ekstrüze edilen metaller için kullanılamaz. Ancak yapılan araŐtırmalarla daha yüksek sıcaklıklarda da bir yüzey film tabakası oluşturacak yöntemler bulma konusunda ilerlemeler sağlanmıştır.

## 2- ALUMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜREKLİ EKSTRÜZYONU

Aluminyum ve alaşımlarından daha önce ekstrüze edilen malzemeler bölümünde bahsetmiştik. Burada ekstrüzyon metodunda çok önemli bir yer tutan aluminyum ve alaşımları hakkında daha detaylı bilgiler sunmaya çalışacağız. İlk önce dolu kesitler için aluminyum ve alaşımlarının özelliklerini inceleyip daha sonra kutu kesitler için aynı incelemeyi tekrarlayacağız.

Bunlardan önce kısaca aluminyum ve alaşımlarında metal akışı ve yağlama konusuna değineceğiz. Aluminyum alaşımlarının düz kalıplardan (konik değil) sıcak ekstrüzyonunun genel metodu, yüksek sıcaklıklarda aluminyumun çeliğe güçlü yapışma eğilimi tarafından karakterize edilir. Bu eğilim yağlamayla tamamen bertaraf edilemez. Takoz konteynır içerisinde doğru itilirken, takoz yüzeyi konteynır iç yüzeyindeki çeliğe yapışır ve basınç yastığı (dumy blok) tarafından kesilen bir kabuk ta takozla birlikte hareket eder. Bu konteynır içerisinde üniform olmayan bir akışla sonuçlanır, genelde B yada C akış tipi. Takoz ve konteynır yağlanmamıştır, çünkü yağlama akış tarzında önemli bir değişiklik getirmez, fakat yağlama bir tehlikeyi de beraberinde getirir; yağlayıcı makaslama bölgesi boyunca ekstrüzyona doğru çekilebilir ve buda üründe gözeneklere ve kabarcıklara yol açar. Ne yazıkki, aluminyumun kalıba yada tüp ekstrüzyonunda mandrele yapışması bir çok durumda, yapışan partiküllerin yüzeyde çizgilere yol açması nedeniyle yüzey kalitesini düşürmektedir. Yüzey kalitesi ve kalıp temizleme süreleri, kalıbın yada takozun ön ucunun hafifçe yağlanmasıyla arttırılabilir. Bu iş için kullanılan yağlayıcılar; özel gresler, çözelti halindeki grafit, molibden disülfid, sabunlar, bal mumu, ve kimyasal bağlı yağlayıcılardır. Bazı durumlarda takozun iki ucuda, basınç yastığına yapışmayı önlemek ve ara işin uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak için yağlanır.

## 2-1 DOLU KESİTLER İÇİN ALUMİNYUM ALAŞIMLARI

Bir çok alüminyum kesitler ısıtılardan geçen alaşımlardan üretilir. Isıtılardan geçmeyen alaşımların sadece çok ufak bir rolü vardır. Alaşımlarının iyi ekstrüze edilebilirlikleri, mekanik özellikleri ile birlikte, dekoratif görünüm ve korozyon direnci ile ısıtılardan gören alaşımlar, diğerk metal ve alaşımlara göre göze çarpan bir yere sahiptir.

### 2-1-1 AlMgSi0.5 İLA 0.8 ARASINDAKİ ALAŞIMLAR

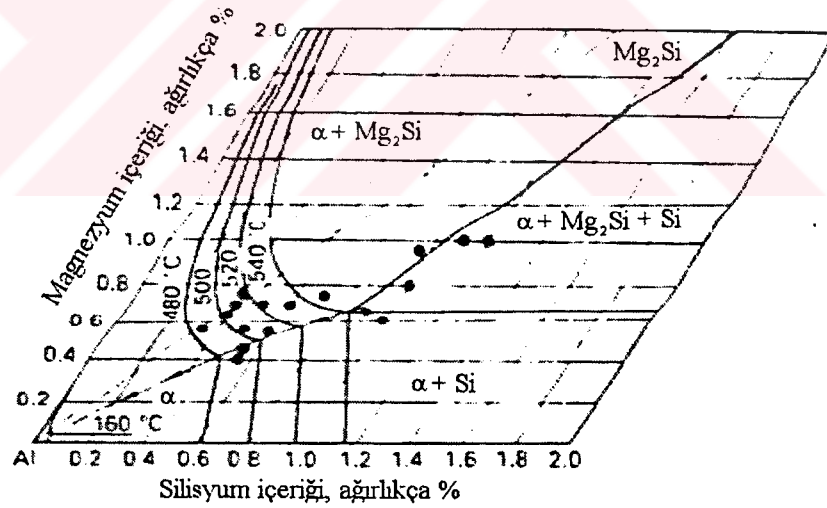
Al 99.5 'ğü temel alan bu alaşımlar metal işleme ve mimari amaçlı kesit üretiminin büyük bir kısmını kaplarlar. İstenen kalite özellikleri aşağıdadır;

- a- Yaşlandırma koşullarında,  $R_m = 220 - 250 \text{ N/mm}^2$ 'lik minimum dayanım
- b- İyi yüzey kalitesi (çok az kalıp çizgisi)
- c- İyi dekoratif anodizasyon özelliğı
- d- Dar boyutsal toleranslar

Sürekli dökümle üretilen takozlar 560 ila 580°C arasında üniform anodizasyon özelliğı vermek üzere homojenize edilirler. Yaşlandırma işleminde kontrol altında tutulan  $\text{Mg}_2\text{Si}$  fazı, homojenizasyon esnasında hemen hemen tamamen çözülür.  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 'nin bir kısmı takozların alışılmış hava ile soğutulması esnasında çok iyi çökelmiş yapılar oluşturur, fakat bu bitmiş ürünün mekanik özelliklerini sadece çok az azaltır. Diğerk taraftan, bu kısmi  $\text{Mg}_2\text{Si}$  çökmesi ekstrüze edilebilirliğı geliştirir, çünkü yüksek sıcaklık akma gerilmesi tam olarak çözelti işleminde geçmiş alaşımlara göre daha düşüktür. (%10'a kadar) Takozların döküm sonrası elde edilen yüzeyleri ilave bir yüzey işlemini gerektirmeden ekstrüze edilebilecek kadar iyidir. Takoz sıcaklığı, maksimum ekstrüzyon hızını vermek için mümkün

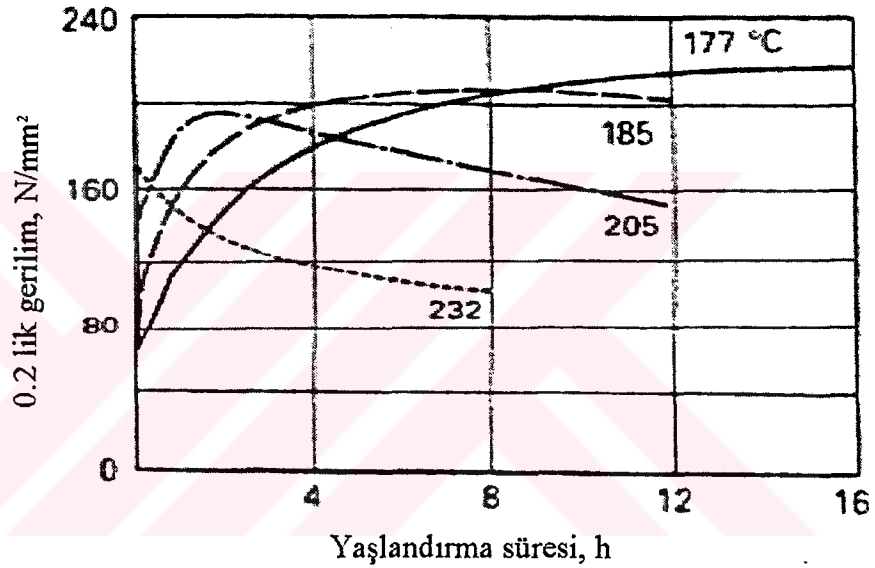
olduğunca düşük tutulurken, deformasyonlar tarafından üretilecek ısı buna karşılık daha yüksek olmalıdır.

Bu gereksinim takoz sıcaklığını,  $Mg_2Si$ 'nin çökeltme sıcaklık aralığının altında tutmayı zorunlu kılar. ( $T < 500^\circ C$ ) Buna göre takozlar çökeltme oluşabilecek zamanı minimize etmek için çalışma sıcaklığına çabuk ısıtılmalıdır. Takoz sıcaklığı ve çıkış hızı metali deformasyon bölgesinde çözelti sıcaklığının ( $\cong 520^\circ C$ , Şekil 43) üzerine ısıtmak ve  $Mg_2Si$  çökeltilerinin iyi dağılımını tekrar çözmek için koordine edilmelidir.  $AlMgSi0.5$  alaşımının kritik soğuma hızı, çarpılma ile sonuçlanabilecek, kesitin su içerisinde sulanmasını gerektirmeyecek kadar düşüktür fakat, hava ile soğutma yapılabilir. Çıkış sıcaklığından (520 ila  $540^\circ C$ ) yaklaşık  $200^\circ C$ 'ye kadar soğutma masalarının üzerinde cebri hava ile konveksiyon soğutması, istenen mekanik özellikleri elde etmek için uygulanır ve takip eden yaşlandırma işlemi için gerekli yapıyı hazırlar. Şekil 44'te  $AlMgSi0.5$  için Sıcaklık-Zaman-Dönüşüm eğrisi görülmektedir.



Şekil 43 540,520,500,480 ve  $160^\circ C$  lik izotermiler ile  $Mg_2Si$  denge diyagramı./1/

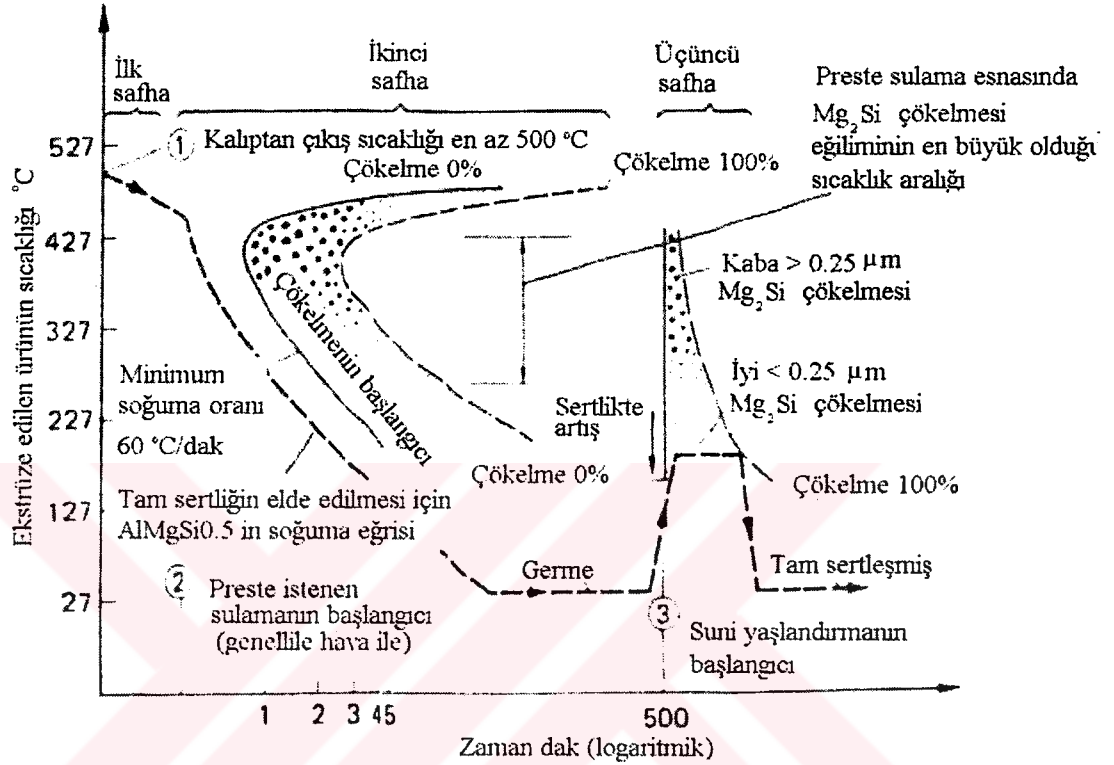
AlMgSi0.5 kesitin ekstrüzyon uzunluğu, pres kapasitesine ve profil kesitine bağlı olmakla birlikte 50 m'yi aşabilir. Genel olarak kalıplar tek, iki, üç, dört figürlü hatta bazı durumlarda daha da fazla figürlü olabilirler. Figürler otomatik olarak yakalayan bir çekici tertibatla soğuk masa boyunca çekilebilirler. Soğutma masasında ekstrüzyonlar soğuduktan sonra %1 ila 3 oranında gerilerek doğrulturlar. AlMgSi0.5 yada kolay ekstrüze edilen alüminyum alaşımları istenen toleranslara germe ile getirilebilir. Bu karışık şekilli profillerde yada çok geniş profillerde her zaman mümkün olmayabilir ve bir silindirik düzeltme makinası gerekebilir.



Şekil 45 Farklı sıcaklıklar için AlMgSi0.5'in yaşlandırma eğrileri. /1/

AlMgSi0.5  $R_m \geq 140$  N/mm<sup>2</sup> lik bir çekme dayanımına, ekstrüze edilip oda sıcaklığına soğutulduğunda sahiptir. Çekme dayanımı 220 N/mm<sup>2</sup>'nin üzerine yaşlandırma işlemi ile çıkarılabilir. Yaşlandırma işlemi, işlemin uygulandığı sıcaklığa bağlı olarak, sıcaklık arttıkça süre azalacak şekilde, saatler sürer. Bu esnada çökelme işlemi vuku bulur. Farklı

sıcaklıklardaki yaşlandırmalardan sonraki mekanik özellikler Şekil 45'te görülmektedir. Burada belirtilen yaşlandırma süreleri, ekstrüzyonlar yaşlandırma sıcaklığına ulaştıktan sonra geçen süreye aittir.



Şekil 44 AlMgSi0.5 için Sıcaklık-Zaman-Dönüşüm diyagramı /3/

## 2-1-2 AlMgSi0.5'DEN YAPILMA PARLAK SÜSLEME MALZEMELERİ

AlMgSi0.5 ve bazende AlZnMg'dan yapılmış parlak süsleme alaşımlarından kesitler geçmişte otomobil pencere çerçevelerinde oldukça yoğun olarak kullanılmıştır. Kimyasal olarak parlatılmış ve anodizasyondan geçirilmiş kesitler, otomobil endüstrisinde, ev içi uygulamalarda ve mobilyacılıkta halen kullanılmaktadır. Al99.75'i temel alan AlMgSi0.5 alaşımı normal kalitede ürünler için kullanılırken, Al99.9'u temel alan

alaşım lar ise en yüksek parlaklık kalitesini verir. Maksimum parlaklık gereksinimini yaşlandırılan alaşım larla karşılamak oldukça zordur, çünkü donuk anodize edilmiş yüzeyler ile sonuçlanan, üretimin farklı safhalarında görülen  $Mg_2Si$  fazının heterojen çökmesi tehlikesi mevcuttur. Bu nedenle bütün üretim aşamaları  $Mg_2Si$ 'nin çökmesini önleyecek şekilde düzenlenmelidir. Bununla beraber, parlak yüzey ikincil katılaşılan  $AlFeSi$  fazı tarafından da donuklaştırılabilir. Bu iki problemde üretim esnasında dikkate alınmalıdır.

Alınabilecek ilk koruyucu önlem, hücre ve tane sınırlarında ve küçük hücre ölçülerinde katılaşılan kalıntı sıvının ( $AlFeSi$ ) iyi bir dağılımını sağlamak üzere döküm işlemini kontrol altına almaktır. Bu heterojen çökelmeler, ticari olarak uygulanan yüksek homojenizasyon sıcaklıklarında bile daima çözünmez haldedir. Eğer başlangıçta bu çökelmeler çok yaygın ise, bunlar ısı işlemden sonra da korunur ve ekstrüzyon esnasında parçalara ayrılarak parlak yüzeyi bozarlar.  $580^{\circ}C$ 'deki takoz ısı işlemini uzatmak kısmi çözülmelere ve çökelen tanelerin pıhtılaşmasıyla parlak yüzey kalitesinde düzelmelere yol açar. Yapılan çalışmalar bu çökelen tanelerin  $Mg$  içermeyen  $AlFeSi$  fazı olduğunu göstermiştir. Yaşlandırma için gereken  $Mg_2Si$  fazı,  $AlMgSi0.5$  parlak yüzey takozları için kullanılan yüksek homojenizasyon sıcaklıklarında tamamen çözünür. Bu katı çözelti koşullarını, su ile çabuk soğutarak korumak zorunludur. Parlak yüzey, partikül boyutu, mikroskopla ölçülebilen belirli bir tane büyüklüğünü aştığında da bozulur. Takozların soğutulması ve ekstrüzyon sıcaklığına yeniden ısıtılması esnasında oluşan  $Mg_2Si$ 'nin iyi çökme yapması çok önemlidir. Böylece tamamen çözünebilirler. Kalıbın arkasında su ile ekstrüzyonun çabuk soğutulmasına, deformasyon sıcaklığı tarafından üretilen katı çözeltinin korunması için ihtiyaç vardır.

### 2-1-3 AlMgSi1'DEN YAPILMA EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİ

Magnezyum katkılarıyla AlMgSi1 alaşımından ekstrüze edilen kesitler yüksek dayanımlı yapısal kesitler ( $R_m = 280$  ila  $320$  N/mm<sup>2</sup>) ve renkli anodize edilmiş mimari bileşenler için kullanılır. Birinci durumdaki ana gereksinim yüksek mekanik özellikler iken ikinci halde üniform renkli anodizasyon olduğundan bu iki uygulama alanı için ekstrüzyon koşulları farklıdır.

Yapısal Kesitler : AlMgSi0.5 ile karşılaştırıldığında, AlMgSi1'in daha yüksek alaşım içeriği, maksimum sertleşebilirliğin elde edilmesi için, yapısal kesitlerin soğutulmasında daha yüksek soğutma oranlarının kullanılmasını zorunlu kılar.  $R_m > 320$  N/mm<sup>2</sup> lik maksimum dayanıma sadece ekstrüzyon, çıkış sıcaklığından (katı çözeltili sıcaklığını aşmalıdır) su içerisinde sularak soğutulursa ulaşılabilmektedir. Bu özellikle et kalınlığı 4 mm'nin üzerinde ise uygulanır. Kalıp arkasında ekstrüzyonun su ile sulanması daima kesitin kontrol edilemeyen çarpılmalarıyla sonuçlanır. Bu çarpılmadan çekici cihazlar kullanılarak ta kaçınılamaz. Bunun anlamı su ile sulanmış kesitlerin, ısıtılardan önce pahalı ve genellikle ekonomik olmayan düzeltme işleminden geçmesi gerektiğidir. Bu nedenle çekme dayanımı 280 ila 300 N/mm<sup>2</sup> arasında sınırlanır ve AlMgSi1 kesitler, AlMgSi0.5'ten kesitlere benzer şekilde, kısmi Mg<sub>2</sub>Si çökelti bölgesinde ısıtıl işlemi bitirmek için hava ile soğutulurlar.

Ekstrüzyonlar 160 ila 170°C'de 8 saat ısıtıl işlemine tabi tutulurlar. Eğer ısıtıl işleminden önceki zaman artarsa, yaygın doğal yaşlanma meydana gelir ve çökeltme ısıtıl işleminden sonra elde edilen mekanik özellikler azalır. Sonuç olarak, ekstrüzyon ile yaşlandırma arasındaki süre kısa olmalı yada kesitler 80°C'de stabilize edilmelidir. (Yada doğal yaşlandırmayı durdurmak için 200°C'de şok yaşlandırılmalıdır.)

Renkli Anodizasyon için Mimari Kesitler : Ticari bölmeler için griden siyaha kadar olan tercih edilen renkler, renkli anodizasyonla

AlMgSi(Mn) alaşımı ile üretilebilir. Bununla beraber problemler, yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltmek için yapılan Mn katkısına rağmen kısmi yeniden kristalleşmenin mevcudiyetiyle ortaya çıkar. Ekstrüzyonun çevre bölgeleri, konteynır içerisindeki makaslama gerilemeleri dolayısıyla iç kısımdaki malzemeden daha yüksek gerinimler ile karşı karşıyadır. Eğer çevre bölgelerde kritik gerinime ulaşırsa, deformasyon ısısı kendiliğinden yeniden kristalleşmeyi başlatabilir. Kutu kesitlerde iç bölgelerde- yani et kalınlığının iç kısmında ve eksene yakın olan malzeme- deformasyon koşulları altında kendiliğinden deforme olmazken, kesitin yüzeyini oluşturan dış bölgeler kaba tane yapısıyla yeniden kristalleşmektedir.

Yüzey tabakalarındaki bu kaba taneli yeniden kristalleşme eğilimi üretimde önemli problemlere yol açar. Kesitin çevresindeki - özellikle köşeler, birleşmeler ve kalınlık artışları gibi düzensizliklerde- farklı sıcaklık ve akma gerilmesi koşulları, kritik deformasyon bölgesini meydana getirebilir ve kendiliğinden yeniden kristalleşmeyi başlatabilirler. Buna karşın, kritik deformasyona komşu bölgelerde ulaşamaz ve yeniden kendi kendine kristalleşme oluşmaz, böylelikle iyi lifli ekstrüze edilmiş yüzeyler elde edilir. Fakat bütün yapılar renkli anodizasyona aynı tepkiyi vermez ve ekstrüzyonun bütün uzunluğu boyunca damar olarak adlandırılan ve gözle görülebilen gölge ve renk çeşitlemeleri oluşur. Yeniden kristallenmiş bölgeler kristalleşmemiş bölgelere göre daha koyudur. Damarlanma, yeniden kristallenme aşırı kaba taneli olarak oluşmamış olsa bile görülür.

Ekstrüzyon yüzeyinde, kaba taneli yapının yada bir yeniden kristallenmenin istenmeyen oluşumundan sakınmak için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci metod, yeniden kristallenmenin tamamen bastırılmasıdır, fakat bu ancak yeniden kristalleşmeyi geciktirici etkisi olan manganın, çözünmüş yada iyi dağılmış çökeltilerinin maksimumda olması ile mümkündür. Bu halde de alaşımın ekstrüze edilebilirliği karmaşık kesitler için çok zayıf kalmaktadır. Bundan da öte, yeniden kristallenmenin geciktirilmesine rağmen kesit yüzeylerinde çok ince kaba taneli bir

tabakanın oluşumuna tamamen engel olmak mümkün değildir. Bu nedenle kabul edilen ikinci metod, mümkün olduğunca kritik deformasyonların aşılması yoluyla tamamen iyi taneli yeniden kristallenmiş yapılar üretmektir. Scharf tarafından tanımlanan, çökelmiş fazın dağılımı ile çekirdek oranı arasındaki ilişkinin temel alınmasıyla, takozlar kaba taneli mangan çökeltileri elde etmek için 560 ila 580°C arasında ısıtılma tabi tutulurlar. Kaba taneli mangan çökeltileri, çekirdek oluşum oranını hızlandırır ve yeniden kristallenmeyi ilerletir. Yapılan ekstrüzyon testleri renkli anodizasyondan sonra kaba tane ve damarlanma oluşmaksızın, üniform olarak yeniden kristallenmiş yapıların, mümkün olan maksimum takoz ısıtılma sıcaklığıyla (560 ila 580°C'de 24 saat) üretilebileceğini göstermiştir. Takoz ısıtılma işleminden sonraki  $Mg_2Si$ 'nin partikül ölçüsü de bir rol oynar ve bu ölçü, takoz soğutma oranları ile iyi taneli yeniden kristalleşmeyi vermek için kullanılan, göreceli olarak düşük ekstrüzyon sıcaklığı tarafından kontrol edilir.

$AlMgSi(Mn)$ 'da kaba çökelmenin neden olduğu artan yeniden kristalleşme eğiliminin getirdiği bir avantaj akma gerilmesindeki azalmadır. 580°C'de ısıtılma işlem görmüş takozlara uygulanan sıcak burulma testlerinin gösterdiği akma gerilmesi, 520°C'de ısıtılma işlem gören takozların gösterdiğinden %10 daha düşüktür. Bunun dezavantajı yaşlandırma potansiyelindeki azalmaya eşlik eden, kısmi kaba  $Mg_2Si$  çökelmesidir.

#### 2-1-4 $AlZnMg1$ 'DEN YAPILMA EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİ

Bakırsız ısıtılabilir  $AlZnMg1$  alaşımının, otomobil ve makine konstrüksiyonu alanlarında tercih edilmesini sağlayan üç önemli özelliği;

a- Düşük sulanma hassasiyeti, çözelti sıcaklığından (ekstrüzyon çıkış sıcaklığı) hava ile soğutulmuş tam bir yaşlandırma karakteristiğinin elde edilmesinin mümkün olması.

b- Yaşlandırmadan sonra  $R_m = 340$  ila  $400$  yüksek çekme dayanımı vermesi

c- Düşük sulama duyarlılığı nedeniyle, kaynağın kendiliğinden oluşan doğal yaşlanması ile iyi kaynama karakteristiği göstermesi.

