

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

57497

EKSTRÜZYON MATRİSLERİNDE  
PROFİLLERİN YERLEŞTİRİLMESİNE  
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI

Mak.Müh. Mehmet Tuğrul GÜLÜM

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yard.Doç.Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 1996

## İÇİNDEKİLER:

1.0.	GİRİŞ	1
1.1.	Ekstrüzyon Yöntemleri	2
1.1.1.	Vasitasız Ekstrüzyon Yöntemi	2
1.1.2.	Vasıtalı Ekstrüzyon Yöntemi	4
1.1.3.	Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi	4
1.2.	Ekstrüzyon Malzemeleri	6
1.3.	Ekstrüzyonda Malzeme Akışı	7
1.3.1.	A Tipi Malzeme Akışı	7
1.3.2.	B Tipi Malzeme Akışı	10
1.3.3.	C Tipi Malzeme Akışı	10
1.3.4.	D Tipi Malzeme Akışı	10
2.0.	MATRİS	12
2.1.	Matris Malzemeleri	13
2.2.	Matris Şekilleri	14
2.2.1.	Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri	15
2.2.2.	İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri	17
2.2.2.1.	Köprülü Matrisler	17
2.2.2.2.	Spider Matrisler	18
2.2.2.3.	Odalı Matrisler	18
3.0.	EKSTRÜZYON MATRİSLERİNDE PROFİLLERİN YERLEŞTİRİLMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	25
3.1.	Konstrüksiyonun Temelleri	25
3.1.1.	Ekstrüzyon Takımının Yapısı	27
3.1.2.	Ekstrüzyon Takım Çeşitleri	27
3.1.3.	Malzeme Akışının Yönlendirilmesi	29
3.1.3.1.	Şekil Veren Kanal Veya Kayma Yüzeyi	30
3.1.3.2.	Malzeme Akışını Yönlendirmek İçin Ön Oda Dizaynı	32
3.1.3.3.	İçi Boş Profil Takımlarında Malzemeyi Yönlendirmek İçin Giriş Ve Kaynak Odası	34
3.1.4.	Çekme Payı	36
3.1.5.	Çok Delikli Takımlar	39
3.1.6.	Takım Ölçüleri	40

3.2.	Ekstrüzyon Matrisinde Malzeme Akışı	41
3.2.1.	Profillerin Ekstrüzyonunda Akış	41
3.2.2.	Çok Delikli Matrislerde Akış	42
3.2.3.	Konik Matrislerde Akış	44
3.2.4.	Malzeme Akışının Kontrolü	45
3.3.	Aluminyum Ekstrüzyonuna Kesit Şeklinin Ve Takım Dizaynının Etkisi	47
3.3.1.	Şekillendirme Sınırdaki Olaylar	47
3.3.1.1	Kesit Şeklinin Olumsuz Etkisi	48
3.3.1.2.	Silindirik Çubuk Profillerde Güç İhtiyacı	49
3.3.1.3.	Profillerde Kuvvet İhtiyacının Artışı	52
3.3.1.4.	Şeklin Etkisiyle İlgili Deneysel Bilgiler	54
3.3.2.	Matris Kanalındaki Sürtünme	56
3.3.2.1.	Sürtünme Gerilmesi Ve Sürtünme Kuvveti	57
3.3.2.2.	Çıkış Hızının Etkilenmesi	59
3.4.	Profil Şeklinin Ekstrüzyon Kuvvetine Etkisi	66
3.5.	Ekstrüzyonun Matris Dizaynı İle Optimizasyonu	75
3.6.	Ekstrüzyon Profilleri İçin Genel Konstrüksiyon Örnekleri Ve Önerileri	79
4.0.	SONUÇ	94

## ÖZET

Plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan ekstrüzyon, günümüzde çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Yöntem ile biçimlendirilen malzemelerin ve yarı mamullerin çeşidi hızla artmaktadır. Yöntemin artan uygulama alanı ile beraber, karşılaşılan problemlerde de artış olmuştur. Üretilen profilin kalitesi üzerinde doğrudan ve büyük oranda etkili olan matrislerin dizaynı büyük önem kazanmıştır. Ekstrüzyon yönteminin en önemli takımı olan ekstrüzyon matrislerinin delik şekli, dizaynı ve matris üzerindeki yeri ekstrüzyon işleminin ekonomikliği ve kalitesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada ekstrüzyon matrislerinde profillerin yerleştirilmesine etki eden faktörler ve birbirleriyle olan ilişkileri araştırılmıştır. Konular üç bölüm olarak ele alınmıştır. Giriş bölümünde ekstrüzyon yönteminin kısaca tarihsel gelişimine, ekstrüzyon yöntemlerine, malzeme akış tiplerine ve ekstrüzyon edilebilen malzemelere değinilmiştir. İkinci bölüm, profile şeklini veren matrislerden, matris şekillerinden ve özet olarak matris malzemelerinden oluşmaktadır. Üçüncü bölümde ise, ekstrüzyon matrisinde malzeme akışı, kesit şeklinin ve takım dizaynının ekstrüzyona etkisi ve profil şeklinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca konstrüksiyon için dikkat edilmesi gereken temel alınabilecek faktörlerle, üretilen profiller için genel konstrüksiyon önerileri örneklerle verilmiştir.

## ZUSAMMENFASSUNG

Strangpressen der einer der Umformtechnik ist hat heut zu tage einen sehr großen Anwendungsgebiet. Die verschiedenheit der Materiale und Halbprodukte, die mit diesem Verfahren umgeformt werden steigen sehr schnell. Durch die steigerung der Anwendungsgebiete steigen auch die Probleme. Die Gestaltung der Matrize hat einen erheblichen und direkten Einfluß auf die Profilqualität der Profile gefunden. Die Strangpreßmatrize ist das Wichtigste Teil des Strangpreßverfahrens. Lochform, Gestaltung und die Stelle des Loches auf der Matrize hat einen sehr großen Einfluß auf die Ekonomie und auf die Qualität.

Bei dieser Arbeit habe ich die Faktoren die einen Einfluß auf das einsetzen der Strangpreßprofilen haben erforscht. Die Themas wurden in drei Teile eingeteilt. Im Anfangsteil wurde die Vergangenheit des Verfahrens, die Strangpreßverfahren, Materialfluß und Materialien die Stranggepreßt werden untersucht. Das zweite Teil besteht aus Profilmatrizen, Matrizenformen und als Zusammenfassung aus Matrizenmaterialien. Im dritten Teil wurde der Materialfluß bei Matrizen, Einfluß der Querschnittform und der Werkzeuggestaltung beim Strangpreßen und der Einfluß der Profilform auf die Strangpreßkraft untersucht. Dazu wurden die Faktoren auf die Grundlagen der Konstruktion mit Empfehlungen und Beispielen gegeben.



## 1.0. GİRİŞ

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

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. ve C. HANSON adlı araştırmacılar alıcı, ıstampa ve matris düzenlemesinde yeni gelişmeler sağlamışlardır.

Üretim bakımından pres üzerindeki çalışmalar 1867 yılında HAMON, 1870 yılında HEINES, J. ve W. WEEMS, 1879 yılında BOREL ve WESSAU, 1880 yılında EATON ile 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 kesitini taşıyan matris kanalından geçirilerek biçimlendirilmektedir. Biçim veren matrislerin uygun dizayn edilmesi ile ekstrüzyon malzemesinin cinsine bağlı olarak basit veya karmaşık kesitli profiller elde edilir.

Matris, üzerinde imal edilecek profilin kesiti kanal şeklinde açılmış, bloğa basınç altında profil şeklini veren ekstrüzyon takımıdır. Bu nedenle matris, profilin tüm detaylarını ve toleranslarını içerir. Matriste oluşacak hatalar direkt olarak profile yansır.

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

Matris deliğinin yerini belirlemede dikkat edilmesi gereken önemli noktalar bulunmaktadır. Profilde malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar matris kenarına yakın bölgelere yerleştirilmelidir. Simetrik profillerde simetri eksenleri ön levhanın orta noktasında olacak şekilde düzenleme yapılmalıdır. Çok delikli matrislerde delikler mümkün olduğu kadar simetrik yerleştirilmelidir. Çok delikli matrislerde bir diğer önemli noktada çubukların ekstrüzyon esnasında birbirine sürtünmeyecek şekilde yerleştirilmeleridir. Simetrik veya simetrik olmayan profillerin ekstrüzyonunda matris üzerinde tek bir profil deliği varsa profil kesitinin ağırlık merkezi matrisin ağırlık merkezi ile çakıştırılmalıdır. Profil simetrik ise simetri eksenleri de çakıştırılmalıdır.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı bir matrisin dizaynı ve imalinde akış şartları, ekstrüzyon kuvveti, profilin geometrik şekli gibi birçok faktör göz önüne alınmalıdır.

Bu faktörlerin etkilerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini çok sayıda literatür tarayarak teorik olarak araştırmaya çalıştım. /9/11/

### 1.1. Ekstrüzyon Yöntemleri

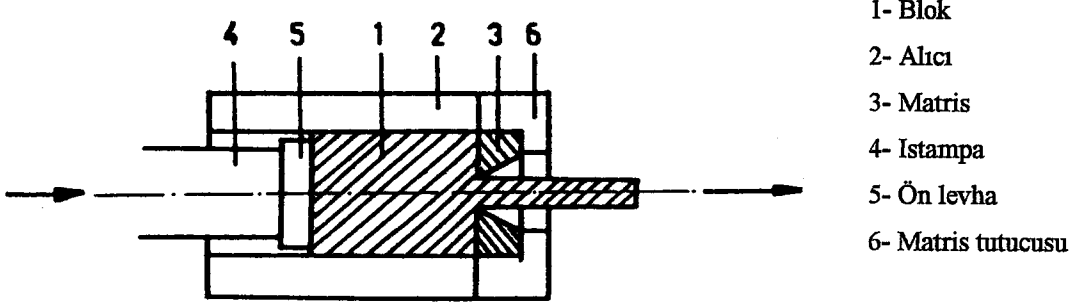
Yöntemin ilk uygulaması olan vasitasız ekstrüzyondan itibaren prodüktiviteyi arttırmak için ekstrüzyon kuvveti, malzeme akışı, takım dizaynı, ekstrüzyon malzemesi, profil kalitesi gibi faktörlerde yapılan çalışmalarla diğer ekstrüzyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak malzeme akış yönüne, matrisin hareketli veya sabit olmasına, kuvvet ileme tarzına göre vasitasız, vasitalı ve hidrostatik ekstrüzyon olarak sınıflandırılmıştır. /9/

#### 1.1.1. Vasitasız Ekstrüzyon Yöntemi

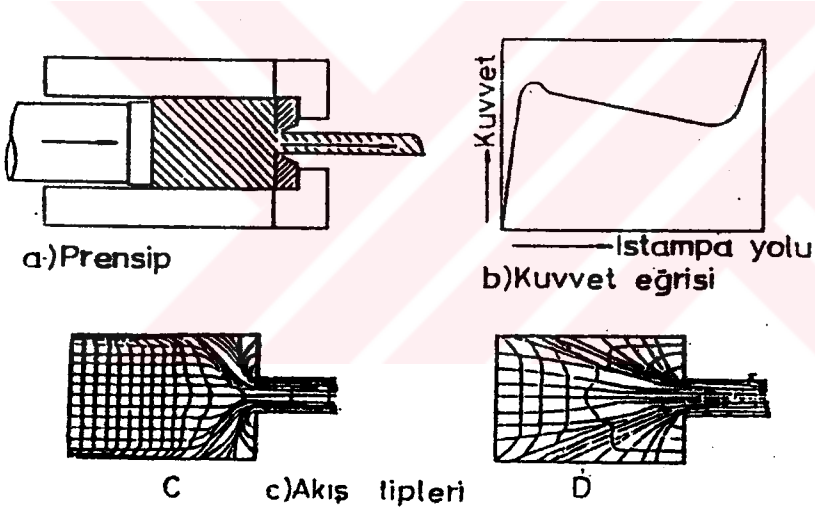
Vasitasız ekstrüzyon yönteminde, alıcı içindeki blok ıstampa tarafından itilerek diğer uçtaki matris profil deliğinden geçirilir (Şekil 1.1). Malzeme akışı ve zorlama yönü aynıdır. Matris sabittir, ıstampa ve blok alıcıya göre bağıl hareket yaparlar. Bu bağıl hareketten dolayı alıcı ile blok arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünme kuvveti bloğun matrise doğru ilerlemesini engeller ve gerekli ekstrüzyon kuvveti ile birlikte ekstrüzyon artığını da arttırmaktadır.

Ayrıca 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, bloğun tamamı ekstrüzyon edilse dahi yarı mamulün sonu hatalı oluşmaktadır. Bu nedenle vasitasız ekstrüzyon yönteminde belli bir miktar ekstrüzyon artışı bırakılmaktadır. Sürtünme, ekstrüzyon kuvvetini arttırdığı gibi düzensiz bir malzeme akışına da neden olmaktadır. Sürtünme az olduğunda C tipi akışı, yüksek olduğunda D tipi akışı oluşmaktadır. Sürtünmenin bu son etkisi ekstrüzyon profilinin

uzunluğu boyunca özelliklerin değişmesine ve bazı hatalara neden olmaktadır. Şekil 1.2' de de vasıtasız ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri topluca görülmektedir.



Şekil 1.1. Vasıtasız ekstrüzyon yöntemi /9/

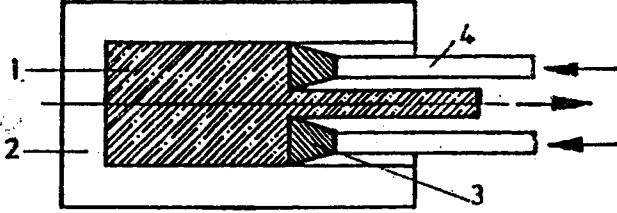


Şekil 1.2. Vasıtasız ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri /9/

Vasıtasız 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 edilebilir. Bu yöntemde matris çapı, alıcı iç çapı tarafından sınırlanmaktadır. Fakat takım ömrü vasıtalı ekstrüzyona göre daha kısadır. /9/

### 1.1.2. Vasıtalı Ekstrüzyon Yöntemi

Vasıtalı ekstrüzyon yönteminde matris, içi boş bir ıstampa ucuna 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 bir hareket yoktur. Malzeme akışı ile zorlama yönü tam zıttır.



- 1- Blok
- 2- Alıcı
- 3- Matris
- 4- ıstampa

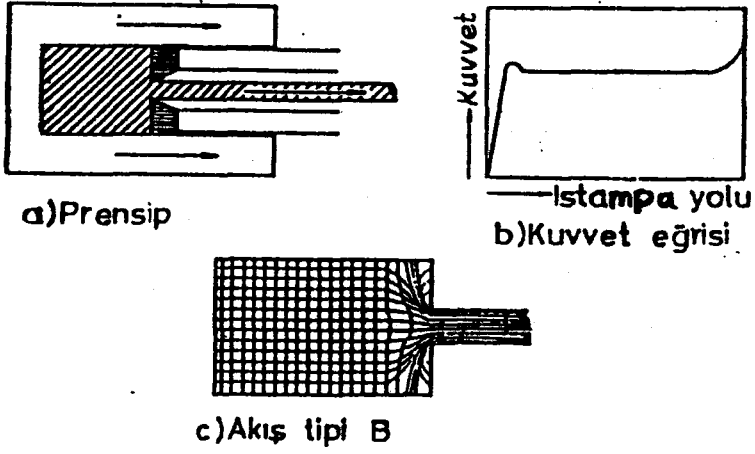
Şekil 1.3. Vasıtalı ekstrüzyon yöntemi /9/

Bu yöntem ile ekstrüzyonda, blok yüzeyi ile alıcı cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır (Şekil 1.4). Vasıtalı ekstrüzyonda kayıp miktarı vasıtasız ekstrüzyona göre çok azdır. Aynı zamanda malzeme akışı daha düzenli olmakta (B akış tipi) ve ekstrüzyon hatalarının oluşum oranı azalmaktadır. Vasıtasız ekstrüzyona göre daha büyük ekstrüzyon oranları, daha yüksek ekstrüzyon hızları, daha düşük blok sıcaklığında çalışılabilmektedir. Vasıtalı ekstrüzyon yöntemi birçok avantajlarına rağmen bazı dezavantajlarından dolayı sadece özel imalatlar için tercih edilmektedir. Bu yöntemde matris çapı alıcı iç çapı tarafından sınırlanmaktadır ve takımların düzenlenmesi zor olmaktadır. Komplike kesitlerin ekstrüzyonuna uygun bir yöntem değildir. Ayrıca ıstampa uzunluğu eğme gerilmesi nedeniyle sınırlanmaktadır. /9/

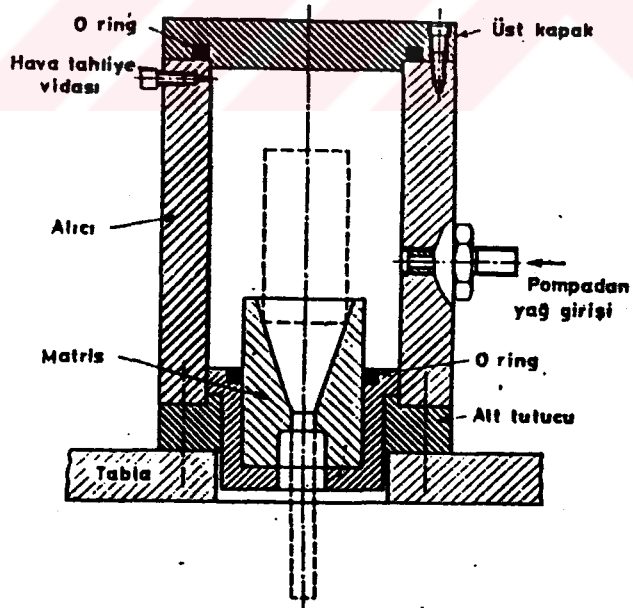
### 1.1.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

Hidrostatik ekstrüzyon, bloğun alıcıda ıstampa kuvvetinin etkisiyle değil, basınç ortamıyla matristen geçirildiği bir yöntemdir (Şekil 1.5). Bu yöntemde blok, yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüzyon edilmektedir. Blok ile takımlar arasında sürtünme olmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti daha az olmaktadır. Aynı zamanda ideal akış tipi (A tipi akış) sağlanmaktadır (Şekil 1.6). Basınç sağlayan akışkan ile dolu alıcı, ıstampa ve matriste sızdırmazlık temin edilmiştir. Akışkan basıncı, ekstrüzyon edilecek malzemenin akma gerilmesine ve ekstrüzyon oranına bağlı yeterli bir değere ulaştığında malzeme matristen akmaya başlar. Matriste bir yağ filminin oluşmasını sağlamak için konik matris kullanılır. İşlem çok yönlüdür. Basit bir matris değişimi ile çeşitli boyutlardaki bloklar ve kesitlerin ekstrüzyonu mümkün olmaktadır. Donatımda çok iyi bir sızdırmazlık sağlanması gerektirir. İşlemden önce blok yüzey hatalarından arındırılmalıdır ve matris deliğine uygun bir koniklikte

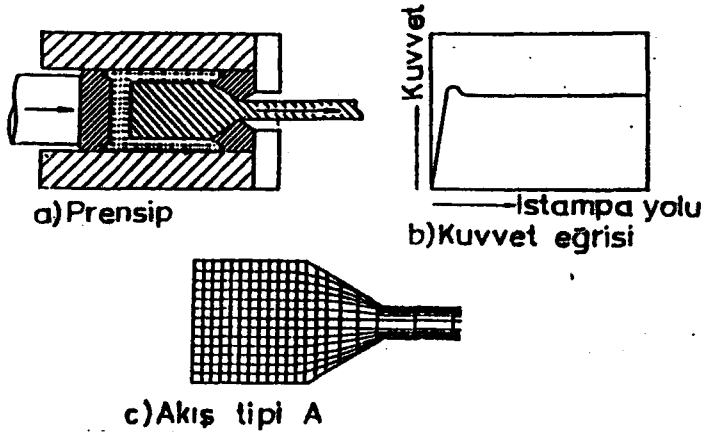
işlenmelidir. Hidrostatik ekstrüzyon bu dezavantajlara rağmen klasik ekstrüzyon yöntemlerine göre avantajlıdır. /9/



Şekil 1.4. Vasıtalı ekstrüzyon yönteminin prensibi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi /9/



Şekil 1.5. Hidrostatik ekstrüzyon donatımı /9/



Şekil 1.6. Hidrostatik ekstrüzyon prensibi, kuvvet eğrisi ve malzeme akışı /9/

## 1.2. Ekstrüzyon Malzemeleri

Metallerin ekstrüzyon edilebilirliğini, sertlikleri, ekstrüzyon esnasındaki sıcaklık, ekstrüzyon hızı gibi faktörler etkilemektedir. Ekstrüzyon işlemi, pekleşme etkilerini ortadan kaldırmak için daha ziyade sıcak uygulanmakla birlikte, özellikle yumuşak metallere soğuk olarakta tatbik edildiği görülmektedir. Nispeten düşük ekstrüzyon sıcaklıkları ve akma gerilmesi gösteren kurşun, kalay, bakır, alüminyum ve magnezyum alaşımları ile pirinç ve bronz gibi malzemeler ekstrüzyonun en çok uygulandığı metallerdir.

Alüminyum ve alaşımları birçok önemli özelliklerinden dolayı ekstrüzyon yönteminde kullanılan malzemelerin başında yer almaktadır. Esas olarak bilinen bütün teknik alüminyum alaşımları ekstrüzyona uygundur. Soğuk sertleşme ile istenen mukavemet özellikleri sağlanabilen alüminyum band ve saclardan farklı olarak ekstrüzyon malzemelerinin seçiminde sertleşebilir AlMgSi, AlCuMg, AlMgZnCu önemli rol oynarlar. Bu durum özellikle şekilleri nedeniyle soğuk ekstrüzyona uygun profiller için geçerlidir. Mukavemeti yüksek ve soğuk çekilebilir alaşımlardan çubuk ve boru imalinde sertleşme özelliğinden yararlanır.

Çeliğin akma gerilmesinin yüksek oluşu nedeniyle yüksek sıcaklık ve basınç uygulamalarını gerektirmesi ve alıcı iç yüzeylerinde kaynama tehlikeleri yaratması bu malzemenin ekstrüzyonunu zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, ekstrüzyon esnasında ergiyerek blok üzerinde yağlama etkisi yaratan fosfat tuzları veya cam kaplama kullanılmak suretiyle oldukça önemli miktarda çelik ekstrüzyon mamulleri de elde edilmektedir. Tablo 1.1' de ekstrüzyon malzemeleri ve bazı ekstrüzyon şartları topluca görülmektedir. /9/

### 1.3. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı

Ekstrüzyon işleminde genellikle aralıklı bir çalışma yapılmakta yani ilk bloğun ekstrüzyonundan sonra ikinci blok alıcıya yerleştirilmekte ve böylece blokta sıcaklık farkları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca blok ile alıcı, ön levha, matris yüzeyi ve kanalında sürtünme oluşmaktadır. Bu durumda blok ön kısmından, blok sonuna kadar eşit olmayan akış durumları ortaya çıkmaktadır. Farklı akış durumları, ekstrüzyon kuvvetinin değişmesine, malzeme kesiti ve boyutunda farklı malzeme özelliklerine ve diğer ekstrüzyon hatalarına neden olmaktadır.

Malzeme akışını birinci derecede ekstrüzyon edilen malzemenin özellikleri olmak üzere çok sayıda işlem faktörü etkilemektedir. Tablo 1.2' de malzeme akışını etkileyen tüm faktörler verilmiştir. Şekil 1.7' de gösterilen A, B, C, D, akış tiplerinden A tipi ideal akış tipini ve D tipi ise istenmeyen akış tipini karakterize etmektedir. /9/

#### 1.3.1. A Tipi Malzeme Akışı

A tipi akışta, bloğun alıcıdan ayrılışı mümkün olabilecek en düzenli şekilde olmaktadır. Bloğun plastik akışı, matrise çok yakın bir şekil değiştirme bölgesinde olmakta ve bloğun ekstrüzyon edilmeyen kısmı biçim değiştirmeden matris yönünde hareket etmektedir. Bloğun ön kısımları tabaka tabaka şekil değiştirme bölgesine girmektedir. Bu akış tipi, alıcı iç cidarında, matris yüzeyinde, matris deliği yüzeyinde sürtünmenin olmadığı ve homojen malzemelerde oluşmaktadır. Bütün sınır yüzeylerinde sürtünme olmadığından bloğun çevresi frenlenmeden kolayca hareket edecektir. Bunun neticesinde bloğun bütün kütlesi aynı hızla hareket ederek malzeme akışı düzenli olacaktır. Ancak sürtünmesiz ekstrüzyon pratik olarak mümkün değildir. Aynı zamanda bloğun bütün kütlesi aynı hızla hareket etmemektedir. Sürtünme, etkili bir yağlama yöntemiyle yok edilebilir. Ancak bu yüksek yağlama etkisine rağmen blok çevresi blok merkezinden daha hızlı akmaktadır. Şekil 1.8' de görüldüğü gibi küçük de olsa ölü bölge oluşmasından malzemede sapmalar meydana gelir.

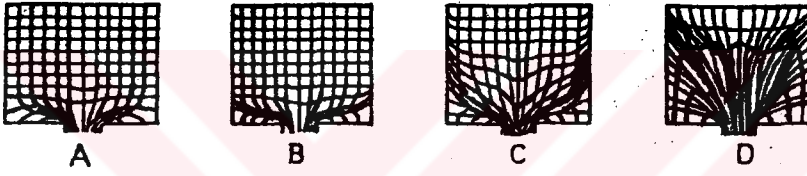
Blok merkezinin kat ettiği yol daha kısa ve merkezden uzaklaştıkça daha uzun olmaktadır. Akış merkezden çevreye doğru küçülmektedir. Bunun neticesinde malzeme akışı Şekil 1.7' deki A tipi ile tam uyum sağlamaktadır. İdeal yağlama ile merkezle çevre arasındaki hız farkı minimuma indirilebilir. /9/

Tablo 1.1. Ekstrüzyon malzemeleri ve bazı ekstrüzyon şartları /9/

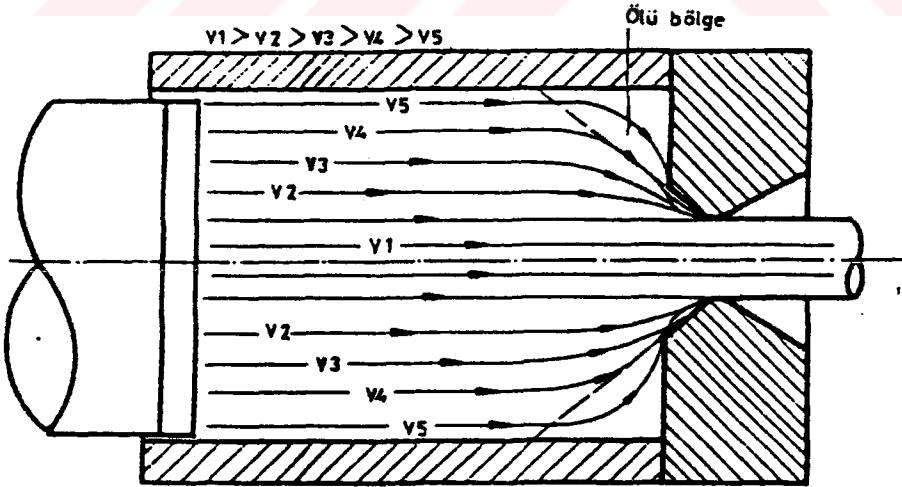
Cu ve Cu - Zn alaşımları	b-Cu	99.9						900	60-90	280
	Ms58	58	42					700	50-70	700
	SoMs				1.31	1.31-2		700	50-70	700
	58PbAl	58	40					700	50-70	700
	Ms63	63	37					750	50-70	600
	Ms68	68	32					800	55-80	450
	SoMs71	70	29	1				900	70-100	80
	SoMs78	76	22	1.8				900	70-100	80
Bronzlar	AlBz4	96			4			900	70-100	100
	AlBz9	91			9			920	70-100	100
	SnBz4	96		4				850	70-100	30
	SnBz8	92						750	70-100	30
	SiBz2	96					Si2	700	70-100	30
	PbBz4	96				4		650	70-100	30
	SoBz	90					Mn1-4	800	70-100	30
	AgBz	98					Ag2	900	60-80	50
Cu - Ni alaşımları	CuNi30	70					30	900	70-100	30
	CuNiZn	72	10				18	850	70-100	30
	Ni98					Mn1.5	98	1100	70-100	80
Zn ve Zn alaşımları	Saf Çinko	99.5						200	40-80	200
	ZnAl4	96		4				300	70-100	60
	ZnCu4	4	96					350	70-100	90
	ZnAlCu	1	96		4			350	70-100	50
Alüminyum ve Al alaşımları		Al	Mg	Mn	Cu	Si	Zn			
	Saf Alüminyum	99.8						500	40-80	1000
	AlMn	98		1.2				500	40-80	500
	AlMgSi	96	1.2	0.8				480	40-80	250
	AlMgMn	97	2.5	1				450	40-80	100
	AlMg3	96	3	0.2				450	60-100	80
	AlMg5	94	5	0.5				420	60-100	70
	AlMg7	92	7	0.5				420	60-100	60
	AlMg9	90	9	0.5				400	60-100	60
AlZnMgCu	90	2.7	0.5	1		6	400	60-100	80	
Mg ve Mg alaşımları	Saf Mg	99.8	1.2					300	40-80	200
	MgMn	98	2					420	40-80	100
	MgAl3	3	97					400	40-80	80
	MgAl6	6	94					380	60-100	60
Çelik		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mg			
	Karbon Çeliği	0.1	0.3	0.1				1300	40-60	120
		1.0	1.5							
	Düşük Alaşımlı	0.4	0.6		0.8	2	0.2	1270	40-60	120
	Paslanmaz	0.15	1.0	0.5	12			1200	40-60	90
		0.5	2.0		19	10		1210	60-100	90
Hız Çeliği	2.0	0.3		12			1160	100-120	70	
Sfero Döküm		3.5	0.4	2.7		1.5		1075		

Tablo 1.2. Malzeme akışını etkileyen faktörler /9/

FAKTÖRLER	OLASIKLAR
1 Yöntem	Direkt, endirekt , hidrostatik
2 Yağlama	Yağlamalı , yağlamasız
3 Sıcaklık	Soğuk , sıcak
4 Matris biçimi	Düz , konik , tek delikli , çok delikli
5 İş parçası	Plastiklik özelliği
6 Mamül biçimi	Çubuk , profil , boru , tel
7 Ekstrüzyon oranı	Küçük , büyük



Şekil 1.7. Vasıtasız ekstrüzyonda malzeme akış tipleri



Şekil 1.8. Vasıtasız ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı /9/

### 1.3.2. B Tipi Malzeme Akışı

Blok ile alıcı arasındaki sürtünmenin sıfır kabul edildiği, fakat matris ve matris tutucusu yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin ihmal edilemeyecek kadar küçük olmadığı durumlarda homojen malzemelerde B tipi akış meydana gelir. Bu durumda kenar bölgelerin matris deliği doğrultusundaki 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. Bloğun merkezinde biçim değiştirme düzgün olarak meydana gelir. /9/

### 1.3.3. C Tipi Malzeme Akışı

C tipi malzeme akışı alıcı cidarında, matris ve matris tutucusu yüzeyinde, matris deliğinde sürtünme olduğunda ve homojen malzemelerde oluşur. Bloğun çevresi daha alıcı cidarında frenlenmekte ve bloğun merkezi az direnç görmesi nedeniyle matris deliği yönünde hareket etmektedir. Şekil değiştirme B tipine göre matrisin çok uzaklarında başlar. Kayma bölgesi kesin hatlarla ortaya çıktıkça şekil değiştirmenin homojenliği gittikçe kaybolur. Matristen dışarıya çıkan her bir kesit sürtünme etkisiyle bloğun iç kısmı ile irtibatla kaldığından müteakip kesitler için çıkış açıklığı sürekli olarak daralır. Bundan dolayı şekil değiştirme miktarları çubuğun ucundan sonuna doğru gittikçe artar. B tipinde görülen, çubuğun ortasındaki yaklaşık sabit şekil değiştirme bu tipte oluşmaz.

Sürtünme nedeniyle frenlenen çevre malzemesi ile hareket eden merkez malzemesi arasındaki kayma bölgesi, ekstrüzyon malzemesine ve ekstrüzyon şartlarına göre az veya çok şekilde bloğa çekilir. Bu durumda ölü bölge büyüür. Ekstrüzyon ilerledikçe merkeze doğru büyüyen kayma bölgesinden kirler ve yağlama malzemeleri kayma bölgesi boyunca blok içine akarlar ve ekstrüzyon edilmiş çubuk yüzeyine çıkma tehlikesi oluştururlar (Çanak hataları). /9/

### 1.3.4. D Tipi Malzeme Akışı

D tipi malzeme akışı, C tipinde olduğu gibi sadece sürtünmenin çok olduğu durumlarda değil ayrıca ekstrüzyon malzemesinin biçim değiştirme direncinin blok kenar bölgesinde, blok içine göre fazla olduğu durumlarda meydana gelir. Biçim değiştirme matrinden çok uzakta başlar. Ekstrüzyon işleminin başlangıcında malzeme akışının yönü, ön levhanın dış kenarlarından matris profiline doğrudur. Bu nedenle akış tipinde oluşan ölü bölge C tipinden daha büyüktür. Buna bağlı olarak kayma gerilmelerinin meydana geldiği koni bölgesi daha büyük ve belirgindir.

