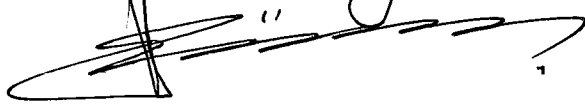


**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Doç. Dr. Hüseyin Sönmez



Prof. M. Emin Yuruc



Prof. Dr. Niyazi Sönmez

**MATRİS DİZAYNI VE ISIL İŞLEMİNİN
İNCELENMESİ**

79243

Mak. Müh. Osman Cem ÇEBİ

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
AUSZUG	ii
1. GİRİŞ	1
1.1 Ekstrüzyon Yöntemleri.....	4
1.1.1 Direkt ekstrüzyon	4
1.1.2 İndirekt ekstrüzyon.....	6
1.1.3 Hidrostatik ekstrüzyon	8
1.2 Ekstrüzyon Edilebilen Malzemeler ve Malzeme Akışı	11
1.2.1 Ekstrüzyon edilebilen malzemeler	11
1.2.1.1 Kurşun ve kalay	11
1.2.1.2 Alüminyum ve alaşımları	12
1.2.1.3 Magnezyum ve alaşımları	14
1.2.1.4 Çinko ve alaşımları.....	15
1.2.1.5 Bakır ve alaşımları	15
1.2.1.6 Çelik ve alaşımları	15
1.2.1.7 Diğer metaller	16
1.2.1.8 Toz metallerin ekstrüzyonu	16
1.2.2 Ekstrüzyon işleminde malzeme akışı	18
1.3 Ekstrüzyon İşleminde Sıcaklık Kavramı.....	28
1.3.1 Sıcaklığın ekstrüzyon işlemi üzerindeki etkileri	28
1.3.2 İzotermal ekstrüzyon.....	39
1.3.2.1 İstenen blok sıcaklık profili	39
1.3.2.2 Eksenel blok sıcaklık profili vasıyası ile izotermal üretim	41
1.3.2.3 Değişken pres hızının tespiti	41
1.3.2.4 Ortalama ekstrüzyon hızı ve maksimum ekstrüzyon çıkış sıcaklığı.....	44
1.3.2.5 Blok giriş sıcaklığı	46
1.4 Ekstrüzyon İşleminde Basınç Kavramı	48
1.4.1 Basınç ve kuvvet kavramları.....	48
1.4.2 Kuvvet ve iş büyüklüklerinin hesaplanması	52
1.5 Ekstrüzyon Takımları.....	58
1.5.1 Alıcı	58
1.5.2 İstampa, ön levha, malafa.....	60
1.5.3 Matris	61

2.	MATRİS DİZAYNI VE MATRİS MALZEMELERİ.....	64
2.1	Matris Dizaynı.....	64
2.1.2	Matris akma yüzyeleri.....	69
2.1.3	Malzeme akışının kontrolü amacı ile ön oda kullanımı.....	70
2.1.4	İçi boş profillerin üretiminde malzeme akışının kontrolü amacı ile kullanılan kaynak odaları	72
2.1.5	Büzülme miktarı	77
2.1.6	Birden fazla boşluğu sahip takımlar	79
2.1.7	Takım boyutları	81
2.2	Profil Dizaynı.....	84
2.2.1	Tasarım açısından dizayn	84
2.2.2	Tolerans değerleri.....	91
2.3	Matris İmalatında Kullanılan Malzemeler.....	94
2.3.1	Çelik alaşımları ve alaşım elementlerinin incelenmesi	96
2.3.1.1	Alaşımlama işleminin amacı.....	96
2.3.1.2	Alaşım elementlerinin çelik özelliklerine etkileri	96
2.3.1.3	Önemli alaşım elementlerine ait karakteristik özellikler	99
2.3.2	Ekstürzyon presi takımlarında kullanılan sıcak iş çelikleri.....	105
2.3.2.1	Sıcak iş çeliklerinin imali	108
2.3.2.2	Sıcak iş çeliklerinin işlenmesi	108
2.3.2.3	Ekstrüzyon takımlarında kullanılan sıcak iş çeliklerinin yapı ve özelliklerinin incelenmesi	109
2.3.2.4	En sık kullanılan matris malzemelerinin genel olarak incelenmesi.....	134
3.	MATRİSLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	136
3.1	Isıl İşlemi Oluşturan Basamaklar	136
3.1.1	Sertleştirme.....	136
3.1.1.1	Östenitleştirme	136
3.1.1.2	Soğutma	136
3.1.2	Tavlama	137
3.2	Sertleştirme ve Tavlama İşlemlerinin Uygulanması.....	137
3.2.1	Ön hazırlık	137
3.2.2	Sertleştirme.....	138
3.2.2.1	Östenitleştirme	138
3.2.2.2	Soğutma	141
3.2.2.3	Tavlama	144
3.3	Sıcak İş Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemler.....	146
3.3.1	Yumuşak tavlama	146
3.3.2	Gerilim giderme tavlaması	146
3.3.3	Sertleştirme.....	150
3.3.3.1	Sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtma	150
3.3.3.2	Östenitleştirme	150

3.2.2.3	Soğutma	150
3.2.2.4	Temperleme	151
3.4	Takımlara Uygulanan Isıl İşlemden Dolayı Meydana Gelen Başlıca Hatalar	154
3.5	Matris Çatlamaşının Isıl İşlem ile Bağlantısını Belirleyen Örnek Bir Çalışma	156
4.	SONUÇLAR	162
	KAYNAKLAR	164
	EKLER	166
	Ek 1 1.1'den 1.6 Numaralı Denklemlere Kadar, Hesaplamalarda Kullanılan Malzeme Değerleri	166
	Ek 2 Hafif Metaller İçin Ekstrüzyon Takım Malzemeleri	167
	Ek 3 Ağır Metaller İçin Ekstrüzyon Takım Malzemeleri	168
	Ek 4 Sıcak İş Çeliklerine Ait Kimyasal Bileşim ve Isıl İşlem Verileri	169
	Ek 5 Isıl İşlemden Dolayı Meydana Gelen Başlıca Hatalar ve Sebepleri	170
	Ek 6 1.2344 Malzeme Numaralı Ekstrüzyon Matrisinde Isıl İşlem Hatasından Dolayı Gelişen Plastik Deformasyon	172
	ÖZGEÇMİŞ	173

ÖZET

Ekstrüzyon işleminde, diğer imalat yöntemlerinde olduğu gibi, yüksek kalite ve verimli bir çalışma hedeflenmelidir. İşlem sürecinin meydana gelebilecek hatalar nedeni ile duraksaması, işletme üretimi için önemli bir tehlike oluşturabilir. Teorik bir literatür araştırması olan bu çalışma dahilinde, ekstrüzyon prosesinin sürekliliğini tehdit ederek, amaçlanan kalite ve maliyet hedeflerine erişilmesini engelleyen matris çatlamaalarının nedenlerine inilerek, bu tür hatalar ile birinci dereceden bağlantılı olan, matris dizaynı ve ısıl işlemleri konusu incelenmiştir.

İlk olarak, ekstrüzyon işlemleri bir bütün halinde ele alınıp, basınç ve sıcaklık gibi, ekstrüzyon işlemleri üzerinde direkt etkileri görülen kavramlar ele alınmış, matris tasarımımda en büyük paya sahip olan malzeme akışı üzerinde durulmuştur. Daha sonra ise profil dizaynı ve matris dizaynı belirli standartlar dahilinde ele alınmış, ekstrüzyon tekniği ve malzeme akışı ile, yapılan tasarımı uyumlu bir çalışma ortaya çıkarması için gerekli unsurlar verilmiştir.

Matris imalinde büyük önem taşıyan, matris malzemesinin seçimi ve tadbik edilmesi gereken ısıl işlemler, sıcak iş çelikleri ele alınarak incelenmiştir. Bütün bunların sonucunda, hatalı bir matris tasarımı ile yanlış uygulanan bir ısıl işlemler, matris ömrü üzerindeki olumsuz etkilerine değinilmiştir. Hata ve neden ilişkileri üzerinde durulup sorunlar tanımlanmış ve bu yöntem ile çözüm yoluna gidilmesi amaçlanmıştır. Başarılı bir matris tasarımı ve doğru uygulanan ısıl işlemler, üretici firmaya verimli imalat şartlarını sağlayacak önemli basamaklar oldukları unutulmamalıdır.

AUSZUG

Wie bei den anderen Fertigungsverfahren sind, sollte auch bei Strangpressen hohe Qualitaet und Wirkunsvollarbeitsweise gezielt werden. Eine Unterbrechung des Arbeitsprozesses wegen aufgetauchten Fehler würden sehr grosse Gefahr für die Fertigung sein. Im Rahmen dieser Studienarbeit, die eigentlich eine Theoretische Literatur Untersuchung ist, wurden durch Analysieren der Gründe der auftauchenden Matrizenrisse, die Matrizen entwürfe und deren Waermebehandlung bearbeitet, die Dauerhaftigkeit der Strangprozesse in Gefahr setzen und die gezielte hohe Qualitaet und niedrige Herstellungskosten verhindern.

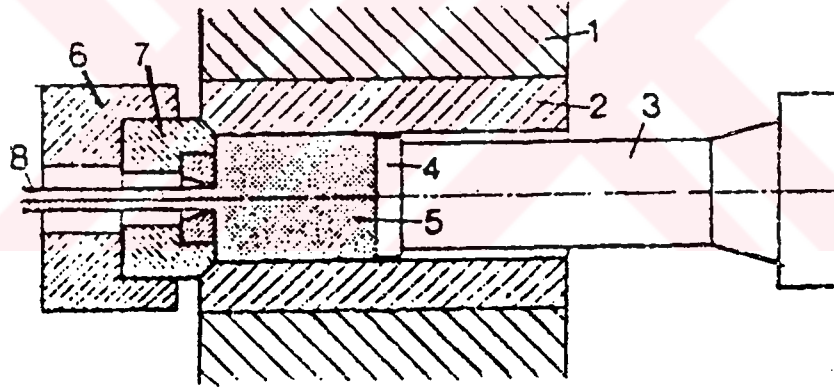
Zuerst wurde das Verfahren des Strangpressens und die direkten ausseren Einflüsse wie Waerme und Druck auf den Strangprozess und das Fliessen des Materials, das den Entwurf des Matrize schwerwiegend orientiert, untersucht. Dann wurden die Entwürfe der Profile und der Matrize unter bestimmten Standart in die Hand genommen, durch die Technik des Strangpressens, das Fliessen den Materials und den erzielten Entwurf hat man die Elemente einer harmonischen Arbeit vorgelegt.

Die Wahl der Materialien, die für die Herstellung den Matrize eine grosse Rolle spielen und deren Waermebehandlungen und die Warmarbeitsstaehle wurden ausführlich behandelt. Schliesslich wurden die negativen Einflüsse eines fehlerhaften Matrizenentwurfes und falscher Waermebehandlung auf die Lebensdauer der Matrize untersucht. Durch die Beziehung zwieschen Fehler und Ursachen wurden die Probleme identifiziert und deren Lösungen gesucht. Es soll nicht auser Acht gelassen werden, dass ein erfolgreicher Matrizenentwurf und richtige Waermebehandlung sind für den Hersteller die Wichtigsten Punkte für eine Produktive Herstellung.

1. GİRİŞ

Günümüze ait şekil verme işlemleri içinde, teknik ve ekonomik açıdan değerlendirme yapıldığında en üst sıralarda yer alan ekstrüzyon işlemi, hayatın her alanında karşımıza çıkan birçok ürünün imalinde alternatifsiz tek imalat yöntemi olarak önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen profil çeşitliliği ve işlemin prensip olarak basitliği, söz konusu yöntemin en dikkat çekici yönüdür.

Ekstrüzyon işlemi çok özet bir şekilde tarif edilmek istenirse, kapalı bir hacim içerisindeki malzemenin belli bir matris açıklığından, yüksek kuvvet altında preslenmesidir. İşlemden, kesit alanındaki azalma en belirgin faktördür.



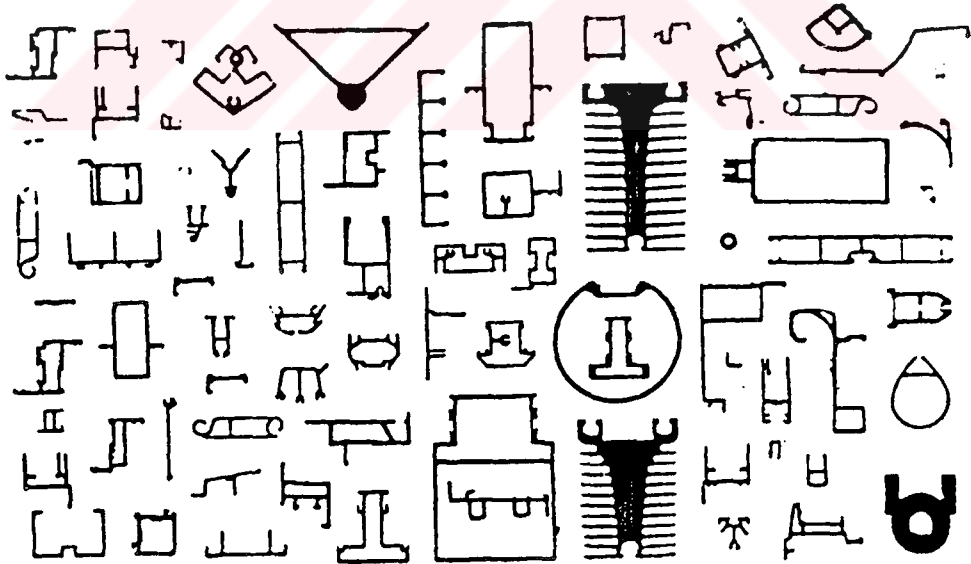
Şekil 1.1 Ekstrüzyon işlemi. [16]

- | | |
|--------------|--|
| 1- Alıcı | 5- Blok |
| 2- İç gömlek | 6- Takım tutucu |
| 3- İstampa | 7- Matris ile birlikte ekstrüzyon takımı |
| 4- Ön levha | 8- Ekstrüze edilmiş profil |



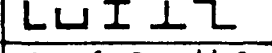

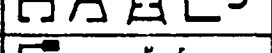
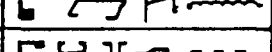
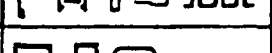
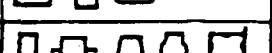
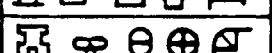

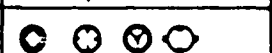


Bu çalışmada, ekstrüzyon işleminde en büyük önemi taşıyan, ve ürüne nihayi şeklini veren parçalar olan “matrisler” konusuna değinilecektir.

Ekstrüzyon işleminin geçmişine değinmek gerekirse ilk uygulama, 1810 yılında S. Bramah adındaki İngiliz araştırmacının hidrolik bir pres icat etmesi ile görölmüştür. Bu konstrüksyon ile, bugünkü kurşun boru imaltının temel prensibine sahip olan kurşun ekstrüzyonu gerçekleştirilmiştir. İşlemin yüksek ergime noktasına sahip malzemelere uygulanması ise, A. Dick adlı alman araştırmacının çalışmaları eşliğinde 1900’lü yılların başlarına rastlar. Bu yıllardan sonra kurşun harici metallerini ekstrüzyonu da gerçekleştirilmeye başlanmıştır, fakat en büyük ilerleme yıllar içinde imal edilen koplike ekstrüzyon presleri ve en önemlisi sıcak iş çelikleri ile çalışılmaya başlanması ile sağlanmıştır.

Söz konusu şekil verme işleminin sayesinde her çeşit profilin, alüminyum, bakır ve elik alaşımlarından elde edilmesi mümkündür.



Şekil 1.2 Tipik ekstrüzyon profilleri. [28]

A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	
J	
K	
L	
M	
N	

- A- Çubuklar
 B- Form verilmiş çubuklar
 C- Standart profiller
 D- Basit dolu profiller
 E- Yarı açık profiller
 F- İnce kesit geçişine sahip profiller
 ve cidar kalınlığı az geniş profiller
 G- Uygunsuz çıkıntı ve dar aralığa sahip
 profiller
 H- Basit forma sahip borular
 J- Basit içi boş profiller
 K- Zor içi boş profiller
 L- Dış profile sahip borular
 M- İç profile sahip borular
 N- Büyük ve geniş içi boş profiller

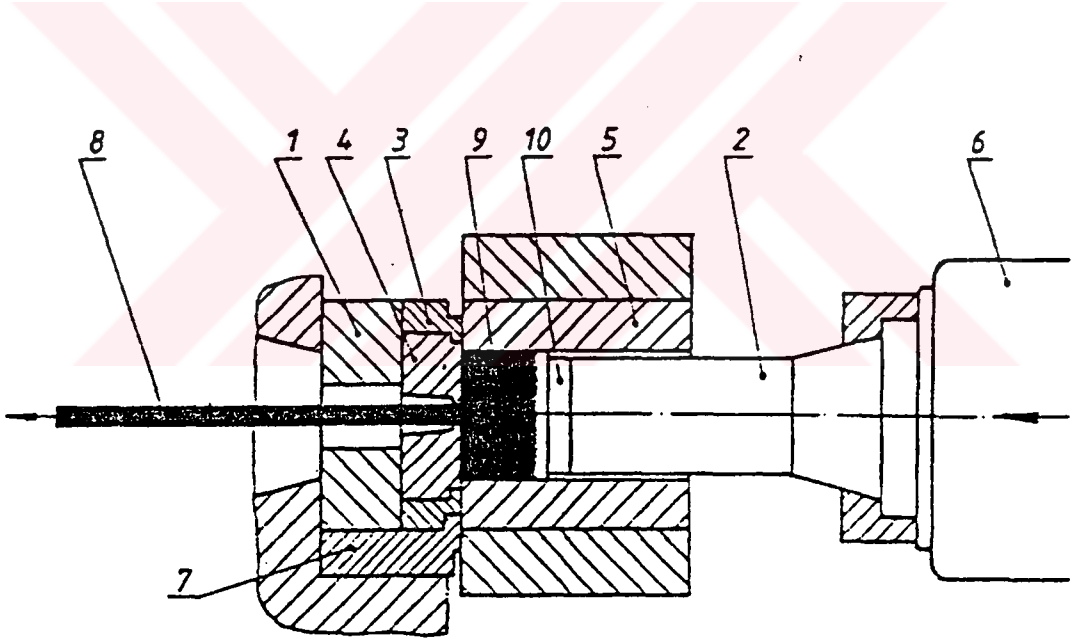
Şekil 1.3 Artan zorluk derecelerine göre alüminyum ekstrüzyon profilleri. [19]

1.1 Ekstrüzyon Yöntemleri

Ekstrüzyon yöntemleri, ele alınan kriterlere göre birçok alt gruba ayrılabilceği gibi, bu çalışma dahilinde, uygulamanın genel olarak özetlenebilmesi amacı ile üç ana yöntem genel hatları ile ele alınacaktır.