Geçmişte bu alaşımın kullanımı çok dikkat gerektirmekteydi, çünkü eğer üretim parametreleri kontrol edilmez ise, gerilim korozyonu çatlaklarının oluşması riskinden şüphe edilmekteydi. Günümüzde gerilim korozyonu çatlaksız ürünler elde edebilmek için gerekli üretim parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler ile, çökelti ve heterojenliklerin kontrollü dağılımı yoluyla çekme gerilmesinin etkisi altında çatlak oluşumunu ve çatlak ilerlemesini bastırmak tasarlanmaktadır. En önemli parametreler;

a- Göreceli olarak düşük sıcaklıklarda takozların homojenizasyonu (Ör.  $460^{\circ}\text{C}$ 'de maksimum 12 saat)

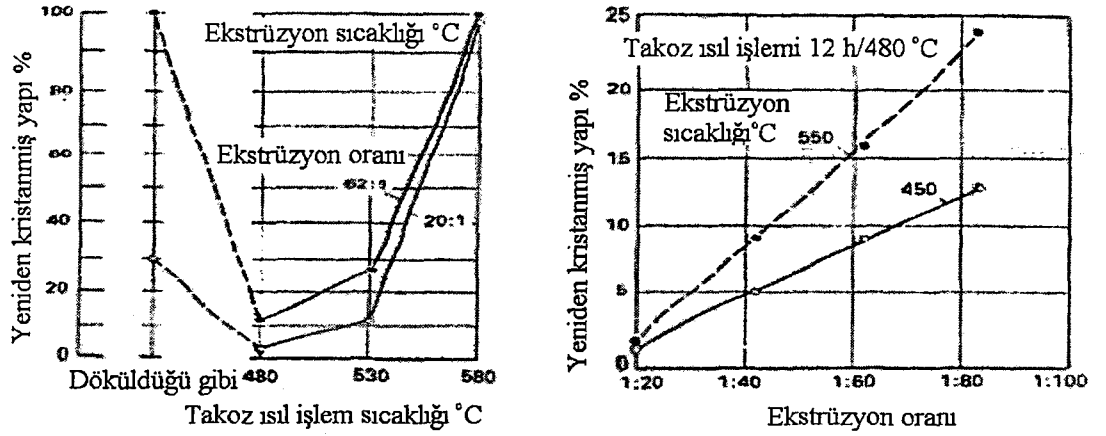
b- Yeniden kristallenmeyi geciktirici elementlerin (Zr, Mn, Cr) katkısı ile ve düşük ekstrüzyon sıcaklığı, düşük takoz homojenizasyon sıcaklıkları ve mümkün olan en düşük ekstrüzyon oranlarını kullanarak yeniden kristalleşmeyi teşvik edecek deformasyon koşullarından kaçınarak, yeniden kristallenmenin bastırılması yada yeniden kristallenmemiş yapıların oluşumunun sağlanması.(Şekil 46)

c- Ekstrüzyon yada çözelti ısıl işlem sıcaklığından hava ile soğutmak.

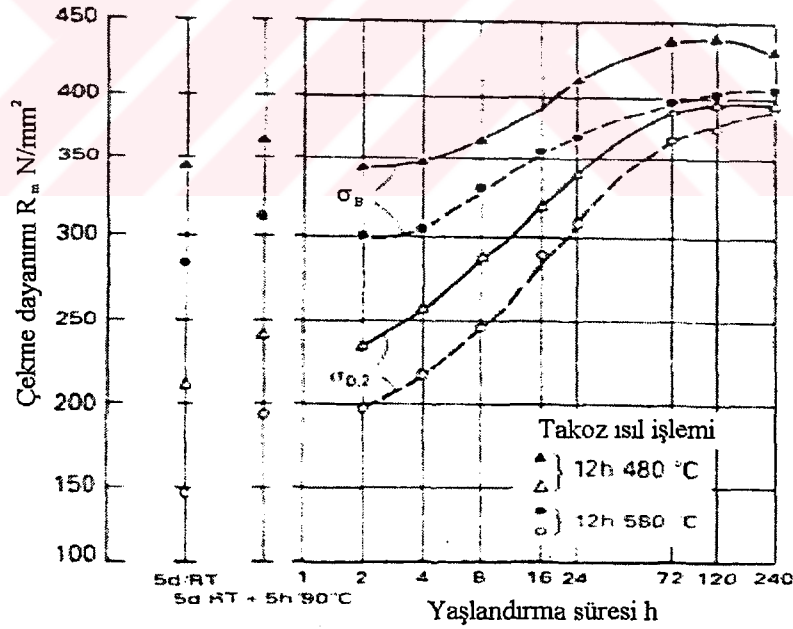
d-  $120$  ila  $130^{\circ}\text{C}$ 'ta 12 ila 24 saat yaşlandırma yada iki aşamalı yaşlandırma.

AlZnMg1 alaşımı,  $350^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki çözelti sıcaklığının kritik olmaması ve yaşlandırma için gerekli soğutma oranının düşük olması nedenleriyle kalın et kalınlığına sahip kesitler için çok uygundur. Ekstrüzyonlar su içerisinde sulanmamaktadır, sonuçta önemli derecede bir dönmeye maruz kalmamaktadır. Maksimum mekanik özellikler iki aşamalı

yaşlandırma işlemi ile elde edilir. Sertleştirme eğrileri Şekil 47'de görülmektedir.



Şekil 46 a- AlZnMg takoz ısı işlem sıcaklığının bir fonksiyonu olarak yeniden kristallenmiş yapıların yüzdesi. b- AlZnMg'un ekstrüzyon oranının bir fonksiyonu olarak yeniden kristallenmiş yapının yüzdesi./1/



Şekil 47 Takoz ısı işleminin bir fonksiyonu olarak AlZnMg1 için 90-120°C'de iki aşamalı yaşlandırma. /1/

Yapılan araştırmalar göstermiştirki AlZnMg1 alaşımı, Mn, Zr ve Mg içeriğinin optimizasyonu ve uygun homojenizasyonun kullanılmasıyla, ekstrüze edilebilirliği AlMgSi0.8'in ekstrüze edilebilirliğine hemen hemen eşit hale getirilebilir. İçerikteki Cr ve bir dereceye kadar Mg'un, incelenen bir çok parametre üzerinde kötü etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle alaşımın Cr içeriği, alaşımın mekanik, fiziksel ve korozyon direnci özelliklerinde her hangi bir olumsuzluk olmaksızın yaklaşık sıfıra kadar azaltılabilir.

0.9 mm inceliğe kadar olan et kalınlığında kutu kesitler bu yeni alaşımla ekstrüze edilebilir. Bu alaşımın gerilim korozyonu çatlaması direnci mevcut bütün standartları aşar ve çekme dayanımı da, Mg içeriğine bağlı olarak 360 ila 420 N/mm<sup>2</sup> arasında değişir.

Bu alaşımın genel üç aşamalı ısıl işlemi aşağıda belirtilmiştir ve istenen özelliklerin elde edilmesi için dikkatle izlenmelidir;

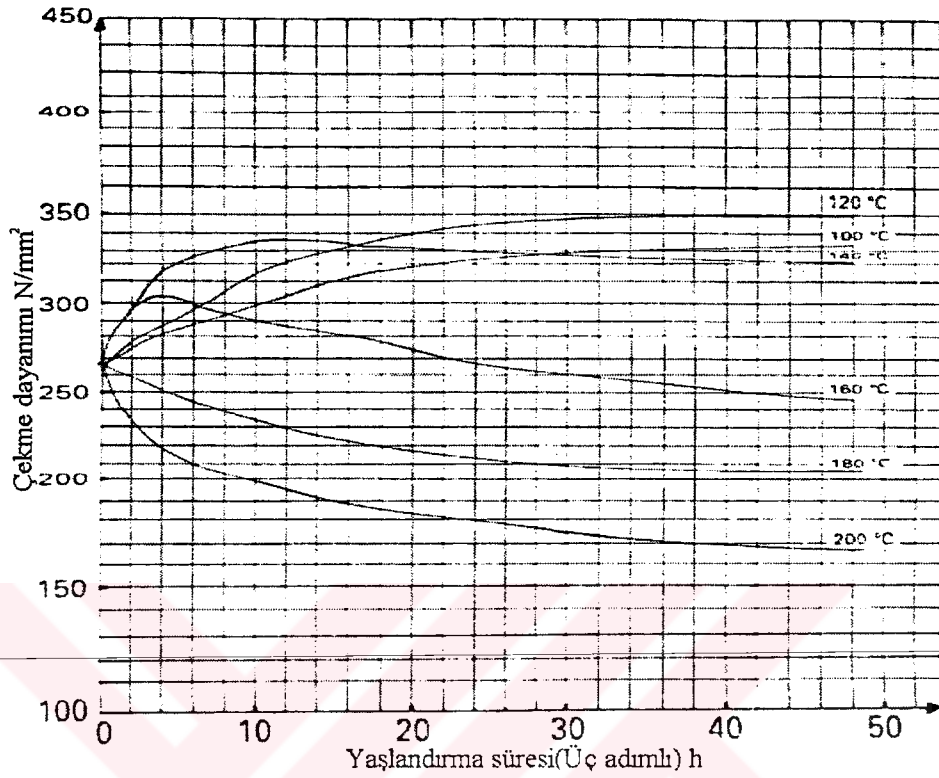
- a- Preste et kalınlığına bağlı olarak havada yada fanlar yardımıyla soğutma.
- b- Oda sıcaklığında 3 ila 5 gün yaşlandırma (ekirdeklenme)
- c- 90 ila 110°C'de 4 ila 6 saat tutmayı takip eden 135 ila 145°C'de 12 ila 24 saat tutma.

Bazı uygulamalar için 150 ila 160°C'de fazla yaşlandırma gerekli olabilir. Üç aşamalı yaşlandırmanın mekanik özelliklere etkisi Şekil 48'de görülmektedir.

## 2-2 KUTU KESİTLERİN EKSTRÜZYONU

Kolayca birbirine kaynayan alaşımlardan (Tablo 1) kutu kesitler, köprülü yada kaynama odalı kalıplar ile içi dolu takozlardan üretilirler. Dolu kesitlerin ekstrüzyonuyla karşılaştırıldığında, mandrel tarafından kalıp

içerisinde metal akışının bölünmesi ve kapalı bir kutu kesit oluşturmak için bu akışın tekrar kaynaması, bir çok teknik özellik sunmaktadır;



Şekil 48 Fanla soğutulmuş AlZnMg1'den mamül içi dolu çubuk için üç aşamalı suni yaşlandırma sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi. İkinci aşama oda sıcaklığında 5 gün bekletme, üçüncü aşama 100°C'de 4 saat yaşlandırma. /1/

a- Metal akışının kalıp içerisinde bölünmesi ve artan sürtünmeler dolayısıyla ekstrüzyon yükleri daha yüksektir.

b- Bölünmüş metal akımlarının kaynama odalarında tekrar kaynayabilmesi için sıcaklık 500°C'yi aşmalıdır. Kalın et kalınlığına sahip kesitlerde bunu garanti etmek için, konteynır sıcaklığı göreceli olarak daha yüksek olmalı ve takoz sıcaklığından 50 ila 70°C'den daha soğuk olmamalıdır.

Tablo 1 Sıcak Ekstrüzyonda Farklı Alüminyum Alaşımlarının Kaynama Özellikleri

Alaşım	Kay. Özelliği	Alaşım	Kay. Özelliği
Saf Al	Çok iyi	AlMg3	Çok sınırlı
AlMn	Çok iyi	AlMgSiPb	Çok sınırlı
AlMg1	Çok iyi	AlCuMg	Çok kötü
AlMgSi0.5	İyi-Çok iyi	AlZnMgCu	Çok kötü
AlMgSi1	İyi-Çok iyi	AlCuMgPb	Çok kötü
AlZnMg1	İyi	AlMgPb	Çok kötü
AlMgSi0.8	İyi-Çok iyi	AlMg5	Çok kötü
AlMg2	Sınırlı		

c- Metalurjik etkiler nedeniyle kaynama odasında üretilen uzunlamasına kaynaklar, anodizasyondan sonra ekstrüzyonun diğer bölgelerine göre daha açık görünür. Bu nedenle kaynakların görünmeyen yüzeylerde yada köşelerde olmasına dikkat edilmelidir.

d- Dolu kesitlerde olduğu gibi çok figürlü kalıp dizayn etmek mümkündür ancak figür sayısı dört ile sınırlanmıştır.

Kolay kaynamayan alaşımlardan yapılan kutu kesitler ise, kalıba göre sabit bir mandrel ile (mandrel ucu üzerinde) içi boş takozlar kullanılarak üretilirler. Et kalınlığı toleransları, kaynama odası yönteminde olduğu kadar dar değildir, çünkü mandrel'in bir tarafa doğru yaslanma eğilimi vardır.

## 2-3 EKSTRÜZE EDİLMİŞ ALUMİNYUM ALAŞIMINDAN MAMÛL KESİTLERDE BASINÇ KAYNAĞININ ÖZELLİKLERİ

Basınç kaynakları ekstrüze edilmiş alüminyumda ya kutu kesitlerde olduğu gibi dikiş kaynağı (Seam Weld) yada kutu ve dolu profillerin her ikisinde de olduğu gibi alın kaynağı (Charge Weld) şeklinde bulunabilir. Takip eden işlemlerde yada servis koşulları altında bu gibi kaynaklardaki kopmalara genel olarak, dayanımdaki azalmalardan ziyade, kaynak boyunca yumuşaklıktaki artış tarafından eşlik edilir. Kaynama yüzeylerindeki çatlak yayılma enerjisinin, ana malzemedeki yayılma enerjisiyle karşılaştırılması, bu kaynakların kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. İri taneli kirliliğin yokluğunda, kaynak boyunca özellikler ana olarak; kaynayan yüzün temastan sonra, basınç tatbik uygulaması altında geçirdiği gerinimin miktarı tarafından belirlenir. Alın kaynağında, orjinal kaynayan yüz merkezde makroskobik olarak toplanmış ve çevreye doğru genişlemiş olarak bulunmaktadır; mikroskobik deformasyon, katmerlenme dolayısıyla daha büyük olabilir. Uzunlamasına dikiş kaynakları, eğer mandreli destekleyen kollar arkasında bir ölü metal bölgesi oluşmuşsa, ve makaslama tarafından oluşturulmuş temiz yüzeyler arasında basınç kaynağı meydana gelirse, en iyi özelliklerini kazanırlar. Kaynak boyunca yumuşaklık, sadece kaynama yüzeylerinin her iki tarafındaki ana malzemenin enine (eksene dik) özellikleri tarafından sınırlandırılır; yüksek dayanımlı alaşımlarda, bu bölgede enine numunelerin kırılması, kaynak yüzeylerinden daha fazladır.

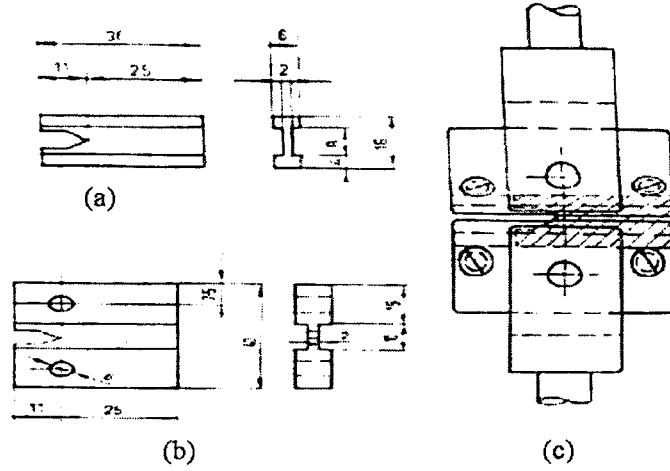
Her yıl muhtemelen bir milyon kilometreden fazla dikiş kaynağı, sadece ekstrüzyon kalıplarının uygun tiplerinin uygulamalarıyla, ilave bir kaynak işlemine gerek kalmaksızın kutu şeklindeki kesitlerde üretilmektedir. Buna rağmen, basınç kaynağının bu formuyla ilgili çok az bilgi yayınlanmaktadır. Yayınlananlardan bazıları da kalıp dizaynının ve üretimin pratik yönleriyle ilgilidir; diğerleri kritik kullanıcılar tarafından aşırı şekilde araştırılmış, alüminyum kablo kaplama gibi özel bir alanla ilgilidir.

Basınç kaynaklarının kalitesi hakkında kesin olan bilgilerin noksanlığı bazı durumlarda, bu kaynakların kutu şeklinde ekstrüze edilmiş kesitlerde uygulanmalarına karşı oldukça güvensiz bir tavır ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle deneyler, alüminyum alaşımlarından ekstrüze edilmiş kesitlerde, basınç kaynaklarının özelliklerinin belirlenmesi ve bu kaynakların oluşum tarzlarıyla ilişkili olarak açıklanmaları üzerine yoğunlaşmıştır.

Basınç Kaynaklarının Testi: Önceleri, ekstrüze edilen kesitlerdeki basınç kaynakları, çoğunlukla çekme testleri yada genişleme testleriyle (konik bir tapayla yada hidrolik olarak) değerlendirilmekteydi. Çapla artan çekme dayanımı yada yüzdesi, kaynaklı benzer bir parçanın değerleriyle karşılaştırılır, ve kopmaların pozisyonu iki yüz arası yada diğerleri olarak sınıflandırılır. Bununla birlikte, bu testlerle edinilen tecrübeler kopmaların sık sık kaynayan yüzü kısmen yada tamamen takip ettiğini, test sonuçlarının nümerik kısmında açıklanmaksızın göstermiştir. Bunun anlamı, basınç kaynağının malzemeyi prensip olarak; malzemenin çekirdeklenmeye ve çatlak yayılmasına karşı direncini azaltarak; zayıflattığıdır. Çatlak yayılma enerjisini ölçmek için Amerikan Deniz Kuvvetlerinin yırtılma testini temel alan bir test metodu, yapılan bir deneyde kullanılmıştır, fakat mevcut deney malzemesine uymak için sadece 16 yada 40 mm yüksekliğindeki modifiye edilmiş numuneler kullanılmıştır. (Şekil 49) Gerçi bu vasıtayla tam olarak belirlenmiş gerilim durumu halini sürdürmek mümkün değilse, denenen alaşımların hepsi için karşılaştırma değerleri kaynaklı ve kaynaklı olmayan her numune için elde edilebilir.

Alın yada Çapraz Kaynakları: Kablo kaplama endüstrisinin terminolojisinde, alın kaynakları ardışık takozların malzemeleri arasındaki kaynaktır. Bu kaynaklar prensip olarak, bir takozun ağırlığından daha fazla ağırlıktaki kangallar gerektiren elektriksel iletkenlerde meydana gelir, fakat

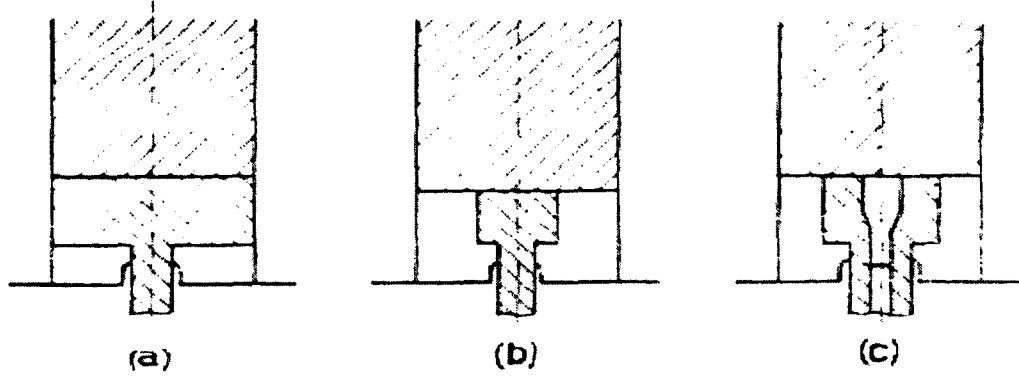
bu olay her ekstrüzyon çevriminden sonra girişi boşaltılmayan kalıplardan kutu kesitlerin ekstrüzyonundada görülür.



Şekil 49 Çatlak yayılma enerjisinin belirlenmesi için (a) 16 mm ve (b) 40 mm yüksekliğinde numuneler. (c) 16 mm yüksekliğinde, mengeneyle bağlanmış numune./6/

Şekil 50 ardışık iki takoz malzemesi arasında bir basınç kaynağı oluşturabilecek kalıp tiplerini göstermektedir. Her üç durumda basınç kaynağı, atmosferik oksidasyona henüz maruz kalmış yüzeyler arasında, ekstrüzyon sıcaklığında meydana gelir. Basınç sırasıyla konteynır, kaynama odası, yada kalıp girişi ile nihai kesitle belirlenen, kesit alanındaki azalmaya bağlıdır. Kalıp yüzeylerindeki adhezyonun ve kesit alanındaki azalmanın birleşik etkisi lokal deformasyonları belirler.

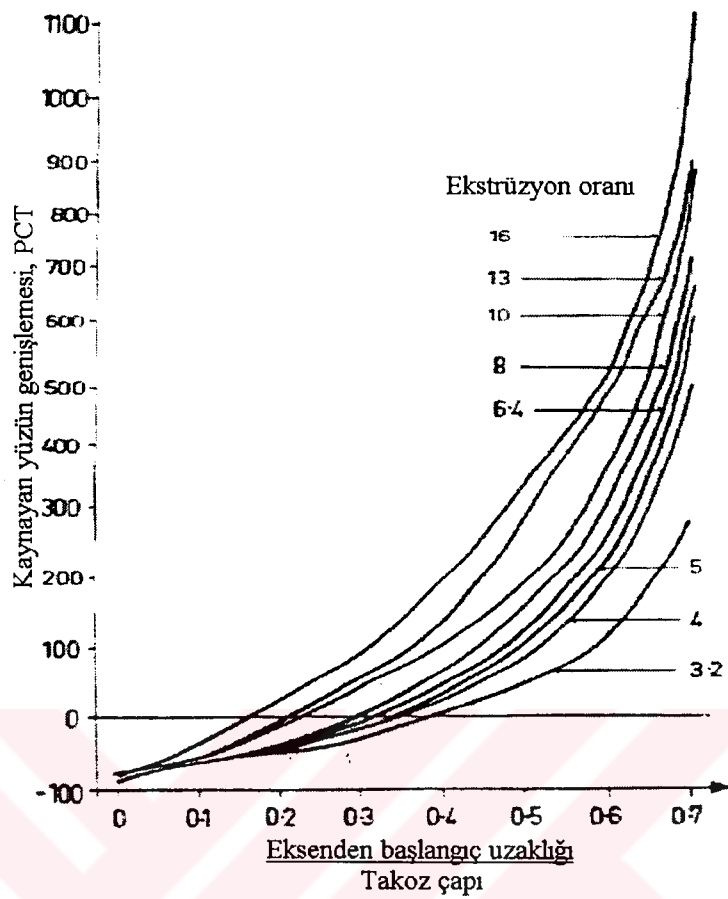
Şekil 51 yeni takoz ile eski takozun kalıntısı arasındaki kaynayan yüzün Şekil 50a'nın karşılığı olan işlemde kısmen nasıl büzüldüğünü, nasıl kısmen genişlediğini göstermektedir. Bütün ekstrüzyon oranlarında, takoz eksenî bölgesindeki kaynayan yüzler büzülme ve daha uzak bölgedekilerde genişleme göstermişlerdir, daha yüksek ekstrüzyon oranlarında büzülmeden genişlemeye geçiş ortaya daha yakın duruma gelmiştir.



Şekil 50 Alın kaynaklarının oluşumu, (a) kalıntıyı konteynırda bırakarak (b) kaynama odalı bir kalıpta ( c ) kutu ekstrüzyonlar için bir kalıbın girişinde./6/

Şimdiye kadarki sonuçlar, soğuk ekstrüzyonda alüminyum ve bakır arasındaki alın kaynaklarında bulunana benzerdir. Şekil 52, Şekil 50b'deki tipin, kaynama odasındaki takoz ile kalıntı arasındaki ara yüzün hallerini içermektedir.