Bu akış tipinin olduğu durumlarda hiç istenmeyen ekstrüzyon hataları meydana gelir. Özellikle pirinç ekstrüzyonunda ikilenme denen ekstrüzyon hatası işlem esnasında çok erken başlar. Ekstrüzyonda

malzeme akışı için yapılan araştırmaların çoğu D tipi akış için yapılmıştır. D tipi akış ekstrüzyon yönteminde asla istenmeyen bir akış tipidir. /9/





Malzeme akışı ve profil yüzeyinin düzgünleştirilmesi için sürtünmeyi azaltan işlemler uygulanır. Bunlar yağlama, matris yüzeylerinin taşlanması, matris kanalının leplenmesi, matris kanalına nitrasyon uygulanması ve matris kanal uzunluğunun düzenlenmesi gibi işlemlerdir.

Ekstrüzyon parametrelerini ve mamul kalitesini iyileştirmek amacıyla çeşitli matrisler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu matrisler ekstrüzyon işleminde üretilmesi zor profillerin imalatında kolaylıklar sağlar. /4/9/

## 2.1. Matris Malzemeleri

Matrisler genellikle çelikten imal edilirler. Bazı istisnalar hariç olmak üzere iş parçası ile temasta olan bütün takımlar tamamen sertleştirilmiş çelikten yapılır. Buna karşılık bazı küçük matrisler tavlama yapılmış ve su verilmiş takım çeliklerinden yapılır. Sıkıştırma sonucu basma gerilmesinin etkisindeki iç kısım matrisin soğuması ve büzülmesi sonucu sertleşmiş olarak kalır. İş parçası şekli, ekstrüzyon edilen metalin sertlik ve bileşimi, imalat şartları, matrisler için gerekli olan mukavemet değerine etki eder. Matris malzemeleri olarak kullanılan çeliklere uygulanan ısı işlem 1130° C' dan 1180° C' a kadar yağda sertleştirme ve şartlara göre 580° C' dan 650° C' a kadar olan sıcaklıklarda gerçekleştirilen menevişlemeden meydana gelir. Matris yapımında kullanılan malzemelerin tavlama ve sertleştirme sıcaklıkları ve bileşimleri Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Ekstrüzyon matrislerinde kullanılan malzemeler ve özellikleri /4/

ÇELİK GRUBU	KİMYASAL ANALİZ %								YUMUŞATMA TAVLAMASI ° C	SERTLEŞ- TİRME ° C
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W		
Cr-W-V	0.3 0	0.3	-	2.7	-	-	0.4	9.0	730-750	1070-1150 Y+H+B
Cr-Mo-Ni	0.6 0	0.8	0.3	2.0	0.45	2.0	-	-	740-780	1130-1180 Y
Cr-Mo-V	0.3 5	0.3	0.5	5.0	1.3	-	0.9	-	800-830	1130-1180 Y
Cr-Mo-W-V	0.3 5	1.3	0.4	3.5	0.5	-	0.4	9.5	730-750	1130-1180 Y
Cr-Ni-W	0.4 0	-	-	12	-	12	-	2.0	Dövülmüş	kullanılır

(Y:Yağ ; H:Hava ; B:Sıcak Banyo)

Çeliğin ekstrüzyonunda %5 Cr ihtiva eden wolframsız sıcak iş çelikleri kullanılması uygundur. Bu tip çelikler normal yolla sertleşmez fakat soğuk işleme matris malzemesi olarak kullanılabilir.

Tablo 2.2' de ekstrüzyon malzemelerine göre matris malzemeleri verilmektedir. /4/

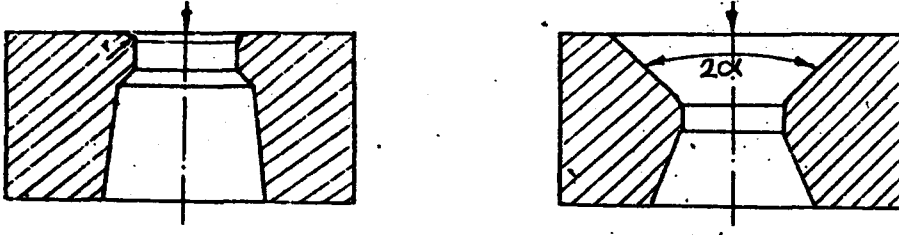
Tablo 2.2. Matris malzemeleri /9/

TAKIM	Fe-Ni ve Ti esaslı alaşimleri	Bakır alaşimleri	Alüminyum alaşimleri	Zn-Pb-Sn esaslı alaşimleri
Sıcak iş malzemeleri				
Ekstrüzyon matrisleri	2343/2344 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
Spider matrisler	Kullanılmaz	Kullanılmaz	2343/2344/2367	Kullanılmaz

## 2.2. Matris Şekilleri

Ekstrüzyon yönteminde dolu profiller için basit matrisler kullanıldığı gibi içi boş ve yarı açık profillerde odalı, köprülü, spider matrisler kullanılmaktadır. Dolu ve yarı açık profiller için kullanılan normal matrisler ekstrüzyon edilebilen tüm malzemeler için kullanılabilir.

Ekstrüzyon yönteminde malzeme akışı ekstrüzyon edilen malzemeye göre çok farklı olduğundan matris deliğinin giriş tarafının şekli ve kesitinin boyutları karakteristik büyüklük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çeşitli malzemeler ve çok çeşitli profiller üzerinde denemeler yapılarak uygun malzeme akışını sağlayacak delik giriş şekilleri elde edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde dik açılı ve konik matrisler kullanılmıştır (Şekil 2.2).



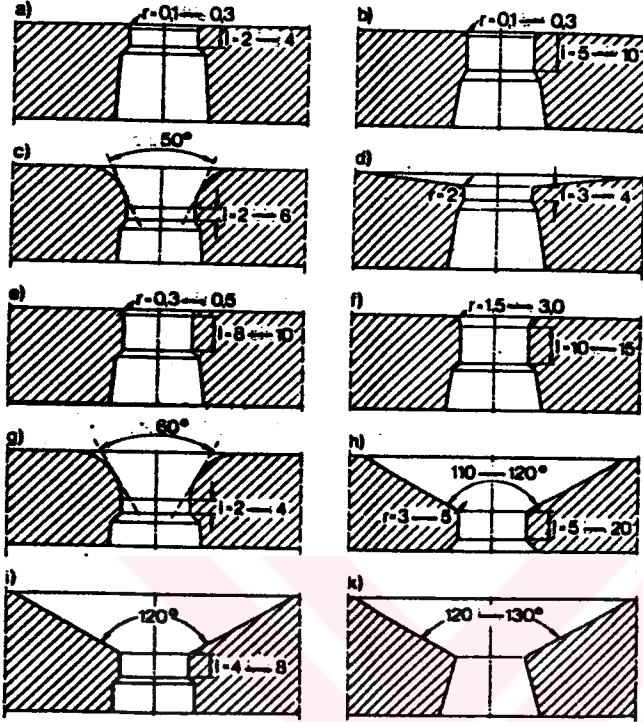
Şekil 2.2. Düz ve konik matrisler /9/

Bazı malzemelerde, örneğin alüminyum alaşımlarında dik açılı matrislerin daha uygun olduğu görülmüştür. Ancak deliğin dik kenarlarının çabuk aşınması ve çubuğun yüzey kalitesini bozması nedeniyle bu kenarlar yuvarlatılmıştır. Ekstrüzyon basıncının bir miktar artmasına 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 görülünce matris deliği girişine belirli bir açı verilmiştir. Araştırmacılar kalayı değişik açılı matrisler ile ekstrüzyon ederek malzeme akışını incelemişler ve matrise belirli bir açı verilince malzeme akışının daha homojen olduğunu görmüşlerdir. Şekil 2.3' te ekstrüzyon malzemeleri için matris tipleri verilmiştir. Matris açısı büyüdükçe ölü bölge küçülmekte, akış daha düzgün olmakta ve ekstrüzyon artışı azalmaktadır.

Profillerin ekstrüzyonunda 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 düzenlenmesi ve imalinde akış şartları, ekstrüzyon basıncı, profilin geometrik şekli, cidar kalınlıkları gibi birçok faktör dikkate alınmalıdır. /9/

### 2.2.1. Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

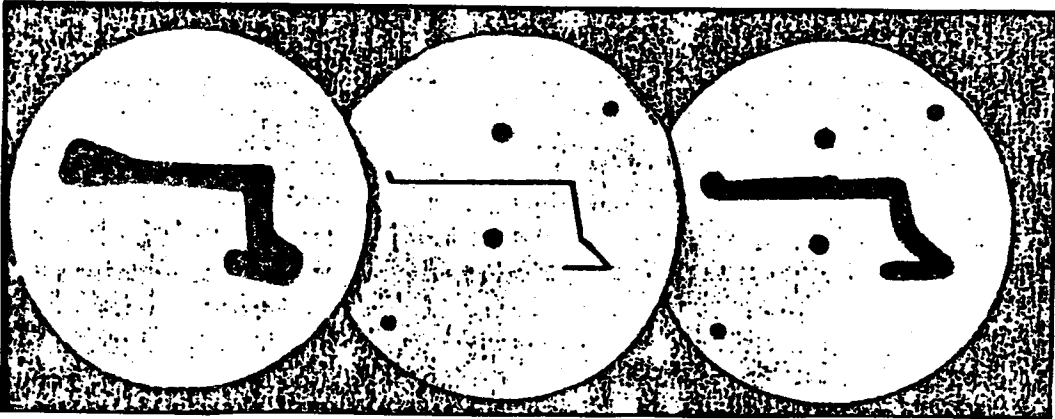
Dolu profil matrislerinin düzenlenmesinde matris deliğinin yerini belirleyecek bazı temel kurallar dikkate alınmalıdır. Malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece matris kanal uzunluğunda bir düzenleme yapılmadan belirli bir dengeleme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



- 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  
CuZn38Pb1
- f) Bakır, CuCd, CuSb
- g) Çinko alaşımları
- h) Çelik ( C çelikleri )
- i) Titanyum alaşımları
- k)Yük. sıcaklık alaşımları
- l=Kanal uzunluğu  
r=Yuvarlatma yarıçapı

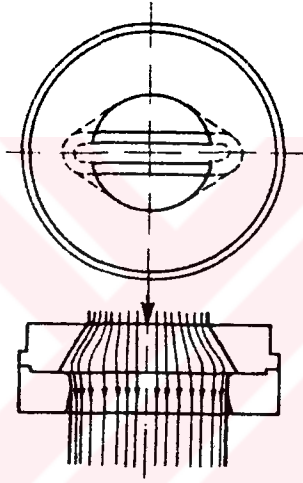
Şekil 2.3. Ekstrüzyon malzemeleri için matris tipleri /6/

Dolu profillerde düz matrislerden başka ön odalı matrisler, birleştirme ön odalı matrisler, expansion ön odalı matrisler ve destekli matrisler kullanılmaktadır. Şekil 2.4' te üç parçadan oluşan ön odalı matris görülmektedir.



Şekil 2.4. Üç parçadan oluşan ön odalı matris /9/

Ön oda malzeme akışının eşit ve kararlı olmasını sağlar. İçi dolu, karmaşık geometrili ve ince et kalınlığına sahip profillerde ölçü ve şekil tamlığını sağlar. AlMgSi0.5 gibi hafif alaşımların ekstrüzyonunda birleştirme ön odalı matris kullanılarak ardarda bloklar basılabilir. Yeni blok ile birleştirme ön odasında bir önceki bloktan arta kalan malzeme bu odada birbirine kaynar. Bu sayede sonsuz boyda profil elde edilebilir. Alıcı çapından daha büyük boyuta sahip fakat fazla geniş olmayan profillerin üretimi expansion ön odalı matris ile gerçekleştirilebilir. Şekil 2.5' te görüldüğü gibi dairesel blok kesiti belirlenen büyütme açısı ile profil kesitine bağlı olarak oval bir kesite dönüştürülür. İşlem bir anlamda elde bulunan alıcı boyutlarını üretimi istenen profile göre yönlendirmektir. Büyütme açısı alaşıma bağlı olarak  $10^\circ$  ile  $15^\circ$  arasında değişmektedir. Expansion levhasının kalınlığı maksimum profil genişliğini belirler. /9/12/



Şekil 2.5. Expansion ön odalı matris /12/

### 2.2.2. İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

Ekstrüzyon tekniğinin bugün ulaştığı noktaya, yüksek sıcaklıkta çalışan çeliklerin gelişmelerine, ısıl işlemlerdeki gelişmelere ve ekstrüzyon preslerindeki gelişmelere bağlı olarak yıllar önce ekstrüzyonu bile hayal edilemeyen karmaşıklığındaki profillerin üretimi gerçekleştirilmektedir.

Geçen zaman içerisinde tam kapalı içi boş profillerin üretimi için köprülü, spider ve odalı matris tipleri geliştirilmiştir. /9/

#### 2.2.2.1. Köprülü Matrisler

Köprülü matrisler genel olarak profil yüzeyinde iyi bir kalite beklendiğinde kullanılmaktadır (Şekil 2.6). Her ekstrüzyon işleminden sonra kalıntı uzaklaştırıldığından köprülü matris düşük sıcaklıklarda

kullanılır. Bu konstrüksiyonun bir avantajı da matrisin arka taraftan monte edilmesi olup, yeni matris durumunda matris giderlerinin düşük olmasıdır. Ekstrüzyon kalıntısının her işlemde sonra alınması ıskarta miktarının artması sistemin dezavantajıdır. Ayrıca çekme ve basma neticesinde birbirine ters yönde ortaya çıkan zorlamalar nedeniyle takımda kısa sürede aşınma veya kırılma olabilir.

Bilindiği gibi malzeme alıcı eksenine doğru daha hızlı akmaktadır. Bu özellik çok profilli matrislerde radyal kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Bu problem matris gövdesi üzerinde bulunan birbirinden bağımsız, küçük, tek profilli odalı veya köprülü matrislerde karşımıza çıkar. Bu matris takımları matris gövdesine veya matris tutucusuna yerleştirilir. Yani her profil için ayrı olarak komple içi boş profil takımı düzenlenir. Şekil 2.7' de üç profilli köprülü matris dizaynı görülmektedir. Bu yapıda matris tutucusu matris gövdesi olarak görev yapmaktadır. /9/10/

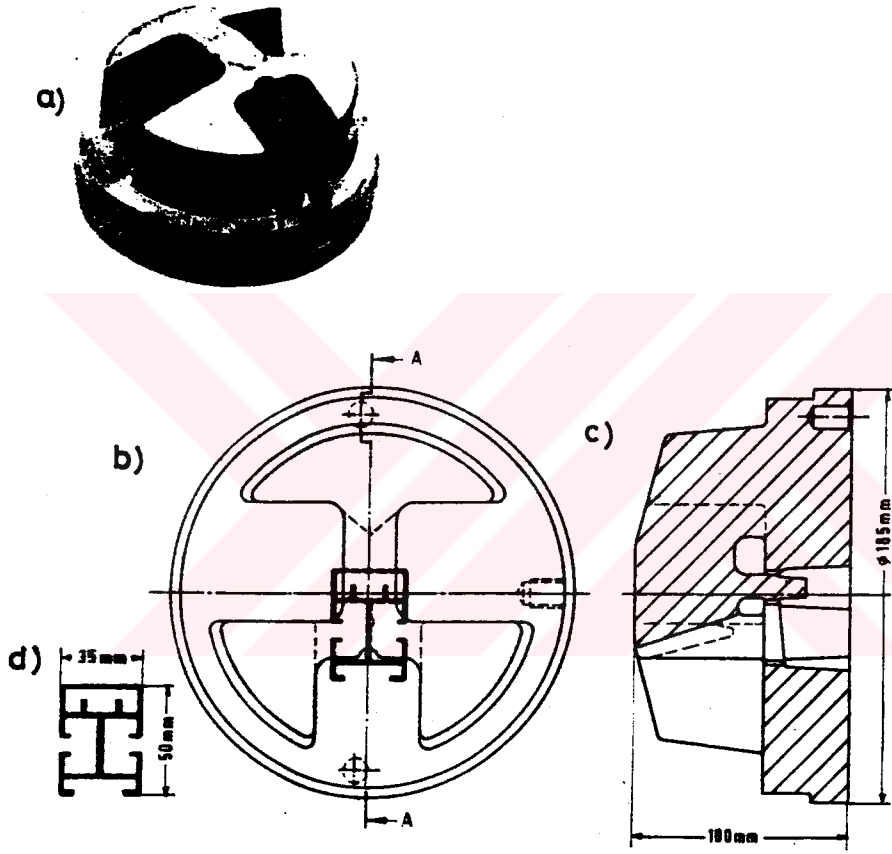
#### 2.2.2.2. Spider Matrisler

Spider matris genellikle düşük ekstrüzyon oranlarında büyük içi boş profiller için kullanılır (Şekil 2.8). Bu matrisin kontrol ve ayarı için uzun süre temizlik gerektiğinden kullanılması ikinci plana atılmıştır. Ayrıca ekstrüzyon kalıntısı dış koniklik nedeniyle uzaklaştırılmamaktadır.

KELLER tarafından geliştirilen yeni konstrüksiyon eski konstrüksiyonların dezavantajlarını kısmen ortadan kaldırmıştır ve pratikte daha çok kullanılmaktadır. Şekil 2.9' da altlığı spider takıma monte edilmiş konstrüktif bir yapı görülmektedir. /9/10/

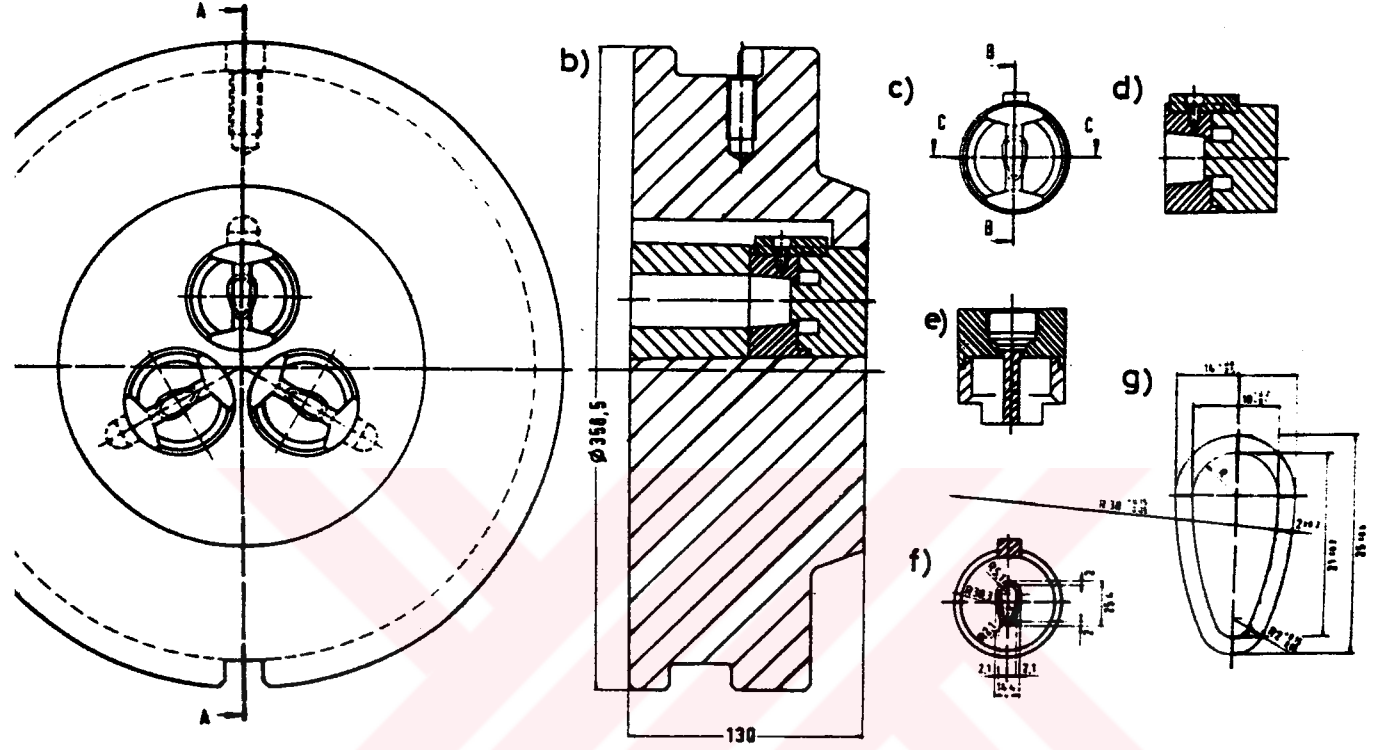
#### 2.2.2.3. Odalı Matrisler

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 2.10). Alıcı çapına oranla profil çapı çok büyük olduğunda dahi odalı matrisler kullanılabilmekte, bu durumda bütün matris tutucuları oda takımı olarak görev yapmaktadırlar. Bu matrisler çok kritik kesitleri olan profillerin ekstrüzyonunda rahatlıkla kullanılabilmektedir. Oluşan artık daha kolay uzaklaştırılmaktadır. Ancak bu matrisler tek parçadan oluştuğu için düzeltme yapmak zordur.



Şekil 2.6. Tek parçalı köprülü matris /10/

- a- Köprülü matris
- b- Matris alın yüzeyi
- c- A-A kesiti
- d- Profil



Şekil 2.7. Üç profilli değiştirilebilir parçalı köprülü matris dizaynı /10/

a- Matris alın yüzeyi

b- A-A kesiti

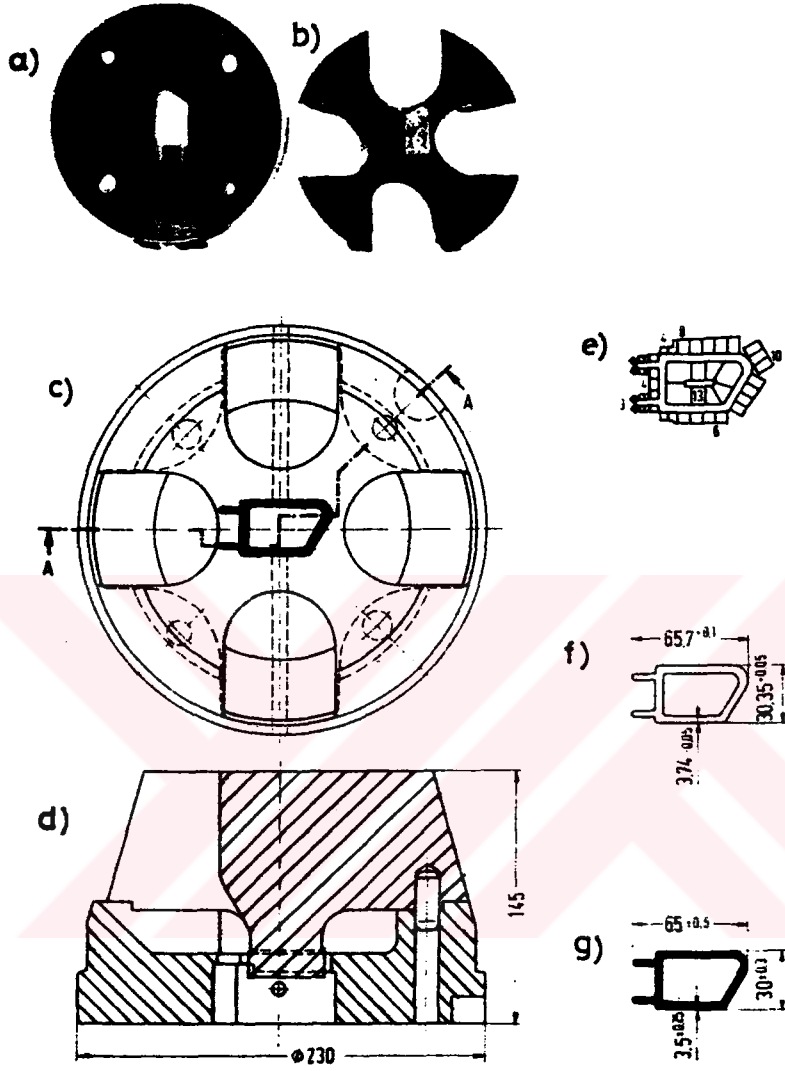
c- Köprülü matris

d- B-B kesiti

e- C-C kesiti

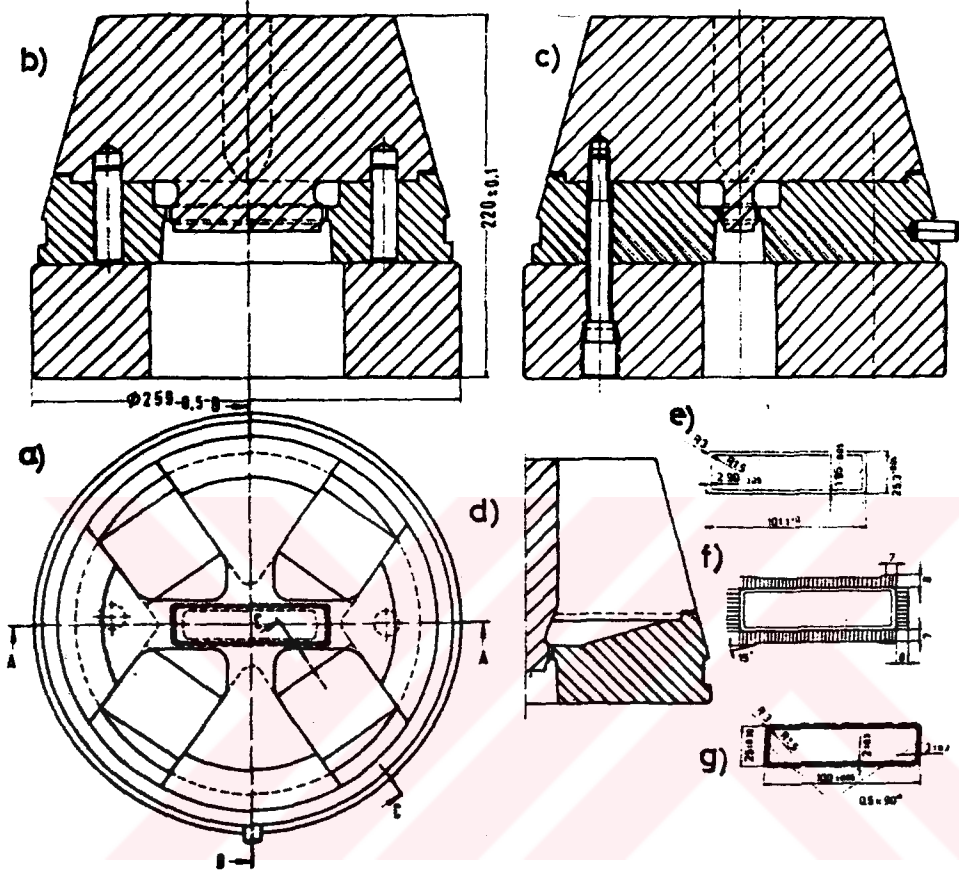
f- Matris boşluğunun ölçüleri

g- Profil ölçüleri



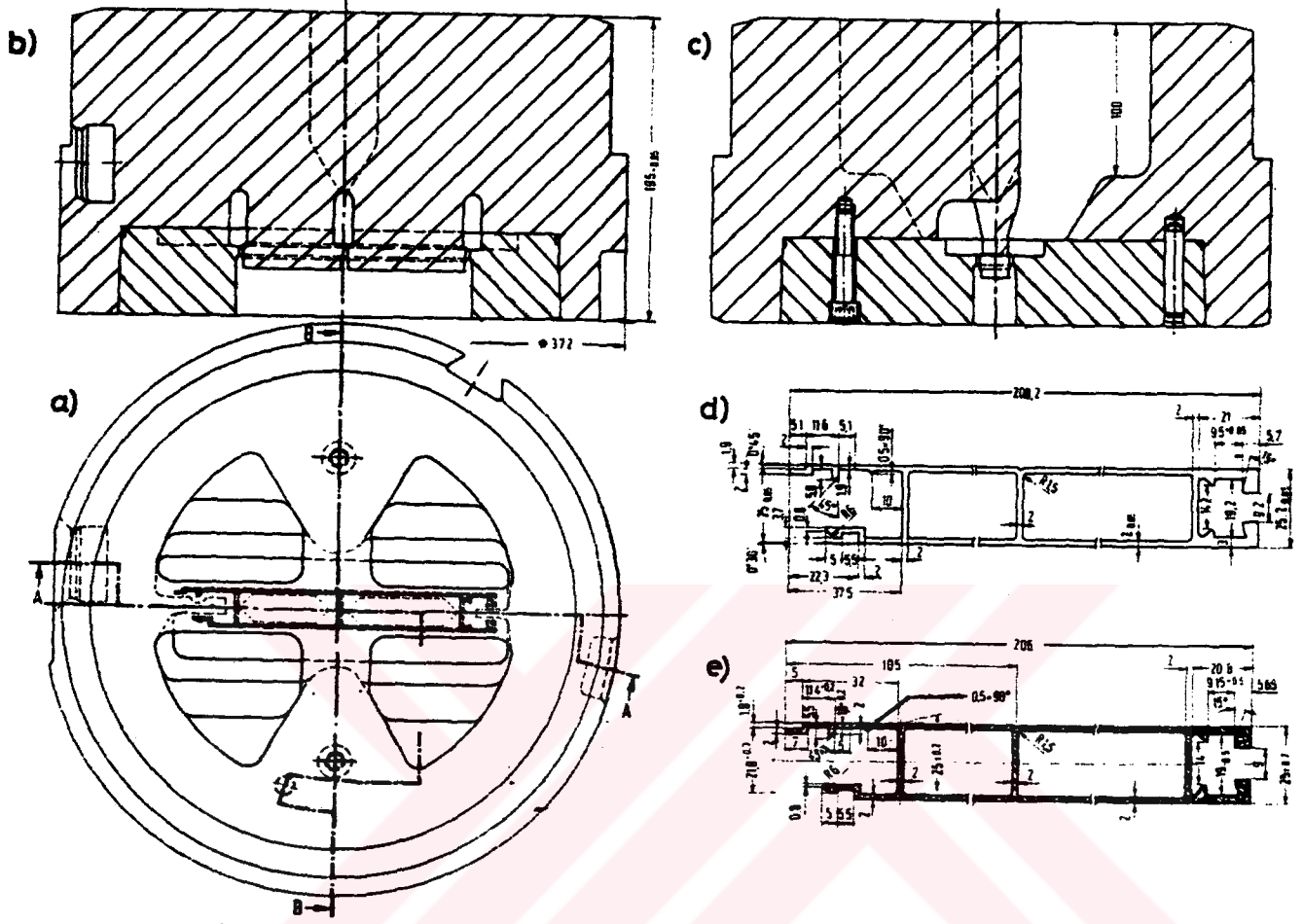
Şekil 2.8. İki parçalı spider matris /10/

- 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 2.9. Altılı spider takıma monte edilmiş konstrüktif yapı /10/

- 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



Şekil 2.10. İki parçalı odalı matris /10/

a- Matris alın yüzeyi

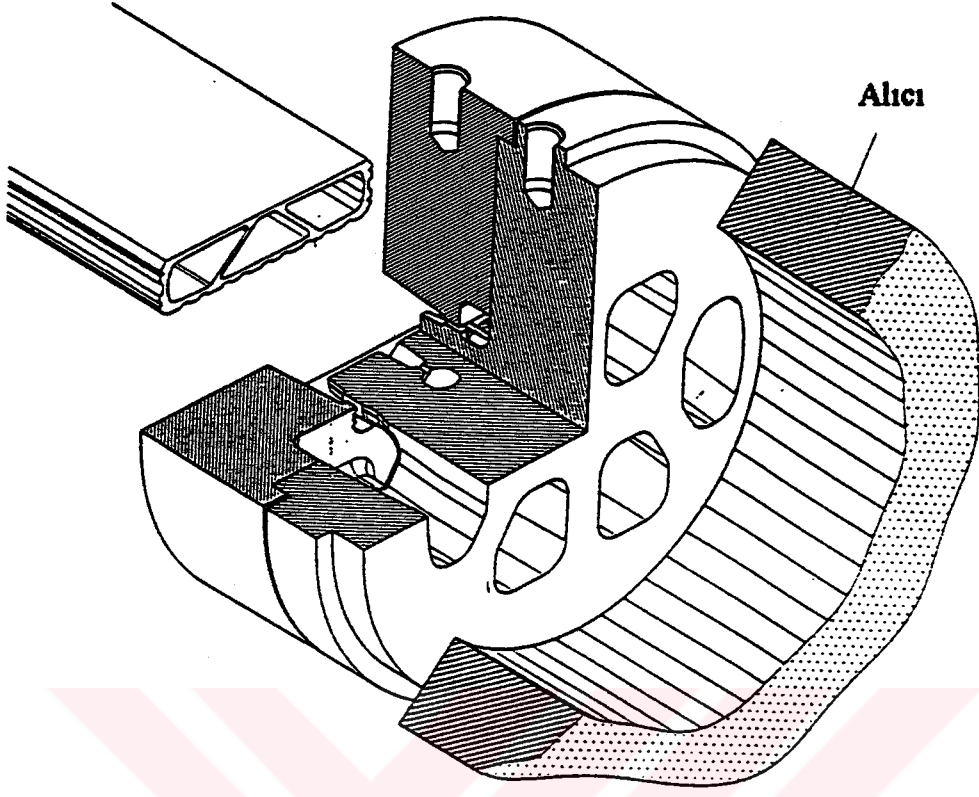
c- B-B kesiti

e- Profil ölçüleri

b- A-A kesiti

d- Matris boşluğunun ölçüleri

Malzeme akışına olan etkisi yönünden odalı matrisler diğer tiplere göre daha üstündür (Şekil 2.11). Kaynak dikişlerinde daha estetik görünüm sağlamak için giriş ve kaynak odalarını 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 inildiğinde özel takım kullanılmalı ve özel şartlar sağlanmalıdır. /3/9/10/



Şekil 2.11. Odalı matrisin şematik görünümü /3/

### 3.0. EKSTRÜZYON MATRİSLERİNDE PROFİLLERİN YERLEŞTİRİLMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Ekstrüzyon yöntemiyle şekil vermede genellikle diğer plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirilebilen tüm malzemeler kullanılmaktadır. Özellikle alüminyum alaşımlarının iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri, iyi mukavemet özellikleri göstermeleri, dekoratif görünümleri ve korozyon dayanımları alüminyum profillere diğer malzemelerden imal edilen ekstrüzyon mamullerinden daha çok önem kazandırmıştır.