1.1.1 Direkt ekstrüzyon

Bu yöntemde, ekstrüzyon işlemine tabi tutulan blok ile ıstampanın hareket yönü aynıdır. Şekil değiştirme sıcaklığına kadar ısıtılmış blok pres içine yerleştirilir ve ıstampa yardımı ile malzeme matristen çıkmaya zorlanır. İşlemin sonunda ise ekstrüzyon artığı, ekstrüze edilmiş bloktan ayrılır.

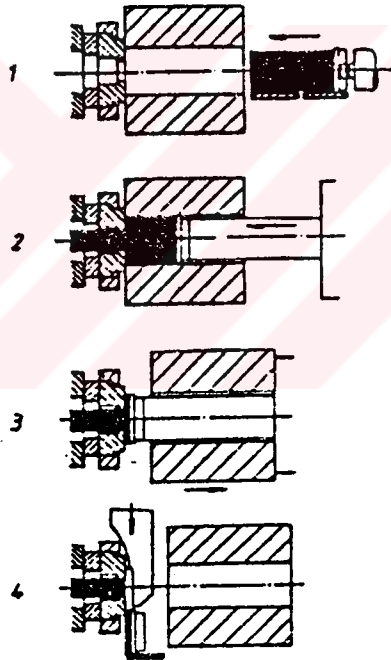


Şekil 1.4 Direkt ekstrüzyon. [28]

- 1- Destek, 2- İstampa, 3- Takım tutucu, 4- Matris, 5- Alıcı, 6- Piston,
7- Matris tutucu taşıyıcısı , 8- Profil, 9- Blok, 10- Ön levha

Direkt ekstrüzyon işleminde işlem sırası aşağıdaki gibi gelişir :

- Belli sıcaklığa kadar ısıtılmış blok alıcı içine yerleştirilir.
- İstampa ve ön levha tarafından iletilen kuvvet ile, hareket eden blok matrsten çıkmaya zorlanır ve ilk yığılmadan sonra blok, matris şekline uygun bir form ile dışarı çıkmaya başlar. Bu işlem, ekstrüze edilmemiş belli kalınlıkta disk şeklinde malzeme kalıncaya kadar devam eder.
- Alıcı takımdan ayrılır.
- Arta kalan parça kesilerek ayrılır ve işlem en baştaki konumdan tekrar başlar.



Şekil 1.5 Direkt ekstrüzyonda proses akışı. [28]

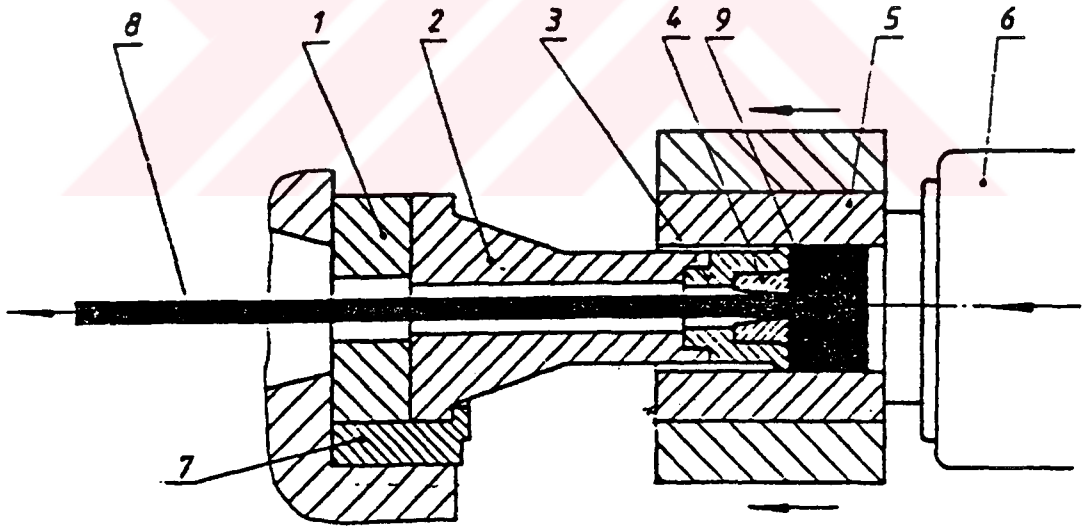
- 1- Bloğun alıcı içerisine yerleştirilmesi
- 2- Bloğun preslenmesi
- 3- Alıcının geri hareketi
- 4- Ekstrüzyon artığının ayrılması.

1.1.2 İndirekt Ekstrüzyon

Bu yöntemde, matris ıstampa ile birlikte hareket eder ve malzeme akışı ile kuvvetin uygulandığı yön, birbirine zıt istikamettedir.

Bu tür bir uygulamanın en önemli özelliği, alıcı ile blok arasında relatif bir hareketin oluşmaması ve dolayısı ile her ikisi arasındaki sürtünmenin ortadan kalkmış olmasıdır. Bunun sonucu, ekstrüzyon yükündeki azalmaya ek olarak deformasyon ve sürtünme nedeni ile oluşan sıcaklıkta bir azalma söz konusu olur. Böyle bir uygulama ile aşağıda söz edilen avantajlara sahip olunur :

- Direkt ekstrüzyona oranla maksimum yükte 25-30% civarı azalma gerçekleşir.
- Blok ile alıcı arasında relatif bir hareket bulunmadığından dolayı, ekstrüzyon basıncı blok uzunluğunun bir fonksyonu değildir.

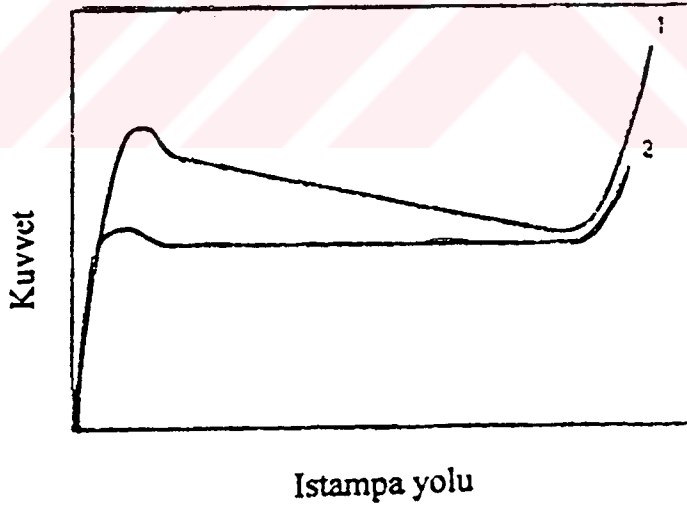


Şekil 1.6 İndirekt ekstrüzyon. [28]

- 1- Destek, 2- İstampa, 3- Takım tutucu, 4- Matris, 5- Alıcı, 6- Piston,
7- Matris tutucu taşıyıcısı , 8- Profil, 9- Blok, 10- Ön levha

- Blok ile alıcı arasında sürtünme ısısı oluşmayacağından dolayı ekstrüzyon işleminin sonuna doğru blok yüzeyinde sıcaklık artışı gerçekleşmez. Bu nedenle köşe ve yüzeylerde çatlak oluşum meyili azalır ve ekstrüzyon hızında bir miktar artış görülür.
- Azaltılan sürtünme ve sıcaklık değerleri ile daha uzun takım ömürlerine ulaşılır.

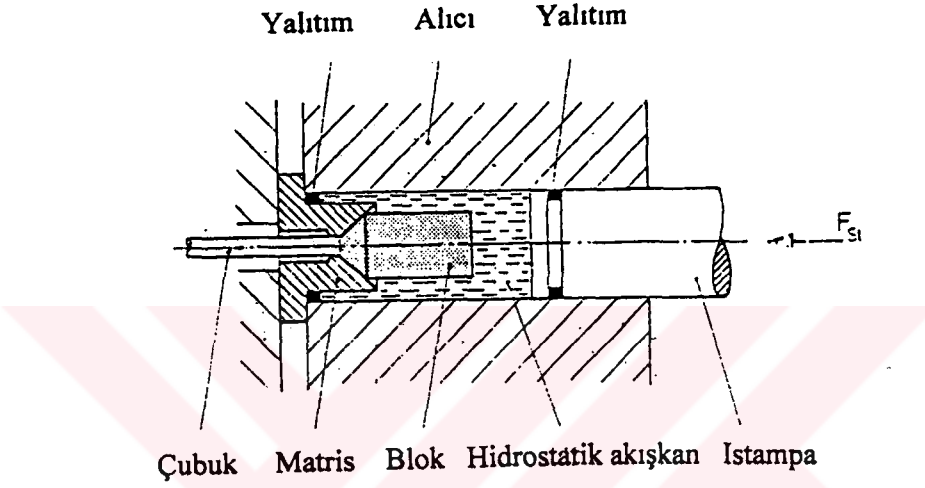
İndirekt ekstrüzyonun en büyük dezavantajı ise blok yüzeyindeki saf olmayan maddelerin blok ile birlikte ekstrüze edilmesi ve dolayısı ile iyi olmayan bir yüzey kalitesinin ortaya çıkmasıdır. Bu nedenle ön bir talaş kaldırma işleminden geçirilmiş blokların kullanılması, kalite bakımından dikkat edilmesi gereken bir husustur. Ayrıca, ekstrüzyon profil kesitleri ıstampa delik çapları ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 1.7 Direkt ekstrüzyon (1) ve indirekt ekstrüzyon (2) için elde edilmiş yük-ıstampa yolu eğrileri. [18]

1.1.3 Hidrostatik ekstrüzyon

Hidrostatik ekstrüzyonda blok, bir basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve ekstrüzyon işlemi ıstampanın direkt teması yerine sıvı akışkan tarafından uygulanan kuvvet yardımı ile gerçekleşir. Alıcı içindeki sızdırmazlık matris ve ıstampa tarafından sağlanmaktadır. Yöntemin şematik gösterimi aşağıdaki gibidir;



Şekil 1.8 Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi. [19]

Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi genellikle sıcak, soğuk ve konvansiyonel yöntemler ile ekstrüze edilemeyen gevrek malzemelerin ekstrüzyonunda kullanılır. Ayrıca hidrostatik ekstrüzyon ile, sıcak veya soğuk olarak uygulanan konvansiyonel ekstrüzyon işlemleri ile elde edilen ekstrüzyon oranlarının çok daha üzerine çıkılır.

Bu yöntem ile sağlanan başlıca avantajlar ise şunlardır :

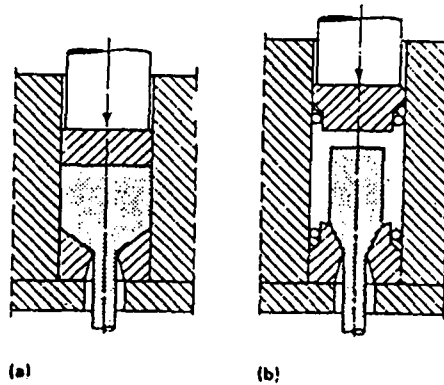
- Blok ile alıcı arasında sürtünme bulunmaz ve bundan dolayı ekstrüzyon başlangıcında daha düşük bir basınç değeri elde edilir ve her boydaki blok teorik olarak ekstrüze edilebilir.
- Matriste oluşan sürtünme, şekil değişimine uğrayan metal ile kalıp arasında oluşan yağlayıcı film yardımı ile azaltılır.

- Düşük ekstrüzyon basınçları ve azaltılmış matris sürtünmesi yardımı ile daha yüksek ekstrüzyon oranları elde edilebilir.
- Alıcı içerisindeki üniform hidrostatik basınç nedeni ile yalnız düz bloklar değil, sarılmış tellerin ekstrüzyonuna da imkan tanınır.

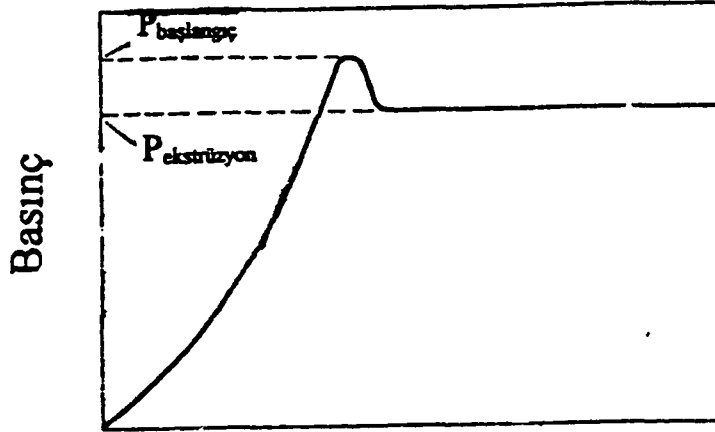
Hidrostatik ekstrüzyon uygulamasında limitleyici faktörler ise şöyledir:

- Yüksek basınç (2 GPa'ya kadar) altındaki sıvının kullanımı için yüksek bir sızdırmazlığın sağlanması gerekir. Alıcı ile takım ve alıcı ile ıstampada arasında uygulanan sızdırmazlık işleminin yanında, blok ucu ile matris arasında yine aynı şartların sağlanması gerekir. Bu işlem için ise blok ucunun matris açıklığı göz önünde bulundurularak belli bir forma sahip olması gerekir. Bu ise, talaş kaldırma işlemi ile birlikte blok ucunun hafif olarak sivriltilmesi ile gerçekleştirilir.
- Matris açısına uyumlu bir sivirtme işleminin yanında blok, özellikle döküm bloklar kullanıldığı zaman, yüzey kesimleri, iyi bir ürün kalitesinin eldesi amacı ile işlenmelidir.

Bu yöntemde blokların ön ısıtma işlemine tutulmaları gerekli değildir. Elde edilen maksimum ekstrüzyon hızı diğer uygulamalara kıyasla daha fazladır.



Şekil 1.9 Konvansyonel yöntem (a) ile hidrostatik ekstrüzyon (b) işleminin karşılaştırılması. [18]



İstampa yolu

Şekil 1.10 Hidrostatik ekstrüzyonda, ıstampa hareketi ile birlikte basıncın değişimi.[18]

Tablo 1.1 Ekstrüzyon uygulamalarının başlıca avantaj ve dezavantajları. [28]

Ekstrüzyon uygulaması	Avantaj	Dezavantaj
Direkt Ekstrüzyon	Kolay uygulanabilirlik, iyi yüzey kalitesi.	Blok ile alıcı arasında yüksek sürtünme, yükselen sıcaklık değerleri ile değişen malzeme özellikleri, düşük ekstrüzyon hızları.
İndirekt Ekstrüzyon	Yüksek ekstrüzyon hızı, düşük deformasyon dirençleri, düşük ekstrüzyon artığı, alıcıda çok düşük sürtünme değerleri.	Ürün çapının sınırlı olması, soğutma işleminin daha zor olması, iyi yüzey kalitesine sahip blokları kullanıma zorunluluğu.
Hidrostatik Ekstrüzyon	İdeal akışın gerçekleşmesi, gevrek malzemelerin ekstrüzyonu, $\phi = 900\%$ 'e kadar varan deformasyon oranları.	Yüksek basınç nedeni ile oluşan sızdırmazlık problemleri (20000 bar'a kadar).

1.2 Ekstrüzyon Edilebilen Malzemeler ve Malzeme Akışı

Her geçen gün, ekstrüzyon işleminde kullanılan malzeme sayısı artmaktadır. Kullanılan malzemeye göre ekstrüzyon işlemi, taşıma, konstrüksiyon, makina ve elektrik-elektronik endrüstirilerinde önemli bir yere sahip olma yolundadır.

Teorik olarak her malzeme ekstrüze edilebilmesine rağmen, ekstrüze edilebilirlikleri malzemenin deformasyon özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Hafif metaller kolay ekstrüze edilebilirler, sert metaller ise yüksek blok sıcaklıkları ve yüksek ekstrüzyon basınçları gerektirirler.

Bu bölümde, ekstrüzyon edilen malzemelere ve onların işlem esnasındaki akışlarına değinilecektir. Önemi açısından, alüminyum özellikleri ve ekstrüzyon edilebilirliğine genel olarak değinilecek ve diğer malzemeler yalnız özet olarak verilecektir.

1.2.1 Ekstrüzyon edilebilen malzemeler

1.2.1.1 Kurşun ve kalay

Bu malzemelerin genel kullanım alanları iletim boruları, lehim telleri ve kablo kaplamalarıdır. İlave edilen alaşım elementleri ile orantılı olarak gereken ekstrüzyon kuvvetinde artış görülür fakat bu artış ekstrüzyon işlemi için bir zorluk doğurmaz. İşlem genel olarak yaklaşık 300 dereceye kadar ısıtılmış bloklar ile gerçekleştirilir. Çoğu uygulamada, blok yerine ergimiş kurşun kullanılır.

Kurşun ve kalay şekil değiştirme işleminden sonra, oda sıcaklığında soğuk pekleşme göstermeden, 0 derecede rekristalize olabilirler. Bu olay malzemeye yüksek plastiklik özelliği kazandırır. Alaşımlama ile sertlik özellikleri yükseltilir, dayanım, pekleşme ve rekristalizasyon sıcaklığında yükselme görülür. Bütün bunlarda, doğal olarak ekstrüzyon işlemi için gerekli kuvvetin artışı beraberinde getirecektir.

Artan akma gerilmesi, alaşımın ekstrüze edilebilirliğini negatif yönde etkilemesi ile birlikte, diğer taraftan iyi bir verim elde edilmesi amacı ile daha yüksek sıcaklıklarda çalışılmasını zorunlu tutar. Özellikle alaşımlarda, solidus sıcaklığına yaklaşılması tane sınırı dayanımının azalmasına yol açacaktır. Buna ek olarak sürtünmeden dolayı oluşan ısı da işleme etkidiğinde kısa çatlakların oluşumu kaçınılmaz hale gelir. Örnek olarak, PbSb1 için kritik sıcaklık 290 derecedir. Genel olarak kurşun ve kalay alaşımları, oda sıcaklığı ile 300 derece arası ekstrüze edilirler ve çıkış hızı normal aralığı 10 ila 60 m/dak arasında değişir.

1.2.1.2 Alüminyum ve alaşımları

Alüminyum, önem bakımından sıralandığı taktirde demir ve çeliğin arkasından ikinci sırada yer alan ve hayatın pek çok alanında karşımıza sıkça çıkan bir malzemedir. Düşük bir yoğunluğa sahip olup, bu değer (saf alüminyum 2.7 g/cm^3) yaklaşık olarak çeliğin yoğunluğunun üçde birine karşılık gelir. Sunduğu optimal mukavemet değeri (en düşük çekme mukavemeti 60 ile 530 N/mm^2 arası) ve olumlu korozyon özelliği, alüminyumun önemini belirten yalnızca birkaç özelliğidir.

Alaşım elementleri, alüminyumun sahip olduğu, mukavemet veya korozyona karşı dayanıklılık gibi çoğu özellik üzerinde belirli bir etkiye sahiptirler. Önemli alaşım elementlerinin etkilerini aşağıdaki tabloda kısaca görebiliriz :

Tablo 1.2 Alaşım elementlerinin malzeme özelliklerine etkileri. [30]

	Mg	Cu	Si	Zn	Mn	Pb
Mukavemet	++	++	+	++	+	0
Korozyon dayanımı	++	-	++	-	++	0
Dökülebilirlik	+	0	+	0	0	0
Talaşlı işleme uygunluk	++	0	+	+	-	++

Yukarıda adı geçen özelliklerin yanında, alaşımın şartleşebilir olması da çok önemlidir. Bu özelliğe ise bakır ve çinko ilavesi ile ulaşılır.

