

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ
Prof. M. Emin Yürcü
Prof. Dr. Nilvan Sönmez

85037

**EKSTRÜZYON
MATRİS KANALLARININ
ŞEKİL VE BOYUT YÖNÜNDEN
ARAŞTIRILMASI**

Mak.Müh. Haluk KEJANLI

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 1999

85037

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Ekstrüzyon Yöntemleri.....	2
1.1.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi.....	2
1.1.2 Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi.....	4
1.1.3 Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi.....	5
1.2 Ekstrüzyon da Malzeme Akışı.....	6
1.3 Ekstrüzyon Takımları.....	8
1.3.1 Ekstrüzyon da Takım Hataları Nedenleri ve Önlemleri.....	9
1.3.2 Hataların Sınıflandırılması.....	9
1.3.2.1 Alıcı.....	9
1.3.2.2 İstampa.....	16
1.3.2.3 Ön Levha.....	20
1.3.2.4 Mandreller.....	23
1.4 Ekstrüzyon Takımları İçin Takım Çelikleri.....	27
2. MATRİSLER.....	30
2.1 Matris Malzemeleri.....	31
2.2 Matris Şekilleri ve Dizaynı.....	33
2.2.1 Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri.....	36
2.2.2 İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri.....	38
2.2.2.1 Köprülü Matrisler.....	38
2.2.2.2 Spider Matrisler.....	40
2.2.2.3 Odalı Matrisler.....	42

2.3	Matris Dizaynına Etki Eden Faktörler.....	44
2.3.1	Malzeme Akışının Kontrolü.....	45
2.3.2	Yüzey Kalitesi.....	46
2.4	Matris Hataları.....	47
3.	MATRİS KANALI.....	60
3.1	Matris Kanal Uzunluğu.....	60
3.2	Matris Kanal Uzunluğunun Dizaynı ve Boyutlandırılması.....	61
3.2.1	Matris Dizayn ve Şeklinin Malzeme Akışına, Ekstrüzyon Kuvvetine ve Hızına Etkisi.....	68
3.2.2	Yuvarlak Bir Parça için Gerekli Kuvvet.....	68
3.2.3	Parça Şekillerinden Dolayı Kuvvetteki Artış.....	71
3.2.4	Matris Açıklıklarının ve Şeklinin Etkisi.....	71
3.3	Matris Kanalında Sürtünme	75
3.3.1	Matris Kanalında Sürtünme Mekanizmaları İçin Model.....	76
3.3.2	Matris Kanalındaki Sürtünme Kuvveti.....	79
3.3.3	Kesit Şekli ile Isı Dengesindeki Değişme.....	81
3.3.4	Yuvarlak Bir Çubuk Kesitinin Üretimi İçin Gerekli Güç.....	82
4.	SONUÇ.....	84
	KAYNAKLAR.....	86

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Direkt ekstrüzyon yöntemi..... 3
Şekil 1.2	Direkt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri..... 3
Şekil 1.3	Endirekt ekstrüzyon yöntemi..... 4
Şekil 1.4	Endirekt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi..... 4
Şekil 1.5	Hidrostatik ekstrüzyon donatımı (şematik)..... 5
Şekil 1.6	Hidrostatik ekstrüzyon, kuvvet eğrisi ve malzeme akışı..... 6
Şekil 1.7.	Malzeme akış tipleri 7
Şekil 1.8	Alıcı çatlağın nedeni: kama yatağında ve ısıtıcı bağlantısı üzerinde keskin kenarlar..... 10
Şekil 1.9	Üç parçalı alıcıda keskin köşelerde ve ısıtma deliklerinde çatlaklar.... 11
Şekil 1.10	Alıcıda yorulmadan meydana gelen çatlama..... 11
Şekil 1.11	Alıcıda termal şok gerilmeden kaynaklanan çatlak..... 12
Şekil 1.12	Alıcıda kaynak hatasından meydana gelen çatlak..... 13
Şekil 1.13	Gömlekte termal yorulma çatlağı..... 13
Şekil 1.14	Sıcak takım çeliklerinin (1.2344, 1.2779) sıcak akma noktası..... 14
Şekil 1.15	Aşırı yüklenmeden kaynaklanan ıstampa çatlağı..... 17
Şekil 1.16	Tek yanlı aşırı gerilme nedeniyle kırılan pres çubuğu..... 17
Şekil 1.17	Düzensiz gerilmeler nedeniyle çatlayan ıstampa..... 18
Şekil 1.18	Hatalı ısıl işlem sonucu kırılan ıstampa..... 19
Şekil 1.19	Fazla yüklemekten dolayı ıstampada çatlama..... 19
Şekil 1.20	Makina da işleme hatasından meydana gelen ön levhada çatlama..... 21
Şekil 1.21	Ön levhanın değişik görünüşleri..... 22
Şekil 1.22	Sıcak iş çeliklerinin tavlama diyagramları..... 22
Şekil 1.23	Ti içeriğini artırarak mukavemet artışı..... 23
Şekil 1.24	Mandrelde (1.2367) erken kırılmaya neden olan termal fazla yüklenim..... 24
Şekil 1.25	Mandrel 1.2367 ile farklı performans..... 25
Şekil 1.26	Termal şok çatlaklar ve soğutma hataları nedeniyle bozulmuş mandrel..... 26
Şekil 1.27	Nitritli bölgede termal şok çatlakların neden olduğu arıza..... 27
Şekil 2.1	Matris grubu..... 31
Şekil 2.2	Ekstrüzyon presinde normal matris takımının yapısı..... 34
Şekil 2.3	Düz ve konik matris..... 35
Şekil 2.4	Matris tipleri..... 36
Şekil 2.5	Expansion ön odalı matris..... 37
Şekil 2.6	Altı kanallı köprülü matrisin ilk uygulaması..... 38
Şekil 2.7	Tek parçalı köprülü matris..... 39
Şekil 2.8	Üç profilli değiştirilebilir parçalı köprülü matris dizaynı..... 40
Şekil 2.9	İki parçalı spider matris..... 41
Şekil 2.10	Altlığı spider takıma monte edilmiş konstrüktif yapı..... 42
Şekil 2.11	İki parçalı odalı matris..... 43
Şekil 2.12	Odalı matrisin şematik görünümü..... 44
Şekil 2.13	Alıcı içersinde malzeme akışı..... 45
Şekil 2.14	Matriste köşe yuvarlatmaları..... 46
Şekil 2.15	Matriste malzeme hatasından (gözenek) meydana gelen

	arıza (1.2343).....	48
Şekil 2.16	ESR malzemenin darbe dayanıklılığı karşılaştırması.....	48
Şekil 2.17	Malzeme ve ısıtılma hatalarından dolayı matriste oluşan hata.....	49
Şekil 2.18	1.2343 malzemenin darbe dayanıklılığında ESR ve AOD karşılaştırılması.....	50
Şekil 2.19	Tavllanmış çeliğin mikroyapısı.....	50
Şekil 2.20	Hatalı dizaynın neden olduğu matris hatası.....	51
Şekil 2.21	Isıl işlem hatasından kaynaklanan çatlak.....	51
Şekil 2.22	Hatalı ısıtılma nedeniyle matriste meydana gelen plastik deformasyon.....	52
Şekil 2.23	Yetersiz sertleştirme işleminin neden olduğu matris hatası.....	52
Şekil 2.24	% 0,2 sünme limiti ile % 0,2 akma mukavemetinin H11 (x38CrMoV51) de yükseltilecek sıcaklıklarda karşılaştırılması.....	53
Şekil 2.25	Farklı sıcak iş çeliklerinin sünme kopma mukavemeti.....	54
Şekil 2.26	Matriste, yetersiz ön tavlama ve ısıtılma hatası sonucu oluşan çatlak.....	54
Şekil 2.27	Matriste kritik bölgede meydana gelen çatlak.....	55
Şekil 2.28	Matriste, ısıtılma hatası sonucu oluşan çatlak.....	56
Şekil 2.29	Fazla nitritlenmeden dolayı matriste pullanma.....	57
Şekil 2.30	Matris çevresinde ince çatlaklar.....	57
Şekil 2.31	Akış oranının darbe tokluğu üzerindeki etkisi.....	58
Şekil 2.32	Uygun olmayan kaynak yapılması nedeniyle çatlayan matris.....	59
Şekil 3.1	Profil ağırlık merkezi ile matris ağırlık merkezinin çakışması.	61
Şekil 3.2	Simetrik bir profilin matris yüzeyindeki dizaynı.....	62
Şekil 3.3	Hatalı ve hatasız matris dizaynında ölü bölgenin durumu ve mamulde meydana gelen hata.....	62
Şekil 3.4	Düz matriste köşe yuvarlatmaları.....	63
Şekil 3.5	Profil kesitlerine bağlı olarak matris kanal uzunlukları.....	64
Şekil 3.6	Matris kanal yüzeyi (şematik).....	65
Şekil 3.7	Açık kanatlı, sabit kesitli profilde matris kanal uzunluğunun değişimi.	66
Şekil 3.8	Değişken kesit kalınlıkları ile matris kanal uzunluklarının değişimi.	67
Şekil 3.9	Blok ve çubuğun alt bölümü.....	69
Şekil 3.10	İki delikli ve H profilli matriste blokun matris deliğine akışı.....	72
Şekil 3.11	Bir düz kesitin dar kenarındaki (taralı alan) kesme kayıpları.....	72
Şekil 3.12	Sıkışmazlık şartını sağlayan merkezi kaçık çubuktaki akış çizgileri.....	73
Şekil 3.13	I_m^* parametresinin tanımı.....	74
Şekil 3.14	Çeşitli geometrik parametrelerin fonksiyonu olarak ekstrüzyon yükü.....	75
Şekil 3.15	Normal gerilme P_n ve sürtünme gerilmesi τ 'nin eğim açısı α 'ya bağlı değişimi.....	77
Şekil 3.16	Profil çevresinin ekstrüzyon yüküne (kuvvetine) etkisi; deneysel veriler sürtünme alanından hesaplanan veriler ile karşılaştırılarak kurşunla yapılan deney sonuçları.....	78
Şekil 3.17	Çatlamaya duyarlı kanal kesit bölgesi.	82

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Alıcıların imalinde kullanılan malzemeler.....	15
Çizelge 1.2 Istamp malzemeleri.....	16
Çizelge 1.3 Ön levha için sıcak iş çelikleri.....	20
Çizelge 1.4 Mandrel malzemeleri.....	24
Çizelge 1.5 Sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonu.....	28
Çizelge 1.6 Ekstrüzyon takımlarında kullanılan sıcak iş çelikleri.....	28
Çizelge 1.7 Ekstrüzyon takımları için özel alaşımlar.....	29
Çizelge 2.1 Ekstrüzyon matrislerinde kullanılan malzemelerin sıcaklıkları ve bileşimleri.....	32
Çizelge 2.2 Matris malzemeleri.....	32
Çizelge 3.1 Sembollerin tanımı.....	70

ÖZET

Ekstrüzyon yöntemi, çeşitli profillerin imalatında kullanılan ve günümüzde çok yaygın uygulama alanı bulan, önemli bir plastik şekil verme yöntemidir. Bu yöntemde, yöntemin ekonomikliğini, profillerin yüzey kalitesini ve boyut hassasiyetini etkileyen en önemli eleman matristir. Matris ekstrüzyon mamul ve yarı mamulüne son şeklini veren eleman olması dolayısıyla matris dizaynında ve imalatında gereken dikkatin gösterilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde, ekstrüzyon işleminin esası, malzeme akışı ve takımlar incelenmiştir. Ekstrüzyon işleminde, hem alıcı içerisinde, hem de matris delik kanalında malzeme akışı, ekstrüzyon kuvvetini, mamul kalitesini, takım zorlamalarını ve artık malzeme miktarını etkilediğinden, bu bölümde malzeme akışı üzerinde durulmuştur. Ayrıca takımlar ve takımlardan kaynaklanan hatalar incelenmiştir. İkinci bölümde, çalışmanın esasını teşkil eden, matrisler, malzemeleri, matris kanalında malzemenin akışının kontrolü ve etkileri ve matris hataları incelenmiştir. Matrisin, ömrünün uzunluğu ve kalitesi, matris malzemesinin doğru seçimine ve profile uygun dizaynın yapılmasına bağlıdır. Bu nedenle matris malzemeleri ve dizaynı ikinci bölümde geniş bir şekilde incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, matris delik kanalındaki olaylar ele alınmıştır. Matris kanalındaki akışın, matrisin her noktasında kontrollü olarak sürdürülmesi ve bu amaçla sürtünmeye dayalı, bir uygulama olan, farklı akma yüzey uzunluklarının, matris dizaynında doğru olarak uygulanması önem kazanmaktadır. Ayrıca matris dizayn ve şeklinin, ekstrüzyon parametrelerine etkisi incelenmiştir.

ABSTRACT

In recent years, extrusion process used for fabrication of various profiles, is one of the widely applied plastic deformation process. In this process, extrusion die significantly has an effect on product quality, and cost saving. Necessary importance and attention should be given for fabrication of extrusion dies since they give the final shape on semi-finished products.

In the first section, essentials of extrusion, materials flow and tools were examined. In extrusion process, since materials flow through die channels strictly effect extrusion force, product quality, residue and tool deformation, relevant to materials flow studied in this chapter. Also tools and tools originated failures were examined. In the second section, extrusion die, die materials, flow control effects, die failures were examined to perform the main aspect. The service life and a quality of a tool are closely effected by tool material and extrusion die design. In light of this importance, the subject is widely studied in the second section.

In the third and the final section of our research work, subject related to die channel openings were handled. During the deformation process the material to be extruded slides over the active surface of the extrusion press tools which give it the geometrical shape desired. Consequently, friction and wear created between both participants in the sliding couple. Therefore controlled material flow over the mechanism in conjunction with die design and die shape is decisive importance on the overall extrusion process. On the other hand, effects die design and shape on extrusion parameters were examined.

1. GİRİŞ

Ekstrüzyon, metallerin plastiklik özelliğinden yararlanarak, şekillendirilecek malzemeyi matris adı verilen kalıptan basınç vasıtasıyla geçirilerek basit ve karmaşık profiller imal etmeye yarayan bir plastik şekillendirme yöntemidir.

Günümüzde çok yaygın uygulama alanı bulan ekstrüzyon yöntemi çubuk, profil, boru, tel ve diğer kalın cidarlı profillerin biçimlendirilmesinde kullanılan önemli bir plastik şekil verme yöntemidir. Ekstrüzyon yöntemi ile biçimlendirilen malzemelerin ve yarı mamullerinin çeşidi hızla artmaktadır. Yöntemdeki gelişmelerle hatasız olarak direkt mamul dahi elde edilebilmektedir.

Ekstrüzyon yönteminin ilk uygulaması 1797 yılında ekstrüzyonun babası sayılan İngiliz Joseph BRAMAH adındaki hidrolik mühendisinin kurşun boru imali için patent alması ile görülmektedir. 1820 yılında Thomas BURR'un hidrolik preslerdeki gelişmeyi değerlendirip kurşun bloklardan boru imal etmek için bir hidrolik pres geliştirmesiyle ekstrüzyon uygulamaları kendini yenilemeye başlamıştır. Daha sonra 1837 yılında J.C. HANSON adlı araştırmacılar alıcı, ıstampa ve matris düzenlenmesinde yeni gelişmeler sağlamışlardır.

Üretim bakımından pres üzerindeki çalışmalar 1867 yılında HAMON, 1870 yılında HEINES, J.W. WEEMS, 1879 yılında BOREL ve WESSAU, 1880 yılında EATON 'la devam etmiştir. 1894 yılında Alexander DICK 'in ilk ekstrüzyon presi için patent alması ile bakır, pirinç, alüminyum gibi metaller ile çeşitli profillerin üretimi başlamış gelişmelerle bugünkü modern üretim ve tezgahlara ulaşılmıştır.

Ekstrüzyon işleminde alıcı içerisindeki plastiklik özelliği olan malzeme, basınç altında profil kesiti taşıyan matris kanalından geçirilerek biçimlendirilmektedir. Biçim veren matrislerin uygun dizayn edilmesiyle ekstrüzyon malzemesinin cinsine bağlı olarak basit veya karmaşık profilli çubuklar elde edilir.

Matris, üzerinde imal edilecek profilin kesiti kanal şeklinde açılmış, bloka basınç altında profil şeklini veren matris takımıdır. Bu nedenle matris, profilin tüm detaylarını içerir. Matriste oluşacak hata direkt olarak profile yansır (Sönmez, 1989).

1.1 Ekstrüzyon Yöntemleri

Yöntemin ilk uygulaması olan direkt ekstrüzyon dan itibaren prodüktiviteyi artırmak için ekstrüzyon kuvveti, malzeme akışı, takım dizaynı, ekstrüzyon malzemesi, profil kalitesi gibi faktörler üzerinde yapılan çalışmalarla diğer ekstrüzyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak malzeme akış yönüne, matrisin hareketli veya sabit olmasına, kuvvet iletme tarzına göre;

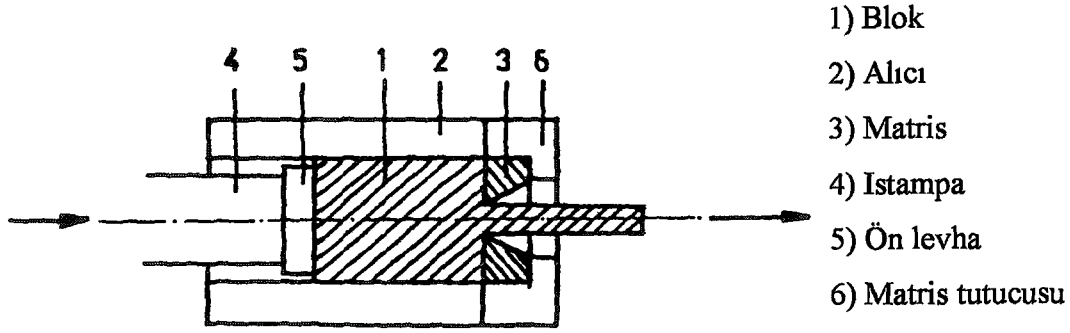
- a) Direkt ekstrüzyon
- b) Endirekt ekstrüzyon
- c) Hidrostatik ekstrüzyon

yöntemleri geliştirilmiştir (Sönmez, 1989).

Ekstrüzyon yöntemi ile malzemelere şekil vermede ilk kullanılan yöntem, direkt ekstrüzyon yöntemi olmuştur. Yöntem uygulamaya başlandığında, sürtünmeden dolayı ekstrüzyon kuvvetinin arttığı, çeşitli ekstrüzyon hatalarının oluşması ve ekstrüzyon artığının fazla olduğunun görülmesi üzerine çalışmalar bu olumsuz etkilerin en aza indirileceği yeni yöntemler geliştirilmiştir.

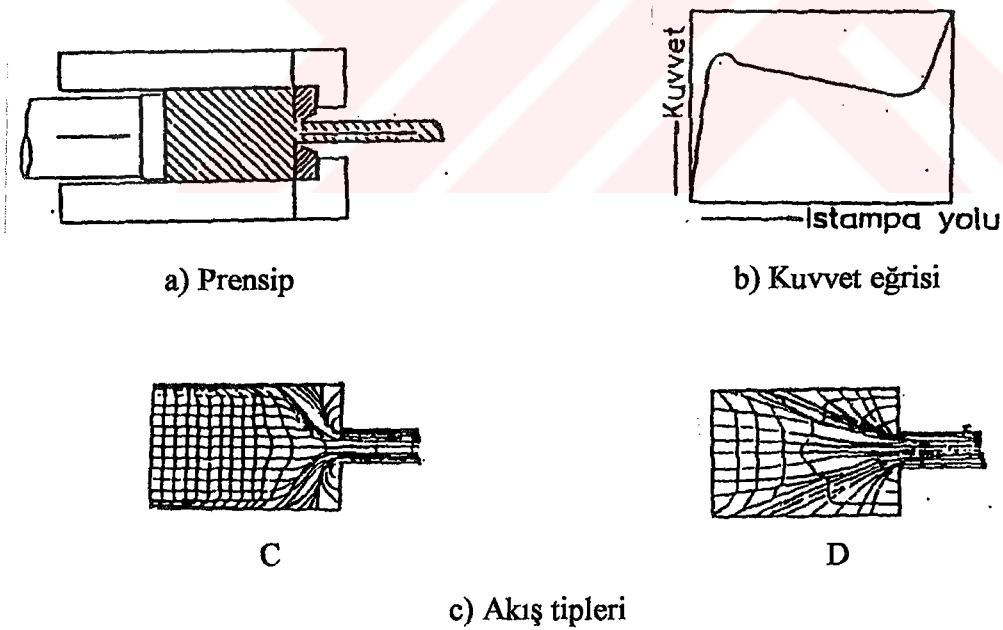
1.1.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

Ekstrüzyon yöntemleri içinde ilk olarak uygulanan günümüzde en yaygın olarak kullanılan direkt ekstrüzyon yöntemidir. Direkt ekstrüzyon yönteminde, alıca içerisindeki blok ıstampa tarafından itilerek diğer uçtaki matris deliğinden geçirilir (Şekil 1.1). Malzeme akış ve zorlama yönü aynıdır, matris sabittir, ıstampa ve blok alıcıya göre bağıl hareket yaparlar. Bu bağıl hareketten dolayı alıcı ve blok arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünme kuvveti blokun matrise doğru ilerlemesini engeller, gerekli ekstrüzyon kuvvetini ve ekstrüzyon artığını artırmaktadır. Alıcı blok ile alıcı arasındaki sürtünmeden dolayı blok çevresi yavaş, blok merkezi hızlı hareket ederek blok sonunda huni biçiminde bir boşluk meydana gelmektedir. Büyük ekstrüzyon kuvveti uygulayıp blokun tamamı ekstrüzyon edilse dahi yarı mamulün sonu hatalı olmaktadır. Bu nedenle direkt ekstrüzyon yönteminde bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmalıdır (Sönmez, 1989).



Şekil 1.1 Direkt ekstrüzyon yöntemi (Sönmez, 1989).

Sürtünme, ekstrüzyon kuvvetini artırdığı gibi düzensiz bir malzeme akışına da neden olmaktadır. Sürtünme az olduğunda C tipi akışı, yüksek olduğunda D tipi akışı oluşmaktadır. Sürtünmenin bu etkisi ekstrüzyon profilinin uzunluğu boyunca özelliklerin değişmesine ve bazı hatalara neden olmaktadır. Şekil 1.2'de de direkt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri topluca görülmektedir.



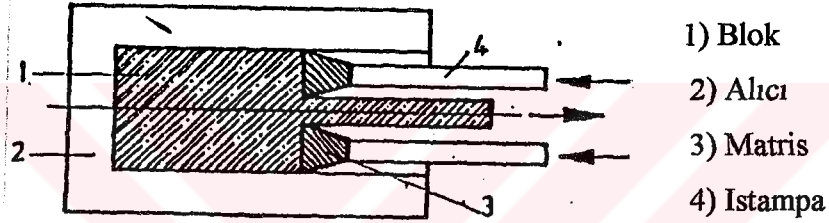
Şekil 1.2 Direkt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri (Sönmez, 1989).

Direkt ekstrüzyon yöntemi dezavantajlarına rağmen takım düzenlenmesi basit ve işletme yönünden kolay olduğundan çok tercih edilen bir yöntemdir. Çeşitli dolu ve içi boş profiller istenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta imal edilebilirler. Bu yöntemde matris çapı, alıcı iç çapı

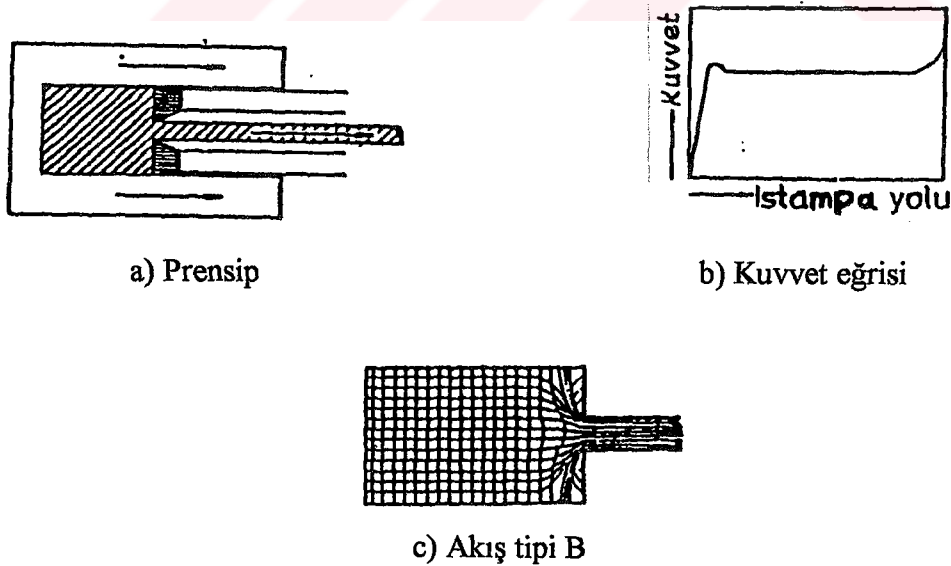
tarafından sınırlanmakta ve takım ömrü endirekt ekstrüzyona göre daha kısadır (Sönmez, 1989).

1.1.2 Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi

Endirekt ekstrüzyon yönteminde matris içi boş bir ıstampaya monte edilir ve ıstampa ile birlikte hareket eder (Şekil 1.3). Matris hareketli blok sabit olduğundan ıstampa alıcıya göre bağıl hareket yaparken, blok ile alıcı arasında bağıl hareket yoktur. Malzeme akışı ile zorlama yönü tam zıttır. Şekil 1.4'de endirekt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Endirekt ekstrüzyon yöntemi (Sönmez, 1989).

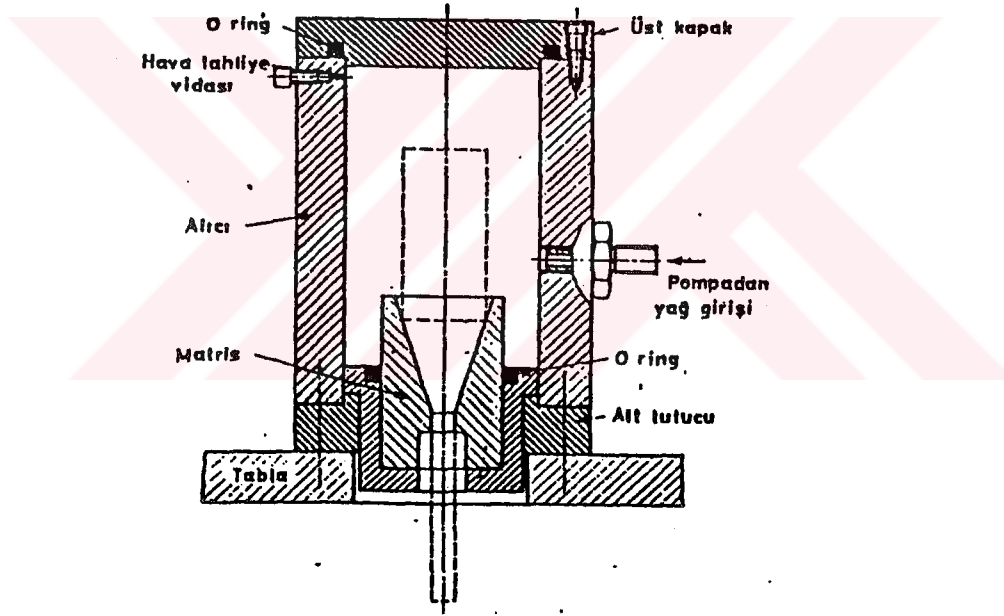


Şekil 1.4 Endirekt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi (Sönmez, 1989).

Bu yöntem ile ekstrüzyon da, blok yüzeyi ile alıcı cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır. Endirekt ekstrüzyon da kayıp miktarı direkt ekstrüzyona göre azdır. Aynı zamanda malzeme akışı düzenli olmakta (B akış tipi) ve ekstrüzyon hatalarının oluşum oranı azalmaktadır.

1.1.3 Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

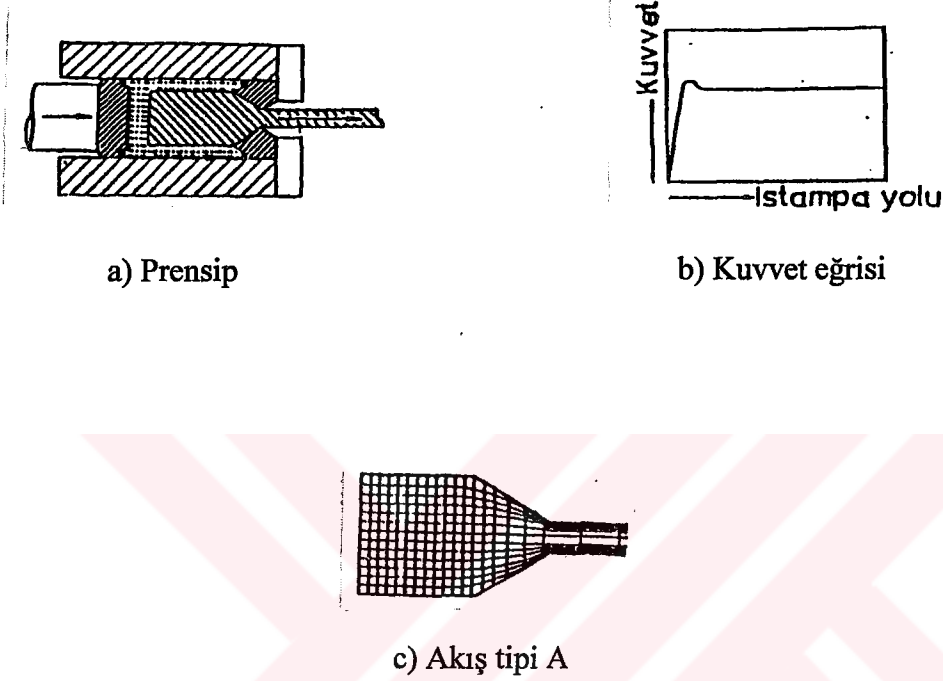
Hidrostatik ekstrüzyon da blok, akışkan basıncıyla matris profil deliğinden geçirilerek istenilen ekstrüzyon mamulü imal edilir. Alıcıda ıstampa kuvveti, bloku çevreleyen basınç ortamı ile sağlanır (Şekil 1.5). Blok ile takımlar arasında sürtünme olmadığından ekstrüzyon kuvveti daha az olmaktadır. Bu yöntemde ideal akış tipi (A tipi akış) sağlanmaktadır.



Şekil 1.5 Hidrostatik ekstrüzyon donatımı (Sönmez, 1989).

Hidrostatik ekstrüzyon da basınç ortamı, işletme şartlarına göre değişik şekillerde düzenlenebilir. Uygulamada, yöntem sadece plastiklik özelliği iyi olmayan metallerin biçimlendirilmesinde kullanılmayıp, alüminyum ve bakır alaşımlarının da biçimlendirilmesinde önemli alaşımlar sağlamaktadır. Bu yöntemde hem sıcak hem de soğuk bloklarla çalışmak mümkündür. Hidrostatik ekstrüzyon da radyal basınç ile aksenal basınca eşittir. Bu nedenle daha yüksek basınç zorlamalarının etkisi altında kalacaklarından,

takımların konstrüksiyon ve malzemelerinin seçiminde ve alıcı yapımında gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir. Şekil 1.6'da hidrostatik ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi gösterilmiştir.



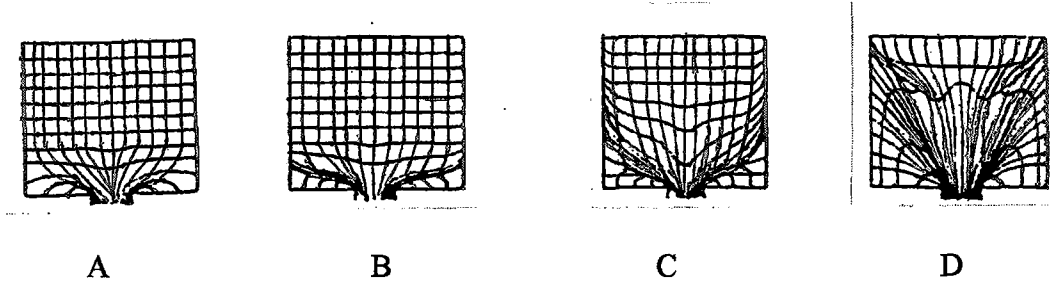
Şekil 1.6 Hidrostatik ekstrüzyon, kuvvet eğrisi ve malzeme akışı (Sönmez, 1989).

Yöntemde basıncı sağlayan akışkan ile dolu alıcı, ıstampa ve matriste sızdırmazlık temin edilmiştir. Akışkan basıncı, ekstrüzyon edilecek malzemenin akma gerilmesine ve ekstrüzyon oranına bağlı belirli bir değere ulaştığında malzeme matris deliğinden akmaya başlar. İşletmede temel sorun sızdırmazlıktır. Blok ekstrüzyon işleminden önce yüzey hatalarından arındırılmalı ve matris deliğine uygun bir koniklikte işlenmelidir. Yöntem bu dezavantajlarına rağmen klasik ekstrüzyon yöntemlerine göre avantajlıdır (Sönmez, 1989).

1.2 Ekstrüzyon da Malzeme Akışı

Ekstrüzyon işlemi sırasında malzemenin hareketi yani malzemenin akışı imalatın kalitesini çok büyük oranda etkilemektedir. Malzeme akışının düzenli veya düzensiz olması mamulün kaliteli veya kalitesiz (çeşitli ekstrüzyon hataları) olmasına neden olur. Aynı zamanda ekstrüzyon kuvvetlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Ekstrüzyon işleminde, işlem şartlarına bağlı olarak dört tip akış oluşabilmektedir. Bu akış tipleri A, B, C ve D şeklinde karakterize edilmektedir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Malzeme akış tipleri (Wegst, 1981).

A tipi akış:

Bu akış tipi, alıcı iç cidarlarında, matris ve matris deliği yüzeyinde, sürtünmenin olmadığı ve homojen malzemelerde olmaktadır. Bütün sınır yüzeylerinde sürtünme olmadığından bloğun çevresi frenlenmeden kolayca hareket edecek ve bunun sonucunda blokun bütün kütlesi aynı hızla hareket ederek malzeme akışı düzenli olacaktır. İdeal akış tipi olan A tipi akış hidrostatik ekstrüzyon la sağlanmaktadır.