Profil ekstrüzyonunun en önemli bölümünü matris imalatı oluşturur. Matris deliğinin ve matris deliği kanal uzunluğunun doğru olarak düzenlenmesi büyük önem taşımaktadır. Çeşitli şekilde düzenlenmiş profillerin ekstrüzyonunda ve matris imalatında zorluklar ortaya çıkmaktadır. Zorluk derecesinin belirlenmesi için çeşitli kriterler geliştirilmiştir. Pratikte ise birbirinden farklı bir tasnif için ekstrüzyon edilebilirliğin değerlendirilmesinde Tablo 3.1' de gösterilen kriterler dikkate alınmaktadır.

Çubukların ve basit profillerin ekstrüzyonunda ekonomik açıdan çok delikli matrisler kullanılmaktadır. Profil kesiti küçüldükçe ve basitleştikçe profil sayısı artmaktadır. Bu sayede aynı anda iki veya daha çok profil veya çubuk ekstrüzyon edilebilmektedir. Ancak malzeme akışının düzenli olabilmesi için deliklerin matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmesi gerekir.

Ekstrüzyon matrislerinin delik şekli, dizaynı ve matris üzerindeki yeri dikkat edilmesi gereken noktalar. 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, gereken ekstrüzyon kuvvetini arttırmakta, malzeme sarfiyatını çoğaltmakta, profil kesitini bozmakta ve takım ömrünü kısaltmaktadır. Bu nedenle matrisin düzenlenmesinde ve imalinde malzemenin akış şartları, ekstrüzyon kuvveti, profilin geometrik şekli gibi faktörler göz önüne alınmalıdır. /9/














#### 3.1. Konstrüksiyonun Temelleri

Konstrüksiyon için dikkat edilmesi gereken temel faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- Ekstrüzyon presindeki takımın yapısı
- Değiştirilebilir takım çeşitleri
- Alıcı ve ekstrüzyon takımındaki malzeme akışı
- Malzeme akışının yönlendirilmesi
- Çekme payının belirlenmesi

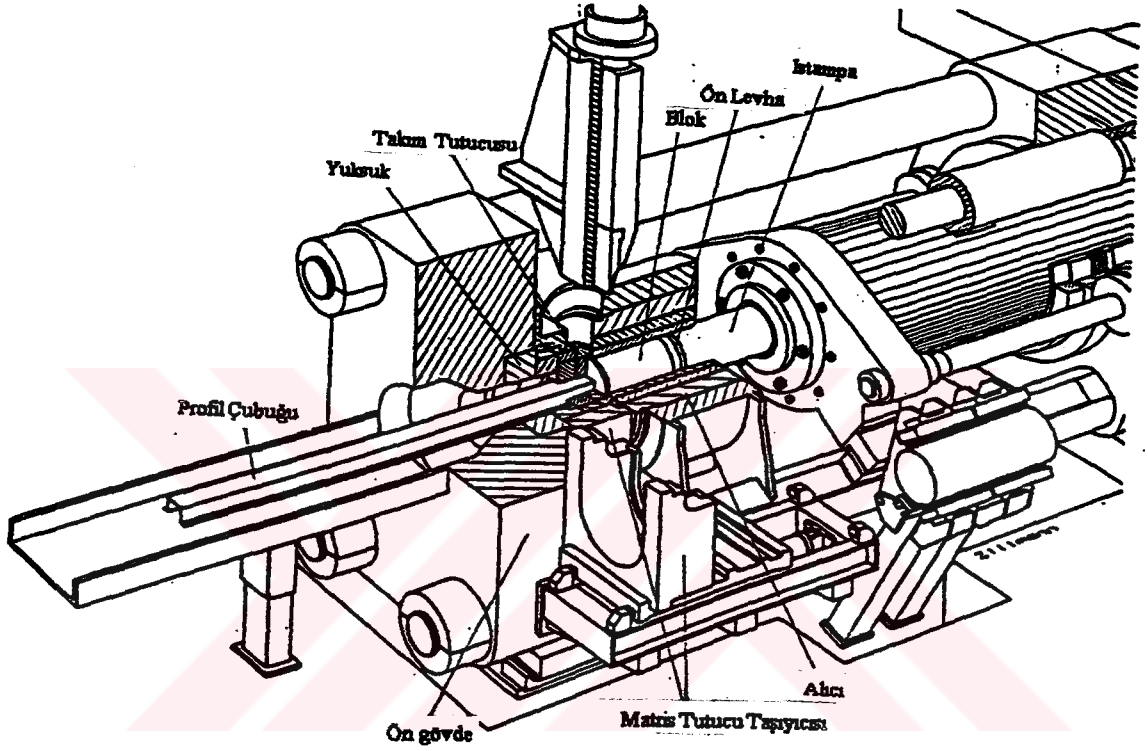
- Takım standart ölçülerinin belirlenmesi /3/

Tablo 3.1. Hafif metal profillerin zorluk derecesine göre şekil grupları /9/

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

### 3.1.1. Ekstrüzyon Takımının Yapısı

Bir profilin imalatı için gerekli matris grubu takım tutucusunun içinde oluşturulmalı ve matris grubunun orta eksenine ile presin orta ekseninde çakıştırılmalıdır (Şekil 3.1). Ekstrüzyon işlemi için alıcı takıma itilir ve sabit bir alıcı kuvvetiyle matrise bastırılır. /3/



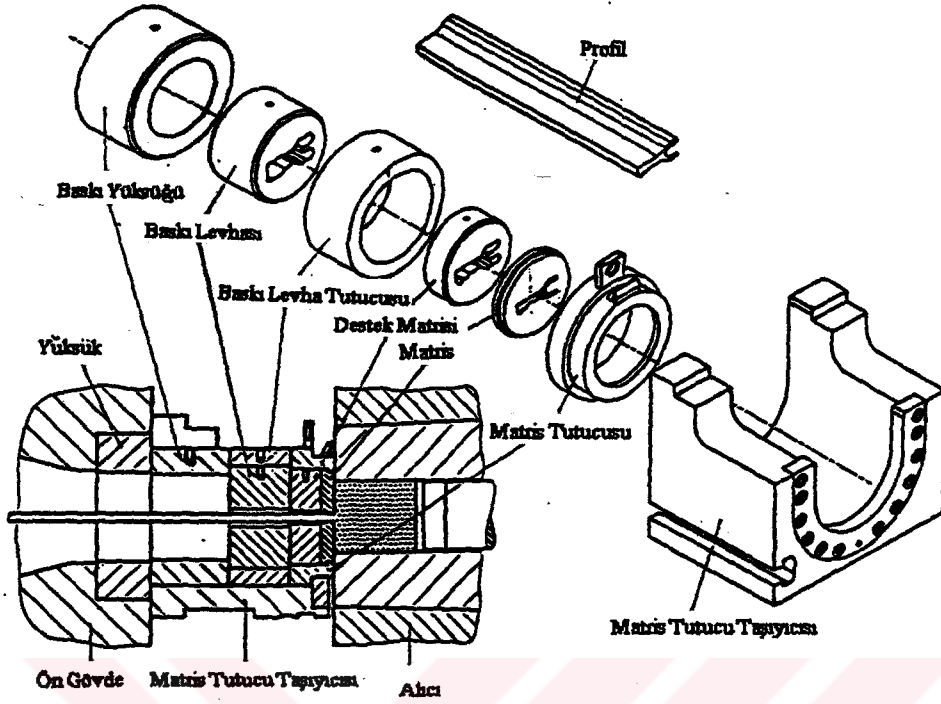
Şekil 3.1. Ekstrüzyon takımının yapısı /3/

### 3.1.2. Ekstrüzyon Takım Çeşitleri

Profile bağlı olarak üç çeşit matris bulunmaktadır.

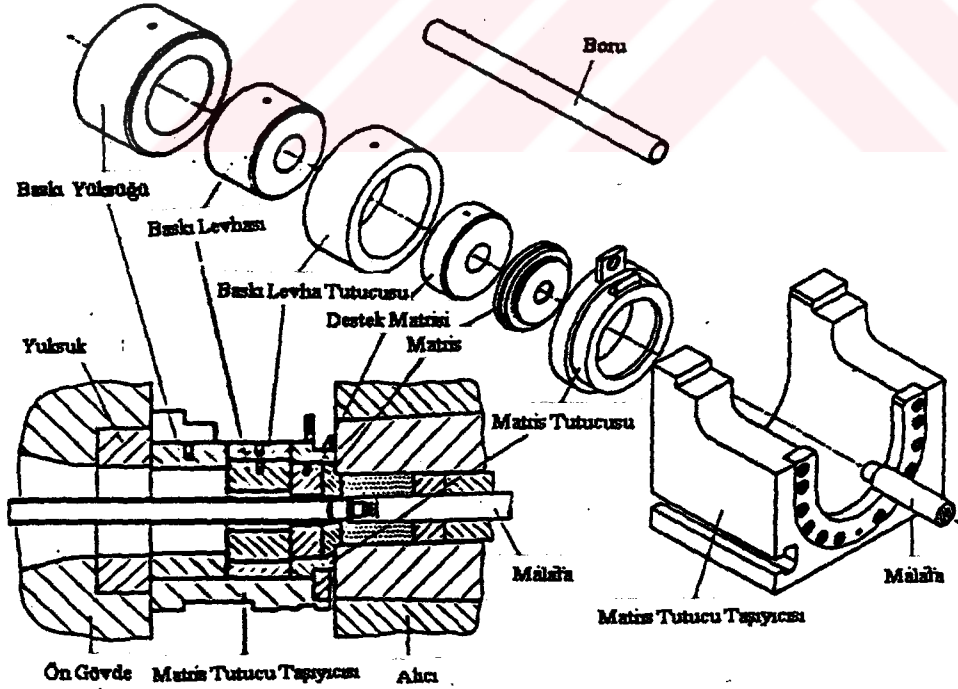
- Açık veya içi dolu profiller için yassı matrisler (Şekil 3.2)

Alıcı ile takım arasındaki sızdırmazlık yassı kapama ile sağlanmaktadır. Bunun anlamı sızdırmazlığın çember şeklindeki yüzey üzerinde sağlandığıdır.



Şekil 3.2. Yassı matrisin yapısı /3/

- Silindirik ve form borularının imalatı için boru takımları (Şekil 3.3)

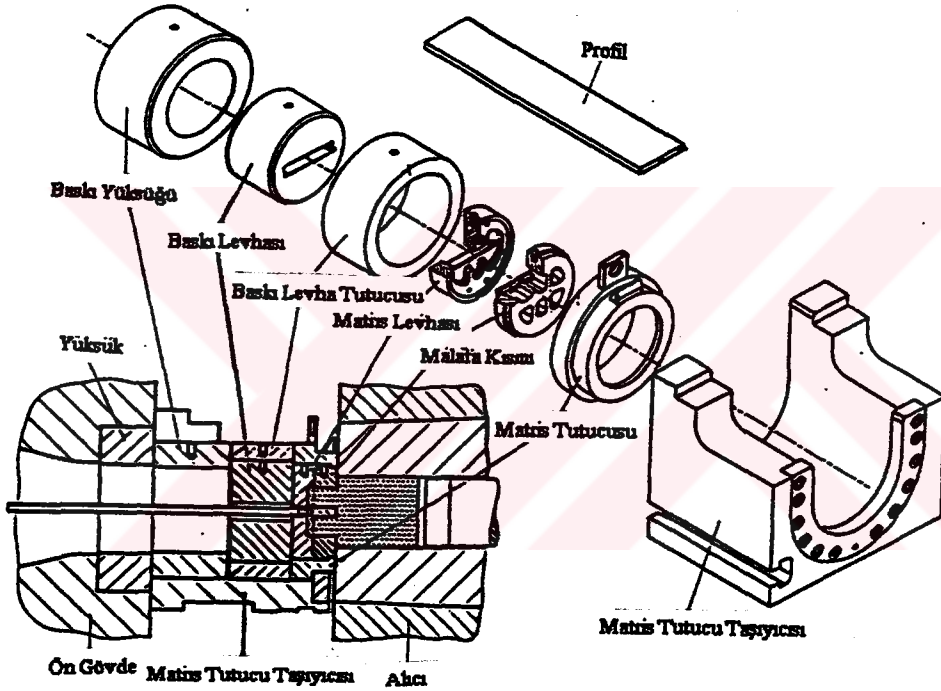


Şekil 3.3. Boru takımlarının yapısı /3/

Bunlar yine yassı matrislerdir. İç boşluğu veren takım malafadır. Malafa sabittir. Böyle imal edilen silindirik veya form boruları dikişsizdir. Alıcı ile takım arasındaki sızdırmazlık ağız yüküğü ile sağlanır. Bu sayede takımla alıcı arasındaki eksenleme de yapılmış olur.

- İçi boş profillerin imalatı için takımlar (Şekil 3.4)

Burada malzeme akışı bölünerek belirli sayıda boşluktan geçirilip tekrar toplanır. Bu arada profil dış yüzey şeklini alır. Bu işlem kaynak odası dediğimiz odada gerçekleştirilir. Bu profillerde kaynak dikişleri bulunmaktadır. Alıcı ile takım arasındaki sızdırmazlık yassı kapama ile sağlanır. /3/



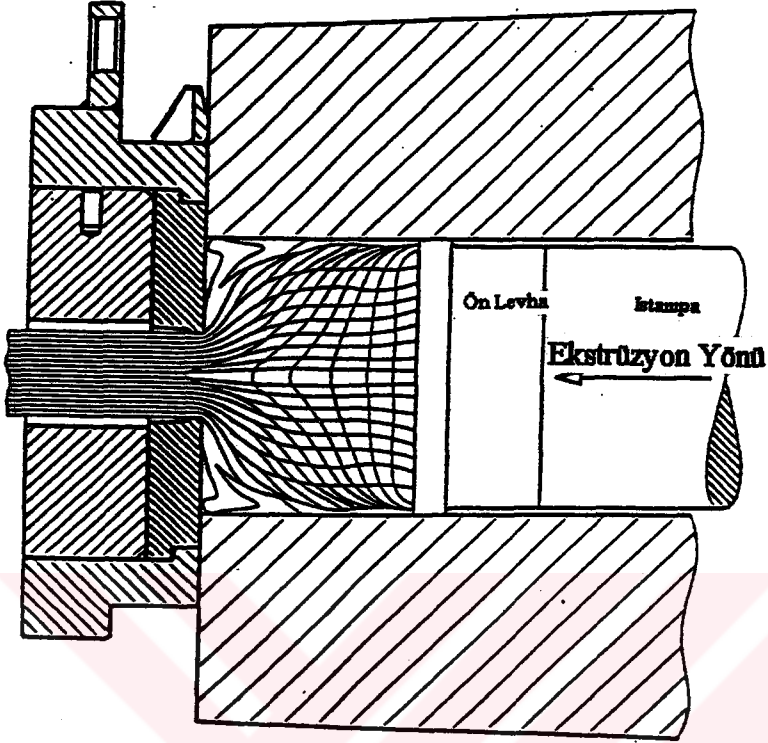
Şekil 3.4. Özel matrisin yapısı /3/

### 3.1.3. Malzeme Akışının Yönlendirilmesi

Genel olarak malzeme akışı alıcıdan matris boşluğuna kadar bütün ekstrüzyon takımlarında aynıdır. Istamp ve ön levha ile blok üzerine basınç uygulanır. Daha sonra malzeme matris boşluğundan akar ve profilin şeklini alır. Akış laminardır. Yani malzeme ortasında akış daha hızlıdır. Matris boşluğu önünde ölü bölge oluşur (Şekil 3.5). Takımdaki malzeme akışını yönlendirmek için üç yöntem kullanılmaktadır.

- Matris boşluğunda farklı kanal uzunluğu kullanılır.
- Ayrı levha olarak veya takım üzerine işlenen ön oda kullanılır.

- Özel takımlarda çeşitli şekilde ve büyüklükte giriş ve kaynak odası kullanılır. /3/



Şekil 3.5. Alıcıdaki malzeme akışı /3/

#### 3.1.3.1. Şekil Veren Kanal Veya Kayma Yüzeyi

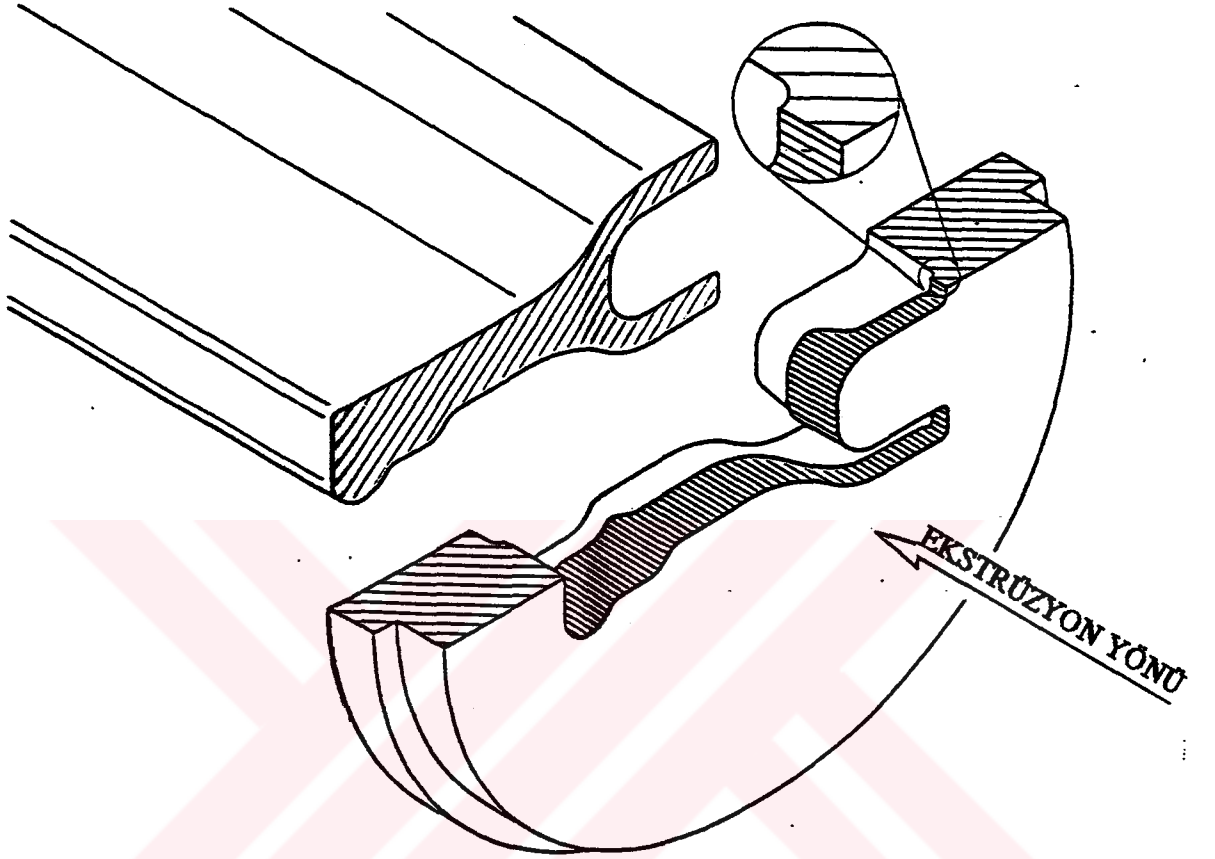
Kanal yüzeyi, şekillendirme işlemi esnasında malzemenin takım üzerinde kayarak profil şeklini aldığı yüzeydir (Şekil 3.6). Matris kanal yüzey uzunluğu, profil düzgün ve şekle uygun olarak matristen çıkabilecek şekilde dizayn edilmelidir. Matris kanal yüzeyinin uzunluğu takım boşluğundaki sürtünme kuvvetleri ile doğrudan ilgilidir. Kısa kanal uzunlukları doğal olarak küçük sürtünme kuvvetlerine sebep olur, malzeme daha hızlı akar. Buna karşı büyük kanal uzunlukları sürtünme kuvvetlerini artırır ve malzeme daha yavaş akar.

Takımda kanal uzunluğunun bağlı olduğu etkenler:

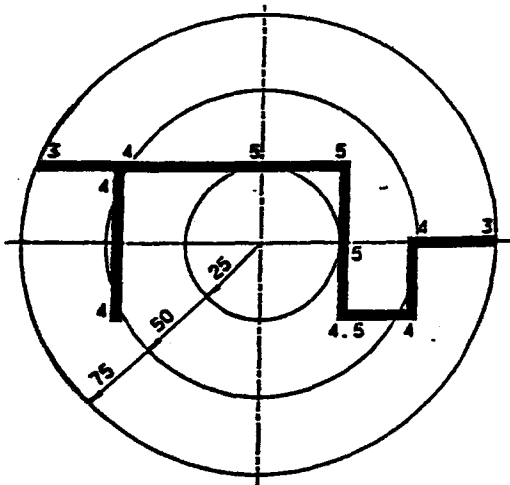
- Profilin takımda alıcı eksenine göre yeri

Daha önce belirttiğimiz gibi malzeme alıcı ekseninde daha hızlı akar. Buna karşın alıcı kenarında daha yavaş akar. Profilin takımdan düzgün ve şekle uygun çıkabilmesi için kanal uzunluğu alıcı kenarına doğru kısa, alıcı ortasına doğru daha uzun tutulmalıdır.

Ölçü değeri olarak, alıcı ekseninden başlayarak kanal uzunluğu 25 mm' de 1 mm kısaltılmalıdır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Kanal veya kayma yüzeyi /3/



Şekil 3.7. Profilin takımda alıcı eksenine göre yeri /3/

### - Profildeki kesit değişimi

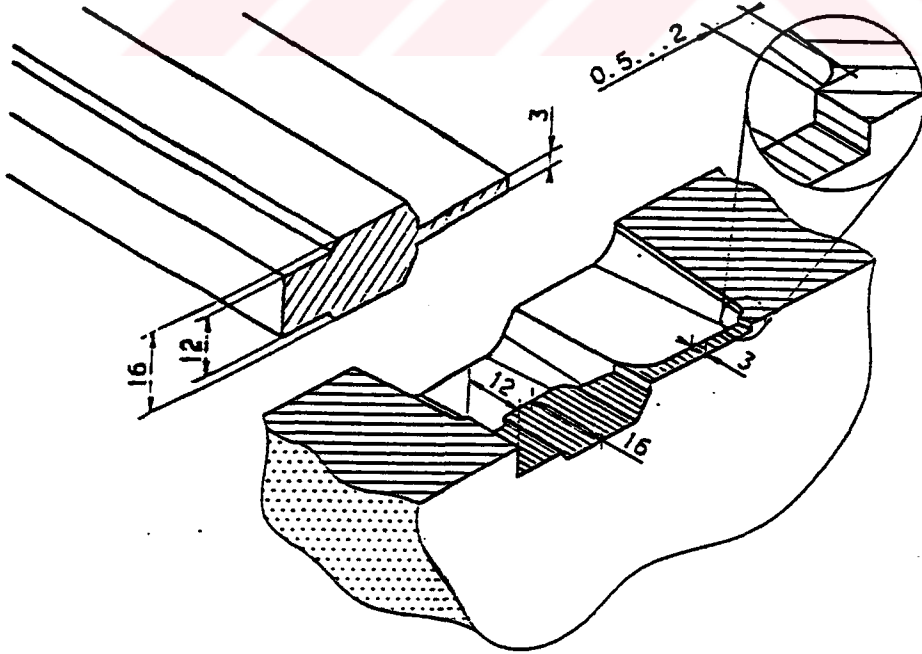
Ölçü değeri olarak, kanal uzunluğu profilin cidar kalınlığına bağlı olarak artar (Şekil 3.8). Pratikte kanal uzunluğunun dizaynı bu iki yöntemin kombinasyonu ile sağlanır. Genellikle en kısa kanal uzunluğu ile başlanır. En uygun kanal uzunluğu bunun için 2.5 mm' dir. Kanal yüzeyinin çıkışında profil esas şeklini almıştır. Bir yere değmeden takımdan çıkması için çıkışta kanal yüzeyi kanal uzunluğuna bağlı olarak 0.5-2.5 mm arasında büyütölmektedir. /3/

### 3.1.3.2. Malzeme Akışını Yönlendirmek İçin Ön Oda Dizaynı

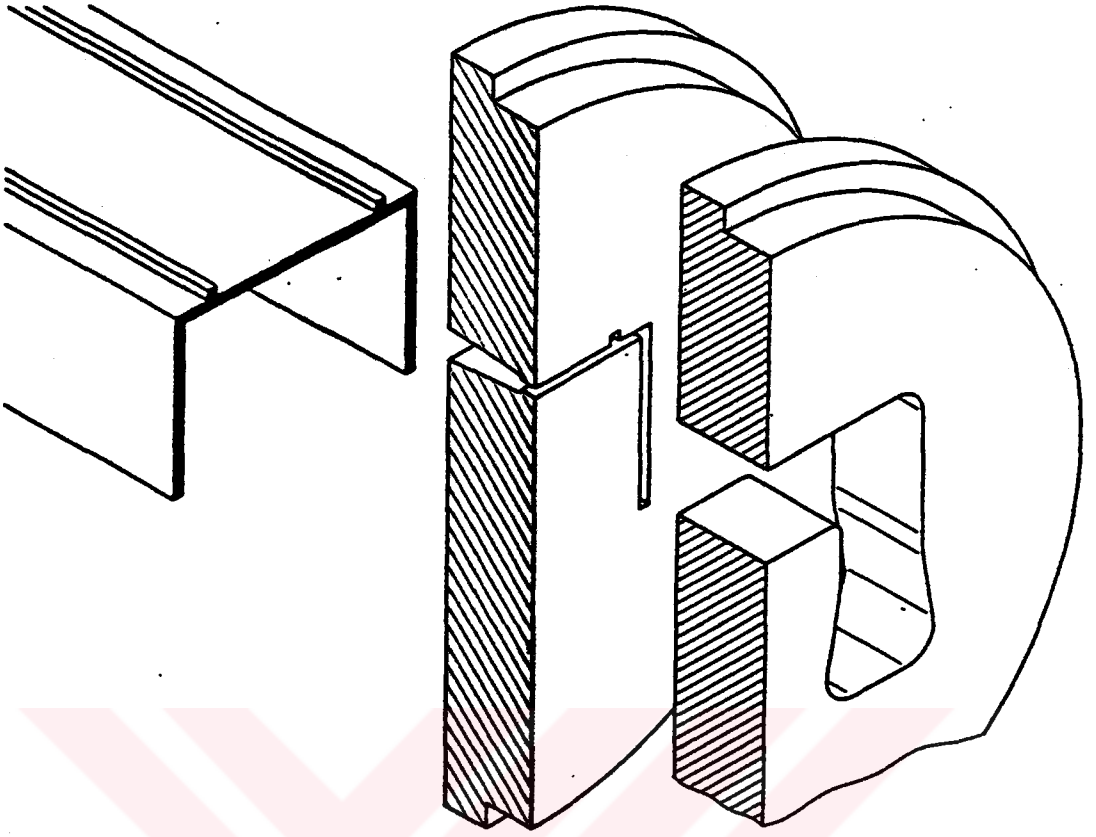
Ön odaların başlıca üç görevi vardır:

1. Sınırsız boyda profil üretmek
2. Malzeme akışını yönlendirmek
3. Malzeme akışını yaymak

Sınırsız boyda profil üretmek için basit geometrik şekilli standart ön odalar kullanılır (Şekil 3.9). Önemli olan ön odada kalan blok sonu ile yeni blok arasında kaynamanın oluşmasıdır. Profil çubuğunda bu enine ekstrüzyon dikişleri diye adlandırılır (Şekil 3.10). İyi bir kaynamanın olması ve dikişin yırtılmaması için ön oda boyutu büyük olmalıdır.



Şekil 3.8. Profildeki kesit değişimine göre kanal uzunluğu /3/



Şekil 3.9. Sonsuz uzunluktaki profiller için standart ön odalar /3/



Şekil 3.10. Enine kaynak dikişi /3/

Malzeme akışını yönlendirmek için kullanılan ön odalar frezelenerek matrise işlenirler (Şekil 3.11). Ön odanın matris boşluğuna olan mesafesi öyle seçilmelidir ki malzeme akışı önceden yönlendirilebilsin. Bu yöntemle farklı kesitlere sahip profili istenilen ölçüde oluşturmak mümkündür.