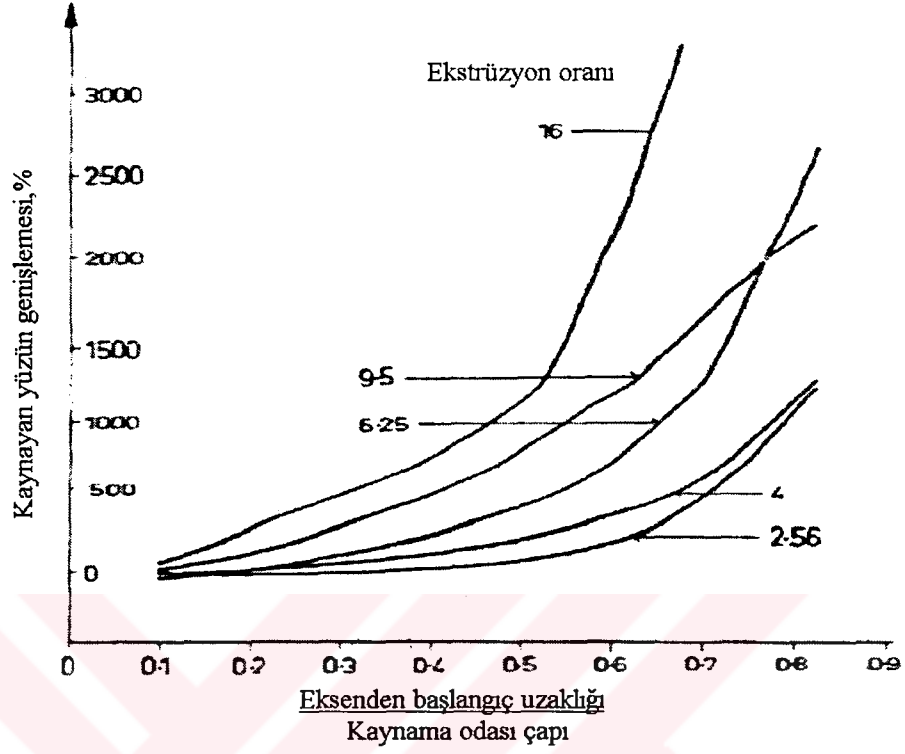
Niteliksel olarak benzer olaylar, Şekil 50c'deki gibi bir kalıptan kutu kesitlerin ekstrüzyonu esnasında da meydana gelir. Kutu kesitin her bir bileşeninin genellikle oldukça ince olan et kalınlığı, kaynayan yüzde ilave genişlemelerle sonuçlanır. Alın kaynağının oluşturduğu eğrinin yakınında; ki bu bölgede kaynayan yüzün büzülmesi makroskobik ölçektir; yüzey mikroskobik ölçekte dalgalı ve dolambaçlı bir şekil almadıkça daha geniş hale gelemmez. (Şekil 53) Böylece kaynayan yüzün bu bölgesinde bile belirli bir derecede kaynak gelişir.



Şekil 51 Şekil 50a'daki gibi bir takoz kalıntısı ile ardından gelen takoz arasındaki kaynayan yüzün sırasıyla büzülme ve genişlemesi./6/

Şekil 54, bir takoz artığı ile takip eden takoz arasındaki kaynayan yüzün, lokal deformasyonlarının farklı dereceleriyle mekanik özellikleri nasıl etkilediğini göstermektedir. Malzeme testten önce çözelti ısıtma işleminden geçmiş, sulanmış ve suni olarak yaşlandırılmış bir AlMgSi0.5 alaşımıdır. Nihai çekme dayanımı, alın kaynağının zirvesinden olan uzaklığın artışıyla artar, ve bu malzeme için tipik değer olan 245 MN/mm<sup>2</sup>'ye 500 mm'lik bir mesafede ulaşır. Benzer şekilde, çatlak yayılma enerjisi, zirveden artan uzaklıkla artma eğilimindedir; bununla beraber

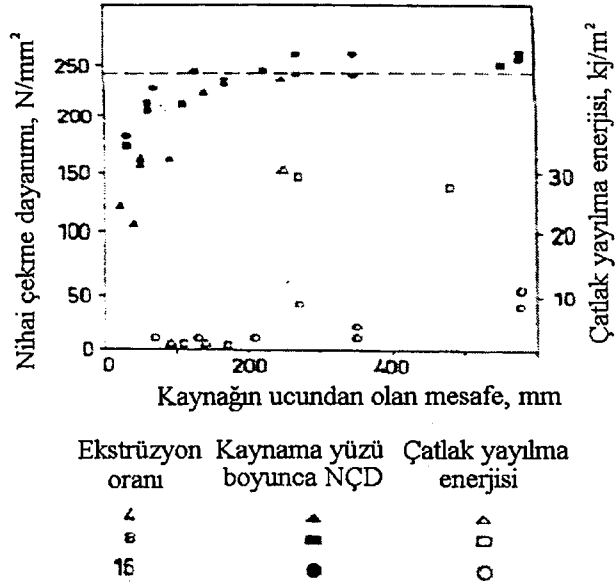
değerler yayılmıştır ve bu değerler esas olarak ana malzemenin değerlerinin altında kalmaktadır.



Şekil 52 Şekil 50b'deki gibi kaynama odasında bırakılan malzeme ile ardıl takoz arasındaki kaynayan yüzün sırasıyla büzülme ve genişlemesi./6/



Şekil 53 Makroskobik büzülmenin bölgesinde alın kaynağının dolambaçlı şekli. X 100 büyütme ile./6/

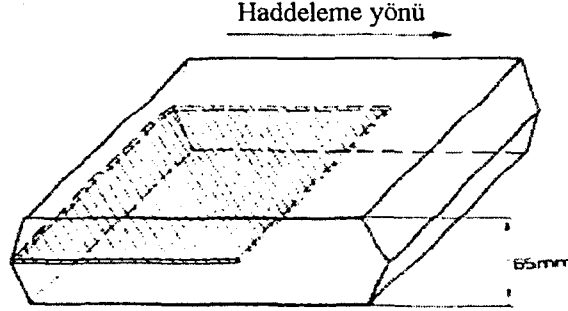


Şekil 54 Kaynayan yüzde alın kaynağı boyunca nihai çekme dayanımı ve çatlak yayılma enerjisinin, alın kaynağının tepesinden olan uzaklığa göre grafiği. Bilgiler Şekil 50a' ya göredir.

Bütün ekstrüze edilmiş kesitin çekme ile kopmasına, ki bu sadece alın kaynağının tepe noktasının, kaynayan yüzde kopmaya ve çekme dayanımında azalmaya yol açacak kadar geniş olması dolayısıyla, bölgesel zayıflamanın bulunduğu düşük ekstrüzyon oranlarında rastlanır. Yeterince yüksek ekstrüzyon oranlarında tam çekme dayanımı elde edilir; alaşım ve koşullara göre kaynayan yüz, kopma yüzeyinde az yada çok çatlaklar gibi görülebilir. Kaynama odalı kalıplar halinde ise; ki odanın arkasında kalıntı uzaklaştırılır; kaynama odasının kesit alanının ürün kesit alanına oranı kaynak kalitesini belirler.

Deneme yapılan bütün alaşımlar için, orta derecedeki deformasyonların, bir süre önce oksitlenmiş yüzeyler arasında oluşturduğu kaynaklar, ana malzemenin gösterdiği çatlak yayılma enerjisinin oldukça altında değerler gösterirler. Bu sonuç, Şekil 55'e göre kaynak yüzey alanını

%280 arttırmak için, sıcak haddelenmiş ingotlar işlendikten sonra enine kesilmiş numunelerle elde edilir. Basınç kaynaklı yada kaynaklı numunelerin çekme dayanımları Tablo 2’de verilmektedir.



Şekil 55 Sıcak haddelikle basınç kaynağı deneyleri için haddelenmiş ve işlenmiş slab./6/

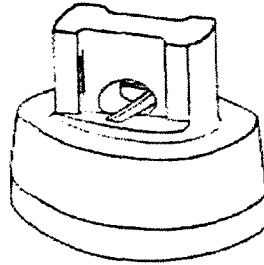
Dikiş kaynağının her iki tarafında bir alın kaynağı içeren, düz kesitlerin bir serisi, deformasyonlardaki artışın çatlak yayılma enerjisinin ana metaldeki çatlak yayılma enerjisine yaklaşmasına neden olduğunu göstermektedir. Şekil 56’da görüldüğü gibi dizayn edilmiş kalıplar kullanılmış, ve takozlar biraz önce metalle dolmuş kalıp girişlerinden ekstrüze edilmiştir. Alın kaynaklarının tepeleri zayıf olarak kaynadığından, ölü zaman esnasında kalıp girişindeki hacme eşit bir hacim uzaklaştırılmıştır. Çekme ve yırtılma test numuneleri, takip eden ekstrüzyonun ön, orta ve arkasından alınmıştır. Tablo 3 kaynak tepesine en yakın yerden kesilen numunelerin sadece bir kaçının, azaltılmış uzamalar ve çatlak yayılma enerjisi sergilediğini göstermektedir.

Dikiş Kaynakları: Kutu ekstrüzyonlar tarafından karakterize edilen dikiş kaynaklarının, kalite ve oluşumları hakkında çalışmak için, başlangıç testleri Şekil 57’de gösterilen kalıp tipleri kullanılarak küçük deneysel preslerde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2 Sıcak haddelenmeyle elde edilmiş basınç kaynaklı malzemelerin özellikleri.

Malzeme koşulları	Nihai Çekme dayanımı MN/m <sup>2</sup>		Çatlak yayılma enerjisi kJ/m <sup>2</sup>	
	0	1	0	1
Al 99.5 % Sıcak haddelenmiş	74	73	154	149
Al + 1 % Mn Sıcak haddelenmiş	111	108	204	141
Al + 2.5 % Mg + Mn Sıcak haddelenmiş	245	230	249	≤ 33
Al + 1 % Mg + 1 % Si + 0.3 % Mn Tavlınmış, yaşlandırılmış	121 372	121 368	173 54	74 47
Al + 1 % Mg + 1 % Si + 1 % Mn Tavlınmış, yaşlandırılmış	158 360	159 302	152 113	39 ≤ 4
Al + 4 % Cu + 0.5 % Mg + 1 % Mn Tavlınmış, yaşlandırılmış	232 459	231 453	148 167	97
Al + 4 % Zn + 1 % Mg Doğal yaşlandırılmış Suni yaşlandırılmış	347 289	287 270	63 94	≈ 0 ≤ 3

0 = ana metal, 1 = kaynak boyunca

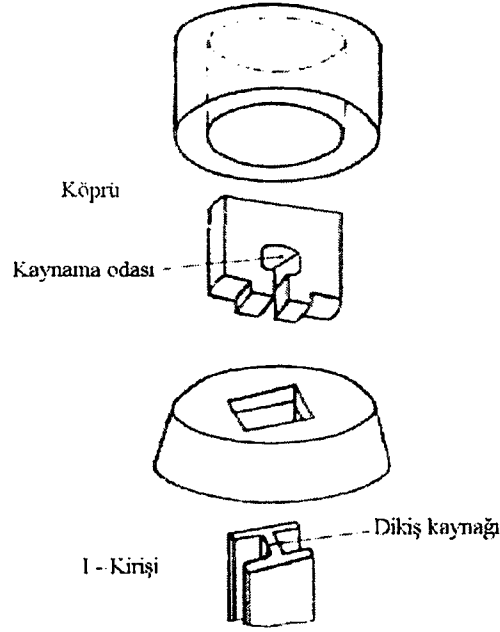


Şekil 56 Ortasında dikiş kaynağıyla bir düz profil için köprü kalıp./6/

Tablo 3 Köprü kalıplardan ekstrüze edilen kesitlerin enine özelliklerine dikiş kaynağına ilave edilen alın kaynaklarının etkisi.

Malzeme koşulları	Bölge	Nihai çekme dayanımı MN/m <sup>2</sup>		40 mm'de uzamalar, %		Çatlak yayılma enerjisi kJ/m <sup>2</sup>	
		0	2	0	2	0	2
Al 99.5 % Ekstrüze edildiği gibi	F	81	85	20.0	21.1	151	146
	M	74	84	20.0	20.0	149	157
	E	74	83	21.2	23.0	145	128
Al + 1 % Mn Ekstrüze edildiği gibi	F	103	103	20.0	19.2	197	204
	M	103	103	21.2	20.2	198	187
	E	103	103	20.0	20.0	236	191
Al + 1.5 % Mg Ekstrüze edildiği gibi	F	146	150	16.2	16.2	245	232
	M	144	144	17.0	17.0	231	219
	E	144	141	16.2	16.2	235	257
Al + 2.5 % Mg + 1 % Mn Ekstrüze edildiği gibi	F	221	222	12.5	14.2	271	193
	M	221	223	12.2	13.7	240	175
	E	220	223	12.5	14.0	206	228
Al + 3 % Mg Ekstrüze edildiği gibi	F	193	184	15.0	11.5	228	267
	M	194	193	16.5	13.7	279	334
	E	193	193	16.2	15.7	299	266
Al + 4.5 % Mg + 1 % Mn Ekstrüze edildiği gibi	F	281	291	8.2	8.7	81	115
	M	289	293	9.5	11.0	85	156
	E	290	291	9.5	10.7	77	157
Al + 0.5 % Mg + 0.5 % Si Yaşlandırılmış	F	261	263	5.5	5.0	94	119
	M	267	265	5.2	4.2	84	85
	E	262	262	5.0	4.7	86	74
Al + 1 % Mg + 1 % Si + 0.3 % Mn Yaşlandırılmış	F	366	365	3.7	2.5	53	< 65
	M	374	367	3.2	3.2	58	—
	E	379	361	3.3	3.2	94	44
Al + 1 % Mg + 1 % Si + 1 % Mn Yaşlandırılmış	F	340	336	5.7	2.5	74	52
	M	351	330	4.7	2.5	76	67
	E	350	346	6.0	3.0	109	104
Al + 4 % Cu + 0.5 % Mg Yaşlandırılmış	F	434	418	5.0	4.2	108	47
	M	455	437	6.2	4.7	97	50
	E	469	470	7.5	6.2	131	119
Al + 4 % Zn + 1 % Mg Yaşlandırılmış	F	315	321	5.7	5.0	71	63
	M	317	321	7.5	6.7	62	73
	E	326	323	5.7	7.5	75	76

F = ön, M = orta, E = bir takozdan elde edilen kesitin sonundan alınan numune  
0 = Alın kaynağı yok 2 = Dikiş kaynağının her iki tarafında alın kaynağı mevcut

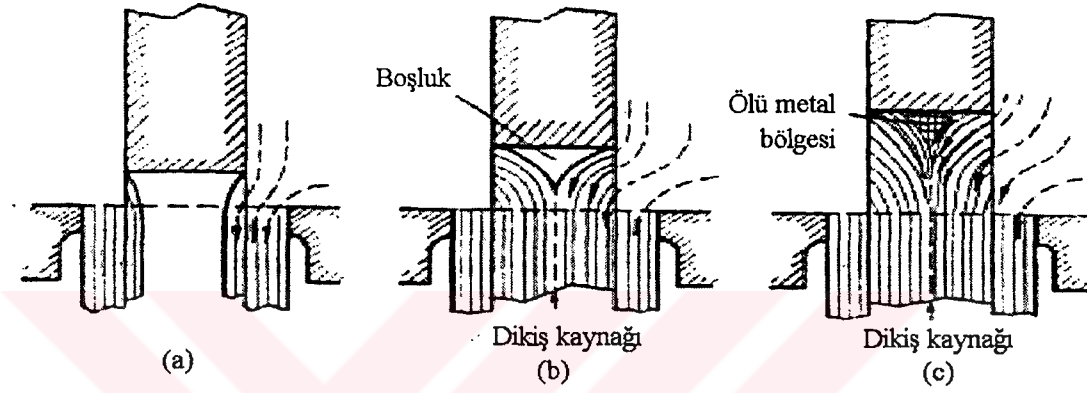


Şekil 57 Değiştirilebilir köprü ve kaynama odalarıyla, bir I-kiriş için ekstrüzyon kalıbı./6/

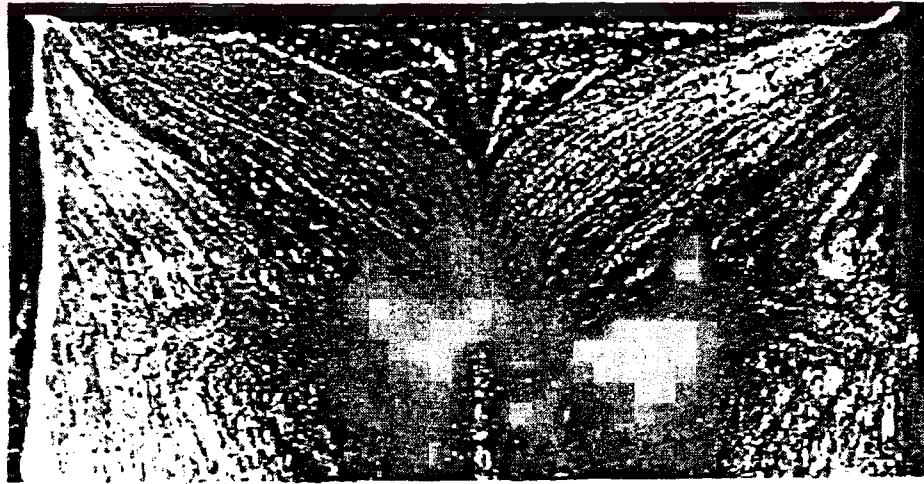
Çeşitli oluşumlardaki kaynak odalarıyla köprüler vasıtasıyla, az yada çok istenen koşullarda, bir I-kirişinin perdesinde bir kaynağın üretimi gerçekleştirilmiştir. Perde kalınlığına eşit kaynama odası genişliği ile, metal akışının farklı tipleri, kaynama odasının yüksekliğinin değiştirilmesiyle gözlenebilmiştir. (Şekil 58)

Çok alçak kaynama odalarıyla (şekil 58a) perde kesiti tam olarak dolmaz; sadece her birinin ortasında bir tümsek bulunan iki parça kalıptan çıkar. Daha yüksek kaynama odalarıyla (Şekil 58b) her iki yandaki metal akışları karşılaşır ve kalıbın çıkış yönünde ikili olarak kıvrılırlar. İşlem esnasında köprünün altındaki boşluk tamamen doldurulmadan kalır. Zayıf kalitedeki kaynakların sonucu olarak; enine dayanım ana malzemenin dayanımının %40'ına düşer, uzamalar fiili olarak sıfırdır, ve kopmalar daima kaynama yüzeylerinde ayrılmalarda şeklinde oluşur. Sadece daha geniş kaynama odaları, kalıbın köprüsünün altındaki boşluğu doldurmak için

yeterli basınç artışı verebilirler. (Şekil 58c) Her iki taraftan giren metal akışları, nihai kesit şekline deforme edilmek için akma gerilmesinden daha büyük basınçlar gerektirirler. Sonra köprü altında ölü metal bölgeleri oluşur (Şekil 59), ve iki metal akışı arasında, bu iki akışın orjinal temas yüzeylerinin, kalıp çıkışına doğru sürekli uzamasıyla dikiş kaynağı gelişir. Ekstrüzyon devam ederken, başka oksit yada diğer pislikler kaynayan yüze ulaşamayacaklarından iyi bir kaynak kalitesi elde edilir.



Şekil 58 Kaynama odalarındaki metal akış tipleri; (a) çok küçük oda, tamamlanmamış doldurma, (b) küçük oda, köprü altında boşluk, (c) daha geniş oda, köprü altında ölü metal bölgesi./6/



Şekil 59 Geniş bir kaynama odasından çıkan malzemenin kesiti, ölü metal bölgesinin oluşumu görülmektedir. X 5 büyütme ile./6/

Tablo 4 Bir köprü kalıptan ekstrüze edilen kesitlerin enine özelliklerinde, dikiş kaynağının etkisi./6/

Malzeme koşulları	NİHAİ ÇEKME DAYANIMI MN/m <sup>2</sup>		ÇATLAK YAYILMA ENERJİSİ kJ/m <sup>2</sup>	
	0	1	0	1
Al 99.5 % ekstrüze edildiği gibi	83	85	156	153
Al + 1 % Mn ekstrüze edildiği gibi	97	103	191	208
AL + 1.5 % Mg ekstrüze edildiği gibi	142	147	262	253
Al + 2.5 % Mg + 1 % Mn ekstrüze edildiği gibi	224	222	270	228
Al + 3 % Mg ekstrüze edildiği gibi	191	194	329	240
Al + 4.5 % Mg + 1 % Mn ekstrüze edildiği gibi	301	294	226	138
Al + 0.5 % Mg + 0.5 % Si Doğal olarak yaşlandırılmış Suni olarak yaşlandırılmış	178 274	176 267	264 115	223 79
Al + 1 % Mg + 1 % Si + 0.3 % Mn Doğal olarak yaşlandırılmış Suni olarak yaşlandırılmış	273 372	270 365	213 77	172 56
Al + 1 % Mg + 1 % Si + 1 % Mn Doğal olarak yaşlandırılmış Suni olarak yaşlandırılmış	279 365	280 364	165 109	164 74
Al + 4 % Cu + 0.5 % Mg Doğal olarak yaşlandırılmış	462	455	170	118
Al + 4.5 % Cu + 1.5 % Mg + 1 % Mn Doğal olarak yaşlandırılmış	509	413	102	≈ 54
Al + 4 % Zn + 1 % Mg Doğal olarak yaşlandırılmış Suni olarak yaşlandırılmış	344 324	334 315	82 87	66 67
Al + 5.5 % Zn + 2.5 % Mg + 1.5 % Cu Suni olarak yaşlandırılmış	601	461	120	≈ 50

0 = ana metal , 1 = dikiş kaynağı boyunca

Farklı alaşımlarda bu olayı incelemek için sırasıyla 50 mm ve 60 mm çapındaki takozlar deney amaçlı preslerde ekstrüze edilmiştir, Şekil 56'da görülen kalıp tipleri kullanılarak, ortalarında dikiş kaynağı bulunan 40 x 8 mm ebatlarında düz kesitler üretilmiştir. Tablo 4 çekme ve yırtma testlerinin bu kesitler üzerindeki sonuçlarını, kaynaklı kesitlerdeki sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak vermektedir.

Sadece AlCuMg1.5 ve AlZnMgCu1.5 alaşımları hallerinde kaynaklı numuneler, doğal ve suni yaşlandırma koşullarının her ikisinde de enine çekme dayanımında bir azalma göstermişlerdir. Bu alaşımlarda kaynaklı numunelerdeki çatlak yayılma enerjisi ana malzemedekinin yarısıdır. Bununla birlikte bu durumlarda bile, kaynaklı numunelerdeki makaslama kopmasına zıt olarak, kaynak yüzeylerinde ayrılma meydana gelmemiştir. Bu fark, kaynaklı numunelerdeki şerit şeklindeki tanelerin, boyuna yönde gerilmeleri gerçeğine bağlanabilir; aynı test koşulları altında dikiş kaynağının her iki yanındaki şerit şeklindeki taneler enine yönde gerilmektedir, ki burada dayanımın ve sertliğin daha düşük olduğunu deneyler göstermiştir.



Şekil 60 AlZnMg alaşımından kopmuş enine çekme numuneleri, (a) dikiş kaynaklı (b) kaynaklı. Makaslama kopmasından lifli kopmaya geçişi gösterir./6/

Ekstrüzyon koşullarında da lifli yapıya sahip diğer alaşımlarda, kaynaklı numuneler, çekme dayanımları sezilebilir şekilde etkilenmemesine rağmen, çatlak yayılma enerjilerinde ana malzemeyle karşılaştırıldığında %30-50'lik bir düşüş sergilemektedir. Bu kopmaların görünüşü, ana malzemedeki kopmalardan da oldukça farklıdır. (Şekil 60) Numuneler soğuk işlendiğinde ve yeniden kristalleşmeyi gerçekleştirmek için ısıtma işlemi gördüğünde, dikiş kaynaklı ve kaynaklı kopmalar arasındaki farklar azalır, fakat tamamiyle kalkmaz. Bu kalıntı farklar, döküm yapısında ilk çökmeden meydana gelen kırılganlığa (uzunlamasına travers) bağlanabilir ve bu kırılganlığın dağılımını yeniden kristalleşme tarafından değiştirilemez.



## 2-4 SÜREKLİ EKSTRÜZYONDA KAYNAMA OLAYI

Kutu şeklindeki kesitlerin ekstrüzyonu esnasında katı durum yapışması, mandrel destekleri altında aynı takozdan gelen metalin laminar akışları arasında meydana gelir.(Dikiş kaynağı) Benzer şekildeki kaynaklar kalıp girişlerinde, bir birini takip eden takozların metalleri arasında da oluşur.(Alın kaynağı) Ekstrüzyon kaynakları boyunca çekme özellikleri enine yönde ana metalin özelliklerine karşılık gelir. Yeterli sertlik ve yumuşaklığın sağlanabilmesi için özel dikkat gerekebilir. Dikiş kaynaklarında, yetersiz 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 oluşur. Bununla beraber bazı bölgelerde, kaynayan yüzeylerin genişlemesi çok küçük yada hatta ekstrüzyon esnasında kendini çekmeler bile bulunabilir. Bu nedenle kutu şeklindeki şekillerin özel kalite problemleri sık sık, alın kaynaklarının gevrek kırılmalarıyla birlikte ortaya çıkar. Kalite kontrol amaçları için kaynakların yeri, kalıp dizaynı, takoz yenilenmesi esnasında uygun şekilde ara işin kesilmesi ve temiz çalışma koşulları dikkate alınmalıdır.