B tipi akış:

Blok ile alıcı arasında sürtünmenin sıfır kabul edildiği, fakat matris ve matris tutucusu yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin ihmal edilemeyecek kadar küçük olmadığı durumlarda, homojen malzemelerde B tipi akış meydana gelir. Bu durumda, kenar bölgelerin matris deliği doğrultusunda radyal akışı engellenir ve bunun sonucu olarak daha büyük kayma gerilmesi ortaya çıkabilir. Böylece A tipine göre daha büyük bir ölü bölge ve genişlemiş bir biçim değiştirme bölgesi oluşur. Blokun çevresinde biçim değiştirme düzgün olarak meydana gelir.

C tipi akış:

Bu akış tipi, alıcı cidarlarında, matris ve matris tutucusu yüzeylerinde, matris deliğinde sürtünme olduğunda ve homojen malzemelerde oluşur. Blokun çevresi daha alıcı cidarlarında frenlenmekte ve blokun merkezi az direnç görmesi nedeniyle matris deliği yönünde hareket etmektedir. Şekil değiştirme B tipine göre matrisin çok uzaklarında başlar. Matristen dışarıya çıkan her kesit sürtünme etkisiyle blokun iç kısmı ile irtibatla kaldığından müteakip kesitler için çıkış açıklığı sürekli olarak daralır. Bundan dolayı şekil değiştirme miktarları çubuğun ucundan sonuna doğru gittikçe artar.

D tipi akış:

Bu akış tipi, C tipinde olduğu gibi, sadece sürtünenin çok olduğu durumlarda değil ayrıca ekstrüzyon malzemesinin şekil değiştirme direncinin blok kenar bölgesinde, blok içine göre fazla olduğu durumlarda meydana gelir. Şekil değiştirme matrinden çok uzaklarda başlar. Ekstrüzyon işleminin başlangıcında malzeme akışının yönü, ön levhanın dış kenarından matris profiline doğrudur. Bu nedenle D tipinde oluşan ölü bölge C tipinden daha büyüktür. D tipi akış ekstrüzyon yönteminde asla istenmeyen bir akış tipidir.

1.3 Ekstrüzyon Takımları

Bir ekstrüzyon donatımı çok sayıda takımlardan oluşur. Ekstrüzyon takımlarının ana elemanı preslerdir. Ekstrüzyon da kullanılan presler genellikle hidrolik preslerdir, pistonun hareket tarzına göre yatay presler ve dikey presler olarak sınıflandırılır ve gücüne göre anılırlar. Ekstrüzyon presleri kalıp ve takım malzemelerinin kolayca yenilenip değiştirilebileceği şekilde dizayn edilirler. Alıcı, ıstampa, matris ve matris tutucuları, gömlekler, mandrel ve ön levha önemli ekstrüzyon takımlarıdır. Ekstrüzyon takımları gerilmelere, oksidasyona, ısı şoklarına yüksek oranda maruz kalırlar ve malzemeleri zorlama durumlarına göre seçilir. Ekstrüzyon elemanlarından bazıları ekstrüzyon işlemine doğrudan katılır, bazıları ise koruyucu ve yardımcı elemanlardır. Uygulanacak ekstrüzyon yöntemine göre hangi takımların gerekli olduğu kullanılan alaşımın cinsine göre, boru, çubuk veya profile bağlı olmaktadır. Her bir takımın ayrı bir görevi vardır, presin dışında önemli ekstrüzyon takımları şunlardır;

1. Alıcı,
2. İstampa,

- 3) Ön levha,
- 4) Matris,
- 5) Mandrel.

1.3.1. Ekstrüzyon da, Takım Hatalarının Nedenleri ve Önlemleri

Yarı bitimli ekstrüzyon ürünlerinin ekonomikliliğini sadece takım fiyatı belirlemez, takım ömrü de önemlidir. Bir takımın kullanım süresi doğal olarak sınırlıdır. Kullanım süresi takımın kendisine bağlıdır, yani malzemeye, ısıl işlemine, malzeme özelliklerine, takımın üretim ve dizaynına bağlıdır. Çalışma koşulları da son derece önemlidir; Örneğin alaşım tipi, ekstrüzyon sıcaklığı, deformasyon direnci, ekstrüzyon süresi, ekstrüzyon hızı ve diğer bir çok faktörler. Eğer bir takım erken arızalanıyorsa, önemli olan bunun nedenini bulmak ve tekrar etmesini engellemektir. Aşağıda takım hataları ile ilgili bazı örnekler açıklanmıştır. Hata nedenleri tanımlanmış ve bu hatalardan kaçınma ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur (Kortmann, 1990).

1.3.2 Hataların Sınıflandırılması

Takımlardaki hataların nedenlerini şöyle sınıflandırabiliriz:

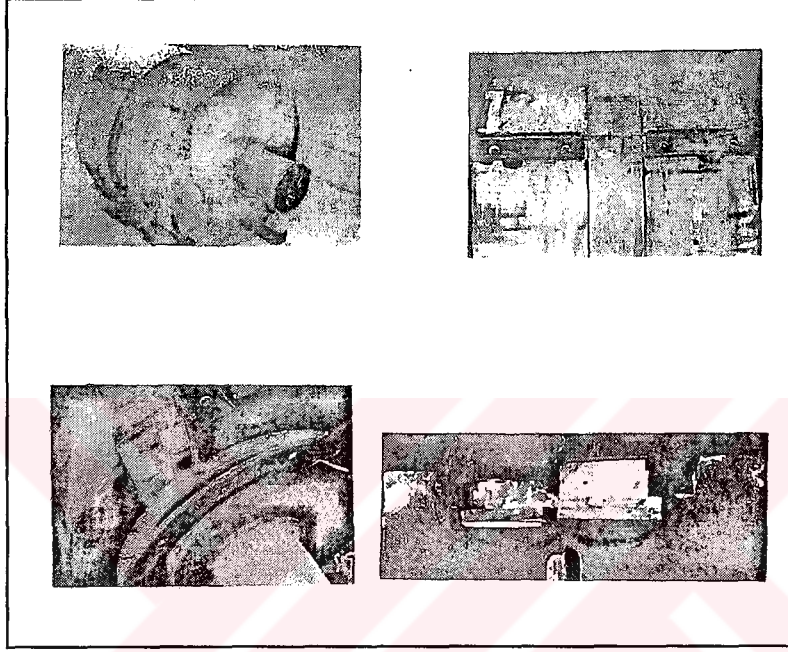
- Hatalı malzeme seçimi
- Kusurlu dizayn
- Çelik hataları
- Yanlış takım üretimi
- Hatalı ısıl işlem uygulaması
- İmalatta hatalı kullanım

Tüm ekstrüzyon takımları ve elemanlarında pratik olarak bu hatalar araştırılmıştır. Aşağıda takımlar ayrı ayrı ele alınarak, görülen hataların nedenleri ve önlemleri açıklanacaktır.

1.3.2.1 Alıcı

Soğuk veya sıcak blokun içine yerleştirildiği ve ekstrüzyon edildiği, genellikle silindirik şekilli bir ekstrüzyon takımıdır. Alıcılar çalışma aşaması boyunca deformasyon basınçlarına ve ısıl gerilmelere maruz kalırlar. Ayrıca aşınma ve aksel gerilmelere yol açan sürtünme

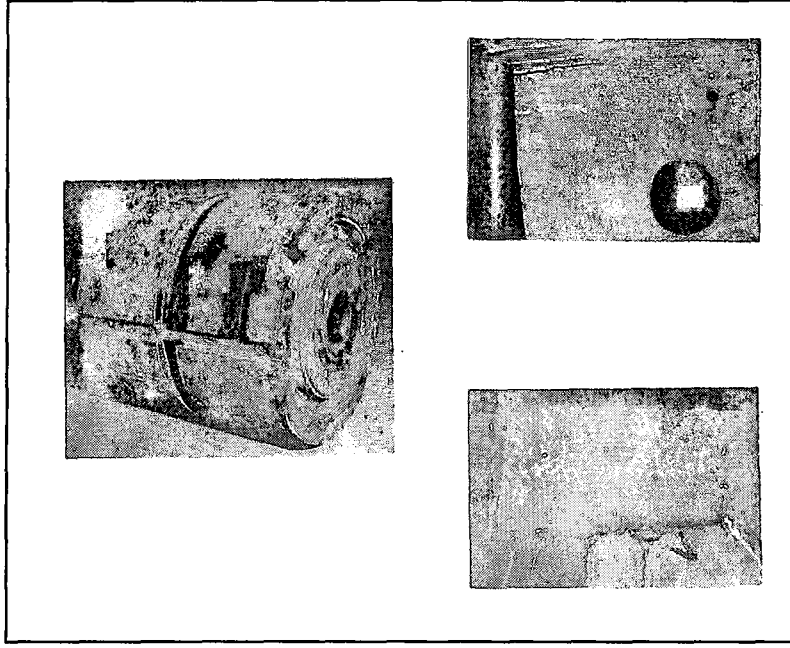
ve kesme kuvvetlerinin de etkisi altındadır. Alıcı iç cidarlarında meydana gelen aşınma ve çatlamları önlemek için değiştirilebilir özel çeliklerden yapılmış gömlekler kullanılır. Ekstrüzyon takımları içinde en pahalı birim olan alıcılara, dizayn, malzeme seçimi ve yüksek kalite için üretiminde büyük özen gösterilir. Şekil 1.8'de 1.2311 çelikten imal edilmiş çatlak bir alıcı gösterilmektedir.



Şekil 1.8 Alıcıdaki çatlakın nedeni: kama yatağında ve ısıtıcı bağlantısı üzerinde keskin kenarlar (Kortmann, 1990).

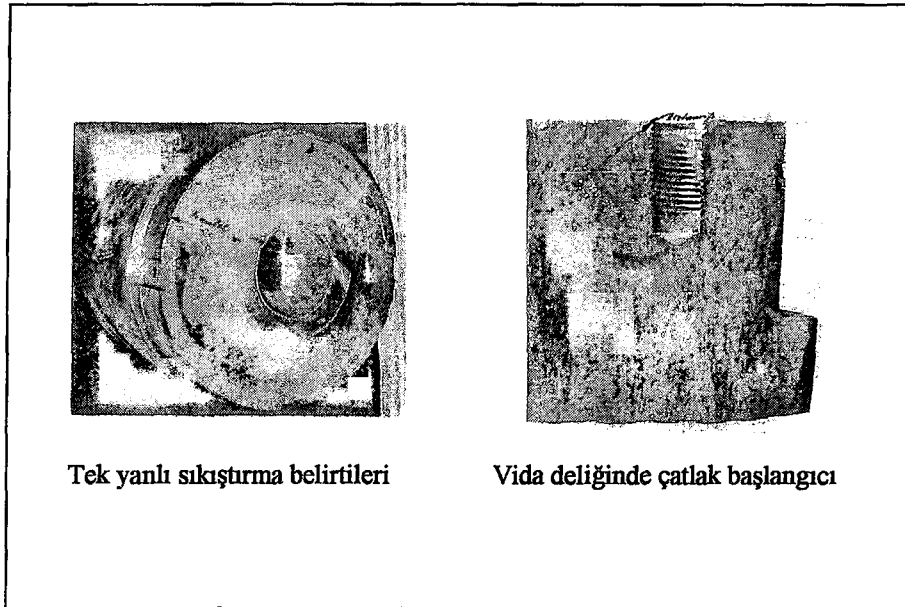
Kusursuz malzeme kullanımına ve doğru ısıl işleme rağmen alıcıda, uzunluğu boyunca bir yarık oluşmuştur. Çatlak yüzeyi keskin köşeden başlamış ve eşit bir şekilde alıcının keskin köşeli anahtar yoluna kadar bir boydan diğerine ilerlemiştir. Alıcının gerilme direnci ise istenilen aralık olan $1040-1060 \text{ N/mm}^2$ arasındaydı. Yüksek direnç konsantrasyonları ve bunun sonucu olarak oluşan çatlaklardan korunmak için dizayn aşamasında yeterli miktarda kesit yarıçapı oluşturulmalıdır. Benzer bir arıza Şekil 1.9'da gösterilen üç parçalı alıcıda görülmektedir (Kortmann, 1990).

Buradaki çatlak keskin köşedeki ısı bağlantı yerinde olmuştur, ısıtma elemanları deliklerinde başka çatlaklarda tespit edilmiştir. Mekanik olarak sadece 865 N/mm^2 çekme kuvveti, plastik deformasyonlar ve özellikle malzemeye fazla ısı yüklemeleri için önerilmişti. Bu alıcı ağır metallerin ekstrüzyonunda kullanılmıştı.



Şekil 1.9 Üç parçalı alıcıda keskin köşelerde ve ısıtma deliklerinde çatlaklar (Kortmann, 1990).

Kör deliklerde bile sürekli yorulma kuvvetinden dolayı çatlaklar oluşabilir. Şekil 1.10'da yorulma, çatlak yüzeyi ve pek çok kesik hataları gösterilmiştir. Gömleğin gerilme mukavemeti $10-1040 \text{ N/mm}^2$ idi. Ön yüzeydeki tek yönlü sıkışma alanı, alıcının düzensiz sıkışma yükünü belirtiyor.



Şekil 1.10 Alıcıda yorulmadan meydana gelen çatlama (Kortmann, 1990).

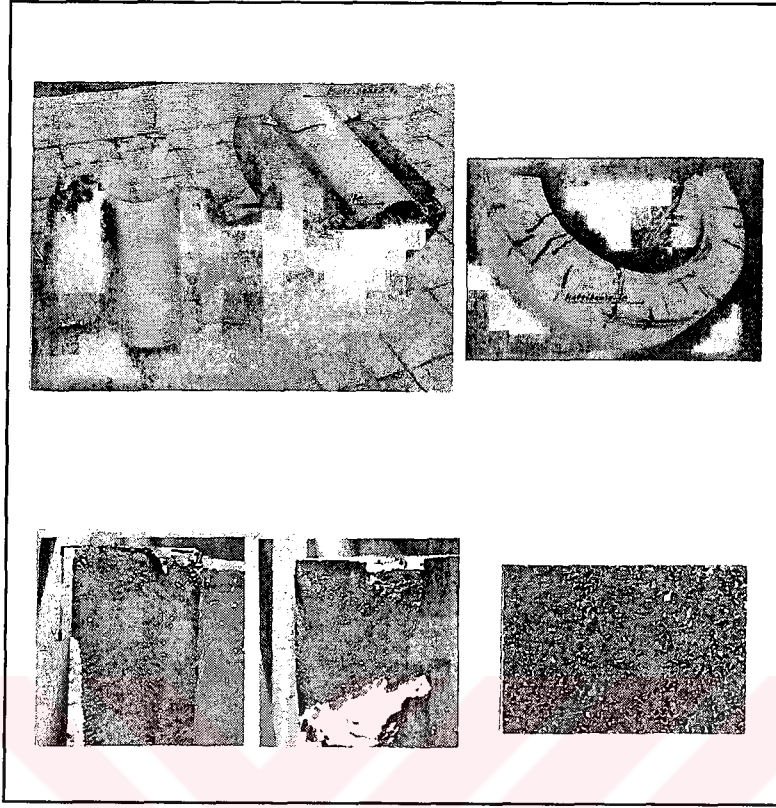
Şekil 1.11'da ısı gerilmelerinden dolayı arızalar meydana gelmiştir. Çatlak başlangıcı soğutma sistemindeki bağlantıda meydana gelmiş ve en fazla spesifik yükte bu noktada olmuştur. Su soğutmalı alıcı kullanıldığı zaman doğru sıcaklık kontrolünün önemi özellikle fazla olmalıdır. Optimum derecedeki yapı gömleğin mikroyapısını sergilemektedir (Kortmann, 1990).



Şekil 1.11 Alıcıda termal şok gerilmeden kaynaklanan çatlak (Kortmann, 1990).

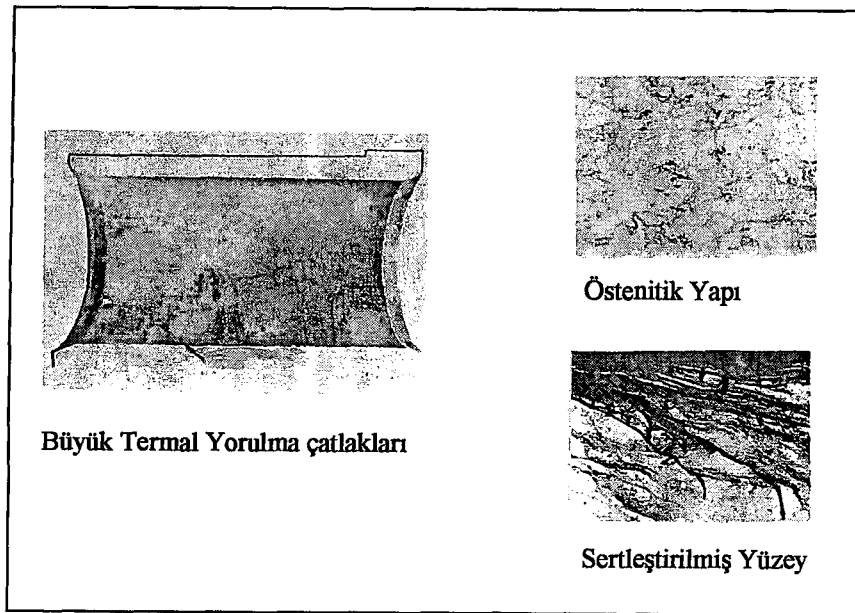
Bu arızada matris yüzeyinde huni şeklinde çatlaklar oluştu. Alıcı aynı bölgede iki parçaya bölündü. Yüzeydeki çatlaklar incelendiğinde, bunların ön yüzeydeki yorulma-benzeri şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölgede çok sayıda derin çatlaklar bulunmaktadır. Bu çatlaklar yük altında yorulma gibi çatlaklardır. Alıcı bu bölgede etki eden tüm içsel basınçlar yüzünden çatlamaya maruz kalmaktadır. Dış kabuk bu durumda kaynak ile tamir edilebilir. Fakat, kaynak esnasında da çatlakların oluşmamasına dikkat edilmelidir (Şekil 1.12).

Kaynak işlemi aşağıdaki gibi yapılmalıdır: Gömleğin dışarıya alınması olası değildir, çünkü bunu buradan almaya ve yerine başka bir tanesini yerleştirme imkanı yoktur. Tüm alıcı 350°C'ye kadar ısıtılmalı ve gömlek uygun elektrotla kaynak yapılmalıdır. Burada 530°C ısıya gereksinim vardır. Isınma süresi alıcının büyüklüğüne bağlıdır. Bu işlem 4-5 saat sürer. Soğutma ise açık havada yapılır (Kortmann, 1990).



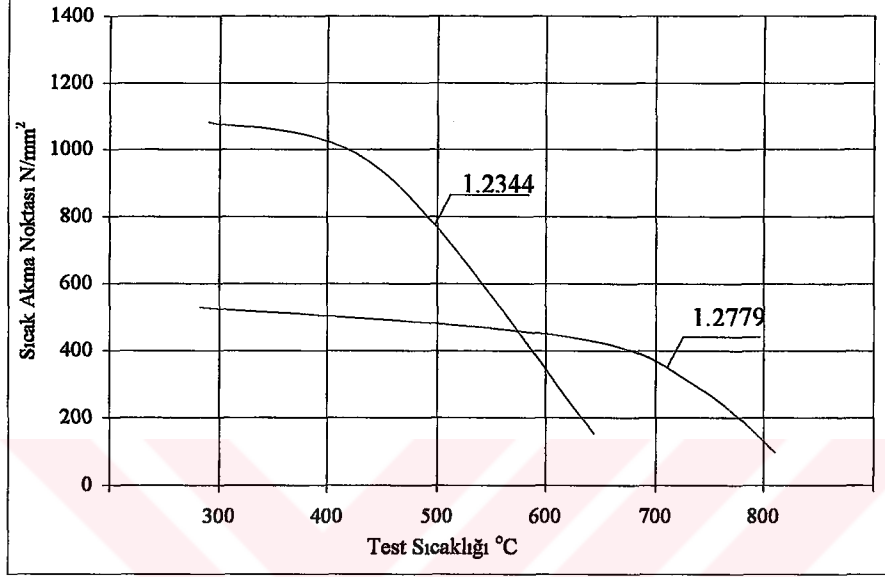
Şekil 1.12 Alıcıda kaynak hatasından meydana gelen çatlak (Kortmann, 1990).

Şekil 1.13'de şiddetli termal çatlamalara maruz kalan sert bir malzemeden gömlek görülmektedir.



Şekil 1.13 Gömlekte termal yorulma çatlağı (Kortmann, 1990).

Bu malzeme yüksek ısı mukavemetinden dolayı ağır metallerin ekstrüzyonunda, ekstrüzyon gömlekleri için tavsiye edilmektedir. Ama yüksek ısı yükleniminden dolayı malzeme aşınımı ve şok termal çatlakları görülmektedir. Şekil 1.14'de 1.2779 kalitesindeki çelik ile 1.2344 sıcak çalışma takım çeliği karşılaştırılmıştır (Kortmann, 1990).



Şekil 1.14 Sıcak takım çeliklerinin (1.2344, 1.2779) sıcak akma noktası (Kortmann, 1990).

Alıcı malzemesi seçiminde; imalat şartları, malzeme cinsi, ekstrüzyon sıcaklığı, pres büyüklüğü gibi faktörler dikkate alınarak doğru bir seçim yapılmalıdır. Alıcılarda en fazla arıza gömleklere meydana gelir. Blok ile ekstrüzyon başlangıcından sonuna kadar direkt kontakt halindedir. Gömlekteki mukavemetin boyutu, ekstrüzyon işlemine, ekstrüzyon basıncına, ekstrüzyon ısısına, ekstrüzyon devrine ve ekstrüzyon zamanına bağlıdır.

Gömlek ekstrüzyon programına uygun olmalıdır. Normal mukavemet altında alüminyum ekstrüzyonu için 1.2343'lük çelik ve 1400-1500 N/mm² çekme dayanımı yeterlidir. 1.2367'lik çelik ise sadece sert alüminyum alaşımlarındaki yüksek mukavemetler için gereklidir. Çekme dayanımı ise 1.2343'lük çelik ile aynıdır. Ağır metal alaşımları işlendiği zaman genellikle 1.2343'lük çelik yeterli değildir. Yukarıda değinildiği gibi 1.2779'luk sert (östenitik) çelik yaklaşık olarak 1100 N/mm² mukavemeti ve sıcaklığı için elverişlidir, aynı şekilde 1.2365 ve 1.2367'lik (martenzitik) çeliklerde elverişlidir. Bugün kullanılan gömleklerin %80-85'i bu çeliklerden imal edilmiş ağır metal gömlekleridir.

Normal sıcak-çalışma takım çelikleri ile karşılaştırıldığın da bu çeliklerin 3,5 kat daha fazla kullanım süreleri mevcuttur. Ni-alaşımli 2.4668 (SL 6) ile yapılan denemelerde birim maliyet oranının yüksekliğinden dolayı başarı sağlanmamıştır. Alıcı gövdesi ve gömleklerinde kullanılan malzemeler Çizelge 1.1'de verilmiştir (Kortmann, 1990).

Çoğu durumda iki-parçalı alıcılar elverişsizdir. Bu nedenle alıcılarda gömlek gereklidir. Alüminyum ve ağır metal ekstrüzyonlarında kullanılan en uygun gömlek, 1.2323 çeliğinden imal edilmiş 1200-1350 N/mm² çekme dayanımlı gömleklerdir. 1.2323 çeliğin sıcaklık mukavemeti ağır metal ekstrüzyonundaki sert koşullara uygun değildir. Çünkü bu durumda yüksek presli mamuller, yüksek ekstrüzyon ısısına karşı ince gömlek yetersiz kalır. Bu durum tüm parçayı riske atabilir, bu durumda önerilecek olan çelik 1.2343'tür.

Normal durumlarda alıcı için hem alüminyum ve hem de ağır metal ekstrüzyonunda kullanılan çelik 1000-1150 N/mm² çekme dayanımlı 1.2311 çeliğidir. Alıcının 1.2323 ve hatta 1.2343 çeliğinden yüksek derecede dayanımlı olması yeterlidir. İkinci derecede önemli olan 1100-1250 N/mm² çekme dayanımıdır. Alıcılar için malzeme seçiminde göz önünde bulundurulması gereken çok sayıda faktör vardır. Doğru dizayn, duvar kalınlık oranı, çekme dayanımı, optimum çalışma koşulları-özellikle ısıtma yapılırken çok önemlidirler (Sauer, 1981).

Çizelge 1.1 Alıcıların imalinde kullanılan malzemeler (Sauer, 1981).

Takım	Fe, Ni, Ti esash alaşımaları	Bakar alaşımaları	Alüminyum alaşımaları	Zn, Pb, Sn esash alaşımaları
Gömlek	2343 / 2344 2365 / 2365 / 2606	2344 / 2365 2367 / 2779	2343 / 2344	2323 / 2343
Gömlek tutucusu	2323 / 2343	2323 / 2343	2323 / 2343	2323
Alıcı gövdesi	2312 / 2323 / 2343	2312 / 2323 2343	2312 / 2323 2343	2312 / 2323

Özellikle ısıtma sürecinde hatalı sıcaklık kontrolü çekme mukavemetinde önemli değişikliklere yol açabilir. Farklı ısı iletkenlikler ve çeşitli çeliklerin genleşme katsayıları dikkate alınmalıdır. Bu özellikler seçiminde göz önünde bulundurulmadığı zaman çatlama ve yorulma yarıkları alıcıların farklı elemanların hareket etmesi gibi durumlarla karşılaşılabılır. Bu durum dizayn aşamasında engellenebilir (Kortmann, 1990).

1.3.2.2 Istamp

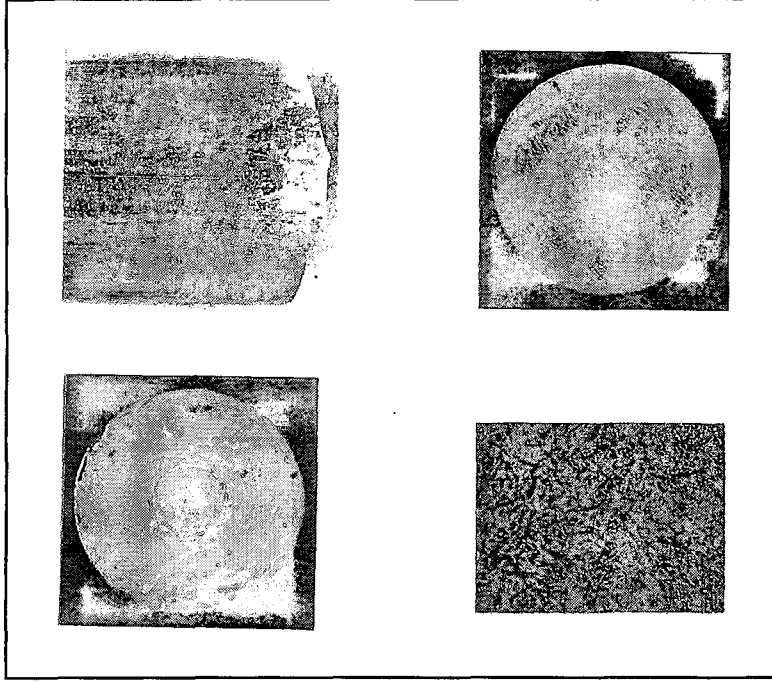
Istamp üretim boyunca oluşan bütün deformasyon dirençleriyle karşı karşıya kalır. Ekstrüzyon yüklerinden dolayı ıstamp yüksek zorlamalara ve bükülmelere dayanmak zorundadır. Bir çok durumda ıstampın dayanıklılığı ekstrüzyon işleminde uygulanacak, özgül basınç için bir ölçüdür. Istampın blokla temasını ve yüksek ısı şoklarını ön levha engeller. Ama ıstamp gömlekten yayılan ısı radyasyonuna ve ön levha arasından gelen ısılara maruz kalır. Çizelge 1.2’de malzeme cinsine göre ıstamp malzemeleri verilmiştir (Sauer, 1981).

Çizelge 1.2 Istamp malzemeleri (Sauer, 1981).

Takım	Fe, Ni, ve Ti Esaslı Alaşımları	Bakır Alaşımları	Alüminyum Alaşımları	Zn, Pb, ve Sn Esaslı Alaşımları
Istamp	2343 / 2344 / 2365 2606 / 2706	2343 / 2344 / 2365 2567 / 2606 / 2889	2323 / 2343 / 2344 2714	2343 / 2714

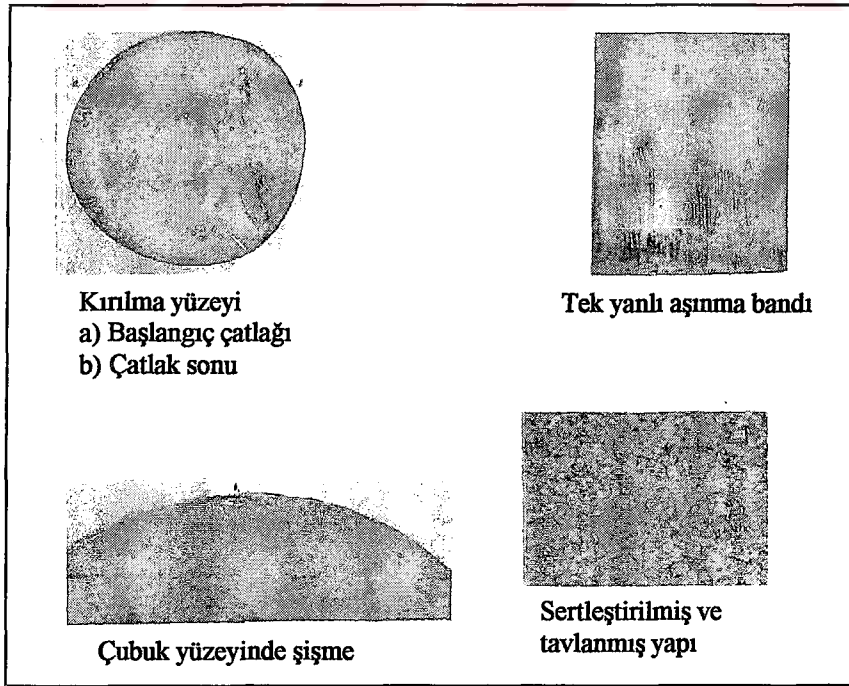
Ekstrüzyon işleminde uygulanan özgül basınç ve işlem süresince oluşan olumsuzluklar ele alındığında ıstampada oluşan çatlakların aşırı yüklemekten kaynaklandığı söylenebilir. Aşağıda bazı örnekler verilmiştir. Şekil 1.15’deki ıstamp, ön yüzeyinde önemli deformasyonlar ve alıcı yüzeyindeki tarafta da şiddetli çizikler gösterilmektedir (Kortmann, 1990).

İlk çatlaklar bu çiziklerden yayılmıştır. Istamp için kullanılan çekme dayanımı mukavemeti oranlarının alt kısmı $1450-1475 \text{ N/mm}^2$ ’dir. Metalik parlaklıktaki yarıklar ön ısıtma yapılmadığı için oluşmuştur. Oda sıcaklığındaki dayanıklılık, 300°C ’de yapılan ön ısıtmadaki dayanıklılıktan önemli derecede azdır.



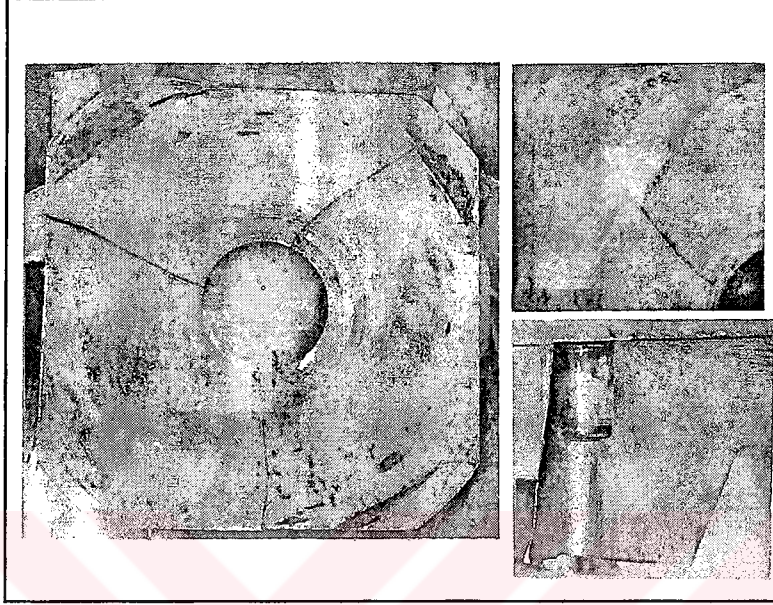
Şekil 1.15 Aşırı yüklenmeden kaynaklanan ıstampa çatlakları.

Şekil 1.16'da görülen 1.2365 ıstampadaki arızalar fazla yüklenimden dolayıdır. Bir tarafında şiddetli derecede arızalar vardır. Bu arızalar ıstampanın dizaynında veya kullanımında hatalar olduğunu gösteriyor. Parçanın çekme dayanımı $1660-1690 \text{ N/mm}^2$ dir ve yapılan ısı işleminde de hata yapılmamıştır (Kortmann, 1990).



Şekil 1.16 Tek yanlı aşırı gerilme nedeniyle kırılan pres çubuğu (Kortmann, 1990).

Gövde çatlakları Şekil 1.17'deki 1.2343 gövdede görüldüğü gibi sadece çalışma yüzeyinden yayılmaz. Bu durumda çatlak kenetli yüzeyde olmuştur. Çatlağın nedeni gövdenin başından, tabanına doğru zayıf kuvvet dağılımıdır.

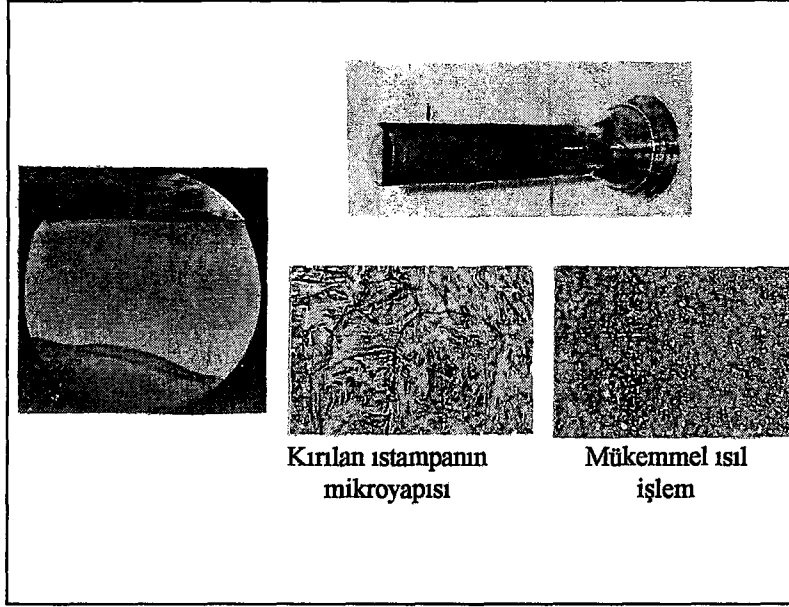


Şekil 1.17 Düzensiz gerilmeler nedeniyle çatlayan ıstampa (Kortmann, 1990).