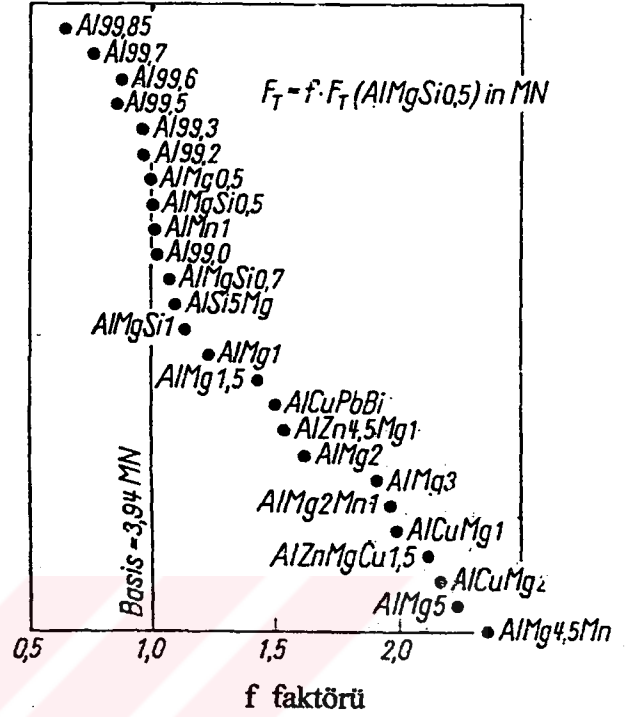
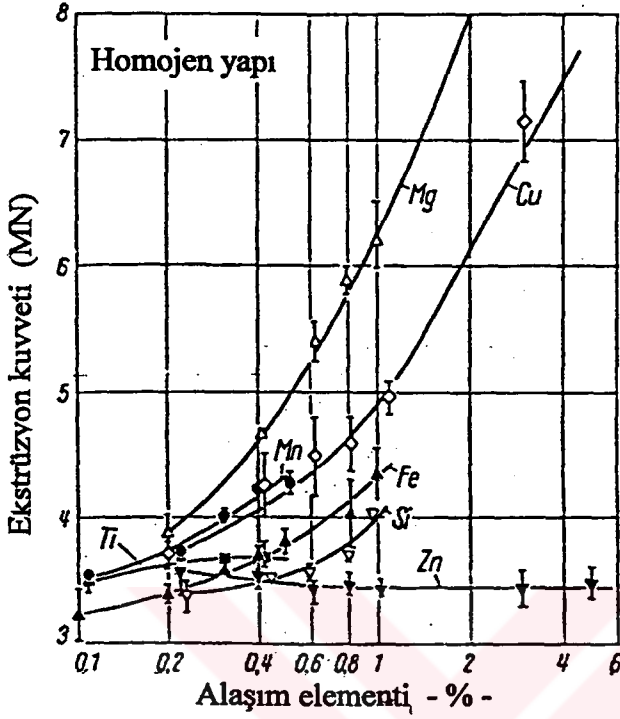
Aluminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda takozlar çoğunlukla yuvarlak, 4-7 m uzunluğundaki kütüklerden kesilerek elde edilir. Döküm takozlar genellikle ekstrüzyondan önce homojenize edilirler. Tane sınırı segregasyonları, düşük ergime noktalı ötektikler ve kırılğan intermetaliklerden dolayı azalan işlenebilirlik, Mg_2Si çökmesi, heterojen tane ve hücre sınırı çökelmeleri gibi malzeme kalite ve işlenebilirliğini olumsuz etkileyen etmenler bu şekilde elimine edilirler.

Takozlara ısı işlem uygulanması ile yüksek sıcaklıktaki akma gerilmesi %10 yada daha fazla azaltılmakla kalmamakta, solidus sıcaklığında yüzey yırtılmalarının başlayacağı maksimum çıkış sıcaklığı 15 ila 30 derece artmaktadır. Takoz sıcaklığı, en yüksek ekstrüzyon hızının eldesi için mümkün olduğunca düşük tutulur.

Ekstrüzyon hızı, bütünüyle ekstrüzyon sıcaklık aralığına bağlıdır ve ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon işleminin gerçekleşebileceği bir alt sınır ile sıcak çatlamamanın oluşabileceği bir üst sınır arasında tutulmalıdır.

En önemli etki faktörü ise, malzemenin ihtiva ettiği alaşım elementleri tarafından çok fazla etkilenen, malzemenin şekil değiştirme direncidir. Eşit miktarlardaki alaşım elementlerinin etkileri Şekil 1.11'de görülmektedir. Şekil değiştirme direnci Mg ilavesi ile çok, Cu ilavesi ile daha az, Si ilavesi ile az değişim göstermekle beraber, Zn ilavesi ile hemen hemen hiç değişim göstermemektedir.

Ekstrüzyon basıncı azalan ekstrüzyon sıcaklığı ile artış gösterir. Kolay ekstrüze edilebilir malzemelerde $400-800 \text{ N/mm}^2$, zor ekstrüze edilebilir malzemelerde ise $600-1000 \text{ N/mm}^2$ civarındadır. Şekil 1.12'de f faktörü baz alınarak $[AlMgSi 0,5, f = 1]$, en çok kullanılan aluminyum alaşımları için gerekli ekstrüzyon basınçların kıyaslaması yapılmaktadır. $AlMgSi 0,5 (=3,49)$ değerinin seçilen alaşımın f faktörü ile çarpılması ile istenen kuvvet değeri bulunabilir.



Şekil 1.11 Alaşım elementlerinin ekstrüzyon kuvvetine etkisi. [1]

Şekil 1.12 (sağdaki) Deformasyon direnci ve ekstrüze edilebilirlik. [1]

1.2.1.3 Magnezyum ve alaşımları

Ekstrüze edilmiş magnezyum ve alaşımları önemli olarak, havacılık ve nükleer güç endüstrisinde kullanılırlar. Ekstrüzyon edilebilirlik ve blok sıcaklıkları bakımından hemen hemen alüminyum malzemelerin özelliklerini taşırlar.

İyi işlenebilirlik özelliklerine sahiptirler. Hekzagonal kafes yapısına sahip olduklarından dolayı alüminyumdan daha düşük soğuk işlenebilirliğe sahiptirler. Tavlama sureti ile işlenebilirlikte iyileşme meydana gelir, fakat bunun için uzun

zamanlı ve üniform bir ısıtma işlemi gereklidir. Kritik sıcaklık aşıldığı takdirde yırtılma baş gösterir.

1.2.1.4 Çinko ve alaşımları

Çinko ve alaşımlarının ekstrüzyonu kurşun, alüminyum ve magnezyum için gereken ekstrüzyon basınç değerlerinden daha fazlasını gerektirir. Blok sıcaklıkları 205 ila 345 derece arasında değişim gösterir. Hekzagonal kafes yapısına sahip olmalarından dolayı işlenebilirlikleri orta seviyededir. Çıkış hızları, gereken yüksek basınç ve düşük yumuşaklık, dolayısı ile düşük işlenebilirlik nedeni ile alçaktır.

1.2.1.5 Bakır ve alaşımları

Bakır ve bakır alaşımı ekstrüzyonları genellikle boru, tel ve elektrik iletkenliği gibi iletkenliğin önemli olduğu yerlerde kullanılırlar. Mimari uygulamalarda pirinç ekstrüzyonlar limitli sayıda kullanılırlar. Blok sıcaklıkları 595 ila 995 arası değişir. Alaşım elementine göre ekstrüze edilebilirlik, kolaydan (β - pirinci) zora (alüminyum bronzları) doğru derecelendirilebilir. Birçok bakır alaşımı için yüksek ekstrüzyon basınçlarının uygulanması lazımdır (690 MPa veya daha fazla). Ekstrüzyon hızları, hafif metallerde elde edilen değerlere oranla daha yüksektir.

1.2.1.6 Çelik ve alaşımları

Çeliğin sıcak ekstrüzyonunda, 995-1300 derece civarında seyreden yüksek blok sıcaklıklarından dolayı oluşabilecek takım aşınmasının önüne geçilebilmesi amacı ile proses dahilinde cam yağlama veya bir yüksek sıcaklık yağlama malzemesinin kullanılması lazımdır. Buna ek olarak, takım ile blok arasındaki kontakt zamanının azaltılması amacı ile yüksek ıstampa hızları istenmektedir. Bu tür bir uygulama dolayısı ile gerekli basıncı da orantılı olarak arttıracaktır.

Çelikler zor ekstrüzyon edilebilen malzemeler grubundadırlar. Ekstrüzyon sıcaklığının artmasıyla akma gerilmesinin düşmesi, gerekli ekstrüzyon kuvvetini azaltıcı bir rol oynayacaktır. Sıcaklık değişimlerine karşı reaksiyon, çeliğin yapısı ile ilişkilidir. Homojen yapılu çeliklerde, artan sıcaklıkla şekil değiştirme

kabiliyetinde artma görülürse de, CrNi çeliklerinde 1200 derece sıcaklıkta hızla düşer.

1.2.1.7 Diğer metaller

Bazı titanyum alaşımlarının ekstrüzyon edilebilirlikleri, çeliklerin ekstrüzyon edilebilirliklerinden daha düşüktür. Yüksek ergime noktasına sahiptirler (1668 °C). 883 derecenin altında hekzagonal kafes yapısına, bu sıcaklığın üzerinde ise kübik hacim merkezli yapıya sahiptir. Ekstrüzyon ile elde edilen profil, boru ve çubuklardan iyi korozyon, mukavemet ve özgül ağırlık özellikleri elde edilir. Akma gerilmeleri çeliğinkinden yüksek olmasına rağmen 1000 derecenin üzerindeki sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmez ve geniş açılı ($2\alpha = 130^\circ$) kalıplarda yüksek hızda ekstrüzyon edilirler.

Zirkonyum korozyon dayanımı ve sıcak mukavemet özelliklerinden dolayı önemli olup, 800-1100 derece aralığında ekstrüzyon işlemine tabi tutulur. Yağlama uygulanması gereklidir.

Nikel ve alaşımları gösterdikleri yüksek korozyon direnci ve yüksek sıcak mukavemet özelliklerine rağmen yüksek akma gerilmesine sahip olduklarından dolayı zor ekstrüze edilebilen alaşımlar grubuna girerler. 1000 derecenin altında ekstrüzyon edilebilirlikleri çok düşüktür.

1.2.1.8 Toz metallerin ekstrüzyonu

Aluminyum, bakır, nikel, paslanmaz çelik, berilyum ve uranyum bu yöntemde kullanılan malzemelerden bazılarıdır. Toz halindeki malzeme, takozların oluşturulması için preslenir ve ısıtılarak ekstrüzyon presine yüklenir. Bu yöntem, her partikülün deformasyonuna dayanır. Yüzey alanının artması ile partiküllerin üzerindeki oksit tabakası yırtılır ve komşu partiküllerin yüzeyleri birbirlerine kaynar.

Tablo 1.3 Ekstrüzyon edilebilirliklerine göre malzemeler.

Malzeme	Şekil değiştirme sıcaklığı	Ortalama ekstrüzyon basıncı	Genel ekstrüzyon hızı	Maksimum ekstrüzyon oranı
	T [K]	p (p _{max}) [10 ² N/mm ²]	v _{Str} [m/s]	$\phi_{max} = \ln A_0/A_1$
Kolay ekstrüze edilebilir :				
Saf-Al	630-770	3,5-5,0(8,0)	0,3-2,0	6,9
Saf-Mg	520-570	3,0-4,5(8,0)	0,03-0,2	5,3
Saf-Sn	390-470	1,0-2,0	0,03-0,2	
Pb ve Pb alaşımları	390-450	0,5-1,5	0,15-1,0	
β - pirinci Ms 54,Ms 58	770-1020	3,0-4,0(7,0)	0,5-2,0	6,5
Orta zorlukta ekstrüze edilebilir :				
Saf-Cu	1070-1170	3,0-4,5(8,0)	0,6-2,0	5,7
β - pirinci Ms 63	970-1070	3,0-4,5(7,0)	0,5-2,0	6,4
AlMgSi 0,5	670-770	3,0-6,0(7,0)	0,2-1,5	6,2
AlMgSi 1	670-770	3,0-6,0(8,0)	0,1-0,4	5,5
AlMn	670-770	3,0-5,0(8,0)	0,2-0,1	6
AlMg 1 ve 3	650-720	3,0-5,0(8,0)	0,1-0,2	4,6
Zor ekstrüze edilebilir :				
AlMg 5-9	650-690	6,0-8,0(10,0)	0,05-0,1	4,1
AlCuMg 1-2	690-730	6,0-8,0(10,0)	0,01-0,03	3,8
AlZnMgCu0,5	680-730	8,0-10,0	0,01-0,02	3,4
CuNi alaşımları CuNi 70/30	1070-1170	8,0-10,0	1,0-2,5	3,4
Al-Bronzu	1070-1170	7,0-9,0(10,0)	0,1-0,12	4,6
Sn-Bronzu	1020-1120	6,0-9,0(10,0)	0,05-0,07	3,4
ZnAl alaşımları	470-570	6,0-10,0	0,03-0,2	4,1
Çok zor ekstrüze edilebilir :				
Ti - alaşımları	1070-1270	10,0-12,0	0,5-0,4	4,6
P- bronzu	920-1020	8,0-10,0	0,01-0,025	3,2
Zr - alaşımları	1070-1370		0,5-0,1	3,4
Be	1160-1230		1,0-2,3	3,7
C- çeliği	1370-1550	7,0-8,0(10,0)	3,0-6,0	4,6
Yüksek alaşımli çelik	1420-1500	9,0-12,0	1,0-2,0	3,4

1.2.2 Ekstrüzyon işleminde malzeme akışı

Malzeme akışının araştırılması, ekstrüze edilen malzemenin yerel deformasyonları hakkında bilgi edinilmesine imkan yarattığı ve bunun sayesinde şekil değiştirme işlemi esnasında oluşan gerilim ve kuvvetlerin tanımlanmasına yardımcı olduğundan dolayı çok büyük bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra ekstrüzyon hatalarının saptanması işlemi, akış sistemlerinin incelenmesi ile çok daha verimli olarak gerçekleştirilir.

Araştırma metodları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir :

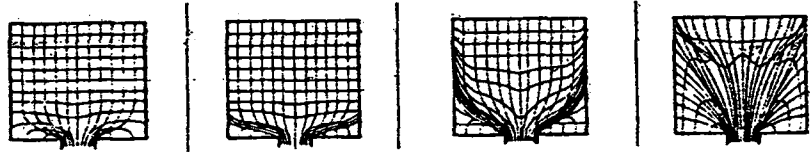
- a) Balmumu ve plastilin (Model hamuru) üzerinde gerçekleştirilen model çalışmaları,
- b) Kurşun ve çinko gibi kolay şekillendirilebilen malzemeler ile oda sıcaklığında veya çok düşük sıcaklıkta yapılan ekstrüzyon denemeleri,
- c) Alışlagelmiş ekstrüzyon malzemeleri ile gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları,
- d) Alışlagelmiş işletme koşulları altında yapılan ekstrüzyon deneyleri.

Malzeme hareketi, teorik olarak, bir hacim elemanın deformasyon davranışının incelenmesi ile saptanır. Fakat, bu tür incelemelerde dikkat edilmesi gereken, gerçeğe en yakın davranışların eldesidir. Model malzemeler ile yapılan çalışma sonuçları, teknik malzemeler ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında sapmalar göstermekte, laboratuvar çalışmalarında kullanılan model presler ile elde edilen sonuçlar ise ağır preslerin davranışlarını tam olarak yansıtmakta güçlük çekmektedirler. Yapılan deneylerde gerçek işletme şartlarının korunmasının, güvenilir neticelere ulaşılmasını sağlayacağı unutulmamalıdır.

Takım geometrisi ve ıstampa hızı, hız alanlarının tanımlanması için gerekli sınır şartlarını ortaya koymakla beraber, deformasyon sahasında gelişen hareket hakkında bilgi vermez. Malzeme ile alıcı veya malzeme ile matris arasında gelişen sürtünme malzeme akışını en fazla etkileyen faktörlerin başında gelir. Özellikle,

blok kesiti ve blok boyu arasında homojen olarak dağılmamış özelliklere ve yapı içinde konsantrasyon farklılıklarına yol açar ve doğal olarak malzeme akışı da bundan büyük ölçüde etkilenir. Bu tür faktörlerin varlığı, değişik akış tiplerinin tanımlanmasına yol açmıştır. Direkt ekstrüzyonda düz bir matris ($2\alpha = 180^\circ$) ile gerçekleştirilen çalışmada dört ayrı akış tipi tanımlanmıştır.

Tablo 1.4 Eksenel simetrik direkt ekstrüzyonda akış tipleri. [18]



Akış tipi	A	B	C	D
Malzeme akışı	Homojen	Homojen	Homojen	Homojen değil
Malzeme örnekleri	Teorik	Pb, Al (yağlama ile)	Cu, Al, Al alaşımları	Mg
Sürtünme	Yok	Az	Kuvvetli	Kuvvetli

Akış tipi A : Homojen bir malzeme akışı oluşur. Sürtünmenin olmadığı durumlarda gerçekleşir ve sınır yüzeyleri boyunca engellenmeyen bir malzeme akışı söz konusudur.

Akış tipi B : Yine homojen bir malzeme akışı vardır fakat matriste belli miktarda sürtünme mevcuttur. Sonuçta çevre bölgelerde akış yavaşlar ve bir önceki teorik akış tipindeki ölü bölgeden daha büyük bir ölü metal bölgesi meydana gelir.

Akış tipi C : Homojen malzemelerde, alıcı ile matriste sürtünme bulunduğu zaman görülür. Bloğa ait sınır yüzeyler sürtünme nedeni ile merkezdeki malzemeye göre daha yavaş hareket eder ve ölü metal bölgesi genişler.

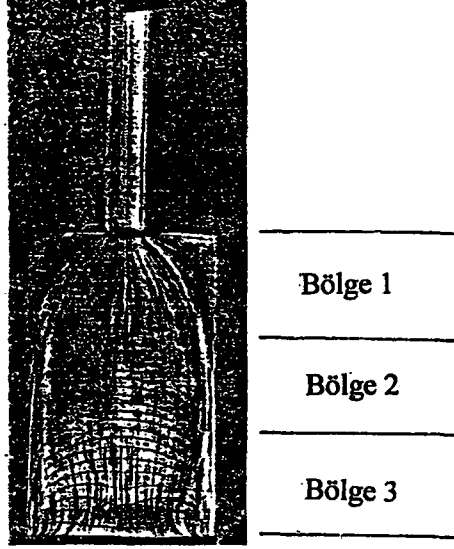
Akış tipi D : Sürtünme mevcuttur ve kenar bölgelerdeki özelliklerin, soğuma sonucu değişmesi ve mukavemet değerleride artma nedeni ile oluşan homojensizlik, bu tür bir akış tipinin oluşmasına yol açar.