Her yıl milyonlarca kilometre uzunlukta çok başarılı ekstrüzyon kaynakları gerçekleştirilmektedir. Buna rağmen ekstrüzyon kaynakları kalite problemlerinden ve araştırmalardan oldukça uzak kalmışlardır. Çok daha yaygın birleştirme yöntemleri için uygun kriterler ve zorunluluklar düşünüldüğünde görülecektir ki, ekstrüzyon kaynaklarında bunların bir çoğu mevcut değildir. Bir kaynağın bütünü boyunca malzemenin kompozisyonu ve sertliği sabittir, doldurucu her hangi bir metal bulunmamaktadır ve zayıf bölgeler olarak davranabilecek ve yumuşamış olabilecek ısı tesiri altında bölgeler bulunmamaktadır. Bununla birlikte, kaynak boyunca özellikler bir şekilde ana metalin özelliklerinden farklı olabilir. Bu nedenle bir kutu kesit, dolu bir kesitin şekillendirilmiş bir parçası olmaktan daha çok, bir birleşme

olarak düşünölmelidir. Ancak diğer birleştirme metodlarıyla karşılaştırdığımızda, ekstrüzyon kaynakları hala kalite, dizayn esnekliği, estetik çekicilik, ağırlık ve maliyetlerin azaltılması yönlerinden çok belirgin avantajlara sahiptir.

Bazı durumlarda ekstrüzyon kaynaklarının gevrek kırılma görünüşü, üretimin diğer aşamalarında, fiili kullanım esnasında yada hatta yüksek dayanımlı 6xxx serisinden alaşımlardan yapıma geniş ve et kalınlığı fazla kesitlerin taşınması esnasında bile meydana gelebilir. Üretim kapasitesinin sınırları içerisinde ekstrüzyon kaynağı kalitesi olarak, neyin iyi olduğunun yada en azından kabul edilebilir olduğunun tanımlanması zorunlu hale gelmektedir. Güzelden mükemmel kaliteye doğru hareket etmek için, ekstrüzyon kaynaklarının teknolojik ve mikro yapı görünüşlerinin daha temel olarak anlaşılmasına ihtiyaç vardır.

#### 2-4-1 TEKNOLOJİK OLARAK EKSTRÜZYON KAYNAKLARI

Kaynak işlemleri, yani ekstrüzyon kaynakları, özel ürünlerin ekstrüzyonuna entegre edilebilirler. Kaynak, çubuk ve telleri de içeren dolu şekiller için takımların kaynama plakalarının yada ceplerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Bir yada bir çok boşluklu kutu kesitlerin ekstrüzyonunda kaynak, portlarda ve kaynama odalarında meydana gelir. Kutu kesitler için, dış çevreyi belirleyen kalıp plakasına ilave olarak, iç şekli belirleyen ve mandrel olarak adlandırılan ikinci bir takıma daha gerek vardır. Desteklerde mandreli yerinde sabitleme işini görmektedir. Bu destekler, aksenal itmeyi ve radyal kuvvetlerin her ikisinde, kalıp plakasına ileterek, kesitin dış çevresine göre mandrelin yer değiştirmesini minimize ederler.

Ekstrüzyon kaynağı bir katı durum yapışması halidir, bu işlemdede iki dolu hacmin yüzeyleri içten bir birine temasa başlarlar ve bir birine yapışırılar. Tam bir yapışmanın meydana gelmesi için, karşılaşan yüzeyler arasındaki boşluk, her hangi bir noktada atomlar arası mesafe mertebesinde

olmalıdır. Mükemmel temiz ve düz(Ör. Parlatılmış altın plakaları) yüzeyler haricinde, bunu sağlamak için pürüzlülükler ezilmeli, yüzey tabakaları parçalanmalı ve temiz metalin bulunduğu yeni yüzeyler karşılaşmalıdır.

Büyük deformasyonlar olmaksızın, pürüzlülükleri ezmek için malzeme sertliği mertebesindeki bir bölgesel basınç Ör. Akma gerilmesinin yaklaşık üç katı, gereklidir. Bununla birlikte, büyük deformasyonlu şekillendirme metodlarıyla Ör. Yığıma, haddeleme yada ekstrüzyon, akma gerilmesi mertebesinde bir basınç yakın teması sağlamak için yeterli olabilir.

#### 2-4-2 DİKİŞ KAYNAKLARI

Bir kutu şeklin ekstrüzyonunda kullanılan kalıbın tipine bağlı kalmaksızın bir birini takip eden üç yada dört adımda tanımlanabilirler;

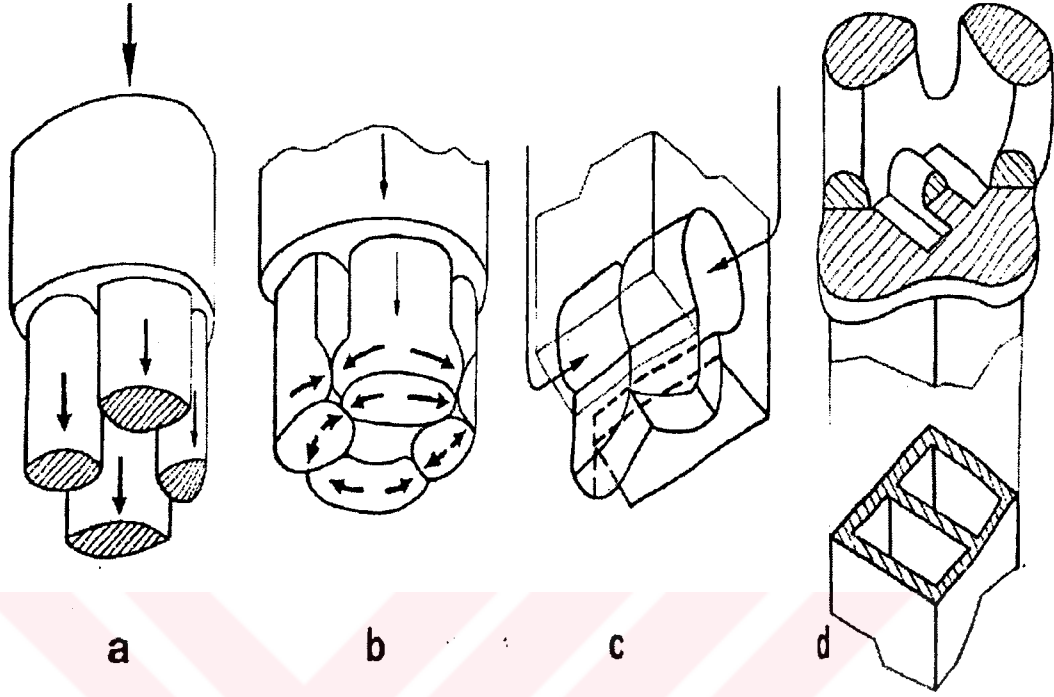
- Kalıp yüzeyindeki portlar sayısınca kalın çubuklar vermek üzere takozun ileriye doğru ekstrüzyonu (Şekil 61a)

- Yanlara doğru ekstrüzyon, her çubuk, mandrel desteklerinin altındaki boşluğa doğru teğetsel olarak akan iki küçük çubuk üretir.(Şekil 61b) Bu kaynama odalarının her birindeki, iki porttan gelen metalin iki akışı, bir araya gelmeye zorlanırlar, böylece bu iki akışın ön uçları kaynak için önceden gerekli olan yakın temasa geçerler. Bu ikinci adımın sonucu, iç boşluğu yada boşlukları çevreleyen bir halka yada çerçevedir.

- Eğer ekstrüze edilecek şekil birden çok boşluk içeriyorsa, diğer bir yana doğru ekstrüzyon adımı, bir mandrel oluşturduğu bir çok boşluklar arasındaki bölgeyi doldurmak için gereklidir (Şekil 61c) İç kırımların ekstrüze edileceği boşluklar, kaynama odalarının ikinci bir basamağı gibi düşünülmelidir.

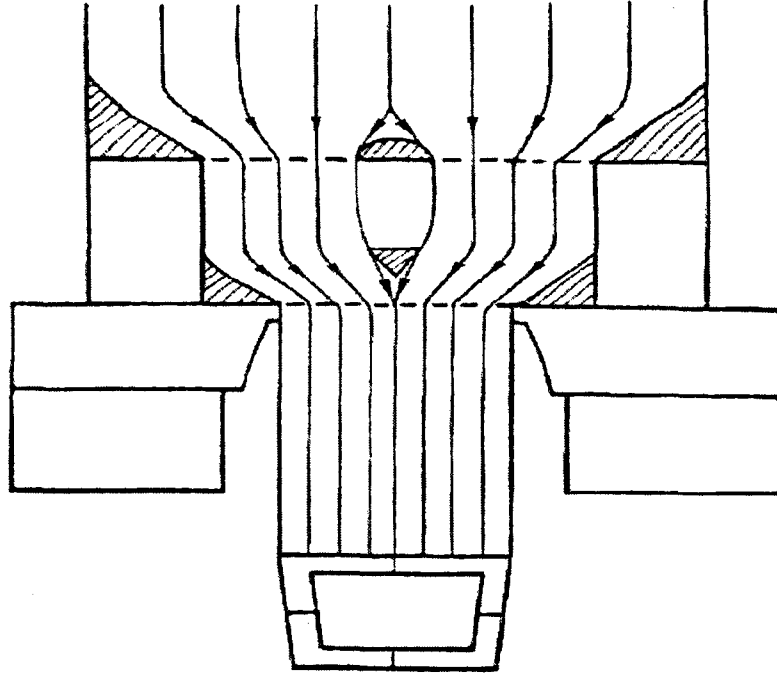
- Son bir adım olarak kutu şeklindeki kesit, iç boşluklar arasındaki ve çevredeki ızgara yada çerçeveden ekstrüze edilir.(Şekil 61d) Bu son adım

esnasında, metal akışları arasındaki temas yüzeyi büyük miktarlarda genişlerken ve hala basınç altında iken ekstrüzyon kaynağı oluşur.



Şekil 61 Bir kutu şeklinin ekstrüzyonu esnasındaki ardışık adımlar: a- portlara giriş b- kaynama odalarının doldurulması c- iç boşluklar arası aralığın dolması d- şeklin ekstrüzyonu./7/

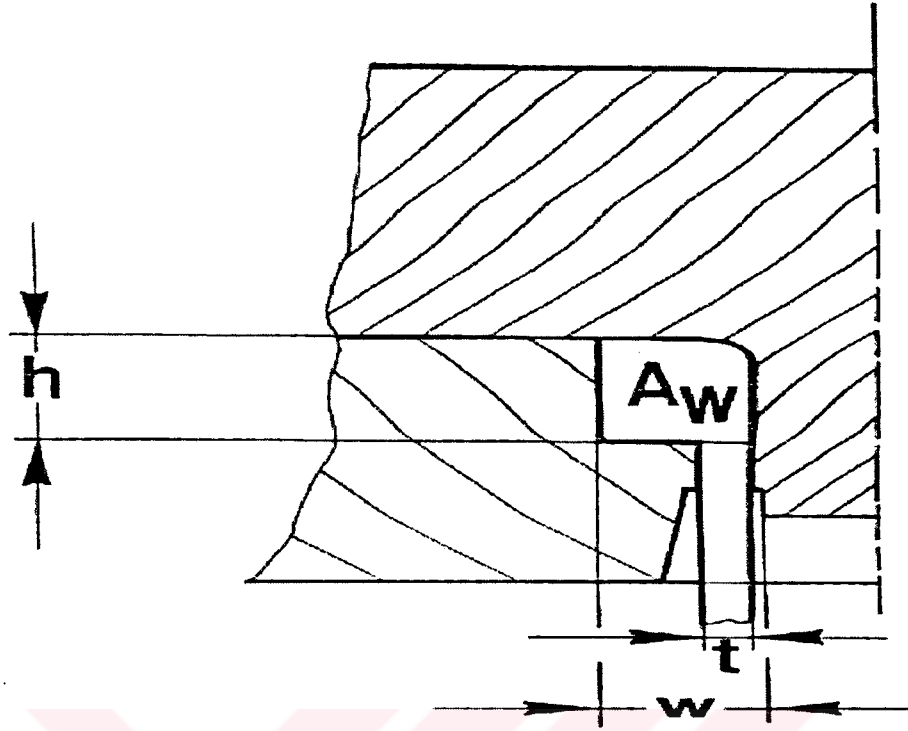
Hala devam eden bazı yanlış kavramalar açısından, ekstrüzyon kaynağı esnasında meydana gelen işlemler detaylı bir incelenmeye gereksinim gösterir. Uygulanan ıstampa hızlarında atalet kuvvetleri, takım boyunca yapışma sürtünmesinin üstesinden gelmek için gerekli olan kuvvetlerle karşılaştırıldığında önemsizdir. Tahmin edileceği gibi, mandrel destekleri çevresinde ve altında metal akışı tamamen laminardır ve desteklerin giriş ve çıkış bölümlerinin her ikisinde de ölü metal bölgesi oluşur. (Şekil 62) Metalin ergimiş hale geldiği yada lapa gibi olduğu ve kaynama odalarında karıştığı yada mekanik olarak karıştırıldığına dair teoriler bu nedenle unutulabilir.



Şekil 62 Bir porthol kalıp içerisinde laminar akış ve ölü metal bölgelerin oluşumu.(taralı alanlar)./7/

Kaynama odalarında yüksek basıncı sağlamak için, son adımdaki bölgesel ekstrüzyon oranı şeklin her hangi bir kısmındaki oranının en az üç katı mertebesinde olmalıdır. Prensipde, takozdan şekle ulaşılıya kadar olan gerinimlerin toplamının mümkün olan en büyük kısmı, metal akışlarının kaynama odalarında karşılaşmalarından sonra meydana gelmelidir. İyi bir metal beslemenin temel kuralı olarak Maier, kaynama odalarının genişlik ve yüksekliklerinin her ikisinde, kutu kesitin et kalınlığının 6 ila 8 katına eşit olmasını tavsiye etmektedir.(Şekil 63)

Aynı mandrel oluşturduğu boşluklar arasını yeterli metal beslemesi ile doldurmayı başarmak çok zordur. Aynı kesitin bir birine komşu mandrel gözleri arasındaki kirişler, yukarıda bahsettiğimiz boşluklardan ekstrüze edilirler. Eğer boşluk alçak yada dar ise, iki taraftan gelen metal akışları temas haline gelemeyecek ve kaynak oluşmayacaktır.(Şekil 4a-c)

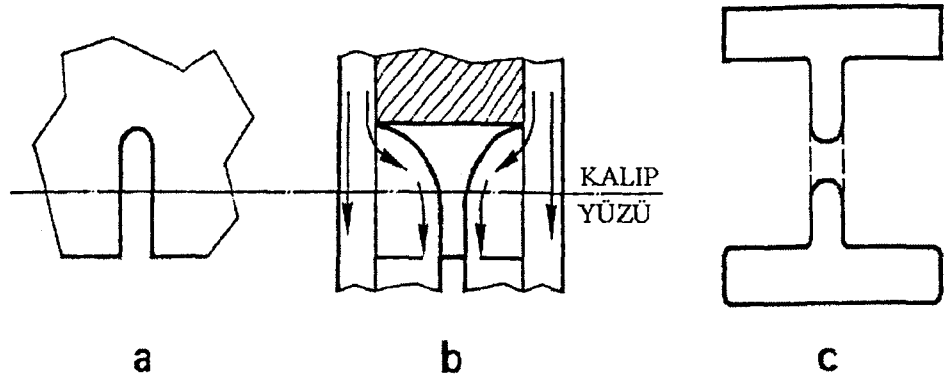


$$A_w = h \times w = (6 \div 8 \times t)^2$$

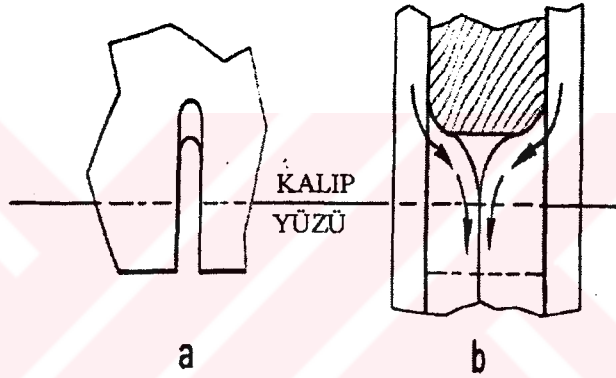
Şekil 63 Kaynama odalarının tavsiye edilen boyutları./7/

Biraz daha geniş bir boşlukla, iki metal akışı temas haline gelirler ve çıkış yönüne doğru kıvrılırlar, gerçi bu durumda da boşluk tam olarak dolmamıştır. (Şekil 65a-b) Yapışma sadece temas yüzeylerinin sırt kısmında meydana gelecektir ve düşük dayanıma sahip olan bir yapışma sonucunu verecektir. Çekme testinde bu gibi zayıf yapışmalar kaynama yüzeylerinden kırılacaktır.(Şekil 66)

Kalıp kesitinin tam olarak dolmaması ve buna eşlik eden sadece kısmi yapışma, göreceli olarak küçük redüksiyonlarla tüp ekstrüzyonunda da görülmüştür. Boşluklardan kirişe kadar olan alandaki redüksiyon yeterince büyük olduğunda, metal basıncı bütün boşluğu doldurmaya yetecek kadar yüksek olacaktır.(Şekil 67)

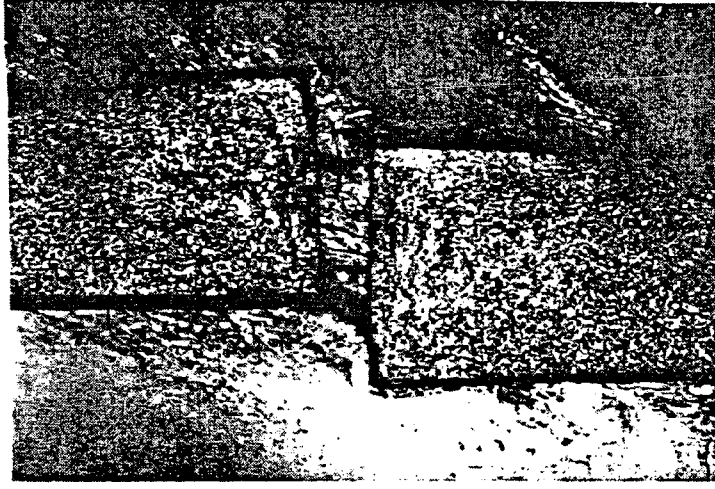


Şekil 64 İç gözler arasındaki boşluk çok alçak ve çok düşük; c-kirişin tamamlanmamış dolması./7/

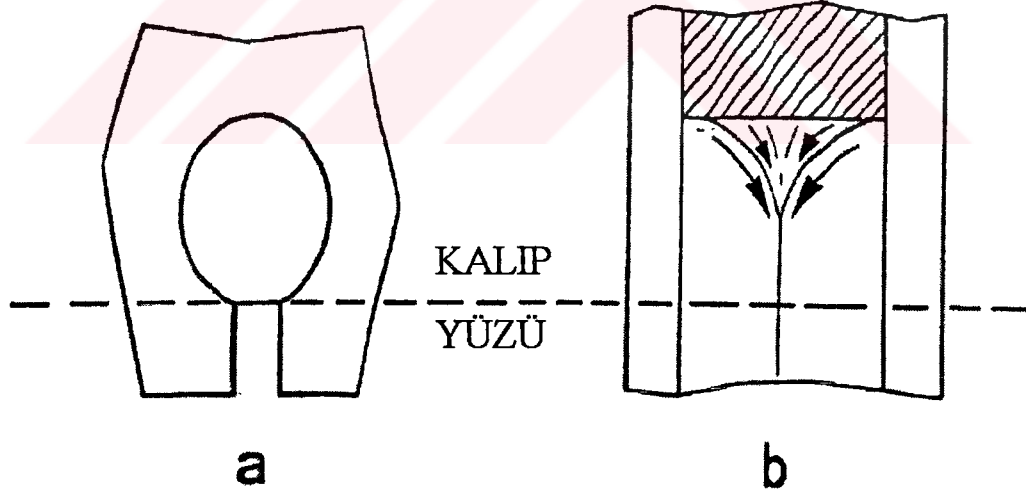


Şekil 65 Şekil 64'e göre daha geniş gözler arası boşluklar./7/

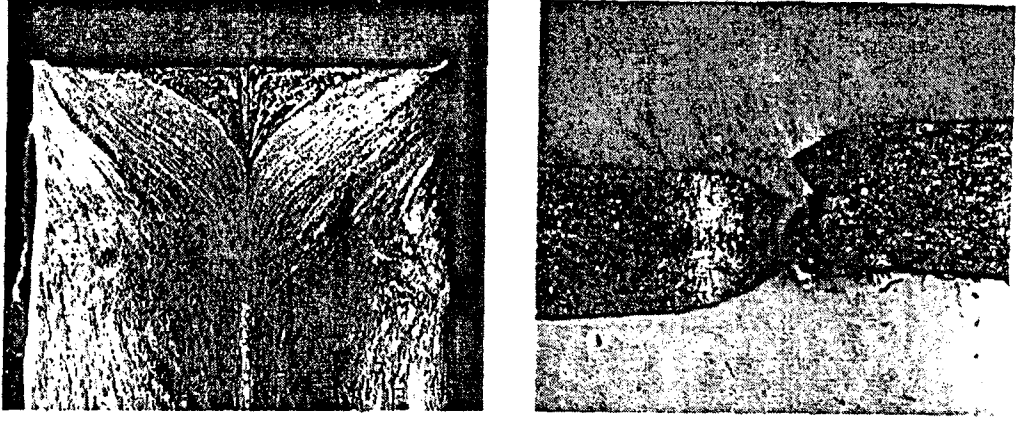
Ölü metal bölgesi mandrelin alt akış ucunda oluşacaktır ve takozun iç kısmından gelen temiz metal akışları bir araya gelmeye zorlanacaktır, böylece ortaya iyi kalitede bir dikiş kaynağı çıkacaktır. Mamafih eğer boşlukta metalin akışı çok yavaş ise, kiriş kalıptan çıkmış bulunan kısımları nedeniyle çok güçlü bir şekilde çekilecektir. Sonuçta kirişin oldukça incilmesi yada hatta tekrar eden yırtılmaları görülecektir. (Şekil 68)



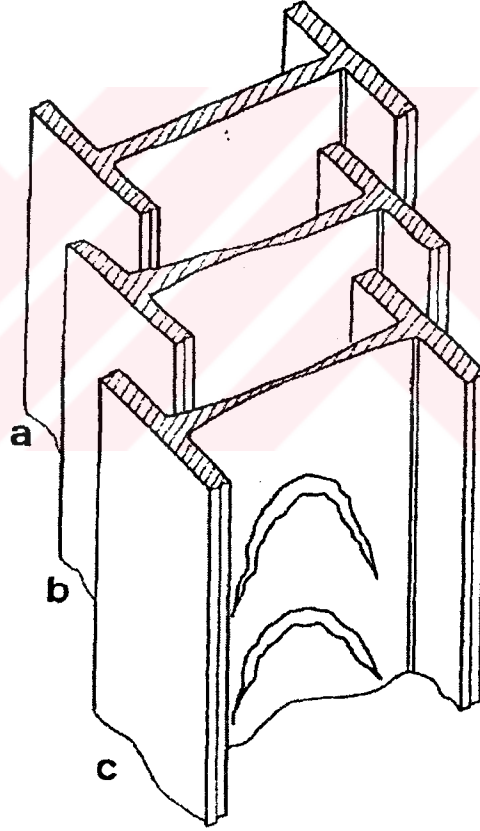
Şekil 66 Zayıf dikiş kaynağında kırılma./7/



Şekil 67 a-b Gözler arasındaki anahtar deliği şeklindeki boşluk./7/



Şekil 67 c- Mandrel altındaki ölü metal bölgesi. d- Dikiş kaynağının dışındaki kırılma./7/



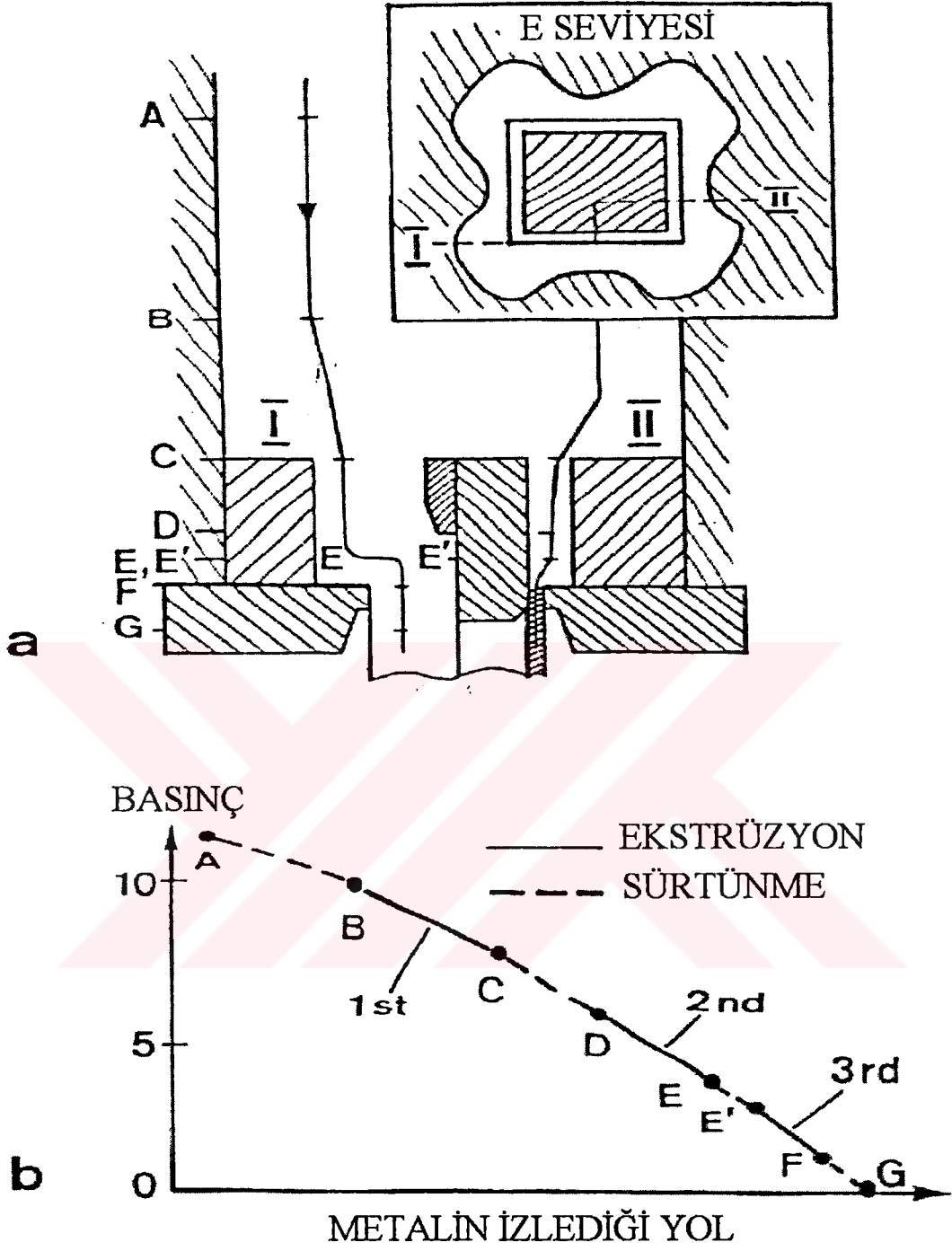
Şekil 68 a- Dolu kiriş, b- İncelmiş kiriş, c- Yırtılmış kiriş./7/

Tecrübeler göstermektedir ki, bu istenmeyen koşulların meydana gelme olasılıkları daha yüksek hızlarda, hızlı ve yavaş metal akış bölgeleri arasındaki sıcaklık farklarının artması nedeniyle artmaktadır.