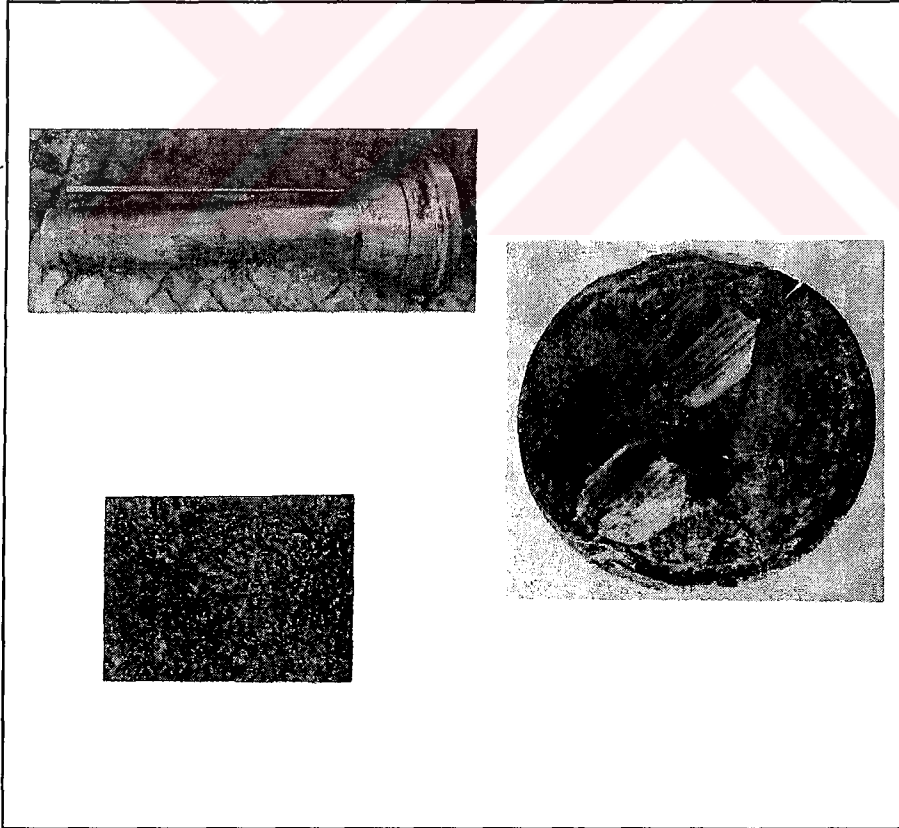
Parçanın düz yüzeyinde şiddetli plastik deformasyonlar ve yuvarlak baskı bölgeleri vardır. İç kısmında her hangi bir deformasyon görülmemiştir. Düz yüzeyin sadece dış tarafında dairesel 10–50 mm genişliğinde temas vardır. Ekstrüzyon yükü kısım kısım olarak baştan sona doğru transfer edilmiştir. Yorulma bükme yükünden dolayı delikli kenarda ilk olarak çatlak oluşmuştur. Çekme dayanımı 1610-1640 N/mm² idi. Gövdenin alt kısmına yapılan iyileştirme işlemleriyle çekme dayanımı 1400 N/mm² 'ye yükseltilmiştir. Isıl işlem oldukça kritik bir olaydır, özellikle yüksek baskılı gövdelerde bu daha çok önemlidir. Şekil 14'te solda görülen mikro fotoğraftaki, büyük taneli yapı ve yüksek miktarda az derecede sulandırılmış çelikten kaçınılmalıdır. Şekil 1.18'de sağda iyi ısı işlemi görmüş bir yapı gösterilmektedir. 1.2367 ıstampada öyle hatalı bir ısıl işlem yapılmış ki enine bir yarık oluşmuştur (Kortmann, 1990).

1.2367 kalitesi, baskı yükü 700 N/mm²'yi geçtiği zaman veya yüksek sıcaklık dayanımının kullanıldığı ağır metal işlemlerinde kullanılması tavsiye edilmiştir. Bu malzemeyle ilgili mekanik yük limitleri de vardır. Bu malzemeyle ilgili yük limitleri de vardır ve Şekil 1.19'daki arızada görülmektedir. İdeal ısı işlemine ve 1750 N/mm²'lik çekme mukavemetine rağmen gövdede plastik deformasyonlar oluşmuştur ve bu aşırı yükten kaynaklanmış,

malzeme uzunlamasına yarılmıştır. Bu durumda sıcak-ış takım çeliği (ESR) tavsiye edilir.



Şekil 1.18 Hatalı ısı işlem sonucu kırılan ıstamp (Kortmann, 1990).



Şekil 1.19 Fazla yüklemenden dolayı ıstampada çatlama (Kortmann, 1990).

1.3.2.3 Ön Levha

Alıcı iç çapından az daha küçük çapa sahip olan çelik bir diskdir. İstampanın aşınmasını ve malzemenin ıstampaya sıvanmasını ve aynı zamanda malzemenin geri akmasını önler. Sabit yada çevrim sonunda düşen pul şeklinde olabilirler (Sönmez 1989).

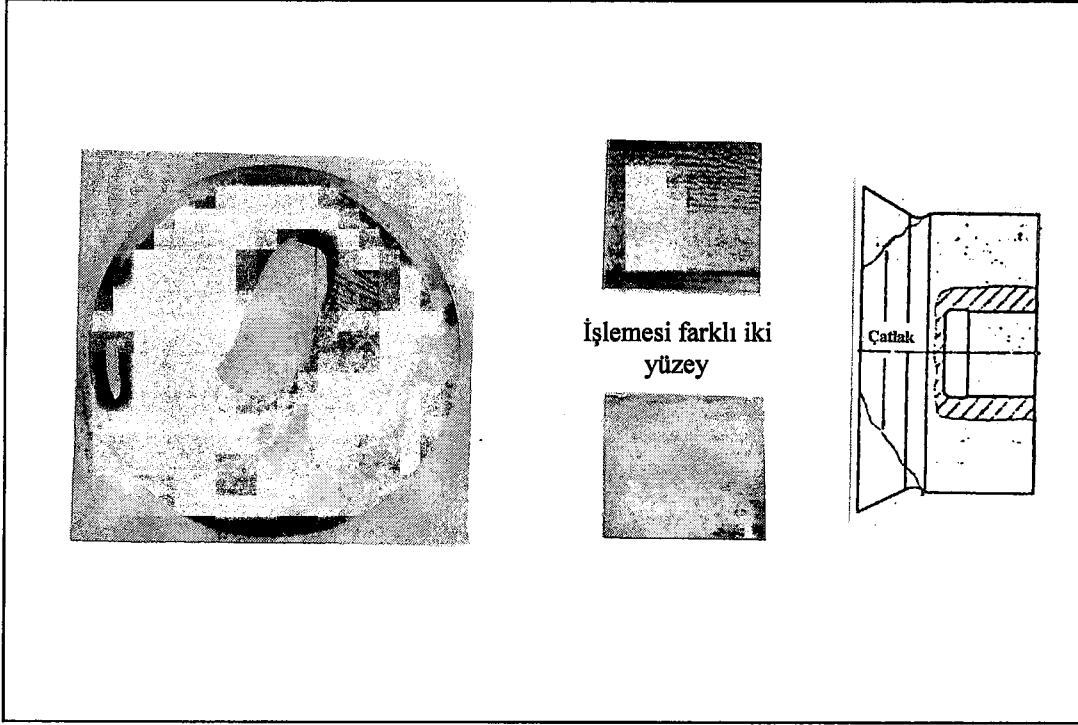
Ön levha, ekstrüzyon birimi tarafından ıstampaya uygulanan yükü bloka bindirmek durumundadır. Bunun için yüksek çekme dayanımı gereklidir. Ayrıca işlem boyunca sıcak bloklarla temas eden ön levha yüksek sıcaklıklara ulaşır. Ekstrüzyon işleminin sonunda ön levha normal ısıya (oda sıcaklığına) soğutulmalıdır. Ekstrüzyon da iç delik bir parça üretilecekse kenarlarda yüksek sıcaklıktan dolayı aşınma olur. Çizelge 1.3'de malzeme cinsine göre ön levha malzemeleri verilmiştir (Sauer, 1981).

Çizelge 1.3 Ön levha için sıcak iş çelikleri (Sauer, 1981).

Takım	Fe, Ni, ve Ti Esaslı Alaşımları	Bakır Alaşımları	Alüminyum Alaşımları	Zn, Pb, ve Sn Esaslı Alaşımları
Ön levha	2344 / 2603	2344 / 2365 / 2581 2606 / 2705 / 2779	2343 / 2344	Ön levha ve Temizleme diski tek bir parçadır

1500-1600 N/mm² mukavemet sağlamış 1.2343 veya 1.2344 çelikleri alüminyum ekstrüzyonu için yeterlidir. Alüminyum ekstrüzyonundaki problemlerin çoğu ön levhadan kaynaklanmaktadır. Bu elemanlar sürekli yorulma yükünden dolayı çentik-duyarlıdırlar.

Şekil 1.20'de üretim esnasında ön levhada oluşan arızalar gösterilmektedir. Bu takım için yüzey kalitesi çok önemlidir. Ağır metal ekstrüzyonunda, ön levhadan dolayı oluşan arızaların çoğu sıcak malzeme mukavemetinden kaynaklanmaktadır. Ağır metaller için, yüksek alaşımlı çeliklerin kullanımı gereklidir. Su ile soğutulmuş çelikler 1.2365 ve 1.2367 veya ESR kalitesindedir. Bu çeliklerin çekme dayanımı 1500-1700 N/mm²'dir.

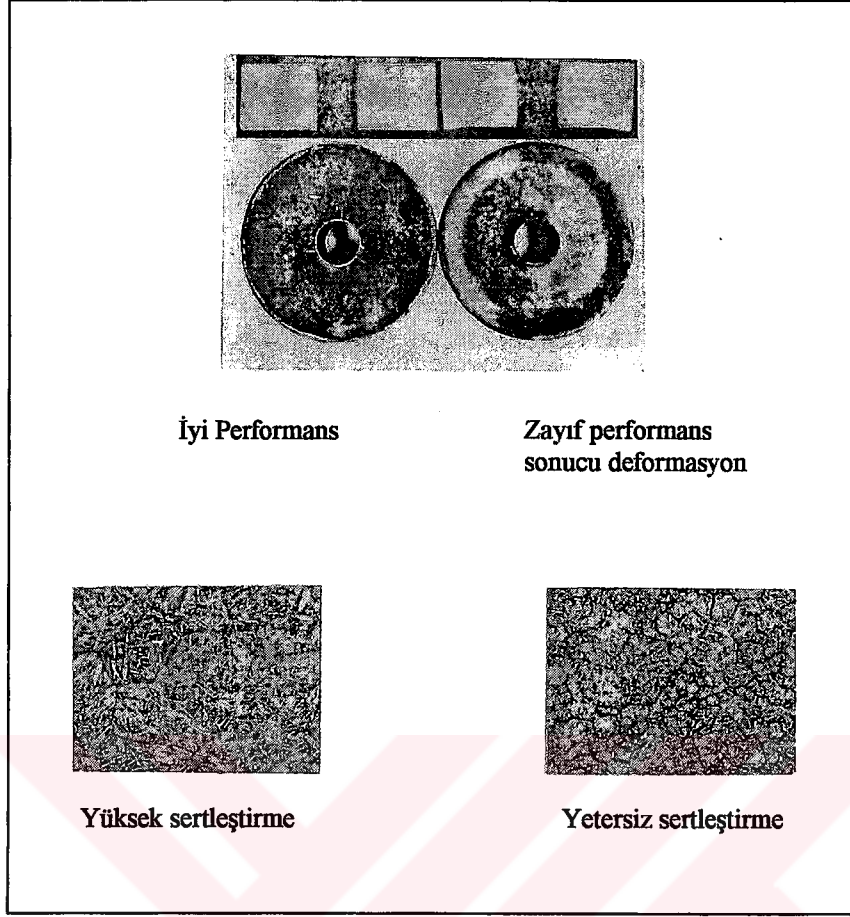


Şekil 1.20 Makina da işleme hatasından meydana gelen ön levhada çatlama (Kortmann, 1990)

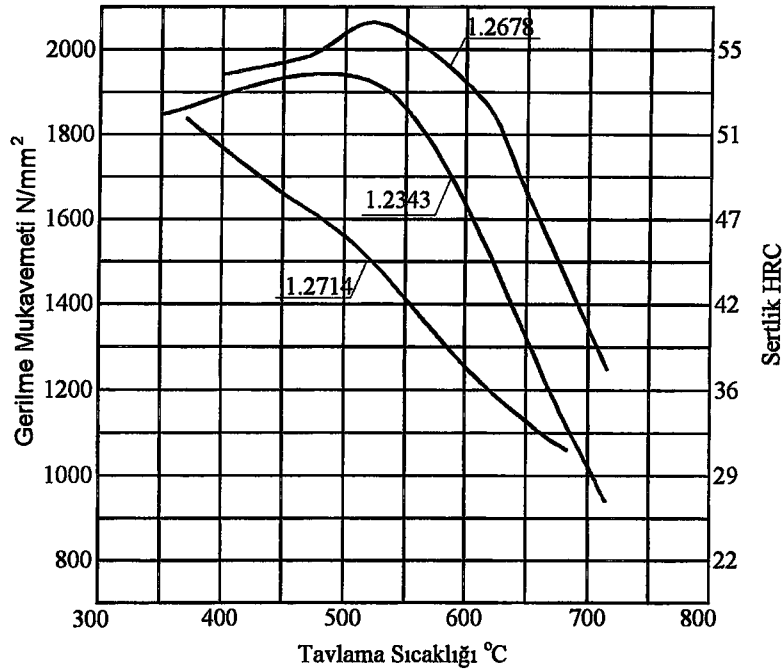
Eğer malzemeyi hava ile soğutma imkanı varsa tavsiye edilen çelikler 1.2678 veya 1.2889'dur. Bu çelikler $1500-1700 \text{ N/mm}^2$ 'de daha fazla sıcak mukavemete dayanım gösterirler.

Çeliğin ısıl işleminin sıcak mukavemet üzerinde önemli etkisi vardır. Şekil 1.21'de 1.2678 mamulü ön levhanın değişik ısıl işlemleri ile ilgili performansı verilmiştir.

Sol taraftaki ön levhanın mikroyapısı sağdakine göre daha sıkı bir sertlik sergilemektedir. Çekme dayanımlarının aynı, $1520-1550 \text{ N/mm}^2$ olmasına rağmen ısıl işlemde sonra sağdakinde deformasyon ve mukavemet kaybı soldakine göre daha erken aşamada olmuştur. Kullanılan 1.2678 çelik sıcak çalışma takımı için en iyi direnci gösterir. Şekil 1.22'de düşük alaşımlı 1.2714 çeliği ile CrMoV 1.2343 çeliği karşılaştırılmıştır.



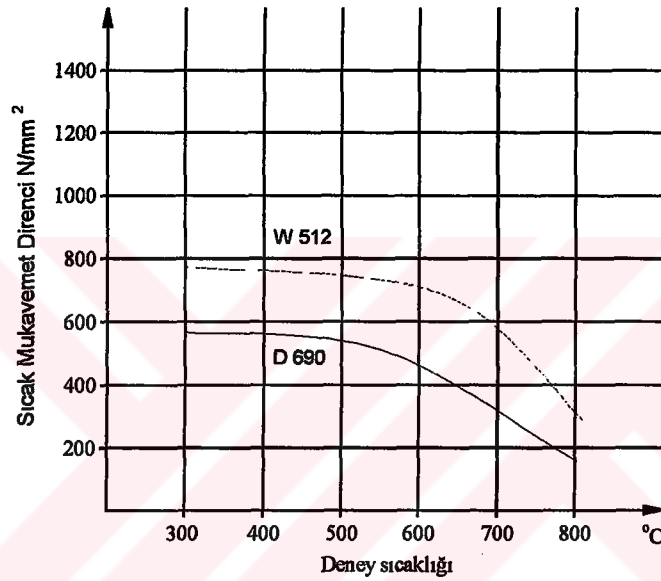
Şekil 1.21 Ön levhanın değişik görünümleri (Kortmann, 1990).



Şekil 1.22 Sıcak iş çeliklerinin tavlama diyagramları (Kortmann, 1990).

Son zamanlarda 1.2779 çeliğine benzer özel östenitik çeliği ile çok güzel sonuçlar alınmıştır. Ti içeriğini artırmakla belirgin ölçüde mukavemet artırılmıştır.

Şekil 1.23'de görüldüğü gibi Ti içeriğini artırmakla belirgin ölçüde mukavemet %25 artırılmıştır. Fakat Ti miktarını fazlaca artıramıyoruz çünkü bu çeliğin işlenmesini büyük ölçüde azaltmaktadır. W 512 ile belirtilen yeni oran yaklaşık %3 Ti'dir.



	C	Cr	Ni	Mo	V	Ti
D 690 W-No. 1.2779	0,05	15,00	25,5	1,3	0,3	2,10
W 512 W-No.=1.2779	0,03	15,00	25,5	1,2	0,3	2,85

Şekil 1.23 Ti içeriğini artırarak mukavemet artışı (Kortmann, 1990).

Günümüzde ön levhalar Co veya Ni alaşımları ile kaplanmaktadır. 2.4668 (SL 6) da ki ön levhaların tümü ısıl işlem çözümünde ve yaşlanarak-sertleşme durumlarında Cu-Ni alaşımlarının ekstrüzyonu için elverişlidir.

1.3.2.4 Mandreller

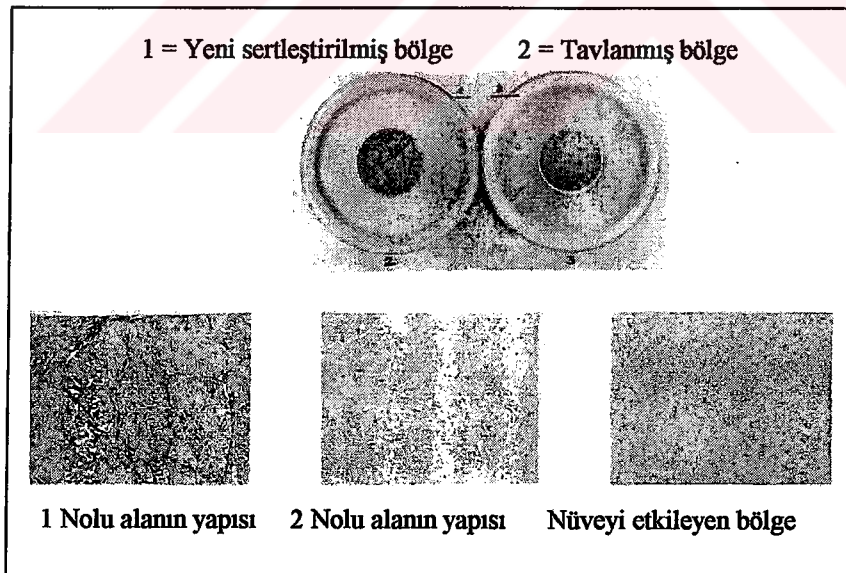
Mandreller boru yada yarı açık profillerin, iç kısımlarındaki boşluğu elde etmek için kullanılan, çapları boru iç çaplarına göre değişen erkek kalıp parçasıdır. Mandrelin ucu dışı kalıptaki geçiş bölgesinin başladığı noktadan bir miktar içeriye kadar girer. Böylece istenilen

et kalınlığı ve iç boşluğa sahip kesitler elde edilir. Mandrel malzemeleri Çizelge 1.4'de gösterilmiştir (Sauer, 1981).

Çizelge 1.4 Mandrel malzemeleri (Sauer, 1981).

Takım	Fe, Ni, ve Ti Esaslı Alaşımları	Bakır Alaşımları	Alüminyum Alaşımları	Zn, Pb, ve Sn Esaslı Alaşımları
Mandreller	2343 / 2344	2343 / 2344 / 2365 2567 / 2581 / 2885 2889	2343 / 2344 / 2367 2567 / 2885	2344
Mandrel uçları	Kullanılmaz	2.4668 / 2.4979	2344 / 2567 / 2885	Kullanılmaz

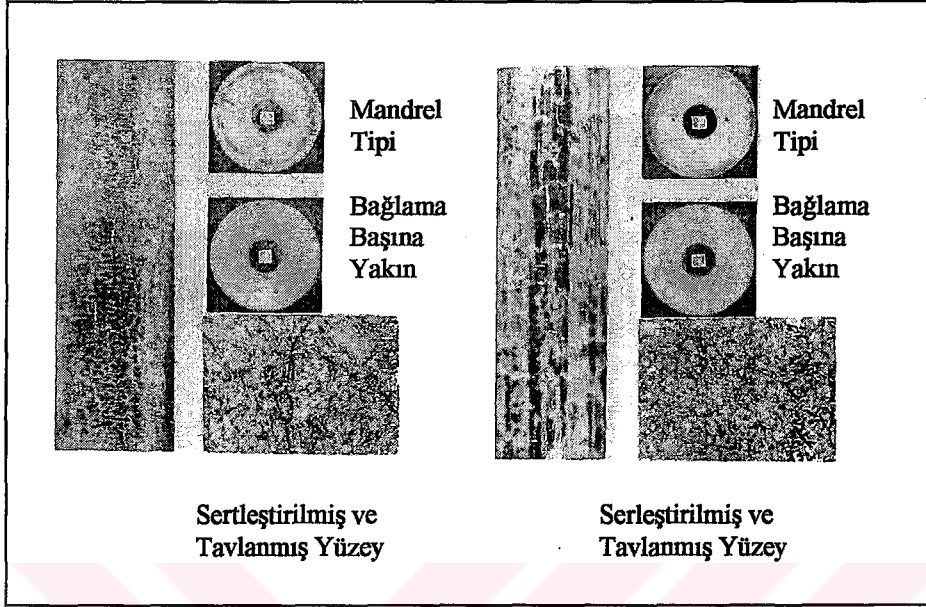
Mandreller blokları tamamiyle sarar ve tüm işlem boyunca ekstrüzyon sıcaklığı altındadırlar. Termal gerilmeler oldukça yüksektir. Alüminyum tüplerin üretiminde termal gerilme, sıcak çalışma takım çeliğindeki sıcaklık geriliminden daha düşüktür. Ağır metallerde bu sıcaklık inanılmaz derecede mandrel yüzeyini etkiler ve dahili soğutma suyu bile yetersiz kalabilir (Şekil 1.24) (Kortmann, 1990).



Şekil 1.24 Mandrelde erken kırılmaya neden olan termal fazla yüklenim (Kortmann, 1990).

Mandrel yüzeyinde (yaklaşık 1.0-1.5 mm) hemen tekrar sıkıştırma veya sertleştirme yapılıır. Yüzeyin yaklaşık olarak 3-4 mm'lik bölgesi yüksek sıcaklıktan dolayı önemli bir ayrışma sergiler. Bu bölgedeki yapı yumuşak tavlama durumu ile karşılaştırılabilir. Ağır metal tüplerin

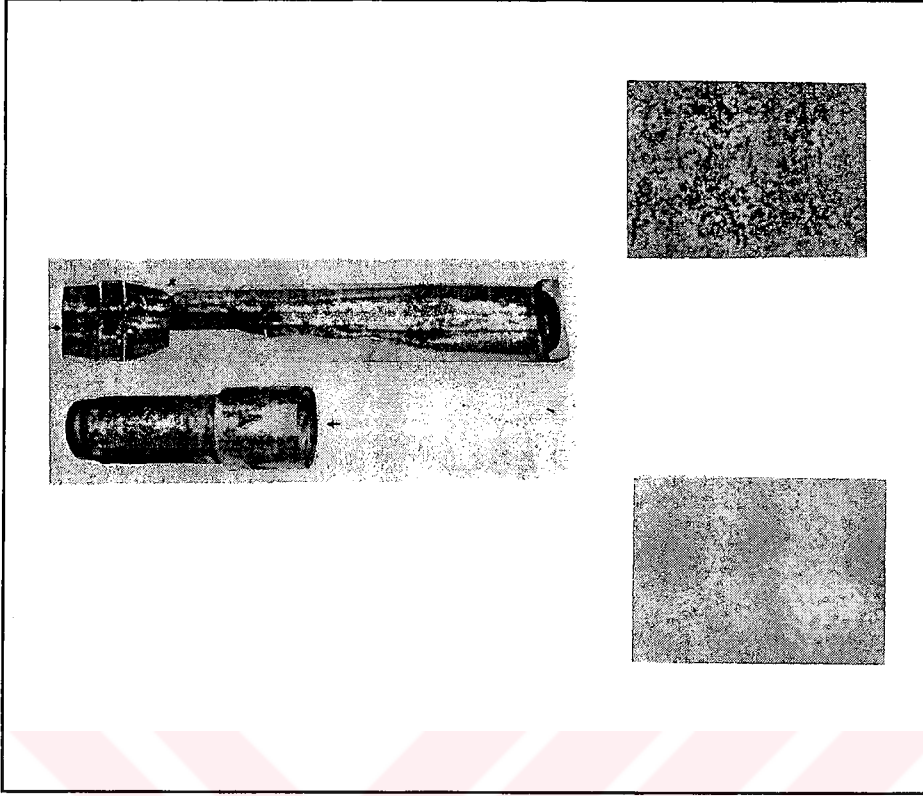
ekstrüzyonunda kullanılan mandreller, sıcak çalışma takım çelikleri için gerilim sınırlarındadırlar. Üretim koşullarının arıza ve kullanım süresi üzerinde önemli etkileri vardır.



Şekil 1.25 Mandrel 1.2367 ile farklı performans (Kortmann, 1990).

Her iki mandrel aynı sıcak çalışma takım çeliği 1.2367 den imal edilmiştir ve çekme dayanımları yaklaşık olarak 1740 N/mm^2 'dir. İyi bir pres çıktısından sonra sol taraftaki mandrel ince bir sıcak çatlak ağı göstermiştir, sağdaki mandrel ise bir kaç çıktıdan sonra büyük çatlaklardan dolayı değiştirilmiştir. Sol taraftaki mandrel de daha büyük genişlemeler olmuştur. Çünkü burada daha kaliteli üretim yapılmıştır (Şekil 1.25).

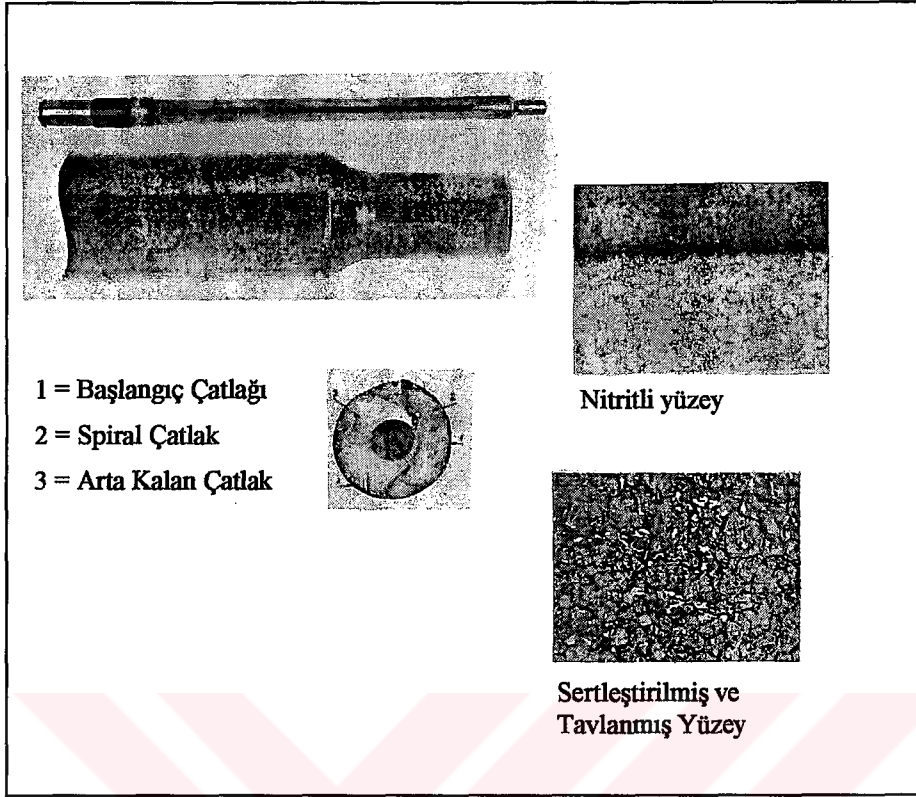
Çekme mukavemeti sadece 690 N/mm^2 idi. Sağdaki mandrelde hala 507 sertliğindedir. Fakat bu mandrellin tekrar kullanılması yüzeyinden dolayı mümkün değildir. Sağ taraftaki mandrel metalik parlak yüzey ile kullanılırken sol taraftaki mandrel ise 500°C iki saatlik bir oksitlenme işlemine tabi tutuldu. Şekil 1.26'da sıcaklık kontrolünün mandrellerin çıktılarını nasıl etkilediği gösterilmektedir (Kortmann, 1990).



Şekil 1.26 Termal şok çatlaklar ve soğutma hataları nedeniyle bozulmuş mandrel (Kortmann, 1990).

1.2344 mandreli soğutmadan önce sıcak gerilme çatlakları olmuştur. Sadece bir kaç seferlik üretime rağmen mandrelin yüzeyindeki sertlik önemli derecede azalmıştır. Sertlik ölçümleri, yüksek gerilimli bölgelerde büyük derecede azalmalar olduğunu göstermiştir. Bu sonuç ve bölgedeki tipik çatlaklar bize dahili soğutma işleminin bir kaç ekstrüzyon dan sonra kesildiğini göstermiştir. Şiddetli ısıtma normal olmayan tavlama etkisini oluşturur. Şiddetli sıcaklığa karşı su ile soğutma yapıldığında sıcaklık şokundan dolayı gerilme çatlakları oluşur. CrMoV çelikleri iyi ısı iletkenlikleri ile birlikte öncelikle 1.2367 mandrellerin dahili soğutulması için kullanılır. Soğutma deliğinin doğru çap seçimi ve optimum sıcaklık kontrolü ve işlem süresi maksimum kullanım süresinin başarılması için önemlidir.

Nitrit'li mandreller Şekil 1.27'de görüldüğü gibi özellikle termal şok çatlaklarına duyarlıdır. Bu durumda, hafif açıklıklar 0.08mm derinliğinde nitrit yüzeyden yayılırlar, bunlar soğutma deliğinden yayılmazlar. Temel yapı, martenistik tavlı yapıdan ve bazı beyrit yapı ile oluşmuştur. Çekme dayanımı sadece 1500 N/mm² dir (Kortmann, 1990).



Şekil 1.27 Nitritli bölgede termal şok çatlaklarının neden olduğu arıza (Kortmann, 1990).

Nitrit'li mandrel yüzeyi sürtünmeyi ve yapışmayı azaltırken bu sadece alüminyum işlemlerinde etkilidir. Ağır metal ekstrüzyonlarında nadiren nitrit kaplı yüzey kullanılır çünkü bu yüzey yüksek sıcaklık karşısında durmaz. Her durumda nitrit kaplı yüzeylerden kaçınmak gerekir, çünkü nitrit tabakası kırılır (Kortmann, 1990).

1.4 Ekstrüzyon Takımları İçin Takım Çelikleri

Bireysel takımları ve arızaları belirtmeden önce, sıcak-çalışma takım çelikleri ve ekstrüzyon takımları için kullanılan özel malzemelerin bir özeti verilmiştir. DIN 17350 takım çelik standartlarında sadece bir kaç çeliğe değinilmiştir (Çizelge 1.5) (Sauer, 1981).

Çizelge 1.5 Sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonu (Sauer, 1981).

Çelik		Kimyasal Bileşimi %						
Malzeme Sembolü	Malzeme No	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
55 NiCrMoV 6	1.2713	0,50 - 0,60	0,10 - 0,40	0,65 - 0,95	0,60 - 0,80	0,25 - 0,35	1,50 - 1,80	0,07 - 0,12
56 NiCrMoV 7	1.2714	0,50 - 0,60	0,10 - 0,40	0,65 - 0,95	1,00 - 1,20	0,45 - 0,55	1,50 - 1,80	0,07 - 0,12
X 38 CrMoV 5 1	1.2343	0,36 - 0,42	0,90 - 1,20	0,30 - 0,50	0,65 - 0,95	1,10 - 1,40	-	0,25 - 0,50
X 40 CrMoV 5 1	1.2344	0,37 - 0,43	0,90 - 1,20	0,30 - 0,50	4,80 - 5,50	1,20 - 1,50	-	0,90 - 1,10
X 32 CrMoV 3 3	1.2365	0,28 - 0,35	0,10 - 0,40	0,15 - 0,45	2,70 - 3,20	2,60 - 3,00	-	0,40 - 0,70

Sıcak çalışma takımları uygulamalarının yaklaşık olarak %60-70 inde bu çeliğe rastlanabilmektedir. Genel kural olarak bunlar alüminyum ekstrüzyon da takımların önemli bir bölümü için elverişlidirler. Fakat yinede yüksek verimli ürünler için veya zor alaşımlı ekstrüzyonlar için diğer takım malzemelerine gereksinim vardır. Şayet ağır metallerin çalışması ele alındığında daha geniş kapsamlı sıcak-çalışma takım çelikleri ve özel çeliklerin listesi Çizelge 1.6 ve 1.7’te verilmiştir.

Çizelge 1.6 Ekstrüzyon takımlarında kullanılan sıcak iş çelikleri (Kortmann, 1990).