Akış davranışlarının farklı etkilerinin görülerek incelenmesi amacı ile çoğunlukla aşağıda bahsedilen metod uygulanır. Ekstrüze edilecek blok simetrik olarak tam ortadan iki parçaya bölünür ve kesilen parçaların düz yüzey satırları, ince talaş kaldırma ile çizilen çizgiler yardımı ile küçük karelere ayrılır. Daha sonra ise, bu iki parça beraber ekstrüze edilir. Bir ayırma maddesi, şekil değiştirme esnasında yüzeylerin birbirine kaynamasını önler. Ekstrüzyon işleminden sonra, ayrılan parça yüzeylerine bakıldığında malzeme akışı ve deformasyon davranışları üzerinde çok rahat bilgi sahibi olunur.

Çizgi hatları incelendiğinde malzeme deformasyonunun matrisden uzak bölgelerde başlayıp, matrise yakın alıcı kenar bölgelerinde ölü bölgeler oluştuğu görülmektedir. Ayrıca ıstampa önündeki malzemenin içeri doğru akma eğiliminde olduğu da belli olmaktadır.

Dalheimer adlı araştırmacı, Şekil 1.13'deki gibi, blok şekil değiştirme alanının üçe bölünmesini önermiştir. Birinci bölge en büyük şekil değişiminin meydana geldiği tek bölgedir. En fazla şekil değişiminin ölü bölge ile merkez şekil değiştirme bölgesi arasındaki geçiş bölgesinde oluştuğu görülür.

İkinci bölgede, blok üst yüzey malzemesinin sürtünme nedeni ile alıcı iç yüzeyi tarafından frenlendiği, hatta yağlamanın tatbik edilmediği durumlarda hareketinin engellendiği görülmektedir. Yağlamasız uygulamalarda iki yüzey arasında bir kayma (makaslama) bölgesi teşkil eder.



Şekil 1.13 AlMgSi 1 alaşımının yağlama uygulanmadan, direkt ekstrüzyonunda malzeme akışı. [15]

$$d_0 = 71 \text{ mm}, \varphi = 3,0, T_{wst} = 723 \text{ K}, T_{wz} = 723 \text{ K}, v_{st} = 8 \text{ mm/s}$$

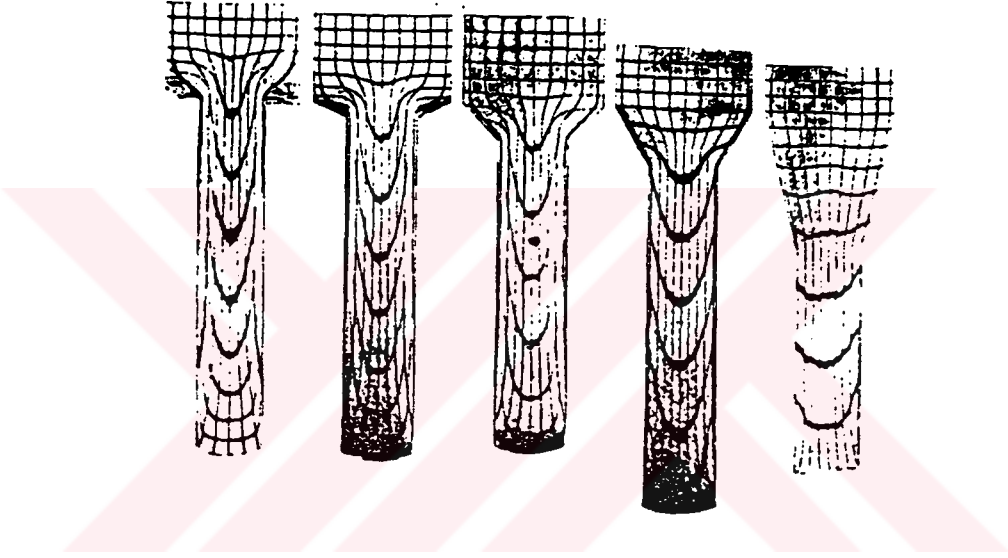
$$s = 50 \text{ mm}, l_0 = 152 \text{ mm}.$$

Üçüncü bölgede kenar tabakalardaki malzeme ıstampa ile beraber itilir ve içeri doğru akar. Üçüncü bölge birinci bölge ile birleşinceye kadar ikinci bölge küçülmeye devam eder. İleri safhalarda tabakalardan daha fazla oksid partikülü ve saf olmayan malzeme akışı meydana gelir. Bu nedenle blok uzunluğunun bir kısmı pres edilmeden kesilerek ayrılır.

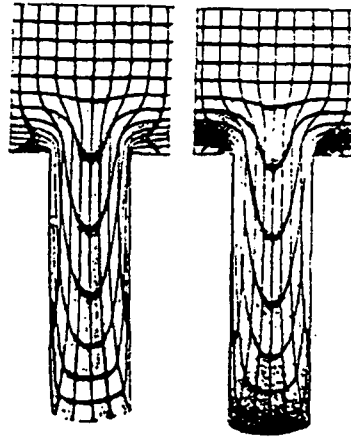
Komplike profillerin direkt ekstrüzyonunda ortaya çıkan malzeme akışları üzerine bir çalışma yapılmamıştır.

Malzeme akışının, konik matris ($2a < 180^\circ$) kullanıldığında, düz matris ($2a = 180^\circ$) kullanımına kıyasla daha kolay ve düzgün gerçekleştiği ve zor ekstrüze edilebilen malzemelerin ekstrüzyonuna imkan tanıdığı görülmüştür. Düz matrislerin bu dezavantajına rağmen şu bir gerçektir ki, bu tür bir matris kullanıldığında yüzey kalitesinin daha iyi olduğu görülür. Çünkü, saf olmayan maddeler ve oksid parçacıklarının ekstrüze edilmeleri engellenecektir. Bunun dışında, pres artığının uzaklaştırılması da daha kolaydır.

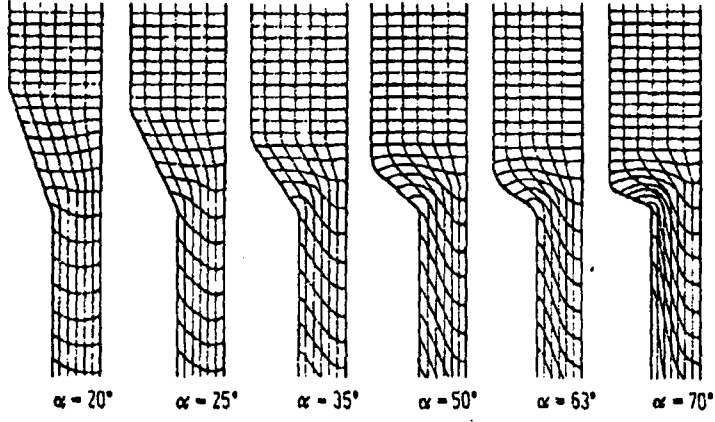
Yapılan araştırmalar genel olarak şunu ortaya çıkmıştır ki, yaklaşık 80 ila 90 derece konikliğe sahip matrisler, diğerlerine kıyasla daha iyi malzeme akışı sağlarlar. Çinko ve benzer malzemelerde kubbe şeklinde bir deformasyon bölgesi görülür, fakat bu tür bir akış normalde daha karışık formlara karşımıza çıkar. Sürtünmenin oynadığı büyük rol bakır ve pirincin ekstrüzyonundan alınan deformasyon şekillerinde görülmektedir. Pres blok artıklarında görülen huni oluşumu özel dizayn edilmiş konkav baskı plakaşarı ile uygun bir şekilde etkilenebilir.



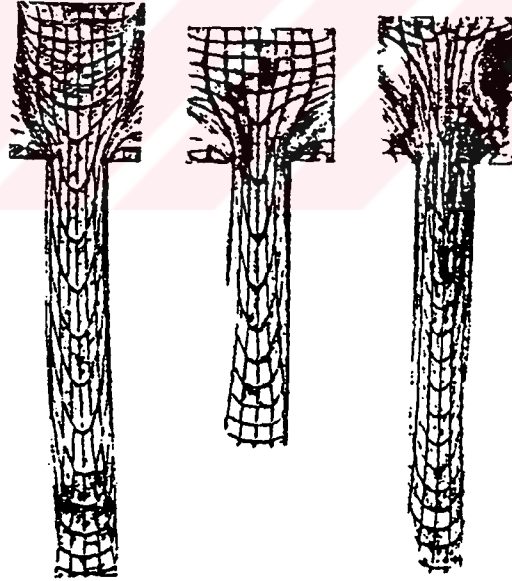
şekil 1.14 Farklı matris formlarının kullanımı ile elde edilmiş malzeme akışları.[2]



şekil 1.15 çinko ve benzer yumuşak malzemelerde malzeme akışı. [2]



Şekil 1.16 Farklı matris açılarında malzeme akışları. [17]



Şekil 1.17 Bakır ve pirince ait malzeme akışları. [2]



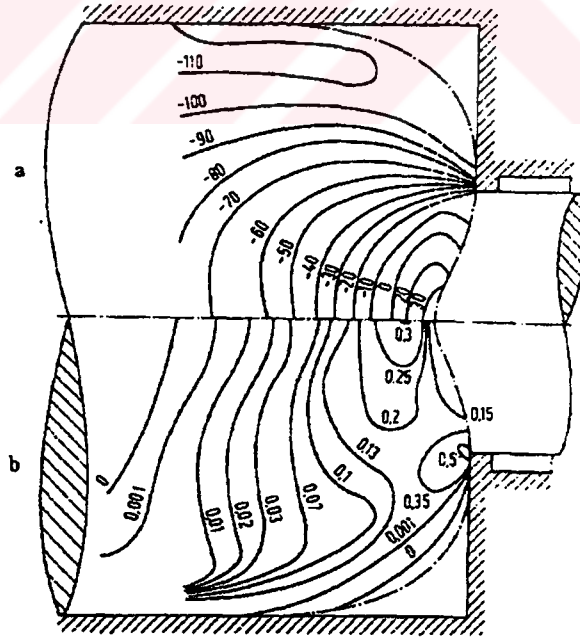
Şekil 1.18 Ekstrüze edilmiş pirinç blok sonunda huni oluşumu. [2]



Şekil 1.19 Konkav baskı plakası ve uygun şekilli matris kullanımında ekstrüzyon artığı. [2]

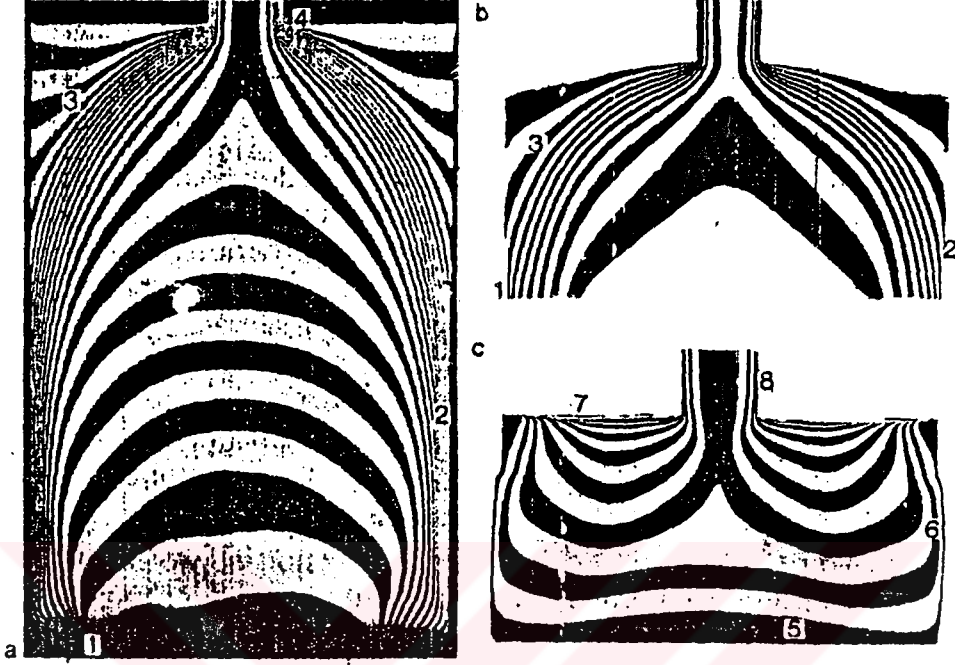
Dalheimer, numerik yaklaşım sistemini aksel simetrik ekstrüzyon işleminde başarı ile uygulamış ve yerel gerilmeler, şekli değişimi ve şekil değişim hızları elde etmiştir. Bu uygulama ile devamlılık denklemleri ve şekil değiştirme bölgesindeki her noktada eş şartlar sağlanmasına rağmen plastik akış kurallarına tam olarak yaklaşılamaz. Hesaplamalardan elde edilen kesit görüntüsü sonucunda, eş aksel gerilim ve eş deformasyon hızlarının eğrileri görülmektedir. Basınç bölgesindeki aksel gerilmelerin işaretleri ters olarak değişmektedir, böylece bloğun iç bölgelerinde çekme gerilmeleri ortaya çıktığı görülür..

Hesaplanmış aksel gerilim dağılımı ile, bloğun çekirdek kısımlarında sıkça görülen çatlakların çekme gerilmeleri ile indirgendikleri ispatlanır ve ileri ekstrüzyon safhalarındaki huni oluşumu blok çekirdeğindeki aksel çekme gerilmeleri ile açıklanabilir. Şekil değiştirme hızı dağılımı için şöyle demek doğru olur : Matrisin tam ön noktasında, çok yüksek deformasyon hızlarına ulaşılabilir. Bununla birlikte, matris ağzında bu değer dahi geçilir. Bu durum tekrar şunu ispat ederki adyabatik ekstrüzyonda matris ağzında en yüksek sıcaklıkla karşılaşılır.



Şekil 1.20 AlMgSi 1 alaşımının ekstrüzyonu [$d_o = 71\text{mm}$, $\phi = 1,6$, $v_{st} = 1\text{mm/s}$].[15]

- a) Eş doğrulu aksel gerilmeler [N/mm²]
b) Eş doğrulu deformasyon hızları [s⁻¹]



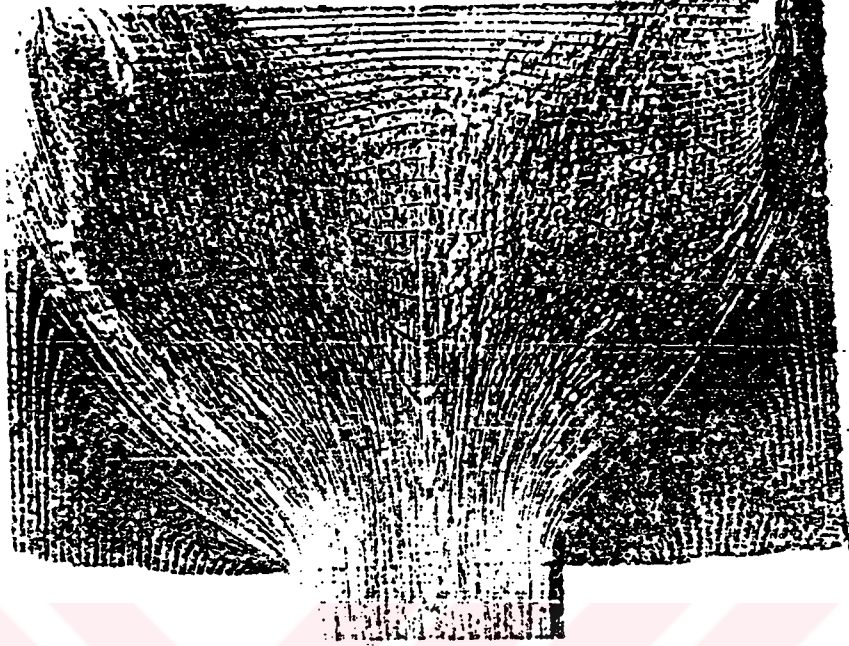
Şekil 1.21 Alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda malzeme akışı. [21]

(Açık : AlMgSi0,5; Koyu : AlSi5, Anodize edilmiş 20 μm)

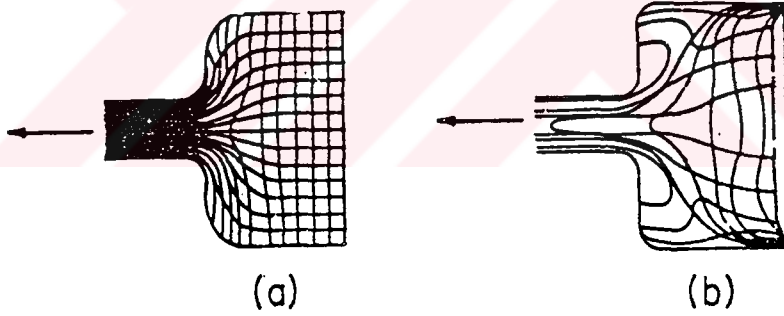
a- ve b- direkt, c- indirekt ekstrüzyon

1. Ön levhada sürtünme
2. Blok ile alıcı arasındaki sürtünme
3. Ölü bölgede sürtünme
4. Ekstrüzyon kanalındaki sürtünme
5. Kör ıstampadaki sıfır sürtünme
6. Blok üst yüzeyi ve alıcı arasındaki sıfır sürtünme
7. Takım üst yüzeyinde sürtünme
8. Ekstrüzyon kanalındaki sürtünme

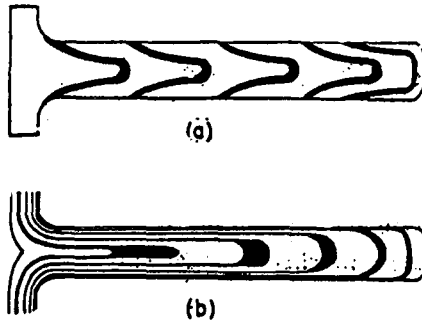
Yağlama uygulanmasının, ekstrüzyon işlemlerindeki malzeme akışına etkilerini ise aşağıdaki şekiller açık olarak yansıtmaktadırlar.



Şekil 1.22 Hafif alaşımlı bir bloğun yağlama uygulanmadan ekstrüzyonu. [25]



Şekil 1.23 a- Yağlama uygulanan, b- Yağlama uygulanmayan ekstrüzyon işlemi.[25]



Şekil 1.24 Çubuk ekstrüzyonunda malzeme akışı, a- Yağlama uygulanan, b- Yağlama uygulanmayan. [25]

1.3 Ekstrüzyon İşleminde Sıcaklık Kavramı

1.3.1 Sıcaklığın ekstrüzyon işlemi üzerinde etkileri

Sıcaklığın, ekstrüzyon işlemi içindeki proses basamaklarında ve dolayısı ile nihai ürünler üzerinde önemli bir etkisi vardır. Örneğin, verilen A_0/A_1 ekstrüzyon oranı için mevcut ekstrüzyon kuvveti, belirli blok sıcaklığında yeterli gelmiyorsa uygulama sıcaklıklarının yükseltilmesi ile çözüme gidilebilir (Örneğin alıcı gövde sıcaklığının yükseltilmesi). Bu durumda, ergimenin başlayacağı sınır değerinin aşılması lazımdır. Yüksek basınç gereken durumlarda blok sıcaklıkları solidüs sıcaklık değerine ne kadar yakın olursa şekil değiştirme ve sürtünmeden dolayı oluşan dirençler o kadar kolay aşılar. Ekstrüzyon hızı, ısı oluşumu üzerinde oldukça büyük bir rol oynar, hatta bu etkiye “sınırlayıcı etki” de denilebilir. Bu durum, sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığının eldesine dair çalışmaların gelişmesinde başlıca neden olmuştur (İzotermal ekstrüzyon). Bu tür çalışmalara bu bölümün sonunda özet olarak değinilecektir.