Kaynama odasını çok miktarda malzemenin beslemesi halinde de basınç gereksinimleri azaltılabilecek ve kalıbın ekstrüze edilmesi daha kolay hale gelecektir. Şekil 69 metalin bir porthol kalıp boyunca izlediği güzergahtaki basınç düşümlerini göstermektedir. B-C, D-E ve E-F boyunca basınç düşümleri; kutu kesitin ekstrüzyonu halinde; ekstrüzyon işleminin bölümlere ayrılabilmesi için üç adıma karşılık gelmektedir. Birinci yaklaşım olarak, bu ekstrüzyon adımları için toplam basınç düşümü, aynı kesit alanına sahip açık bir şekil için olanla aynı olmalıdır. Kutu kesitler için açık şekiller ile karşılaştırıldığında gerekli basınç, kalıp portlarında (C-D) ve kaynama odalarındaki (E-E') ilave sürtünmenin karşılığı olarak artar. Bu alanlardaki sürtünme, konteynır içerisinde (A-B) meydana gelene benzer şekilde yapışma şeklindedir. Makaslama gerilmesi akma gerilmesinin  $\sigma_A$  yarısına eşittir. D çapındaki bir yuvarlak kanal (orifis) için akış boyunca basınç düşümü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$d_p = \frac{\sigma_A}{2} \cdot \frac{\pi D}{\pi/4 \cdot D^2} \quad d_s = \frac{2 \sigma_A d_s}{D} \quad (2.1)$$

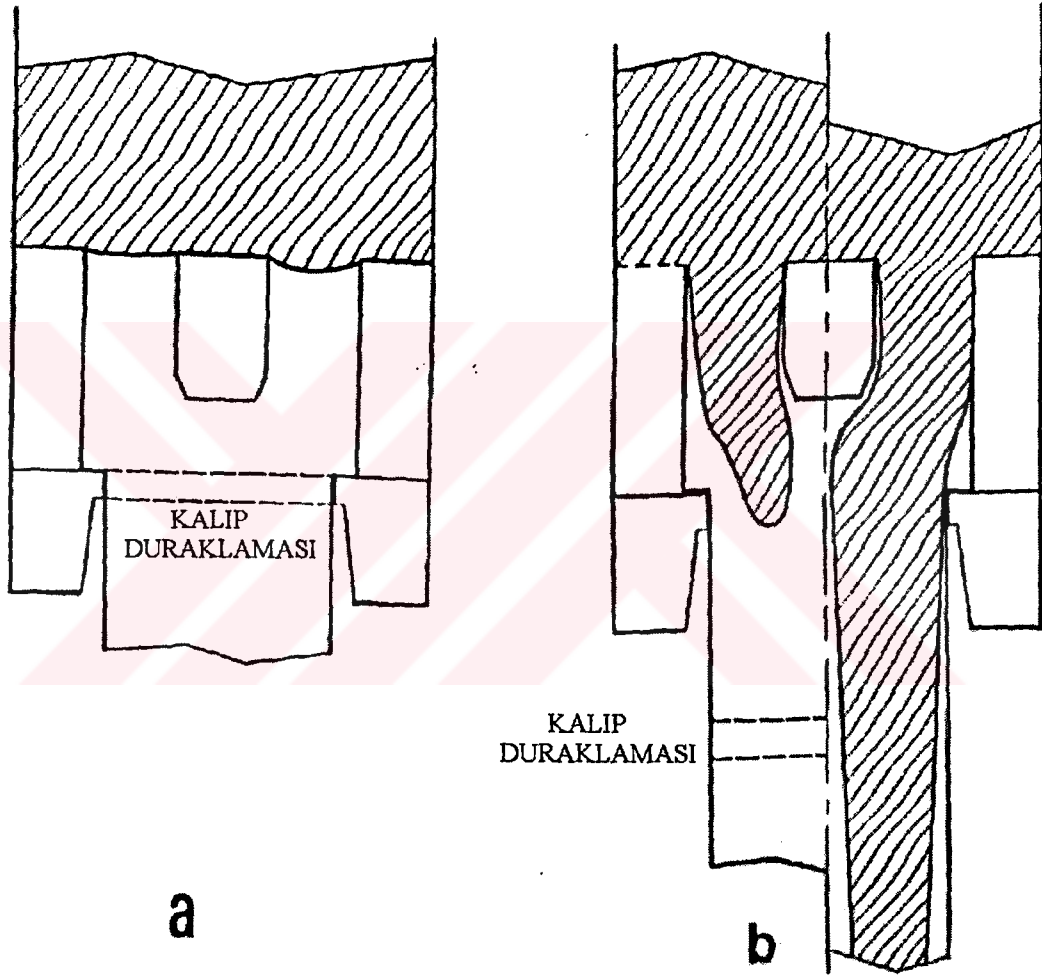
Bu nedenle metalin dağılımı ve girişi için bütün kanallar, kalıbın mekanik stabilitesini bozmayacak şekilde mümkün olduğunca geniş yapılmalıdır. Metal iç kanalların duvarları boyunca akmadığı için, metal akışını yönlendirici akış çizgilerine gerek yoktur. Metal kendisine en uygun gelen yolu izleyecektir, yani en az basınç gerektiren yolu. Boşluk alanları; en kolay akış için gerekli değildir; uygun ölü metal bölgeleriyle tıkaçlanır.



Şekil 69 Bir kutu şeklin ekstrüzyonundaki basınç düşümü. a- kesite giriş b- akış yolu boyunca basınç düşümü./7/

### 2-4-3 ALIN KAYNAKLARI

Normal olarak bir üretim esnasında birden fazla takoz ekstrüze edilmektedir. Her ekstrüzyon stroğunun sonunda kalıp portları, ara iş kesilip uzaklaştırıldıktan sonra, metal ile dolu kalmaktadır. Aynı şey kaynama plakalı kalıplara ve cepli kalıplara da uygulanır. İstisna köprülü kalıplardır, bu kalıplar her ekstrüzyon stroğundan sonra boşaltılır.



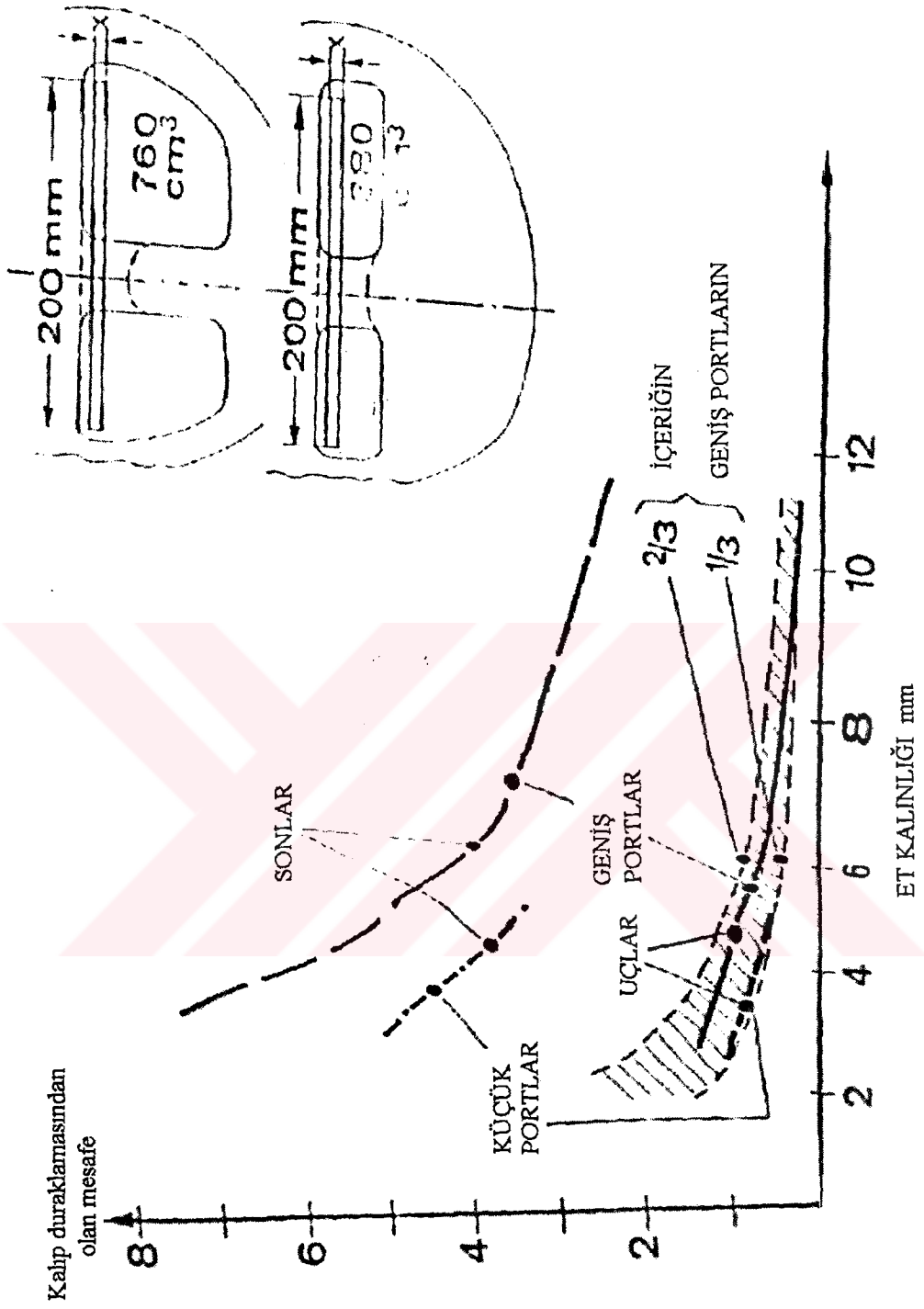
Şekil 70 Alın kaynağı. a- Yeni takozun yığılması, b- Alın kaynağı ilerliyor./7/

Takip eden takoz ezildiğinde, o takozun ön yüzü porttaki metal ile temasa geçer.(Şekil 70a) İkinci takozun yüzü ile kalıpta kalmış metal arasında kaynama meydana gelir. Temas yüzeyleri sırasıyla portlar, kaynama odaları boyunca ve ekstrüze edilen ürünün içine doğru gerilip yayılırlar. (Şekil 70b) Ekstrüzyon kaynağının bu ikinci tipi alın kaynağı olarak adlandırılır. Yeni ve temiz bir kalıptan ilk takozla ekstrüze edilecek kesit sadece dikiş kaynağı taşıyabilir. Buna karşılık bu ilk takozdan sonra yapılacak bütün ekstrüzyonlar alın kaynağı taşıyacaktır. Ekstrüze edilen içi dolu ürünler sadece alın kaynağı taşırlar.

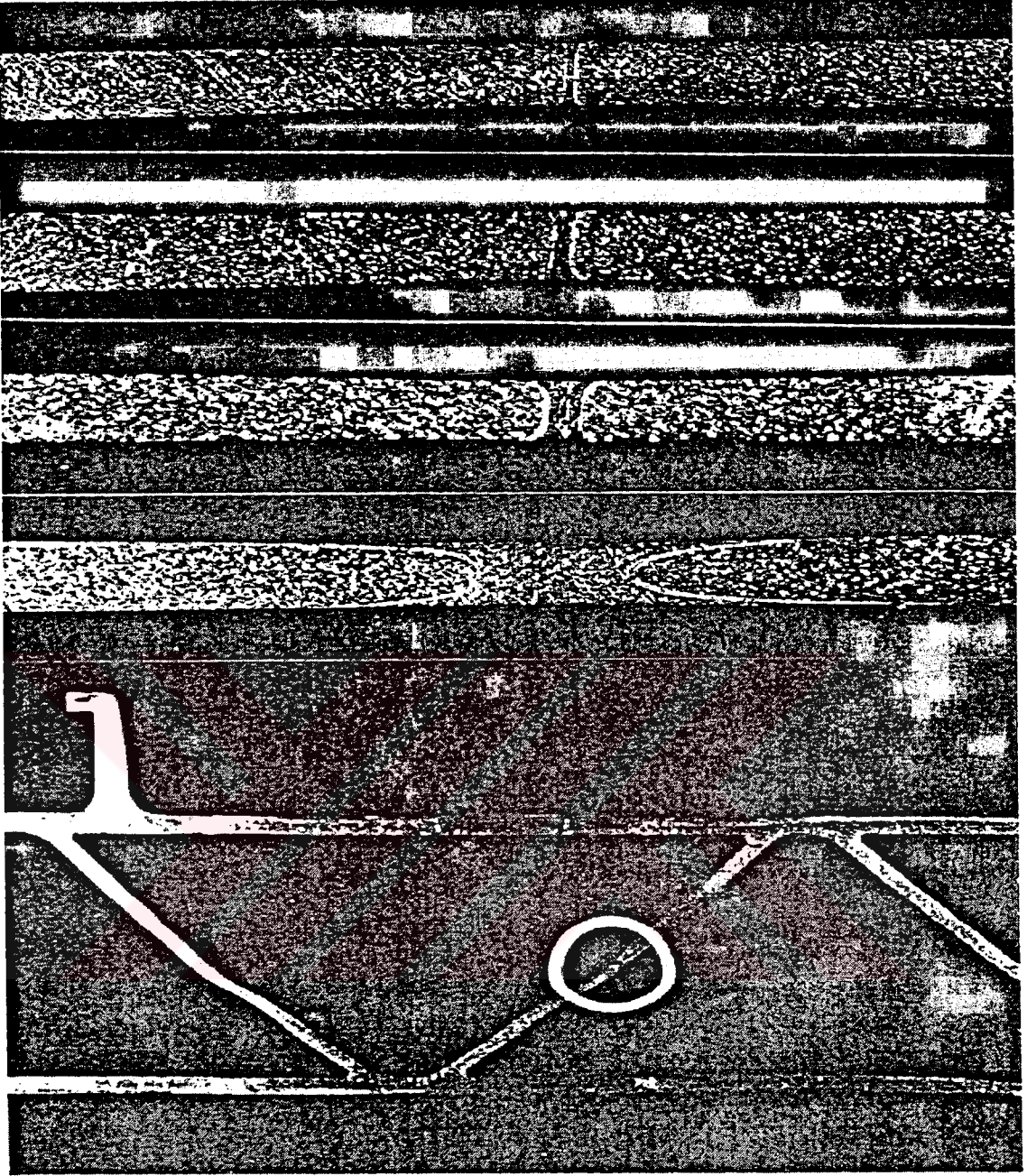
Ekstrüze edilen ürünlerin dış yüzeyinde görülebilen, kalıbın ekstrüzyonun durduğu anda yaptığı kalıp durma izi bazen yanlışlıkla alın kaynağı olarak adlandırılır. Ancak akılda tutulmalıdır ki; ekstrüzyon stroğunun sonunda, kalıp hala bir önceki takozun malzemesiyle doludur. Alın kaynağının uç kısmı sadece, bir önceki takozdan kalan metalin üçte biri ila ikisi yeni takozun metaliyle yer değiştirmedikçe kalıptan çıkmaz. Bir örnek olarak kalıp durma izinden alın kaynağının ucunun mesafesi, Şekil 71’de iki deneysel kalıp vasıtasıyla ekstrüze edilen sabit genişlikteki düz bir kesitin kalınlığına bağlı olarak gösterilmektedir. Deney kalıplarından biri geniş diğeri dar portlara sahiptir.

Ekstrüzyon ilerledikçe, ürünün kesit alanının artan bir bölümü yeni takozdan gelen malzeme tarafından doldurulur. Sonuç olarak alın kaynağı, portların her birinden gelen metal akışının çevresine doğru yaklaşır. Ekstrüze edilen ürünün uzunluğunun büyük kısmı boyunca, alın kaynakları iç ve dış yüzeylere yakın olarak bulunurlar ve, çok önemli olarak, dikiş kaynaklarının her iki tarafında da meydana gelirler. (Şekil 72)

Dikkatli bir tespitle alın kaynağının ekstrüze edilen ürün içerisinde bir sonunun olmadığı söylenebilir. Başlangıç temas yüzeylerinin dış çevresi, kalıp portlarının kenarlarına tutturulmuş olarak kalırken, önceki takozlardan kalma metal, ölü metal bölgesinden ince filmler halinde sızmaya devam



Şekil 71 Kalıp durma izlerine göre alın kaynaklarının yerleri./7/



Şekil 72 Alın kaynakları dikiş kaynaklarına yaklaşıyor. a- kutu kesitin bir kenarı b-e- daire içindeki kaynağın kalıp durma izinden 1, 1.5, 2 ve 2.5 m sonraki hali./7/

etmektedir. Bununla beraber bazı araştırmacılar bunu, bir birine komşu yani bir birini takip eden alın kaynakları arasındaki farkın pratik olarak ayırt edilemeyeceği bir son noktaya kadar götürmektedir.

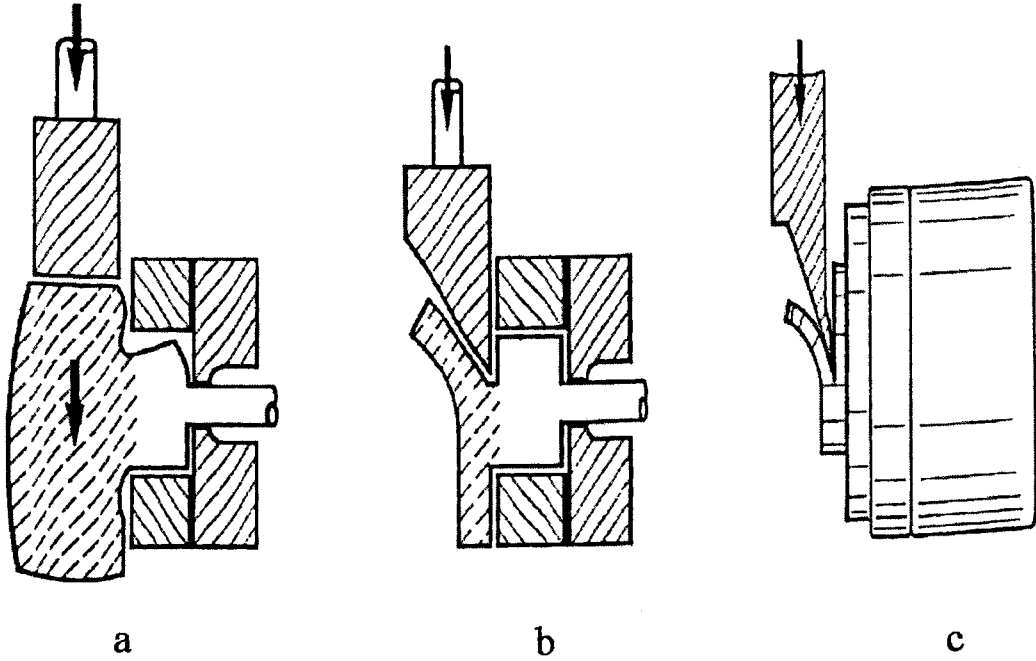
Kaynama yüzeyinin birim elemanın ilk temastan sonra gerilme miktarı çok düşük olabilir. Bir alın kaynağının uç bölgesinin makroskobik olarak büzülmesi mümkündür. Bununla birlikte, kaynak ucundan daha uzak mesafelerde kaynayan yüzün birim elemanın bir kaç kat genişlemesi mümkündür.

#### 2-4-4 ARA İŞİN UZAKLAŞTIRILMASI

Kaynama plakalarının yada çok büyük profiller için cepli kalıpların arkasında veya kutu Şekiller için porthol yada örümcek kalıpların arkasındaki ara işin uzaklaştırılması gerektiğinde, ekstrüze edilen ürünle karşılaőtırılacak genişlikteki kesitlerin ayrılmaları gerekir. Kalıp yüzü boyunca, takip eden alın kaynaklarında kalite problemlerine yol açabilen temiz bir kesme işlemi yapabilmek çok güçtür. Bundan dolayı kalıp portlarında ara işin kesilmesi oldukça önemli bir işlemdir.

En klasik anlamıyla makas gerçekte bir iticidir, metal bir yanından makas diğer yanından da kalıp yüzü tarafından kesilir. (Şekil 73a) Bu gibi kaba bir kesme işlemi esnasında, bir kısım metalin porttan dışarı doğru çekilmesi mümkündür. Sonuç olarak ta, bir sonraki takozun ekstrüzyonu esnasında hava kabarcıkları görülebilir.

Makaslamanın geliştirilmiş bir metodu gerçek bir kesme kenarı bulunan bir makas bıçağı kullanmaktır. Bu bıçak kalıp yüzüne çok yakın hareket eder. Bu gibi bir düzenleme ince bir ara iş gerektirir, böylece ara iş makasa yol açmak için kıvrılabilir. (Şekil 73b) Bu metoddaki problem ara işin artık, takoz yüzeyinde yada hemen altında bulunan pislik ve istenmeyen katışkılar için yeterince büyük bir çöp kutusu vazifesi görememesidir.



Şekil 73 Kalıp cep ve portlarında ara işin kesilmesi metodları. a- İtici, b- İnce ara iş, c- Ara iş içerisinden kesme./7/

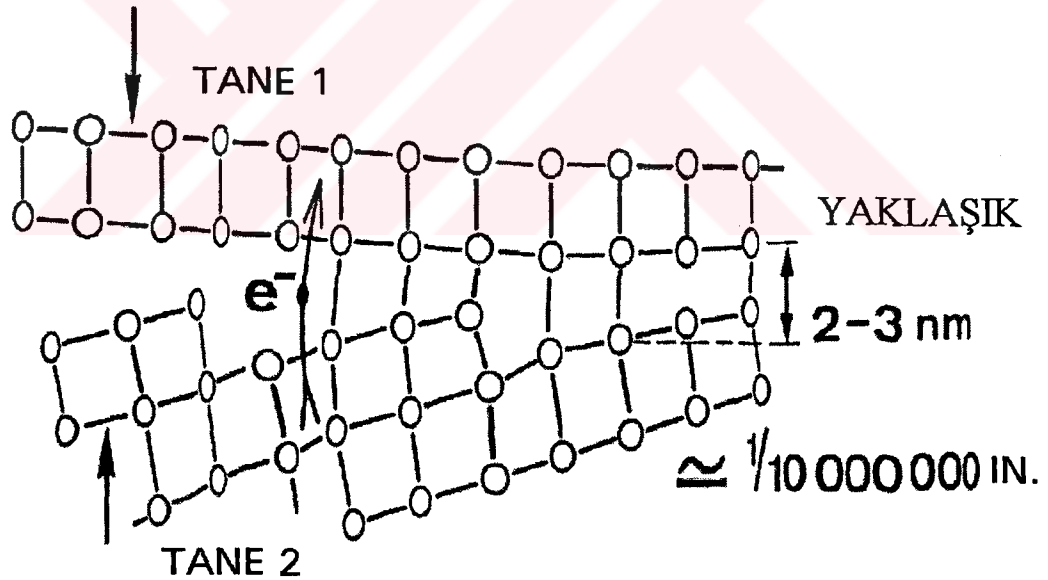
Bu yüzden mekanik olarak işlenmiş yada özel döküm yöntemleriyle üretilmiş daha temiz takozların kullanılması gereklidir. Diğer bir problemde, kalıp yüzünü ve makasın bıçağını metal yapışmasından korumaya çalışırken, aynı zamanda alın kaynaklarının makaslama işini kolaylaştıran ince yağ filmi tabakası ile bulaşık hale gelmesini önlemektir.