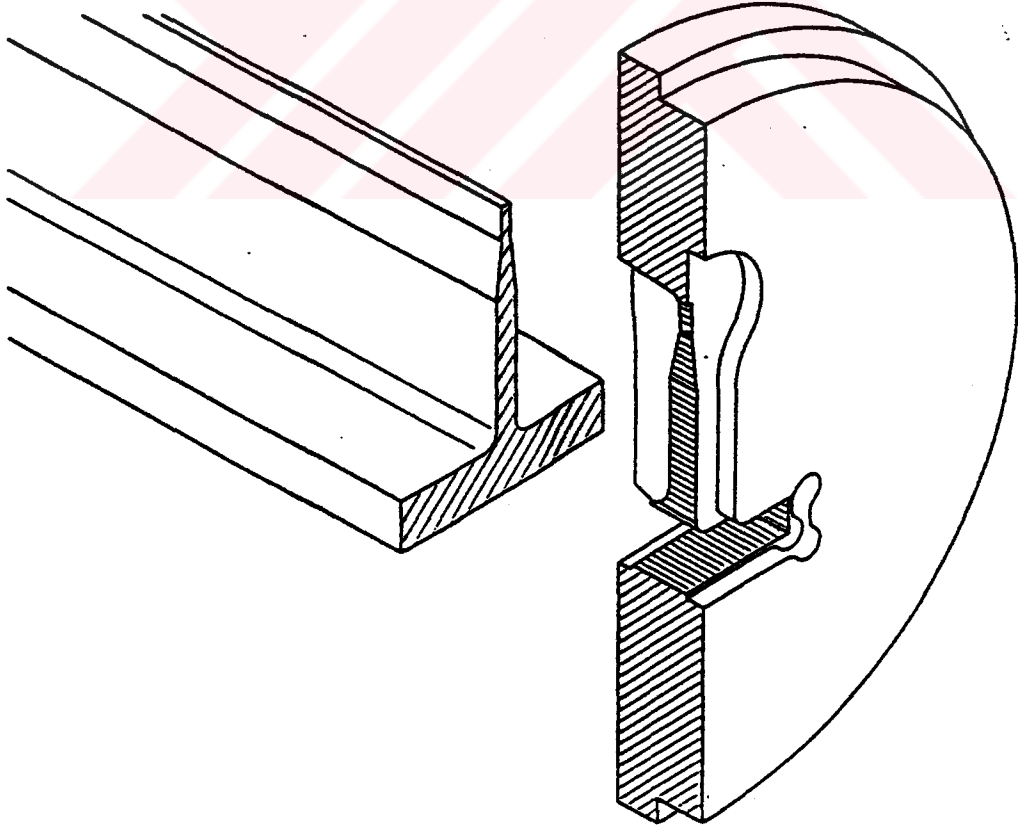
Malzeme akışını yaymak için expansion ön odalı matrisler kullanılır. Bu ön odalar profilin çevre çapı alıcı çapından daha büyük olduğu durumlarda kullanılır. Alıcıdan çıkan malzeme bu ön odada yayılarak daha geniş kesitli profil imalatını sağlar (Şekil 3.12). /3/

### 3.1.3.3. İçi Boş Profil Takımlarında Malzemeyi Yönlendirmek İçin Giriş Ve Kaynak Odası

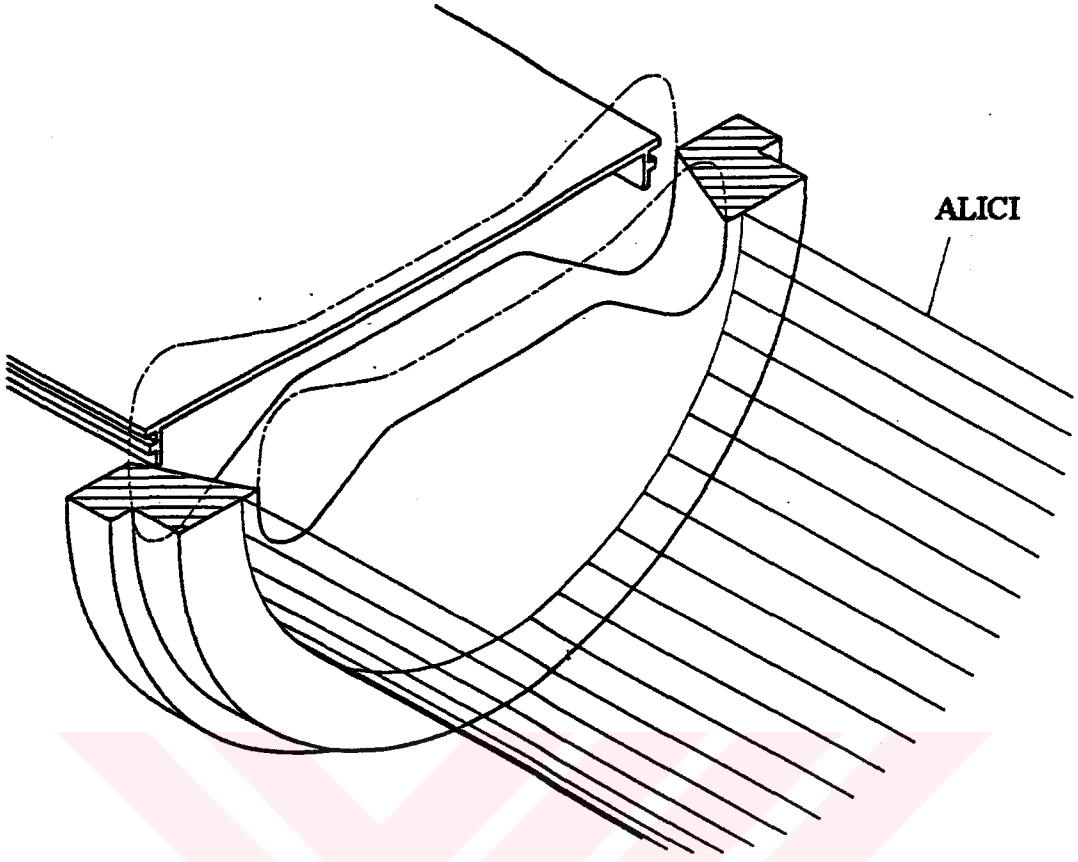
Malzeme akışını etkileme yönünden odalı matrisler çok üstündür. Bahsedilen kanal uzunlukları ve ön odaların dışında odalı matrislerin özellikleri aşağıda ifade edilmiştir (Şekil 3.13):

- Çeşitli giriş ve şekil boyutları
- Çeşitli şekilde ve büyüklükteki kaynak odaları

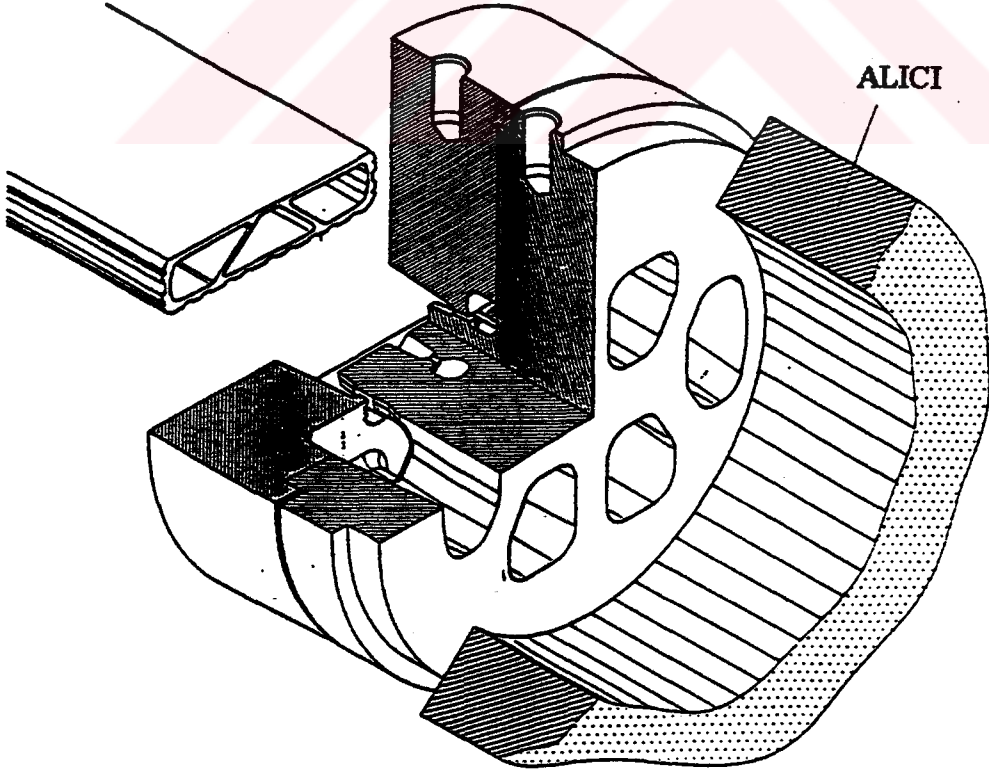
Girişler ve kaynak odaları, kaynak dikişleri estetik olarak iyi görünecek şekilde dizayn edilmelidir. Bunu sağlamak için şu kurallara dikkat etmek gerekir:



Şekil 3.11. Malzeme akışını yönlendirmek için şekilli ön odalar /3/



Şekil 3.12. Expansion ön odalı matris /3/



Şekil 3.13. Odalı matris /3/

- Kaynak odalarındaki şekil değiştirme basıncının yeterli olması için gerekli olan giriş büyüklüğü sağlanmalıdır.
- Girişler arkadan gelen blok boşluğu çabuk dolduracak şekilde düzenlenmelidir.
- İyi bir dekoratif görünüm elde etmek için kaynak dikişleri profil köşelerinde veya profil bölgelerinde estetik beklenti olmadan yerleştirilebilir.
- Girişler alıcı çapının maksimum %90 büyüklüğü kadar olmalıdır.
- Ekstrüzyon oranı 14/1'e eşit veya daha büyük olmalıdır. Şayet bu oranın üzerine çıkılırsa özel takım kullanılmalı ve uygun şartlar sağlanmalıdır.
- Kaynak oda büyüklüğü aşağıdaki ölçülerde olmalıdır (Şekil 3.14):

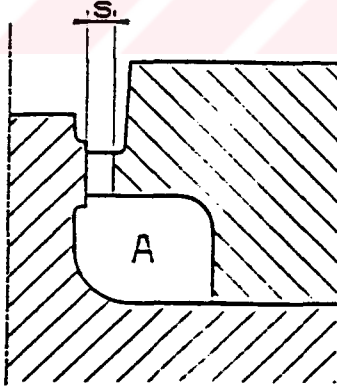
Burada dikkat edilmesi gereken nokta aşağı doğru olan sapmada kötü kaynak dikişi oluşur. Yukarı doğru olan sapmada ise takım fazla zorlanır. Girişler geometrik olarak basit olmalıdır. Giriş şekli profil şekline bağlı olarak değişir. Profil karmaşıklıktıkça malzeme akışını yönlendirmek için gereken giriş sayısı da artar. Daha önce belirttiğimiz gibi kaynak dikişleri profil köşelerinde ve profil bölgelerinde dekoratif beklenti olmadan yerleştirilmelidir. /3/

$$A = (s \times f)^2$$

A: Kaynak odası kesiti (mm<sup>2</sup>)

s: Cidar kalınlığı (mm)

f: Faktör (6...8)



Şekil 3.14. Kaynak oda büyüklüğü /3/

#### 3.1.4. Çekme Payı

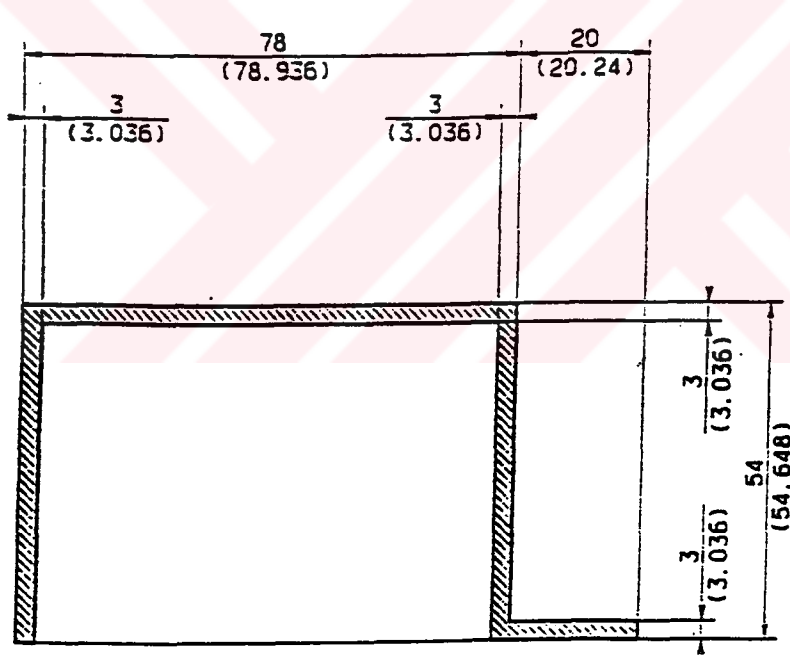
Alüminyum malzemelerinde şekillendirme prosesi 400°- 450° C arasındadır. Ekstrüzyon takımları bunun için 420°- 480° C civarında ön ısıtmaya tabi tutulur. Takımdaki boşluk öyle işlenmelidir ki profil

çekildikten ve soğuduktan sonra istenilen ölçüyü vermelidir. Matris boşluğunun ölçüleri profil ölçülerine bağlı olarak çekme payı olarak verilmektedir.

Bu ölçüler şunlardan etkilenir:

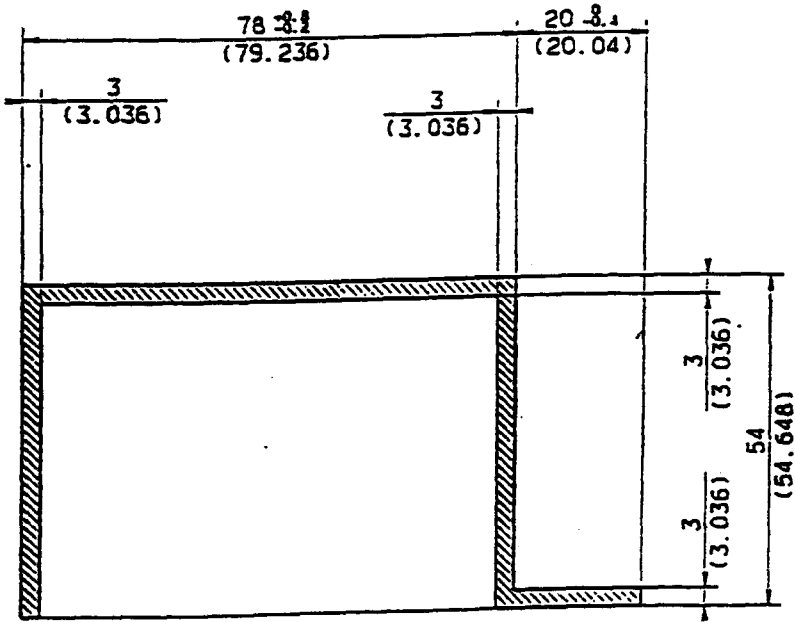
- Ekstrüzyon sıcaklığında alüminyum alaşımının ve matris çeliğinin genleşme sayısı
- Profil şekli, takım desteği ve buna bağlı olarak takım eğilmesi (Şekil 3.17)
- Profil ölçüsünün tolerans alanı
- Uzama ve çekme derecesi

Alaşım tipine ve ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak pratikte profil ölçüsünde %1-2 arasında artış olmaktadır (Şekil 3.15). Alaşım miktarı arttıkça çekme payıda o oranda artar. /3/

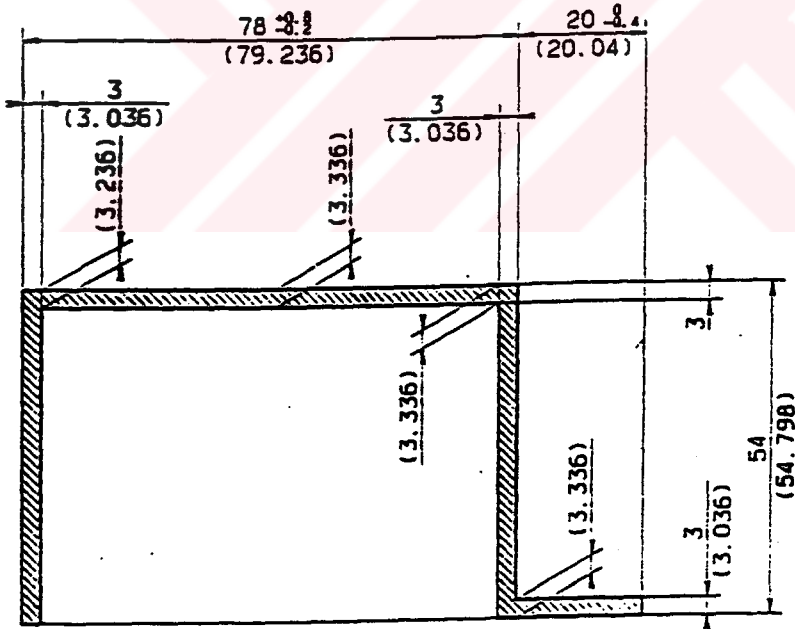


Şekil 3.15. Çekme payı (Geçerli olan %1.2 Çekme artışı %0.2) /3/

Ölçülerde şu değişiklikler yapılmalıdır (Şekil 3.16):



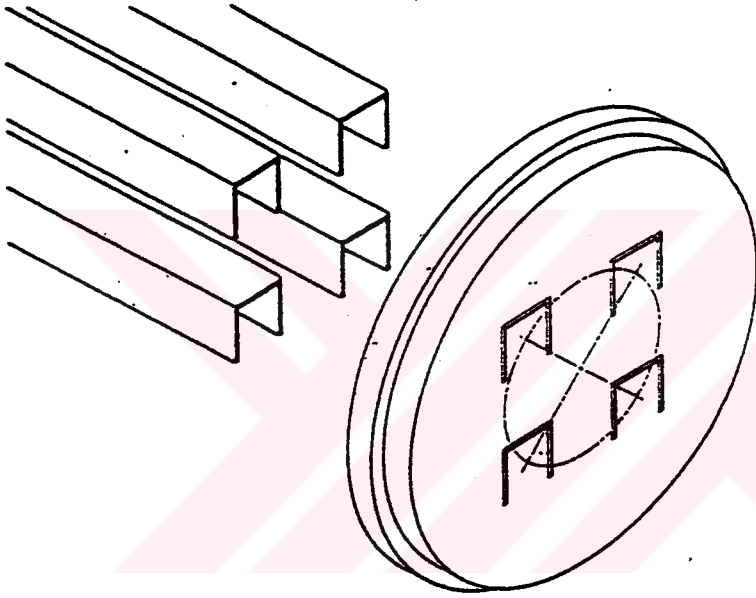
Şekil 3.16. Toleransların verilmesi /3/



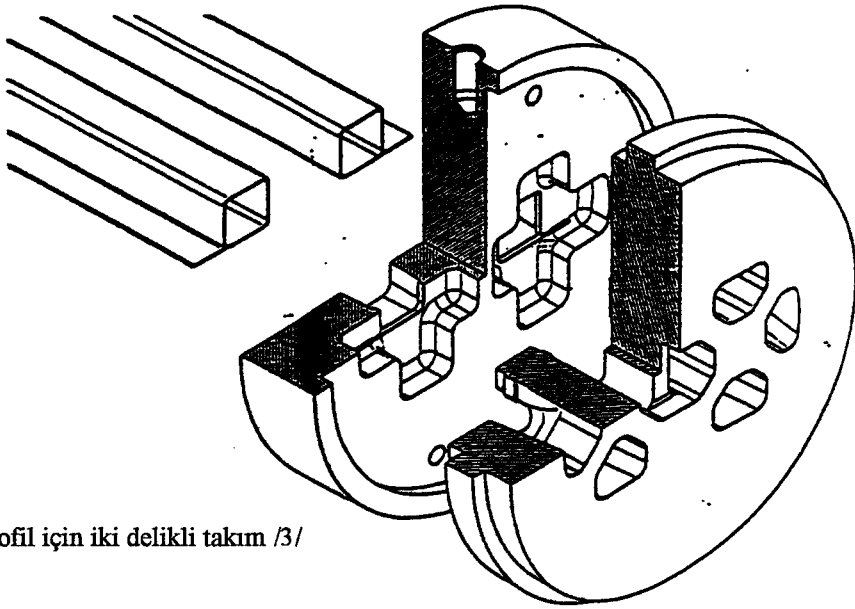
Şekil 3.17. Profil şekline ve desteğine bağlı olarak takım eğilmesi /3/

### 3.1.5. Çok Delikli Takımlar

Ekstrüzyon preslerinin kapasitelerini tam kullanabilmek için içi dolu veya içi boş profil takımları altı veya sekiz delikli dahi yapılabilmektedir (Şekil 3.18 ve 3.19). Daha önceki konstrüktif esaslar bu matrisler için geçerlidir. Dikkat edilmesi gereken husus ise takımların ve bunlara ait destek takımlarının iyi akselendirilmesidir. Böylece takımlarda şekillendirmeden doğacak geometrik değişiklikler engellenmiş olur. /3/



Şekil 3.18. Dört delikli içi dolu profil takımı /3/



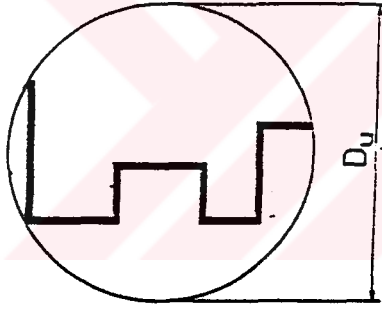
Şekil 3.19. İçi boş profil için iki delikli takım /3/

### 3.1.6. Takım Ölçüleri

Aluminyum ekstrüzyonundaki yüksek sıcaklıklara rağmen takıma etki eden şekil değiştirme basınçları çok yüksektir. Teknik imalat yönünden küçük tasarlanması gereken takım tek başına bu yükü taşıyamaz. Onun için takım öyle desteklenmelidir ki şekil değişimine uğramamalıdır. Bu destekler daha önce şekillerle gösterilmiştir ve profil şekline bağlı olarak üç şekilde olurlar:

- Destek takımı
- Basınç levhası
- Basınç yüksüğü

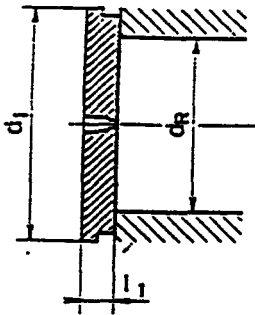
Destek takımları ve destek levhaları boşluğu kural olarak matris deliğinden 3-5 mm arasında daha büyük dizayn edilir. Takım çapı ve takım kalınlığı profil şekline, büyüklüğüne, karmaşıklığına ve pres büyüklüğüne bağlı olarak belirlenir. Takım ölçüsü profil çevre çapı dikkate alınarak belirlenir. Şekil 3.20' de çevre çapı  $D_u$  gösterilmiştir. Normal olarak içi boş ve dolu profiller için Şekil 3.21' de boyutlandırma verilmiştir. /3/



Şekil 3.20. Profil çevre çapı /3/

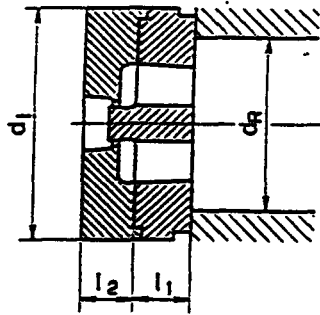
Dolu profil

$$l_1 = (0.12...0.22) \times d_R \text{ (mm)}$$



İçi boş profil

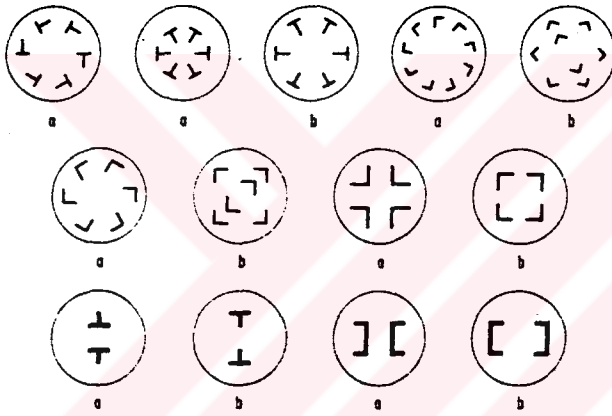
$$l_1 + l_2 = (0.65...0.8) \times d_R \text{ (mm)}$$



Şekil 3.21. İçi boş ve dolu profiller için matrisin ölçülendirilmesi /3/

### 3.2. Ekstrüzyon Matrisinde Malzeme Akışı

Miktar, geometri ve kesit büyüklüğüne bağlı olarak alıcı büyüklüğüne, matrisin tek veya çok delikli olacağına karar verilir. Seçilen ekstrüzyon malzemesine bağlı olarakta gerekli şekil değiştirme basıncı ve ekstrüzyon presinin büyüklüğü belirlenir. Bu seçimlerden sonra her presleme başına profil sayısı belirlenir. Böylece şekil verecek boşlukların sayısı bulunur. Ancak yerleri henüz belli değildir. Profilin matris üzerine yerleştirilmesi çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Malzeme kenar bölgelere göre matrisin orta kısmında daha hızlı aktığından profil kesitindeki malzeme birikimleri takımın çevre bölümlerine yerleştirilmelidir. Özellikle çok delikli matrislerde buna dikkat etmek gerekir. Matrise boşluklar profil geometrisine bağlı olarak, profil kesitinin simetri eksenleri matrisin orta noktasında kesişecek şekilde yerleştirilmelidir (Şekil 3.22). Ancak profillerin ekstrüzyon esnasında birbirlerini engellememelerine ve çıkışta birbirlerine zarar vermemelerine dikkat etmek gerekir. /10/

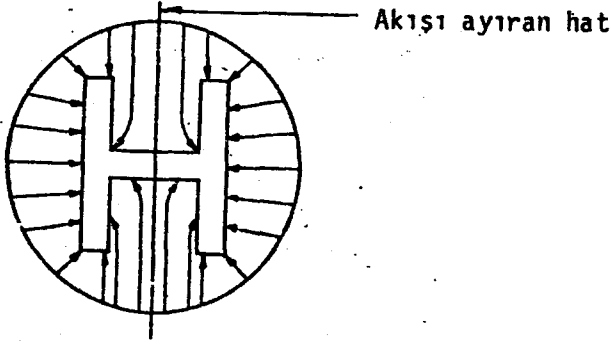


Şekil 3.22. Matris üzerine yerleştirilmiş profil boşlukları /10/

a- yanlış      b- doğru

#### 3.2.1. Profillerin Ekstrüzyonunda Akış

Çok karmaşık profillerin ekstrüzyonunda akış olayları henüz tam olarak açıklığa kavuşmuş değildir. Bu konudaki tüm çalışmalar basit profiller üzerinde olmuştur. Profil ekstrüzyonu esnasında da tüm blok çevresi boyunca ortaya çıkan bir ölü bölge görülmektedir. Akış bölgelerinin büyüklüğü, matris üzerindeki delik ile matris çevresi arasındaki uzaklığa bağlıdır. Bu uzaklık ne kadar büyük ise ölü bölge o kadar büyük olmaktadır (Şekil 3.23). Buna bağlı olarak kaymaya zorlanan bölgenin şekli de koni şeklinde olmayıp düzensiz bir şekil gösterir.



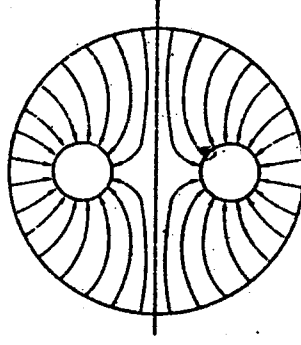
Şekil 3.23. H profilinde bloğun matris deliğine akışı /9/

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

I profillerinde ise hız maksimumuna rastlanmıştır. Bu maksimumların bulunduğu hat, flanşların gövdeyle birleştiği bölgeye rastlamaktadır. Genel bir kural söylemek gerekirse, matris üzerindeki deliğin yanaklarından en uzak olan noktadaki hız en yüksek değerde olmalıdır. Ancak bu kuralın doğru olabilmesi için sürtünmenin profil yüzeyleri boyunca sabit olması ve geçiş yüzeylerinin aynı uzunlukta olması gerekir. /9/

### 3.2.2. Çok Delikli Matrislerde Akış

Ekstrüzyon işleminde, aynı anda iki veya daha çok profil veya çubuk ekstrüzyon edilmek istendiğinde çok delikli matris kullanılmaktadır. Ancak malzeme akışının düzenli olabilmesi için deliklerin matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Eğer matris üzerinde, blok eksenine simetrik olarak düzenlenmiş iki delik varsa bloğun simetri düzlemi bir sınır görevi yapar ve bloğun her iki yarısından malzeme ayrı ayrı deliklerden akar (Şekil 3.24). Blok merkezindeki malzeme düzgün bir şekilde her iki deliğe dağılmaktadır. Matris üzerinde iki yerine üç veya dört delik bulunuyor ise, malzeme akışı burada da her bir deliğe düzenli ve eşit şekilde olur. Blok merkezindeki malzeme kütlesi, deliklerden dışarı ekstrüzyon edilen çubukların yüzey tabakalarında yer alır. Matrisin ortasında kubbe biçiminde ölü bölge meydana gelir.



Şekil 3.24. İki delikli bir matriste bloğun deliklere akışı /9/

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

Çok delikli ekstrüzyonda blok kütlesi farklı çubuklara dağıldığından, çubuk kesitlerinin blok kesitiyle tam uyumu beklenemez. Halbuki merkezde tek deliğin bulunması halinde blok kesiti ile çubuk kesiti tam uyum gösterirler. Blok çevresindeki malzeme kütlesinin akışı incelenecek olursa durum daha iyi anlaşılır. Alıcı cidarı ile blok çevre yüzeyinin sürtünmesinden dolayı oluşan kayma bölgesi, tek delikli ekstrüzyonda elde edilen çubuğun üzerinde eş kalınlıklı tabaka oluşturur. Halbuki çok delikli ekstrüzyonlarda kayma bölgesi malzemesi çubuklar üzerinde düzgün bir tabaka meydana getiremezler, aksine yer yer kalınlığı değişen düzensiz bir örtü meydana getirirler. Buradan şu sonuca varılabilir; kayma bölgesindeki malzeme yalnızca matris çevresiyle doğrudan komşu olan deliklerden ekstrüzyon edilen çubukların üzerinde bir tabaka oluştururlar. İç tarafta kalan deliklerden çıkan çubuklarda kayma bölgesi malzemesi görülmez. Çünkü bu delikler, çevrelerindeki diğer deliklerce korunmaktadır.

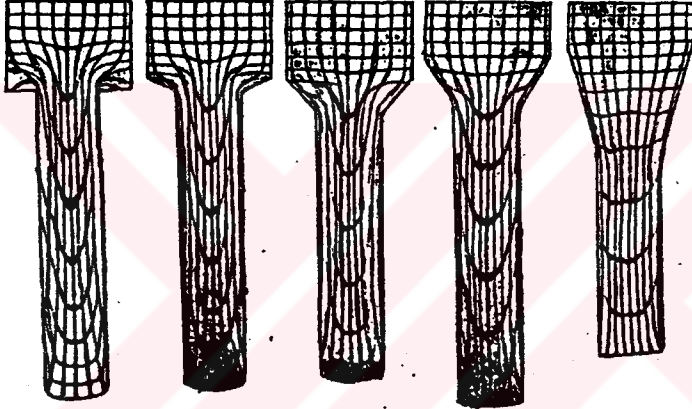
Blok ile alıcı arasındaki sürtünmeden dolayı vasıtasız ekstrüzyonda bloğun merkezindeki malzeme kütlesine göre daha hızlı akar. Dolayısıyla matrisin ortasındaki delikten çıkan çubuğun hızı, çevredeki deliklerden çıkanlara göre daha yüksek olmaktadır. Ancak çubukların çıkış hızını yağlama maddeleri kullanmak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

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

Çok delikli matrislerin kullanılması halinde, delikler matris üzerinde öyle düzenlenmelidir ki ve delik yüzeyleri boyunca sürtünme o şekilde ayarlanmalıdır ki tüm çubuklar aynı hızla çıksınlar. Burada bloğun şekil değiştirmesinin heterojenliğinin ve alıcı cidarlarında sürtünmenin dikkate alınması gerektiği hemen anlaşılmaktadır. Dolayısıyla başarıya ulaşmak için deneyler yaparak optimum durumu belirlemek gerekir. /9/

### 3.2.3. Konik Matrislerde Akış

Malzeme akışı yönünden, dik açılı matrislerin bazı malzemeler için uygun olmadığı anlaşılınca konik matrislerle çalışmalar başlamıştır. Araştırmacılar kalayı değişik giriş açılı matrislerle ekstrüzyon etmişler ve deliğin giriş açısı ne kadar küçük ise malzemenin hareketi o kadar düzenli olmuştur (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Kalayın konik matristen akışı /9/

Dik açılı bir matris B tipi akışı verirken, ölü bölge açılarında malzeme birikimine ve homojen olmayan şekil değiştirmeye neden olmuştur. Şekil 3.25' te sağdaki ekstrüzyon edilmiş çubukta bu durumlar görülmemekte ve matriste tatlı bir geçiş sağlanmaktadır. Yüzeye yakın bölgelerdeki şiddetli kayma bölgeleri kaybolmuştur. Hacim elemanlarının herbiri yaklaşık eş değerde şekil değiştirmişlerdir.

Konik matrisler genellikle kurşun alaşımlarının, çeliklerin, titanyum alaşımlarının ve yüksek sıcaklıkta ekstrüzyon edilen alaşımların ekstrüzyonunda kullanılabilir. Konik matrisle ekstrüzyonda kullanılan matrislerin optimum giriş açıları genellikle ekstrüzyon oranına bağlıdır. Ekstrüzyon oranının küçük olması durumunda matris açısı da küçük olabilir. Ancak pratikte ekstrüzyon oranı ekonomik yönden büyük olmaktadır. Malzeme akışının düzenli olması için matris giriş açısının büyük olması gerekir. Kurşunun değişik ekstrüzyon oranlarında yapılan ekstrüzyonunda matris açısı büyüdükçe malzeme akışı iyileşmiştir. 30° de C tipi malzeme akışı elde edilirken 120° de B tipi malzeme akışı elde

edilmiştir. Kurşun ve kurşun alaşımlarında 90°-120°, çeliklerde 110°-120°, titanyum alaşımlarında 120° de ve yüksek sıcaklıklarda ekstrüzyon edilebilen alaşımlarda 120°-130° lik matris açıları kullanılabilir. Matris giriş açıları bu değerlerin üzerine çıktığı zaman, matris koniklikten uzaklaşmakta ve dik açılı matrislere benzemektedir. Uygun matris açıları seçerek ve uygun bir yağlama yaparak, zor ekstrüzyon edilebilen malzemeler konik matrisle ekstrüzyon edilebilir. /9/

#### 3.2.4. Malzeme Akışının Kontrolü

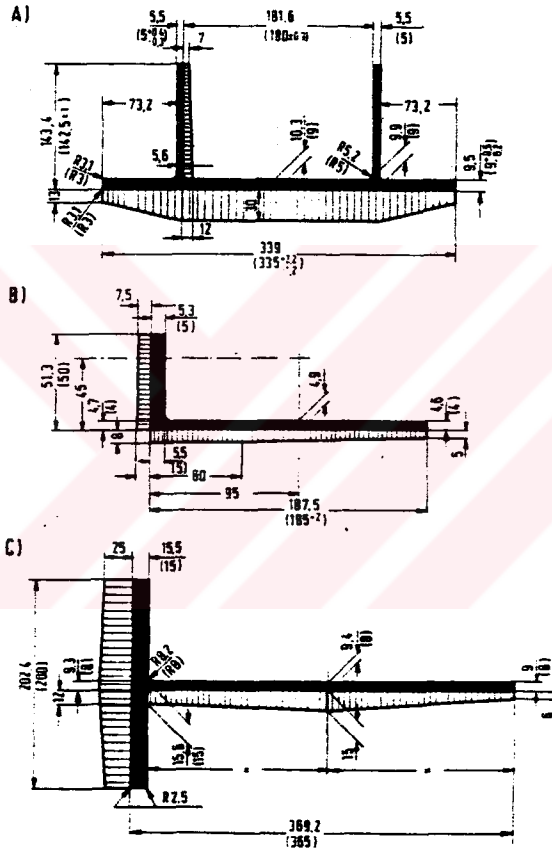
Kesitteki farklı malzeme birikimlerinde eşit malzeme akışı sağlamak için malzeme ile matrisin etki yüzeyi arasında yeterli sürtünmeyi oluşturmak, şekil değiştirme sıcaklığını maksimum 800° C ile sınırlandırmak ve gerekli kanal uzunluğu farklarını oluşturmak gerekir. Kanal yüzeyinin büyüklüğü matristeki sürtünme kuvvetleri ile doğrudan ilgilidir. Küçük kanal yüzeyleri düşük sürtünmeye sebep olurlar. Bu ana 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 başarısız olur. İnce kesitlerde malzeme akmaz ve yırtılmalar meydana gelir. Bunun için malzeme birikimleri olan yerlerde daha büyük kanal uzunlukları kullanılarak malzeme frenlenir. Genelde profil kesitinde bulunan uzun dikmelerin orta kısmı daha hızlı akmaya çalışır bunun sebebi dikme sonundaki sürtünmenin daha fazla olmasıdır. Şekil 3.26' da da görüldüğü gibi bu tip profillerde matris kanal uzunluğu daha uzun tutulmaktadır.