Malzeme No	Malzeme Sembolü	Kimyasal Bileşimi %							
		C	Co	Cr	Mo	Ni	V	W	Ti
1.2311	~ P20	0,40		2,00	0,20				
1.2323	-	0,45		1,45	0,75		0,30		
1.2713	6F2	0,55		0,70	0,30	1,65	0,10		
1.2714	6F3	0,55		1,10	0,50	1,65	0,10		
1.2343	H11	0,38		5,20	1,25		0,40		
1.2344	H13	0,40		5,20	1,35		1,00		
1.2365	H10	0,32		3,00	2,80		0,55		
1.2367	-	0,38		5,00	3,00		0,55		
1.2567	-	0,30		2,35	0,60			4,25	
1.2581	H21	0,30		2,65	0,35			8,50	
1.2678	H19	0,45	4,50	4,50	0,50		2,00	4,50	
1.2885	H10A	0,45	2,80	3,00	2,80		0,60		
1.2889	H19A	0,45	4,50	4,50	3,00		2,00		
1.2731	-	0,50		13,00		13,00	1,30	1,30	
1.2758	-	0,50	1,70	4,00	0,70	11,50	1,10	12,50	
1.2779	A286	0,50		15,00	1,30	25,50	0,30		2,10+B

Pratikte, alüminyum alaşımları çalışmasında sadece Çizelge 1.5’de ki I. Gurup düşük-alaşımlı sıcak-çalışma takım çelikleri ve II. Guruptaki CrMoV alaşımlı çelikler kullanılır. Bu çeliklerin yanı sıra üretim koşulları ve deneyimde önemli bir kısmı oluşturmaktadır.

Çizelge 1.7 Ekstrüzyon takımları için özel alaşımlar (Kortmann, 1990).

Ni Esaslı Alaşımlar		Kimyasal Bileşimi %							
Malzeme Sembolü	Malzeme No	C	Co	Cr	Mo	Ni	V	W	
SL 6	2.4668	0,05		19,00	3,00	53,00	5,10		B, Fe Ti, Al
SL 15	2.4973	0,08	0,11	19,00	10,00	Rest			B, Fe Ti, Al
Co Esaslı Alaşımlar									
Malzeme Sembolü	Malzeme No								
P 63	2.4979	0,30	Kalan	28,00	5,50	2,25			
P 42 H	-	2,20	Kalan	36,00				16,00	
SL22PM	2.9877	1,10	Kalan	26,00				5,00	

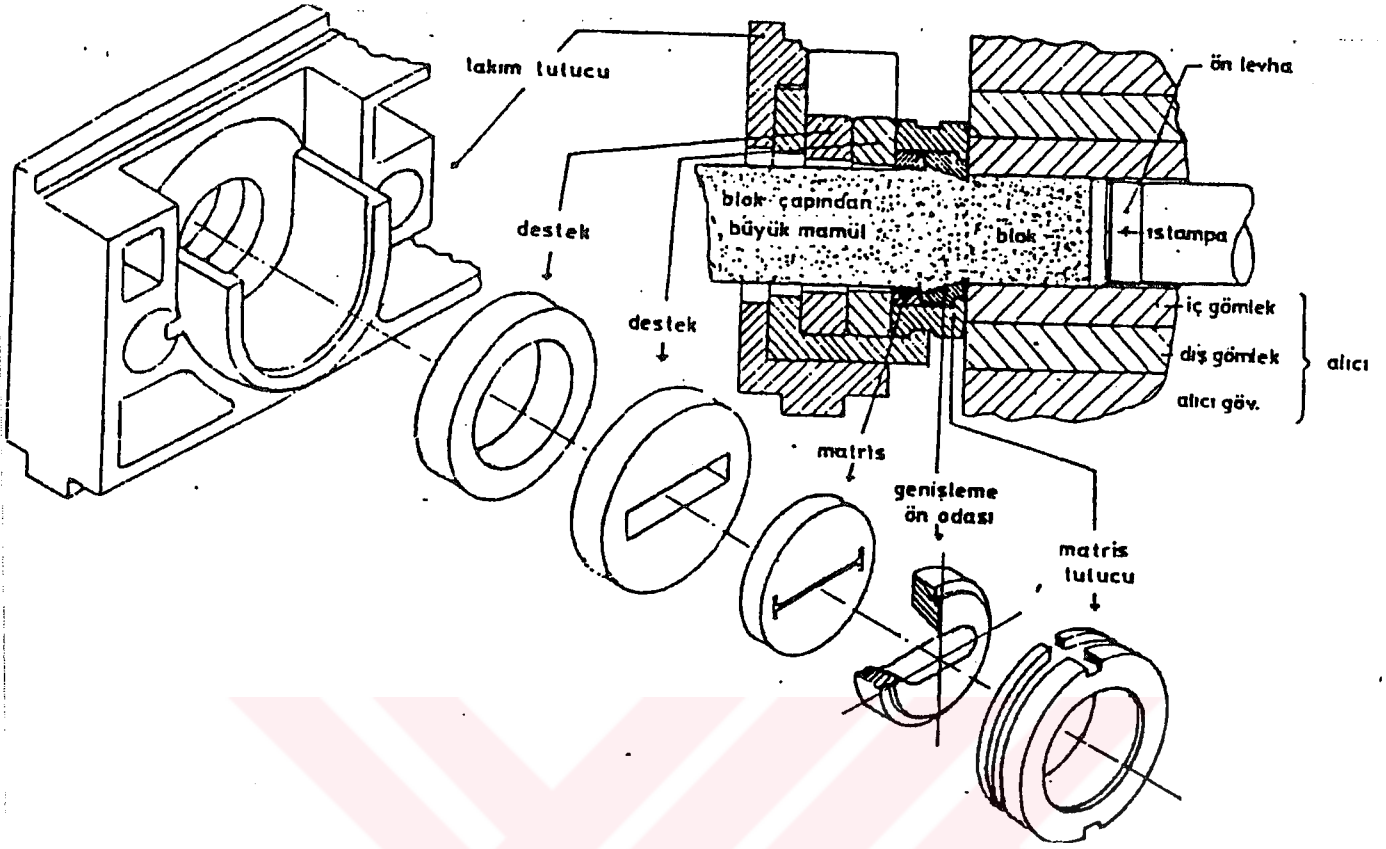
2. MATRİSLER

Matris, ekstrüzyon mamul veya yarı mamulüne şekil veren en önemli takımlardan biridir. Matris belirli kalınlıkta bir disk şeklinde olup üzerinde profilin kesiti kanal şeklinde açılmıştır. Matris ham bloka basınç altında profil şeklini veren ekstrüzyon takımıdır. Bu nedenle matris, imal edilecek profilin tüm detaylarını ve toleranslarını içerir. Matrisin dizayn hataları profile direkt olarak yansır. Yani profilde oluşabilecek şekil, yüzey ve boyut hataları genellikle matristen kaynaklanır.

Matrisler, ekstrüzyon esnasında yüksek mekanik ve ısıl gerilmelere maruz kalırlar. Bu gerilmelerin karşılanması matrisin dizaynı ve malzemesine bağlıdır. Matris yapımı bilgi, ustalık ve teknoloji isteyen bir işittir. Matrisin malzemesi ve uygulanan ısıl işlemlerde dayanımı etkileyen faktörlerdir. Matrisin malzemesi ve şekli, ekstrüzyon edilecek metal ve alaşımlarına göre farklılık gösterir. Mekanik gerilmeleri karşılamak amacıyla matris desteklenir. Matrisin dizaynı ve şekli, bütün ekstrüzyon parametrelerini (ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon hızı, malzeme akışı, sürtünme, ısı vb.) etkiler. İnce kesitli profillerin ekstrüzyonunda da basınç yüksektir. Bu yüksek basınçtan dolayı matriste meydana gelen mekanik gerilmelerin azaltılması ve matrisin korunması için matris desteklenir. Destek matrisin arkasına konan bir ekstrüzyon takımıdır. Matris ekstrüzyon presinde tek başına çalışmaz. Destek, ön oda gibi diğer takımlarla bir grup oluşturarak görev yapar (Şekil 2.1) (Sönmez, 1989).

Matrislerde malzeme akışı ve profil yüzeyinin iyileştirilmesi için sürtünmeyi azaltan işlemler uygulanır. Bunlar yağlama, matris yüzeylerinin taşlanması, kanal boyunun ayarlanması gibi sürtünmeyi azaltan işlemlerdir.

Bütün ekstrüzyon parametrelerini ve mamul kalitesini iyileştirmek amacıyla çeşitli matrisler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu matrisler ekstrüzyon işleminde üretilmesi zor profillerin imalatında kolaylıklar sağlamaktadır.



Şekil 2.1 Matris grubu (Göymen, 1988).

2.1 Matris Malzemeleri

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

Matrisler bazı istisnalar hariç olmak üzere genellikle çelikten imal edilirler. İş parçası ile temasta olan bütün takımlar tamamen sertleştirilmiş çelikten yapılırlar. Buna karşılık bazı küçük matrisler tavlama yapılmış ve su verilmiş takım çeliklerinden yapılırlar. Sertleştirme sonucu basma gerilmesinin etkisindeki iç kısım matrisin soğuması ve büzülmesi sonucu serleşmiş olarak kalır. İş parçası şekli, ekstrüzyon edilen metalin sertlik ve bileşimi, imalat şartları matrisler için gerekli olan mukavemet değerine etki eder (Schey, 1990).

Matris malzemeleri olarak kullanılan çeliklere uygulanan ısıtma işlemi 1130°C'den 1180°C'ye kadar yağda sertleştirme ve şartlara göre 580°C'den 650°C'ye kadar olan sıcaklıklarda gerçekleştirilen menevişlemeden meydana gelir. Matrisin yapımında kullanılan malzemelerin sıcaklıkları ve bileşimleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Ekstrüzyon matrislerinde kullanılan malzemelerin sıcaklıkları ve bileşimleri (Sönmez, 1989).

Çelik Grubu	Kimyasal Analiz %								Yumuşatma Tavlama Sıcaklığı (°C)	Sertleştirme Sıcaklığı (°C)
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W		
Cr-W-V	0,30	0,30	-	2,70	-	-	0,40	9,00	730-750	1070-1150 Y+H+B
Cr-Mo-Ni	0,60	0,80	0,30	2,00	0,45	2,00	-	-	740-780	1130-1180 Y
Cr-Mo-V	0,35	0,30	0,50	5,00	1,30	-	0,90	-	800-830	1130-1180 Y
Cr-Mo-W-V	0,35	1,30	0,40	3,50	0,50	-	0,40	9,50	730-750	1130-1180 Y
Cr-Ni-W	0,40	-	-	12,00	-	12,00	-	2,00	Dövülmüş kullanılır	

(Y: Yağ; H: Hava; B: Sıcak banyo)

Çeliğin ekstrüzyonunun da %5 Cr ihtiva eden W' sız sıcak iş çeliklerinin kullanılması uygundur. Bu tip çelikler normal yolla sertleşmez fakat soğuk işleme matris malzemesi olarak kullanılır. Çizelge 2.2'de ekstrüzyon malzemesine göre matris malzemeleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Matris malzemeleri (Sönmez, 1989).

TAKIM	Fe-Ni ve Ti esaslı alaşımları	Bakır alaşımları	Alüminyum alaşımları	Zn-Pb-Sn alaşımları
Sıcak iş malzemeleri				
Ekstrüzyon matrisleri	2343/2343 2705/2731	2356/2567 2581/2705 2706/2731 2885/2888/2889	2343/2344 2367/2885	2343/2344
Özel matrisler				
Köprülü matrisler	Kullanılmaz	2,4668 2,4979	2343/2344 2367	2343/2344
Parçalı matrisler	Kullanılmaz	Kullanılmaz	2343/2344	2343/2344
Parçalı matrisler	Kullanılmaz	Kullanılmaz	2343/2344 2367	Kullanılmaz

2.2 Matris Şekilleri ve Dizaynı

Matrisin dizaynı ve şekli bütün ekstrüzyon parametrelerini (ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon hızı, malzeme akışı, sürtünme, ısı vb.) değiştirir. Bu ekstrüzyon parametrelerini ve mamul kalitesini iyileştirmek amacıyla çeşitli matrisler geliştirilmiş ve geliştirilen bu matrisler ekstrüzyon işleminde üretilmesi zor profillerin imalatında kolaylıklar sağlamaktadır.

Takımların yardımı ile imalat yöntemlerine geçilmesinden bugüne kadar şu görülmüştür ki, imal edilen ürünün kalitesi büyük ölçüde kullanılan takımın verimliliğine bağlıdır. Aynı mantık ekstrüzyon işlemi içinde geçerlidir. Bir ekstrüzyon takımının verimliliği aşağıdaki beş özellik ile belirlenir:

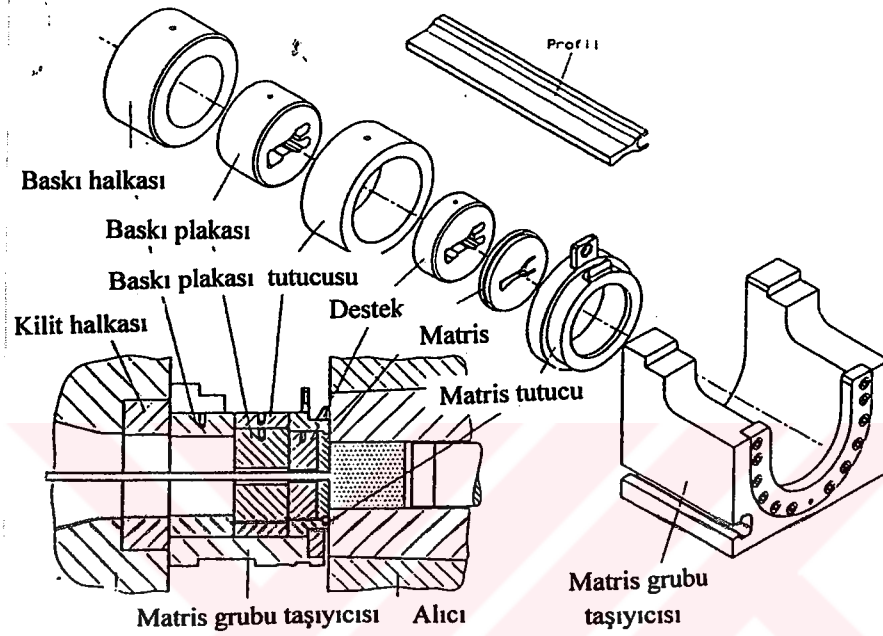
- İyi konstrüksiyon ve düşük üretim maliyeti,
- Kullanılan takımlar,
- İyi kalitede takım malzemesi,
- İstenilen özelliklere uygun ısı işlemi.

Konstrüksiyonun temelleri olarak da şunları sayabiliriz:

- Ekstrüzyon presinin yapısı,
- Kullanılan takımlar,
- Alıcı ve takım içinde malzeme akışı,
- Malzeme akışının kontrolü,
- Büzülme miktarının saptanması,
- İleri sürülen, takım ölçü standartlarının uygulanması.

Ekstrüzyon işleminde üretilecek olan profile bağlı olarak üç tip farklı takım kullanılmaktadır: Açık veya dolu profillerin üretimi için normal veya düz matrisler kullanım alanına sahiptir. Alıcı ile matris arasındaki sızdırmazlık dairesel halka formundaki takım parçaları ile sağlanır. Normal bir matris takım kombinasyonuna sahip ekstrüzyon presinin parçaları Şekil 2.2'de sematik olarak gösterilmiştir.

Yuvarlak ve şekilli boruların imalinde kullanılan boru takımları, boruya dış şeklini veren normal matris ile iç formunu veren mandrelden meydana gelirler. Pres içinde yer alan mandrel sayesinde iç boşluğun oluşumu sağlanır ve böylece dikişsiz boru üretimi mümkün hale gelir.

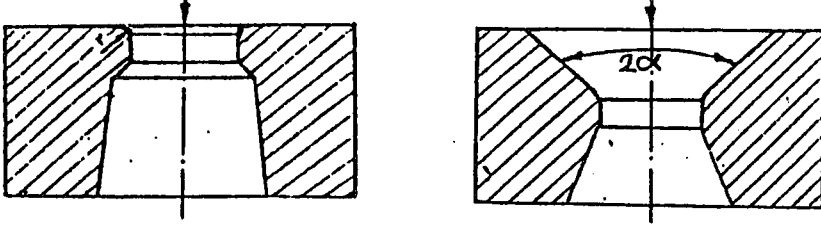


Şekil 2.2 Ekstrüzyon presinde normal matris takımının yapısı.

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

Ekstrüzyon yönteminde malzeme akışı ekstrüzyon edilen malzemeye göre çok farklı olduğundan matris deliğinin giriş tarafının şekli ve boyutları karakteristik büyüklük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çeşitli malzemeler ve çok çeşitli profiller üzerinde denemeler yapılarak uygun malzeme akışını sağlayacak delik giriş şekilleri elde edilmeye çalışılmıştır.

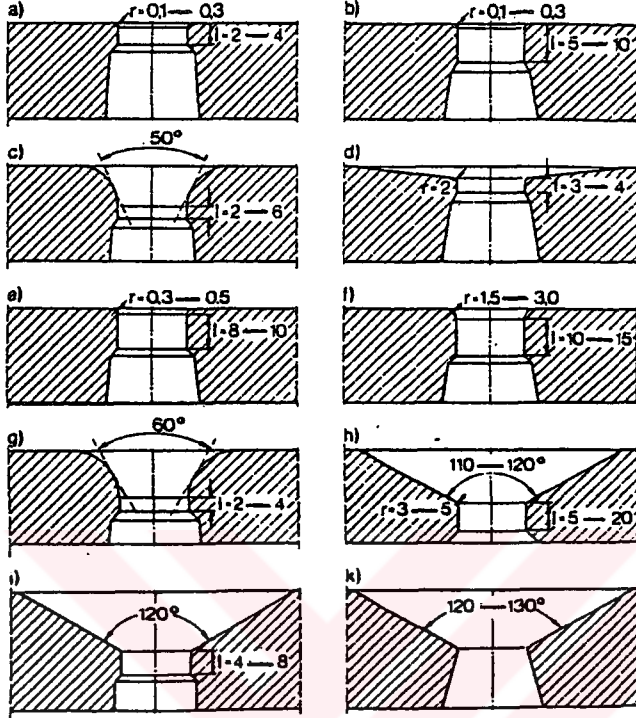
Deneylelerde dik açılı ve konik matrisler kullanılmıştır (şekil 2.3).



şekil 2.3 Düz ve konik matris (Sönmez, 1989).

Bazı malzemelerde örneğin alüminyum alaşımlarında dik açılı matrislerin daha uygun olduğu görölmüştür. Ancak deliğin dik kenarlarının çabuk aşınması ve çubuk yüzey kalitesini bozması nedeniyle bu kenarlar yuvarlatılmıştır. Ekstrüzyon basıncını bir miktar artırmasına rağmen bu yuvarlatmalar, özellikle plastiklik özelliği düşük alaşımların ekstrüzyonunda yüzey çatlamlarının önlenmesine yardım etmektedir.

Yuvarlatma yarıçapları matris çapına ve malzeme cinsine göre değişmektedir. Örneğin; alüminyum alaşımlarında küçük, bakır alaşımlarında büyük olmaktadır. Dik açılı matrislerin bazı malzemeler için malzeme akışı ve ekstrüzyon yönünden uygun olmadığı görölünce matris deliği girişine belirli bir açı verilmiştir. Araştırmacılar, kalayı değişik açılı matrisler ile ekstrüzyon ederek malzeme akışını incelemişler ve matrise belirli bir açı verilince malzeme akışının daha homojen olduğunu görmüşlerdir. şekil 2.4'de ekstrüzyon matrisleri için matris tipleri verilmiştir. Matris açısı büyüdükçe ölü bölge küçölmekte, akış daha düzgün olmakta ve ekstrüzyon artığı azalmaktadır.



- a) Saf Alüminyum
AlMn, AlMgSi0,5
- b) Alüminyum Alaşımları
AlCuMg, AlMg2-5
AlZnMg1, AlZnMgCu1,5
- c) Magnezyum Alaşımları
MgAl2, MgZn6Zr
- d) Kurşun Alaşımları
Pb-Cu, Pb-Sb
- e) Pirinç, CuZn39Pb2
CuZn38Pb12
- f) Bakır, CuCd, CuSb
- g) Çinko Alaşımları
- h) Çelik (C çelikleri)
- i) Titanyum Alaşımları
- k) Yük. Sıcaklık Alaşımları

l=Kanal Uzunluğu
r=Yuvarlatma yarıçapı

Şekil 2.4 Matris tipleri (Sönmez, 1989).

Profillerin ekstrüzyonun da kullanılan matrislerden, mümkün olan en yüksek matris ömrü, maksimum ekstrüzyon çubuk boyu, çok sayıda ekstrüzyon işlemi sonunda dahi düzgün çubuk yüzeyi, yüksek ekstrüzyon hızı ve düşük imalat giderleri gibi özellikler beklenir. Silindirik çubuklarda ve basit profillerde bu şartlara genellikle ulaşılır. Ancak profilin karmaşıklığı arttıkça bu şartların yerine getirilmesi zorlaşır. Bir matrisin düzenlenmesinde ve imalinde şekli, cidar kalınlıkları gibi bir çok faktör dikkate alınmalıdır.

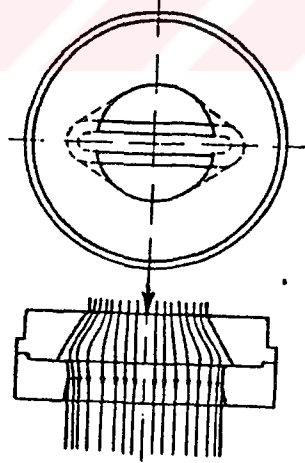
2.2.1 Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

Dolu profil matrislerinin düzenlenmesinde matris deliğinin yerini belirleyecek bazı temel kurallar dikkate alınmalıdır. Malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece matris kanal uzunluğunda bir düzenleme

yapılmadan belli bir dengeleme elde edilebilir. Simetrik bir profilde simetri eksenleri ön levhanın orta noktasında olacak şekilde bir düzenleme yapılmalıdır. Çok delikli matrislerde delikler mümkün olduğu kadar simetrik şekilde yerleştirilmelidir. Dolu profillerde düz matrislerden başka ön odalı matrisler, expansion ön odalı matrisler, ve destekli matrisler kullanılmaktadır.

Ön oda malzeme akışının eşit ve kararlı olmasını sağlar. İçi dolu, karışık geometri ve ince et kalınlığına sahip profillerde ölçü ve şekil tamlığı sağlar. AlMgSiO5 gibi hafif alaşımların ekstrüzyon unda birleştirme ön odalı matris kullanılarak ard arda bloklar basılabilir, yeni blok ile birleştirme ön odasında bir önceki bloktan arta kalan malzeme bu odada birbirine kaynar bu sayede sonsuz boyda profiller elde edilebilir.

Alıcı çapından daha büyük boyuta sahip fakat fazla geniş olmayan profillerin üretimi expansion ön odalı matris ile gerçekleştirilebilir. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi dairesel blok kesiti belirlenen büyütme açısı ile profil kesitine bağlı olarak oval bir kesite dönüştürülür.

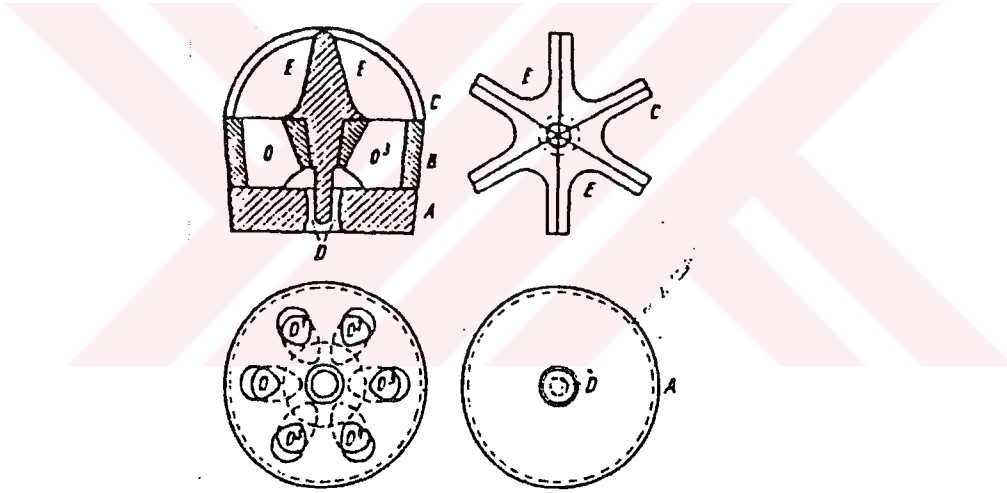


Şekil 2.5 Expansion ön odalı matris (Arabacı, 1996).

İşlem bir anlamda elde bulunan alıcı boyutlarını üretimi istenen profile göre yönlendirmektedir. Büyütme açısı alaşıma bağlı olarak 10-15° arasında değişmektedir. Expansion levhasının kalınlığı maksimum profil genişliğini belirler (Sönmez, 1989).

2.2.2 İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

Ekstrüzyon tekniğinin bugün ulaştığı noktaya, yüksek sıcaklıkta çalışan çeliklerin gelişmesine ve ısıtma işlemlere, işletme makinelerindeki ve ekstrüzyon preslerindeki gelişmelere bağlı olarak yıllar önce ekstrüzyonu hayal bile edilemeyen karmaşıklığındaki profillerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Araştırmacı Alexander DİCK'in tasarımları ancak gerekli teknoloji mekanik sağlandığında uygulanabilirlik kazanmasına rağmen bugün unutulmuş durumdadır (Şekil 2.6). Geçen zaman içerisinde tam kapalı içi boş profillerin üretimi için köprülü, spider ve odalı matris tipleri geliştirilmiştir.

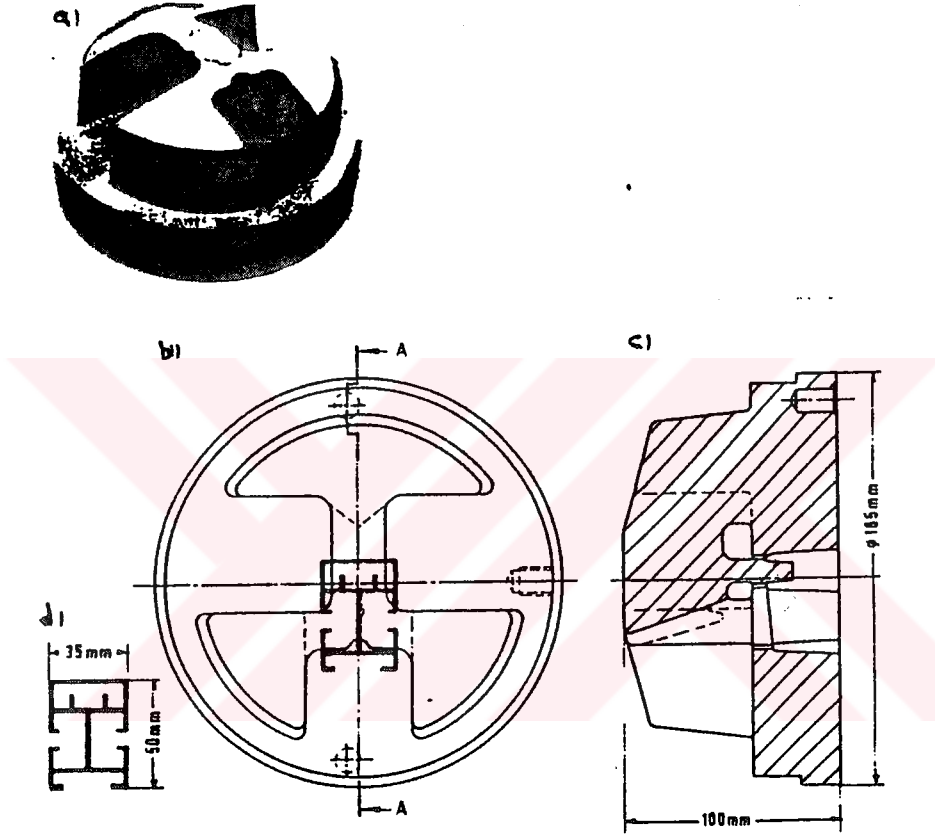


Şekil 2.6 Altı kanallı köprülü matrisin ilk uygulaması (Göymen 1988).

2.2.2.1 Köprülü Matrisler

Köprülü matrisler genel olarak ince cidarlı kutu profillerin imalatında ve profil yüzeyinde iyi bir kalite beklendiğinde kullanılmaktadır (Şekil 2.7). Diğer kutu profil takımlarına kıyasla en düşük ekstrüzyon kuvvetine ihtiyaç duyarlar ve bu yöntemde en yüksek ekstrüzyon hızına erişilir. Her ekstrüzyon işleminden sonra kalıntı uzaklaştırıldığından köprülü matris düşük sıcaklıklarda kullanılır. Bu konstrüksiyonun diğer bir avantajı da matrisin arka taraftan monte

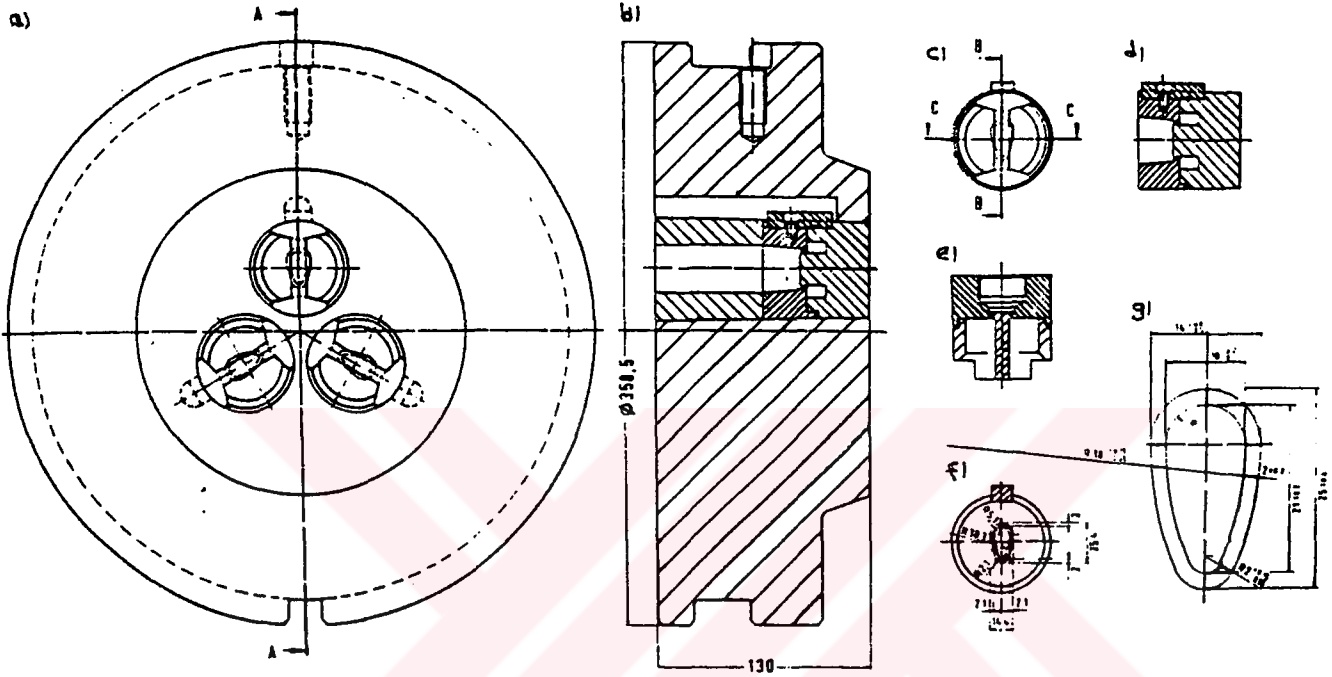
edilmesi olup, yeni matris durumunda matris giderlerinin düşük olmasıdır. Ekstrüsiyon kalıntısının her işlemten sonra alınması, ıskarta miktarının artması sistemin dezavantajıdır. Ayrıca çekme ve basma neticesinde birbirine ters yönde ortaya çıkan zorlamalar nedeniyle takımda kısa sürede aşınma veya kırılma olabilir.



Şekil 2.7 Tek parçalı köprülü matris (Arabacı, 1996).

a) Köprülü matris, b) Matris alın yüzeyi, c) A-A Kesiti, d) Profil.

Bilindiği gibi malzeme alıcı eksenine doğru daha hızlı akmaktadır. Bu özellik çok profilli matrislerde radyal kuvvetlerin oluşmasına sebep olur. Bu problem matris gövdesi üzerinde bulunan birbirinden bağımsız ufak, tek profilli odalı veya köprülü matrislerde karşımıza çıkar. Bu matris takımları matris gövdesine veya matris tutucusuna yerleştirilir. Yani her profil için ayrı komple içi boş profil takımı düzenlenir. Şekil 2.8’de üç profilli köprülü matris dizaynı görülmektedir. Bu yapıda matris tutucusu matris gövdesi olarak görev yapmaktadır.

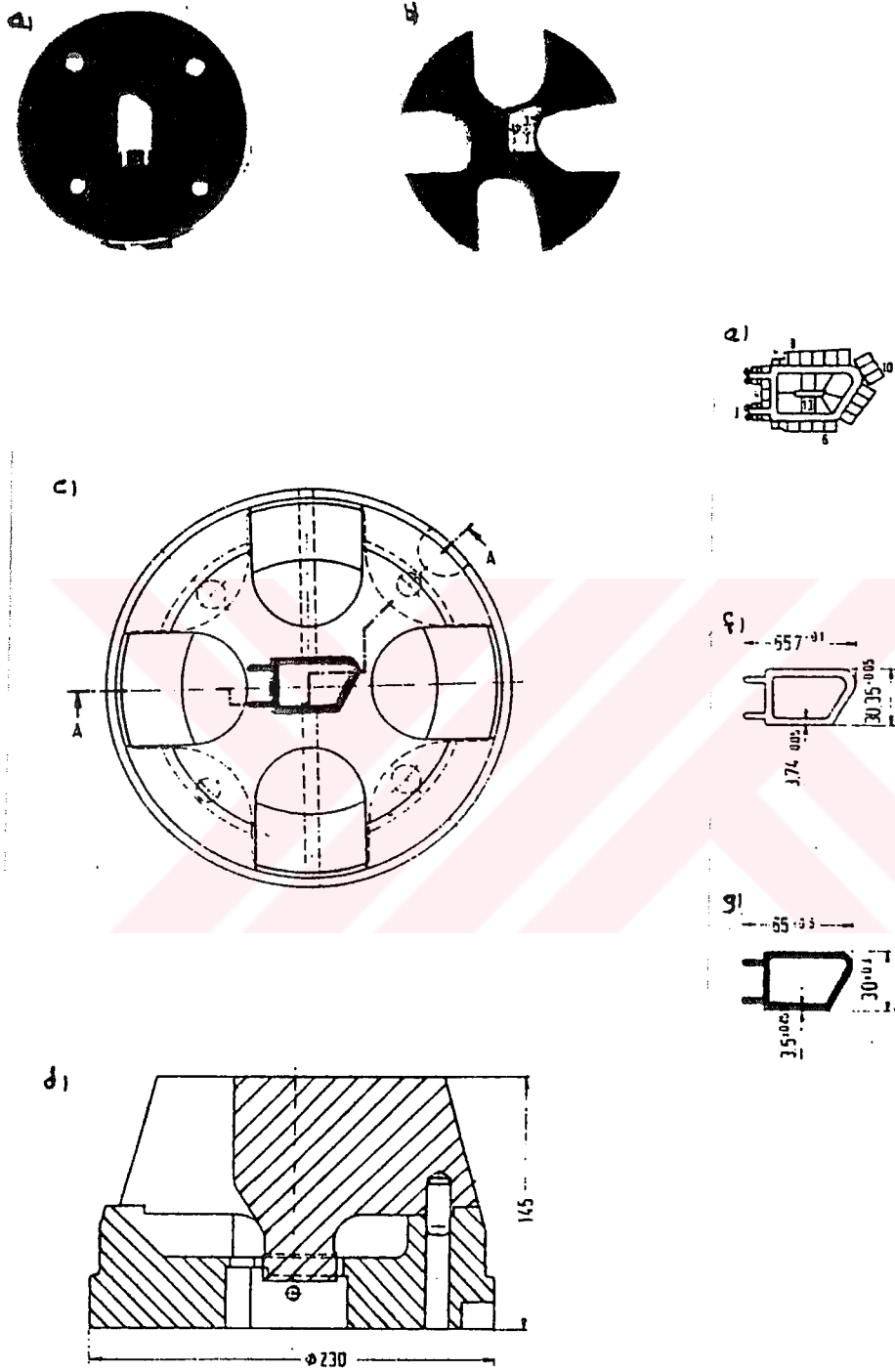


Şekil 2.8 Üç profilli değiştirilebilir parçalı köprülü matris dizaynı (Arabacı, 1996).