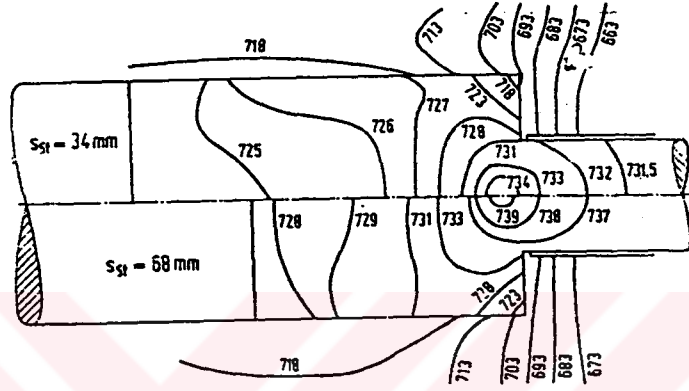
Bu konu üzerinde yapılan çalışma ve hesaplamaların büyük bir çoğunluğunda aşağıdaki faktörler dikkate alınmaktadır:

- Şekil değiştirme bölgesinde ısı oluşumu,
- Blok ile takım arasında, kenar kısımlardaki sürtünme nedeni ile meydana gelen ısı oluşumu,
- Şekil değişimi nedeni oluşan ısının blok üzerinde iletimi ve dağılımı,
- Sürtünme ısısının blok ile alıcıya sevki (dağılımı),
- Farklı tatbik sıcaklıkları nedeni ile blok ile takım arasında gerçekleşen ısı alışverişi,
- Bloğun yer değiştirmesi esnasında oluşan ısı transferi

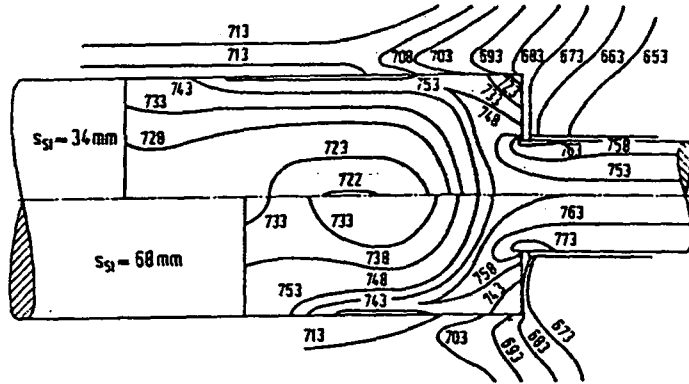
Şekil 1.25 ve Şekil 1.26’da nümerik olarak hesaplanmış sıcaklık eğrileri ile ıstampa hızının sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi açık olarak görülmektedir. Şekil 1.25’deki yavaş seyreden ekstrüzyon işleminde, verilen alüminyum alaşımının (AlMgSi1) sahip olduğu iyi iletkenlik özelliğinden dolayı sıcaklık farkları hızlı bir şekilde dengelenmektedir. Takımın soğutucu etkisinin blok kesitindeki sıcaklık

dağılımını etkilemesi sonucu çekirdek kısımlarının yüzey kısımlara oranla daha sıcak kalması dikkat çekicidir.

Artan hız ile bu şekilde tersine bir değişiklik meydana gelir. İç kısımlar ile yüzey kısımlar arasında oldukça fazla bir sıcaklık farkı oluşur. Düşük yerel deformasyona sahip bölgeler soğuk, blok ile alıcı veya çıkış bölgesindeki sınır kısımlar daha sıcaktır. Artan hız değerleri ile bu fark daha büyük bir boyutlara ulaşır.



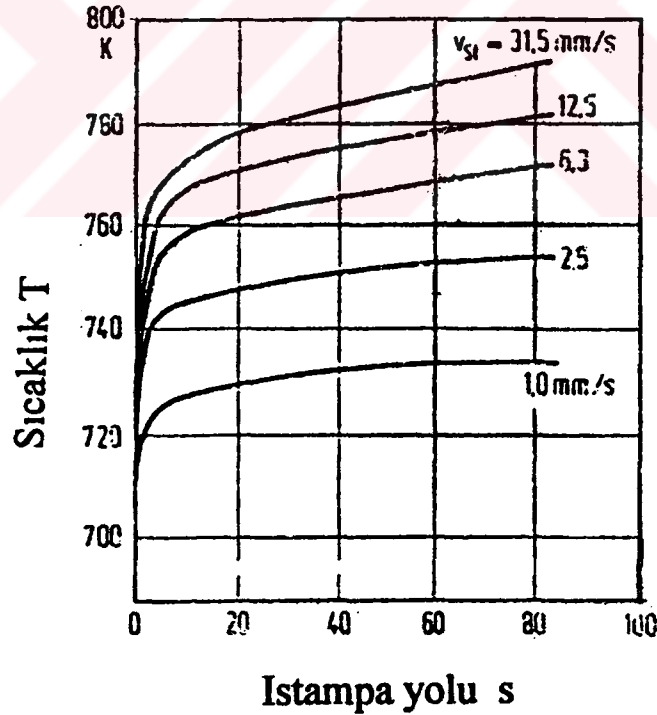
Şekil 1.25 AlMgSi 1 alaşımının ekstrüzyonunda oluşan izoterm eğrileri. [15]
 $d_o = 71 \text{ mm}$, $\phi = 1,6$, $T_{wSt} = T_{wz} = 723 \text{ K}$, $v_{St} = 2,5 \text{ mm/s}$, $l_o = 152 \text{ mm}$,
 $a = 4 \text{ kW/m}^2\text{K}$.



Şekil 1.26 AlMgSi 1 alaşımının ekstrüzyonunda oluşan izoterm eğrileri. [15]
 $d_o = 71 \text{ mm}$, $\phi = 1,6$, $T_{wSt} = T_{wz} = 723 \text{ K}$, $v_{St} = 31,5 \text{ mm/s}$, $l_o = 152 \text{ mm}$,
 $a = 4 \text{ kW/m}^2\text{K}$.

Üst yüzeylerdeki sıcaklık artışının, ekstrüze edilen malzemeye bağlı belli bir değeri geçmemesi gerektiğinden dolayı sıcaklık artışlarının önceden hesaba katılmasının büyük önemi vardır. Şekil 1.27 sıcaklık seyrini, ıstampanın kat ettiği yol ve uygulanan hıza bağlı olarak vermektedir. Oldukça yavaş gelişen şekil değiştirme işleminde ani bir ilk sıcaklık artışından sonra yaklaşık sabit bir sıcaklık akışına erişilmiştir. Deformasyon ve sürtünme gibi nedenlerden dolayı oluşan ısı, blok ile alıcı arasındaki ısı transferi nedeni ile dengelenmektedir. Yüksek ıstampma hızları ile bu denge kurulamaz. Sıcaklık eğrileri deformasyon sonlarına doğru artan bir eğilime sahip olurlar ve hatta yerel ergimenin oluşabileceği bir sınıra ulaşabilirler. Artan hız ile azalan ısı transfer zamanı bu oluşumun başlıca nedenidir.

Sınır koşullarda adyabatik koşullara erişilir. Ek olarak, yüksek ıstampma hızları ile birlikte iş parçası malzemesinin akma sınırında artma oluşur ve bu da işin artışı, dolayısı ile sıcaklıkların artmasına neden olur, fakat akma gerilmesi değerinin artan sıcaklık ile azalması bu etkiyi nispeten düşük seviyede tutmaktadır.



Şekil 1.27 AlMgSi 1 ekstrüzyonunda, matris girişindeki yüzey sıcaklıkları. [15]

$$d_o = 71 \text{ mm}, \varphi = 3,0, T_{wSt} = T_{wz} = 723 \text{ K}, l_o = 152 \text{ mm}, a = 4 \text{ kW/m}^2\text{K}.$$

Istampa hızı dışında, işlenen parçanın aksenal simetrik olup olmaması da önemlidir. Isı köşelerde toplanır ve sıcaklık değerlerinde artış meydana gelir. Kare kesitli bir parçaya ait sıcaklık dağılımı Lange ve Stüwe tarafından şöyle hesaplanmıştır.

$$\Delta T(x, y, t) = \frac{b_{Str} \cdot \tau_R \cdot V_{Str}}{(b_M + b_{Str}) \cdot \lambda} \cdot \phi \left(x, y, \frac{a \cdot z_M}{V_{Str}}, h \right) \quad (1.1)$$

$b_{Str} = \sqrt{\lambda_{Str} \cdot c_{Str} \cdot \rho_{Str}}$	Ekstrüze edilen malzemenin ısı yayılım katsayısı
b_M	Matris malzemesinin ısı yayılım katsayısı
$\tau_R (< \tau_{vax} = k_f / 2$	Kaymadan dolayı oluşan sürtünme gerilimi
x, y	Sıfır noktası kare kesitin ortasında bulunan koordinat sisteminin koordinatları
$2h$	Kare kesitin kenar uzunlukları
Z_M	Matris sürtünme yüzeylerinin uzunluğu

ϕ fonksyonu üç gruba ayrılabilir :

Çok küçük olmayan kesitlerde, ekstrüzyon işleminin relatif olarak daha hızlı gerçekleştiği göz önüne alınırsa ($x = h, y = h$) :

$$\phi(h, h) = 2,26 \cdot \sqrt{\frac{a \cdot z_M}{V_{Str}}} \quad (1.2)$$

Yukarıdaki eşitlik $a \cdot z_M / h^2 \cdot v_{Str} > 0,3$ sahasında geçerlidir. Bu durumda profil kenarları profil ortasına oranla iki kat daha fazla ısınır : $\phi(h, h) = 2 \cdot \phi(h, 0)$. Ekstrüzyon parçasının iç kısımlarındaki sıcaklık değişmeden kalır.

Bir geçiş bölgesinden sonra $a \cdot z_M / h^2 \cdot v_{Str} > 0,8$ için profil kesitinde sabit bir sıcaklık düşüşü oluşur. Kesit köşelerinde :

$$\phi(h,h) = [(2 \cdot a \cdot z_M) / (h \cdot v_{Sr})] + 2/3h. \quad (1.3)$$

Profil köşeleri ile kenar ortaları arasındaki fonksiyon değerleri farkı, her defasında kenar ortası ile merkez arası gibi $h/2$ 'dir :

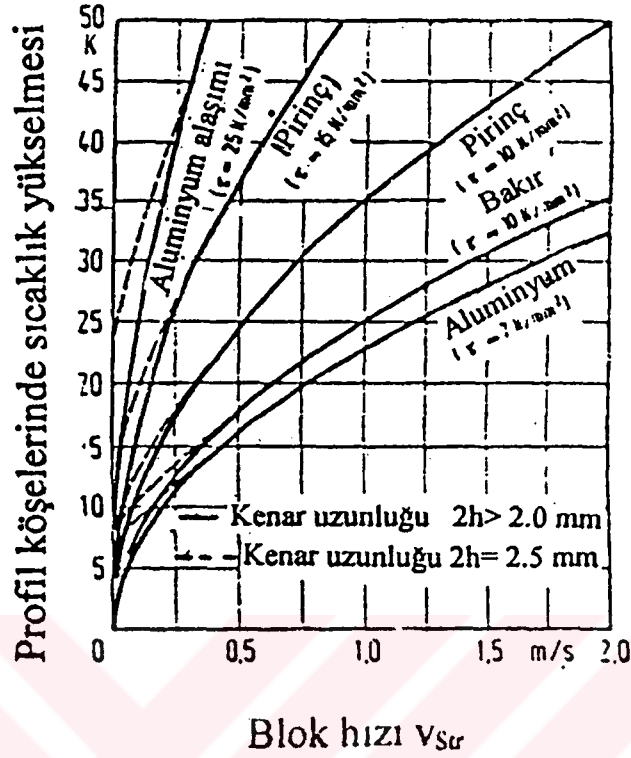
$$\phi(0,0) = (h,0) - h/2 = \phi(h,h) - h. \quad (1.4)$$

Ekstrüzyon işleminde çok ender görülse de, uzun ısınma zamanlarında, (1.3) eşitliğindeki ek kısım çıkarılır.

(1.1), (1.2) ve (1.3) eşitlikleri, aksenel simetrik ekstrüzyonda üst yüzeydeki sıcaklık yükselmesinin tesbitinde de kullanılabilir. Farklı malzemeler için kare profillerin köşelerindeki sıcaklık artışları, malzeme karakteristikleri ve ekstrüzyon hızının etkilerini belirtmek amacı ile Şekil 1.28'de gösterilmiştir. (1.4) ve (1.2) eşitlikleri yardımı ile aşağıdaki hesaplama yapılır :

$$\Delta T(h,h) = \frac{2,26 \cdot b_{Sr} \cdot \tau_R}{(b_M + b_{Sr}) \cdot \lambda} \cdot \sqrt{a \cdot z_M \cdot V_{Sr}} \quad (1.5)$$

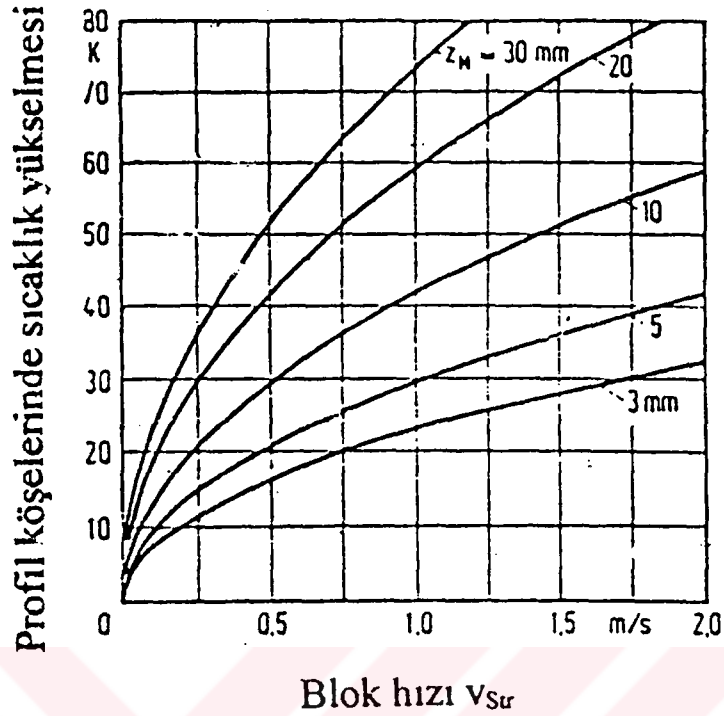
Termik malzeme datalarının birbirlerinden yalnız çok az saptığı durumlarda (Örn: İki farklı ölçme bölgesi), malzeme, sürtünme kayma gerilmesine τ_R -sınır durumunda $\tau_R = \tau_{max} = k_f / 2$ - sıcaklık yükselmelerine lineer olarak etkiyecektir.



Şekil 1.28 Farklı malzemelerde, kare bir profilin ekstrüzyonunda kenar kısımlardaki sıcaklık artışı. [15]

(1.2) eşitliği düşük hız ve küçük profil kesitleri için, kare kök fonksiyonundaki (1.5) sapmalar nedeni ile artık geçerli olamaz. Bu durum, bakır, pirinç, alüminyum ve bir çok alüminyum alaşımı için, yüksek hızlarda ekstrüze edildiklerinden dolayı bir önem taşımaz. Buna rağmen, AlZnMgCu 0,5 gibi zor ekstrüze edilebilen alüminyum alaşımlarında (1.1) eşitliği (1.3) eşitliği ile bağlantılı kullanılmalıdır.

Köşe ısınmaları ile sürtünme uzunlukları arasındaki bağlantı Şekil 1.29'da verilmektedir. Bu şekil, özellikle büyük et kalınlık farklarına sahip karmaşık şekilli ekstrüzyon profillerinin neden daha yavaş ekstrüze edildiklerine iyi bir açıklama getirir.



Şekil 1.29 $2h = 20$ mm kenar uzunluğuna sahip kare kesitli bir alüminyum profilde ekstrüzyon hızı ve sürtünme uzunluklarına bağlı olarak kenar sıcaklık yükselmeleri ($\tau_{max} = 7$ N/mm²). [15]

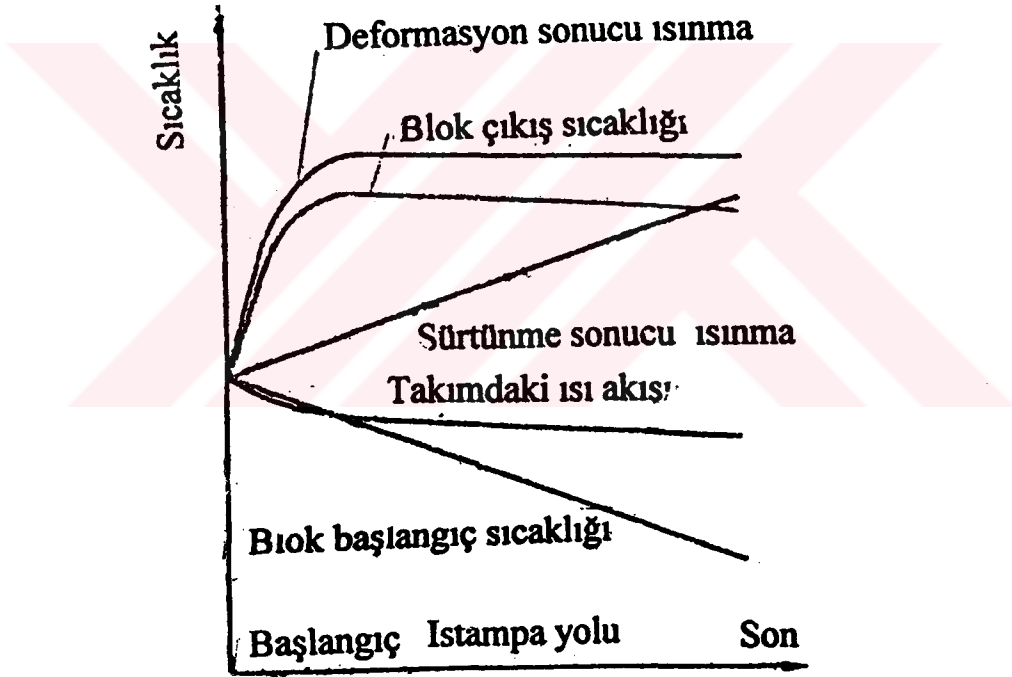
Farklı et kalınlıklarına sahip profillerde, matristen düzgün bir çıkışın sağlanması amacıyla, kalın et kalınlığına sahip bölgelerde malzeme akışı, uzun sürtünme yüzeyleri vasıtasıyla frenlenmelidir. Bazı durumlarda, normal uzunluğu 3 ila 6 mm arasında değişen sürtünme yüzeylerinin uzunluğu birkaç kat artıp, örneğin 30 mm'ye kadar ulaşabilir.