Yeni geliştirilen metotta ise, portlar boyunca kesme işlemini gerçekleştirmek yerine doğrudan doğruya ara işin içerisinden kesmeyi yapmaktır. (Şekil 73c) Böylece kalıp yüzünde alüminyumdan bir tabaka kalmaktadır. Bu metod mantıklı görünmekle birlikte daha fazla kesme kuvveti gerektirebilir.

## 2-4-5 METALURJİ

Katı hal yapışmalarının diğerlerinde olduğu gibi, bir ekstrüzyon kaynağı da temelde suni tane sınırlarının bir düzlemidir. Yapışan ara yüzlerin küçük yada büyük bir kesit alanı; bir birini karşılayan yüzeylerin genişlemesine bağlı olarak; hala daha önceki yüzey tabakalarının partiküllerinden oluşmaktadır. İlave olarak, komşu bölgelerdeki malzeme, daha uzak bölgelerdeki malzemedan, bölgesel gerinimler, tane ve alt tanelerin ölçüleri ve yönelmeleri bakımından ve hatta intermetaliklerin boyut ve dağılımları bakımından farklı olabilir.

Suni tane sınırı terimi, her hangi bir noktasında bir birine olan mesafeleri interatomik ölçüde olan iki metal hacmi arasındaki ara yüzü tanımlar.(Şekil 74) Serbest elektronlar bu gibi bir arayüzü, diğer her hangi bir tane sınırını geçebildiği gibi kolayca geçebilirler ve sonuçta mükemmel metalik yapışma ortaya çıkar.



Şekil 74 Katı hal yapışması./7/

Mükemmel katı hal yapışması için ana engel karşılaşılan yüzeylerin bulaşıklığıdır. Alüminyum oksit; ana metalden serttir; kaynama yüzeyi gerildiğinde ince parçacıklara ayrılır. Bu parçacıklar arasındaki boş alanlardan temiz metal bölgeler teması geçerek katı hal yapışmasını oluştururlar.

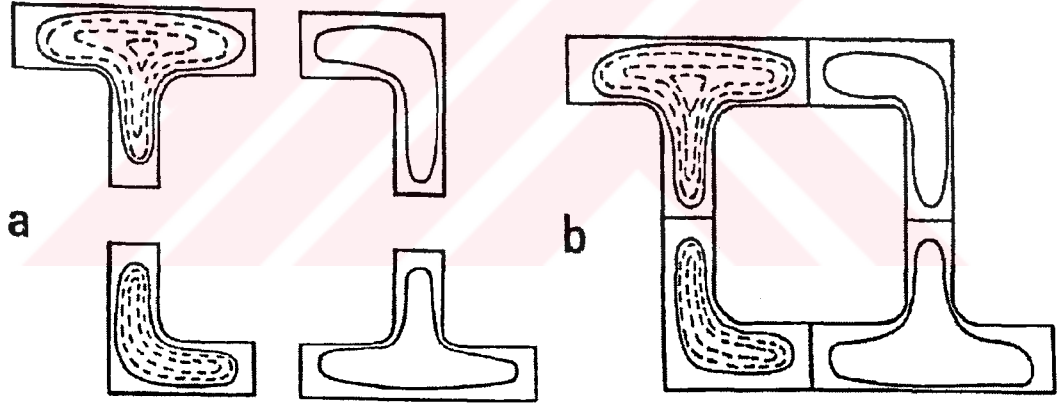
Diğer taraftan, grafit yada takoz yüzeylerinden veya makastan gelen benzer yağlayıcı kalıntıları gibi yumuşak bulaşıklıklar kolayca alın kaynağının ara yüzeyine yayılabilir ve sıvanabilir. En aşırı durumda moleküler kalınlıkta bir bulaşıklık tabakası, karşılaşılan yüzeyleri bir birinden ayrı tutabilir ve yapışmayı önleyebilir.

Düşük bir ihtimal olmakla beraber, dikiş kaynaklarında da metalografik dağlama metoduyla bulaşıklıklara rastlanabilir. Gerçekte, mandrel desteklerinin altında karşılaşılan iki metal akışının ön yüzlerinden gelen oksit tabakasının çok büyük bölümü, ekstrüze edilen ürünün ilk kısmı ile birlikte kalıp dışına taşınır. Bundan sonra gelen metal takozun iç kısmından gelmektedir.

Alın kaynakları, dikiş kaynaklarına nazaran çok daha kolay bulaşıklık içerebilir. Kostikte yapılan dağlamadan sonra yapılan gözlemede, dikiş kaynaklarının bulunması gereken bölgelerde görülen gerçekte alın kaynaklarıdır. Gözlemcinin göreceği, dikiş kaynağının her bir tarafında birer tane olmak üzere, iki paralel çizgidir ve bu çizgiler dış ve iç yüzeylere yaklaştıkça kıvrılmaktadır. (Şekil 72) Üst üste binmiş dağlanmış oyukların bu sıraları, ya takoz yüzeyinden gelen oksit partikülleri yada makas bıçağı, kalıp yüzü, basınç yastığı yada metal yapışmasının önlenmeye çalışıldığı her hangi bir yerden kaynaklanan kırılmış hidrokarbon yağlayıcılar nedeniyledir.

Bir ekstrüzyon kaynağının genişliği, alın kaynaklarını da içerecek şekilde, et kalınlığının küçük bir kesitinden daha büyük olamaz. Bununla beraber, ekstrüzyon kaynağına eşlik eden bazı etkiler, çok daha büyük genişliklere uzayabilir. Bir kutu kesit gerçekte, bir çok düzlemlerin,

köşelerin, T yada I şekillerinin bir bileşenidir ve bu bileşenlerin her biri aynı şekillerin ayrı ayrı ekstrüze edilmeleri halinde taşıyacakları tipik yapısal karakteristiklerin hepsine sahiptir. (Şekil 75a) En önemli özellik, daha az işlenmiş iç kısımlar ile çok daha ağır şekilde işlenmiş çevre kısımlarıdır. İç kısımlarda, döküm yapısının taneleri düz şeritler şeklinde deforme olmuş ve kalınlık yönleri en yakın ekstrüzyon yüzeyine dik olacak şekilde düzenlenmişlerdir. Döküm yapısının tane sınırlarındaki intermetalik partiküllerin yığılması, uzun kırımların içerisine çekilmiştir. Bununla birlikte, dikiş kaynakları iki çevre tabakasının arasında bulunmaktadır.(Şekil 75b) Bu gibi malzemenin mikroyapısal karakteristikleri, düzgün tane yapısının yokluğu ve intermetalik partiküllerin rastgele dağılımıdır. Hatta makroskobik olarak, kutu kesitlerin dağlanmış kesitlerindeki “bünyesi oluşmamış” kaynak bölgeleri, şeklin her bir parçasının iç kısmındaki çok daha lifli malzemeye tezat teşkil etmektedir.

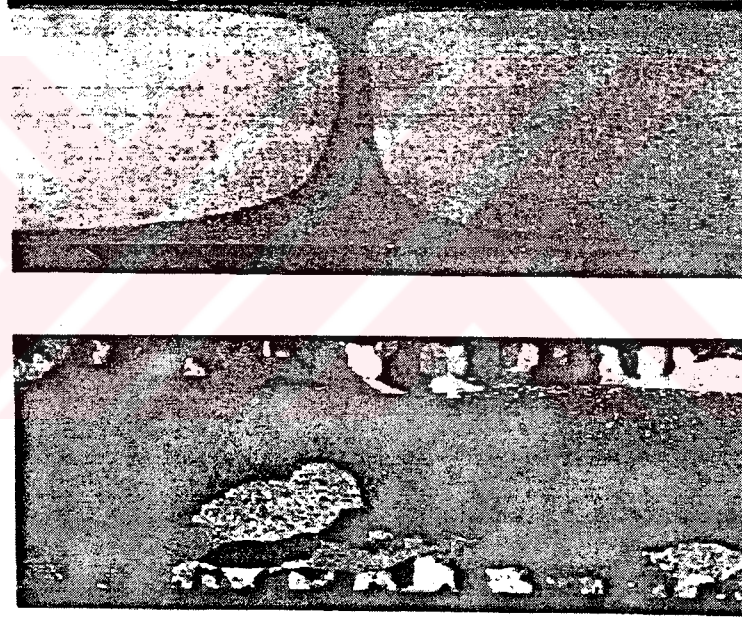


Şekil 75 Lifli iç bölgeler ve bünyesi oluşmamış çevre tabakaları. a- ayrı ekstrüze edildiklerinde, b- bir kutu şekil olarak ekstrüze edildiklerinde./7/

Her hangi bir ekstrüze edilmiş ürünün çevre kısmına benzer şekilde, kaynak bölgeleri ekstrüzyon esnasında yada daha sonraki ısı işlemler esnasında ilk önce yeniden kristalleşirler. Eğer yeniden kristalleşme sadece

kısmi ise, kaynama bölgesinin bütün kalınlığı boyunca kaba tane ile sonuçlanacaktır ve bu kaynama bölgelerini, aralarında bulunduğu hala lifli bölgelerle karşılaştırdığımızda, bir şekilde zayıflatmaktadır. (Şekil 76) En çok istenen durumda ise, ürün tamamen yeniden kristalleştiğinde, kaynak bölgesinde tane boyutu en iyi tane boyutudur ve dolayısıyla en yüksek akma dayanımı elde edilir.

Anodizasyondan sonra, kaynama bölgesi komşu bölgelerden parlaklık açısından kolayca ayrılabilir. Alaşıma ve ekstrüzyon koşullarına bağlı olarak bu gibi farklılıklar, dağlanmış oyuk yoğunluğundaki yada yeniden kristallenmiş tanelerin boyut, şekil ve yönelmelerindeki farklılıklar nedeniyle ortaya çıkar.

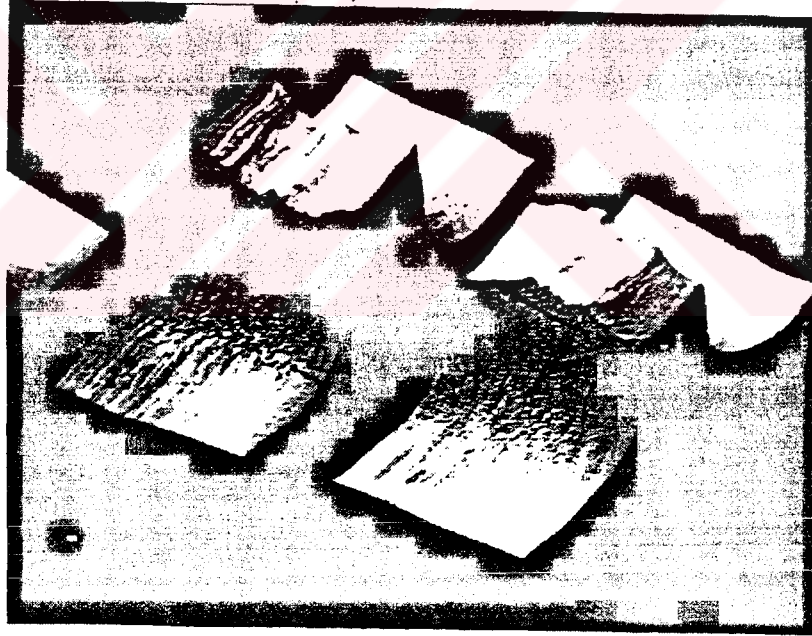


Şekil 76 Bir ekstrüzyon kaynağı içeren bir kenar boyunca kesit. a- Dikiş kaynağı boyunca çok işlenmiş çevresel bölge, b- yeniden kristallenme çevre bölgelerden ve kaynak bölgesinden başlar./7/

Ekstrüzyon kaynaklarının her iki tarafında da, şerit şeklindeki taneler, kalınlık yönleri kaynayan ara yüze dik olacak şekilde dönmüştür.

Kutu şekilleri düşündüğümüzde, bu yönelme gerçekte genişlik yada çevresel yöndedir. Kırılmanın, tane sınırlarında bileşiği meydana getiren intermetalik tabakalar boyunca meydana gelmesi mümkündür. Şekil 77’de görülen numuneler, ekstrüzyon kaynağının dışında fakat ona paralel düzlemler boyunca kırılmışlardır. Buda numunelerin enine yöndeki düşük sertliklerine işaret eder.

Ekstrüzyon kaynağının fiziksel olarak bütün dövülebilir alüminyum alaşımlarına uygulanması mümkündür. Merkezlerinde bir dikiş kaynağı ile düz şekiller, yüksek akma gerilmelerine rağmen deneysel olarak AA 2024 ve AA 7075 gibi alaşımlardan üretilmiştir. Bununla beraber, uygulamaya dönük amaçlar için kalıbın stabilitesi çok ciddi bir sınırlamadır. Kalıp yüzünün karşılaştığı yüksek basınç, eğer akma gerilmesi çok yüksek ise yada mandrelin alanı çok geniş ise takımı kırma eğilimindedir.



Şekil 77 Ekstrüzyon kaynağına paralel tane sınırları boyunca kırılma./7/

Yüksek dayanımlı alaşımlarla ilgili diğer bir sınırlamada, gevrek kırılmaya doğru artan eğilimdir. Gerçekten zarar potansiyeli; zarar görme yada kırılma işlemleri esnasında ortaya çıkabilen elastik enerjinin miktarıdır; akma gerilmesinin ikinci kuvveti ile artmaktadır. İlave olarak, yüksek dayanımlı alaşımlar sık sık intermetalik içeriğin aşırı yüksek hacim bölümlerini içerirler. Bu içerikler, boşluk oluşumu ve birleşimini kolaylaştırarak kırılmaya yol açarlar.

AA 6063 ve benzeri alaşımlar ciddi problemlere neden olmazlar. Daha yüksek dayanımlı 6xxx serisi alaşımlar kutu kesitler için kullanıldıklarında, intermetalik içeriğin tabaka oluşturmasından kaçınma, kaba tane oluşumu ve tane sınırlarında tercih edilen çökeltme konularında çok iyi dizaynlar kullanılmalıdır. Tane sınırlarında gevreklikten kaçınmak için, geçiş elementleri ilave edilir. Bu ilavelerin faydalı etkileri gerilim lokalizasyonuna olan eğilimin azalması ile yaşlandırma işlemi esnasında tane içerisinde daha üniform çökeltmedir. Kutu kesitlerinin optimum özellikleri için, bazı alaşımların kompozisyonu düşünülmelidir.

Bazı yapısal kesitlerde, komşu gözler arasındaki kırıların, T5 koşullarında tam dayanımın kazanılması için gerekli oranda soğutulması güç olabilir. Bu gibi durumlarda, kırıların daha düşük mekanik özellikleri ekstrüzyon kaynağı ile ilgili değil fakat daha uzun ısı akış yoluyla ilgilidir.

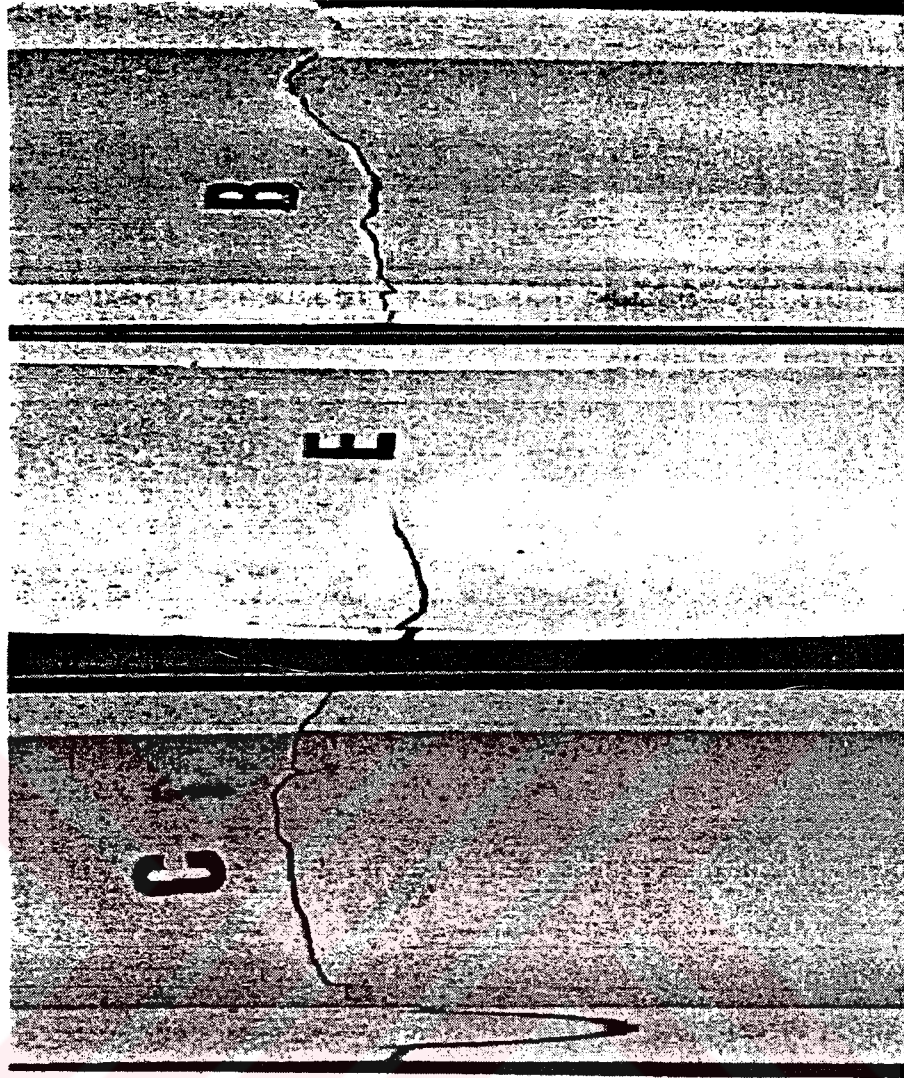
Bakır içermeyen 7xxx serisi alaşımlar sık sık yapısal uygulamalar için kullanılırlar, TIG kaynaklarının kendi kendine yaşlanma avantajından yararlanır. Pul pul dökülme şeklindeki korozyon problemine ana olarak ergime kaynaklarının komşu bölgelerinde rastlanır. Bununla birlikte, laboratuvar testleri göstermiştir ki; belirli koşullar altında gerilim korozyonu, yeniden kristalleşmemiş ana metale göre ekstrüzyon kaynakları boyunca daha hızlı bir oranda nüfuz edebilmektedir.

## 2-4-6 MEKANİK ÖZELLİKLER

Ekstrüzyon kaynaklarının ve komşu bölgelerin mekanik özellikleri, kaynaktan belli bir mesafede bulunan metalinkilere nazaran farklı olabilir. Akla gelen soru kaynak bölgesinin ana metalden daha zayıf olup olmadığıdır. Eğer mekanik testlerin bir gurubu uygulanırsa, cevabın ilk bakışta oldukça ilgi çekici olduğu görülür.

Bir çok durumda kaynak bölgesinin içinden alınan bir düz çekme numunesi, akma yada nihai çekme dayanımında önemli bir azalma göstermezken, uzamalar daha düşük olabilmektedir. Boyun şeklinde daralma ve kırılmanın kaynama bölgesinde meydana gelmesi zorunlu değildir, fakat bu gerçekleşirse, kırılma bölgesi bazı açıklayıcı detayları sergileyebilir. Kırılmadan önce alandaki azalma, ana malzemedan alınan numunelerdekinden daha az olabilir. Kırılma yüzeyinin bir bölümü, ufak çukurlu yumuşak kırılma yüzeyinin kaba görünüşüyle kontrast oluşturacak şekilde düz olabilir. Kırılan numunenin iki yarısı bir araya getirildiğinde genelde bu düz alanların arasında bir boşluk açık kalır. Buda bu bölgenin kırılmanın başlangıç noktası olduğunun gösterir. Metalografik incelemeler, bu düz alanların dikiş kaynakları boyunca ilerleyen alın kaynaklarında bulduklarını göstermiştir.

Diğer taraftan benzer malzemedan bir numune eğer ilerleyen çatlağın bir ekstrüzyon kaynağına gelip vurmasıyla sonuçlanacak şekilde yırtılırsa, çatlak yönünü birden bire değiştirebilir ve kaynağın zayıf yada kırılğan olduğu şeklinde bir etki bırakarak kaynağı takip eder. Şekil 78'de bükülme yorulması testine tabi tutulmuş bir tüpün duvarlarından uzunlamasına alınmış kesitler görülmektedir. Yorulma ömrü alın kaynağı tarafından oldukça az etkilenmiştir çünkü, çatlaklar oldukça geç bir zamanda başlamıştır. Bununla birlikte, nihai kırılma esnasında çatlaklar alın kaynakları boyunca bir süre ilerlemişlerdir, hatta bir durumda alın kaynağının uç noktası çevresine kadar ilerlemişlerdir.

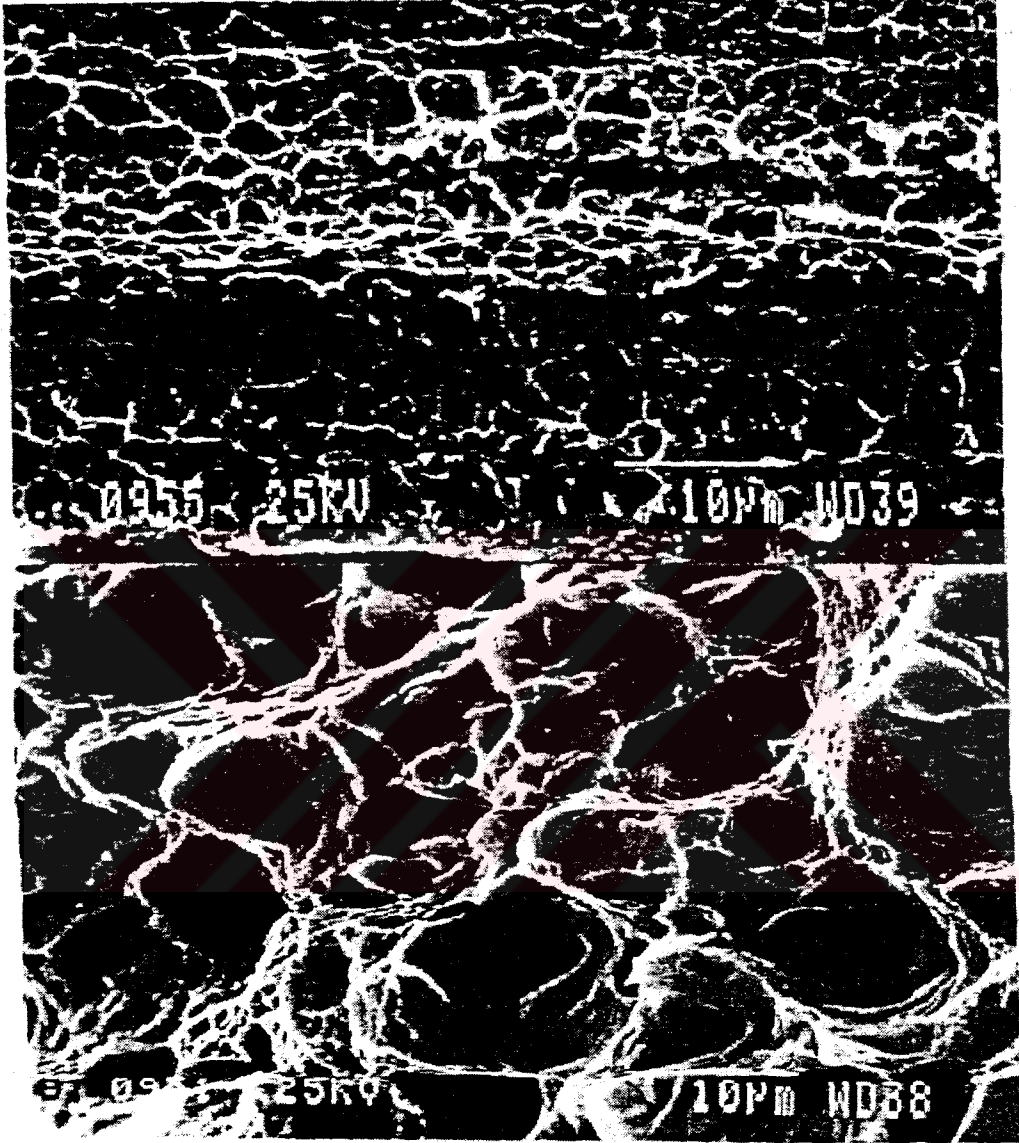


Şekil 78 Bükülme yorulması testindeki tüpün duvarlarındaki alın kaynağı boyunca nihai kopma./7/