- a) Matris alın yüzeyi, b) A-A Kesiti, c) Köprülü matris, d) B-B Kesiti, e) C-C Kesiti, f) Matris boşluğu ölçüleri, g) Profil ölçüleri.

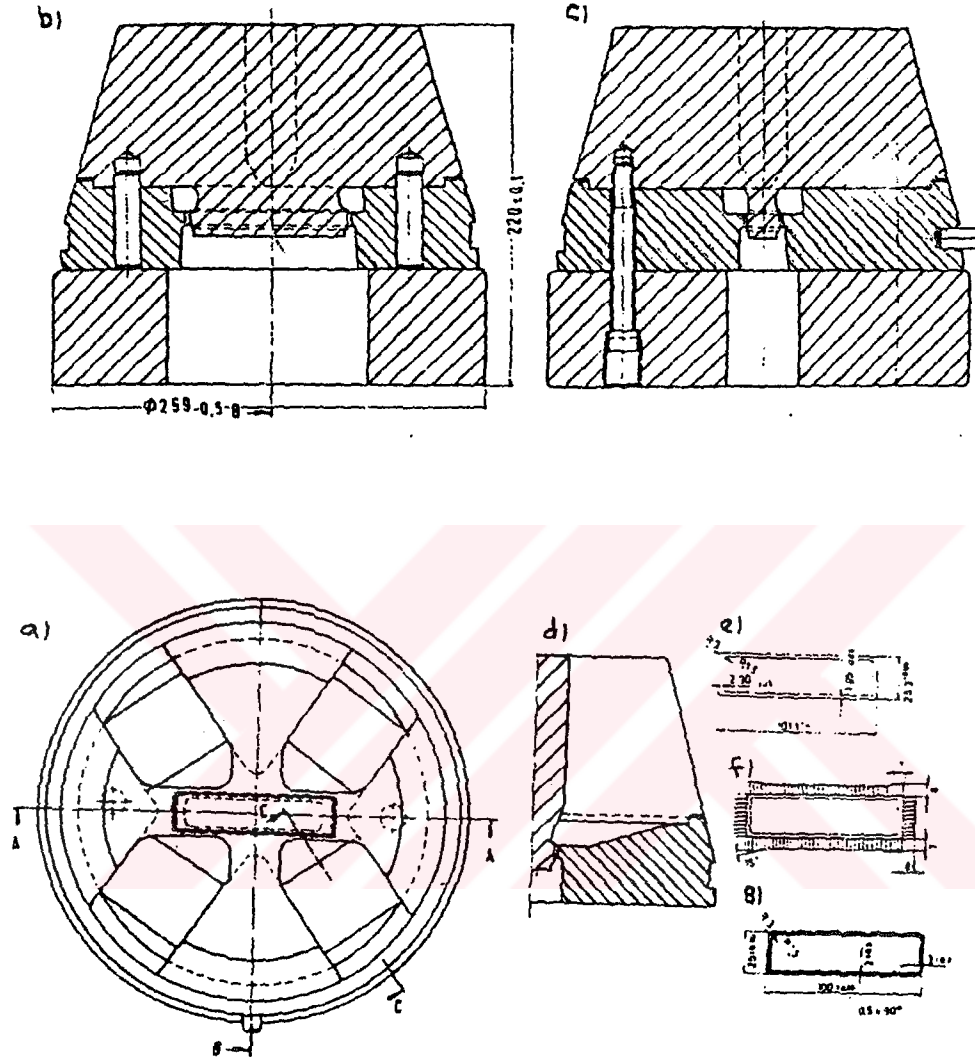
2.2.2.2 Spider Matrisler

Spider matrisler genellikle düşük ekstrüzyon oranlarında büyük içi boş profiller için kullanılır (Şekil 2.9). Bu matrisin kontrol ve ayarı için uzun süre temizlik gerektiğinden kullanılması ikinci plana atılmıştır. Ayrıca ekstrüzyon kalıntısı dış koniklik nedeni ile uzaklaştırılmamaktadır. KELLER tarafından geliştirilen yeni konstrüksiyon eski konstrüksiyonların dezavantajlarını kısmen ortadan kaldırmıştır ve pratikte daha çok kullanılmaktadır. Şekil 2.10'da altlığı spider takıma monte edilmiş konstrüktif bir yapı görülmektedir.



Şekil 2.9 İki parçalı spider matris (Arabacı, 1996)

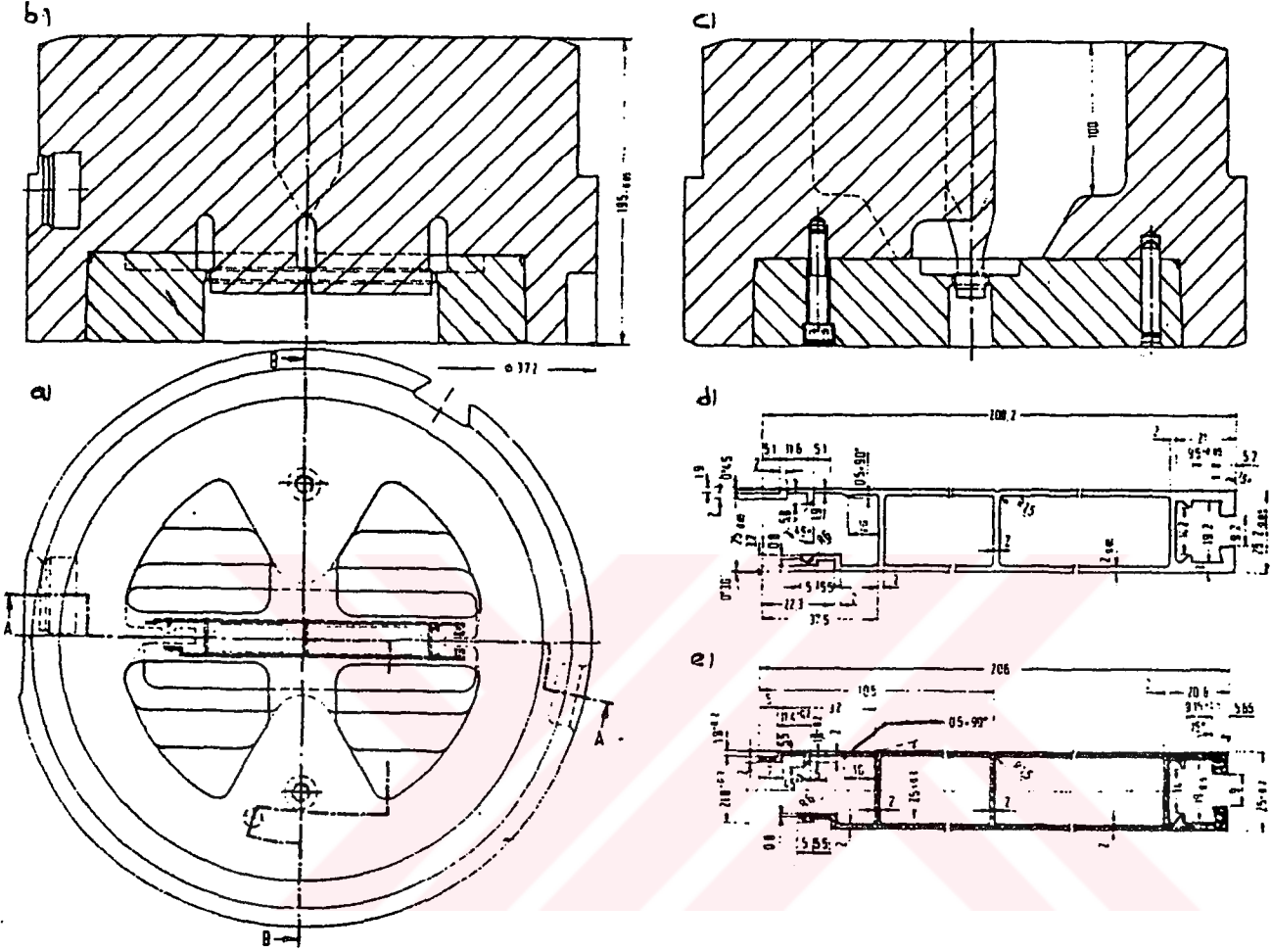
- a) Matris alt parçası, b) Matris üst parçası, c) Matris alın yüzeyi, d) A-A Kesiti,
e) Matris kanal uzunlukları, f) Matris boşluğunun ölçüleri, g) Profil ölçüleri.



Şekil 2.10 Altılı spider takıma monte edilmiş konstrüktif yapı (Arabacı, 1996).
 a) Matris alın yüzeyi, b) A-A Kesiti, c) B-B Kesiti, d) C-C Kesiti, e) Matris boşluğunun ölçüleri, f) Matris kanal uzunlukları, g) Profil ölçüleri.

2.2.2.3 Odalı Matrisler

Bu konstrüksiyonlar her şart altında kullanılabilmekte ve ekstrüzyon tekniğinde beklenen en iyi neticeyi vermektedir. Çok delikli olarak kullanılabilmeleri yanında kapalı konstrüksiyon şekilleri sayesinde maksimum stabiliteye sahiptirler (Şekil 2.11).

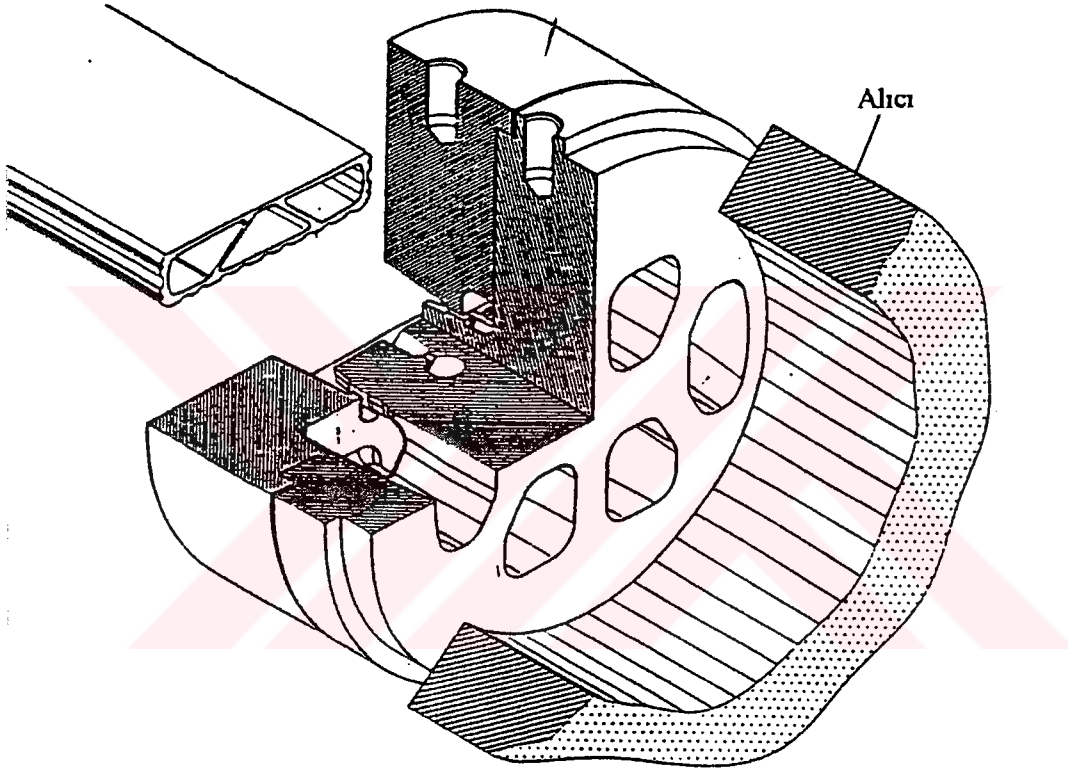


Şekil 2.11 İki parçalı odalı matris (Arabacı, 1996).

- a) Matris altın yüzeyi, b) A-A Kesiti, c) B-B Kesiti, d) Matris boşluğunun ölçüleri,
c) Profil ölçüleri

Alıcı çapına oranla profil çapı çok büyük olduğunda dahi odalı matrisler kullanılabilenekte, bu durumda bütün matris tutucuları oda takımı olarak görev yapmaktadırlar. Bu matrisler çok kritik kesitleri olan profillerin ekstrüzyonun da rahatlıkla kullanılabilenektir. Diğer matris tiplerine göre daha az ekstrüzyon artığı oluşmakta ve oluşan artık daha kolay uzaklaştırılmaktadır. Ancak bu matrisler genelde tek parçadan oluştuğu için düzeltme yapmak zordur. Malzeme akışına olan etkisi yönünden odalı matrisler diğer tiplere göre daha üstündür (Şekil 2.12).

Kaynak dikişlerinde daha estetik görünüm sağlamak için giriş ve kaynak odalarının dizaynında dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Kaynak odalarındaki şekil değiştirme basıncının yeterli olması için uygun giriş büyüklüğü sağlanmalıdır. Arkadan gelen bloğun boşluğu hızlı doldurması için giriş fazla büyük olmamalıdır. Uygun giriş, alıcı çapının maksimum % 90'ı kadardır. Ekstrüzyon oranı 14/1'e eşit veya daha büyük olmalıdır. Bu oranın altına inilirse özel takım kullanılmalı veya uygun şartlar sağlanmalıdır (Sönmez, 1989).



Şekil 2.12 Odalı matrisin şematik görünümü (Arabacı, 1996).

2.3 Matris Dizaynına Etki Eden Faktörler

Ekstrüzyon matrislerinin delik şekli, dizaynı ve matris üzerindeki yeri ekstrüzyon işleminin ekonomikliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle matris dizaynı ve imalatı bilgi, tecrübe ve ileri teknoloji gerektiren bir iştir. Ekstrüzyon edilecek malzeme özelliklerine ve imal edilecek profilin şekline göre matris delik şekli seçilmeli ve dizayn edilmelidir. Uygun olmayan matris delik şekilleri ve dizaynı, malzeme akışını idealden saptırmakta, enerji sarfiyatını ve ıskarta oranını artırmakta, profilin yüzey kalitesini bozmakta ve takım ömrünü

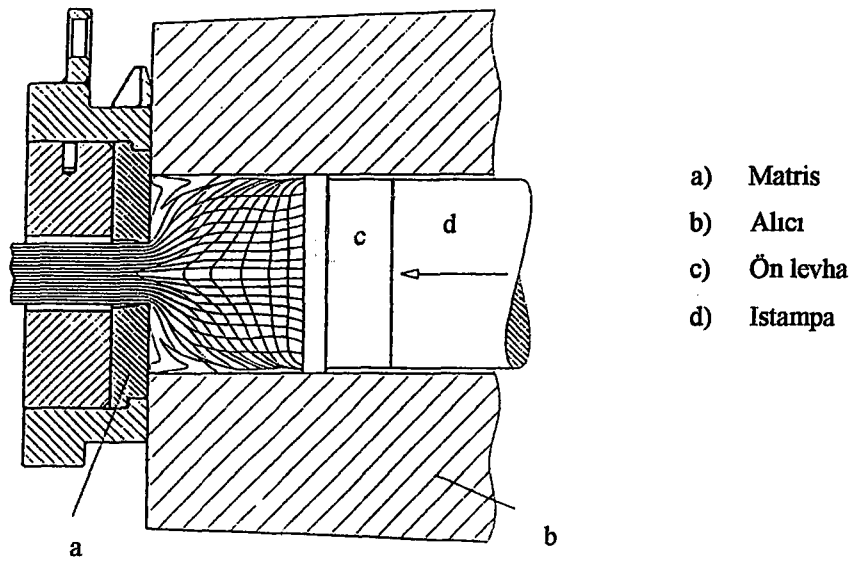
kısaltmaktadır. Bütün bu faktörleri dikkate alarak çeşitli matris dizaynları geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur.

Ekstrüzyon yönteminde malzeme akışı ekstrüzyon edilen malzemeye göre çok farklı olduğundan matris deliğinin giriş tarafının şekli ve boyutları karakteristik büyüklük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çeşitli malzemeler ve çok çeşitli profiller üzerinde denemeler yapılarak uygun malzeme akışını sağlayacak delik giriş şekilleri elde edilmeye çalışılmıştır. Deneilerde dik açılı ve konik matrisler kullanılmıştır.

2.3.1 Malzeme Akışının Kontrolü

Ekstrüzyon işleminde temel olarak malzeme akışı, matris açıklığına kadar bütün ekstrüzyon presi takımlarında eşittir. Ekstrüze edilecek blok, istampa ve ön levhanın önünde, basınç altında yığılmaya başlar ve matris açıklığından istenen profile çıkmaya başlar (Şekil 2.13).

Akışın bloğun merkezinde daha hızlı gerçekleştiği görülürken, blok yüzeyi ile takım yüzeyleri arasındaki sürtünmeden dolayı blok çevresinde akış daha yavaştır. Matris boşluğunun önünde doğal olarak konik bir akış oluşur ve alıcı ile matris alın kenarları arasında matris açıklığına doğru bir ölü bölge oluşur.



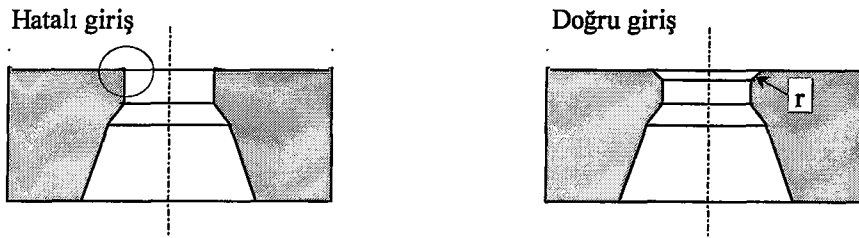
Şekil 2.13 Alıcı içerisinde malzeme akışı.

Takım dahilinde malzeme akışının kontrolü amacı ile bugün tüm takım çeşitlerinde aşağıdaki üç temel olasılık bulunmaktadır:

- Matris içinde bulunan akma yüzeylerinin farklı uzunluklara sahip olması.
- Ön oda tertibatının kullanılması.
- Özel matrislerde, farklı form ve büyüklükte kaynama odaları.

2.3.2 Yüzey Kalitesi

Matris giriş ağzının şekli ekstrüzyon mamulünün yüzey kalitesini önemli bir şekilde etkilemektedir. Giriş ağzları keskin köşeli olan matrislerde, keskin köşelerde sıkıştırma nedeniyle malzeme kaynaması tehlikesi oluşmaktadır. Matristeki bu kaynamalar belirli bir sınır aşıldığında çubuk yüzeyinde çizgiler şeklinde hatalar oluşmakta ve çubuğun sonunda malzeme yığılmaları oluşmaktadır. Bu malzeme yığılmaları yüzeylerden koptuğunda çubuk yüzeyinde gözeneklere neden olmaktadır. Bu durumlarda yüzeyden kopan malzemeler sürüklenerek çubuk yüzeyinde derin izler oluşmakta ve boru yüzeylerinde ise yırtılmalara neden olmaktadır. Matris deliklerinde giriş kısımlarının dik kenarlarının çabuk aşınması ve çubuk yüzey kalitesini bozması nedeniyle bu kenarlar yuvarlatılır (Şekil 2.14). Ekstrüzyon basıncını bir miktar artırmaya rağmen bu yuvarlatmalar, özellikle plastiklik özelliği düşük alaşımların ekstrüzyonunda yüzey çatlamlarını önlenmesine yardım etmektedir.



Şekil 2.14 Matriste köşe yuvarlatmaları.

Matris kanalı yüzeyi kaliteli olarak işlenmemiş veya zamanla aşınmış ise ekstrüzyon mamulünün yüzeyinde çizgiler oluşmakta ve parlak bir yüzey sağlanamamaktadır. Aşınmış matrisler aynı zamanda boyut hatalarına da neden olmaktadır (Schey, 1990).

Yüzey pürüzsüzlüğünü azaltmak veya önlemek için matriste aşağıdaki önlemler alınabilir.

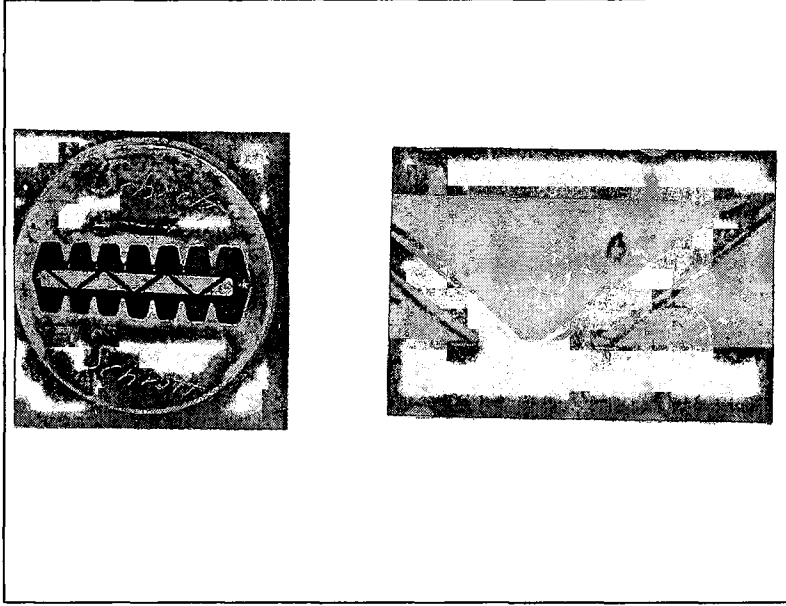
- a) Konik matris kullanılmayan malzemelerde, matris deliği girişi ağız yuvarlatılmış veya çok az koniklik verilmiş matrislerin kullanılması,
- b) Matris kanal uzunluğu mümkün olduğu kadar kısa yapılmalıdır,
- c) Bilhassa profil matrislerinde matris kanal uzunluğu ile ekstrüzyon hızı birlikte düşünülmelidir. Kanal uzunluğu kısaldıkça ekstrüzyon hızı artırılabilir.
- d) Odalı matrislerle ekstrüzyon da kaynak dikişlerinin kenarlara kaydırılması ve laminer akışı sağlayan büyük ve derin kaynak odalarının kullanılması,
- e) Ekstrüzyon edilen profilin üzerinden hareket ettiği kanal veya kılavuzların yüzeylerinin (profil ile metal arasındaki teması azaltmak için) ısıya dayanıklı plastikle kaplanması.

2.4 Matris Hataları

Ekstrüzyon matrisleri şekillendirme için yüksek basınç, sürtünme ve aşındırmaya maruz kalırlar. Matris imalatı çok kaliteli bir işçilik gerektiren bir işlem olduğundan maksimum verim amaçlanır. Sonuç olarak dizaynda, malzeme seçiminde, üretimde, ısıl işleminde ve çalışma koşullarında istenilen sonuca ulaşmak için bir çok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Bu konuda yapılan araştırmalar bir sürü parametreyi belirlemiştir. Alüminyum ekstrüzyonu ile ağır metal ekstrüzyonu karşılaştırıldığında alüminyum ekstrüzyonu daha basittir. Çünkü çalışma sıcaklığı düşüktür. Özellikle 1.2343, 1.2344 ve özel durumlarda 1.2367 kullanılır. Çelik kalitesi bir kalıbın başarısında önemli rol oynar (Kortmann, 1990).

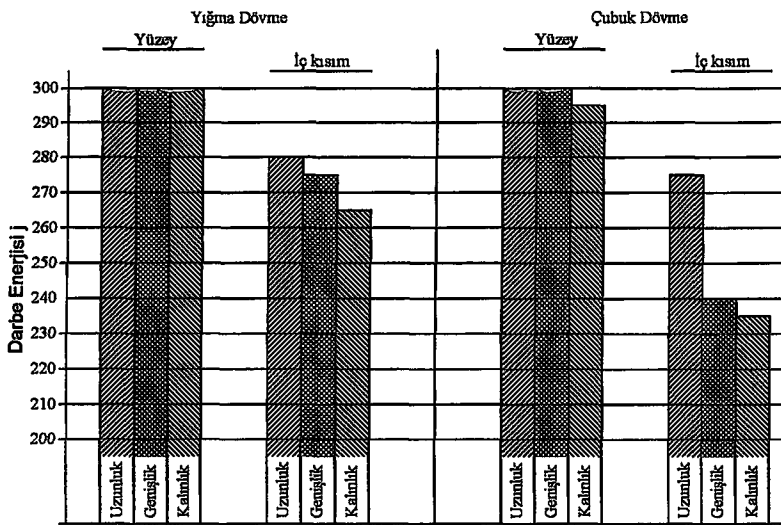
Birinci örnek bir çelik hatasını gösteriyor. Matrislerin üretiminde makina da iç bölgede delikler bulunmuştur (Şekil 2.15).

Araştırmalar stok malzemelerin ultrasonik testlerinde teşhis edilemeyen gözenekleri ortaya çıkarmıştır. Mandrel in bozulma ihtimali yüzünden bu matris kullanılmamıştır.



Şekil 2.15 Matriste malzeme hatasından (gözenek) meydana gelen hata (1.2343) (Kortmann, 1990).

3 yönlü dövme (ayrı ayrı dövülen parçalar) yönteminde nadir olarak görülen bu hata oluşmuştur. 3 yönlü dövme yöntemi porozite riskinin azaltılması amacı ile büyük boyutlar için tavsiye edilebileceği gibi, özellikle nüvede yüksek tokluğun arandığı küçük boyutlardaki imalatlarda önerilebilir. Şekil 2.16'da üç yönlü dövme parçalar ile çubuk malzemelerin bükme dirençleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.16 ESR malzemenin darbe dayanıklılığı karşılaştırması (Kortmann, 1990).

Bu araştırma, ısıtılmış ve 44 HRC sertliğindeki 1.2343 ESR malzemesi ile yapılmıştır. ESR malzemesinin iç kısımda kullanılması gerektiğinin bilinmesine rağmen, elde edilen değerler 3 yönlü dövmeyle göre daha düşüktür. Doğal olarak boyutların ve üretim yeteneklerinin bir rolü vardır. Her durumda çelik çubuk/bireysel dövme parçaların boyutları 450mm çaptan fazla olur. Yüksek alaşımlı çeliklerde bu boyutun limiti çok daha düşüktür. Bu yüzden ağır metal ekstrüzyonlarındaki çatlamlar alüminyuma göre daha yüksektir. Şekil 2.17'deki hata malzeme ve ısıtılmanın kombinasyonu sonucudur.

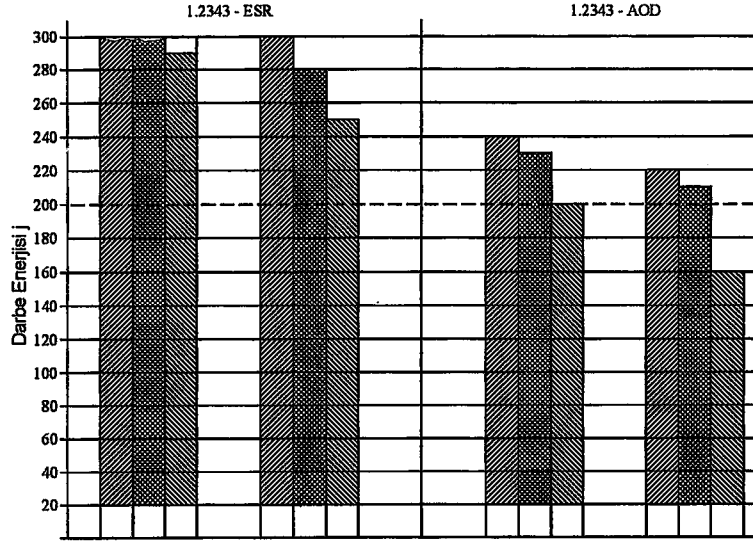


Şekil 2.17 Malzeme ve ısıtılma hatalarından dolayı matriste oluşan hata (Kortmann, 1990).

Kırılmış matrisin mikroyapısı incelendiğinde tane sınırlarında yüksek miktarda karbür çökelmesi izlenmiştir. Bu durum ana malzemenin yapısına bağlı olarak, ısıtılma neticesinde karbürlerin yapı içerisinde yetersiz çözünürlüğü ile izah edilebilir. Tavllanmış matris malzemesinin iyi olmaması durumunda, aşağıda iç yapı fotoğrafı verilen mükemmel bir iç yapının elde edilmesi güç olabilir. Tane sınırlarında oluşan yüksek miktarlardaki karbür çökeltileri, malzemede kırılabilirliğe ve düzensiz ısıtılma iletkenliğine neden olabilir (Kortmann, 1990).

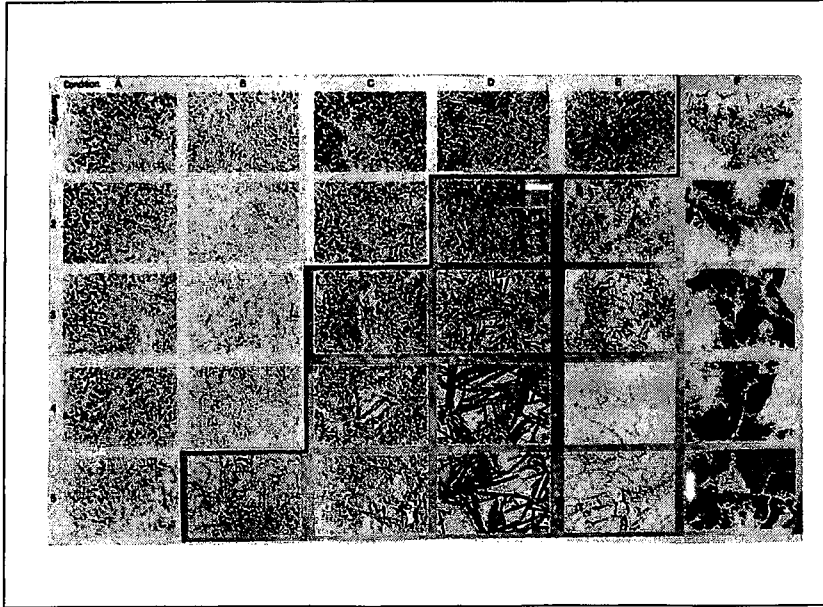
Bu çökeltiler sıcak işlemle sonra uygulanan ara bir ısıtılma işlemle giderilebilir. Gerektiğinde ek bir ısıtılma işlemle iç yapının homojenliği iyileştirilebilir. Ayrıca iç yapıdaki segregasyonlar, arındırılmış malzeme (ESR) kullanımı ile en alt düzeye indirilebilir. Böylece yapı içerisinde

Şekil 2.18’de görüldüğü gibi her yönde homojenlik sağlanabilir.



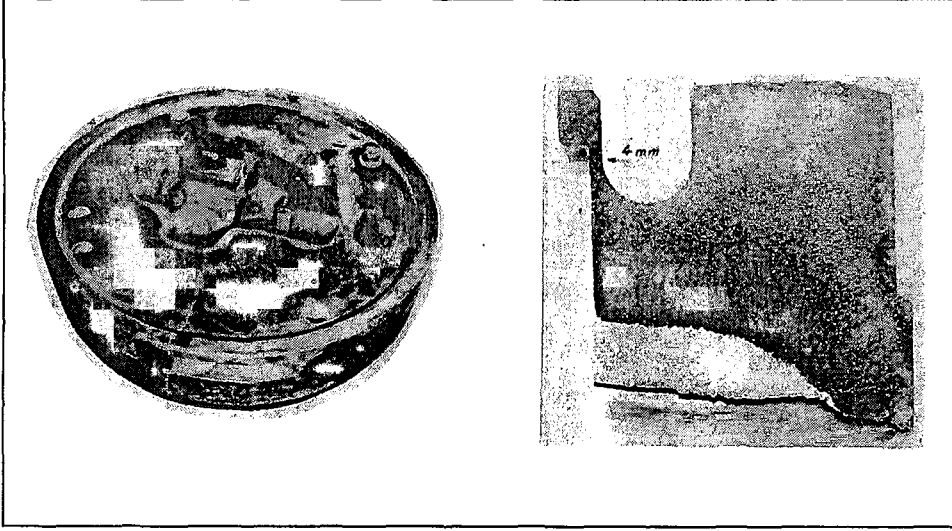
Şekil 2.18 1.2343 malzemenin darbe dayanıklılığında ESR ve AOD karşılaştırılması (Kortmann, 1990).

Eğer bükme testlerindeki 220j'nin DGM şartları, AOD malzemesine de uyarlanırsa, ESR kullanımını tüm iç kısımlarda daha iyi sonuçlar verecektir. Şekil 2.19’da görülen optimum yapıya yukarıdaki ölçümlerin sağlanmasıyla ulaşılmıştır.