Profilde büyük kesit farklılıkları olan geçiş bölgelerinde sivri kanal uzunluğuyla geçişlerden kaçınılması gerekir. Bu bölgelerde geçişler daha çok çizgisel veya adım adım olmalıdır. Sivri geçişler profil kesitinde bozulmalara yol açar. Bunun dışında matris boşluğunda içten dışa doğru radyal yönde matris kanal uzunluğu düşüşü vardır. Bunun sebebi malzemelerin akış yönünün alıcının dışından orta eksene doğru olmasıdır. Ekstrüzyon firmaları her tür bilgiyi toplayıp çoğu profili deneme yapmadan üretebilmektedir.

Ancak karmaşık bir profil imalatında ilk denemede iyi sonuçlar alınmayabilir. Bunun için takım üzerinde düzeltmeler yapılabilir. Eğer matris kanal uzunluğu yeterince fazla uzun verilmiş ise kanal uzunluğu kısaltılarak düzeltmeler yapılabilir (Şekil 3.27-A). Ancak kanal uzunluğu yeterince uzun değilse şekil vere deliğin girişinde Şekil 3.27-B' de görüldüğü gibi bir frenleme sistemi işlenmesi gerekir. Bunu usta elle yapar. Günümüzde malzeme akışını kontrol etmek için matris kanalının sonunda makina ile kısaltma ve girişte ise akış frenlemesi yapılmaktadır. Farklı kanal uzunluğu ile malzeme akışının kontrolü ekstrüzyon için şarttır.

Simetrik olmayan içi boş profillerin ekstrüzyonunda şekil değiştirme sınırında dengesiz malzeme akışından dolayı takımda enine kuvvetler oluşur.

Köprülü, spider ve odalı matriste malafa sabit olduğundan bu kuvvetler sönümlenir. Ancak bu kuvvetler hareketli malafalarda alıcının orta eksenine etkir. Kesit kalınlıkları çok aşırı değişmiyorsa malafa üzerinde öyle kaymalar oluşabilir ki bu durumlarda dengeleme deliği kullanmak gerekebilir. Dengeleme deliği ile enine kuvvetler sönümlenir. Bu durumda malafa kendi ekseninde kalır ve profil istenen şekilde çıkar. Şekil 3.28' de dengeleme deliğinin görevi gösterilmektedir. Görevi küçük içi boş kesitteki dengelemeyi sağlamaktır. Ekstrüzyoncular hangi profile dengeleme deliği kullanacaklarını iyi bilmelidirler. Dengeleme delikleri matris imalatı esnasında matrislerin üzerine işlenir. /10/



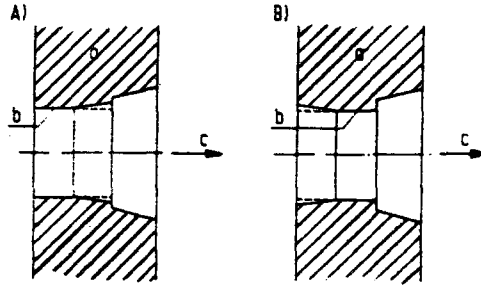
Şekil 3.26. Profillerde malzeme birikimlerinin olduğu yerlerde matris kanal uzunluğunun artırılması ile malzeme akışının frenlenmesi /10/

A- AlZn4.5Mg1 -U- profili

B- AlZn4.5Mg1 -L- profili

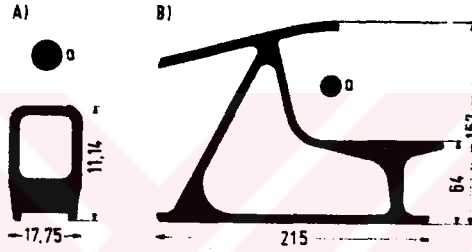
C- AlMg5 -T- profili

Taralı alanlar matris kanal uzunluğudur. Parantez içindeki değerler olması gereken değerlerdir.



Şekil 3.27. Malzeme akışının dengelenmesi için şekil veren matris boşluğunda kanal yüzeyinin düzeltilmesi /10/

A- Frenlemenin azaltılması      B- Frenlemenin artırılması  
a- Matris      b- Şekil veren kanal      c- Pres yönü



Şekil 3.28. Simetrik olmayan içi boş profillerin dengeleme deliği kullanılarak ekstrüzyonu /10/

A- CuZn39Pb3 içi boş profil  
B- AlZn4.5Mg1 içi boş profil  
a- Dengeleme deliği

### 3.3. Alüminyum Ekstrüzyonuna Kesit Şeklinin Ve Takım Dizaynının Etkisi

#### 3.3.1. Şekillendirme Sınırındaki Olaylar

Alüminyum ve alaşımlarının ekstrüzyonu ile elde edilen yarı mamulün hemen hemen mamul kalitesinde olması yöntemin önemini arttırmaktadır. Belirli sıcaklık aralığında, karmaşık şekilli profiller için dizayn edilen takımlarla üretim yapılır. Bu karmaşık profil şartlarında ölçü tamlığı ve profil yüzey kalitesine dikkat etmek ve bu arada işlemin ekonomikliğini de göz önünde tutmak gerekir. Bunun için takım üretiminde uygulanan işlem sayısını minimuma indirmek gerekir.

Yüksek kaliteli bir takım elde etmek için basit işlemler kullanılmalıdır ve bu yöntemler kaliteyi arttırmalıdır. Takım imalatçıları gelişmelerini teorik bilgilere dayanan ampirik bilgilerle sağlamaktadır. Takımların dizaynında ve konstrüksiyonunda bu bilgiler temel alınır. Özellikle bilgi birikiminin

eksikliğini ekstrüzyon takımlarının konstrüksiyonu ve imalatında CAD-CAM uygulamalarında hissederiz. Bu bilgi eksiklerini deneysel çalışmalar ve sonuçları ile giderebiliriz. /1/

### 3.3.1.1 Kesit Şeklinin Olumsuz Etkisi

Pratik bilgilerden bilindiği gibi karmaşıklaşan kesit şekli ve cidar kalınlığı, basit çubuk profile göre gereken ekstrüzyon gücünü artırır. Pratikte oluşabilecek hızı azaltır ve genel olarak imalatı zorlaştırır. Kesit şeklinin ve detaylarının matris boşluğuna olan etkisi bugüne kadar ancak ampirik formüller ve düzeltme faktörleri ile belirlenmiştir. Profil sıcaklığı ve ekstrüzyon hızını bulmak için elde bulunan teorik çalışmalar tamamen pratiğe uymamaktadır. Aynı kesit alanına sahip basit çubuk profil ile karmaşık şekilli ince cidarlı bir profilin ekstrüzyonu karşılaştırıldığında şu farklılıklar ortaya çıkar:

1. Karmaşık şekilli profilin matris yüzeyinde etkilediği alana aynı etkiyi oluşturacak birden fazla çubuk profili yerleştirilebilir. Böylece ekstrüzyon oranı karmaşık profilde artacaktır.
2. Karmaşık profilde kesit farklılıkları olduğu için malzeme akışı şekillendirme sınırında çubuğun akışına göre farklılıklar gösterir.
3. Karmaşık profilin çevresi çubuk profilin çevresinden büyük olduğu için matris kanal yüzeyi daha büyük olur. Bu da matris kanalındaki sürtünmeyi artırır.

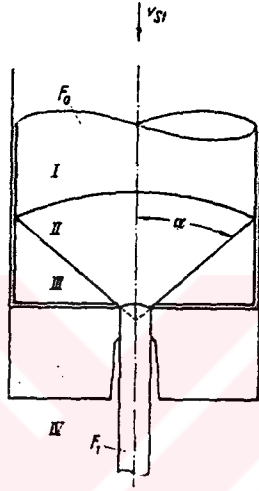
Bu farklılıklar nedeniyle karmaşık profilde gerekli ekstrüzyon kuvveti artar ve bundan dolayı ekstrüzyon hızı azalır. İmalat süresi artar. Buna bağlı olarak şekillendirme esnasında ısı artışı olur. Gerekli ekstrüzyon kuvvetinin artması ve uzun akış süresi yüzünden daha yüksek kapasiteli prese ihtiyaç duyulur.

Karmaşık şekilli bir profilde alıcı merkezinden uzaklaştıkça ve kesit kalınlığı değiştikçe malzeme akış hızı değişecektir. Kaynama bu farklılıkları belirli ölçüde karşılamaya çalışmaktadır. Şayet farklılıklar kaynama ile karşılanamıyorsa malzeme yamuk akar. Hızlı akan bölgeler dalgalı olur. Yavaş akan malzeme çekilmeye zorlanır. Bu durumda hatalı profil oluşmaması için matris rötuşlanmalıdır.

Çok ince cidarlı kesitlerde kaynama azalır. Bundan dolayı profil şeklini koruyamayıp yamulur. Profil yeterli ekstrüzyon kuvvetine rağmen istenilen kalitede imal edilemez. Çünkü kalite ekstrüzyon kuvveti sınırından başka matriste yapılabilecek rötuşlara da bağlıdır. Buraya kadar anlatılanlar şekil değiştirme sınırındaki olaylardır. /1/

### 3.3.1.2. Silindirik Çubuk Profillerde Güç İhtiyacı

Kesit şeklinin takım dizaynına olan teorik etkisini ortaya çıkarmak için silindirik çubuğun ekstrüzyonundaki akış aşamaları, şekillendirme, şekillendirmedeki sürtünme, gerilmeler ve oluşan kayıplarla ekstrüzyon kuvveti hesaplanır. Hata sebeplerini azaltmak ve emniyetli bir hesap yapmak için bu yöntem seçilmiştir. Çubuk hızı blok hızına bağlıdır. Tablo 3.2 ve Şekil 3.29' a göre güç bölümleri ifade edilmiştir.



Şekil 3.29. Bloğun ve çubuğun bölümlendirilmesi /1/

#### 1. Salt şekillendirme gücü:

$$L_{U,II} = F_0 \times v_{st} \times k_f \times \varphi \quad (3.1)$$

#### 2. Şekillendirme sınırının giriş ve çıkışında yönlendirmeler:

I-II sınır yüzeyinde:

$$L_{S,I-II} = F_0 \times v_{st} \times \tau \times f_1(\alpha) \quad (3.2.a)$$

$f_1(\alpha)$ , I-II sınır yüzeyindeki geometrik bilgi ve burada oluşan yönlendirme ile akış hızına bağlı bir kavramdır. Buna bağlı olarak  $f_1(\alpha)$  tarif edilmiştir. Silindirik çubuğun ekstrüzyonu için AVITZUR

ekstrüzyon oranına bağlı giriş açısı  $\alpha$ ' yı ve  $f_1(\alpha)$  fonksiyonunun değerlerini belirtiyor.  $\alpha$  güç kayıplarını minimuma indirger. Buna göre sınır yüzeyleri II ve IV için:

$$L_{S,II-IV} = F_1 \times v_a \times \tau \times f_2(\alpha) \quad \text{veya}$$

$$F_1 \times v_a = F_0 \times v_{st}$$

$$L_{S,II-IV} = F_0 \times v_{st} \times \tau \times f_2(\alpha) \quad (3.2.b)$$

Sadece akış doğrultusunun yönlendirilmesinden kaynaklanan güç kayıpları toplama eşitlikleridir ve bu eşitliklerde ekstrüzyon oranı yoktur.

3.  $r$  yarıçaplı ve  $dr$  radyal genişliğindeki bir yüzük için şekillendirme sınırı ile ölü bölge arasındaki kayma:

$$dF \approx r \times dr$$

$$v(r) \approx v_{st} \times F_0 / (\pi \times r^2)$$

$$dL_{S,II-III} = dF \times v(r) \times \tau = F_0 \times v_{st} \times \tau \times \frac{2dr}{r} \times f_3(\alpha) \quad \text{ile}$$

$$2 \ln(r_0 / r) = \ln(F_0 / F) = \varphi \quad \text{buradan da}$$

$$L_{S,II-III} = F_0 \times v_{st} \times \tau \times \varphi \times f_3(\alpha) \quad (3.3)$$

Böylece şekillendirme sınırı ile ölü bölge arasındaki kayma kayıpları ekstrüzyon oranının logaritması ile orantılı olmaktadır.

4. Matris kanalındaki sürtünme:

Matris kanal yüzeyindeki normal gerilme ve COULOMB sürtünme kanununun uygulamaya sokulması ile sürtünme gerilmesi kayma faktörü  $m$  ile belirtilir.

$$\tau_R = m \times k f / 2 \quad (m \leq 1)$$

Sürtünme gücü

$$L_{RK} = U_1 \times l_K \times \tau_R \times v_a$$

veya  $v_{st}$  ile ifade edilirse:

$$L_{RK} = U_1 \times l_K \times \tau_R \times v_{st} \times (F_0 / F_1) \quad (3.4)$$

Matris kanalındaki sürtünme kuvveti ekstrüzyon oranının katı olarak daha fazla ıstampa kuvvetine etkir.

##### 5. Matris civarındaki güç ihtiyacı:

Güç ihtiyacı alıcı içindeki bloğun kaynama sürtünmesini yenmesi içindir. Direkt ekstrüzyonda kesit şeklinden etkilenmez. Bu yüzden sadece matrise etkiyen ekstrüzyon kuvveti dikkate alınır. Bu ise şekillendirme gücü, yönlendirme için şekillendirme sınırındaki güç kayıpları, kaymalar ve matris kanalındaki sürtünmelerdir.

Tablo 3.2. 1'den 5' e kadar olan eşitlikler için formül parametreleri /1/

$F_0$	Blok kesiti
$F_1$	Çubuk kesiti
$\varphi$	$\ln F_0 / F_1$
$U_1$	Çubuk çevresi
$l_K$	Matris kanal uzunluğu
$r$	Radyus
$\alpha$	Matris yarı açısı
$f_i(\alpha)$	Geometrik faktörler (Şekillendirme sınırı ile ilgili)
$k_f$	Akma gerilmesi
$\tau$	Kayma gerilmesi
$\tau_R$	Sürtünme gerilmesi
$m$	$\tau_R / \tau$ Kayma faktörü
$v_{st}$	Istampa hızı
$v_a$	Çıkış hızı
$L$	Güç
$P$	Kuvvet
$p$	Eksenel basınç
İndisler	
$K$	Matris kanalında

M	Matrisi etkileyen
U	Şekillendirme
S	Malzemedeki şekillendirme itmesi
R	Takım yüzeyindeki sürtünme
I' den IV' e	Şekil 3.29' daki bölgeler

$$L_M = P_M \times v_{st} = L_{U,II} + L_{S,I-II} + L_{S,II-IV} + L_{S,II-III} + L_{RK}$$

$$L_M = F_0 \times v_{st} \times k_f \left\{ \frac{1}{2} [f_1(\alpha) + f_2(\alpha)] + \left[ 1 + \frac{1}{2} f_3(\alpha) \right] \times \varphi + \frac{m \times l_K \times U_1}{2F_1} \right\} \quad (3.5)$$

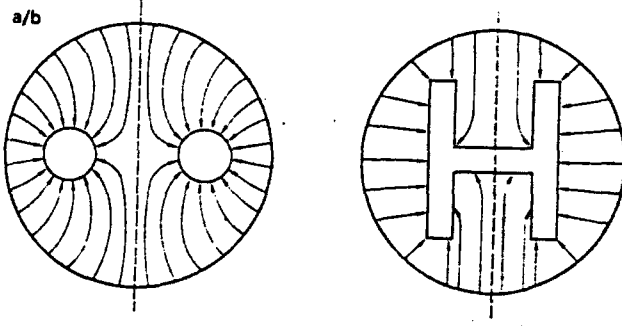
Bütün güç kayıpları bir şekilde ekstrüzyon oranı ile bağlantılı olduğundan ekstrüzyon oranına bağlı olmayan bu şekil değiştirme gradyanından bahsedilemez. /1/

### 3.3.1.3. Profillerde Kuvvet İhtiyacının Artışı

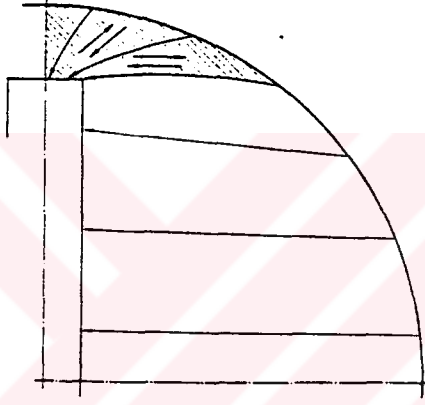
Matris ile ilgili güç ihtiyacının hesaplandığı eşitsizlikler değişebilir. Örneğin silindirik çubuktan herhangi bir farklı kesite geçerse oluşur. Geniş bir dikdörtgen profil için şekil değiştirme direnci aksel simetrik şekil değiştirmeye göre değeri değişirse esas şekil değiştirme işi sadece bir miktar artar. Güç kaybının büyük kısmının şekil değiştirme sınırındaki akışın değişimi oluşturmaktadır. Bunlar sadece profilin şekline yani matris boşluğuna bağlıdır. Bununla beraber profil çevresinin artması ile matris kanalında sürtünme kayıpları oluşur. Bu sürtünme kayıpları matris kanal geometrisi ile yakından bağlantılıdır. Bu yüzden çok zaman önce LAUE ile HORNAUER şekil faktörü ile sürtünme faktörünü ayrı tutmak istemişlerdir.

**Şekillendirme sınırında şeklin etkisi:**

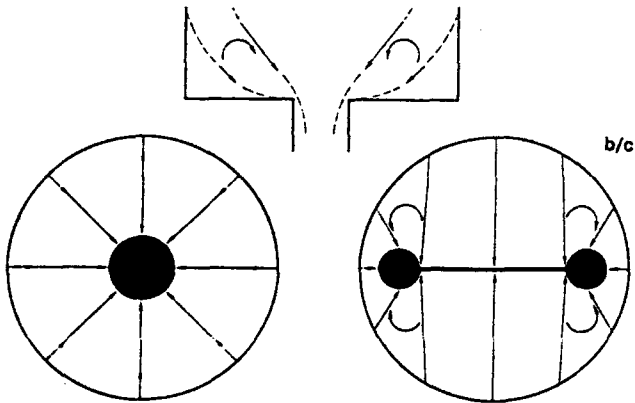
Şekillendirme sınırında akış çizgilerinin artan yönlendirilmesinden ve farklı hızla akan çizgiler arasındaki kaymalardan dolayı da güç kayıpları oluşur. Akış çizgilerinin yönlendirilmesi sadece simetrik olmayan ekstrüzyonun çıkış ve giriş yüzeylerinde değil aynı zamanda şekil değiştirme sınırının içinde de oluşmaktadır. Özellikle birden fazla delikli matrislerin atlamalı, açılı kesitlerinde görülmektedir. Bu durumlarda metal akışı akış çizgileri oluşumundan dolayı ayrılmaktadır (Şekil 3.30). Bu akış çizgileri matrisin alın yüzeyindeki çizgilerden ekstrüzyon artığındaki lif doğrultularından belirlenebilir. Başka güç kayıpları ise farklı hızla akan iki malzeme bölgesi arasında oluşmaktadır. Şekil 3.31' deki durumda alıcı çapına paralel bir hız bölümü oluşmaktadır ve radyal doğrultudaki bir hız gradyanına karşılık olarak gelmektedir. Çubuğun simetrik ekstrüzyonu ile tek veya çok delikli profilin ekstrüzyonundaki akış işlemleri arasındaki esas fark akma bilgisi dilinde rotasyon ile ifade edilir. Çubuk profil ekstrüzyonunda akma sadece uzunlamasına kesitte rotasyonu göstermektedir (Şekil 3.32.a). Şekillendirme sınırındaki kesitte alıcı ekseninin enine doğru bir potansiyel akım vardır (Şekil 3.32.b).



Şekil 3.30. a. Çok delikli matrislerde akış çizgileri /1/  
b. Atlamalı bölgedeki akışlar



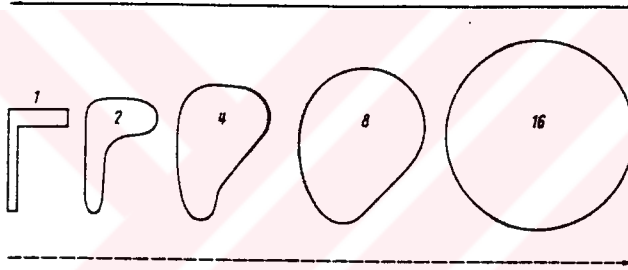
Şekil 3.31. Yassı matrisin dar yüzeyinde farklı hızla akan iki malzeme bölgesi kayma kayıpları /1/



Şekil 3.32. Şekillendirme sınırındaki akma alanları /1/  
a. Rotasyonlu boyuna kesit  
b. Rotasyonlu simetrik potansiyel akımlı kesit  
c. Rotasyonlu kesit

Ancak çok delikli matrislerde ve çubuk şekli dışındaki profillerde, kesitte tasarlanan hız alanlarında az veya çok rotasyon oluşmaktadır (Şekil 3.32.c). Rotasyonun anlamından hem akış çizgilerinin yönlendirilmesi, hem de farklı hızda akan akış çizgileri arasındaki kayma anlaşılmaktadır. Şekillendirme sınırında hız alanını belirtebildiğimiz takdirde güç kayıplarını hesaplamamız mümkündür. Gerekli formüller zaten bilinmektedir. Viscoplastik teoremine göre işaretlenen çizgilerin hareketinden hız alanları bundan da çarpılma ve gerilme bilgileri verilebilmektedir. Rotasyon simetrik ve şeffaf olmayan bir malzemenin araştırılması şekillendirme sınırından çok sayıda kesit alınmasını ve ölçüm yapılmasını gerektirmektedir. Araştırmalar için ışığı geçiren model malzemeleri kullanmak deneyler için büyük kolaylıklar sağlayabilir.

Başka bir teze göre bir kesitin ekstrüzyonunda şekillendirme sınırındaki geçişler yığmadaki gibi aynı ancak ters yönde olmaktadır. Sadece yığmada L levhadan yuvarlak bir plakaya geçiş olmaktadır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Ekstrüzyonda kesit şeklinin değişimi /1/

Çizerek uygulanan başka bir teknik ise özellikle çekme tekniğinde kullanılmaktadır. Kesit şeklinin değişimi adım adım çizilerek ekstrüzyondaki kesit değişimi tarif edilebilmektedir. /1/

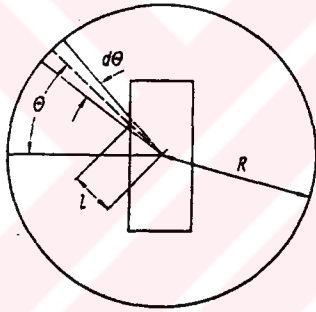
#### 3.3.1.4. Şeklin Etkisiyle İlgili Deneysel Bilgiler

Deneysel araştırmalarda şekillendirme sınırındaki akış geometrisinin etkisi ile matris kanalındaki sürtünmeyi ayrı tutmak çok zordur. Bunu en iyi aynı yüzeye sahip çubuk, dikdörtgen ve düz profillerin artan genişlikli, azalan kalınlıklı ekstrüzyonunda görebiliriz. Yapılan sıralamaya göre ekstrüzyon kuvveti artmaktadır ancak bunun ne kadarı şekillendirme sınırındaki akış geometrisi ile ilgili ne kadarı ise artan çevre ile matris kanalındaki sürtünme ile ilgili olduğu tartışılabilir. İlk zamanlarda yapılan deneyler silindirik yapıdan uzaklaşan profillerdeki kuvvet artışı formüle ederek gerekli ekstrüzyon kuvvetini ifade etmektedir. Bazı ampirik formüller geliştirildikten sonra akla hemen şu soru gelmektedir. İlgili büyüklükler nelerdir? Bu büyüklükler profilin zorluk derecesini belirlemeli ve ek ekstrüzyon kuvvetini tarif etmeliydi. Bazı büyüklükler aşağıda belirtilmiştir:

1. Profil çevresinin profil kesit yüzeyine oranı aşağıdaki formüllere göre; bu faktör birimi  $m^{-1}$  olduğu için model deneylerde zorluklar yaratmaktadır. Bu faktöre yakın şekil faktörü ise profil çevresinin birim uzunluğunun ağırlığına olan orandır.
2. Profil çevresinin kesit çemberinin çevresine oranı
3. Matris kanalındaki sürtünen yüzeyin profil kesitine olan oranı bu matris kanalındaki sürtünme ile doğrudan ilgilidir.
4. Efektif ekstrüzyon oranı  $ER_e$  (Şekil 3.34) formül çizimine karşılık ekstrüzyon oranı  $d\theta$  cinsinden şöyle verilmektedir.

$ER(\theta) = R^2 / l^2$  efektif ekstrüzyon  $\theta$ ' nın integrasyonu ile bulunur.

$$ER_e = \frac{R^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{l^2} d\theta$$



Şekil 3.34. FARAG ve AHMED' e göre efektif ekstrüzyon şartları /1/

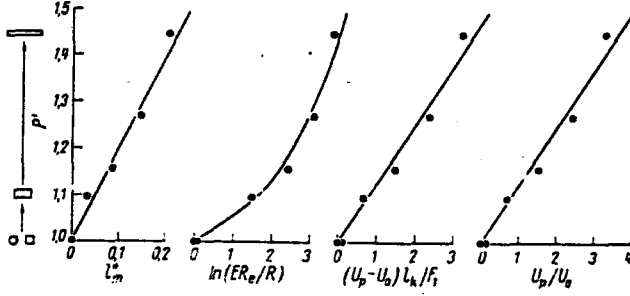
Kesit şekli çemberden uzaklaştıkça  $ER_e$  konvansiyonel ekstrüzyon oranından daha büyüktür.

5. Şekillendirme konisinin orta değer uzunluğu yada ondan çıkartılmış bir büyüklük olan  $l_m^*$  'ye (Şekil 3.35) göre şöyle formüle edilmiştir:

$$l_m^* = \frac{l_0 - 1}{l_0} \quad \text{KOPP' a göre } l_m^* \text{ parametresi}$$

Orta değer  $l$  profilin alıcı deliğine olan mesafesidir ve profil çevresinin integrasyonu ile elde edilmektedir. Şekil 3.35' te ekstrüzyon kuvvetinin artışı ile bazı parametrelerin değişimi verilmektedir. Ancak hemen akla şu soru gelir. Kesit şekliyle de oynarsak acaba bu sonuçlar aynı kalacak mıdır? Şeklin etkisi ile kesin sonuçlar istendiği zaman şekil ile sürtünmeyi ayrı şekillerde incelemek gerekir. Bunun içinde hangi etkilerle birbirlerinden ayırdıklarına dair bir hesap yöntemine gereksinim duyulur.

Kısa süre önce LANG' ın yaptığı araştırmaya göre delik sayısı ve düzeni verildiği takdirde şeklin etkisi ile matris kanalındaki sürtünme ayrı tutulabilmektedir.



Şekil 3.35. Yassı matrislerde ekstrüzyon kuvveti  $P/P_0$  ' ın parametreler ile bağlantısı /1/

Deneyde eşit ekstrüzyon oranlarında 3 ve 6 delikli matrislerde silindirik çubuklar ekstrüzyon edilmektedir. Birinci deneyde matris kanal uzunluğu sabit tutulmuş ikincisinde ise matris kanal yüzeyi ve 3.4' teki eşitliğe göre sürtünme için güç ihtiyacı sabit kalmakta ve sadece şekil etkili olmaktadır. Ekstrüzyon kuvveti tek delikliden çok delikliye geçerken akış sınırının oluşması nedeni ile hız ve yöneme bağlı olarak 1.10 ile 1.19 arasındaki bir değer kadar artar. Başka bir deney ise VATER ve HEIL tarafından yapılmıştır. Bu deneyde karmaşık şekilli profiller sabit kesitte ve artan çevrede ekstrüzyon edilmiş ve kuvvetleri ölçülmüştür.

Sonuç olarak silindirik çubuktan karmaşık şekilli profillerin ekstrüzyonuna geçerken ekstrüzyon hızı azalır, ekstrüzyon kuvveti artar ve fabrikasyon zorlaşır. Güç kayıplarının nasıl meydana geldiği gösterilmiştir. Rotasyon simetrik ideal durumun dışına çıkıldığında akış çizgilerinin yönlendirildiği ve farklı hızla akan akış çizgileri arasındaki kaymanın arttığı gözlenir. Şekillendirme sınırında meydana gelen güç kayıpları şeklin etkisini belirtir. Aynı zamanda matris kanalındaki sürtünme kayıplarında da artış görülür. Şeklin etkisiyle matris kanalındaki sürtünmeyi ayrı tutmak çoğu zaman zor olmaktadır. /1/

### 3.3.2. Matris Kanalındaki Sürtünme

Aluminyum ekstrüzyonunda malzeme matrise gelmeden 1 ila 30 mm arasında değişen bir mesafe kat eder. Bu durumda aluminyum ile matris çeliği arasında kuru sürtünme oluşur. Matris kanalındaki sürtünme ve aşınma safhaları pratikte büyük önem taşır. Profilden istenen ölçü tamlığı matrise yapılacak son rötuşlarla mümkün olur. Matris kanalındaki çok ufak bir değişim akışı tamamıyla etkilemektedir.

Profilin yüzey kalitesini matris kanal yüzeyinde oluşan adhezyon safhaları etkiler. Bu adhezyon oluşumu matristeki aşınma ile bağlantılıdır. Matris kanalındaki sürtünme işi fazladan çubuğun ısınmasına neden olur ve aynı zamanda da ekstrüzyon hızını düşürür. Matris kanalındaki sürtünme gerekli ekstrüzyon kuvvetini çok az etkilemektedir. Ancak ince cidarlı profillerde ve içi boş profil matrislerinin kullanımı ile gerekli ekstrüzyon kuvveti artar. /2/

### 3.3.2.1. Sürtünme Gerilmesi Ve Sürtünme Kuvveti

Sınır yüzeylerdeki hız, bağlı hareketin kayma yolu, çelik ve alüminyumun sertliği ve matris kanal yüzeyinin pürüzlülük derecesi bilinmektedir. Ara tabaka olarak matris çeliğinin yüzey tabakası ve yağlamalar düşünülür. Matris kanal yüzeyindeki sıcaklık zor ölçülebilir ve matrisin belirli uzaklıktaki sıcaklık ölçümünden daha yüksek olabilir. Şekillendirme esnasında matrisin eğilmesi veya çubuğun plastik uzaması sonucu kanal yüzeyi ile çubuk arasındaki temas kaybolabilir. Bu durumda normal gerilme ile sürtünme gerilmesi sıfır düşer. Tam tersi durumda daralan bir kanalda çubuğun kalınlığı azalır ve akma gerilmesi  $k_f$  kadar bir baskı gerilmesine ihtiyaç duyulur. Alüminyum ile kanal yüzeyi arasındaki adhezyon büyüklüğüne bağlı olarak sürtünme gerilmesi bir üst sınıra kadar yükselirse bu değer malzemenin kayma gerilmesi tarafından ifade edilir.

$$\tau = k_f / 2$$

Matris kanalındaki ifadeyi direkt ölçmek içinde denemeler yapılmıştır. Sürtünme kuvveti matris kanal uzunluğu ile doğru orantılıdır. Bu tür deneylerde profil çevresi ve matris kanal uzunluğu değiştirilir. Ekstrüzyon kuvvetindeki farklılıklardan kanaldaki sürtünme gerilmesine ve sürtünme kuvvetine bağıntı kurulur. Matris kanalındaki yüksek sürtünme gerilmesinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkisi Şekil 3.36 a ve b' deki örnekte hesaplanmaktadır.