Düşük deformasyon dereceleri, basit profil ve düşük blok sıcaklıklarının kullanıldığı ve işlemin adyabatik koşullara yakın gerçekleştirildiği istisnai durumlar hariç, genel amaç olan, yüksek verimlilik ve eş ekstrüzyon kalitesinin eldesi amacıyla, sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığının eldesi hedeflenir. Şekil değiştirme işlemi esnasındaki ısı üretimi kaçınılmaz bir etmendir. Buna karşılık, sürtünme nedeni ile oluşan ısının azaltılmasına bazı tedbirler alınarak gidilebilir. Bu noktada iki yaklaşım söz konusudur :

1. Bloğun farklı oranlarda ısıtılması : Ek olarak ısınacak bölgelerin, ekstrüzyon başlangıcında daha soğuk tutulmasını amaçlayan bir sıcaklık uygulaması.

Bloğun başından sonuna kadar azalan bir sıcaklık akışı yardımı ile ekstrüzyon çıkış sıcaklığı, işlem esnasındaki ısı oluşumu nedeni ile sabit kalacaktır. Bloktaki sıcaklık dengelenmesinin çok çabuk gerçekleşmesini önlemek amaçlı ile bu işlemin yüksek hızla gerçekleştirilen uygulamalarda tatbik edilmesi önerilir.

Pratikte amaçlanan sıcaklık profiline, özel olarak yerleştirilmiş indüksiyon bobinleri veya kısmi soğutma vasıtası ile ulaşılır.



Şekil 1.30 Bloğun farklı oranlarda ısıtılması ile sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığının eldesi. [15]

2. Bloğun aynı oranda ısıtılması ve soğutmanın kontrolü (Örn : Pres hızının kontrolü):

Teorik olarak bakıldığında, ısı iletiminin ve çıkış sıcaklığının sabit kalması, alıcı sıcaklığının azaltılması ile mümkündür, fakat bunun pratikte gerçekleşmesi çok zordur. Bundan dolayı son araştırmalar, ıstampa hızının v_{st} kontrolüne yoğunlaşmıştır. Bu problemin çözümüne, çıkış sıcaklığının devamlı ölçümü ve kapalı bir çevrim sistemi yardımı ile ıstampa hızının çıkış sıcaklığının bir fonksyonu olarak kontrolü ile gidilmiştir. Böylece ekstrüzyon çıkış sıcaklığı sabit tutulacaktır. Bu sistemde, pres kapasitesinin tamamının kullanımı ancak blok sıcaklığı ve konteynır sıcaklığının doğru seçim ve kontrolü ile gerçekleşebilir.

Çıkış hızının $V_{st} = f(T_{sr})$, teknik zorluklardan dolayı kontrol zorluğu nedeni ile deformasyon koşulları ve değişim davranışları önceden saptanmalıdır.

G. Lange'nin konu üzerindeki düşünce ve çalışmaları şöyledir : Matrizen sabit sıcaklıkta bir çıkış isteniyorsa, blok, şekil verme bölgesini de aynı şekilde sabit sıcaklıkta girmelidir. Her iki sıcaklık farkı, şekil verme işlemi esnasında oluşan ısı miktarı kadardır. Sürtünme nedeni ile oluşan ısı, ısı iletimi ile sevk edilen ısı miktarı ile kompanze edilmelidir. Ayrıca, şekil değiştirme bölgesinden bloğa doğru ısı akışı olmadığı kabul edilmiştir.

Bu görüşlerin ışığı altında, ıstampa hızı ile ekstrüzyon zamanı arasında, aşağıdaki bağıntı ortaya çıkar :

$$V_{st} = \frac{b_A \cdot (T_{B1} - T_A)}{\sqrt{\pi \cdot \tau_R}} \quad (1.6)$$

Zamanın entegrasyonu ile, ıstampa hızı v_{st} , ekstrüze edilen blok uzunluğunun (s) fonksyonu olarak elde edilir :

$$V_{s1}(s) = \frac{2}{\pi} \cdot \left[\frac{b_A \cdot (T_{B1} - T_A)}{\tau_R} \right]^2 \cdot \frac{1}{s} \quad (1.7)$$

Toplam ekstrüzyon zamanı :

$$t_{ges} = \frac{\pi}{4} \left[\frac{\tau_R}{b_A (T_{B1} - T_A)} \right]^2 \cdot l^2 \quad (1.8)$$

b_A (b_M) : Alıcıya ait ısı yayılım katsayısı

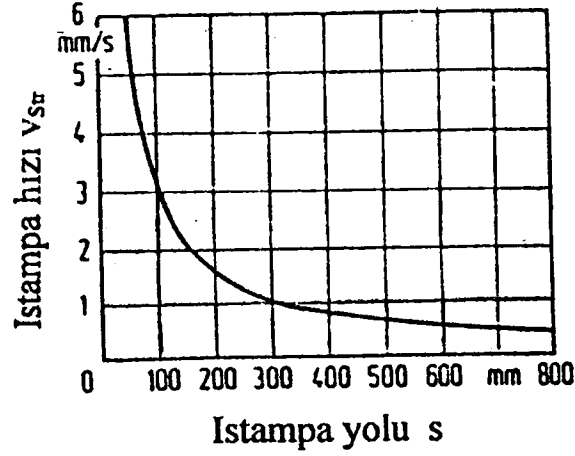
$T_{B1} - T_A$: Başlangıç durumunda, blok ile alıcı arasındaki sıcaklık farkı

l : Toplam ekstrüze edilen takoz uzunluğu

(1.6) ve (1.7) eşitlikleri ile, ekstrüzyon çıkış sıcaklığı ölçülmeden, işlemin kontrolünü sağlamak mümkündür. Şekil 1.31'de ortalama ıstampa hızının bloğun kısınlığı ile orantılı olarak artabileceği görülmektedir. Daha uzun bloklarda ise bir sıcaklık profili ile çalışmak ve ek olarak her iki metodun dezavantajlarını örtmek amacı ile ıstampa hızının kontrolü tavsiye edilir. Sadece sıcaklık profili veya yalnız başına ıstampa kontrolü doğru bir netice alınmasına yeterli gelmeyecektir.

Burada koşul, şekil değiştirme bölgesinden bloğa doğru bir sıcaklık akışı gerçekleşmemesidir. Hesaplamalar ısı akışının yalnız matrise çok yakın bir çevrede gerçekleştiğini göstermektedir. Bu sebeple, kararlı durum içinde verilen sonuçlar geçerlidir. ıstampa hızının çok düşük olmadığı koşullarda, başlangıç aşaması, kararlı duruma ulaşmadan önce çok kısa bir zamanda gerçekleşir.

Sıcaklık kontrolünde önemli role sahip diğer metodlara aşağıda kısaca değinilecektir :



Şekil 1.31 AlZnMgCu 0.5 alaşımının ekstrüzyonunda, sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığında, ıstampa hızının v_{sr} gösterilişi. [15]

1. Blok ile takımların ara yüzeylerinin yağlanması, yağlamasız ekstrüze edilebilen malzemelere uygulanabildiği gibi, kabuk ile ekstrüze edilen alaşımlara da (özellikle alüminyum alaşımları) uygulanabilmektedir. Yağlamanın amacı sürtünme nedeni ile oluşan ısının en alt seviyeye çekilmesidir. Ekonomik nedenlerden dolayı, daha zor ekstrüze edilebilen malzemelerde kullanılırlar.
2. İndirekt ekstrüzyonda, blok ile alıcı arasında relatif bir hareket meydana gelmediğinden dolayı sürtünmeden dolayı oluşan ısıya bu uygulama türünde rastlanmaz.
3. Kullanılan kalıpların soğutulması oluşan aşırı ısının uzaklaştırılması amacı ile önemlidir. Düşük hızlı ekstrüzyon uygulamalarında kullanılması mantıklıdır ve sıcaklık kontrolüne çok dikkat edilmesi lazımdır.

1.3.2 İzotermal ekstrüzyon

Özellikle ısı ile uygulanan ekstrüzyon işlemlerinde sıcaklığın, ürünün nihai kalitesi ve işlemin ekonomikliği üzerinde büyük etkisi vardır. En büyük öneme sahip faktör ise, ekstrüzyon çıkış sıcaklığının ekstrüzyon işlemi esnasında mümkün olduğunca sabit kalmasıdır (Ürün kalitesinin izotermal ekstrüzyon yardımı ile optimize edilmesi). Esas alınan şartlar genel olarak aşağıda toplanmıştır.

- Takım sıcaklığı (Matris, alıcı, pres levhası)
- Blok giriş sıcaklığı
- Sürtünme (Alıcı, mandrel, matris)
- Blok ve takımların temas zamanı
- Şekil değiştirme kabiliyeti

Temas zamanı gibi, şekil değiştirme ve sürtünme verimleri de ekstrüzyon hızına bağlı olarak gelişirler. İstenen sıcaklık uygulamasına ulaşılabilmesi amacı ile blok giriş sıcaklığı, pres hızı (ve pres levhası sıcaklığı) üzerinde değişikliklere gidilebilir.

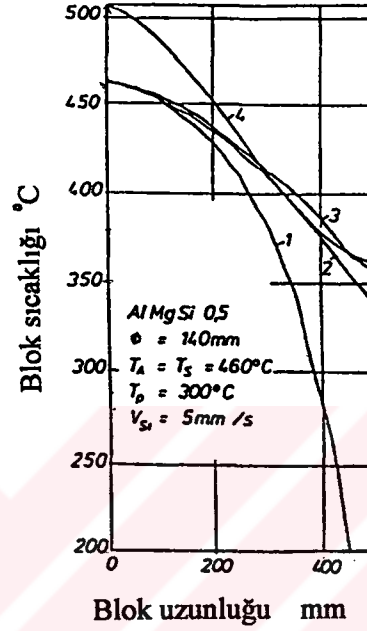
Farklı ekstrüzyon çıkış sıcaklıkları, ekstrüzyon uzunluğu boyunca farklı mukavemet ve üst yüzey yapısı gibi değişken özelliklerin meydana gelmesine neden olabilirler. Ürün kalitesi açısından sabit bir çıkış sıcaklığı arzu edilen bir olgudur.

1.3.2.1 İstenen blok sıcaklık profili

Sabit ekstrüzyon sıcaklığının hesaplanmasında aşağıdaki noktaların göz önüne alınması lazımdır.

- Şekil değiştirme bölgesindeki sıcaklık oluşumu
- Bloğun kenar bölgelerindeki sıcaklık oluşumu
- Matris boyunca, sürtünme nedeni ile oluşan sıcaklık
- Radyal ısı iletimi
- Eksenel ısı iletimi

Bilinen tüm hesaplama uygulamalarında sözü geçen bu unsurların birçoğu ya ihmal edilmiş yada sadeleştirilmiştir. Yapılan hesap uygulamaları, istenen tamlığa ulaşılabilmesi amacı ile çok fazla hesap külfiyeti getirmesine rağmen halen sonuçlar, ölçülen çalışma verilerinin (alıcı ve takımların çıkış sıcaklıkları, sıcaklık eğrileri ...) doğruluklarına bağlıdır.



Şekil 1.32 İzotermal ekstrüzyon işleminde kullanılan sıcaklık profili. [19]

1. Hesaplama;
2. Hesaplama (Sonlu blok ölçümleri);
3. Hesaplama (Ek olarak ön levha hesaba katılmış);
4. Deneysel olarak elde edilmiş sıcaklık profili.

İzotermal ekstrüzyon uygulamasında, takribi blok sıcaklık profili hesabı Lange tarafından geliştirilmiş, hesaplama zahmeti ve tamlık arasında iyi bir orta nokta bulunmuş ve ek olarak ihmal edilen bazı değerler dikkate alınmıştır.

Göz önüne alınan değerlerin hesap edilerek bulunan sıcaklık profili üzerindeki etkileri Şekil 1.32'de gösterilmektedir. Bu diyagramda hesaplanarak bulunan blok sıcaklığı (Eğri 1), sonlu blok ölçümü (Eğri 2) ve ek olarak aksenal ısı iletimi nazarı dikkatinde izotermal ekstrüzyon için sıcaklık profili karşılaştırılmıştır. Bunun üzerine bir blok sıcaklık profili gösterilmiştir ve verilen malzeme ve çalışma

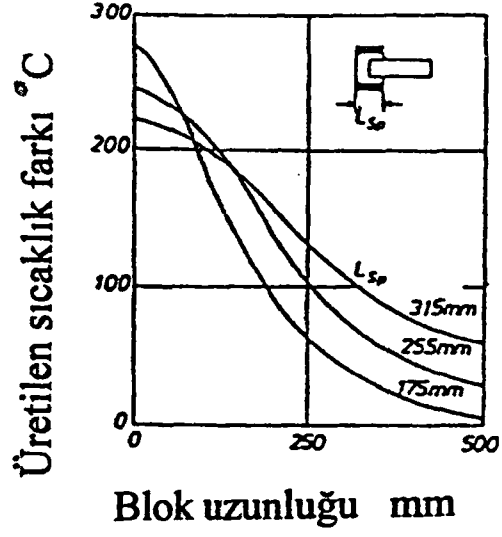
şartları ile yaklaşık olarak sabit çıkış sıcaklığı eldesi hedeflenmiştir. Burada verilen etki büyüklükleri ile gerçek değerlere daha fazla yaklaşılmıştır.

1.3.2.2 Eksenel blok sıcaklık profili vasıtası ile izotermal üretim

Bloklar indüksiyon fırınlarında tavlansmaktadır. İndüksiyon akımı bloğun üst yüzeyine etki edip, ısının büyük bir bölümü bloğun dış kısmında yoğunlaşır. Çekirdek kısım ise ısı iletimi ile ısınır. Bu sebepten dolayı iç kısım ile dış kısım arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 25 derece civarındadır fakat fırının devre dışı kalmasından sonra bu sıcaklık farkının çok kısa bir zaman içinde dengeye ulaşması nedeni ile bu fark ihmal edilebilir. Bloğun alın yüzeylerindeki ek ısı ışıma nedeni ile oluşan sıcaklık farkının dengelenmesi amacı ile blok sonlarının, diğer kısımlara göre daha kuvvetli ısıtılması lazımdır. Eksenel sıcaklık profili üretiminin bir olasılığı, blokların fırın sargısının içine ekzantrik bir konumda konulmalarıdır. Farklı kuvvet hattı yoğunluklarının blok üzerinde farklı ısı kaynakları oluşturması sonucu, diğer kısımlar ile karşılaştırıldığında, bloğun bir sonu daha kuvvetli diğer sonu ise zayıf ısıtılmış olur. Farklı ısı kaynaklarının dağılımının etkileri Şekil 1.34'de gösterilmiştir. Kısa bir ısıtma zamanı sonrası orta kısımda yaklaşık olarak eş sıcaklık değerleri, blok başında sıcaklık yükselişi, blok sonunda ise sıcaklık düşüşü görülür. İlerleyen ısıtma işleminde farklı ısı kaynakları dağılımı ısı iletimi ile blok ortasında yaklaşık lineer sıcaklık profili oluşu ile neticelenir. Eş olmayan ısıtma uygulamalarının bir diğeri ise şok ısıtma ile yapılanıdır. Şekil 1.33'de farklı ısıtma zamanlarında bu yöntem ile üretilen sıcaklık profili görülmektedir. Oldukça büyük eksenel sıcaklık farklılıkları meydana çıkar. Blok sonu sıcaklık profili daha zayıftır ve bu blok bölümü yalnız ısı iletimi ile ısınır.

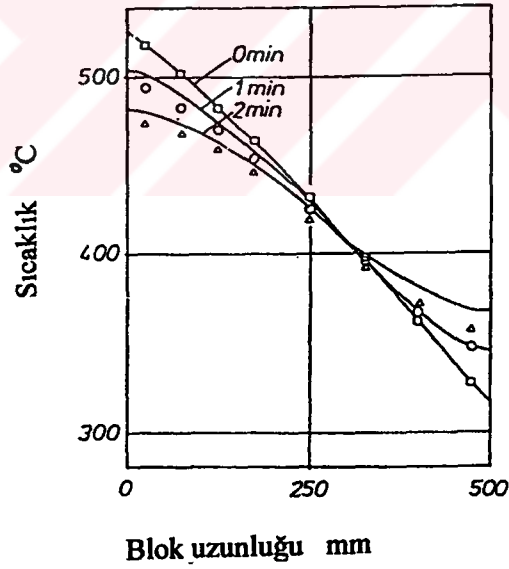
1.3.2.3 Değişken pres hızının tesbiti

Direkt ekstrüzyon işleminde ekstrüzyon çıkış sıcaklığı ile pres hızı arasında kesin bir bağılık mevcuttur. Ekstrüzyon işlemi esnasında pres hızının değiştirilmesi ile sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığının eldesi hedeflenebilir.



Şekil 1.33. İndüktif blok tavlama. [19]

(AlMgSi 0.5; ϕ 136 mm)



Şekil 1.34. Sıcaklık profilinde sıcaklık dengesi - Ekzantrik blok tertibi

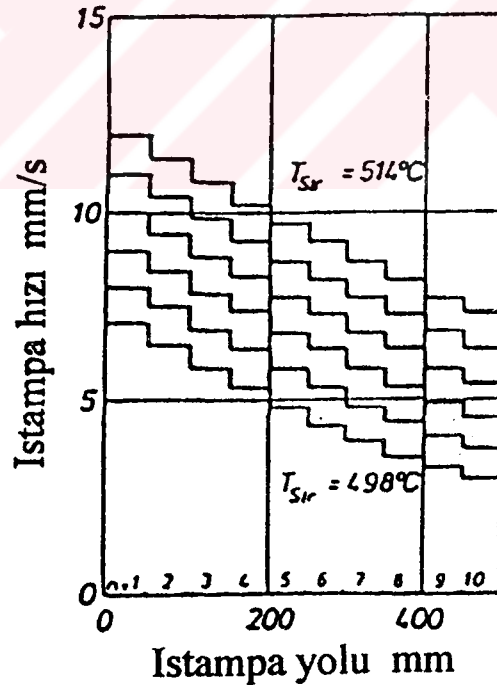
(AlMgSi 0.5; ϕ 136 mm). [19]

10 basamaklı, yola bağımlı bir hız ayarlaması ile elde edilen hız profili yardımı ile matrise sabit bir sıcaklıkla giriş sağlanır.

Artan ekstrüzyon hızı ile ekstrüzyon çıkış sıcaklığı yüksek değerlere çekilir. Yükselen ekstrüzyon hızı ile birlikte ortalama şekil değiştirme hızı yükselir ve şekil değiştirme bölgesindeki malzeme mukavemetinin yükselmesine sebep olur. Yükselen mukavemet değerlerinden ötürü matriste şekil değiştirme işindeki artış, sıcaklığın artmasına sebep olur.