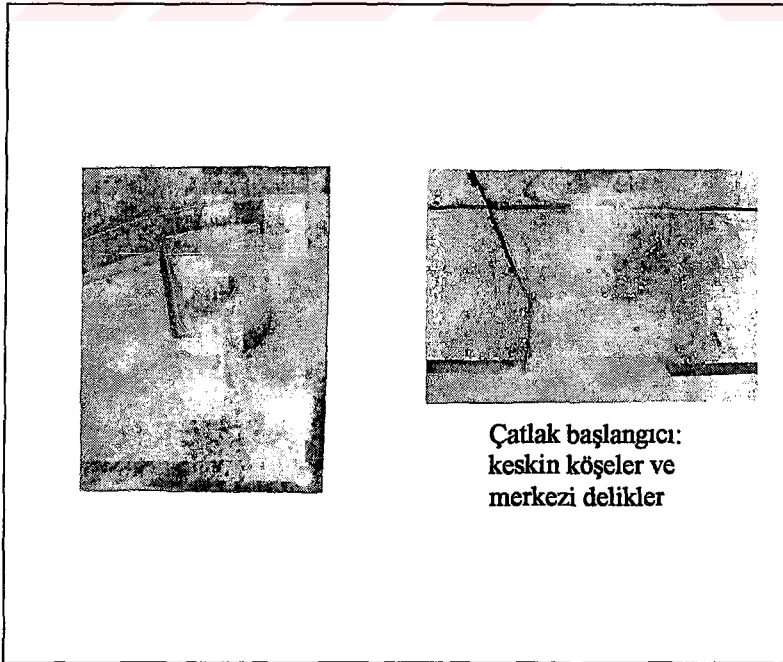
Şekil 2.19 Tavlanmış çeliğin mikroyapısı (Kortmann, 1990).

Malzeme kendi başına her zaman yeterli bir tanımlayıcı olamaz. Şekil 2.20'deki matrisin hata sebebi olan gerilme çatlağı dizayn hatası sonucu oluşmuştur.



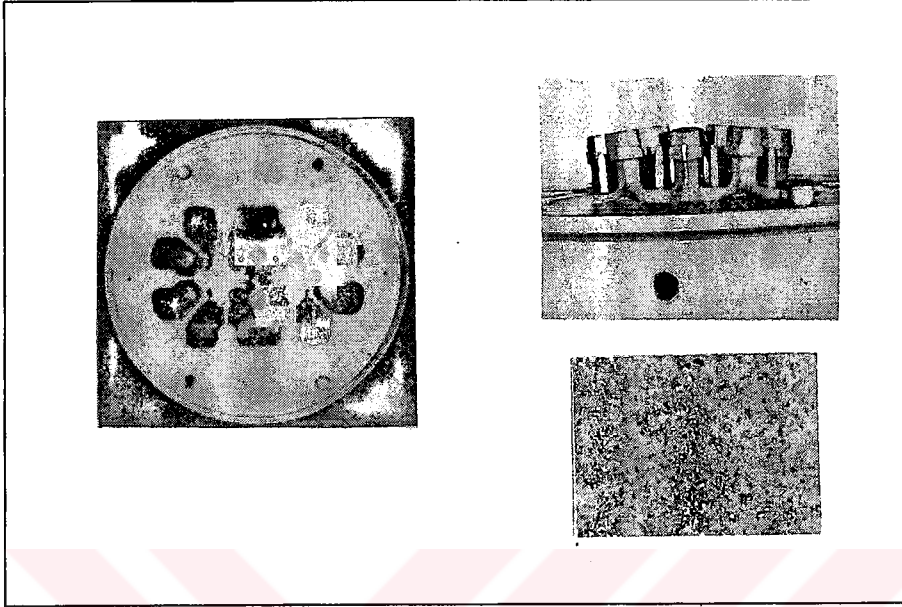
Şekil 2.20 Hatalı dizaynın neden olduğu matris hatası (Kortmann, 1990).

Kütle değişimleri de buna benzer ve keskin köşeler çatlama riskini her zaman artırır. İç boşluklu ve keskin köşeli 1.2713 malzemelerde sertleştirme gerilimlerinin sebebiyet verdiği çatlaklar oluşmuştur (Şekil 2.21) (Kortmann, 1990).



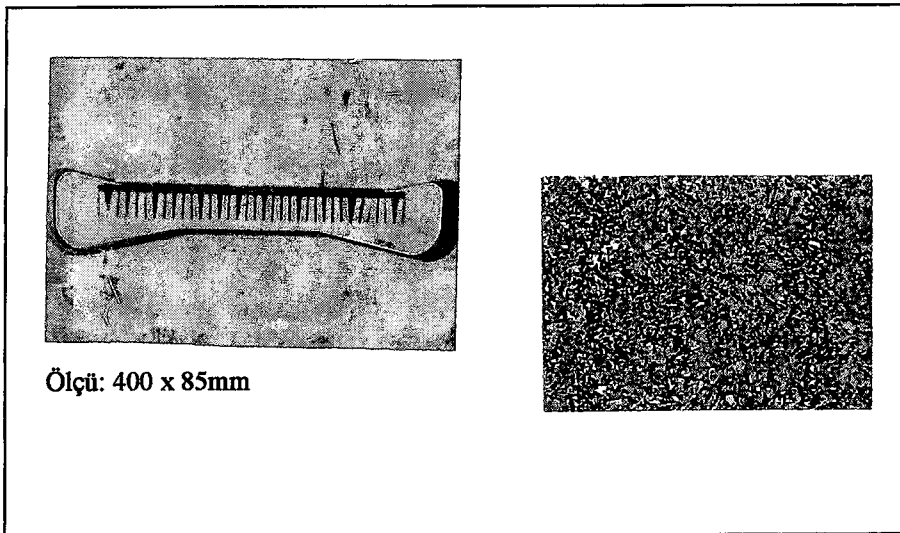
Şekil 2.21 Isıl işlem hatasından kaynaklanan çatlak (Kortmann, 1990).

Matrislerde genellikle hatalı ısıl işlem nedeniyle kaynaklanan hatalar meydana gelir. Şekil 2.22’de görülen plastik deformasyonun sebebi aletin sıkı sertleşmeye tabi tutulmasıdır.



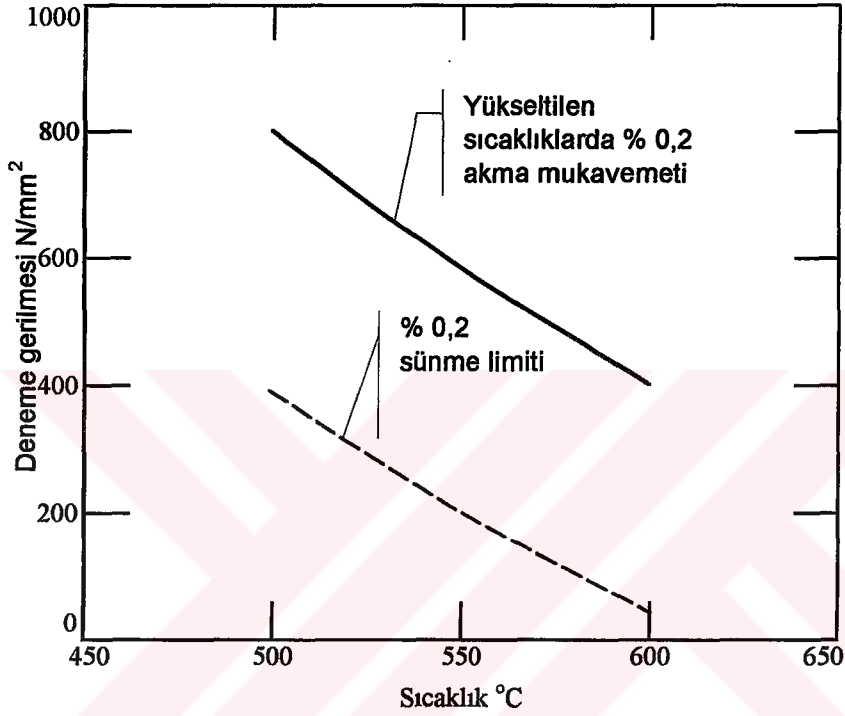
Şekil 2.22 Hatalı ısıl işlem nedeniyle matriste meydana gelen plastik deformasyon (Kortmann, 1990).

Düşük ve yetersiz olan yapı, sıcaklık mukavemetini önemli derecede azaltır. Bu örnekte mandreller sıcaklıktan dolayı sertliklerini yitirmişlerdir. Şekil 2.23’de kalıp, sıkıştırma altında da plastik deformasyona uğramış erken hata meydana gelmiştir.



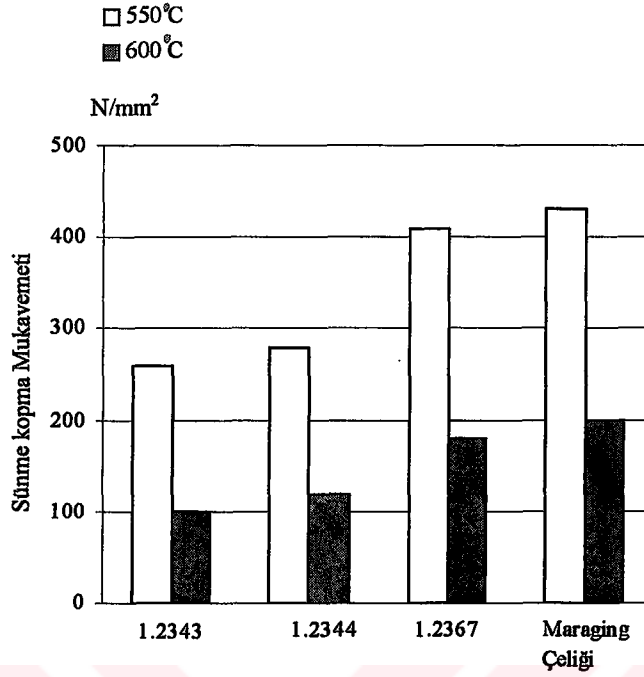
Şekil 2.23 Yetersiz sertleştirme işleminin neden olduğu matris hatası (Kortmann, 1990).

Doğal olarak malzemenin mukavemetini kaybetmesinin tek nedeni ısı değerlendirilmesi değildir, aynı zamanda çelik kompozisyonu da etkilidir. Malzemenin mukavemeti, ısı işlem sıcaklığı aşılmamış olsa bile uzun süre yüksek sıcaklıkta yük altında kaldığı zamanda azalır. Şekil 2.24'de yüksek sıcaklıkta sünme testleri ile mukavemetin %0.2 azaldığını göstermektedir.



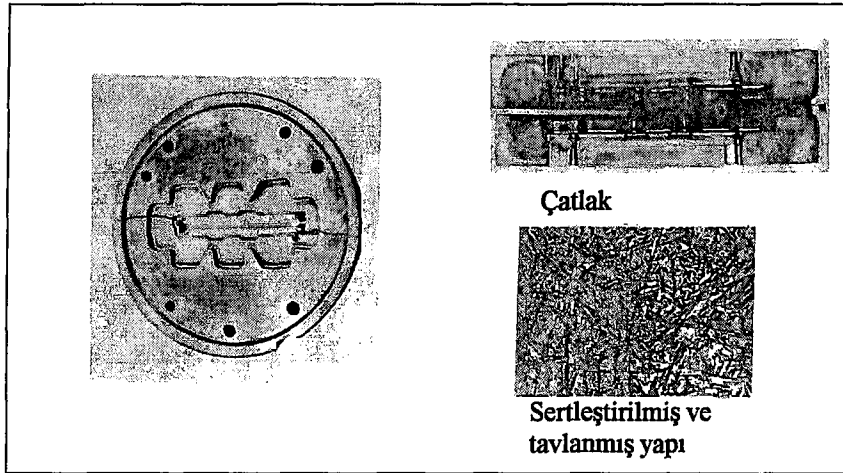
Şekil 2.24 % 0,2 sünme limiti ile % 0,2 akma mukavemetinin H11 (x38CrMoV51) de yükseltelen sıcaklıklarda karşılaştırılması (Sauer, 1981).

Bu durum bütün sıcak-çalışma takım çeliklerinde görülmesine rağmen sonuçlar kompozisyona göre değişmektedir. Şekil 2.25'de bazı sıcak-çalışma takım çeliklerin sünme mukavemetlerini göstermektedir.



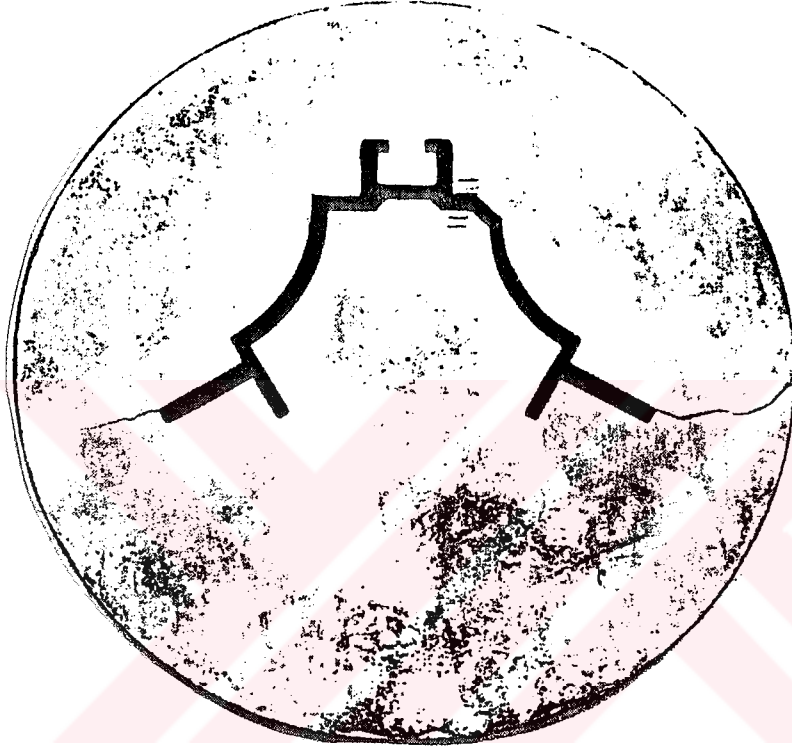
Şekil 2.25 Farklı sıcak iş çeliklerinin sünme kopma mukavemeti (Kortmann, 1990).

Çelik 1.2367 maksimum martenistik sert çeliğe ulaşır, fakat çok büyük aşınma direncine sahip olur. 1.2367 çeliği Şekil 2.20'de görülen örneğe göre özellikle matrisler için tavsiye edilir. Az sertleştirme gibi fazla sertleştirmeden de kaçınılmalıdır. Direnç, kaba birleştirme sonucu oluşan sıkışmada önemli derecede azalır ve çatlama riskini artırır. Şekil 2.26'da bununla ilgili bir örnek verilmiştir. Bu durumda yetersiz ön ısıtma sonucu direnç azalmıştır.



Şekil 2.26 Matriste, yetersiz ön tavlama ve ısıtma hatası sonucu oluşan çatlak (Kortmann, 1990).

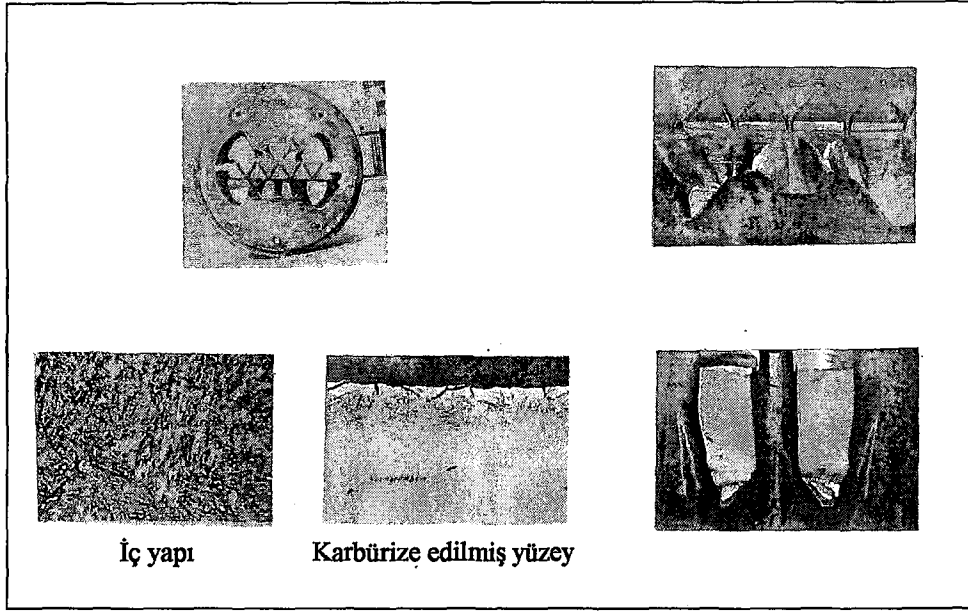
Şekil 2.27’de matriste çatlağın açık kanat uçlarında başladığı görülmektedir. Prensip olarak mukavemet arttığı zaman sertlik azalır. Ayrıca, östenit işleminden sonra aşırı sertleştirme sıcaklığı ve çok yavaş uygulanan soğumadan sonra serlikte aşırı bir azalma meydana gelir, yani sertleştirme sıcaklığı artışı kopma mukavemetini artırırken serliği azaltmaktadır (Sauer, 1981).



Şekil 2.27 Matriste kritik bölgede meydana gelen çatlak (Sauer, 1981).

Prensip olarak, eğer ısı uygulaması yanlış ise (örneğin sertlik çok düşük) bunu tekrar sertleştirmek mümkündür. Fakat çoğu durumda herhangi bir gelişme meydana gelmez. İki serleştirme sonucu kaba taneler oluşur ve özellikle büyük boyutlu kalıplarda direnç azalması görülür.

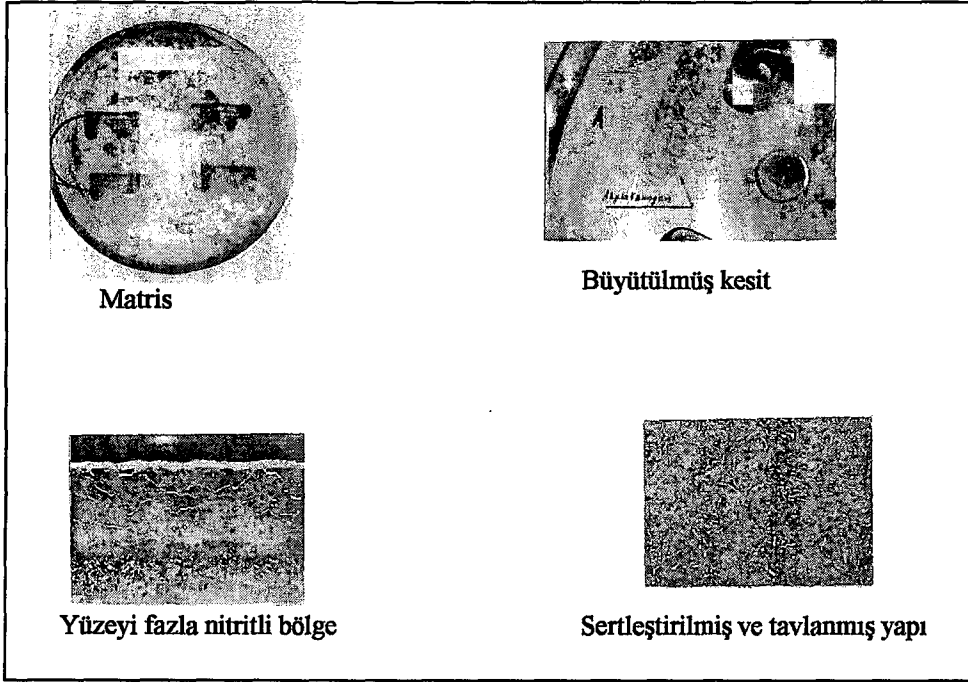
Tekrar sertleştirme işleminde iyi bir iç yapının elde edilebilmesi için matris malzemesinin önceden tavllanmış olması gerekir. Bu ısıl işlem nötr bir ortamda dikkatlice yapılmalıdır. Matris çevresinde oluşabilecek karbürizasyon ve dekarbürizasyon engellenmelidir (Şekil 2.28). Çatlama riski bu sebepten dolayı artmaktadır. İstenilen sertlik dekarbürize bölgeden elde edilmez, özellikle kalıp açıklığında erken aşınmalara sebebiyet verir. Profilin yüzey kalitesi iki katına çıkar.



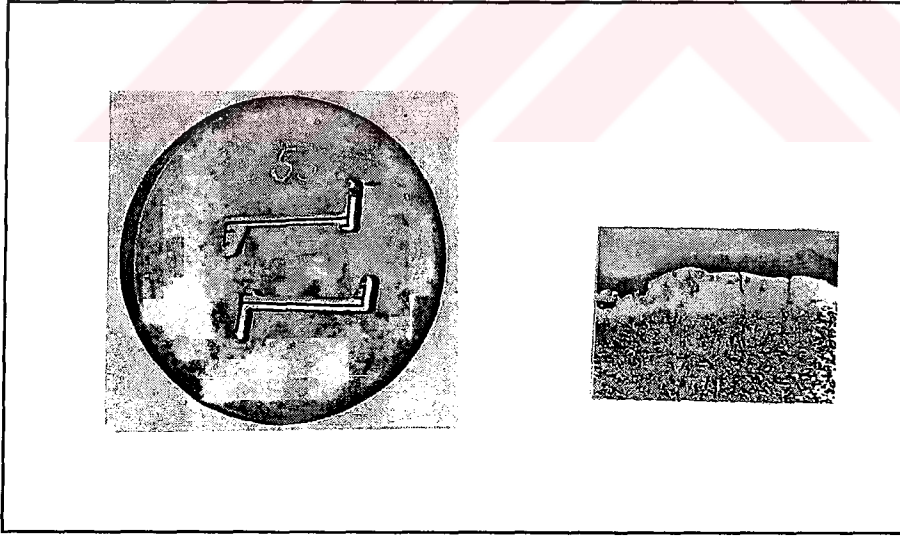
Şekil 2.28 Matriste, ısıl işlem hatası sonucu oluşan çatlak (Kortmann, 1990).

Nitrit olayı, yüzey değişimlerinde, üzerinde düşünülmesi gereken bir olaydır. Alüminyum ekstrüzyonlarında nitritli yüzeyler aşınma direncine karşı daha iyi sonuç verirler ve sürtünme, yapışma eğilimine karşı da iyi sonuç verirler. Fakat nitritli yüzeyler ağır metal ekstrüzyonlarında kullanılmazlar çünkü yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı değildirler. Fazla nitritleme olayından kaçınmak gerekir. Çünkü negatif sonuçlar doğurabilirler (Şekil 2.29).

Sınırlarda aşırı nitrit depozisyonu ve kalın nitrit tonlarında yüzey soğuması görülebilir. Aşırı nitrit uzun süre nitritleme veya sık sık nitritlenmeden kaynaklanmaktadır. Nitrit tabakası düzenli şekilde aşınmadığı için tekrar nitritleme olayında yine de etkisi görülebilir bu özellikle kenarlarda görülür. Şekil 2.30'da benzer profiller ekonomik olarak elektro erozyonu veya tel erozyonu ile üretilebilirler.



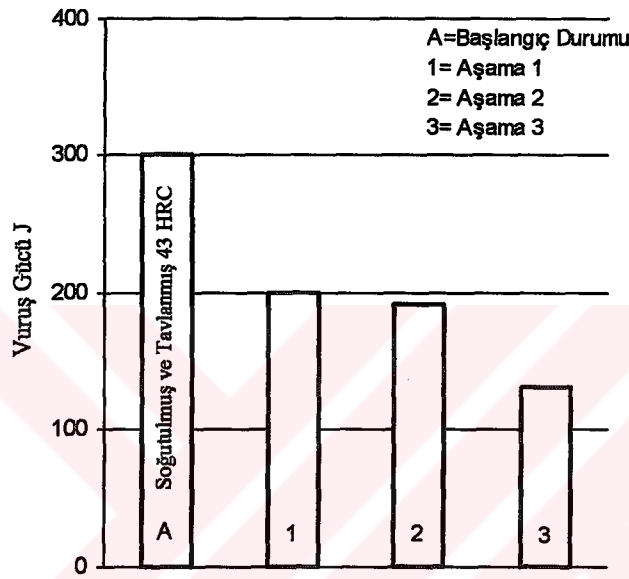
Şekil 2.29 Fazla nitritlemeden dolayı matriste pullanma (Kortmann, 1990).



Şekil 2.30 Matris çevresinde ince çatlaklar (Kortmann, 1990).

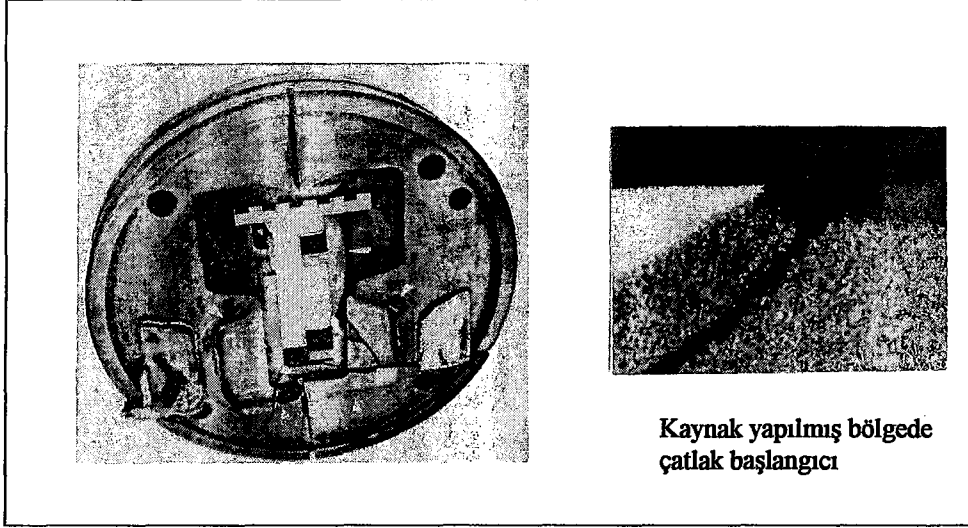
Bu tekniklerde çok dikkatli olunmalıdır ve elektro erozyon tarafından oluşan yanmadan kaçınılmalıdır. Tel erozyonundaki güzel aşındırmaya rağmen yüzey hasarları kaçınılmazdır. Şekil 2.30'daki mikrografikte belirtildiği gibi çevresel erozyonlu bölgede ince çatlaklar mevcuttur, bu beyaz tabaka diye isimlendirilen erimiş bölgede daha yaygındır. Aynı zamanda

mikro serleştirmelerde değişiklikler görülmektedir, bunun nedeni ise tekrar sertleştirme ve tavlama etkisidir. Bunlar birleşerek yüksek direnç oluştururlar. Yüzey hasarları kesme oranına bağlıdır. 0.45 mm'ye kadar derinlikler kaba kıvılcımlamadan sonra ölçülmüştür. Tel erozyonunda bile etkilenmiş olan 20 µm kadar ulaşabilir. Şekil 2.31, araştırmalar sonucu oluşan bükme direncine, erozyon oranına etkisini göstermektedir. Çok zayıf erozyon oluşumuna rağmen dirençte önemli derecede azalmalar olmaktadır.



Şekil 2.31 Akış oranının darbe tokluğu üzerindeki etkisi (Kortmann, 1990).

Olumsuz etkileri azaltmak için, parlatma yapılırken yeterli miktarda malzemeyle erozyon dikkatlice yapılmalıdır. Bazı durumlarda parlatma yapılmadan önce ara kesme işlemi yapılır. Doğal olarak kalıcı etkilerin giderilmesi için bölgenin mekanik olarak temizlenmesi (taşlanması) tavsiye edilebilir. Eğer bu mümkün değilse kıvılcımlamadan sonra tavlama önerilir. Fakat çok ince çatlakların oluşumu engellenememektedir. Şekil 2.32'de ise diğer bir hatanın tamiri sonucu oluşan hata görülmektedir.



Şekil 2.32 Uygun olmayan kaynak yapılması nedeniyle çatlayan matris (Kortmann, 1990).

Kaynakla tamir genelde olmaz. Kaynak genellikle, sadece çok pahalı matrisin dizaynında, istenilen düzenlemelere ulaşmak veya kırılmış yerleri örneğin ayakların tamirinde kullanılır. Bu tip tamirat yapılırken diğer bir hatanın oluşmaması için çok dikkatli olunmalıdır. Kaynaklı bölge ile etkilenen matris elemanı arasındaki bölüm çatlama duyarlı bölgedir. Mikrografikte görülen çatlamlar bu bölgeye tam paralel olarak gelişmektedir.

Matrislerin kaynağında da benzer tanımlamalar geçerlidir. 350°C'ye kadar ön ısıtma gerekir ve sonra bu ısıdayken kaynak yapılmalıdır, malzeme havada 80-100°C'ye soğutulur sonra 530°C'ye temperlenerek getirilirken 2-4 saat süre ile havada soğutulur.

3. MATRİS KANALI

Ekstrüzyon edilen profilin esas şeklini veren matris kanalıdır. Matris kanalındaki sürtünme ve aşınma safhaları pratikte büyük bir önem taşır. Profilden istenen ölçü tamlığı matrise yapılacak son rötuşlarla mümkün olur. Matris kanalının leplenmesi ile profilde daha iyi yüzey kalitesi sağlanır, matris kanalındaki çok ufak bir değişim akışı tamamen etkilemektedir. Profil yüzey kalitesini matris kanal yüzeyinde oluşan adhezyon safhaları etkiler. Matris kanal yüzeyindeki kaynama tabakası matris malzemesi ve blok malzemesi arasındaki yüksek adhezyon eğilimine bağlıdır. Ekstrüzyon sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı da matris kanal yüzeyindeki kaynama tabakasının oluşumunu etkileyebilir. Matris yüzeyine nitrasyon uygulayarak adhezyon eğilimi geciktirilebilir ancak engellenemez. Bu adhezyon oluşumu matristeki aşınma ile direkt ilgilidir. Matris kanalındaki sürtünme profilin sıcaklığını artırır ve ekstrüzyon hızını düşürür. Matris kanalındaki sürtünmenin ekstrüzyon kuvvetine etkisi az olmasına rağmen profil kalitesine etkisi büyüktür. Sürtünme kuvveti ile matris kanal uzunluğu doğru orantılıdır. Farklı kesitlere sahip profillerde eşit malzeme akışını sağlamak için matris kanal uzunlukları düzenlenir. Kısa kanal uzunlukları hızlı malzeme akışına ve düşük sürtünme kuvvetlerine neden olurlar. Buna karşın uzun kanal uzunlukları daha yavaş malzeme akışına ancak daha büyük sürtünme kuvvetlerine neden olurlar (Sönmez, 1989. ve Akaret, 1981).

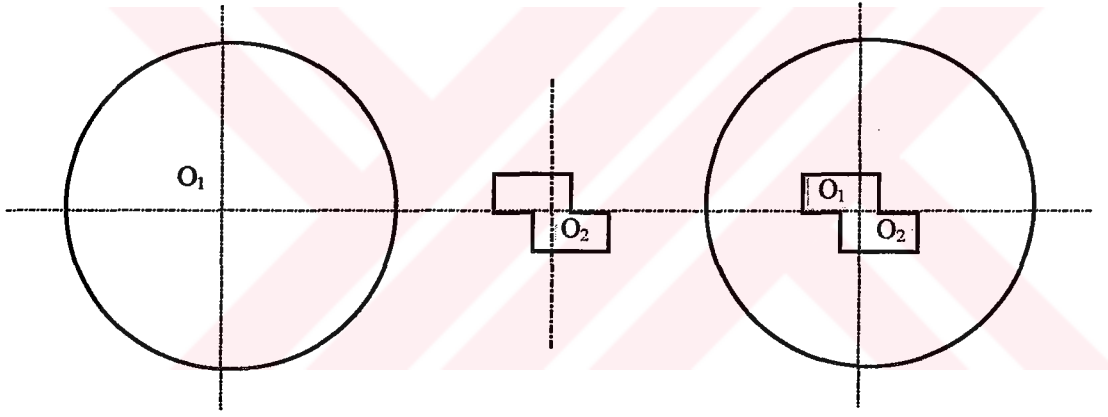
3.1 Matris Kanal Uzunluğu

Matris deliğinin, malzemenin temas ederek üzerinden aktığı yüzeylerin uzunluğu matris kanalı uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Matris kanal uzunluğunun, malzeme akışına, profilin yüzey kalitesine ve geometrik şekline, ekstrüzyon kuvvetine ve takım ömrüne etkisi çok önemlidir. Matris kanal uzunluğu ekstrüzyon edilen profil kesitinin her bölgesinde malzeme akışının homojen ve ekstrüzyon kuvvetinin de minimum olmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Profilin farklı kesitlerinde malzeme akışını düzenlemek için malzeme ve matris kanalının etki yüzeyi arasında yeterli ve gerekli kanal uzunluklarını oluşturmak gerekir. Kısa kanal uzunluğu düşük sürtünmeye neden olur ve malzeme daha hızlı akar. Buna karşın uzun kanal uzunluğu yüksek sürtünmeye neden olur, malzeme daha yavaş akar. Bu kural kanal yüzeyinin belirlenmesinde kullanılır. Profil kesitindeki malzeme birikimleri kesitin bazı bölgelerinde malzemenin daha hızlı akmasına sebep olur. Profil kesitinde büyük deformasyonlar oluşur ve bazı sınır şartlarda profil hatalı çıkar. İnce kesitlerde malzeme akmaz ve yırtılmalar meydana gelir.

3.2 Matris Kanal Uzunluğunun Dizaynı ve Boyutlandırılması

Ekstrüzyon da kaliteli mamul üretmenin ilk aşaması iyi dizayn edilmiş matrislerdir. Ekstrüzyonun bütün parametrelerini etkileyen matris dizaynı sistemin ekonomikliğini de etkiler. Matris dizayn edilirken pek çok hususa dikkat etmek gerekir (Sauer, 1981).