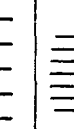
Bir grup aynı kesite sahip profil dikkate alınır (Dikdörtgen  $100 \times 10 \text{ mm}^2$ , den artan çevre ve 1 mm' ye kadar azalan kalınlık). Her profil için 1,2,3 ve 10 mm'lik kanal uzunlukları kullanılmıştır. Eşit kesitteki silindirik çubuğun çapı 35.7 mm ve çevresi  $U_0$  112 mm'dir. Bütün profiller 150 mm çapındaki bir alıcıdan 17.7 ekstrüzyon oranında ekstrüzyon edilirler. Sınır şartlarda silindirik çubuğun matris kanal uzunluğu sıfırdır. Ekstrüzyon basıncı:

$$p_0 / k_f = 2 \ln 17.7 = 5.78$$

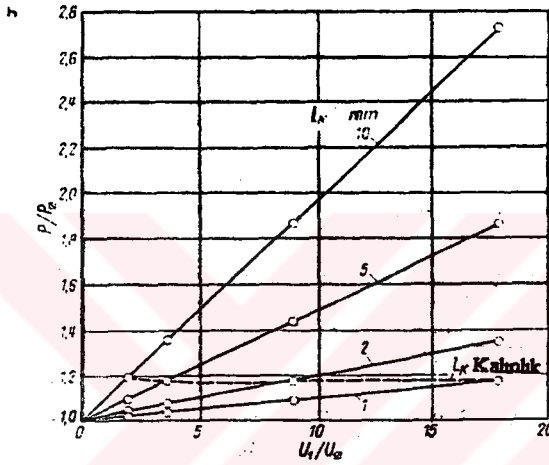
alınır ve şekillendirme sınırındaki güç kayıpları dikkate alınır. Matris kanalındaki sürtünme için ayrıca bir güç kaybı vardır. Bu kayıp 3.4 numaralı eşitlikten  $p_{RK}$  olarak hesaplanır.

$$P_{RK} = \frac{1}{F_1} \times U_1 \times l_K \times \frac{k_f}{2} \quad (3.6)$$

a

				
<b>Kalınlık</b>	10	5	2	1
<b>Çevre</b>	210	410	1004	2004
$U_1/U_0$	1,56	3,65	6,96	17,86

35,7 mm kalınlıkta



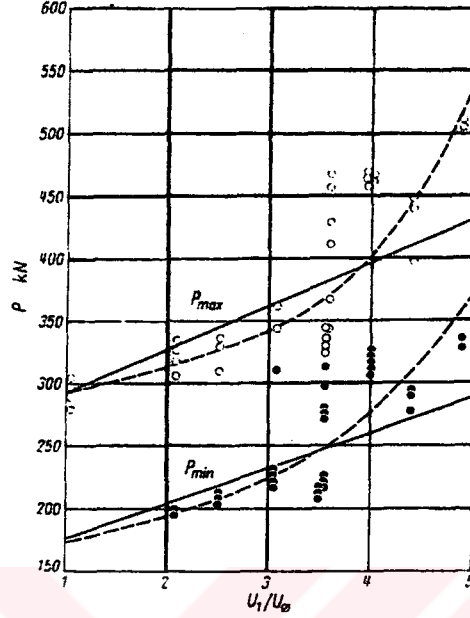
Şekil 3.36. Matris kanalındaki sürtünmenin ekstrüzyon kuvvetine etkisi /2/

a. Kesit şekilleri

b. Profilin ekstrüzyon kuvveti bağıntısı

Şekil 3.36.b' de ekstrüzyon basıncının matris kanalındaki sürtünme ile artışı  $U_1/U_0$  oranına bağlı olarak gösterilmiştir. İkinci parametre ise matris kanal uzunluğudur. İnce et kalınlığı ve büyük kanal uzunluğu sürtünme kayıplarına sebep olur ve bu kayıplar üst boyutlu düşünülürse ekstrüzyon kuvvetini iki katından fazlasına yükseltebilir. Buna karşın kanal uzunluğu pratikte olduğu gibi yaklaşık et kalınlığı kadar olursa her et kalınlığında ekstrüzyon kuvveti matris kanalındaki sürtünme için %15-20 artış gösterir. Silindirik çubukta en az etkiyi ise matris kanal uzunluğu gösterir. Onun için silindirik çubuğun ekstrüzyonunda kuvvet ölçümü pek uygun değildir. Matris kanalındaki sürtünmeyi belirtmek açısından bizi hatalara sürükleyebilir. Yapılan başka deneyler matris kanalındaki sürtünme gerilmesini  $k_f/2$  büyüklüğüne yakın bir değerde gösterir. Başka deneyler özellikle şeklin etkisi başlığı altında yapılmış olsa dahi bunlardan matris kanalındaki sürtünmeye geçmek mümkün olmaktadır. Şekil 3.37' de VATER ve HEIL tarafından yapılan araştırmada ekstrüzyon basıncının değişimi incelenmiştir. Bu değişim için yüksek bir sürtünme gerilmesi kabul edilerek hesap yapılmıştır. İncelenen profiller Şekil 3.35' teki

kesitli profillere benzemektedir. Matris kanal uzunluğu 10 mm' dir. Et kalınlıkları 1.6 ile 4 mm arasında değişim göstermektedir.



Şekil 3.37. Profil çevresinin ekstrüzyon kuvvetine etkisi /2/

- Kurşunla yapılan deney sonuçları
- Matris kanalındaki sürtünme için  $\tau_R = k_f / 2$  ile hesaplanmıştır

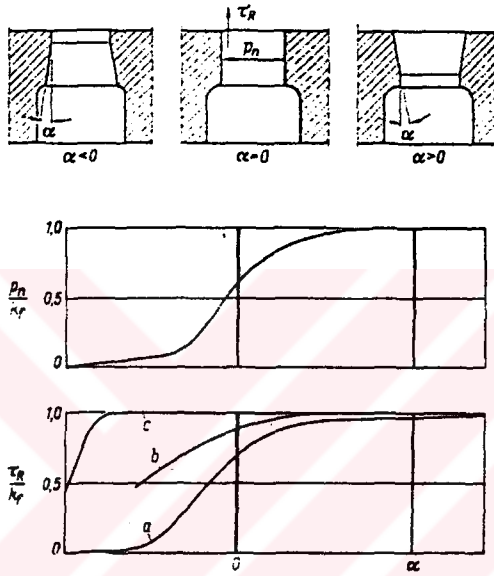
Kullanılan kurşunun akma gerilmesi değeri  $17 \text{ N/mm}^2$  dir. Ölçülen değerler  $U_1 \div U_0 = 3.5$  değerine kadar hesaplanan doğrular civarında olmaktadır. Daha ince et kalınlıklarında ekstrüzyon kuvvetinde çok artış görülmektedir. Eğer matris kanalındaki sürtünmenin ekstrüzyon kuvvetine büyük etkisi olduğu düşünülürse o zaman sabit profil çevresinde artan matris kanal uzunluğunda ekstrüzyon kuvvetinin artacağını kabul etmek gerekir. Bu  $2 \times 20 \text{ mm}^2$  lik yassı profil üzerinde yapılan deneyle ispatlanmıştır. Kanal uzunluğunun 0' dan 1, 3 ve 5 mm' ye yükseltilmesi ile ekstrüzyon basıncı neredeyse lineer olarak 240' dan  $350 \text{ N/mm}^2$  ' ye yükseltilmiştir. Burada ekstrüzyon kuvvetinin artışı ile matris kanalındaki sürtünme, sürtünme kuvveti ve ekstrüzyon oranı arasındaki bağlantıyı hatırlayabiliriz. /2/

### 3.3.2.2. Çıkış Hızının Etkilenmesi

Matris dizaynında ve düzeltilmesinde sürtünme, matris kanalında malzeme akışının kontrolü açısından iki yönlü kullanılmaktadır. Malzeme akışının yavaşlatılması veya hızlandırılmasına bağlı olarak kanal uzunluğu et kalınlığına ve alıcı eksenine olan mesafeye bağlı olarak kısa veya uzun yapılır. Bu belirtilenler tersi düşünülecek olursa rahatça açıklanabilir. Matrisin düzeltilmesinde, matris kanalının

çıkış kenarına doğru genişletilmesiyle matristeki malzeme akışı kolaylaştırılmış olur. Bu matris kanal uzunluğunun kısaltılması anlamına gelir. Matris kanalının giriş kenarına doğru genişletilmesi malzeme akışının frenlenmesine neden olur. Matris alın yüzeyinde kanal uzunluğunun genişletilmesiyle oluşturulan frenleme etkisi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Matris kanalında malzemenin akış yönüne doğru daralan bir bölgede kanal yüzeyine  $p_n = k_f$  ' lik bir normal gerilme etki eder ve sürtünme gerilmesi değeri de en üst sınırdadır. Matris kanalının paralel ve hafif genişleyen bölümlerinde normal gerilme ve sürtünme gerilmesi düşüktür (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. Normal gerilme  $p_n$  ve sürtünme gerilmesi  $\tau_R$  'in eğim açısı  $\alpha$  'ya bağlı değişimi /2/

Genişleyen bir matris kanalında normal gerilme sıfır civarındadır ve normal gerilme eğim açısından sınır değeri yakınına doğru dar bir bölgede artmaktadır. Alüminyum ve çeliğin alınan hızlarına göre sınır tabakası arasında a, b, c gibi sürtünme gerilmesine bağlı eğriler oluşur. Bu değerleri çeşitli matris kanallarında inceleyecek olursak (Şekil 3.39) elde edilen sonuçların pratik tecrübelerle uyduğu görülür. Mükemmel bir matris kanalı (Şekil 3.39.a) normal ve sürtünme gerilmesi hakkında bilgi vermez. Matrisin eğelenmesi ve matris kanalındaki sürtünme matris kanalındaki paralelliği bozar. Elle eğelenen konik kanallarda (Şekil 3.39.b) kanal uzunluğunun sadece yarısında yüksek normal ve sürtünme gerilmeleri oluşur. Elle eğelenen bir matriste ekstrüzyon basıncı altında eğilme oluşur (Şekil 3.39.c) ve sürtünme uzunluğu azalır. Şekil 3.39.d' deki kanalda sürtünme gerilmesi tüm kanal boyunca yüksek bir değerdedir. Şekil 3.39.e' deki kanalda profil sadece paralel olan kısa bir yüzeyde kanal ile temastadır ve sürtünme çok düşüktür. Şekil 3.40' ta şematik olarak farklı akış direncine sahip 1 ve 2 numaralı bölgeler gösterilmiştir. Bu tür farklar kanalda değişik kanal uzunluğundan, eğim açısından veya yüzey

pürüzlülüğünden kaynaklanır. Alın yüzeyinde eşit bir  $p_M$  basıncı vardır. 1 ve 2 numaralı bölgedeki sürtünmenin aşılması için gerekli basınç 3.6 numaralı eşitlikte belirtilmiştir.

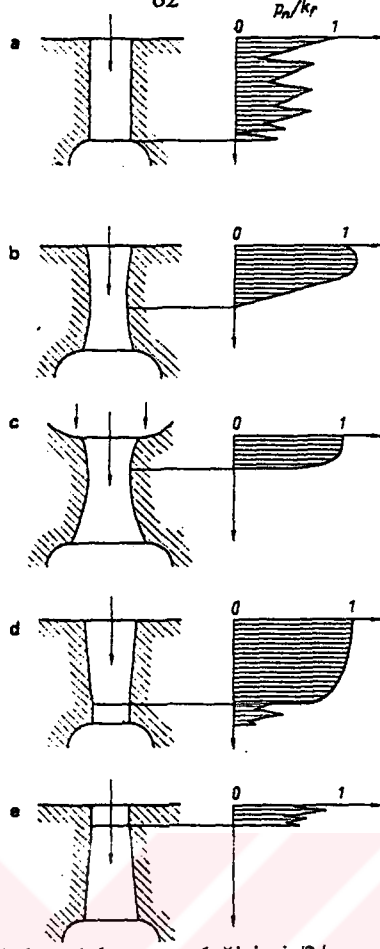
İkinci bölgedeki direnç birinci bölgedeki dirençten daha büyük ise malzeme birinci bölgede daha hızlı akar. Sınır şartlarda çıkan profilden matris kanalındaki malzemeye uzunlamasına gerilmeler etki etmez ve  $v_1$ ' in  $v_2$ ' ye olan hız bağıntısı belirtilebilir. Bunun için akış gerilmesinin hıza olan bağıntısındaki yaklaşım eşitliğinden faydalanılır.

$$k_f \approx \varphi^m \quad \text{ve}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \left( \frac{p_M - p_{RK1}}{p_m - p_{RK2}} \right)^{\frac{1}{m}} \cong 1 + \frac{p_{RK2} - p_{RK1}}{m \times p_M} \quad (3.7)$$

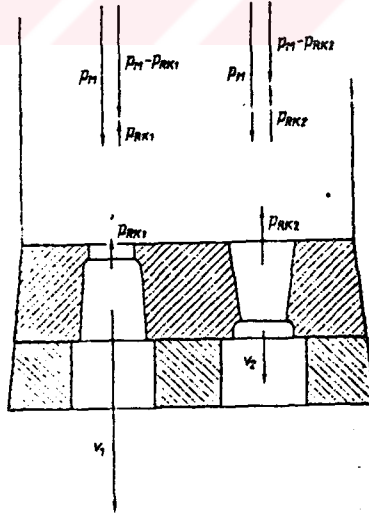
Örneğin;  $m = 0.15$  ve  $p_{RK2} - p_{RK1} = 0.01p_M$  ise o zaman  $v_1 + v_2 \cong 1.067$  yani  $v_1, v_2$ ' den %6.7 yüksek çıkar. Gerçek şartlarda böyle bir hız farkı çubukta uzunlamasına gerilmeleri ortaya çıkarır ve bunlar az yada çok birbirini dengeler. Hangi hız farklılıklarının mekanik kaynama tarafından dengeleneceği ve hangi şekil sapmalarının dengelenmeyen farklılıklar yüzünden çıktığı kesit şekline, simetrik özelliklerine ve profilin sertliğine bağlıdır. Eğer hızlı akan bölge bükülmelere karşı sert ise başlangıçta geri tutulur ve sonra eğilir (Şekil 3.41.a). Aynı zamanda hızlı akan bu bölge yavaş olan bu komşu bölgeyi götürmeye çalışır ve yavaş akan bölgedeki et kalınlığı azalır. Şekil 3.41.b' de tersine daha az sert olan bölge bükülerek dengeli olarak çıkar.

3.7. numaralı eşitlikte ele alınan örnekte görüldüğü gibi matris geometrisinde yapılan ufak değişikliklerle akış hızında ve profil şeklinde büyük değişiklikler görülmektedir. Böylelikle matris kanalında yapılan düzeltmeler daha iyi anlaşılacaktır. Matris kanalındaki sürtünme ve aşınma olayları pratik tecrübelerden bilindiği gibi profil yüzeyi, matris kanalındaki yüzeyden daha pürüzlü olabilir. Bunun dışında bir de kaba oluk şeklinde uzunlamasına çizgiler oluşur ve bunlar malzeme toparlanması ile biterler. Bu hataların oluşması matris kanalındaki sürtünme olayları ile ilgilidir. Profil ile matris kanalı arasındaki sınır tabakasında oluşan olaylar genelde blok malzemesinin çeliğe olan kaynama eğilimine bağlıdır. Demir ile alüminyum arasındaki adhezyon demir ile bakır arasındakinden iki kat, demir ile altın arasındakinden beş kat daha kuvvetlidir. Aşağıdaki modellemede çıkış noktası, profil ve sınır tabakası kalınlığına bağlı hız dağılımıdır (Şekil 3.42).

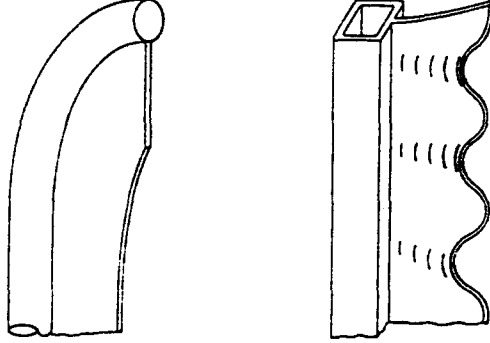


Şekil 3.39. Normal gerilmenin matris kanalı boyunca değişimi [2/

a- Paralel matris kanalı b- Yuvarlatılmış matris kanalı c- Yuvarlatılmış matris kanalı  
d- Daralan matris kanalı e- Genişleyen matris kanalı



Şekil 3.40. Farklı akış direncine sahip kanallarda farklı çıkış hızları [2/



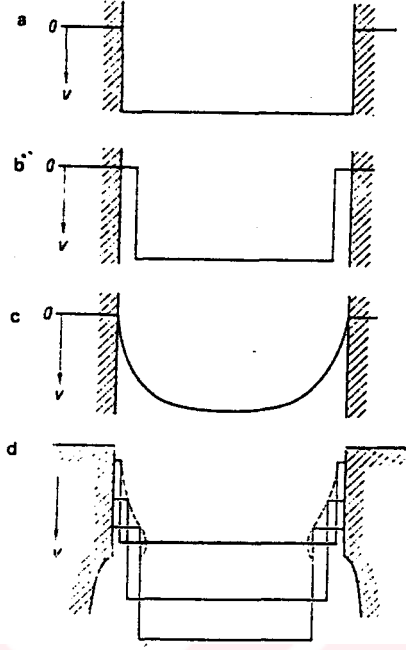
Şekil 3.41. Dengesiz malzeme akışı sonucu oluşan profiller /2/

a- Sert kısım daha hızlı akmakta

b- Sert kısım daha yavaş akmakta

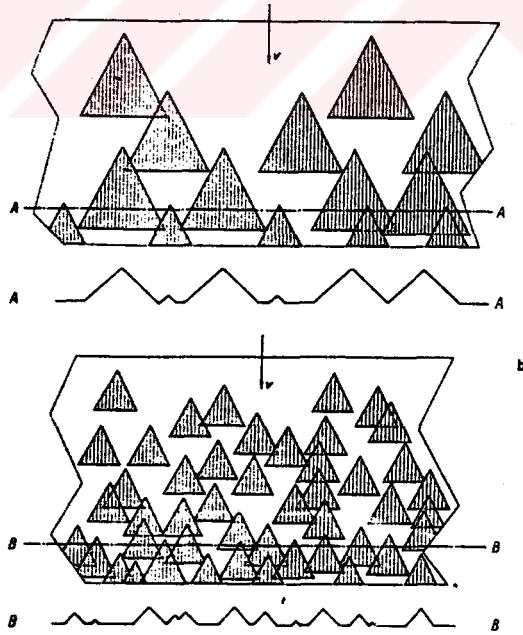
Sınır yüzeyi doğrultusunda alüminyum ile takım arasındaki bir kayma, bu düzgün durumda pratikte hiç olmamaktadır (Şekil 3.42.a). Ancak çoğunda pratikte kaynama olmakta bu özellikle azotlanmış takımlarda görülmektedir. Çünkü burada alüminyumun takım yüzeyine olan afinitesi ve kaynamaya olan eğilimi oldukça düşüktür. Sürtünme gerilmesinin matris kanal uzunluğuna bağlı olarak Şekil 3.38' deki gibi bir "a" eğrisi oluşturması beklenir. Maksimum sürtünme gerilmesinin alüminyumun kayma gerilmesinin çok aşağısında olması gerekmektedir. Profilin yüzey pürüzlülüğü matris kanalının ki kadar olur. Ancak lokal kaynama yerleri oluk şeklinde uzunlamasına çizgiler oluşturur. Başka bir anlayışa göre normal durumda matris kanal yüzeyi her zaman az veya çok kalın bir alüminyum tabakası ile kaplı olur (Şekil 3.42.b). Bu durumda hız sıçrayışına bağlı olarak alüminyumun alüminyum üzerinde kayması oluşmaktadır. Çubuk ile kaynama tabakası arasındaki kayma yüzeyi matris kanal yüzeyinden daha pürüzlü olabilir. Çubuktan kaynama tabakasına ve buradanda tekrar çubuğa yapılan malzeme iletimi oluk şeklinde uzunlamasına çizgiler oluşmasına neden olur. Aynı zamanda ekstrüzyon edilmiş çubuktan sonra gelen çubuğa malzeme iletimi olmaktadır. Sürtünme gerilmesi alüminyumun kayma akış gerilmesi değerinin yakınında olabilir. Ama negatif kanal yüzey eğiliminde dik düşüş göstermesi gerekmez. Şekil 3.38.b eğrisi gibi olabilir. Kendi içine açılan matris kanallarında yapı daha kalın ve düzensiz kaynama tabakası ile kaplı olur ki bu daha az olan yüzey baskısı ile açıklanabilir. Üçüncü bir olasılık Şekil 3.42.c' de gösterilmiştir. Blok yüzeyinin alıcı yüzeyine kaydığı gibi profil yüzeyi de kanal yüzeyine kaynamaktadır ve profilin üç yüzey tabakasında hız artmaktadır. Çubuğun kenar tabakası kayma ile çarpılmaktadır. Bu modele göre sürtünme gerilmesi kanal yüzeyine olan eğiliminde farklı ve alüminyumun kayma akış gerilmesi ile aynı olmak zorundadır. Şekil 3.38.c eğrisinde çubuk kesitinin üzerinde sabit bir hıza ulaşmak için matris kanal çıkışında ikinci bir şekillendirme sınırını kabul etmek gerekir. Malzeme toparlanması ve oluk şeklinde uzunlamasına çizgilerin oluşumları çubuğun kenar

tabakasının yerel olarak kanal yüzeyi tarafından yırtılmasına bağlanabilir. Bu üç modelden Şekil 3.42.c' dekini dışarıda tutabiliriz. Çünkü bu modelin bize önceden belirttiği değerler ampirik tecrübe ve deneysel sonuçlarla pek eşdeğer olmamaktadır. Girişte belirtilen tecrübelerle Şekil 3.42.a ve b' deki modellerde tam doğruluk elde edilememektedir. Ama iki modelin kombinasyonu ile tam doğruluk oluşturulabilir. Eğer 3.42.a ve b' deki durumların yanyana oluştuklarını kabul edecek olursak karşımıza matris kanalının uzunlamasına kaynama sınır dağılımının nasıl olacağı sorusu çıkmaktadır. Eğer matris kanalının bütün boyunda açılırsa o zaman hemen giriş kenarında kalın düzgün olmayan bir kaynama tabakası oluşur. Düşük normal ve sürtünme gerilmesinde çubuk yüzeyinde yiv ve kaynama yerlerinde yırtılma olur. Bu demektir ki kalın kaynama tabakası ile yüksek sürtünme aynı anlama gelmemektedir. Daha çok düşük sürtünmede ufak kaynama bölgelerinde uzun serbest yapışan çapaklar bağlanabilir. Matris girişinden itibaren genişleyen kanalda minimum ekstrüzyon kuvvetine ihtiyaç duyulur. Ancak en kötü profil yüzeyi oluşmaktadır. Paralel veya hafif yuvarlak işlenmiş matris kanalında kaynama yüzeyi özellikle çıkış kenarının yakınında olmaktadır. Sınır tabakasındaki hız profili matris kanalının başlangıcından sonuna kadar değişmektedir. Kaynama tabakasız giriş tabakasız giriş sınırından kalın kaynama tabakalı çıkış sınırına geçiş birçok faktöre bağlı olabilir. Akla gelenler takım dizaynı, kanal yüzeyinin pürüzlülüğü aynı zamanda da metal kalitesi ve ekstrüzyon oranıdır. Düzgün matris kanal yüzeyinden kaynama tabakasına geçişin keskin bir sınır üzerinden olması gerekmektedir. Çubuğun kayma yolunda kaynama yerlerinin artması ve aynı zamanda metal parçacıkların artması daha olasıdır. Sonuçta kaynama yerleri üstüste gelerek kanal yüzeyini tamamen kapatırlar (Şekil 3.43). Profilin yüzey kalitesini dikkate alacak olursak tek tek büyük parçacıkların yüzeye kaynaması pek iyi olmamaktadır (Şekil 3.43.a). Bu yüzden bölgesel olarak metal parçasının kaynaması büyükse ve onun üzerine kuvvet uygulayan çubuğun kuvveti az ise verimsiz olur. Tersine metal parçasının büyümesi esnasında kanal yüzeyinde ne kadar az kaynama ve çubuğunda o kadar bu yüzeye fazla baskı kuvveti uygulanırsa metal parçası koparılıp çubuk ile birlikte dışarı atılır. Kaynamayı durdurmaya yetmesede kaynama eğiliminin azaltılması ile yüzeyin preslenmesine sebep olunur. Şekil 3.42.b' deki hız dağılımına göre metal parçacıkların büyümesi belirli kabul edilebilir bir boyuta kadar sınırlandırılmıştır. İççe daralan matris kanalında oluşan yüksek sürtünme ve normal gerilmelerde metal parçacıkların erken kopmasına neden olurlar. Ufak ince metal parçacıkları birbirine bağlı kanal yüzeyinde bir tabaka oluşturuyorsa bu kaynama tabakası ince ve eşit kalınlıkta olur (Şekil 3.43.a). Bu durumda bu tür oluşumları gidermekle beraber böyle ince bir tabakada profilin yüzey kalitesine olumlu etkisi olur. Yüzey hatası olarak matris kanalındaki oksitlenmede sayılabilir. Bu durum için CO<sub>2</sub> ' li bir atmosfer kullanmak aynı zamanda soğumayıda sağlamaktadır.



Şekil 3.42. Matris kanalının enine hız dağılımı /2/

- a. Matris yüzeyinde hız sıçrayışı      b. Çubuk ile kaynama yüzeyi arasında hız sıçrayışı  
c. Hız sıçrayışı olmadan kaynama tabakası      d. Artan kalınlıklı kaynama tabakası ile hız sıçrayışı



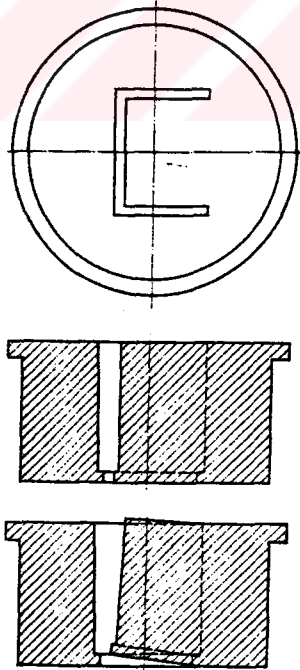
Şekil 3.43. Matris kanalında kaynama sınırlarının dağılımı /2/

- a- Kaba kaynama yerleri      b- Çok sayıda ufak kaynama yerleri

Sonuç olarak alüminyum ekstrüzyonunda matris kanalındaki sürtünmenin profilin yüzey kalitesine ve şekil tamlığına büyük etkisi vardır. Matris kanal yüzeyinde sürtünme ve normal gerilmeler ve oluşan çubuğun sınır tabakasındaki hız dağılımı incelenmiştir. Matris kanalının kendi içinde daralan bölgelerde sürtünme gerilmesi malzemenin kayma akış gerilmesine yaklaşmaktadır. Bu durumda eşit ince bir kaynama tabakası oluşabilmektedir. Matris kanalının uzadığı bölgelerde sürtünme gerilmesi minimumdardır. Ancak orada düzensiz kalın kaynama tabakaları oluşabilir ve bunlar yiv oluşturan sürtünmeye ve profilde yüzey hatalarına sebep olabilirler. /2/

#### 3.4. Profil Şeklinin Ekstrüzyon Kuvvetine Etkisi

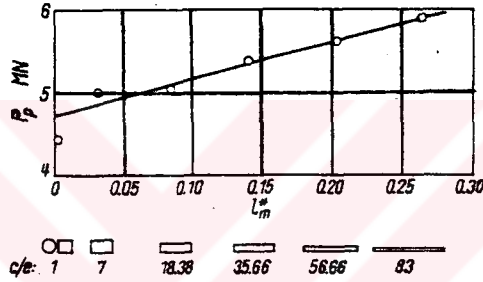
Profillerin ekstrüzyonunda düzgün yüzeyli ve dar toleranslarda imalatı gerçekleştirmek için takıma gelen yükleri belirlemek büyük ölçüde önem taşımaktadır. Daha önce yapılan araştırmalar sayesinde fiziksel ve ampirik formüllerle ekstrüzyon kuvveti profile bağlı olarak belirlenebilmektedir. Ekstrüzyon kuvvetinin belirlenmesinde esas profil yüzeyi ile eşdeğer silindirik çubuk kesiti dikkate alınır. Profil şeklinin yanında ekstrüzyon sıcaklığı, ıstampa hızı ve matris kanalındaki sürtünme yüzeyi ayrı ayrı incelenir. Bu çözüm yöntemi deneysel bilgi ve literatürlerden doğrulanmıştır. İşlem esnasında şekil veren takım elastik şekil değiştirmektedir. Bu durumda profilin geometrisi ile birlikte matris kanalındaki şartlar da değişmektedir (Şekil 3.44).



Şekil 3.44. Yük altındaki bir matriste şekil değişimi /5/

Yapılacak fazla yükleme ile plastik şekil değişimi bile gerçekleşebilir ve bunun sonucu olarak matris boyutları değişerek matrisin kullanımı tehlikeye girebilir. Bu tür hataları önlemek ve matriste oluşan elastik şekil değişimlerini hesaplayabilmek için ekstrüzyon esnasında ortaya çıkan kuvvetleri önceden bilmemiz gerekir.

Bir başka taraftan prosesin ekonomikliği açısından pres şartları öyle seçilmelidir ki aynı imalat kalitesinde esas ve yardımcı zamanlar minimum olabilsin. Bu da takıma gelen yüklemeler arasındaki süreyi sonuna kadar kullanma anlamına gelir. Günümüzdeki ekstrüzyon kuvvet formülleri basılan profillere pek bağlı değildir. Ancak kaba tahminler yürütmemizi sağlarlar. Bu yüzden öyle ekstrüzyon kuvveti eşitliği geliştirilmelidir ki fiziksel ve ampirik formüller sayesinde profil şekline bağlı ekstrüzyon kuvvetini belirleyebilelim. Pres hızı ve profil şeklinin etkisi Şekil 3.45' te verilmiştir.



Şekil 3.45. Ekstrüzyon kuvvetinin şekillendirme sınırının ortalama uzunluğu ile olan bağı /5/

$$P_p = (v_{st}, \vartheta, \varphi, \text{profilşekli, malzeme, } \dots)$$

Ekstrüzyon kuvvetinin profil şekline olan etkisi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$P_p = P_\theta + t \cdot l_m^* \quad \text{ve} \quad l_m^* = \frac{l_0 - 1}{l_0} \quad (3.8)$$

$l_m^*$  büyüklüğü aynı yüzeyli silindirik profilin şekil değişim sınırının ortalama uzunluğudur yani profili tanımlama büyüklüğüdür. Aynı yüzeyli silindirik kesitli profil için ekstrüzyon kuvvetini temel bir deney ile buluruz. Doğru artışı  $t$ , alıcı çapına bağlı olarak ampirik profil araştırmaları sonucu verilir. Bu deneyler Al99.5 malzeme ile  $\varphi = 5.0$  ve  $\vartheta = 460^\circ \text{C}$ ' ta gerçekleştirilmiştir.

Kuvvet hesabı için modelin geliştirilmesi:

Proses parametrelerinin etkisi, fiziksel fonksiyonların yardımı, yaklaşım ve deney sonuçları ile verilmelidir. Daha önce verilen SIEBEL' in toplam kuvveti  $P_p$  ' ye bağlı eşitliğin prosese olan etkilerini incelediğimizde;

$$P_p = k_f \times \pi \times D_0 \times \left( \frac{D_0 \times \varphi}{4 \cdot \eta_F} + L_0 \times \mu_w \right) \quad (3.9)$$

Malzeme, profil şekli ve matris kanalı akma gerilmesi  $k_f$  'i , etkileme derecesi  $\eta_F$  'i ve sürtünme değeri  $\mu_w$  'yi etkilemektedir. Malzemenin akma gerilmesinin değişiminden etkilenmektedir. Akma gerilmesinin bağımlılığı aşağıda gösterilmiştir.

$$k_f = f(v_{st}, \vartheta, \varphi, \text{malzeme})$$

$$k_f = K \cdot \left( \frac{\varphi}{1s^{-1}} \right)^{ml} \cdot e^{-m2 \cdot \vartheta / 1^\circ C} \quad \varphi = \text{sabit}$$

Elementer teoriden şu sonuç çıkar:

$$\varphi \approx \frac{6\varphi}{D_0} \cdot v_{st}$$

Toplam kuvvet şöyle olmaktadır:

$$P_\theta = K \cdot D_0 \cdot \left( \frac{6\varphi 1mm}{D_0} \right)^{ml} \cdot \left( \frac{D_0 \cdot \varphi}{4 \eta_F} + L_0 \cdot \mu_w \right) \cdot \left( \frac{v_{st}}{1mm/s} \right)^{ml} \cdot e^{-m2 \cdot \vartheta / 1^\circ C} \quad (3.10)$$

Yaklaşım fonksiyonu da şöyle olur:

$$P_\theta = a_1 \cdot \left( \frac{v_{st}}{1mm/s} \right)^{ml} \cdot e^{-m2 \cdot \vartheta / 1^\circ C}$$

Bu fonksiyonel ilişki öncelikle silindirik çubukların ekstrüzyonu için geçerlidir. Kontrol edilmesi gereken nereye kadar bu formülün başka profillerin şekillendirilmesinde de kullanılabileceğidir.