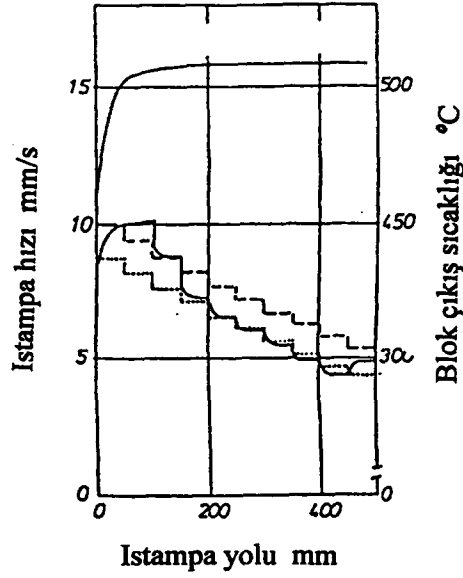
Ekstrüzyon hızı ile artan kenar kayma gerilmesi ile oluşan sıcaklık artışı, pres zamanının kısaltılması ile örtülebilir.

Verilen deney şartları altında sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığı için istenen ekstrüzyon akış hızı 1 mm/s adımlar halinde değişken başlangıç hızları V_t ile Şekil 1.35'de, ekstrüzyon uzunluğu ile yaklaşık olarak lineer azalan bir ıstampa hızına sahip hız profili olarak verilmiştir. Şekil 1.36'da teorik hesaplanmış profil ile istenen gerçek hız profili, düzeltilmiş hız profili ile görülmekte. Burada hesaplanmış ve istenen ekstrüzyon hız profillerinin uyumları görülmektedir.



Şekil 1.35 Hesaplanarak elde edilen sıcaklık profili.[19]

(AlMgSi 0,5; ϕ 140 mm, L = 500; V = 50, $T_A = T_B = 460^{\circ}\text{C}$)



- - - Gerekli hız profili
- - - Teorik hız profili
- Düzeltilmiş hız profili

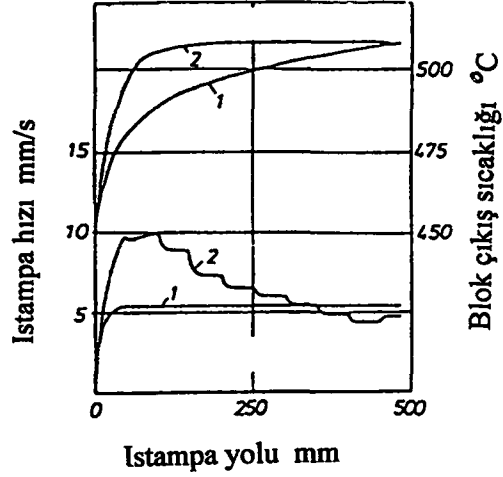
Şekil 1.36 Hesaplanmış değerler ile deneysel olarak elde edilen hız profillerinin kıyaslanması. [19]

Bu türdeki ekstrüzyon denemelerinin yanında Şekil 1.37’de ıstampa hızı ile çıkış sıcaklığının durumu görülmektedir. Hedeflenen maksimum çıkış sıcaklıklarına ulaşmak için izlenen sıcaklık akışlarındaki farklılık ekstrüzyon zamanında %15 kısalmaya sebep olmuştur. Bu azalma prodüktivitenin artması olarak kendini gösterebileceğinden dolayı önemli sayılabilir.

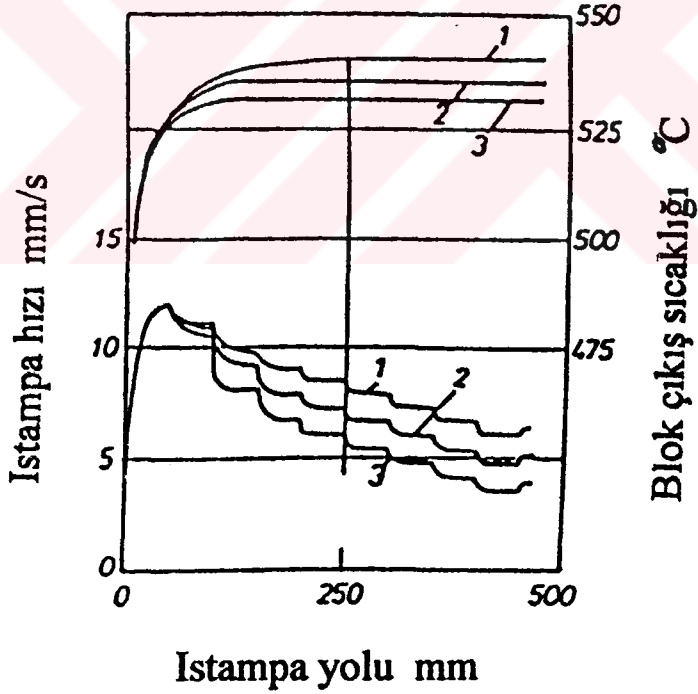
1.3.2.4 Ortalama ekstrüzyon hızı ve maksimum ekstrüzyon çıkış sıcaklığı

Tatbik edilen ekstrüzyon hız profilinde ortalama hızın artırılması ekstrüzyon çıkış sıcaklığının yüksek değerlere çıkması ile sonuçlanır. Şekil 1.38’de farklı ekstrüzyon hızı uygulamaları ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Ekstrüzyon başlangıcındaki istisnai durum göz önüne alınmaz ise

ortalama hızların paralel seyrettiği görülür. Bütün hız profillerinde sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığı hedeflenmiştir.



Şekil 1.37 Hız profili - Sabit ekstrüzyon hızı ile karşılaştırma. [19]

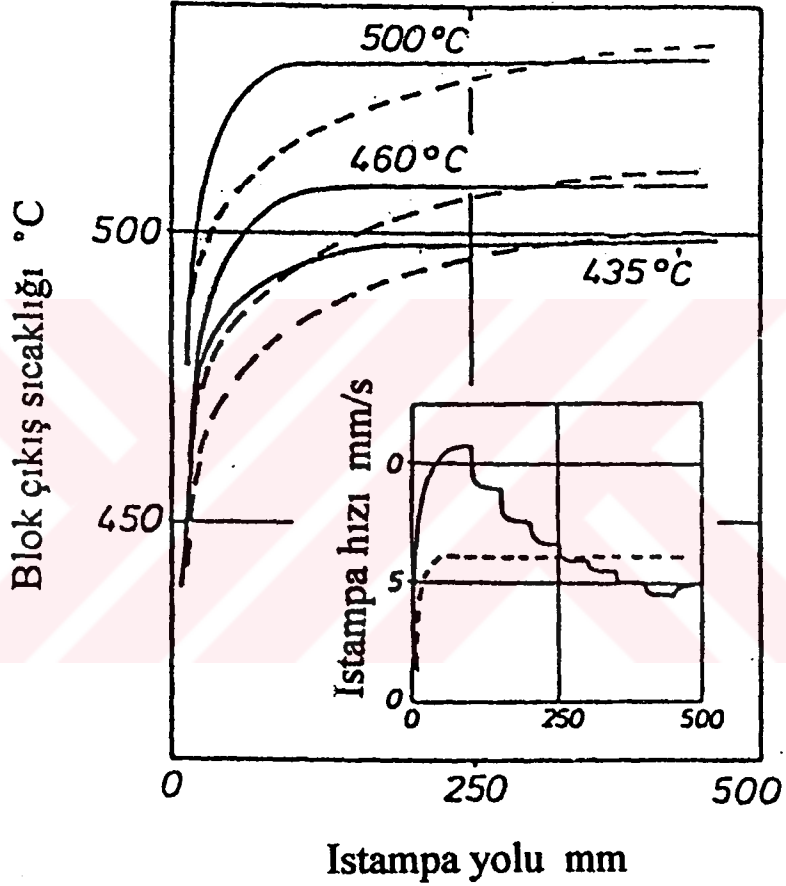


Şekil 1.38 Ortalama hızın ekstrüzyon hız profiline etkisi. [19]

(AlMgSi 0,5; ϕ 140 mm, $V = 50$, $T_A = T_B = 460$ °C)

1.3.2.5 Blok giriş sıcaklığı

Artan blok giriş sıcaklığı ile kenar kayma gerilmesinin yenilmesi çok daha kolay bir hale gelir. Şekil 1.39'da farklı blok giriş sıcaklıklarına sahip eş ekstrüzyon hız profillerinde sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığının amaçlanması ve elde edilen sonuçlar görülmektedir. 435 ile 500 derece arasındaki giriş sıcaklıkları ile hız profili uygulanan ve uygulanmayan deney verileri görülmekte:

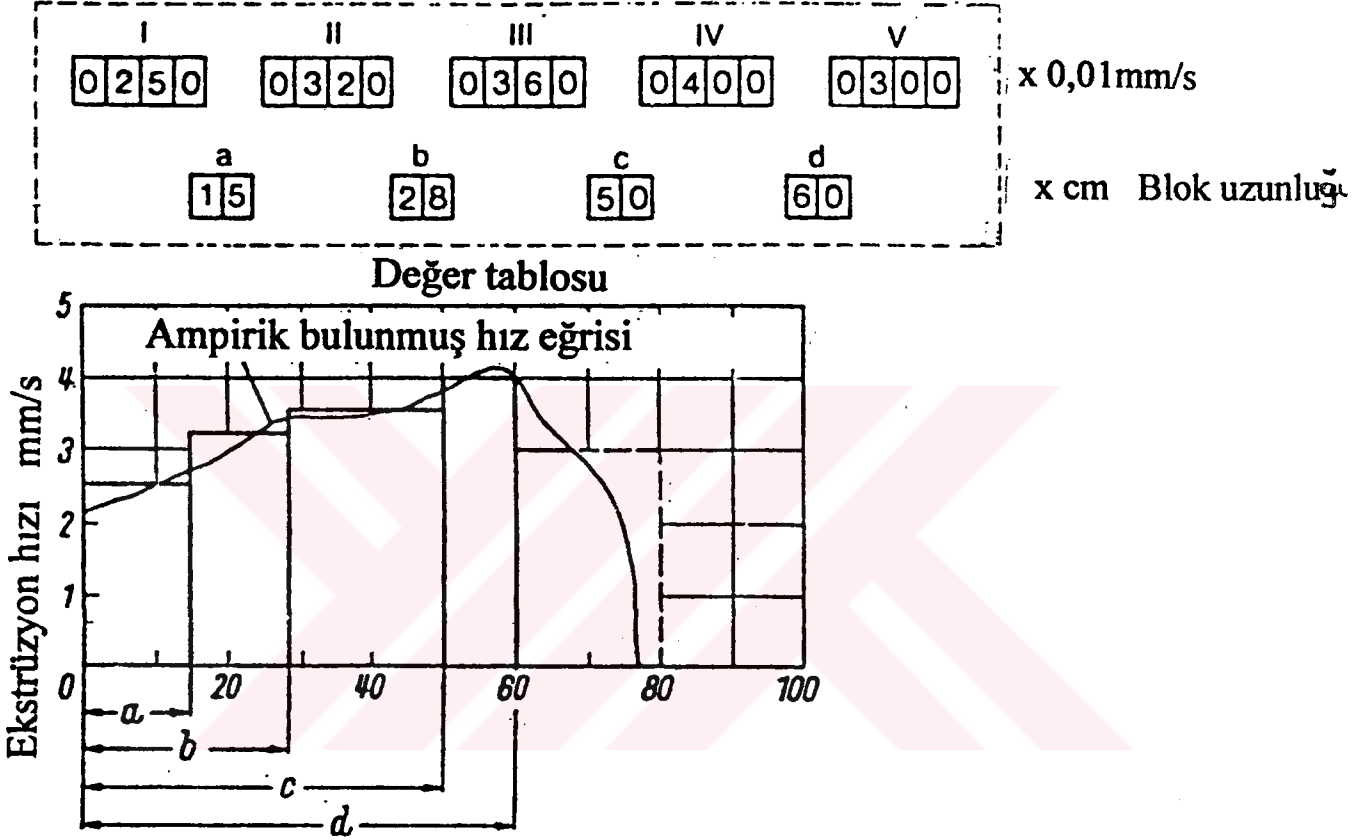


Şekil 1.39 Blok giriş sıcaklığının eşit hız profillerine/profiline etkisi. [19]

(AlMgSi 0,5; ϕ 140 mm, $V = 50$, $T_A = T_B$)

Kısa olarak özetlemek gerekirse, yüksek verimlilik amaçlandığında, ekstrüzyon hızı blok çıkış sıcaklığı, kritik çıkış sıcaklığının altında ve ekstrüzyon işlemi boyunca sabit kalacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu tür bir izotermal sıcaklık akışının elde edilmesinin yolu kapsamlı ve etkili bir sıcaklık kontrolüdür.

Proses kontrolü, ampirik olarak elde edilmiş ve bölümler halinde sabit olarak kalan ekstrüzyon hız eğrileri vasıtası ile gerçekleşir. Şekilde gösterilen örnekte, 150 mm pres uzunluğunda 2.5 mm/s olarak başlayan hız, devam eden bölümlerde 3,2 mm/s ve 3,6 mm/s v.b. yükselmiştir. Sarfedilmesi gerekli zahmet her ne kadar büyük olsa da, uzun zaman tam ve eşit özelliklere sahip üretim elde edilir.



Şekil 1.40 İzotermal ekstrüzyon prosesinin şematik gösterimi. [19]

1.4 Ekstrüzyon İşleminde Basınç Kavramı

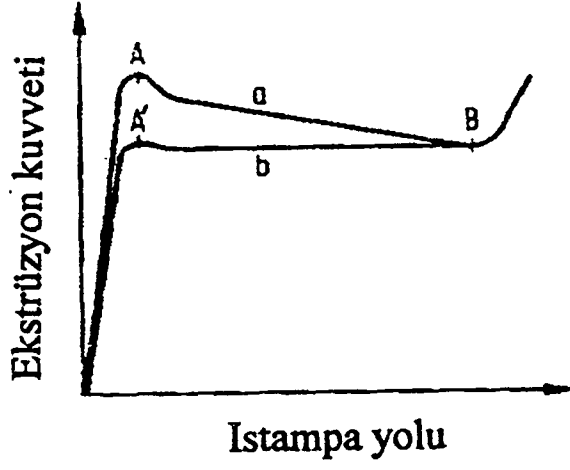
1.4.1 Basınç ve kuvvet kavramları

Direkt ekstrüzyon işlemi ele alındığında, basınç ve basınca etkiyen faktörlerin incelenmesi büyük önem kazanır. Çünkü ekstrüzyon işleminde gerekli basıncın bilinmesi, uygulanması gereken ekstrüzyon kuvvetinin bulunmasına yardımcı olur. Gerekli basıncın artışı, uygulanacak kuvvetin artışı olarak da yorumlanabilir.

Direkt ekstrüzyonda kuvvet ilk olarak, 0 noktasından A noktasına kadar kuvvetli bir artış gösterir (a eğrisi). Bu sahada, dış çapı alıcı iç çapından daha küçük olan blok maksimum uzunluktadır ve kalıptan ekstrüzyon çıkmaya başladığında (yığılma meydana geldiğinde) maksimum noktaya ulaşılır. Blok preslendikçe azalmaya başlayan sürtünme alanı nedeni ile pres kuvveti, B noktasında bir minimuma ulaşmaya kadar sürekli düşüş gösterir. Daha sonra ise, arta kalan blok parçasına ait akış direncinin artmasından dolayı, yeniden hızlı bir yükseliş meydana gelir.

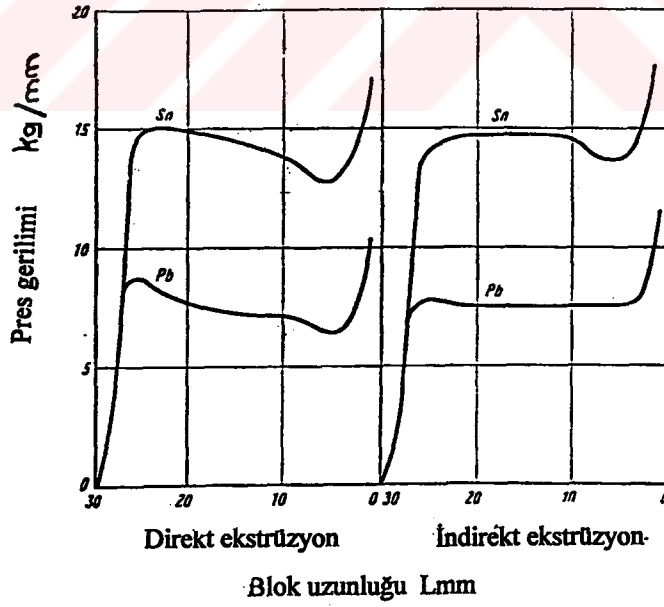
A ve B noktaları arasındaki fark deformasyon olayına karşı direnç ile alıcı ve takoz arasındaki sürtünme kuvvetlerinin üstesinden gelmek için gerekli basıncı bize bildirir. Diğer bir deyişle, A ve B noktaları arasındaki basınç farkı, malzeme akışı ve sürtünmeyi yenmek için uygulanması gereken kuvvet miktarı olarak alınabilir.

Şekil 1.41'de de görüldüğü üzere, direkt ve indirekt ekstrüzyon işlemlerinde farklı basınç davranışları ile karşılaşılır. Direkt ekstrüzyon işlemine ait "a" eğrisi belli bir eğime sahip iken indirekt ekstrüzyona ait "b" eğrisinde bu eğim görülmemektedir. Aşağıdaki şekilde kurşun ve çinkonun her iki yöntem ile elde edilmiş basınç eğrileri görülmektedir. İndirekt ekstrüzyonda, yaklaşık olarak sabit konuma sahip basınç eğrilerinin elde edilmesinin sebebi alıcı ile blok arasındaki sürtünmenin ortadan kalkması ve dolayısı ile sürtünme ile alakalı bir basınç değişiminin bulunmamasıdır. Daha düşük başlangıç değerleri elde edilir ve ayrıca A ve B arasında yaklaşık olarak sabit bir kuvvet değeri elde edilir ve elde edilen kuvvet büyüklükler, direkt ekstrüzyonda elde edilen minimum değerlerdir.