Taramalı elektron mikroskopuyla yapılan daha yakın bir inceleme, görünüşte düz alanların büyük kısımlarının gerçekte, yumuşak kırılan alanlardakilerden boyut olarak daha küçük oyuklar ile kaplı olduklarını gösterir. (Şekil 79a-b) Bunun anlamı, metalik bağların; ki bu bağlar bazı kirliliklerin bir birine yakın, boşluklu, zayıf partikülleri tarafından kesintiye uğratılmıştır; düz kırılma yüzeylerinde mevcudiyetidir. Metalik bağları koparmak için gerekli olan plastik deformasyon metalin oldukça ince bir



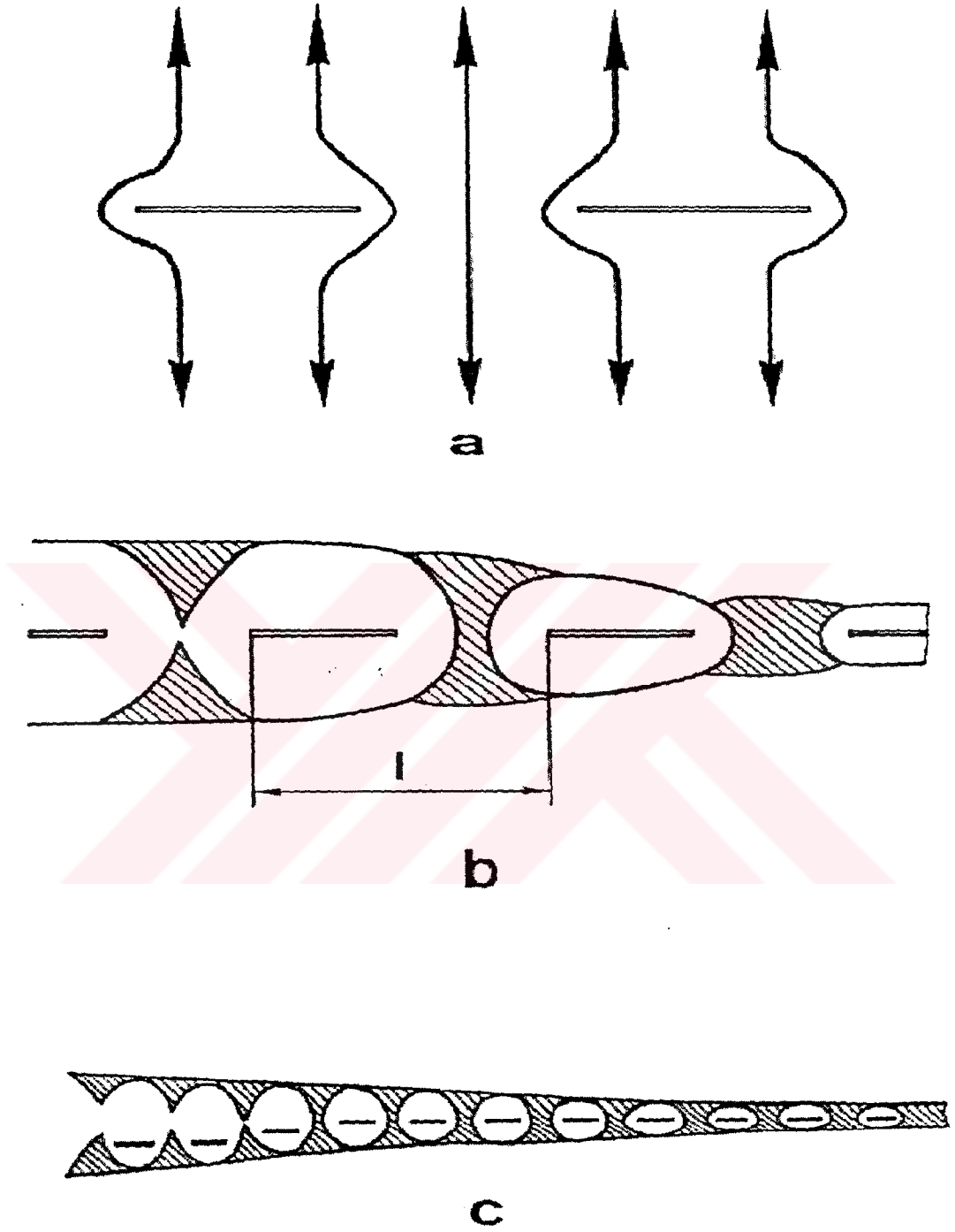
çekirdeklendirmesine ve açmasına neden olur. Her bir bağ koptuğunda çatlak ucu bir bağın uzunluğu kadar ilerler.



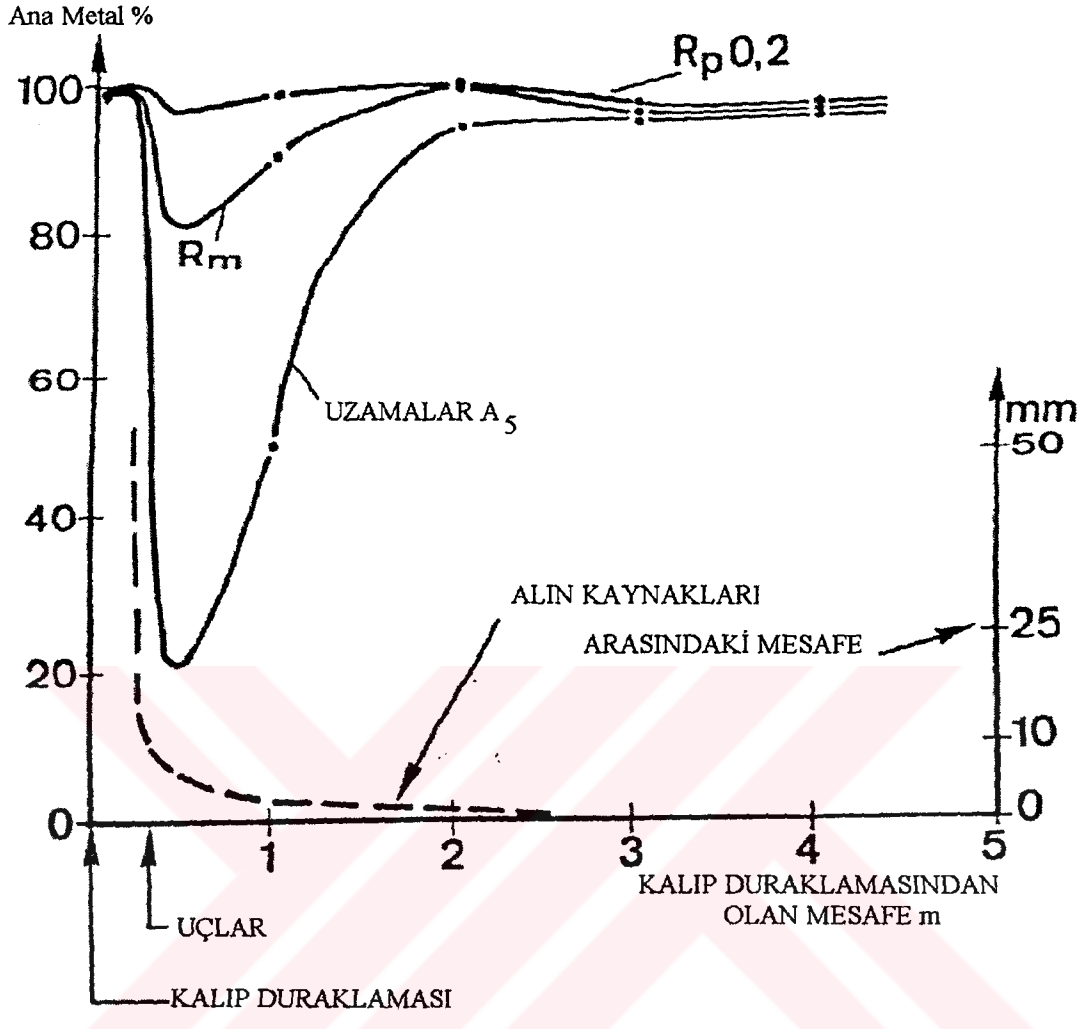
Şekil 79 Yumuşak kırılmanın SE mikrografı, a- alın kaynakları boyunca düz bölgeler, b- karşılaştırma için kaynak dışında makaslama kırılması./7/

Alan boyunca çatlak yayılmasına izin vermek için, bir bağ  $E_f$  ortalama kırılma gerilmesine kadar zorlanmalıdır. Bu gibi bir gerilimden geçmesi gereken malzeme hacmide orantılıdır. Geometrik olarak benzer bağ sıraları için, birim alanda çatlak yayılımı için gerekli enerji bundan dolayı bağların boşluklarıyla orantılıdır. Bunun anlamı, eğer kirlilikten sakınılamıyorsa, kaba taneli bir partikül sırası daha az zarar vericidir.

Buda göstermektedirki, ekstrüzyon kaynaklarının kritik mekanik özellikleri zarar görme ve kırılma mekanizmaları temelinde değerlendirilmelidir. Araştırma amaçları için, bir düz kesitin ortasında ekstrüzyon kaynağına sahip ekstrüzyonların üretilmesi mümkündür, böylece kaynak kesitinden uygun numuneler alınabilir. Kalıp duraklamasından olan mesafeyi yada bir referans olarak temas yüzeylerinin artışını kullanarak, bir ekstrüzyon kaynağı boyunca mekanik özelliklerin değişimi takip edilebilir. Şekil 81'de görülen örnek, her birinin kesit alanı  $8000 \text{ mm}^2$  olan iki portu bulunan bir kalıptan ekstrüzyon edilen  $200 \times 11 \text{ mm}$  ebatlarında düz bir kesite aittir. Burada özelliklerin konumlara bağımlılığı; alın kaynağının ucunda en düşük değerden başlayarak, açıkça görülmektedir. Akma dayanımı  $R_{p0.2}$  alın kaynağından pratik olarak etkilenmemektedir. Nihai çekme dayanımı  $R_m$  ise bir deçeye kadar düşerken, uzamalar  $A_5$  üzerindeki etkisi ise dramatiktir. Kalıp durağından yaklaşık 2.5 m sonra nihai çekme dayanımı ve uzama değerlerinin her ikisinde orjinal değerlerine gelmektedir. Bu aynı noktada iki alın kaynağının bir birinden ayrılması mümkün değildir ve kırılan numunelerde artık düz alanlar görülmez.



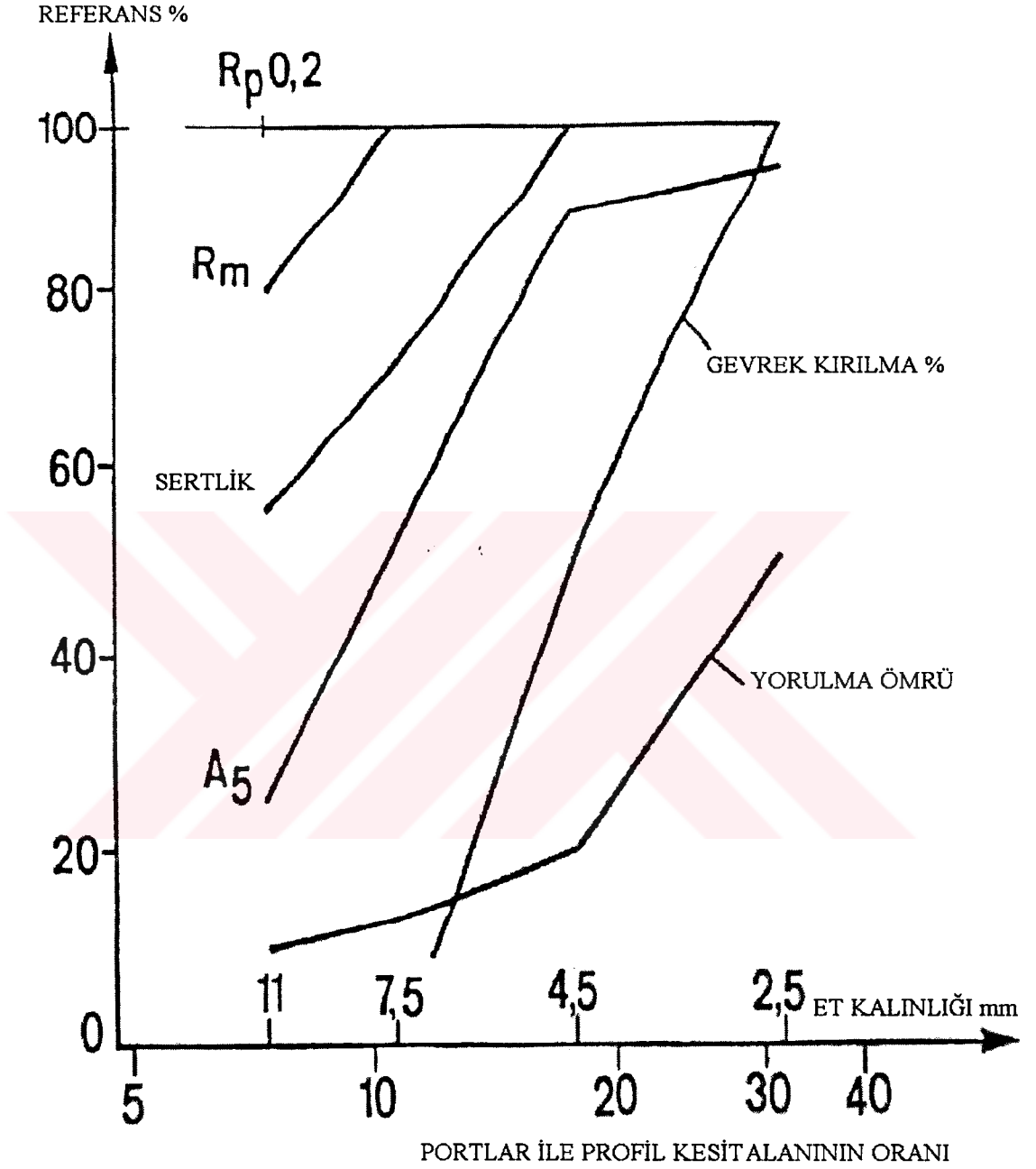
Şekil 80 Kirli bir ara yüzde kırılma. a- üniform çekme yükü, b- kaba kirlilik tanecikleri boyunca çatlak yayılması, c- düzgün tanecikler boyunca çatlak yayılması./7/



Şekil 81 Ekstrüzyon kaynağı boyunca özelliklerin kalıp durağından uzaklığa göre değişimi./7/

Diğer bir test serisinde, alın kaynaklarının uç kısımlarındaki minimum değerler, düz bir şeklin farklı kalınlıkları için belirlenmiştir. Bunun anlamıda porttan şekle olan farklı kesit alanları yani farklı ekstrüzyon oranlarıdır. (Şekil 82) Orjinal temas alanının gerinim miktarının artmasıyla, nihai çekme dayanımı hemen ana metalin seviyesini kazanır. Uzama, sertlik ve yorulma ömrü; kırılma davranışı ile ilişkili olarak; çok daha yavaş bir

oranda gelişir. Ekstrüze edilmiş kesitin sonundaki özellikler referans olarak alınabilir.



Şekil 82 Alın kaynaklarının uçları boyunca özellikler./7/

## 2-4-7 KALİTENİN TEMİNATI

Kalite teminatı geniş anlamı ile, bir ürünün yada servisin kalite için istenen gereksinimleri yeterli güvenle sağlayabilmesi için zorunlu, planlı ve sistematik olması gereken faaliyetlerin bütünüdür. Bunu daha basit ifadelerle aşağıdaki gibi açıklayabiliriz;

- Ürünün kalite karakteristiklerinin, belirli tolerans alanlarında olmasını temin etmek,
- Mümkün olan en tatmin edici ürünü elde etmek,
- Hatalı ürünlerin kontrolü.

Yerel azalmış sertliğin terimleri ile tolerans alanı, takip eden işlemler ve servis esnasındaki gereksinimlerle ilgili olarak belirlenmelidir. AA 6063 gibi alaşımlardan; ki kutu ürünlerin çok büyük kısmı bu alaşımdan üretilir; ince et kalınlığına sahip kesitler, mekanik özellikler bakımından pek kritik değildir. Diğer taraftan en kritik koşullar, ekstrüze edilen ürünün takip eden, kıvrımadan yığmaya kadar değişken işlemlerden geçmesi gerekiyorsa ortaya çıkar.

### 2-4-7-1 ÜRETİM ESNASINDA KALİTENİN TEMİNİ

Ekstrüzyon kaynakları konusunda kalitenin temini, müşterinin dizayn departmanında başlar. Ekstrüzyon teknolojisinin ne olduğu bilinmeden, tatmin edici bir şekilde üretilmesi mümkün olmayan bir şekil istenebilir. Bu durumda, müşterinin ürününün ekstrüzyonunun tavsiyelerine göre tekrar dizayn edilmesi gerekebilir. Kritik uygulamalar için, ekstrüzyon kaynaklarının yeri müşteri ile ekstrüzyoncu arasındaki karşılıklı anlaşma ile belirlenmelidir.

Bundan sonraki önemli nokta kalıp dizaynıdır. Kalıp dizaynırları ürünün gözlemlenen boyutsal toleranslarının gereksinimleri ile, takımlara yeterli ömrü sağlamak ve ekstrüzyon kaynağı için tercih edilen koşulları

elde etmek arasındaki ihtilafları uzlaştırmayı sağlamalıdır. Ekstrüzyon kaynağı teknolojisi hakkındaki bilgiler açısından, kalıp dizaynını aşağıdakileri temin etmelidir;

- Bütün kaynama odalarına, komşu gözler arasındaki boşluklarında içerecek şekilde yeterli metal beslemesi,
- Kalıp portlarının ve mandrel desteklerinin uygun yerleşimi, kritik olarak değerlendirilen yerlerde kaynaklardan mümkün olduğunca sakınmak,
- Uygun ölçülerde portların dizaynı. Eğer her bir portun kesit alanı, beslemek zorunda olduğu şeklin parçasıyla orantılı yapılırsa, alın kaynaklarının bütün uç noktaları ürünün kısa bir bölgesi içerisinde toplanabilecek ve böylece kesilip atılması gereken kısmın uzunluğu azalacaktır.

İyi dizayn edilmiş bir kalıp kaynama odalarına yeterli basıncı verecek, kaynayan yüzün yeterli bir genişlemesi elde edilecek ve alın kaynaklarının bütün uç noktaları kısa bir bölümde görülecektir. Eğer alın kaynaklarının uçlarının ürünün içerisinde kalması gerekiyorsa, bu uçlar büyük uzunluklara dağıtılmalı yada büyük kesitlerde kalıp cepleri yada portları, kaynak uçlarının kesilip atıldığı duruma nazaran daha geniş yapılmalıdır. Ceplerden ürüne kadar olan kesit alanları oranı her alaşım için ampirik olarak hesaplanmalıdır.

Bununla beraber, kalıpların doğru dizayn edilip edilmediği ancak ekstrüzyon esnasında anlaşılır. Alın kaynakları en zayıf bağlantılar olarak bilindiği için, alın kaynaklarının yeni bir şekil için yapılan ilk kalıpta test edilmesi önerilir. Bir kalıp aşağıdaki şartları sağlamadıkça tam olarak testleri geçmiş sayılmaz;

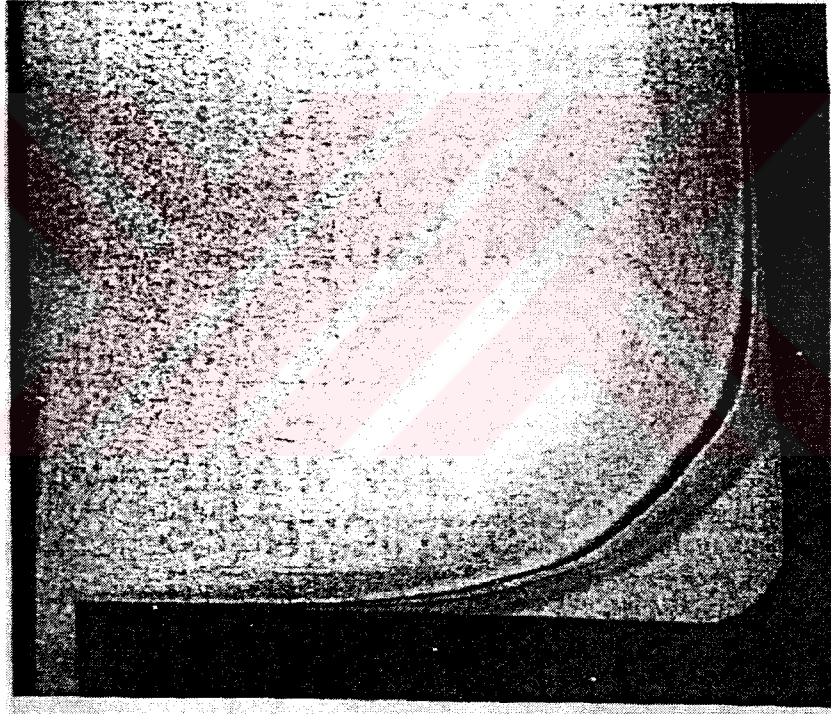
- Uygulama hızlarında bir şeklin bütün kısımlarının uygun şekilde beslenmesi gerekir. Dikkat edilecek husus gözler arasındaki kırışlardır.

■ Her bir alın kaynağının ucundan kalıp duraklamasına kadar olan mesafe ölçülmelidir.

■ Kalıp duraklamasının ardındaki kesilip atılacak uzunluk; tatmin edici bir alın kaynağı kalitesi için gereklidir; uygun mekanik testlerle belirlenmelidir.

■ Alın kaynağı ile üretilmesi ve kullanılması gereken ürünlerde, alın kaynaklarının uçlarının yeterli sağlamlığı temin edilmelidir.

■ Ara işin makaslanması ile ilgili muhtemel problemler değerlendirilmelidir.



Şekil 83 Bir portun dibinde farklı takozlardan gelen kirli malzeme tabakaları./7/

Gerçek üretimde, takozların kalite ve ölçüleri ve işlemin temizliği önemlidir. Takoz ağırlığı, kalıp duraklamasından sonra kesilmesi zorunlu

uzunluğu ve ara iş ölçülerini karşılayacak kadar olmalıdır. Eğer ara işler kolay makaslama için kısa tutulacak olursa; segregasyonsuz takozların kullanımı; ya yüzeyi işlenmiş yada özel işlemler kullanılarak dökülmüş takozların kullanılması gereklidir. Bir kez segregasyonlu bir tabaka yada diğer bir ifadeyle kirli bir malzeme kalıp ceplerine yada portlarına girerse, bu tabaka sadece incelir fakat kalıp açılıp temizlenesiye kadar asla dışarı atılamaz. (Şekil 83) Bununla birlikte, en tehlikeli kirlilikler, makas bıçağına, kalıp yüzüne, basınç yastığına yada takoz yüzeyine yanlış uygulanan yağlayıcılardır. Metalin kalıba yapışmasının bulunduğu alanlar korunmalıdır. Bu kalıp yüzeyine çok sıkı yapışmış uygun kaplama tabakalarıyla sağlanır.(Ör. Nitrür tabakası)

#### 2-4-8 EKSTRÜZYON KAYNAKLARININ İNCELENMESİ

Mekanik özellikler ile ilgilenirken ekstrüzyon kaynaklarının yumuşamış yada zayıf alanlar olmadığını vurgulamalıyız. Ekstrüzyon kaynakları esasta zarar görme ve kırılmanın ana metalden daha kolay meydana geldiği yerlerdir. Doğal olarak ortaya, ekstrüzyon kaynağının kalite karakteristikleri ile ilgili olarak anlamlı sonuçlar elde etmek için hangi inceleme metodunun kullanılması gerektiği sorusu gelmektedir. Bunun basit bir cevabı olmadığından eleme usulünü kullanmak zorundayız.

Ekstrüzyon kaynaklarının bir çoğu, çok zayıf yapışmış olsalar bile, boşluklar, oyuklarla karşılaştırılabilecek devamsızlıklar ve çatlaklar içermezler. Bu nedenle ultrasonik yada X-ışını inceleme teknikleri, ekstrüzyon kaynağının tam olarak denetlenmesini sağlayamazlar.

Çekme testleri, kaynak boyunca uygun numunelerin alınmasına geometrinin izin verdiği düşünülerek, zarar görme ve kırılma olaylarına oldukça duyarlıdır. Sadece istisna olarak kırılma maksimum yükten önce meydana gelecekse belli oranda bu inceleme tekniği geçerlidir. Bu halde de, uzama değerleri ilk önce oldukça belirgin bir düşme gösterir.

Sertlik testleri, birim çatlak yayılma enerjisinin yada kritik gerilim yoğunluğunun terimleri cinsinden sonuçlar verir, teorik olarak en uygun metottur. Bununla birlikte, bu testlerin gerçek kutu kesitlere deneme amaçlı uygulanmaları bir çok güçlükler gösterir;

■ Kaynaklar uygun numunenin alınmasına imkan vermeyecek bir pozisyonda olabilir.

■ Alın kaynakları numunenin çeperleri arasında doğrusal olarak uzanmaz fakat bir yay çizer. Kırılmanın sadece bir kısmı kaynağın ayrılmasıyla meydana gelebilir, daha büyük miktarı ise ana metalin içindedir.