### Ekstrüzyon Deneyleri:

Buradaki deneyde ekstrüzyon kuvveti, profil şekliyle, pres hızıyla, pres sıcaklığıyla, şekil değiştirme derecesiyle ve matris kanal uzunluğu ile ayrı ayrı incelenmiştir. Bu deney için profil şekli olarak silindirik yüzeylerden dikdörtgenlere kadar değişik şekiller kullanılmıştır. Deney şartları aşağıda belirtilmiştir:

Malzeme: AlMgSi0.5

Blok ölçüleri:  $\varnothing$  80 mm×200 mm

Yerleştirme sıcaklığı: 400°-500° C

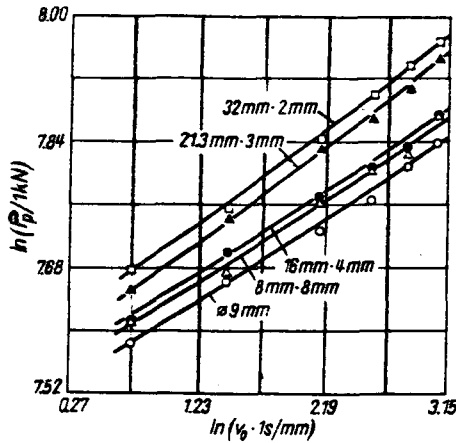
Sürtünme: Kuru

Profil şekli: Silindirik  $d=6.5, 8, 9, 9.6, 11.3$  mm

Kare  $c=5.8, 7, 8, 8.5, 10$  mm

Dikdörtgen  $c \times e=16 \times 4, 21.3 \times 3, 32 \times 1, 32 \times 1.64, 32 \times 2, 32 \times 2.2, 32 \times 3.1, 64 \times 1$

Ölçülen büyüklükler: Toplam kuvvet, ıstampa hızı, profil hızı, alıcı sıcaklığı, blok yerleştirme sıcaklığı ölçülen ekstrüzyon kuvveti Şekil 3.46 ve 3.47' de gösterildiği gibi  $v_{st}$  ve  $\vartheta$  proses parametrelerine bağlı olarak bulunur. Yaklaşım algoritmasına göre en küçük kare yöntemi ile deney sonuçlarından toplam kuvvet eşitliğinde kullanılan  $a_1$  değeri elde edilir (Tablo 3.3).  $m_1$  ve  $m_2$  exponentleri malzeme sabitleridir ve regresyon ile akış eğrilerinden alınabilir.

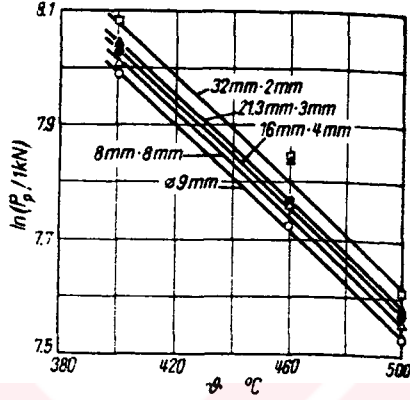


Şekil 3.46. Ekstrüzyon kuvvetinin ıstampa hızına göre ölçülen değişimi /5/

$$\text{AlMgSi0.5} \quad \vartheta = 460^\circ \text{C} \quad A_s = 141 \text{mm}^2$$

Elde edilen fonksiyonel ilişkiler hem silindirik profiller için hem de diğer profiller için geçerlidir. Burada elde edilen sonuç  $a_1$  değerinin profil şekline bağımlı olduğudur. Bundan sonraki deneylerin amacı matris kanalındaki sürtünmenin toplam kuvvet  $P_p$  üzerindeki etkisini araştırmaktır. Geometrik ölçü büyüklüğü olarak matris kanalındaki tüm sürtünme yüzeyi  $A_R$  ele alınır. Bu sürtünme yüzeyinin ölçüleri mamulün profil çevresi  $U_p$  ve matris kanal uzunluğu  $l_k$  ' dan elde edilir.

$$A_R = U_p \times l_k$$

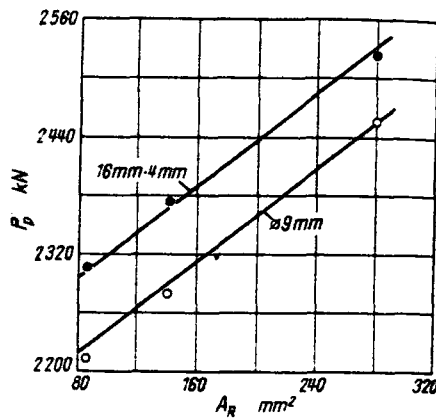


Şekil 3.47. Ekstrüzyon kuvvetinin blok sıcaklığına bağlı değişimi /5/

$$\text{AlMgSi0.5} \quad v_{st} = 8.48 \text{ mm/s} \quad A_s = 141 \text{ mm}^2$$

İki farklı profil şekli ve herbiri üç farklı kanal uzunluğu ile incelenmiştir. Her iki profil şekli için sabit b eğimli ve ona paralel eğri elde edilmiştir (Şekil 3.48). Buradan  $a_1$  değeri şöyle yazılır:

$$a_1 = a_2 + b \cdot A_R$$



Şekil 3.48. Ekstrüzyon kuvvetinin matris kanalı sürtünme yüzeyine bağlı ölçülen değişimi /5/

$$\text{AlMgSi0.5} \quad T = 460^\circ \text{C} \quad v_{st} = 8.48 \text{ mm/s}$$

Buradan toplam kuvvet şöyle yazılır:

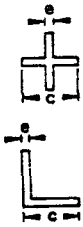
$$P_p = \left( a_2 + b \cdot A_R / \text{mm}^2 \right) \cdot \left( \frac{v_{st}}{\text{mm/s}} \right)^{m1} \cdot e^{-m2 \cdot 9/1^\circ C} \quad (3.11)$$

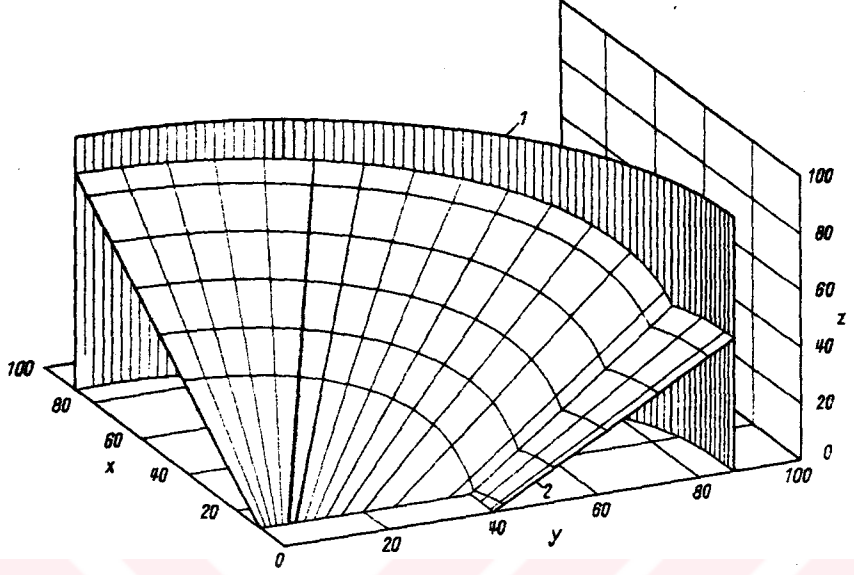
Tablo 3.3. Pres kuvveti değeri /5/

Profil Ölçüsü (mm)	a <sub>1</sub> (N)
Çap 9	18,090.06
8x8	18,566.49
16x4	18,763.40
21.3x3	19,715.11
32x2	20,326.00
64x1	23,967.43

Profil etkisini tarif etmek için model deneylerinde gösterildiği gibi profil şekli a<sub>1</sub> ve a<sub>2</sub> değerini etkilemektedir. Profil şeklinden doğan kuvvetleri hesaplamak için bir formülasyon bulmak gerekir. Daha önceki araştırmalara göre şekil değiştirme sınırının oluşumu profil şekline ve profil şekline bağlı malzeme akışından etkilenmektedir. Şekil değiştirme sınırının genişleme değeri bilinmediğinden basit bir fiziksel model ile yaklaşım yapılmıştır. Malzemenin, maksimum kenar itme gerilmesinde ve α=45° lik açıda bir yüzey üzerinde kaydığı kabul edilmiştir (şekil 3.49).

Tablo 3.4. İncelenen profil şekilleri /5/

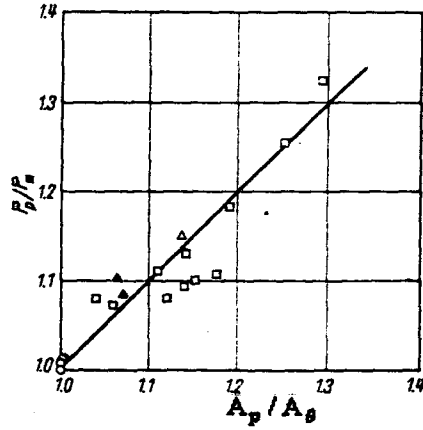
Kare Profil (mmxmm)	Dikdörtgen Profil (mmxmm)	Artı Profil cxc (mmxmm)	L Açılı Profil cxc (mmxmm)	Ölçümler
5.80x5.80	23.90x3.50	23.31x3.33	29.46x4.91	
7.00x7.00	32.00x1.00	42.49x6.07		
8.00x8.00	32.00x1.64			
8.50x8.50	32.00x2.00			
9.11x9.11	32.00x2.20			
10.00x10.00	32.00x3.10			
	32.56x4.07			
	38.60x2.20			
	53.60x1.60			
	68.00x1.20			
	83.00x1.00			



Şekil 3.49. Şekil değiştirme sınırındaki kayma yüzeyi /5/

1- Alıcı 2- Kayma yüzeyi

İlk araştırmadaki deneyde profil tanımlama ölçüsü  $l_m^*$ 'yi kullanarak şekil değiştirme sınırı tarif edildi. Profil tanımlama ölçüsü olarak tüm kayma yüzeyini kullanmanın daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır. Çünkü profil kayma yüzeyinin silindirik çubuk kayma yüzeyine bölümü ile profillerin ekstrüzyon kuvvetinin silindirik kesitli profillerin ekstrüzyon kuvvetine bölümü orantılıdır (Şekil 3.50 ve Tablo 3.4).



Şekil 3.50. Ekstrüzyon kuvvetinin kayma yüzeylerine etkisi /5/

Böylece ampirik değerlere göre doğrultma değeri  $t$  eski formül  $P_p = P_\theta + t \cdot l_m^*$  e göre gereksiz kalmaktadır. Eşitlik sisteminden bir bilinmeyen azalmıştır. Yaklaşım fonksiyonu ve Şekil 3.50' ye bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$\frac{A_p}{A_\theta} = \frac{P_p}{P_\theta} = \frac{a_{1p}}{a_{1\theta}} \cdot \left( \frac{v_{st}}{v_{st}} \right)^{ml} \cdot \frac{e^{-m2 \cdot g/1^\circ C}}{e^{-m2 \cdot g/1^\circ C}} \quad \text{buradan}$$

$$\frac{a_{1p}}{a_{1\theta}} = \frac{A_p}{A_\theta} \quad \text{veya}$$

$$a_{1p} = \frac{A_p}{A_\theta} \cdot a_{1\theta} \quad \text{buradan}$$

$$P_p = a_{1p} \cdot \left( \frac{v_{st}}{\text{mm/s}} \right)^{ml} \cdot e^{-m2 \cdot g/1^\circ C} = \frac{A_p}{A_\theta} \cdot a_{1\theta} \cdot \left( \frac{v_{st}}{\text{mm/s}} \right)^{ml} \cdot e^{-m2 \cdot g/1^\circ C} \quad (3.12)$$

Değişken matris kanalı yüzeyleri için:

$$\frac{A_p}{A_\theta} = \frac{(a_{2p} + b \cdot A_R / \text{mm}^2)}{(a_{2\theta} + b \cdot A_R / \text{mm}^2)} \left( \frac{v_{st}}{v_{st}} \right)^{ml} \cdot \frac{e^{-m2 \cdot g/1^\circ C}}{e^{-m2 \cdot g/1^\circ C}} \quad \text{buradan}$$

$$a_{2p} = \frac{A_p}{A_\theta} \cdot (a_{2\theta} + b \cdot A_R / \text{mm}^2) - b \cdot A_R / \text{mm}^2 \quad (3.13)$$

$a_\theta$  yada  $P_\theta$  'nın bilinmesi ile ekstrüzyon kuvveti profil şekline bağlı olarak bunun yanında pres hızı ve pres sıcaklığına bağlı olarak hesaplanabilir. Bu değerlerin bulunması için en sağlam yol bir önceki deneyin yapılması ve ölçüm alınmasıdır. Çünkü tek bir modelde sürtünme ve malzeme etkisi tam olarak tespit edilememektedir. Bu yöntemle bu etkilerde belirlenmiş olur. Bundan sonra bu büyüklükler silindirik profiller için bir hesaplama yöntemiyle daha iyi verilebilir. Çünkü simetrik şekil değiştirme işleminde hesaplama daha kolaydır.

Tanımlan modelde çalışma şekli:

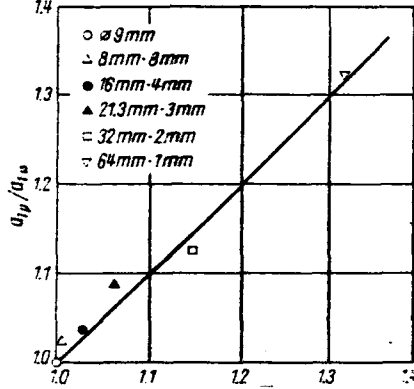
İşlem profil ekstrüzyonu için beş maddede açıklanabilir (Tablo 3.5).

1. İlk adımda esas profilin yüzeyi ile eşdeğer olan silindirik çubuk için ekstrüzyon kuvvetinin bulunması gerekir.
2. İkinci adımda ekstrüzyon kuvveti sayısı değeri hesaplanmaktadır. Aynı yüzeye sahip silindirik kesit için gereken ekstrüzyon kuvveti dışında malzemenin akış eğrileri de gerekmektedir.

3. Üçüncü adımda aranan profilin kayma yüzeyinin silindirik profilin kayma yüzeyine olan oranı hesaplanmaktadır.

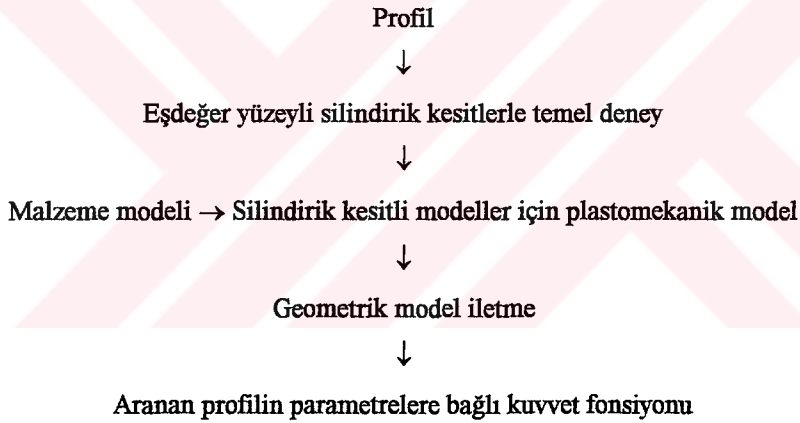
4. Dördüncü adımda profile bağlı ekstrüzyon kuvveti sayısı hesaplanmaktadır (Şekil 3.51).

5. Son adımda aranan profilin parametrelere bağlı kuvvet fonksiyonu oluşturulur. /5/



Şekil 3.51. Ekstrüzyon kuvvet değerleri  $a_{1p} / a_{10}$  'nın ilgili kayma yüzeyleri ile ilişkisi; AlMgSi0.5 /5/

Tablo 3.5. Tanıtılan modelle çalışma şekli /5/



Tablo 3.6. Bölümde kullanılan semboller /5/

$A_R$	Matris kanalındaki sürtünme yüzeyi
$A_p$	Şekil değiştirme sınırında profil kayma yüzeyi
$A_\theta$	Şekil değiştirme sınırında silindirik kesitin kayma yüzeyi
$a$	Ekstrüzyon kuvveti sayısı
$b$	Sürtünme yüzeyi sayısı
$c, e$	Profil kenarları
$D_0$	Alıcı çapı
$d$	Profil çapı

$P_p$	Profile bağılı ekstrüzyon kuvveti
$P_0$	Silindirik kesitli profil için ekstrüzyon kuvveti
$k_f$	Akma gerilmesi
$L_0$	Blok uzunluğu
$l_m^*$	Şekil değiştirme sınırının ortalama uzunluğu
$l$	Bir profilin şekil değiştirme sınırının ortalama uzunluğu
$l_0$	Silindirik kesitli bir profilin şekil değiştirme sınırının ortalama uzunluğu
$m_1, m_2$	Akış eğri değerleri
$l_k$	Matris kanal uzunluğu
$t$	Ampirik büyüklük
$U_p$	Profil çevresi
$v_{st}$	İstampa hızı
$v_a$	Profil hızı
$\varphi$	Şekil değiştirme derecesi
$\varphi_v$	Karşılaştırma şekil değiştirme derecesi
$\varphi$	Şekil değiştirme hızı
$\eta_F$	Şekil değiştirme etki derecesi
$\vartheta$	Blok yerleştirme sıcaklığı
$\vartheta_{Rez}$	Alıcı sıcaklığı
$\mu_w$	Duvar sürtünmesi

### 3.5. Ekstrüzyonun Matris Dizayını İle Optimizasyonu

Matrislerin dizayını ekstrüzyonun sonuçlarına olan etkisi açısından önemli bir yer teşkil eder. Matrisin şekillendirilmesi, kalitenin ve gerekli gücün optimizasyonunu sağlamak için dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Ekstrüzyon profillerinin kullanımı çok yönlüdür. Profiller çubuk şeklinde olduğu gibi çeşitli uzunluklarda makina ve alet elemanları olarak geniş kapsamlı olarak kullanılırlar. En önemli avatajı ise hazırlanmış bloklardan en basit şekildeki tellere, borulardan karmaşık sivri köşeli kesitlere, açık ve yarı açık profillere kadar üretimin sağlanabilmesidir.

İmalatı gerçekleştirilen malzemeler hafif ve ağır metaller olduğu gibi alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde olabilir. En büyük bölümü çeşitli sertlik değerlerindeki alüminyum ve alaşımları teşkil etmektedir. Daha sonra bakır ve alaşımları gelmektedir. Güvenilir imalat prosesi için malzemenin kalitesi, termik ve enerjik şartlar dışında matrisin konstrüktif dizaynı büyük önem taşımaktadır.

Ürün talebi geldiğinde ayırmamız gereken parçaların geniş veya dar toleranslı olup olmadığıdır. Eşit toleranslı çizgisellik, eşit toleranslı kesit, minimum fiyat için hatasız yüzeyde eşit metre ağırlığı kalite açısından istenen özelliklerdir.

Alıcı parametreleri, malzeme özellikleri, ekstrüzyon parametreleri ve matris takımının özellikleri kompleks sistemde sonuç üzerinde etkilerini çeşitli şekillerde gösterirler.

Tüm prosesin optimizasyonu için takım bölgesindeki çalışmalar önemlidir ancak bu başka büyüklüklere bağlıdır. Takım üzerine etki eden malzeme ve profil kesitine bağlı olarak üç ekstrüzyon yöntemi dikkate alınır. “Direkt” ileri doğru ekstrüzyon en çok kullanılan kullanılan yöntemdir. Büyük veya küçük karışık profiller ve özellikle hafif metaller için kullanılır. “İndirekt” yöntem, yüksek pres hızında ve tel, basit dolu profiller için daha büyük blok ağırlıkları kullanıldığında tercih edilmektedir. Her iki yöntemde de bloklar belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Hidrostatik ekstrüzyonda oda sıcaklığında şekil değiştirme direncine bağlı olarak yüksek ekstrüzyon basıncına ihtiyaç duyulur. Sürtünmenin önemli ölçüde azalmasından dolayı zor preslenebilen malzemeler başarı ile işlenebilmektedir.

İhtiyaç duyulan ekstrüzyon kuvveti önemli ölçüde şekil değiştirme direncine, alıcıdaki blok sürtünmesine bağlıdır ve aşağıdaki formülle gösterilmektedir:

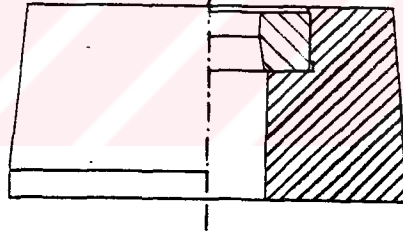
$$P_p = c \cdot F_0 \cdot k_w \cdot \ln \frac{F_0}{F_1 \cdot n} + \pi \cdot D_0 \cdot l_\theta \cdot \mu \cdot k_w \quad (3.14)$$

Bunun içinde c profil sabiti,  $F_0$  blok kesiti,  $k_w$  şekil değiştirme direnci,  $F_1$  profil kesiti, n çubuk sayısı,  $D_0$  blok alıcı çapı,  $l_\theta$  blok uzunluğu ve  $\mu$  sürtünme sayısıdır. Eşitliğin ikinci kısmı indirekt ve hidrostatik ekstrüzyonda kullanılmaz. Takıma etki eden spesifik basınç alüminyum malzemelerde 400-800 N/mm<sup>2</sup>, ağır preslenen alüminyum malzemelerde ise 600-800 N/mm<sup>2</sup> arasındadır. Ekstrüzyon oranı ise malzemenin yoğrulmasından dolayı küçük olmamalıdır ancak pres kuvvetinin sınırlı olmasından ve yüksek şekil değiştirme işinden dolayı da fazla büyük olmamalıdır. Bunun takım sistemi üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

### Takım Dizaynı:

Kullanım olarak açık profiller için yassı matrisler, yarı açık profiller için malafalı yassı matrisler, yarı açık ve açık profiller için odalı matrisler ve karmaşık içi boş profiller için köprülü ve spider matrisleri kullanılmaktadır. Her takımın kendine ait pres hızı, pres risklerinin azaltılması, pres artıklarının kolay alınması, dilin sağlamlştırılması, profillerin şekil tamlığı, deneme ücretleri ve yağlama imkanları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Bu noktalar takım seçimini, kullanılacak malzemeyi ve elde bulunan pres yapısını büyük ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı kullanılacak ana malzeme ve alaşımlarının akış özellikleri iyi bilinmelidir. Yıllar önce ekstrüzyon takımlarının dizaynı ile ilgili oluşan aksnel kuvvetler ve bölgesel sıcaklık değişimleri alüminyum imalatı için araştırılmıştır. Bugünkü çalışmalarda aynı imalat kalitesinde takım imalatının optimizasyonu ve pres hızının optimizasyonu üzerinde durulmaktadır.

Takım malzemesi olarak 1.2343 numaralı ve 1.2367 numaralı sıcak iş çeliği kendini ispatlamıştır. Bunlar yumuşak haldeyken ve ıslah edilmiş olarak işlenebilmektedir. Daha sonra da tekrar ıslah edilebilirler. Yüzeyle nitrasyon uygulanabilir. Boruların indirekt ekstrüzyonunda yüksek verim istendiğinde sinter malzemeleri kullanılmaktadır (Şekil 3.52).



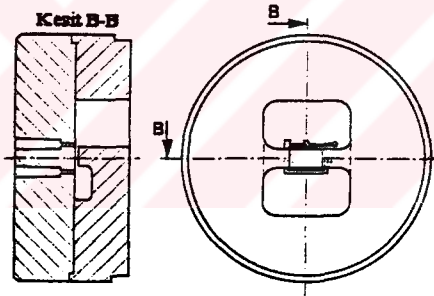
Şekil 3.52. Sinter malzemesinden toz metalurjisi ile imal edilmiş ekstrüzyon matrisi /7/

Günümüzde talaşlı imalatta kullanılan tezgahlar sert malzemelerin kullanımıyla malzemelerin ıslah edilmiş halde bile işlenmesini sağlamaktadır. CAD-CAM ön işleme NC programlanması ve CNC kullanımıyla dar toleranslarda imalat gerçekleştirilebilmektedir. Bu özellikle çok profilli yassı matrislerin ve köprülü matrislerin imalatı için önemlidir. Elektroerozyon yönteminin kullanımıyla dar noktalar işlenebilmektedir. Bilgiler saklanabilmektedir. Bu da iş akışında kolayca değişikliğe sebep verir. Günümüze kadar matris dizaynı deneyimlerle yapılmıştır. İstenilen kaliteyi oluşturmak için yapılan düzeltmeler ve takım deneyleri gibi büyük çalışmalar gerekmektedir. Çok profilli matrislerde aksnel kuvvetlerin çakıştırılmasını ve eşit hatasız akış şartlarını sağlamak önemlidir. Takım normunun oluşturulması yıllar önce yapılmıştır. Ancak pratikteki çalışmalarda pek paralellik görülmemektedir. Kalite emniyetinden dolayı esas imalata başlamadan önce belirli miktarda profil basılmaktadır. Buna

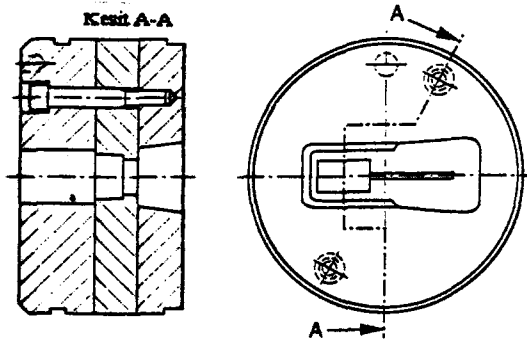
rağmen takım rütüşuna ihtiyaç duyulursa profil şekline bağılı olarak nerede hata yapıldığı sorusu karşımıza çıkar.

İnce et kalınlığına sahip profiller için köprülü matrisler kullanılmaktadır. Tüm pres basıncı direkt olarak matrisin şekil veren kısmına gelmektedir. Her bloktan sonra takımın kolay boşaltımı, düzeltmelerin hemen yapılabilir olması avantajdır. Sadece küçük profiller için kullanılmaları, büyük ekstrüzyon artığı ve yüksek imalat şartları bu tipin dezavantajlarıdır. Bundan dolayı içi boş profiller ve çok delikli profiller de eşit olmayan malzeme dağılımını sağlamak için odalı matrisler tercih edilmektedir (Şekil 3.53). Malafa ve matris ayrı olarak düzenlenmiştir. Dar toleranslarla yüksek yüzey hassasiyeti elde edilmektedir. Bu takım stabil ve hafif metallerin akış şartları için düzenlenmiştir. Yarı odalı matrisler yarı açık profillerde tehlikeli dillerin kullanımında önem kazanmaktadır. Bu durumda matris bir kapanma levhasıyla korunur. Bu levha akış işleminden dolayı gerekli deliklerle donatılmıştır. Böylelikle dil elastik şekil değiştirmeden ve kırılma tehlikesinden korunmuş olur (Şekil 3.54).

Spider takımlar köprülü matrislerin geliştirilmiş şekilleridir. Büyük içi boş profillerin imalatını ve matris yüzeyinin optimum kullanımını sağlamaktadırlar. Ancak malzeme akışı esnasında köprüden dolayı kaynak dikişlerinin durumu önem kazanır. Doku değişimi alüminyum profillerinin eloksall kaplanmasından sonra çizgiler üzerinde ve değişik şekillerde görülmektedir.



Şekil 3.53. Simetrik olmayan profiller için ön odalı matris /7/



Şekil 3.54. Yarı içi boş profiller için yarı odalı takımlar /7/

İmalatta çelik malzemelerle çelik olmayan metallerin ekstrüzyonu arasında çok büyük farklar vardır. Alüminyum malzemesinde ayırma malzemesi olmadan çalışılmaktadır. Bu bakırda yüzey hatalarına neden olur. Ekstrüzyon sıcaklığı kullanılan malzemeye bağlı olup direkt ekstrüzyonda sürtünme sıcaklığından dolayı istenmediği halde artmaktadır. Olabildiğince yüksek olması gereken ekstrüzyon hızı malzemeye bağlıdır. Mamuldeki hataların oluşmasını engellemek için belirli sıcaklık aralığında çalışmak gerekir.

Kullanılan takımın durumu planlanıp elde edilen metre ağırlığına bağlıdır. İstenmemesine rağmen ekstrüzyon takımındaki aşınma kontrol edilmeli ve düzeltilmelidir. İşlem sonunda imal edilen çubukların tartılmasıyla takımın ömrü, kullanım süresi belirlenebilir. Ayrıca bu ölçümlerle kalite kontrolde gerçekleştirilmiş olur. Karşımıza çıkan soru şu olabilir: “takım hala kullanılabilir mi, onarılabilir mi, yenilemek mi gerekir”.

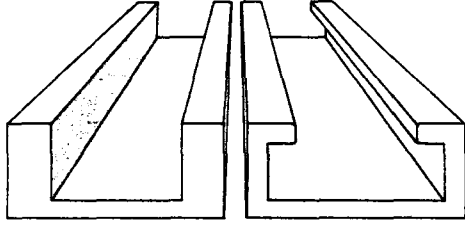
Çelik malzemelerin ekstrüzyonunda presleme uzunluğu alüminyum alaşımlarından daha kısadır. Bu ısı iletimine, gerekli ekstrüzyon kuvvetine ve sürtünme şartlarına bağlıdır. Hafif alaşımlarda dar profil toleransı ve yüksek yüzey kalitesi istemine karşın ekstrüzyon edilen çelik profiller genellikle makina yapısında kullanılmaktadır. İçi boş profillerin dışında açık ve yarı açık profiller sıcak haddelenmiş mamuller ile yarışma içindedir. Ekstrüzyon edilmiş ve haddelenmiş profiller ön işlemden sonra soğuk çekilebilir, kalibrasyon uygulanabilir ve profil kesiti yüzey kalitesine bağlı olarak dar toleranslara getirilebilir. /7/

### 3.6. Ekstrüzyon Profilleri İçin Genel Konstrüksiyon Örnekleri Ve Önerileri

İmal edilecek profilin maliyetini düşürmek için imalat şartlarını kolaylaştırmak gerekir. Bir profil ekstrüzyon yöntemiyle aşağıdaki şartlarda daha kolay imal edilir:

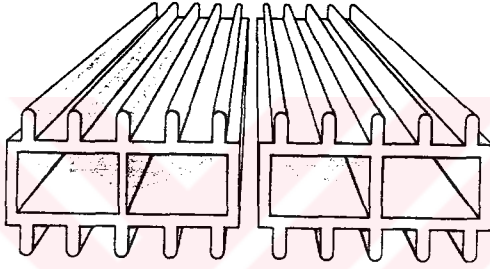
- eşit et kalınlığına sahip ise
- yuvarlatılmış basit bir şekle sahip ise
- simetrik ise
- küçük çevre çapına sahip ise
- derinliği ve dar girişi yok ise

Aynı profilde farklı et kalınlıkları kabul edilebilir ancak eşit et kalınlığına sahip profiller daha kolay ekstrüzyon edilebilirler (Şekil 3.55).



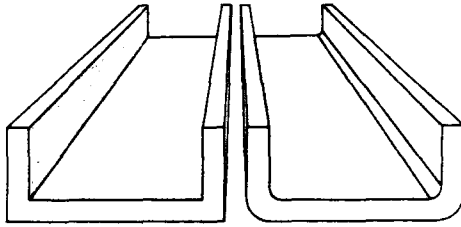
Şekil 3.55. Eşit et kalınlığı /8/

Bu yüzden ince et kalınlığına sahip yerleri kuvvetlendirmek tavsiye edilir. Artan malzeme miktarı takıma gelen yükün azaltılması ve daha kolay preslenmesi ile dengelenir (Şekil 3.56).



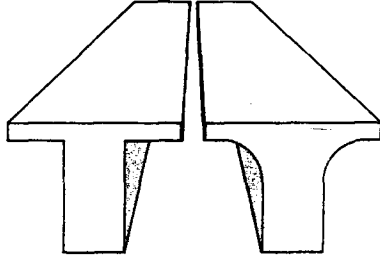
Şekil 3.56. İnce et kalınlığına sahip bölgede et kalınlığı arttırılmıştır /8/

Fonksiyon olarak keskin köşeler gerekmediği zaman köşelere 0.5-1 mm' lik radyuslar verilmesi uygundur (Şekil 3.57).