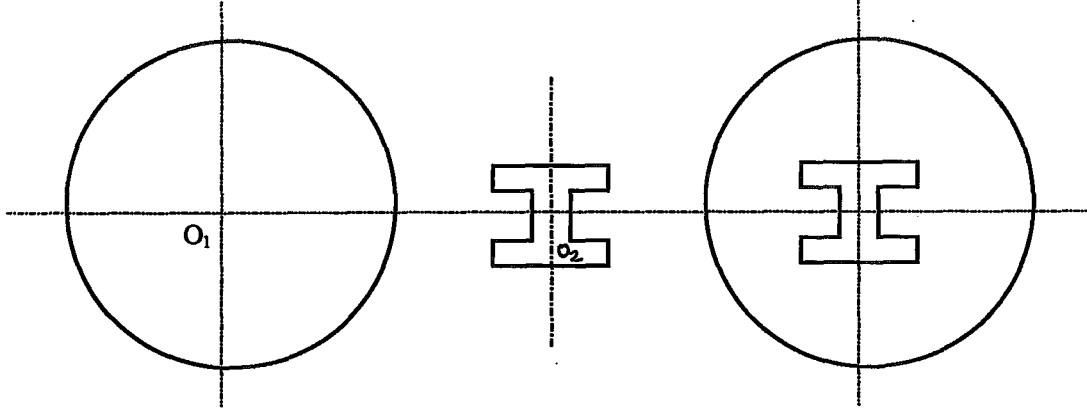
Büyük kesit farkları içermeyen profillerin imalatında matris üzerinde tek bir profil deliği varsa, profil kesitinin ağırlık merkezi, matrisin ağırlık merkezi ile çakışmalıdır. Bu çakışma sağlanmadığı takdirde (Şekil 3.1) ıstampada kasılmalar, matriste dengesiz zorlamalardan dolayı ekstrüzyon kuvveti ihtiyacı artacak, malzeme akış düzeninde bozulmalar meydana gelecektir. Matristen çıkan mamulde eğilmeler meydana gelecektir. Kaçıklık oranının artması bu olumsuz etkilerin de artmasına neden olacaktır.



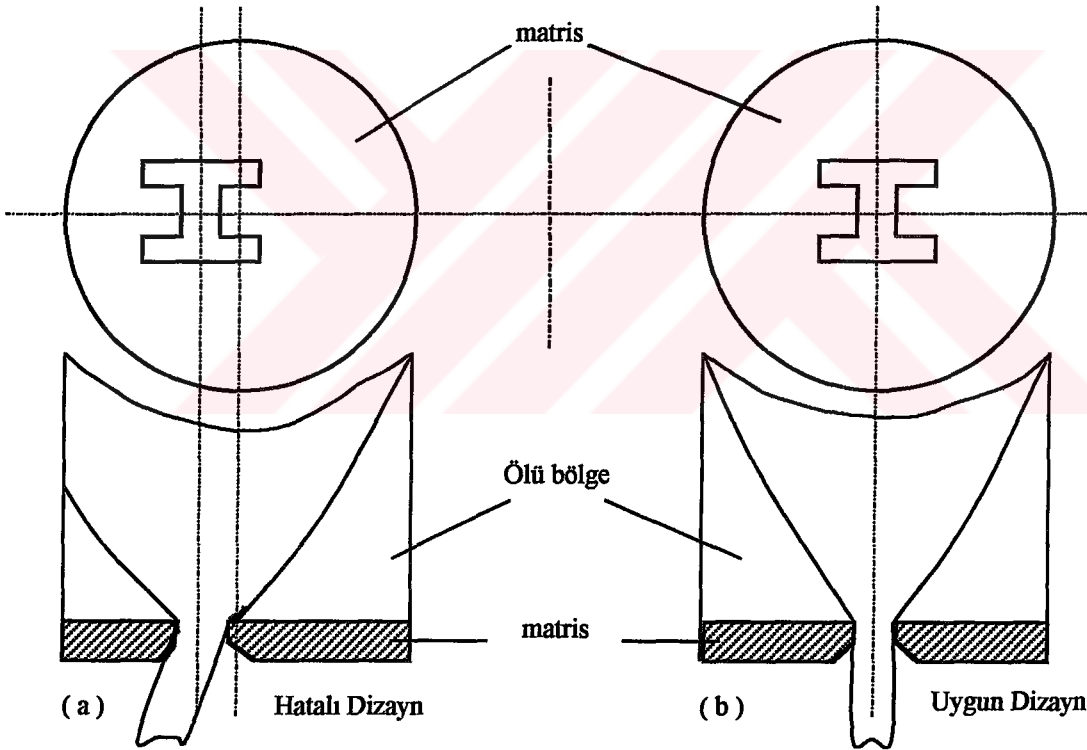
O₁ : Matris diskinin ağırlık merkezi
O₂ : Profilin ağırlık merkezi

Şekil 3.1 Profil ağırlık merkezi ile matris ağırlık merkezinin çakışması (Sönmez, 1989).

Malzeme akışının düzenli olabilmesi için simetrik bir profilde, simetri eksenleri ön levhanın orta noktasında olacak şekilde dizayn yapılmalıdır (Şekil 3.2). Simetrik bir profilde, eğer profilin ağırlık merkezi ile ön levhanın ağırlık merkezi çakışmıyor ise malzeme matrisin bir bölgesinde daha uzun diğer bir bölgesinde daha kısa yol kat edecektir. Bunun sonucunda da ölü bölge, çevreye yakın olan bölgede küçük, uzak olan bölgede ise daha büyük olmakta ve bunun sonucunda ölü bölgenin şekli değişmektedir (Şekil 3.3). Mamulde, eğilmeler şeklinde hatalar meydana gelecek, ekstrüzyon kuvveti ihtiyacı artacak ve ekstrüzyon hızı düşecektir.



Şekil 3.2 Simetrik bir profilin matris yüzündeki dizaynı (Sönmez, 1989).

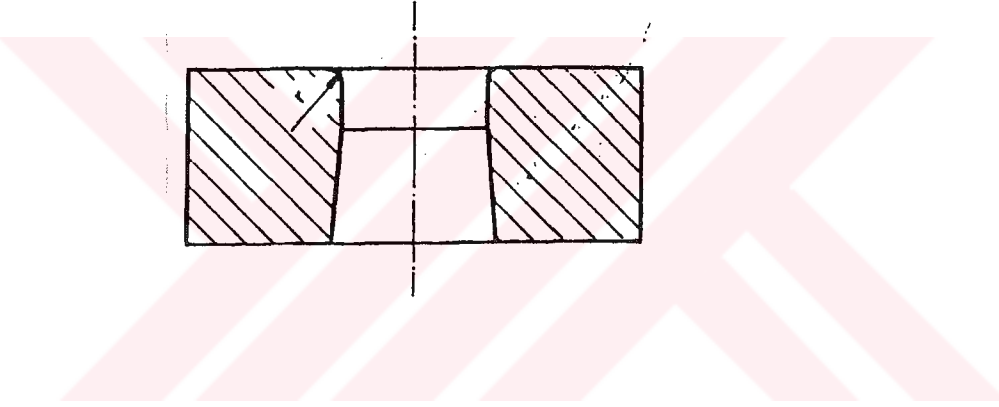


Şekil 3.3 Hatalı ve hatasız matris dizaynında ölü bölgenin durumu ve mamulde meydana gelen hata (Sönmez, 1989).

Ölü bölgenin bir tarafta uzun olması; uzun olan bölgenin ıstampa tarafından matrise doğru itilirken bu bölge kıvrılarak blok yüzündeki pisliklerin matrise doğru ilerlemesine neden olur. Buda mamulün kalitesinin bozulmasına neden olur.

Malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar, matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde düzenleme yapılmalıdır. Bunun sonucunda, profilin büyük kesitlerine akan malzeme, matris yüzeyinde daha kısa yol kat ederek matris kanalına girecektir. Bu dizayn şekli ile matriste dengeleme sağlanmış olacaktır. Bu sağlanmazsa sistem dengesiz kuvvetler altında kalır ve sistem zamanla zarar görebilir.

Düz matrislerde, delik girişindeki köşelerde yuvarlatma yapılmalıdır (Şekil 3.4). Bu yuvarlatmalar yapıldığı zaman gerekli ekstrüzyon kuvveti miktarı artmasına rağmen malzeme akışı düzgünleşmektedir.

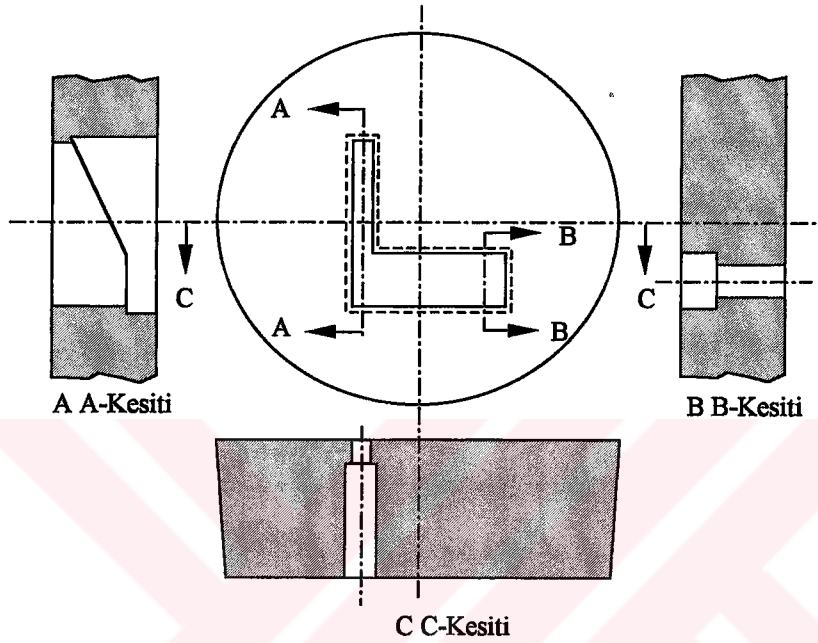


Şekil 3.4 Düz matriste köşe yuvarlatmaları (Sönmez, 1989).

Profil büyük kesit farklılıkları içeriyorsa, ince ve kalın kesitler matris kanalından çıkarken farklı sürtünme kuvvetlerine maruz kalırlar. Kalın kesitler, matris kanalından geçerken az sürtünme kuvvetleriyle karşılaşırken ince kesitler, yüksek sürtünme kuvveti etkisi altında kalırlar. Bu farklı sürtünme kuvveti etkileri profilin boyunda eğilmelere ve hatalı malzeme akışlarına neden olurlar. Matris kanalında ince ve kalın kesitlere göre yapılan düzenlemelerle bu hatalar önlenbilir.

Profilin matristen çıkış hızını ve malzeme akışını düzenlemek için genel olarak, ince kesitler için matris kanal boyu kısa, büyük kesitler için kanal boyu uzun tutulur. Böylece profilin matristen çıkış hızı ve malzeme akışında düzen sağlanmış olacaktır.

Merkezde malzeme akışı çevreye göre daha yüksek olduğundan matris kanalı bu özelliğe göre de düzenlenir. Matrisin merkezinde bulunan profil bölümlerinde matris kanal uzunluğu uzun tutulur ve bu kanal uzunluğu, matrisin merkezinden uzaklığın artmasıyla profil şekline bağlı olarak kısalmır (Şekil 3.5).

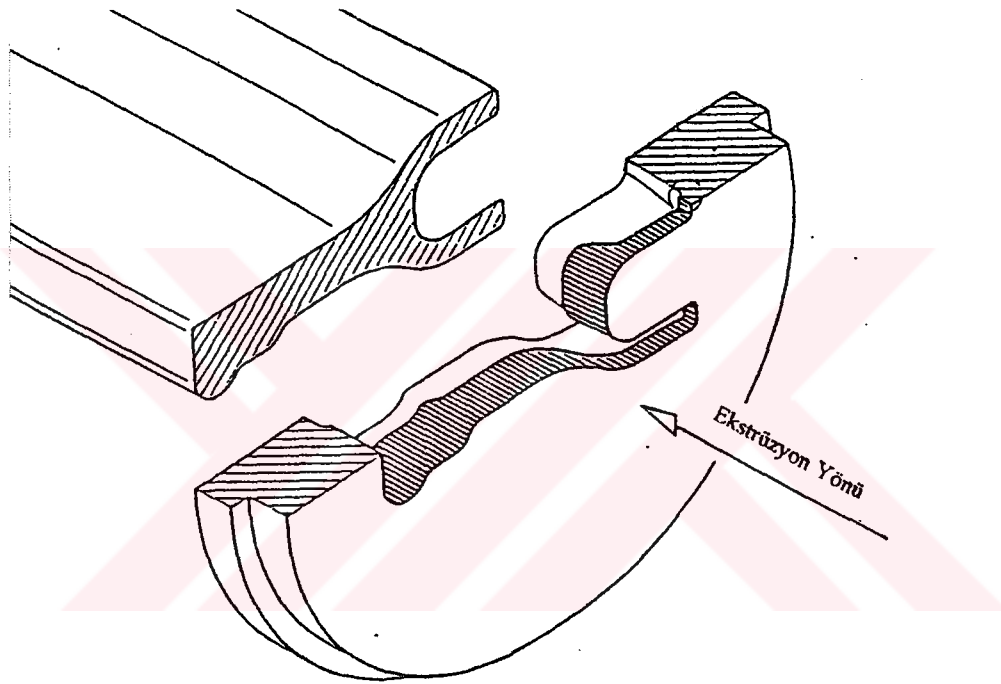


Şekil 3.5 Profil kesitlerine bağlı olarak matris kanal uzunlukları (Sönmez, 1989).

Malzeme akışının düzenli olabilmesinin esaslarından biride uzun yada kısa matris uzunluklarının kullanılmasıdır. Her matriste değişen kanal uzunlukları ile karşılaşılır. Eğer bir profilde farklı kesitler varsa, matris kanal uzunlukları kalın kesitlerde uzun, ince kesitlerde kısa kanal uzunluklarının düzenlenmesiyle matristen daha iyi malzeme akışı sağlanır ve burulma eğilimi azalır.

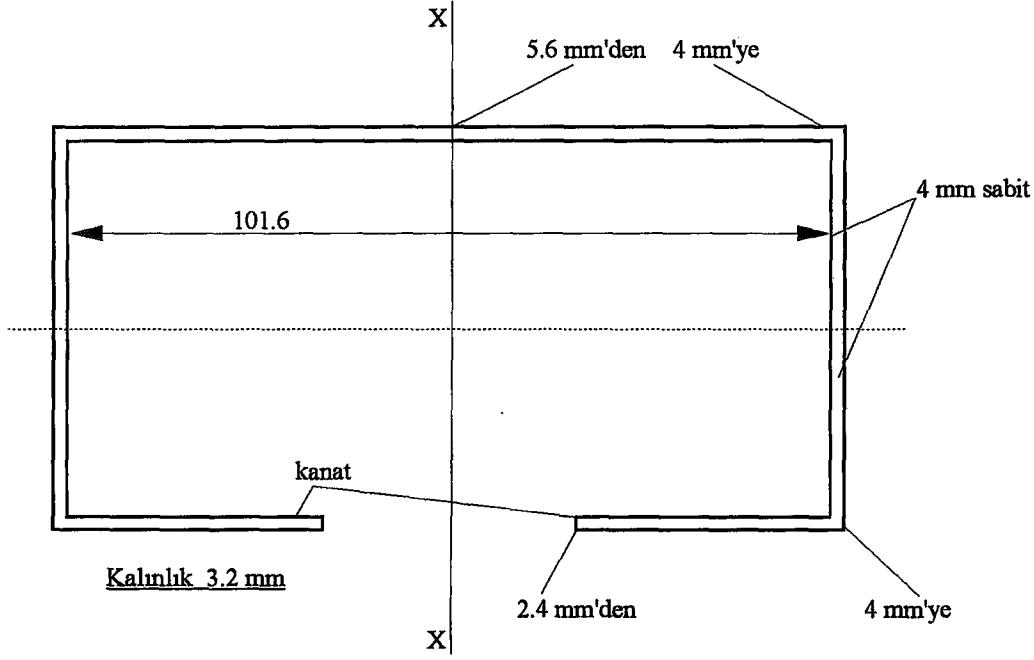
Matris kanal uzunluklarının (Şekil 3.6) düzenlenmesi ile ilgili çalışmalarda genellikle birbirine benzeyen pek çok yöntem geliştirilmiş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. Avrupa'da yapılan çalışmalarda küçük kesitlerde kanal uzunluğunu kesit kalınlığının 4 katı olarak alınmıştır. Matris kanal uzunluğunun, küçük veya ince kesitlerde kesit kalınlığına eşit uzunlukta alınarak ta çalışılmıştır. Bir çok tasarımcı en kısa kanal uzunluğunu yaklaşık olarak 2.4mm almış ve bitişik kanallarda akışı kontrol ettiğini doğrulamışlardır. Matris yüzeyindeki şekillere bağlı olarak, matris deliği ölçülerine göre saptanan minimum başlangıç matris kanal uzunlukları ile matris deliklerinin kesin ölçüleri için minimum matris kanal uzunlukları

saptanmıştır. Genellikle seçilen şekil alıcı cidarlarına yakındır. Profilin ince kesitleri için kullanılan kanal uzunluğu yaklaşık ince kesitin 4/5 katıdır. Kesit şekline bağlı olarak 2.4mm'lik minimum kanal uzunluğu ile başlangıç noktası saptandıktan sonra bu başlangıç noktasından merkeze doğru her 12.7mm yaklaşma için kanal uzunluğu 0.8mm artırılır. Bu kural kesit kalınlıklarının çok fazla değişimler yapmadığı, kesit değişmelerinin az olduğu durumlarda da sık sık kullanılır.



Şekil 3.6 Matris kanal yüzeyi (şematik).

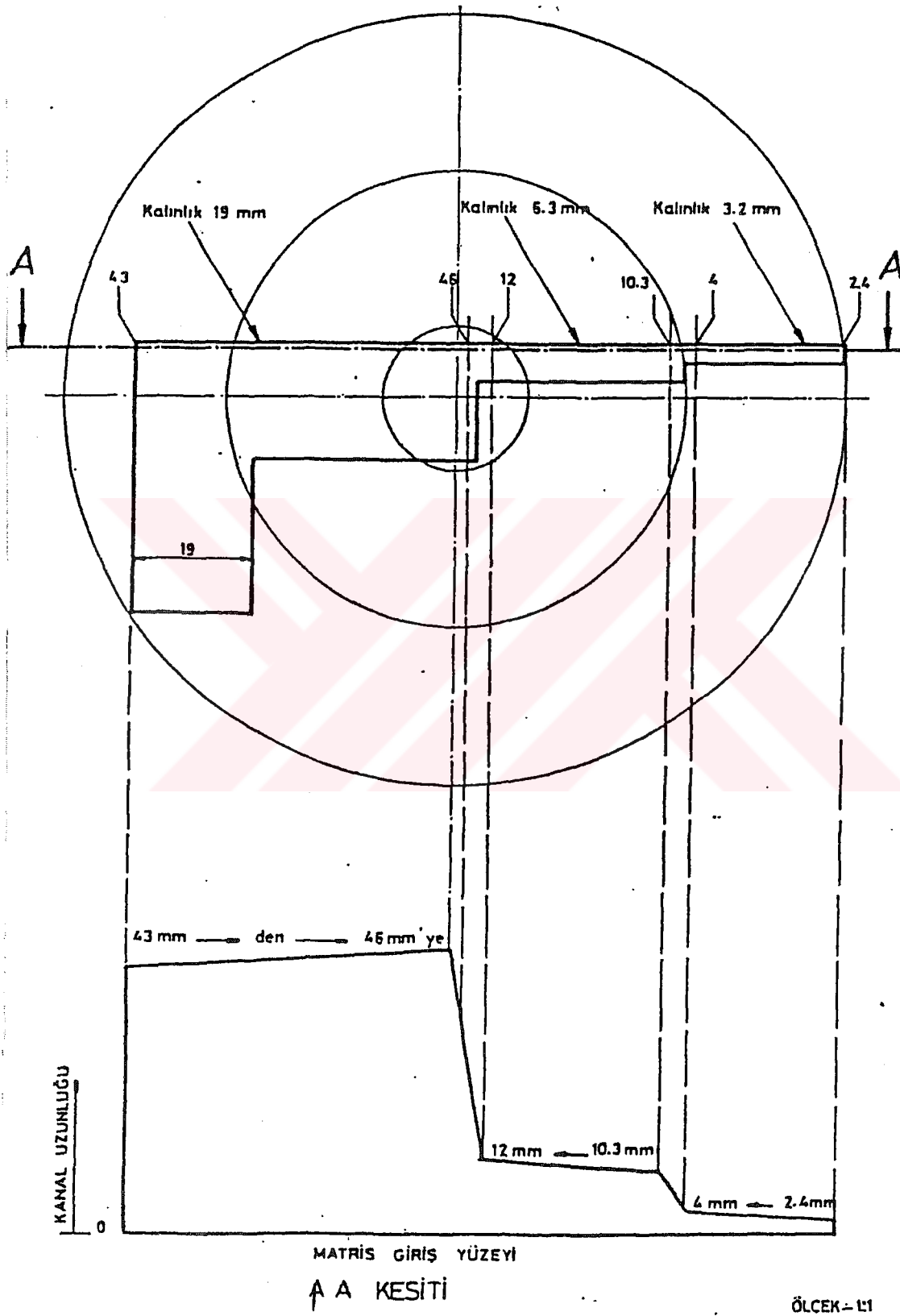
Bir kesit değişen ölçülere sahipse bir başlangıç noktası alınır ve tüm kanal uzunlukları; en kısa kanal uzunluklarına dayanarak delik ölçülerine orantılı olarak artırılır. Eğer belli bir bölge varsa, metot en küçük kesitte kanal uzunluğunun ne olması gerektiğinin hesaplanması olarak ele alınır sonra kanal uygulamalarının gerektirdiği matris deliği oranı ile çarpılır. Şekil 3.7'de daha önce tanımlanan kuralara uymayan bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.7 Açık kanatlı, sabit kesitli profilde matris kanal uzunluğunun değişimi.

Şekil 3.7'de 101.6mm genişliğinde ve 3.2mm kalınlığında bir profil görülmektedir. Burada başlangıç olarak uç noktadan 2.4mm'lik minimum matris kanal uzunluğu ile dizayna başlayarak xx ekseninden uzaklaştıkça 2.4mm'lik matris kanal uzunluğu 25.4mm'lik boyda lineer olarak 4mm'ye çıkmaktadır (bu artan kanal uzunluğu daha önce tanımlanan kurala tam ters düşmektedir, aslında bu kanal uzunluğunun xx ekseninden uzaklaşmasıyla azalması gerekir) ve xx eksenine paralel durum boyunca kanal uzunluğu 4mm olarak sabit kalmaktadır. Profilin üst kısımlarında ise 4mm'lik kanal uzunluğu kuralın gerektirdiği şekilde lineer olarak artarak xx eksenini kestiği 50.8mm uzaklıkta 5.6mm maksimum kanal uzunluğu değerini almaktadır. 4mm'den 5.6mm'ye artması tanımlanan kurala uymaktadır. 2.4mm'den 4mm'ye artma durumu istisnadır (Göymen, 1988).

İnce kesitlerin uçları minimum kanal boylarını gerektirir ve buda kanallarda sıkışma daralmaya yol açan dirseklerden sapmaya neden olur. Tasarımcılar kesit kalınlığının 3.2 mm olduğu merkezden en uzak nokta için kanal uzunluğunun 2.4mm olduğu bir dizayn geliştirmişlerdir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Değişken kesit kalınlıkları ile matris kanal uzunluklarının değişimi (Sönmez, 1989).

Başlangıç noktasından merkeze doğru 12.7mm'lik her yaklaşma kademesi için kanal uzunluğu 0.8mm arttırılarak ilk 25.4mm'lik boy için matris kanal uzunluğu 4mm'ye orantılı olarak arttırılmıştır. Bu noktada kesit kalınlığı değişmektedir. Devam eden kesit değişimlerinden hemen önce 6.3mm'lik kesit için 10.3mm'lik kanal uzunluğu, bu kesitin bitiminde 12mm'ye yükselmiştir. 19mm kalınlığındaki kesitte, matris kanal uzunluğu 46mm'ye yükselirken başka bir deyişle matris desteği gerekir, bu destek 6.3mm ve 19mm kesit kalınlıkları arasındaki orantılı kanal uzunluğu + %30'u temsil eder. Bu noktadan sonra merkezden her 12.7mm'lik uzaklaşma için matris kanal uzunluğu 0.8mm azalarak 43mm'ye kadar düşer. L profilinin kısa bacağı merkezle aynı yaya sahip olduğundan kesit değişimi yoktur, matris kanal uzunluğu 43mm'de sabit kalır.

3.2.1 Matris Dizayn ve Şeklinin Malzeme Akışına, Ekstrüzyon Kuvvetine ve Hızına Etkisi

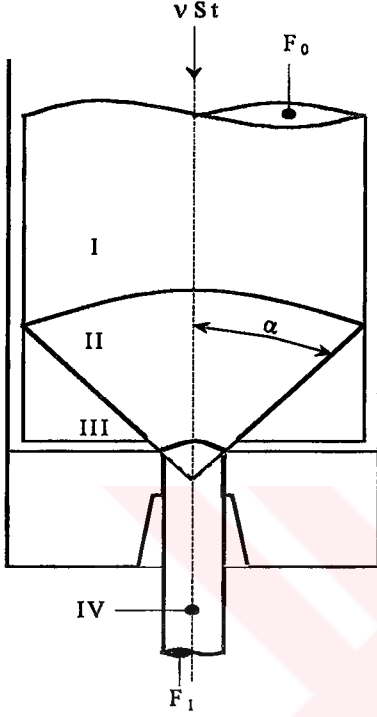
Deneysel çalışmalarda ekstrüzyon kuvveti ve hızı, yüksek ekstrüzyon oranı dışında diğer faktörler tarafından önemli derecede etkilendiği gözlemlenmiştir. Genel olarak üretim zorluklarına yol açan küçük duvar kalınlığı ve kesit karmaşığı, gerekli kuvvet oranını artırırken maksimum ekstrüzyon oranını da aza indirir. Alüminyum endüstrisinde komplike şekiller bile olsa metal akışını kontrol edebilmek, matrislerin düzeltilmesi ve dizayna etki edebilecek, doğru boyutta ulaşmak için dikkate alınması gereken bazı pratik ölçümler vardır (Laue ve Stenger, 1976).

Diğer yandan, ekstrüzyon işleminin teorik olarak değerlendirilmesi konusunda bazı girişimlerde bulunulmasına rağmen matris açıklıklarının kesitleri ve dizayn detayları konusunda dikkate değer gelişmeler yetersiz kalmışlardır. Günümüzde bunlar sadece ampirik doğrultma faktörleri ile yapılmaktadır. Teorik değerlendirmeler yardımı ile gerçek ekstrüzyon kuvvetlerini ve müsaade edilir ekstrüzyon oranlarını tahmin edebilme olasılığı sınırlıdır (Akaret, 1981).

3.2.2 Yuvarlak Bir Parça Üretimi İçin Gerekli Kuvvet

Matris dizaynının ve kesitinin teorik olarak değerlendirebilmek için, yuvarlak çubuğun aksenal olarak simetrik ekstrüzyonun akış elemanlarını, gerçek deformasyon için gerekli kuvveti, sürtünme ve kesme mukavemetleri için gerekli iş gibi durumdan başlamak gerekir.

Gerekli kuvvetin hesaplanabilmesi için güç denge yolunu kullanmak, ekstrüzyon boyunca oluşacak düzenli hız değişimlerinden kaynaklanan süreksizlikler ve hatalardan kaçınmak için avantaj sağlar. Şekil 3.9’da blok ve çubuk bölümleri gücün elemanları olarak verilmiştir.



- II. Bölümde tam deformasyon
- Deformasyon bölgesinde giriş ve çıkış yüzeylerinde metal akışının sapması (I-II ve II-IV yüzeyler arası)
- Deformasyon bölgesi II ile metal bölgesi arasındaki kesme
- Matris kanalında sürtünme

Şekil 3.9 Blok ve çubuğun alt bölümü (Akaret, 1981).

f_1 ile f_3 faktörlerini kullanarak deformasyon bölgesinin geometrisini yarı koni açısı α ’nın fonksiyonu olarak açıklayacaktır. Böylece matris için gerekli toplam güç gereksinimi belirlenecektir.

$$L_M = L_{U,II} + L_{S, I-II} + L_{S, II-IV} + L_{S, II-III} + L_{RK}$$

$$= F_0 \cdot v_{st} \cdot k_f \left\{ \frac{1}{2} [f_1(\alpha) + f_2(\alpha)] + [1 + \frac{1}{2} \cdot f_3(\alpha)] \cdot \varphi + m \cdot l_k \cdot U_1 / 2 F_1 \right\}$$

Kayıplar (fazla iş), ilave terimler (sapma) olarak kısmen görünmektedirler, diğer terimlerde ekstrüzyon oranı φ (son kısımlardaki kesme)’nin logaritması ve genel ekstrüzyon oranı F_0 / F_1 (son taraftaki sürtünme) ile orantılıdır. Bu yüzden fazla iş ile gerçek deformasyon arasında bir paralellik beklenemez, yani “deformasyon derecesi” ekstrüzyon oranından bağımsızdır.

Çizelge 3.1 Sembollerin tanımı.

Sembol	Anlamı
F_0	Blok kesiti
F_1	Çubuk kesiti
φ	$\ln (F_0 / F_1)$ logaritmik şekil değişimi
U_1	Çubuğun çevresi
l_k	Matris kanal uzunluğu
r	Yarı çap
α	Deformasyon konisinin yarı açısı
$f_i(\alpha)$	Deformasyon bölgesinin geometrik faktörü
k_f	Akma gerilmesi
τ	Kayma gerilmesi
τ_R	Sürtünme gerilmesi
M	(τ_R / τ) Kayma faktörü
V_{st}	Istampa hızı
V_a	Çıkış hızı
L	Güç
P	Kuvvet
P	Eksenel basınç
İndisler	
M	Matrisi etkileyen
U	Deformasyon (şekillendirme)
s	Şekillendirilen malzemedeki kayma
RK	Takım yüzeyindeki sürtünme
$I-IV$	Şekil 3.9'daki bölgeler

3.2.3 Parça Şekillerinden Dolayı Kuvvetteki Artış

Ekstrüzyon kuvvetini oluşturan tüm terimler değişebilir ve genellikle yuvarlak parçalardan sapma oldukça bunlar artar. Deformasyon için gerekli işteki artışın yanı sıra, parça şekline bağlı olarak ta etkili kayıplar beklenebilir; Bunlar matris kanalındaki sürtünme kayıplarından farklıdır, bu kayıplar iç çeper alanının artışıyla paralel olarak artarlar ve matris kanalının geometrisi ile bağlantılıdır.

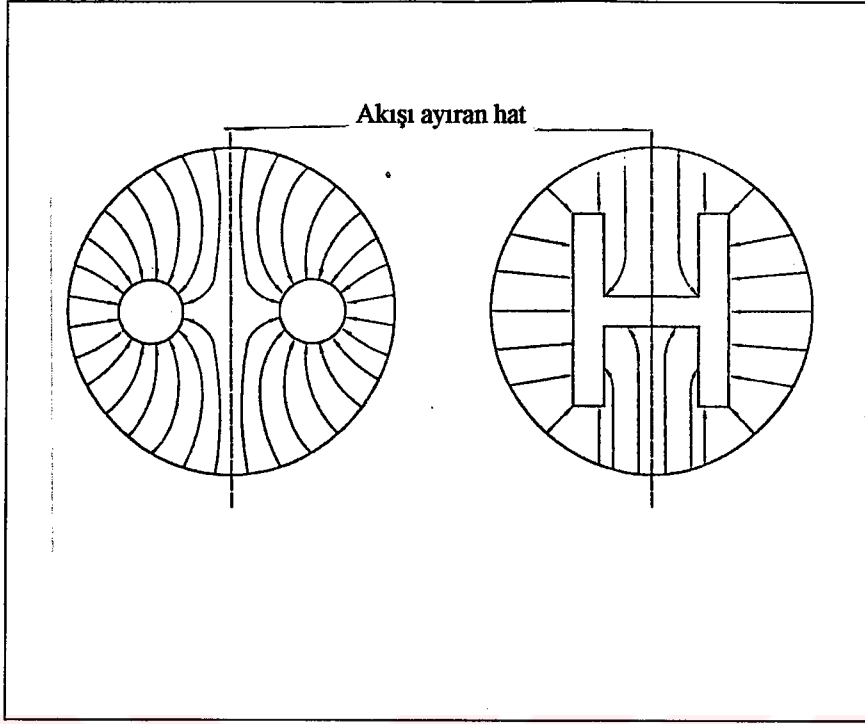
Laue (1976) ve Harnauer (1956) tarafından şekil faktörü ile sürtünme faktörünün ayrı değerlendirilmesi önerilmiştir.

Deneysel çalışmalarda bunların etkileri sonuçtan değerlendirilebilmesine rağmen bunları ayrı ayrı tanımlamak o kadar kolay değildir. Sonuç olarak yetersizce dizayn edilmiş denemelerde bu iki faktör arasındaki karşılaştırma yapılamamaktadır.

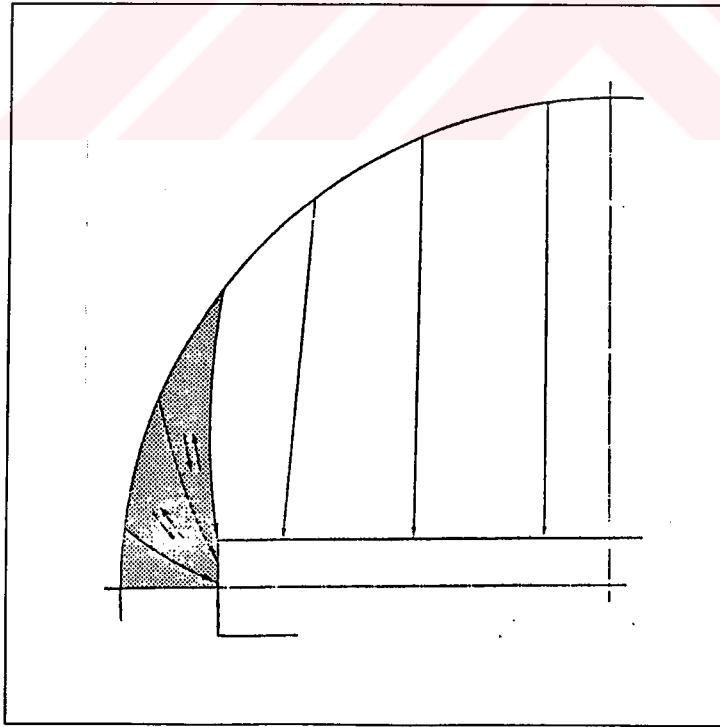
Deformasyon ile ilgili yapılan gerçek çalışma dikkate alındığında akma gerilmeleri aksel simetrik deformasyon dan farklılık gösterir ve yüzey gerilmeleri için daha büyük değerler elde edilir. Deneysel çalışmalar ile bu iş ile aşağıda açıklanan gerekenden fazla yapılan işi ayırt edebilmek oldukça zordur.