■ Nümerik sonuçlar geniş bir dağılım ve eğer varsa önemli bir eğilimi yada dağılımı gösterirler.

Eğer bazı kritik uygulamalar için kutu kesitler kullanılacaksa, rutin bir işlemle test edilmelidirler. Basit ve pahalı olmayan, kaynak alanının hemen yada yakın bir gelecekte zarar görmeyeceğini ve gevrek hale gelmeyeceğini kanıtlayan testler tanımlanabilir. Bu amaçla, kaynakları içeren bölgeler özel bir radyüste kıvrılabilir. Alternatif olarak konik mandreller, şeklin boşluklarına girmeye ve onları genişletmeye zorlayabilirler. Gerçekte bu gibi testler, zarar yada kırılma meydana gelmeden önce malzemenin geçirdiği gerinim miktarı hakkında yeterli bilgi vermezler. Bilgilerimizin şu anki durumu ekstrüzyon kaynaklarının kalite kontrolü için standart koymak yada şartnameler belirlemek için yetersizdir.

## 2-5 SONUÇ

Ekstrüzyon yöntemi İnşaat, Elektronik, Otomotiv, Mobilyacılık ve Reklamcılık gibi bir çok sektörlerde kullanılan malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu kadar çok ve bir birinden farklı özelliklere sahip ürün talebine cevap verebilmek için, bazı kurallara uymak gerekmektedir.

Her şeyden önce bir ekstrüzyon ürünü talep edecek olan müşterinin, ekstrüzyon yönteminin üretim şartlarını ve koşullarını tanıyıp tanımadığı bilinmeli ve gerekiyorsa istediği ürünle ilgili teknik yardım kendisine verilmelidir. Ekstrüzyon yöntemine uygun bir ürün talebi ortaya çıktıktan sonra yapılması gereken, bu talebi en uygun şekilde karşılayacak kalıbın dizaynını ve kalıbı yapmaktır.

Kaynama olayı açısından değerlendirdiğimizde yukarıda bahsedilen çalışmalar, kaynama olayını etkileyen parametreler olan Ekstrüzyon oranı, Sıcaklık, Basınç gibi yöntemin faktörleri ve yağlama durumu gibi dış faktörlerin belirlenmesini sağlar.

Dikiş kaynakları kaçınılmaz olarak bir çok ekstrüzyon ürününde bulunmaktadır. Bu tip kaynağa sahip ürünlerin çok büyük bir yüzdesi, statik zorlamalar altında ve ana malzemenin dayanımının altındaki yüklerde kullanılmaktadır. Bu tip ürünler örneğin borular bir akışkan taşımaktan daha çok, belli bir mesafede yük taşımak yada dekoratif amaçlar ile kullanılmaktadır. Buda bu kaynaklara bahsi geçen sektörlerde en azından Alüminyum esaslı malzemeler için yeterince güven duyulmadığının bir göstergesidir. Buna rağmen bu konu ile ilgili araştırmalar sürmektedir.

Alın kaynaklarına gelince, yukarıda bahsedilen bütün sektörlerde alın kaynakları, doğru kabul edilen bir yanlış anlamayla kalıbın durma izleriyle özdeşleştirilmekte ve dekoratif amaçlarla bu iz bölgesi kesilip atılırken, en azından alın kaynaklarının uç kısımlarında kesilip atılmaktadır. Yinede alın kaynaklarının çok büyük bir kısmı alınan üründe kalmış olmasına rağmen, iç

kisimlarda bulunmaları nedeniyle varlıkları bilinmemektedir. Ekstrüzyon yönteminin bir karakteristiği olarak üretilen ürünler çok büyük çoğunlukla ekstrüzyon yönünde zorlamalar ile karşılaşmadıkları için, bu kaynaklar etkileriyle de bilinmezliklerini sürdürmektedir. Ancak denizcilikte yelkenli teknelerin yelken direkleri gibi ekstrüzyon ile üretilebilen, ancak istenen ürün boyu ile eldeki pres kapasitelerine göre kullanılan takoz ağırlıkları arasında fark bulunan ürünlerde, bu kaynakların önemi ortaya çıkmaktadır.



EK-1 Sıcak burulma testlerinden elde edilen bir çok malzemeye ait deformasyon parametreleri./1/

Malzeme	Deformasyon		$\sigma_A$ (N/mm <sup>2</sup> )	$N_{FR}$	$\varphi$	$\frac{\varphi}{\sigma_A}$
	Sıcaklığı °C					
CuZn39Pb3 .....	700		40	5.5	1.7	0.43
CuZn37 .....	750		52	6.5	2.1	0.4
CuZn30 .....	800		62	5.5	1.7	0.27
CuZn35Ni .....	800		30	6.5	4.9	1.64
CuNi18Zn20 .....	950		90	4.8	1.5	0.17
CuNi3Si .....	900		172	11.6	3.7	0.21
CuAl10Fe .....	800		52	3.0	7.9	1.52
X3CrNiMo1805 .....	1100		125	9.0	2.8	0.22
X10CrNiMoTi1810 .....	1150		173	9.0	2.8	0.16
X10NiCrAlTi3220 .....	1150		178	9.0	6.0	0.34
CuNi10Fe .....	950		92	10.4	3.3	0.36
AlMgSi0.5 .....	500		40	6.0	20.5	5.1
AlMgSi1 .....	520		42	11.8	3.4	0.81
AlZnMg1 .....	500		60	6.0	1.9	0.32
AlMg3 .....	500		82	5.3	1.7	0.21
AlMg1 .....	450		70	2.0	16.4	2.34
AlCuMgPb .....	380		129	1.2	0.6	0.04
AlSi5 .....	460		50	3.3	6.6	1.32

EK-2 Alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonu ve takozların ısı işlemleri için tipik değerler./1/

Malzeme	Homojenizasyon Sıcaklığı °C	Min. Tutma Süresi h	Konteynır Sıcaklığı °C	Takoz Sıcaklığı °C	Çıkış Hızı m/dak
Al99.8 to 99.9	580 to 600	6	380	420	50 to 100
Al99.9Mg0.5 to 0.2	560 to 580	6	390	430	50 to 80
AlMn	600 to 620	6	430	450 to 480	30 to 70
AlMg1	550 to 560	12	390	430	30 to 75
AlMg3	530 to 540	12	425	460	3 to 6
AlMg5	500 to 520	12	410	460	1.5 to 3
AlMgMn	550 to 560	12	420	450	6 to 15
AlMg4.5Mn	520 to 540	12	410	450	2 to 6
AlMgSi0.5	560 to 580	6	410	460 to 480	35 to 80
AlMgSi1	560 to 570	6	430	450 to 500	5 to 30
AlMgSiPb	430 to 450	12	360	350 to 400	22 to 5
AlCuBiPb	420 to 440	12	360	350 to 380	3 to 15
AlCuMgPb	430 to 450	12	360	350 to 420	1.5 to 3
AlCuMg1	480 to 490	12	400	420 to 450	1.5 to 3
AlZnMg1	460 to 480	12	480	500 to 530	5 to 25
AlZnMgCu0.5 to 1.5	470 to 480	12	400	420 to 430	0.8 to 2

EK-3 Kolay ve orta zorlukla ekstrüze edilen alüminyum alaşımları için aylık ton olarak yeni preslerin standart üretimleri./1/

Datum	Extrusion presses (standard series)											
	Press capacity, MN											
	4.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
Avg container diam, mm	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450
Specific pressure, N/mm <sup>2</sup>	513	520	497	491	509	508	509	512	513	505	501	503
Container length, mm	50	450	500	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600
Avg billet length, mm	300	300	350	450	600	700	750	800	850	900	1000	1000
Avg billet wt, kg	8.7	14.8	17.2	22	37	54.5	73	98.5	167	177	251	320
Extruded wt, kg	7.4	12.6	14.6	18.7	31.5	46.5	62	81	141	150	213	272
No. of extrusions per work h	(a).....	50	48	40	37	31	27	25	21	20	18	16
	(b).....	30	28	26	24	22	18	15	12	12	11	10
Theoretical output, kg/h	(a).....	354	600	630	750	1170	1460	1670	2100	2800	3810	4350
	(b).....	222	350	380	450	700	830	1000	1180	1690	2350	2720
Effective output, kg/h	(a).....	300	480	520	600	870	1170	1370	1570	2100	2650	3270
	(b).....	178	270	304	360	490	665	800	890	1260	1620	1900
Monthly output, t/400 h	(a).....	120	188	208	240	348	457	545	630	840	1060	1300
	(b).....	71	108	122	144	196	261	320	355	500	640	760
Finished product, 75% bar and sections, t/month	(a).....	90	140	150	180	260	350	410	475	630	800	1000
	(b).....	53	81	91	108	147	196	240	270	375	480	570
Finished product, 60% tube, t/month	(a).....	72	113	125	144	209	274	321	380	500	630	780
	(b).....	43	65	73	87	118	157	192	210	300	380	450
Output of semifinished products, t/month	(a).....	81	127	137	160	235	310	365	428	565	715	890
	(b).....	48	73	82	97	133	177	216	240	335	430	510
avg	.....	65	100	110	135	184	243	300	335	450	480	575

(a) 100% alloys easy to extrude: Al99.5, AlMn, AlMgSi0.5, (b) 70% alloys easy to extrude; 30% alloys moderately difficult and difficult to extrude: AlMg3, AlZnMg1, AlCuMg1 and 2.

Ek-4 Magnezyum alaşımları için takoz sıcaklıkları ve ekstrüzyon hızları./1/

Malzeme	Takoz Sıcaklığı °C	Ekstrüzyon Hızı m/dak		
		Zolobov	Pearson	Harris
Mg .....	250 to 450	..	..	..
MgMn.....	350 to 440	..	..	6 to 30
MgMn2.....	250 to 350	..	15 to 30	..
MgAl1Zn .....	300 to 420	9 to 30	..	..
MgAl2Zn .....	300 to 400	6 to 15	..	..
MgAl3Zn .....	300 to 400	2 to 6	..	5 to 12
MgAl5Zn .....	280 to 360	1 to 2.5	..	..
MgAl6Zn .....	350 to 400	..	4 to 6	2 to 6
MgAl7Zn .....	300 to 350	6 to 15	..	..
MgAl8Zn .....	300 to 420	9 to 30	..	1 to 2
MgZn2Zr .....	300 to 400	..	2 to 5	..
	300 to 400	..	0.3 to 1	..
MgZn3Zr .....	300 to 400	..	2 to 5	..
	300 to 400	..	0.3 to 1	..

EK-5 Ekstrüze edilmiş bakır alaşımlarından yapılan yarımamuller için özet bir tablo./1/

Alloy	Predominant semifinished product			Finished product
	Bar/wire	Section	Tube	
E-Cu .....	X	X	..	Electrical conductors
SF-Cu .....	..	..	X	Apparatus components, refrigerator tubes, water pipe
Low-alloy Cu:				
Not heat treatable .....	X	..	..	Electrical conductors
Heat treatable:				
CuCr, CuCrZr .....	X	..	..	Welding electrodes
CuNiSi .....	X	X	X	Bolts, electrical connectors
CuZn:				
$\alpha$ -brasses(a) .....	X	..	X	Cold formed components, heat exchanger tubes
$\beta$ -brasses(b) .....	X	X	..	Machined components, drop forged components
$\alpha$ special brasses(c) .....	X	..	X	Apparatus construction
$\beta$ special brasses(d) .....	X	X	..	Higher-strength drop forged components, engineering and bearing components
CuSn2 to 6 .....	X	..	..	Apparatus components
CuSn8 .....	X	..	X	Bearing components
CuAl5 .....	X	..	..	Tubes for chemical engineering, damper base (electrical material)
CuAl8 .....	X	..	X	Acid-resistant apparatus components, welding wire
Complex Al bronzes .....	X	..	X	Gear and worm wheels, corrosion-resistant bearing elements, nuts and bolts
CuNi5Fe .....	..	..	X	Seawater pipes
CuNi10Fe .....	..	..	X	Seawater pipes
CuNi20Fe .....	..	..	X	Condenser tubes
CuNi25 .....	X	..	..	Con. material
CuNi30Fe .....	..	..	X	Condenser tubes
CuNi30Mn .....	X	..	..	Electrical resistance wire
CuNi44 .....	X	..	..	Electrical resistance wire
CuNiZn(e) .....	X	..	..	Apparatus components, cutlery, instruments, armatures

(a) CuZn5 to CuZn46 (b) Zn  $\geq$  40%, Pb to 3.3% (c) Zn to 39% (d) Zr  $\geq$  30% (e) German silver

EK-6 1.2 VE 1.7 eşitlikleri ile birlikte kullanılacak malzeme bilgisi./3/

Malzeme	Ekstrüzyon Sıcaklığı °C (°F)	Termal İletkenlik a m <sup>2</sup> /s (ft <sup>2</sup> /s)	Termal İletkenlik k W / m . °C	Termal Difüzyet kJ / m <sup>2</sup> . °C	Makaslama Gerilmesi N / mm <sup>2</sup>
Aluminyum	450 (840)	63 × 10 <sup>6</sup> (567)	184	23.4	6.9 (11)
Aluminyum alaşımları (Cu içeren)		58 × 10 <sup>6</sup> (522)	176	23.0	24.5 (3.6)
	420 (790)				
Bakır	800-900 (1490-1650)	77 × 10 <sup>6</sup> (693)	322	36.4	9.8 (14)
Pirinç	650-850 (1200-1560)	43 × 10 <sup>6</sup> (387)	151	23.0	14.7 <sup>c</sup> (2.1) <sup>c</sup>
Kalp malzemesi X38CrMoV51 (AISI H11)	450 (840)	8.2 × 10 <sup>6</sup> (74)	39	13.8	
Kalp malzemesi X38CrMoV51 (AISI H11)	800 (1470)	5.3 × 10 <sup>6</sup> (48)	26	11.3	

## ÖRNEKLER

Bu bölümde alüminyum ekstrüzyonunda karşılaşılan kaynaklarla ilgili çeşitli örnekleri sunacağız. Bu örnekler iki bölümden oluşacaktır; birincisi kaynakların makro görünümünü ikincisinde de mikro görünümünü içerecektir.

### Örnek 1

Malzeme 7075 alüminyum alaşımı, ekstrüzyon parametreleri;

Baskı hızı : 1.18 m/dak Kovan sıcaklığı : 393°C

Ekstrüzyon oranı : 11.08 Takoz sıcaklığı : 370°C

Birinci makro görünüş ekstrüzyon eksenine dik doğrultuda kaynama bölgesi öncesini, kaynama bölgesini ve kaynama bölgesi sonrasını göstermektedir.



İkinci görünümde ise birinci görünümdeki her bir parçanın sağ uçlarını eksen kabul edilerek döndürülmüş halleri görülmektedir. Kaynama bölgesi öncesinde yani ilk takozun sonunda boru (oyuk) hatası görülmektedir. Kaynama bölgesinde, ilk takoza bakan yüzeyde boru hatası, ikinci takoza bakan yüzeyde de alın kaynağının ucunun konikliğine dik kesilmiş bölgede ilk ve ikinci takozun malzemeleri ayırd edilmektedir. Burada ilk takozun malzemesi çoğunlukta iken, ekstrüzyonun ilerlemesi ile kaynama bölgesi sonrasında ise bu oran tam tersine dönmektedir.



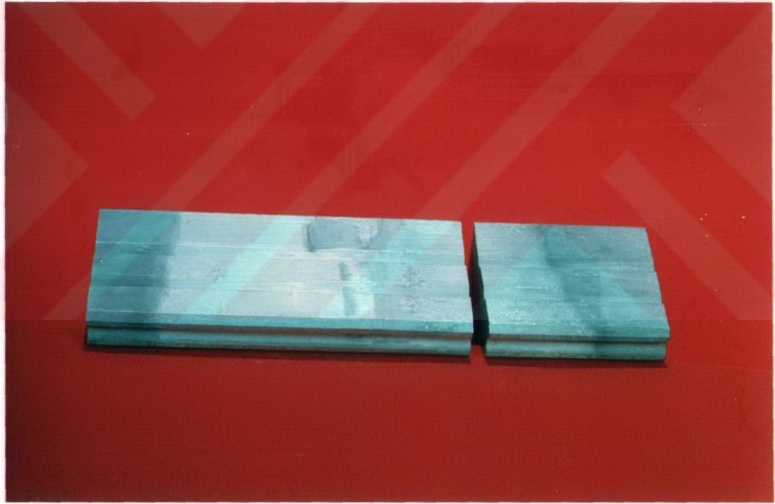
## Örnek 2

Malzeme 6063 alüminyum alaşımı, ekstrüzyon parametreleri,

Baskı hızı : 12.06 m/dak      Kovan sıcaklığı : 420°C

Ekstrüzyon oranı : 14.89      Takoz sıcaklığı : 480°C

Birinci makro görünüş ekstrüzyon eksenine dik doğrultuda kaynama bölgesi öncesini ve kaynama bölgesini göstermektedir.



İkinci makro görünüşte ise, ekstrüzyon eksenine doğrultusunda kaynama bölgesi görülmektedir. Görülen şeklin iç kısmı ikinci takozun malzemesi olup ekstrüzyon ilerledikçe bütün kesiti oluşturmaktadır.



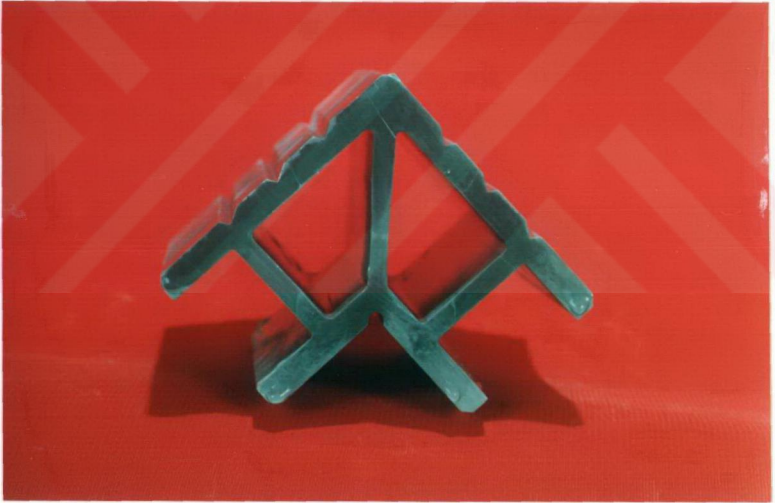
### Örnek 3

Malzeme 6063 alüminyum alaşımı, ekstrüzyon parametreleri,

Baskı hızı : 13.45 m/dak    Kovan sıcaklığı : 420°C

Ekstrüzyon oranı : 10.01    Takoz sıcaklığı : 480°C

Bu makro görünüşte ekstrüzyon ekseninden dikiş kaynakları görülmektedir. Şeklin kesitlerinin her birinde görülen açık renkli bölgeler dikiş kaynaklarını göstermektedir. Bu kaynaklar örneğin her iki ucundan bakıldığında da aynı yerdedir. Bu kaynaklar ekstrüzyon ilerledikçe yer değiştirmezler.



#### Örnek 4

Malzeme 6063 homojenize alüminyum alaşımı, ekstrüzyon parametreleri,

Baskı hızı : 14.66 m/dak      Kovan sıcaklığı : 420°C

Ekstrüzyon oranı : 26.03      Takoz sıcaklığı : 480°C

Bu makro görünüşte ekstrüzyon eksenine dik doğrultuda kaynak öncesi ve sonrası bölgelerindeki tane oluşumları arasındaki fark görülmektedir. İlk takozun son bölgesi en uzun süre sürtünmeye maruz kalıp en çok ısındığından ve araişin kesilip uzaklaştırılması, yeni takozun yüklenmesi esnasında kalıp içerisinde ve kalıba yakın bölgelerde kalıp yeterli soğutma yapılamadığından daha iri taneli olmaktadır.



### Örnek 5

Malzeme 6063 alüminyum alaşımı, ekstrüzyon parametreleri;

Baskı hızı : 14.25 m/dak

Kovan sıcaklığı : 420°C

Ekstrüzyon oranı : 7.94

Takoz sıcaklığı : 480°C

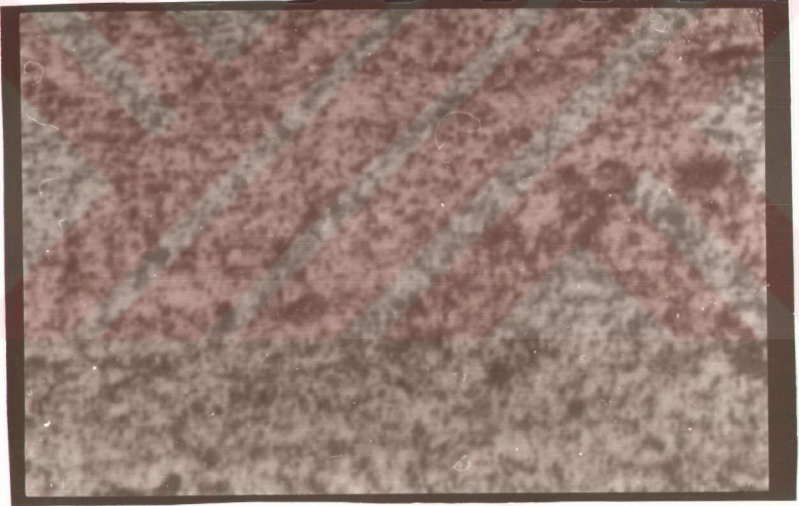
Bu makro görünümde, ekstrüzyon oranının çok düşük olması nedeniyle kalıp içerisinde yeterli basıncın oluşmaması ve bunun sonucunda yetersiz bir kaynama dolayısıyla, germe anında kaynama bölgesinin ayrılmış yüzeyleri görülmektedir.



### Örnek 6

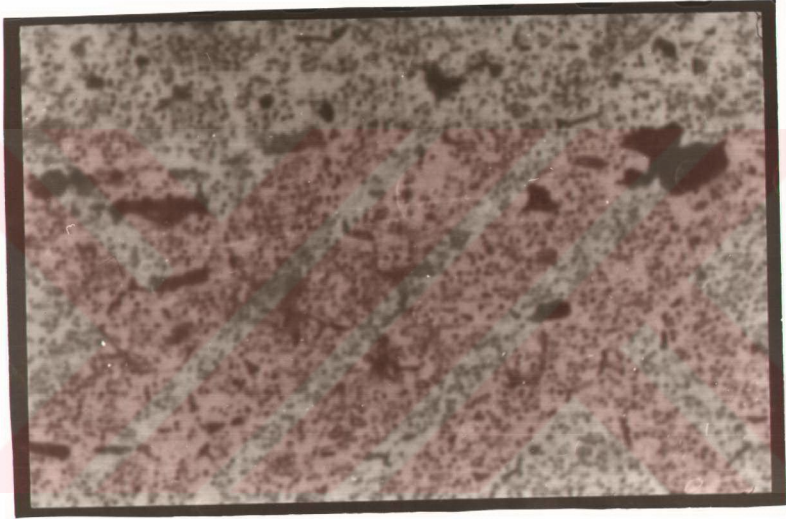
Örnek 6 ve 7 mikro görünüleri içermektedir. Bu örneklerde, makro görünüşlerde kaynama bölgesi izlenimi uyandıran bölgelerin içinde gerçekte her hangi bir kaynamanın belirtilerinin bulunmadığı, ve kaynamanın gerçekte bu bölgenin önünden arkasına kadar olan geniş bir alanda gerçekleştiği yönündeki teorileride doğrulamaktadır.

Bu örnekte 6063 malzemeye ait bir numunenin 175°C'de 8 saat yaşlandırıldıktan sonraki hali görülmektedir. Görünen tanecikler  $Mg_2Si$  çökeltileridir.



**Örnek 7**

Bu mikro görünümde 7075 alüminyum alaşımından bir numunenin 135°C'de 24 saat yaşlandırıldıktan sonraki hali görülmektedir.



## KAYNAKLAR

- 1- Dr.Ing LAUE Kurt, 1981, Extrusion Processes, Machinery, Tooling, American Society For Metals, Metals Park Ohio
- 2- Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 14, Forming and Forging
- 3- Prof. LANGE Kurt, Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill Book Company
- 4- Aluminum Extrusion Process, 1977, Kaiser Aluminum
- 5- Aluminum Extrusion Die Design, Kaiser Aluminum And Chemical Sales, Inc.
- 6- AKERET R. ,1972, The Effective and Economic Use of The Special Characteristics of Aluminum and Its Alloys, Properties of Pressure Welds in Extruded Aluminum Alloy Sections.
- 7- AKERET Rudolf, 1992, 5<sup>th</sup> International Aluminum Extrusion Technology Seminar Papers, Extrusion Welds- Quality Aspects are Now Center Stage
- 8- Y.Doç.Dr. SÖNMEZ Hüseyin, 1989, Metal Ekstrüzyonu, Eğitim Yayınları A.Ş.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı : Ahmet

Soyadı : ÖZYÜREK

Doğum tarihi : 06.09.1970

Doğum yeri : Turgutlu

Uyruğu : T.C.

### Bitirdiği Eğitim Kurumları :

Lise : Turgutlu İmam Hatip Lisesi 1981-1988

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi  
Makina Mühendisliği Bölümü 1988-1993