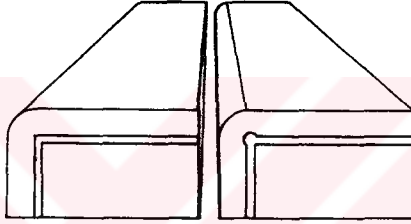
Şekil 3.57. Yuvarlatılmış profil /8/

Kesitte çok farklı et kalınlığına sahip profiller ekstrüzyondan sonra farklı sürede soğur. Bu da özellikle eloksal kaplamadan sonra yüzey farklılığı olarak meydana çıkar. Bu yüzden geçişlerin yuvarlatılmış olması gerekmektedir (Şekil 3.58)



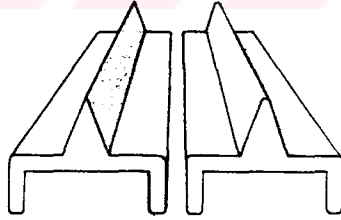
Şekil 3.58. Kesitte farklı et kalınlığına sahip profillerde yuvarlatılmış geçişler /8/

Bazen başka parçaların yerleştirilmesi için iç bölgelerde keskin köşeler gerekebilir. Şekil 3.59' da buna rağmen nasıl bir konstrüksiyon yapılabileceği gösterilmiştir.



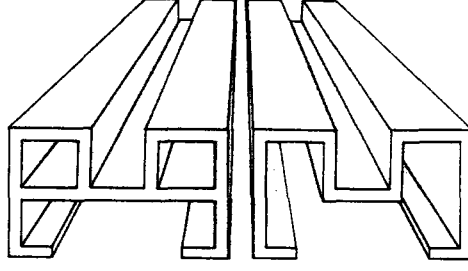
Şekil 3.59. Keskin köşe gereken konstrüksiyonlara örnek /8/

Mümkünse profile sivri uç kısımlar olmamalıdır. Sivri uç kısımlara yuvarlatma ile şekil verilmelidir (Şekil 3.60).



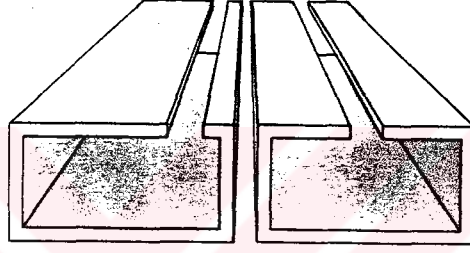
Şekil 3.60. Yuvarlatılmış sivri köşeler /8/

İçi dolu profil içi boş profilden daha çok tercih edilir. Takım imalatı daha kolaydır ve buna bağlı olarak takım maliyetleri düşmektedir (Şekil 3.61).



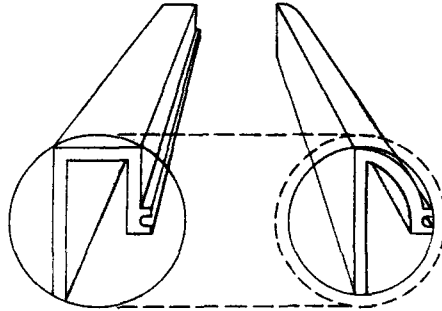
Şekil 3.61. İçi boş profil oluşumunu önlemek için geliştirilen konstrüksiyon /8/

Yarı açık profiller simetrik ve ana eksen üzerinde oldukları zaman daha kolay imal edilirler (Şekil 3.62).



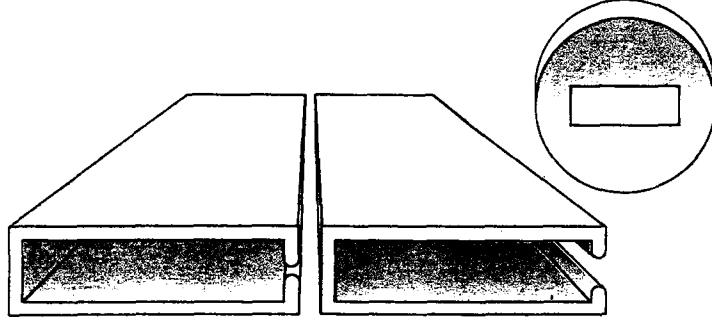
Şekil 3.62. Simetrik profil /8/

Daha küçük çevre çapı oluşturmak için profil kesiti matris merkezine doğru kaydırılır. Profil böylece daha kolay basılabilir (Şekil 3.63).



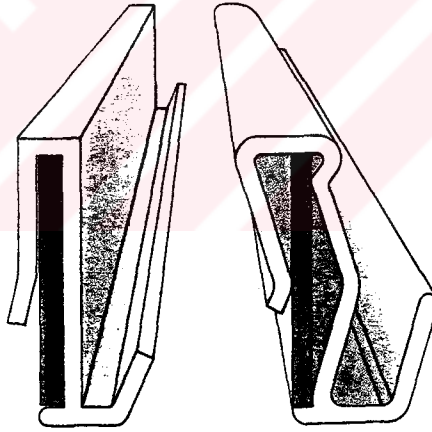
Şekil 3.63. Küçük çevre çapı oluşturmak /8/

Profilde dar ve derin bir açıklık olduğu zaman matris üzerindeki dil kısmı büyük yükler altında kalır. Çok çeşitli çözümler kullanılabilir. Yassı matris yerine daha pahalı olan dil kısmını destekleyecek köprülü matris kullanılabilir (Şekil 3.64).



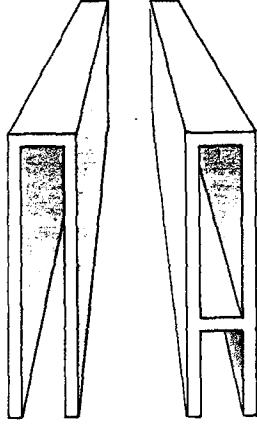
Şekil 3.64. Dar ve derin açıklıklar /8/

Profilin fonksiyonunu bozmadan radyuslar ve açıklık ölçüleri büyütülebilir. Şekil 3.65' te buna benzer bir örnek veriliyor. Yeni konstrüksiyonda ekstrüzyona daha uygun bir şekil çıkmıştır.



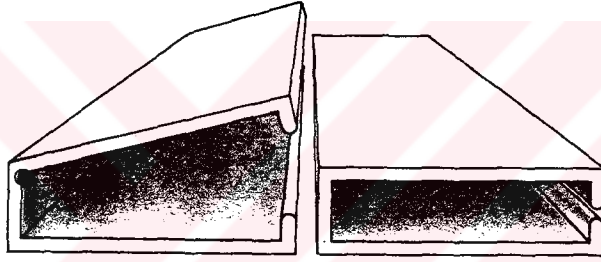
Şekil 3.65. Radyus ve açıklıkların değiştirilmesi /8/

İçi boş profile geçiş daha dar tolerans aralığı ister (Şekil 3.66).



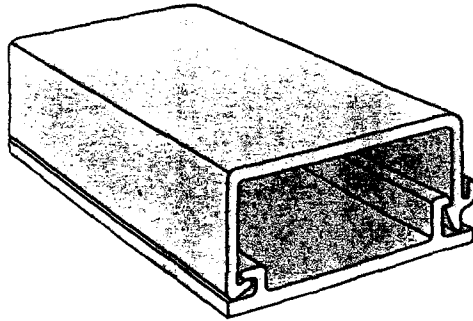
Şekil 3.66. İçi boş profile geçiş /8/

Profil Şekil 3.67' de görüldüğü gibi daha büyük bir açıklıkla ekstrüzyon edilir. Daha sonra basılarak son şeklini alır. Bu yöntem daha dar tolerans alanında çalışma imkanı verir.



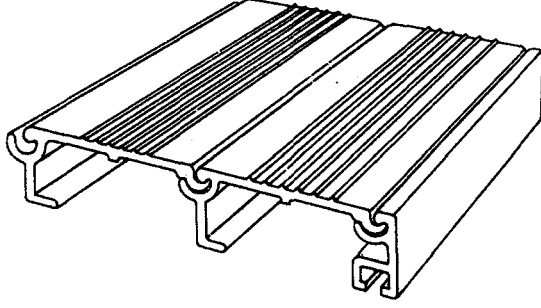
Şekil 3.67. Daha büyük açıklık kullanımı /8/

Devre kutuları, paneller gibi büyük kesitler birçok profilin birleştirilmesi ile daha kolay imal edilir. Daha ince malzeme, dar tolerans aralığı ve genelde daha düşük takım maliyetleri bunun sonucu olarak elde edilir. Şekil 3.68' deki gibi uzunlamasına iki profili bir kanal ile birleştirmek çok kolaydır.



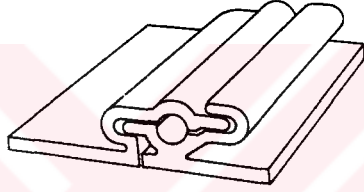
Şekil 3.68. Profillerin kanal ile birleşmesi /8/

Şekil 3.69' daki profiller bir çekiç vuruşu ile birbirine sabitlenebilir.



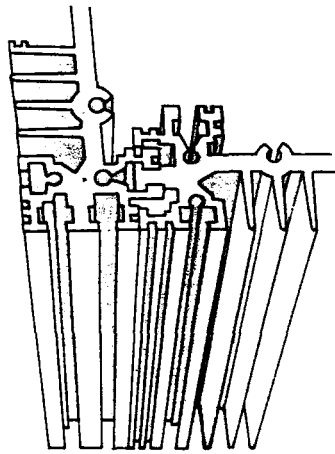
Şekil 3.69. Birleştirme örneği /8/

Şekil 3.70' teki parça profiller bir vida boşluğu meydana getirmektedirler. Bu sabit montaj veya son bağlantı kısmı olabilir.



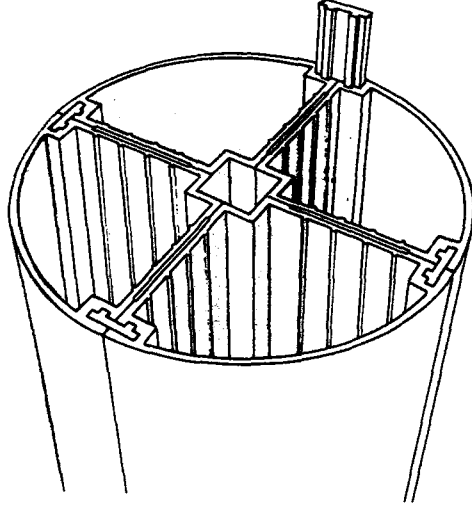
Şekil 3.70. Vida boşluğu /8/

Aşağıdaki konstrüksiyonda başka bir bağlantı şekli görülmektedir (Şekil 3.71).



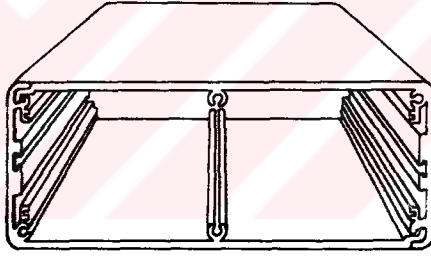
Şekil 3.71. Birleştirme örneği /8/

Şekil 3.72' deki birleştirme kısa bağlantı profili ile olmaktadır.

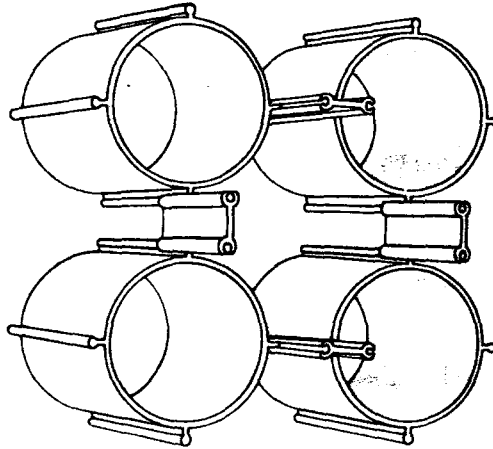


Şekil 3.72. Kısa bağlantı profili ile birleştirme /8/

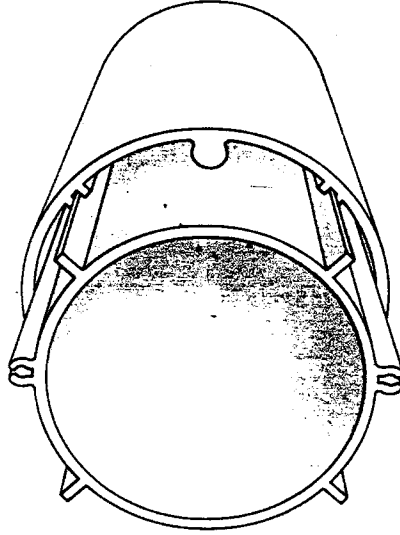
Şekil 3.73' te vida kanal yerleri profilin içine yerleştirilmiş bir elektronik kutusu görülmektedir. Bu bize montaj kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 3.73. Vida kanalları yerleştirilmiş profil /8/

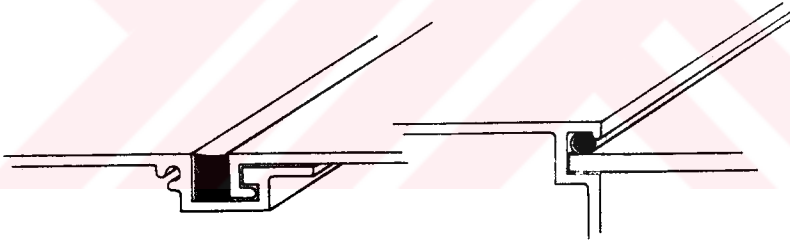


Şekil 3.74. Dekoratif ara parçalardan meydana getirilen profil /8/



Şekil 3.75. Kızakları sabitlemesi için vida kanallı, yataklı teleskop borusu /8/

Sızdırmazlık gereken iki profil veya bir profil ile başka bir konstrüksiyon kısmı arasına rahatlıkla silikon, lastik veya poliüretan dodurulabilir (Şekil 3.76).

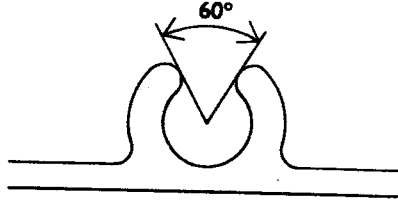


Şekil 3.76. Ara malzeme kullanılan konstrüksiyon örneği /8/

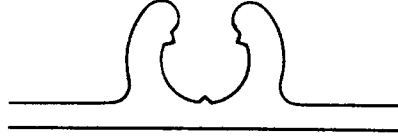
Küçük ve orta büyüklükteki konstrüksiyonlarda köşe birleştirmeleri için vida kanalları ekonomik bir çözümdür. Geleneksel dişi vida deliği vida kanalına göre daha pahalı olmaktadır. Az sayıdaki durumlarda bile vida kanalı ekonomik bir alternatiftir.

Vida kanallarına vida dişi açılacağı gibi kanal kendi kendine kesen vida ve sac vidası içinde hazırlanabilir. Milli kanalda kullanılabilir. Vida merkezlenir ve böylece sıkıştırma kolaylaşır. Aynı zamanda özel tolerans istemi yerine getirilebilir (Şekil 3.77 ve 3.78).

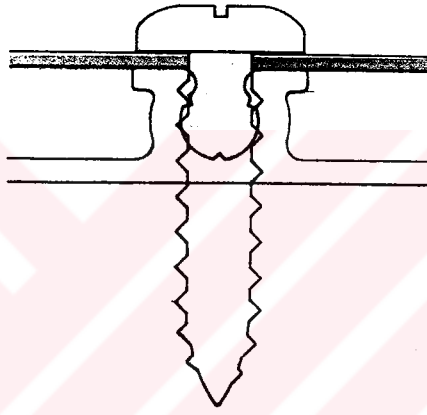
Bazen vidanın profil yönüne dik doğrultuda vidalanması gerekir. Bu gibi durumlarda Şekil 3.79' da görüldüğü gibi altlık kullanılır.



Şekil 3.77. Vida bağlantısı /8/

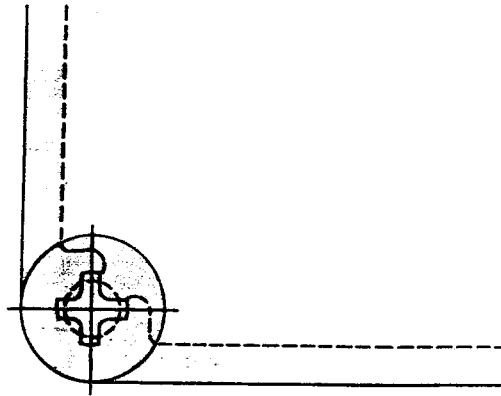


Şekil 3.78. Vida bağlantısı /8/



Şekil 3.79. Vida bağlantısı /8/

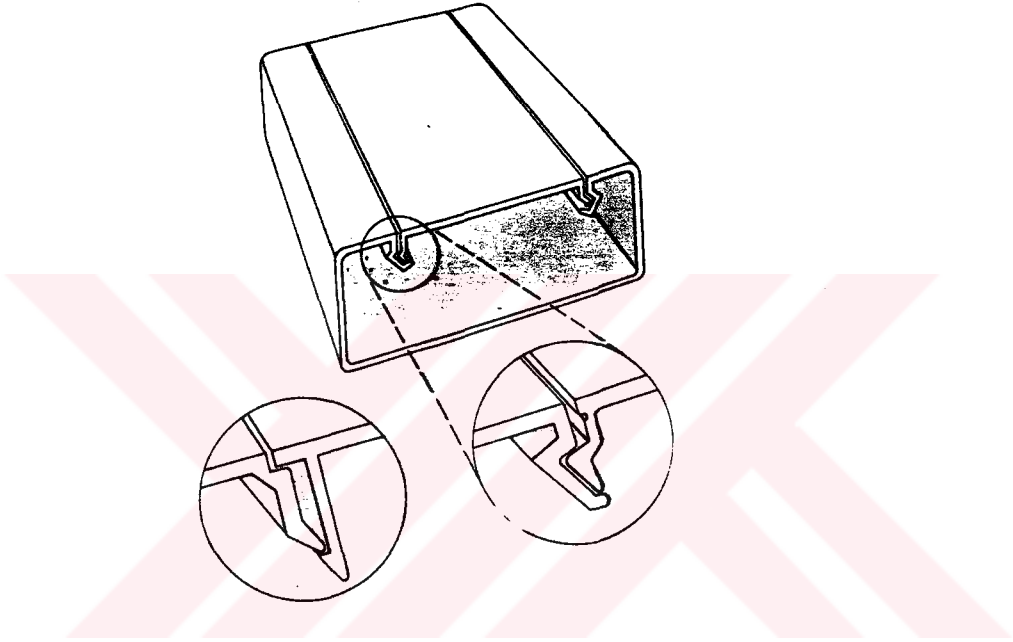
Eğer vida kanalı köşeye çok yakın yerleştirilmişse vida başının dışarıya çıkma ihtimali doğabilir (Şekil 3.80).



Şekil 3.80. Vida bağlantısı /8/

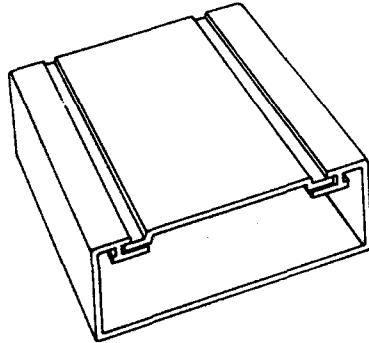
Aluminyumun elastikliği sayesinde geçme bağlantıları yapılabilir. Bu özüm çoğu zaman kaynak veya vida bağlantılarından daha uygun olur. Geçme bağlantıları cam çerçeveleri gibi yerlerde kullanılabilir. Ölçüler ve toleranslar her durum için ayrı ayrı belirlenmelidir. Alt parça ile üst parça arasındaki ölçülendirmeyi dikkatli bir şekilde yapmak gerekir.

Bağlantının tekrar sökülür olup olmayacağı şekil açısından önemlidir. Şekil 3.81' de sağ taraftaki bağlantı bir tornavida ile tekrar sökülebilir. İkinci bağlantı sabit bir bağlantıdır.



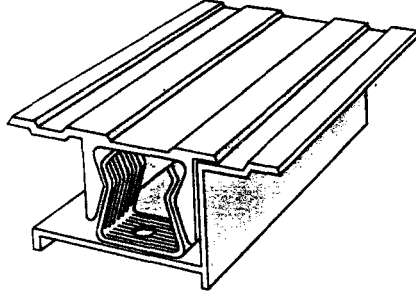
Şekil 3.81. Sökülebilir bağlantı /8/

Şekil 3.82' de sökülebilir bir bağlantı gösterilmiştir. Dış kısımdan tonavida ile açılabilir.



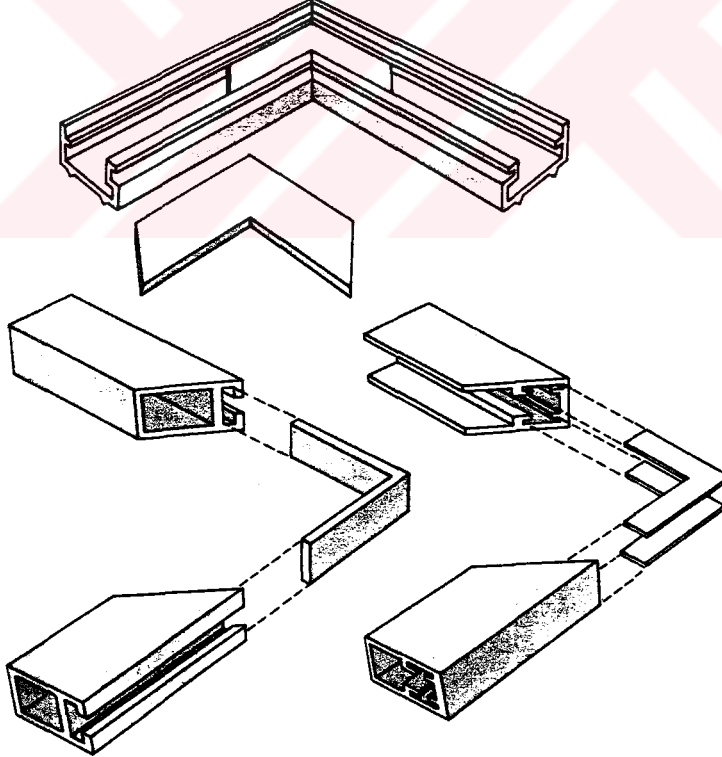
Şekil 3.82. Sökülebilir bağlantı /8/

Eğer bağlantı çok kez sökülüp takılacaksa yaylanan profil, klips, çelik yay veya plastik ile değiştirilebilir. Alüminyum sürekli değişken zorlamalar için zaman içerisinde uygun değildir (Şekil 3.83).



Şekil 3.83. Yaylı bağlantı /8/

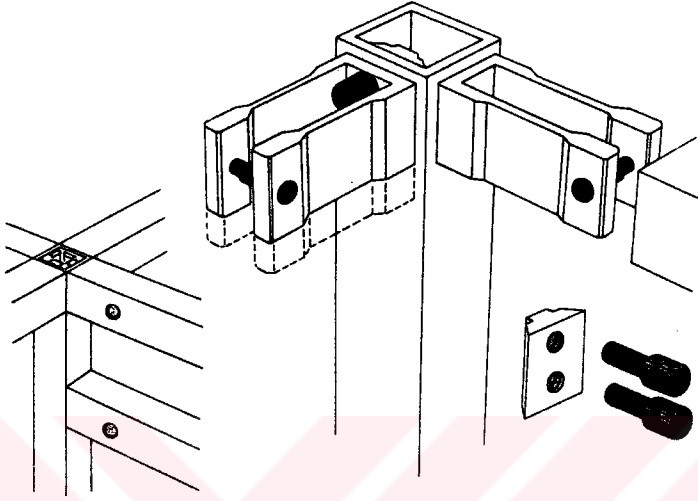
Büyük zorlamalar altında kalacak, mukavemet ve stabilite istenen köşe bağlantıları için çeşitli çözümler vardır. Dökülerek veya kısa alüminyum profiller ile yapılan köşe bağlantıları genelde ya ara parça ile yada vidalanarak sabitlenir (Şekil 3.84).



3.84. Köşe bağlantısı /8/

Resim çerçevelerinde ve basit konstrüksiyonlarda köşe bağlantıları basılan plakalarla sabitlenir.

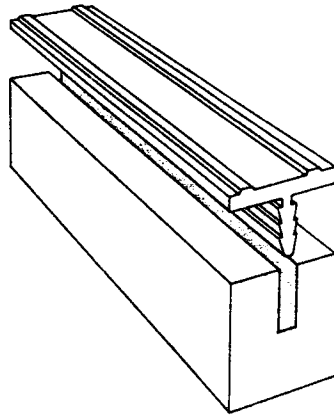
Şekil 3.85' te gösterilen düğüm profil istenilen kısıklıkta yapılarak her tür boru bağlantısı için kullanılabilir.



Şekil 3.85. Düğüm bağlantısı /8/

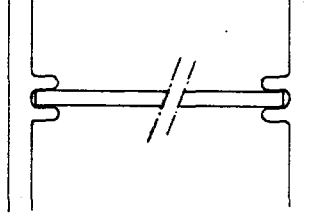
Alüminyum profillerin başka malzemelerle birleştirilmesi vida kanal bağlantısı veya başka bağlantı yöntemleri ile yapılır.

Sızdırmazlık elemanları veya benzeri plastik parçalar kolayca profillerdeki kanallara yerleştirilirler (Şekil 3.86).



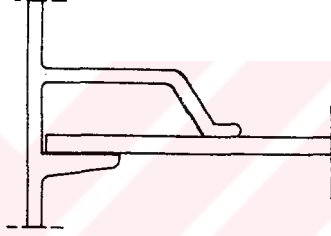
Şekil 3.86. Farklı malzeme ile birleştirme /8/

Plakalar normalde profil duvarlarındaki kanallara yerleştirilir (Şekil 3. 87).



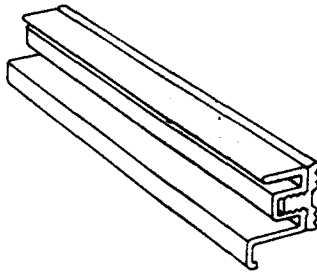
Şekil 3.87. Plakaların yerleştirilmesi /8/

Daha büyük konstrüksiyonlarda istenmeyen sesler bir bacağın uzatılarak plakayı germesiyle önlenabilir (Şekil 3.88).



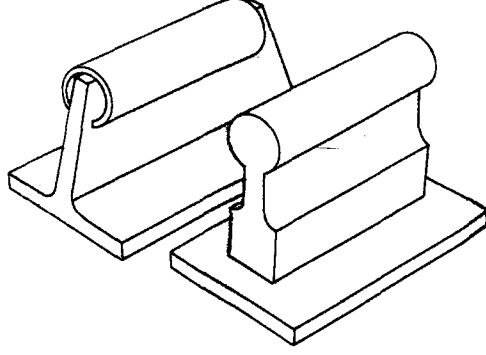
Şekil 3.88. Sıkıştırma ile yapılan montaj /8/

Alüminyum profilde olduğu gibi lastik profilde tırtıklı olabilir (Şekil 3.89). Bunun sebebi daha iyi bir tutma yüzeyi elde etmektir.



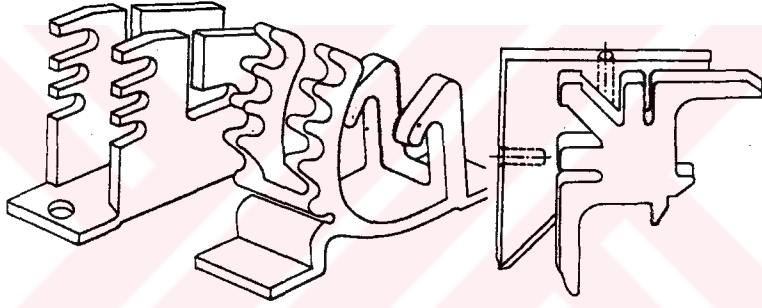
Şekil 3.89. Tırtıklı bağlantı /8/

Dökülerek yada bloktan frezelenerek elde edilen parçalar genellikle daha pahalı olabilir. Eğer daha basit bir şekilde aynı fonksiyon elde ediliyorsa o yöntem kullanılmalıdır (Şekil 3.90).



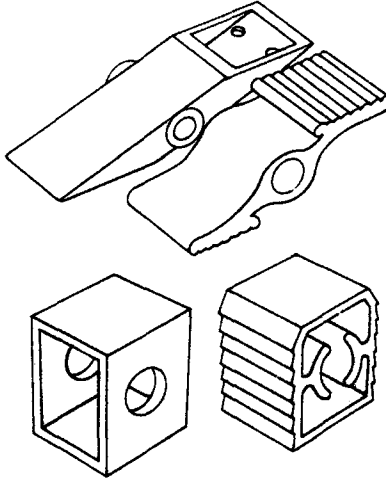
Şekil 3.90. Değişik imalat yöntemleriyle elde edilebilecek bir profil /8/

Sacdan yada döküm parçasından yapılacak konstrüksiyon çok zor olabilir. Amaç profili iyi düşünmek ve malzemeyi ihtiyaç olan yerde kullanmaktır (Şekil 3.91).



Şekil 3.91. Aynı fonksiyonu gören iki farklı konstrüksiyon /8/

İşlenmiş ve dökülmüş parçalara nazaran alternatif profil çözümleri genelde daha iyi fonksiyon özelliği ve daha düşük maliyet sağlarlar (Şekil 3.92). /8/



Şekil 3.92. Alternatif çözümleri olan bir örnek /8/

#### 4.0. SONUÇ

Teorik ve literatür araştırması şeklinde yaptığım bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1-Bir matrisin düzenlenmesi ve imalinde akış şartları, ekstrüzyon basıncı ve profilin geometrik şekli göz önünde bulundurulmalıdır.

2-Malzeme akışının dengelenmesi ve profilin hatasız imali için profilde malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde yerleştirilmelidir.

3-Simetrik bir profilde simetri eksenini ve ağırlık merkezi matrisin simetri eksenini ve ağırlık merkezi ile çakışmalıdır.

4-Çok delikli matrislerde delikler mümkün olduğu kadar simetrik şekilde yerleştirilmelidir. Profillerin ağırlık merkezi genel olarak matrisin ağırlık merkezine yerleştirilmelidir.

5-Büyük kesit farklılıkları içermeyen simetrik veya simetrik olmayan profillerin ekstrüzyonunda matris üzerinde tek bir profil deliği var ise profil kesitinin ağırlık merkezi matrisin ağırlık merkezi ile çakışmalıdır.

6-Uygun olmayan matris delik şekilleri ve dizaynı, malzeme akışını idealden saptırmakta, ıskarta oranını çoğaltmakta, profil yüzey kalitesini bozmakta ve takım ömrünü kısaltmaktadır. Bütün bu faktörler dikkate alınarak uygun matris şekli üretimde kullanılmalıdır.

7-Karışık kesitli profillerin ekstrüzyonunda şekil değiştirme bölgesinde ortaya çıkan ilave kuvvetler nedeniyle eş kesitli dönel profillere nazaran daha fazla ekstrüzyon kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır.

8-Ekstrüzyon matrisi profil şekli ve delik sayısından bağımsız olarak matris yapısına, matris açısına, matris kanal uzunluğuna bağlı olarak ekstrüzyon kuvvetini etkiler.

9-Matris kanal uzunluğu profil yüzey kalitesini ve geometrik şeklini, takım ömrünü ve ekstrüzyon kuvvetini etkilemektedir.

**KAYNAKÇA:**

1-Akeret,R., 1983. Einfluß der Querschnittsform und der Werkzeuggestaltung beim Strangpressen von Aluminium Teil 1: Vorgänge in der Umformzone, ALUMINIUM 59, Aluminium-Verlag GMBH, 9: 665-669.

2-Akeret,R., 1983. Einfluß der Querschnittsform und der Werkzeuggestaltung beim Strangpressen von Aluminium Teil 2: Die Reibung im Preßkanal, ALUMINIUM 59, Aluminium-Verlag GMBH, 10: 745-750.

3-Ames,A., 1992. Werkzeuge zum Strangpressen von Al-Werkstoffen, Alusingen-Werkzeugbau, Singen.

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

5-Kopp,R., und Voswinckel,G., 1984. Zum Einfluß der Profilform auf die Stragpreßkraft, ALUMINIUM 60, Aluminium-Verlag GMBH, 8: 590-594.

6-Lange,K., 1988. Umformtechnik Handbuch für Industrie und Wissenschaft Band 2: Massivumformung, Springer-Verlag, Berlin.

7-Radtke,H., 1990. Optimieren des Strangpressens mit Hilfe der Matrizengestalt, Bänder Bleche Rohre, 10: 39-45.

8-SAPA, Katalog 1995. Konstruktion mit Aluminiumprofilen, Schweden.

9-Sönmez,H., 1989. Metal Ekstrüzyonu, Eğitim Yayınları A.Ş., İstanbul.

10-Spur,G., und Stöferle,T., 1984. Handbuch der Fertigungstechnik Band 2: Umformen, Carl Hanser-Verlag, München.

11-Weitzel,F., 1991. Aus der Geschichte des Strangpressens, ALUMINIUM 67, Aluminium-Verlag GMBH, 4: 337-340.

12-Weitzel,F., 1992. Gestaltung und Konstruktion von Strangpreßwerkzeugen Teil 2, ALUMINIUM 68, Aluminium-Verlag GMBH, 10: 867-870.