3.2.4 Matris Açıklıklarının ve Şeklinin Etkisi

Matriste birden fazla açıklık varsa veya matrisin kesitinde girintili açılar varsa, metalin sapmasından dolayı çok büyük iş kayıpları olur (deformasyon bölgesindeki giriş ve çıkış olayları gibi). Bu durumlarda metal (Şekil 3.10) bölünerek ayrı akış bölgeleri oluşturur. Bu ya matris yüzeyindeki kayma izlerinden veya üretimdeki lifli yapıdan anlaşılır. Ayrıca kayıplar komşu parçalar arasındaki kesme mukavemetinden dolayı oluşur. Bunun nedeni üretim parçalarının farklı hızlarda alıcı yüzeyine paralel veya matris açıklıklarının kenarına paralel olarak hareket etmesidir (Şekil 3.11).

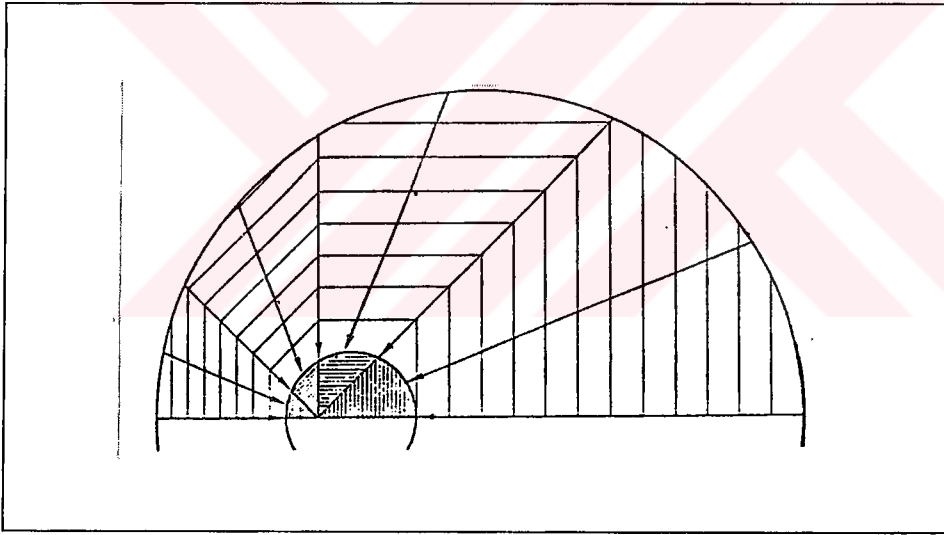


Şekil 3.10 İki delikli ve H profilli matriste blokun matris deliğine akışı (Akaret, 1981).



Şekil 3.11 Bir düz kesitin dar kenarındaki (taralı alan) kesme kayıpları (Akaret, 1981).

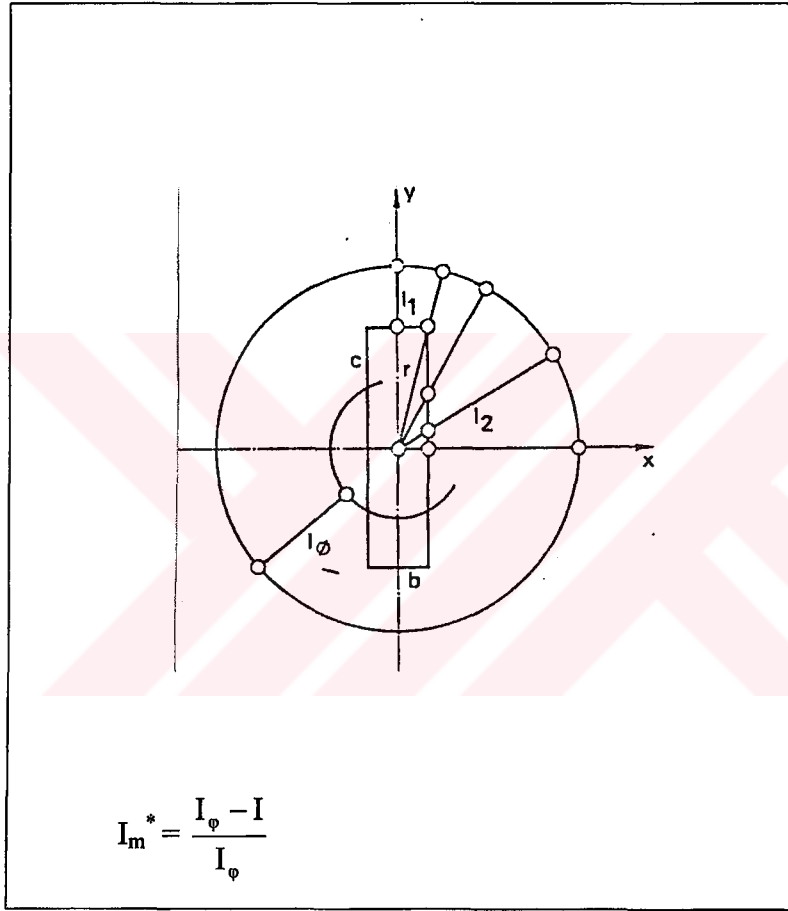
Simetrik rotasyonel ekstrüzyon ile yuvarlak bir kesitin üretimi ile daha az düzgün açık kesitlerin üretimi esnasında oluşan deformasyon işleminde temel farklılık akışkan dinamikleri dilinde şöyle açıklanabilir; yuvarlak kesitte akışkan sadece meridyen düzleme göre döner fakat diğer tüm durumlarda alıcı aksına dik düzleme göre de bir akış rotasyonu vardır. Bu son rotasyon işleminde farklı metal akışları arasındaki hem sapma ve hem de kesme mukavemetleri vardır. Bu akıntıları izleyerek deformasyon bölgesindeki akış alanındaki hatları deneysel veya daha basitçe grafiksel (Şekil 3.12) veya hesaplama yöntemleri ile tanımlanabilir. Böylece gerilme alanı ve gerekli güç miktarı durum, denge ve sıkışmazlık denklemleri yardımıyla hesaplanabilir. Deneysel metotlara visioplasticity uyarlayarak matematiksel değerlendirmeler ile uygun yeni metotlar elde edilmiştir. Bu metotlar pratikte nereye kadar kullanılabilir, kuvvet gereksinimi için tahmin etme ve karmaşık şekillerde düzenli çıkış hızı için gerekli kuvveti hesaplamak için elimizde yeterli miktarda denklem yoktur.



Şekil 3.12 Sıkışmazlık şartını sağlayan merkezi kaçık çubuktaki akış çizgileri (Steck ve Lange (1972)).

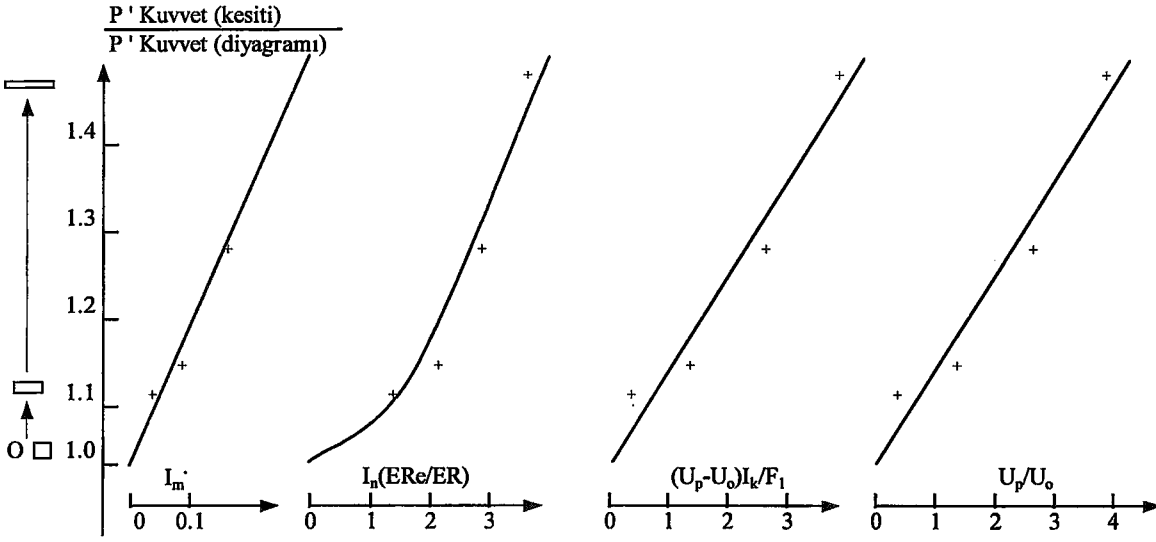
Üçüncü denklemden sonra yuvarlak kesitten saptıkça oluşacak kuvvet artışını ve denkleme konacak düzeltme faktörleri konusunda bazı deneysel çalışmalar olmuştur. Bireysel durumlarda kullanılacak ampirik faktörler konusunda ileri bir adım atılmıştır. Fakat sorunlar, uygun parametre referansları ve ilave kuvvetin korelasyonunun neye göre yapılacağı konusunda zorluklar ortaya çıkmıştır. Bu parametrelerin örneklerinde çoğunlukla, sürtünme ve şekil etkileri arasında farklılık gözetilmemiştir. Bu parametreler;

- Parça çeperinin profil kesitine oranı. Aşağıdaki parametrelerin aksine bunun boyutu m^{-1} dir buda küçük ölçekli testlerin pratiğe transferinde zorluklar çıkarmasıdır (Kursetz, 1965).
- Parça çeperinin (U_p) eşdeğer kesitinin (U_o) daire çevresine oranı (Water ve Heil, 1969).
- Alıcının her bir bölümü için hesaplanan ekstrüzyon oranların ortalama değeri (ER).
- Kropp'a (1981) göre (Şekil 3.13) I_m^* parametrelerinin koni deformasyon doğrusal çizgisinin ortalama uzunluğu.



Şekil 3.13 I_m^* parametresinin tanımı (Kropp, 1981).

Eşdeğer kesit alanları ve ilgili geometri, yani daire, kare ve dikdörtgenler düşünüldüğünde bu parametreler yavaş olarak değişir ve sonuç olarak ekstrüzyon kuvveti bu parametrelerin bir fonksiyonu olarak tanımlanır (Şekil 3.14). Bu doğru olarak değerlendirilebilir fakat, ekstrüzyon şekli değiştiğinde bu ampirik değerlerin geçerliliği nasıl olacak? Yani şekil komple değişirse örneğin düz şekilden yıldız şekline dönüşürse nasıl olacak.



Şekil 3.14 Çeşitli geometrik parametrelerin fonksiyonu olarak ekstrüzyon kuvveti (Akaret, 1981).

Lang'ın (1981) çalışmasının bir bölümünde şekil etkisi giderilerek (matristeki deliklerin sayısı ve düzenlemesi yapılarak) matris kanalındaki sürtünme etkisi azaltılmıştır. Yuvarlak çubuk bir, üst ve alt açık matris içerisinden ekstrüze edilerek aynı ekstrüzyon oranı sağlanmıştır. Bir deneyde matris kanalını uzunluğu sabit tutularak matris kanalının ikinci alanı kullanılmıştır. Bir sonraki durumda kuvvet sadece şekil tarafından etkilendirilmiştir: Çok delikli matrislerde konik akış tek delikli matrislerde bu akış görülmez. Şekil etkisi yok edilerek sabit matris kanal uzunluğu ile yapılan deneylerde sürtünme kuvveti hakkında bilgiler elde edilmiştir.

3.3 Matris Kanalında Sürtünme Kuvveti

İnce ve karmaşık kesitler düşünüldüğünde, kesit çevresinin artışı yüzünden sürtünmede ilave bir artış görülür. Son zamanlara kadar matris kanalındaki sürtünme etkisine yeterince önem verilmemişti. Özellikle iş konumu esası üzerinde yoğunlaşmıştı. Ekstrüzyon kuvvetindeki artış sürtünme kuvvetinden bir faktör daha büyüktü. Bu faktör ekstrüzyon oranına eşitti (Akaret, 1980).

Normal olmayan koşullarda kanal uzunluğunun değişmesiyle, sürtünme kuvvetindeki ilave artış ekstrüzyon kuvvetinden küçük olacaktır. Bu konudaki önemli olay kanal uzunluğunun gerekli ekstrüzyon kuvveti üzerinde etkisi olmadığı sonucudur.

Sürtünme kuvvetlerinin direkt matris kanalında ölçülmesi üzerinde araştırmalar yapılmıştır; bu sıkışma yüzeyi ile orantılı olmuştur. Fakat Al 99.5 ile elde edilen sürtünme kuvvetinin yüksek değeri kabul edilebilir bir değer değildir. Bu zıtlık hız etkisinden kaynaklanabilir fakat olası olarak matris açıklığındaki karışımdan da kaynaklanabilir (Ziegler ve Siegert, 1977).

Lang (1981) tarafından yakın zamanda yapılan çalışmalarda matris kanalındaki ekstrüzyon kuvveti ile sürtünme arasında ve birinci kesitteki ekstrüzyon da beklenen artış ve örnek 1 arasındaki değerler eğer alıcı için elde edilen τ değeri kullanılırsa bir uygunluk olduğu gösterilmiştir.

Matris kanalındaki sürtünme ile ilgili diğer bir konu hızın düzensizliğidir. Bu ister çok delikli matriste veya tek delikli matriste olsun değişmez. Burada ıkış hızındaki önemli farklılık sadece ekstrüzyon kuvvetindeki hafif değişmeden kaynaklanmasdır. Eğer üretimi yapılan iki kesit arasındaki uzunluk farkı yüzde 10 ise bu sadece yüzde ikilik bir basınç farkından ileri gelir. Sabit kuvvet altındaki deneyler ancak bize şekil ve sürtünmenin etkisini belirtebilir (Akaret 1981).

3.3.1 Matris Kanalında Sürtünme Mekanizmaları İçin Model

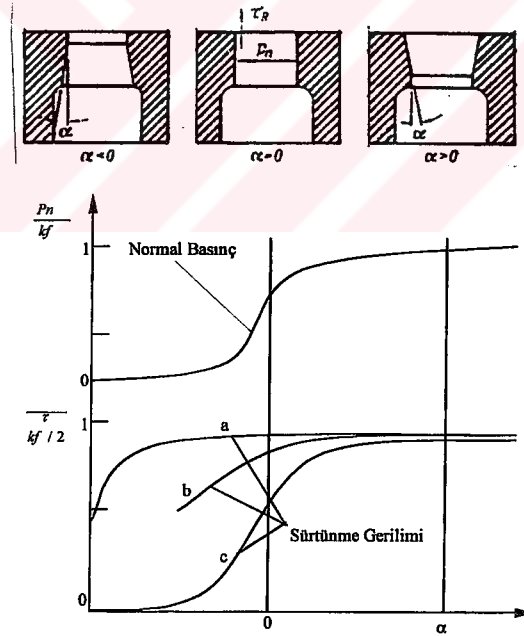
Ekstrüzyon işleminde, ekstrüzyon kuvvetine sürtünme etkisinin ötesinde bilinmesi gereken olaylar vardır. Bu olaylar için kabul edilebilir teori aşağıdaki durumları içermelidir.

- Sabit ekstrüzyon oranında matris kanalındaki yüzey alan büyüdükçe ekstrüzyon kuvveti artar
- Kendinden yağlanan matrislerde, bitmiş yüzey altında münferit hatalar oluşur.
- Matris yüzey işlemlerin önemi; yani yağlama, nitritleme vs.
- Matrisin nitrojen ile soğutulması veya ısındırılmasının önemi.
- İnce detayların göz önünde bulundurulması (matris açıklıklarının etkin geometrisi).
- Matris kanal uzunluğu, eğim açısı gibi kalınlığa bağlı parametrelerin matris tasarımı üzerindeki etkileri.

Matris dayanma yüzeyindeki tribomekanik durumlar yeterince bilinmemektedir. Sadece kesit ile matris dayanımına etki eden normal basıncı tahmin edilebilir; kesit içerisinde metal akış oranı ile ilgili çeşitli modeller mevcuttur.

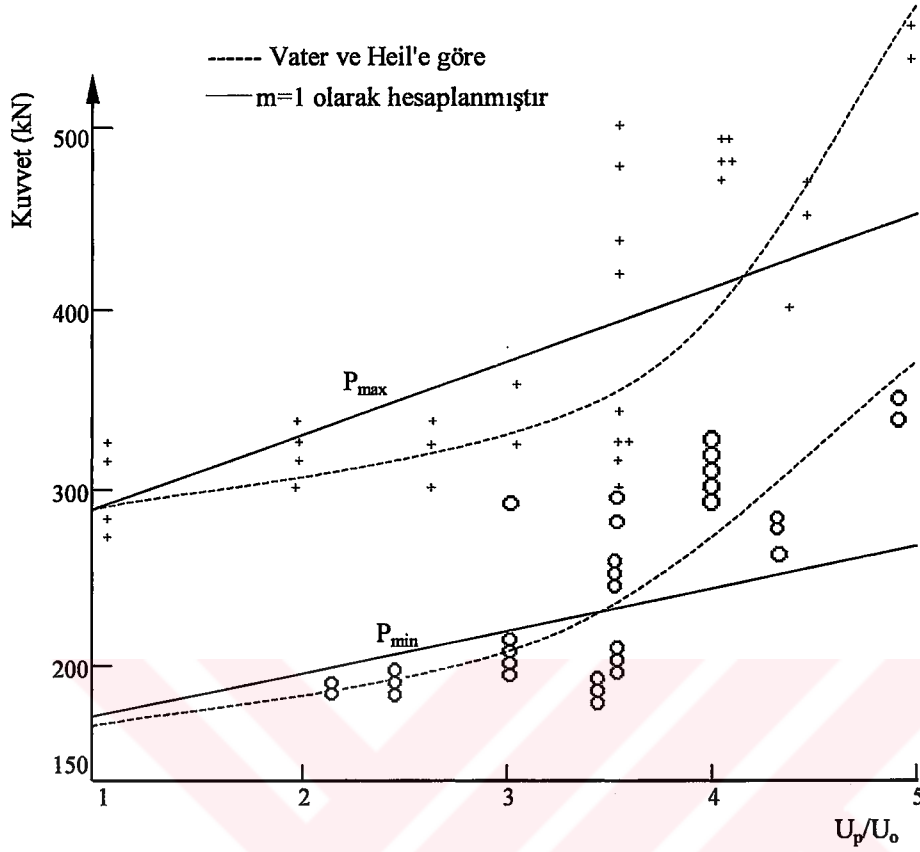
- a) Kesit yüzeyi matris çerperine yapıştığı gibi blok yüzeyi de alıcı duvarına yapışır ve hız kesit yüzey tabakasında düzenli olarak artar - bunun sonucu olarak ekstrüzyon iç çerperi kesme tarafından deforme edilir.
- b) Kural olarak, dayanım yüzeyi alüminyum ile tam olarak kaplanır; kayma, matrise bağlı alüminyum yüzeyi ile kesitin kendisi arasında oluşur. Buda rijit olarak değerlendirilir.
- c) Matris dayanım yüzeyi genellikle temiz olur ve kayma, matris çeliği ile kesit arasında olur. Buda rijit olarak değerlendirilir (Mietzner, 1962).

Şekil 3.15 normal gerilmedeki P_n olası değişimi, matris dayanım yüzeyinin eğiminin bir fonksiyonu olarak gösterir ve sürtünme gerilmesi τ 'nun hipotez a-c dan kaynaklandığını gösterir. (a) doğruluğu, sabit maksimum kesme faktörü değeri $m=1$ den kaynaklanır. Bunu kabul ederek deneysel değerler kurşun ve alüminyumdan elde edilmiştir ve bunlar Şekil 3.15'de yorumlanmıştır. Kanal uzunluklarını değiştirerek malzeme akışı düzenlemek mümkündür, ancak bu olay matriste frenleme etkisinin fazlalaşmasına neden olur (Lang, 1981).



Şekil 3.15 Normal gerilme P_n ve sürtünme gerilmesi τ 'nun eğim açısı α 'ya bağlı değişimi.

(b) ve (c) doğruluğu, sürtünme basınçlarının dayanım yüzeyi eğimi üzerindeki etkisi Şekil 3.16'da grafik olarak gösterilmiştir. Bu frenleme veya hızlandırma etkisini tanımlar; maksimum değer yaklaşık olarak $m=1$ 'e denk gelir.



Şekil 3.16 Profil çevresinin ekstrüzyon kuvvetine etkisi; deneysel veriler sürtünme alanından hesaplanan veriler ile karşılaştırılarak kurşunla yapılan deney sonuçları (Akatret, 1981).

Yüzey hatalarından en iyi şekilde kaçınmak gerekir, (a) ve (b) doğruluğunda, eğer kesit dış yüzey tabakası, matris dayanım yüzeyi ile yapışksa küçük bir kesinti olasıdır. Nitritleme ile bunun tersi kolaylıkla başarılır. (c) doğruluğuna göre, çelik ve alüminyum arasındaki yapışma sadece bir düzensizlik olarak görülür. Kesit yüzeyinde aşınma olur. Bu maddeyi destekleyerek alüminyum ve çelik arasındaki yapışma etkileri ölçülebilir. Yüzey hataları matris kanalındaki oksidasyondan da kaynaklanabilir; nitrojen ile kaplama çok faydalı olur.

3.3.2 Matris Kanalındaki Sürtünme

Sürtünmenin olduğu matris yüzeyinde sürtünme kuvveti şöyle hesaplanır.

$$\tau_R = m \cdot k_f / 2 \quad (3.1)$$

Sürtünmede harcanan güç (kesme faktörü ≤ 1) ;

$$L_{RK} = U_1 \cdot l_k \cdot \tau_R \cdot v_a$$

veya v_{st} yi kullanarak

$$L_{RK} = U_1 \cdot l_k \cdot \tau_R \cdot v_{st} \cdot (F_0 / F_1) \quad (3.2)$$

Matris kanalındaki sürtünmeden dolayı tepki kuvveti artar, bu bir faktör ile çarpıldığında ekstrüzyon oranını verir. Burada tüm kuvvetler dikkate alınmalıdır.

Eğer sürtünme ve kesme kuvvetleri, akış kuvveti terimi ile k_f açıklanırsa gerekli toplam güç şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned} L_M &= L_{U,II} + L_{s,I-II} + L_{s,II-IV} + L_{s,II-III} + L_{RK} \\ &= F_0 \cdot v_{st} \cdot k_f \cdot \{ 1/2 [f_1(\alpha) + f_2(\alpha)] + [1 + 1/2 [f_3(\alpha)]\phi + m \cdot l_k \cdot U_1 / 2F_1] \} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Aynı şekilde P_m kuvveti ve P_m basıncının matris üzerindeki etkileri:

$$P_M = L_M / v_{st} = F_0 \cdot k_f \cdot \{ \dots \}$$

$$P_M = P_M / F_0 = k_f \cdot \{ \dots \}$$

Uzunluk, çekici kuvveti ve sürtünmeden dolayı oluşan deformasyon ile ilgili bağlantılar

Üretim iki delikli matris ve 2 delik 1 delikten daha yavaş ve uygulanan çekme kuvveti s ise denklem kurmak için σ 'nin ilave bir plastik deformasyon veya 2 de bir kırılma oluşturmadığı gerekmektedir. v_2 'nin v_1 'e ulaşabilmesi için gerekli σ eşittir:

$$(P_M + |\sigma|) / P_M = (v_1 / v_2)^m$$

$$|\sigma| = P_M [(v_1 / v_2)^m - 1] \quad (3.4)$$

Örnek $v_2 = 0.9v_1$

Matris basıncı $P_M = 8k_f$

Gerilme oranı $m = 0.2$

Deformasyon bölgesinde ortalama gerilme oranı $\varepsilon = 1 \text{ s}^{-1}$

Sünme zamanı: $t = 30 \text{ s}$

$$|\sigma| = 8 k_f [1.11^{0.2} - 1] = 0.17 k_f \quad (3.5)$$

kural olarak k_f azalır çünkü bloktan profile ısı geçer: profilin akma gerilmesi

$k_{fs} = c \cdot k_f$ örneğin $k_{fs} = k_f / 2$

σ altında profil 2'nin sünme oranı

$$\varepsilon = (\sigma / k_{fs})^{1/m} = (\sigma / c \cdot k_f)^{1/m} \quad (3.6)$$

örneğin yukarıdaki örnekte $c = 0.5$ olsun

$$= (0.17 / 0.5)^5 = 0.0046 \text{ s}^{-1} = 0.46 \% / \text{s}$$

Eğer profil 2 t süresi aralığınca mevcut ısıda durursa akma gerilmesi soğumadan dolayı yükselir ve profil 2 gerilir. Bu miktar

$$\varepsilon = \varepsilon \cdot t$$

$$\text{Örneğimizde } t = 30\text{s} \quad 0.46 \cdot 30 = 13.8 \%$$

$\Delta v / v$ nin küçük miktarlarda olduğu bölgelerde aşağıdaki denklem kullanılır.

$$\varepsilon \cong (\Delta v / v \cdot m \cdot P_m / c \cdot k_f)^{1/m} \cdot t = C \cdot t (\Delta v / v)^{1/m} \quad (3.7)$$

Yani sünmeden dolayı oluşan deformasyon uzunluktaki veya hızdaki değişim 5 ile 10 üssü kadardır.

Şekil 3.16'da $\Delta v / v$ nin büyük oranı için sonuçlar değerlendirilmiştir. Hesaplanan değerler bloktan profile geçen ısı ve matris basınçlarıdır. Sünmeden dolayı oluşan deformasyon (yani % 1) ile çekme karşılaştırıldığında en büyük hız farkı bulunur. Eğer yukarıdaki değerler yani sünmeden dolayı elde edilen değerler, belli bir değere ulaşır veya geçerse sünme ile çekme kuvveti etkileşimleri denklemlerde kullanılmalıdır. Çekme kuvveti, yavaş olan profil üzerinde hesaplanan değerden daha az etkiye sahiptir.

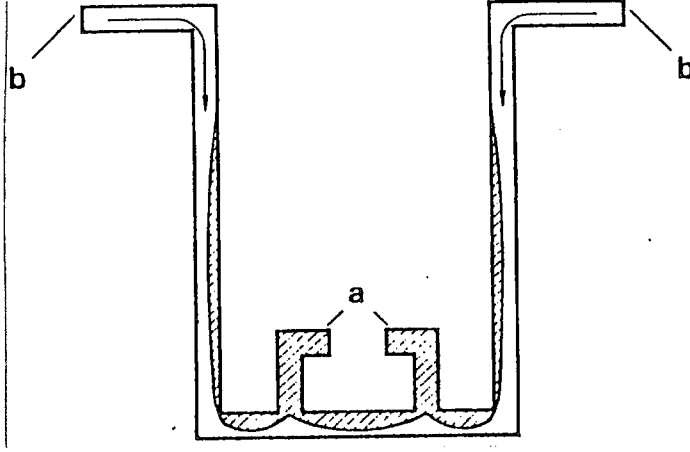
3.3.3 Kesit Şekli ile Isı Dengesindeki Değişme

Yuvarlak kesitten başka bir şekle dönüşüm ısı dengesini ve maksimum ekstrüzyon oranını etkiler. Diğer yandan, matristeki iş oranının artışı için fazla ekstrüzyon kuvveti gerekir sonuçta ise daha fazla ısı üretilir. Her hangi bir şekil etkisi olmadan gerekli kuvvet ile spesifik bir kesit için gerekli kuvvet iki kat olacaktır, buna bağlı olarak ekstrüzyon oranındaki azalma oranı ise;

$$\Delta v / v = - 2 (\Delta p / p)$$

benzer olarak, bir malzeme kullanımı ile yüksek akış basıncı gerekir (18). Ekstrüzyon çıkış kuvveti için blok fazlaca ısınır ise ekstrüzyon oranı da daha yüksek olacaktır.

Kesit şeklinin değişimiyle, geometrik durumların ısı değişimi önemli şekilde değerlendirilmelidir. Özellikle fazla ısınmanın olduğu yüzeyde deformasyonlar daha önemli hale gelir. Kesit iç çeperlerinin artmasıyla ısı akışı, yüzeyler arasında olur ve ısı absorbe edilir. Bu durumda etkilenen matris elemanları mandreller, diller yani düşük yoğunluktaki matris elemanlarıdır. Diğer taraftan ısının merkeze ulaşabilmesi için büyük yol kat etmesi gerekir bu yüzden ısı dengesini matris içinde oluşturmak oldukça güçtür. Şekil 3.18'de matris elemanlarının farklı sıcaklıklarını gösterir ve bazı bölgelerde fazla ısınma tehlike oluşturabilir.



Şekil 3.17 Çatlamaya duyarlı kanal kesit bölgesi: a- matrise az ısı iletilmiş; b- taralı alana az ısı iletilmiş (Akaret, 1981).

3.3.4 Yuvarlak Bir Çubuk Kesitinin Üretimi İçin Gerekli Güç

Şekil 3.9'da gösterildiği gibi bu üretim için farklı güç elemanları şöyledir (sembollerin tanımı için Çizelge 3.1'e bakınız).

Sürtünmesiz deformasyon

$$L_{U,II} = F_0 \cdot v_{St} \cdot k_f \varphi \quad (3.8)$$

Deformasyon bölgesinin giriş ve çıkışındaki sapmalar

I, II Yüzeyler arası

$$L_{s,I-II} = F_0 \cdot v_{St} \cdot \tau \cdot f_1(\alpha) \quad (3.9a)$$

Burada $f_1(\alpha)$ I, II yüzeyler arası geometrik şekli özetler ve hız büyüklüğünü ve yön değişimini de içerir. Benzeri aşağıdaki fonksiyona da uygulanır.

II, IV Yüzeyler arası

$$L_{s,II-IV} = F_1 \cdot v_a \cdot \tau \cdot f_2(\alpha)$$

veya

$$F_1 \cdot v_a = F_0 \cdot v_{st} :$$

$$L_{s,II-IV} = F_0 \cdot v_{st} \cdot \tau \cdot f_2(\alpha) \quad (3.9b)$$

Bunlar ekstrüzyon oranını içermeyen ilave terimlerdir. Deformasyon bölgesi ile sonlu metal bölgesi arasındaki kesme r çaplı bir açılı ve radyal genişlik dr ;

$$df \sim r \cdot dr$$

$$v(r) \sim v_{st} \cdot F_0 / (\pi \cdot r^2)$$

$$dL_{s,II-III} = Df \cdot v(r) \cdot \tau = F_0 \cdot v_{st} \cdot \tau \cdot (2dr / r) \cdot f_3(\alpha)$$

İntegralini alarak:

$$L_{s,II-III} = F_0 \cdot v_{st} \cdot \tau \cdot \phi \cdot f_3(\alpha) \quad (3.10)$$

Deformasyon bölgesi ile sonlu metal bölgesi arasındaki kesme kuvvetinden dolayı oluşan kayıplar ekstrüzyon logaritması ile doğru orantılıdır.

4. SONUÇ

Literatür taraması teorik olarak yapılan bu çalışmada, aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

1. Ekstrüzyon işleminde, matris ömrü, maliyetleri etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle matris malzemesi seçiminde gereken dikkatin gösterilmesi gerekmektedir.
2. Matris ömrü, birinci derecede matris malzemesine bağlıdır. Bu nedenle kaliteli ve doğru malzeme seçimi, matrise etki eden yük değerleri, ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon edilecek malzemeye ait şekil değiştirme direnci gibi ekstrüzyon parametreleri göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.
3. Matris dizaynı ile profil dizaynı birbirine bağlıdır. Bu nedenle profil dizaynında, keskin kenar ve köşelerin standartlar dahilinde yuvarlatılması, keskin geçişlerin ortadan kaldırılıp, büyük kesit farklılıklarının ve malzeme yığılmalarının önlenmesi, matris dizaynını kolaylaştırmaktadır.
4. Matris dizaynında en önemli nokta, malzeme akışının kontrol altına alınmasıdır. Matriste, çatlama ve kırılmaya neden olabilecek yüksek değerdeki zorlamalardan, kaçınılması ve hatasız profil eldesi amacı ile malzeme akışının matrisin her tarafında kontrollü olarak sürdürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, sürtünmeye dayalı, bir uygulama olan, farklı akma yüzey uzunluklarının, matris dizaynında doğru olarak uygulanması önem kazanmaktadır.
5. Matris kanal uzunluğu profilin geometrik şeklini, profilin yüzey kalitesini, takım ömrünü ve ekstrüzyon kuvvetini etkilemektedir. Sabit ekstrüzyon oranında matris kanalındaki yüzey alanı büyüdükçe ekstrüzyon kuvveti artar.
6. Profil matrislerinde, matris kanal uzunluğu ile ekstrüzyon hızı birlikte düşünülmelidir. Kanal uzunluğu kısaldıkça ekstrüzyon hızı artar.
7. Kesit kalınlıkları çok farklı olan profillerin matris dizaynında, bugüne kadar yapılmış çalışmalar ve tecrübelerle rağmen, daha detaylı bir teknolojik araştırmalar yapılarak, doğru

ve kolay uygulanabilir metotların geliştirilmesi, matris dizayncılarına ve imalatçılara yardımcı olacaktır.



KAYNAKLAR

Akaret, R., (1980), "Einfluß der Profilform auf Reibung und Schiebung vor und in der Matrize", Paper read at the Extrusion Symposium DGM, Vöhringen.

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

Arabacı A., (1996), Ekstrüzyon Matrislerinde Kanal Uzunluğu ve Ön Odanın Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Göymen, V.H., (1988), Ekstrüzyonda Matris Dizaynı ve Şeklinin Malzeme Akışı Ekstrüzyon Kuvveti ve Hızına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Hornauer, H., (1956) Aluminium 32.

Kortmann, W. (1990), Extrusion Tooling Failures Causes and Prevention, Schmidt + Clemens + Co., Lindlar.

Kropp, R., "Brücksichtigung des Formeneinflusses bei der Ermittlung der Strangpreßkraft", Paper read at the Extrusion Symposium, Hannover, 1981.

Kursetz, E., (1965), Aluminium, 41.

Lang, G., ve Castle, A.F., Bauser, (1981), Extrusion Scientific and Technical Developments, Germany.

Laue, K., ve H. Stenger: (1981) Extrusion-Proceses, Machinery, Tooling, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.

Mietzner, K., (1962), Metall, 16.

Pearson, C.E., (1961), The Extrusion of Metals, 2. Edition Reprinted, Chapman Hall, London.

Sauer, G., (1981), Hot Working Materials for the Construction of Extrusion Press Tools, Wiesbaden.

Schey, J.A.: (1990), Introduction to Manufacturing Proceses, McGraw-Hill Publishing Company, Singapore.

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

Steck, E., ve Lange, K., (1972), "Lehrbuck der Umformtechnik", Springer, Berlin.

Water, M., ve Heil, P., (1969), Aluminium, 45.

Wegst, J., (1981), Metallurgical Aspects of the Indirect Extrusion of Aluminium Alloys, Hannover.

Ziegler, W., ve Siegert K., (1977), Maschinenmark, 83.