Şekil 1.41 Ekstrüzyon uygulamalarında kuvvet- istampa yolu bağımlılığı.[15]

- a) Direkt ekstrüzyon
- b) İndirekt ekstrüzyon

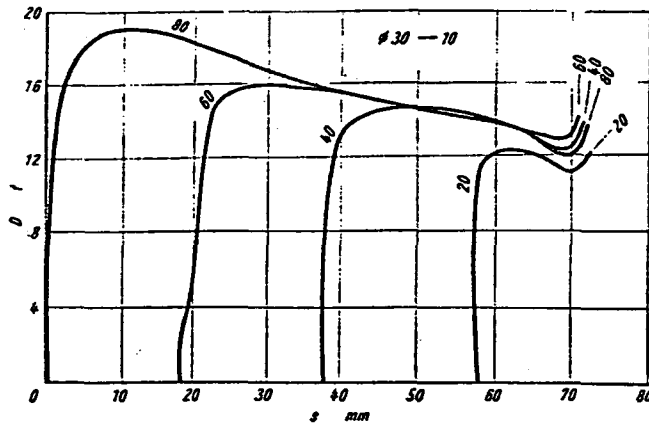


Şekil 1.42 Direkt ve indirekt ekstrüzyonda kuvvet akışı. [9]

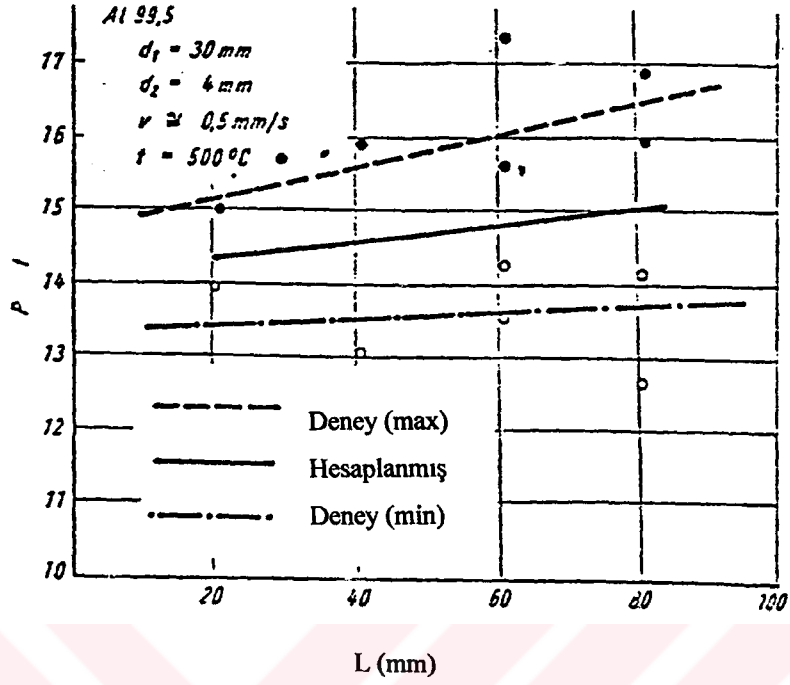
İndirekt ekstrüzyonda, görüldüğü gibi, blok alıcı içinde yığılmaya başlayınca kadar yine benzer biçimde bir kuvvet artışı görülür. Burada alıcı ile blok arasında relatif bir hareket bulunmadığından dolayı malzeme akışı direkt ekstrüzyona oranla daha basit gerçekleşir.

Direkt ekstrüzyonda, alıcı ve blok arasındaki sürtünmenin konumundan dolayı meydana gelen A ve B noktaları arasındaki kuvvet düşüşü blok uzunluğu ile direkt olarak bağlantılıdır ve işlemin başlangıcında maksimum değerde bulunur. Blok uzunluğu azaldıkça maksimum değerde de azalma görülür. Fakat işlemin ekonomik olması amacı ile sistemin kapasitesi (Pres kapasitesi ve soğutma masalarının uzunluğu) ve ekstrüzyon oranı göz önüne alınarak en uygun blok uzunluğu seçilmelidir.

Uygun yağlayıcıların kullanılması ile bu kuvvet artışlarında azalma görülür. Alıcı ile blok arasındaki hareket incelendiğinde, alıcı ile direkt temasta bulunan bloğa ait kabuk kısmının altındaki kayma hareketinin yağlama ile değiştirilip, blok ile alıcı arasında bir hareketin meydana gelmesi sağlanabilir. Bu yolla gerekli basınç düşüşü sağlanmasına rağmen, yağlayıcı sıvının yüzey problemlerine neden olduğundan dolayı bu tür bir uygulamaya ancak zorunlu hallerde başvurulur.



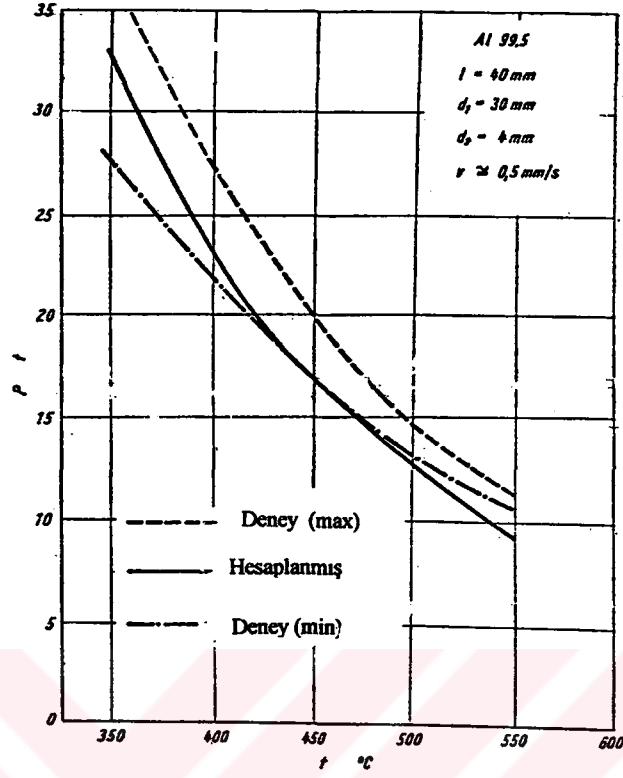
Şekil 1.43 Blok uzunluğunun ekstrüzyon kuvvetine etkisi. [9]



Şekil 1.44 Alüminyumun direkt ekstrüzyonunda blok uzunluğuna bağlı olarak başlangıç kuvvetlerinin değişimi.[9]

Alıcı kesitinin ürün kesitine oranı olan ekstrüzyon oranı (A_0/A_1) büyüdükçe gerekli basıncın arttığı görülür. Şekil değiştirme kuvvetinde ve ölü bölgenin büyümesinden dolayı artan sürtünme bu artışın başlıca nedenleridir.

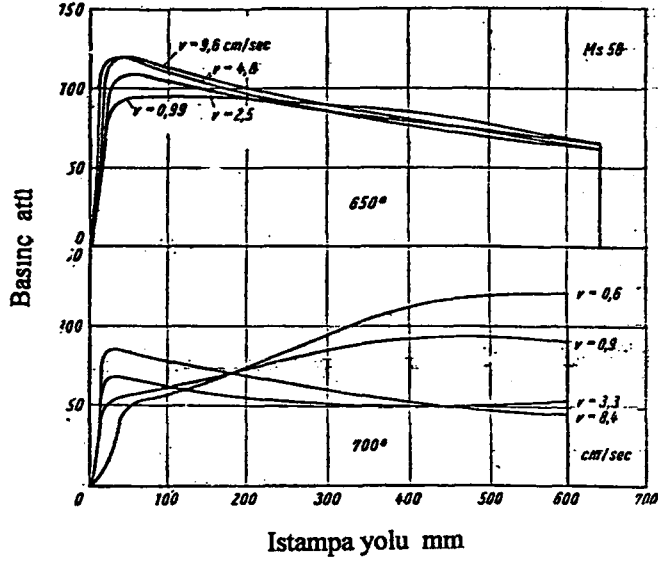
Sıcaklık artışı ise, şekil değiştirme direncinin ve akma gerilmesinin azalmasına, dolayısı ile gerekli basıncın azalmasına neden olur. Fakat yüksek sıcaklıklarda yüzeyde yırtılmaların meydana gelmesi nedeni ile uygulama sıcaklığı, istenen yüzey kalitesi ile verimlilik arasında optimum bir noktanın bulunması ile elde edilir. Sıcaklık artışında, blok kabuk yüzeyinin hareketinin yavaşlatılabilmesi ve bunun için daha soğuk tutulabilmesi amacı ile alıcı sıcaklığı, blok sıcaklığından düşük ayarlanmalıdır.



Şekil 1.45 Alüminyumun direkt ekstrüzyonunda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak pres kuvvetlerinin değişimi. [9]

Ekstrüzyon işleminde uygulanan hız eğer belli bir değerin altında ise bloğun soğuması sonucu sıcaklığa bağlı olarak gerekli basınçta artış görülebilir. Bu nedenle optimum hızın eldesi de diğer faktörler gibi çok önemlidir.

Blok sonundaki hataların engellenmesi ve minimum pres kuvvetinin eldesi için genellikle blok uzunluğunun yaklaşık 15 %'i kesilerek ayrılır. Söz konusu uzunluk malzeme özellikleri, şekil değiştirme faktörü ve sıcaklığı, profil şekli gibi faktörlere bağlıdır.



Şekil 1.46 Pres basıncının ilgili parametrelere bağlı olarak değişimi. [9]

1.4.2 Kuvvet ve iş büyüklüklerinin hesaplanması

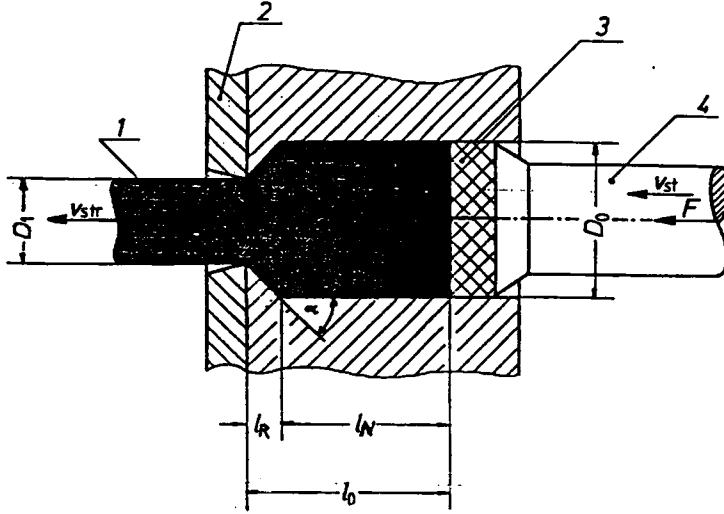
Ekstrüzyon işlemi için gerekli kuvvetin hesaplanması için belli değerlere sahip olunması lazımdır.

φ - logaritmik şekil değiştirme

A_0 (mm²) - Şekil değişimi öncesi kesit alanı

A_1 (mm²) - Şekil değişimi sonrası kesit alanı

λ - Ekstrüzyon oranı



Şekil 1.47 Direkt ekstrüzyonda kuvvet ve iş hesabı için gerekli büyüklükler. [28]

$$\varphi = \ln (A_0 / A_1) \quad (1.9)$$

$$\lambda = A_0 / A_1 \quad (1.10)$$

Deformasyon alanındaki komplike malzeme akışından dolayı ekstrüzyon işlemindeki deformasyon hızı yaklaşık olarak aşağıdaki formüllerle bulunur :

- φ (s^{-1}) Şekil değiştirme hızı
- v_{st} (mm/s) Istampı hızı
- D (mm) Alıcı çapı
- v_{str} (m/dk) Ekstrüzyon çıkış hızı
- A_0 (mm^2) Şekil değişimi öncesi kesit alanı
- A_1 (mm^2) Şekil değişimi sonrası kesit alanı
- D_0 (mm) Blok çapı
- D_1 (mm) Çubuk çapı

$$\varphi = 6 \cdot v_{St} \cdot (\varphi / D) \quad (1.11)$$

$$\varphi = 2 \cdot (v_{St} / D_1) \quad (1.12)$$

$$v_{St} = (10^3 \cdot v_{St} \cdot A_1) / (60 \cdot A_0) \quad (1.13)$$

Tablo 1.5 Çelik, bakır ve alüminyum malzemelerin ekstrüzyonunda kabul edilebilir değerler. [28]

Malzeme	Eks-trüzyon sıcaklığı ortalama değer	λ_{max}	φ	Hız		*			
				Blok	Istampa	i	o	k	
				v_{Str} m/dk	v_{st} m/s λ_{max} için	y	r	ö	
Al	Al 99,5	430	1000	6,9	50-100	1,6	x		
	AlMg 1	440	150	5,0	30-75	8,3	x		
	AlMgSi 1	460	250	5,5	5-30	2,0		x	
	AlCuMg 1	430	45	3,8	1,5-3	1,1			x
Cu	E-Cu	850	400	6,0	300	12,5		x	
	CuZn10(Ms90)	850	50	3,9	50-100	33			x
	CuZn28(Ms72)	800	100	4,6	50-100	16,6		x	
	CuZn37(Ms63)	775	250	5,5	150-200	13,3		x	
	CuSn 8	800	80	4,4	30	6,2			x
St	C15 C35 C45 C60	1.200	90	4,5	360	66	x		
	100Cr6 50CrMo4	1200 1250	50 50	3,9 3,9	360 360	120 120	x x		
	Ti	TiA 15 Sn 2,5	950	100	4,6	360	60		

* : Ekstrüzyon edilebilirlik.

Ekstrüzyon kuvveti hesabında ise, iç kayma ve matris sürtünmesi için gerekli kuvvet ile, blok ile alıcı arasındaki sürtünme için gerekli kuvvetin bulunup toplam kuvvete gidilmesi gerekir.

F	(N)	Toplam ekstrüzyon kuvveti
F_{pr}	(N)	Deformasyon kuvveti
F_R	(N)	Alıcı sürtünme kuvveti
A_0	(mm ²)	Blok kesit alanı
D_0	(mm)	Blok çapı
φ	-	Logaritmik şekil değişimi
η_F	-	Şekil değişime verimi
μ_w	-	Alıcı sürtünme katsayısı
k_f	(N/mm ²)	Akma gerilmesi

$$F = F_{pr} + F_R$$

$$F = (A_0 \cdot k_f \cdot \varphi) / \eta_F + D_0 \cdot \pi \cdot l \cdot \mu_w \cdot k_f \quad (1.14)$$

μ_w : Cidar sürtünme katsayısı homojen yağlama ve düşük sıcaklıkta $\mu_w = 0,10-0,20$ arasında, yağlamasız durumda ise $\mu_w = 0,35-0,45$ arasındadır.

η_F : Şekil değiştirme verimi ise 0,4-0,6 arasındadır.

Sıcak şekil değiştirme işleminde k_f akma gerilmesi iki değere bağlıdır :

- Şekil değiştirme sıcaklığı
- Şekil değiştirme hızı

k_f değeri, optimum şekil değiştirme sıcaklıklarında, şekil değiştirme hızı $\varphi = 1s^{-1}$ değeri için Tablo 1.7'den okunabilir.

Gerçek şekil değiştirme hızı ele alınarak yapılacak bir hesaplamada aşağıdaki denklem kullanılır :

$$k_f = k_{f1} \left(\dot{\varphi} / \dot{\varphi}_1 \right)^m. \quad (1.15)$$

$\dot{\varphi}_1 = 1 \text{ s}^{-1}$ olarak alınırsa, bu denklem sadeleştirilerek şöyle yazılabilir :

$$k_f = k_{f1} \cdot \dot{\varphi}^m. \quad (1.16)$$

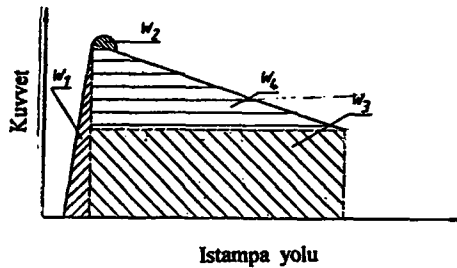
k_f	(N/mm ²)	Optimum sıcaklık ve gerçek şekil değiştirme hızında akma gerilmesi
$\dot{\varphi}$	(s ⁻¹)	Gerçek şekil değiştirme hızı, [$\dot{\varphi} = 6 \cdot v_{St} \cdot (\varphi / D)$]
$\dot{\varphi}_1$	(s ⁻¹)	Temel hız, $\dot{\varphi}_1 = 1 \text{ s}^{-1}$
k_{f1}	(N/mm ²)	Optimum şekil değiştirme sıcaklığı ve temel hızda ($\dot{\varphi} = 1 \text{ s}^{-1}$) akma gerilmesi
m	-	Malzeme katsayısı

k_{f1} ve m Tablo 1.6'dan alınabilir.

Ekstrüzyon işleminde iş kavramı ise aşağıdaki denklem ile belirtilir:

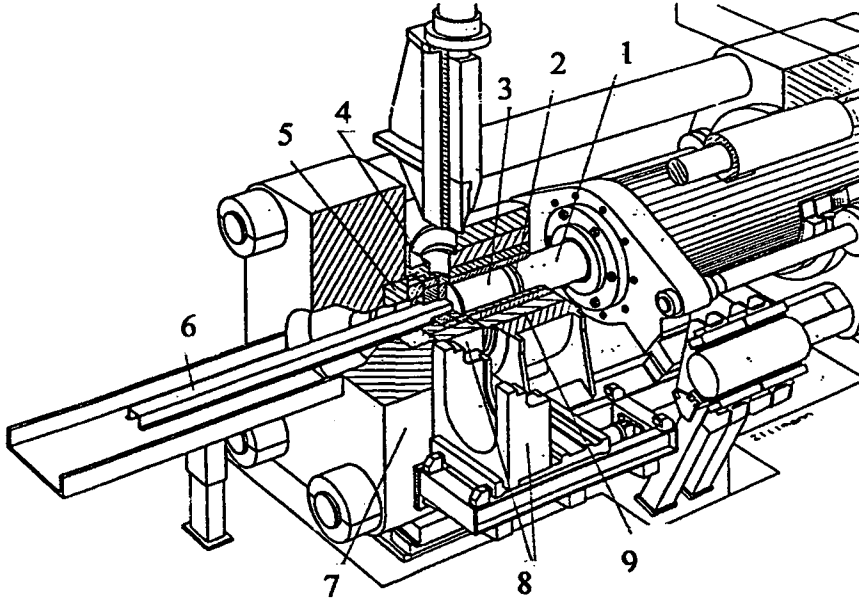
$$W = (V \cdot \varphi \cdot k_f) / (10^6 \cdot \eta_f) \quad (1.17)$$

W	kNm	Şekil değiştirme işi
V	mm ³	Deformasyon hacmi
k_f	N / mm ²	Akma gerilmesi
10^6	-	Çevirme katsayısı (N - kNm)



Şekil 1.48 Kuvvet yol diyagramı. [28]

1.5 Ekstrüzyon takımları



Şekil 1.49 Ekstrüzyon presi ana parçaları. [19]

1- İstampa, 2- Ön levha, 3- Blok, 4- Matris, 5- Destek, 6- Mamül, 7- Matris grubu gövdesi, 8- Takım tutucu, 9- Alıcı

1.4.1 Alıcı

Alıcı, genellikle iç gömlek, ara gömlek ve gövde olmak üzere üç bölüme ayrılır. Alıcı gövdesi ısıtma sistemlerini taşıyan bölümdür ve 400 ila 500 derece arası indüktif veya rezistanslı ısıtma uygulanır. Isıtma bölgelere göre farklı uygulanabilir. İç gömleğin, iç çapı içeriye sürülen blok çapından birkaç milimetre daha büyük, çok düzgün ve çatlaksız bir yüzeye sahip olması istenir. Bu şartların sağlanması ile olumsuz sonuçlara yol açabilecek olan iç kısma hava girişi önlenmiş olur. Alıcıların sahip oldukları yüksek maliyet yükü dikkate alındığında, hesaplamalara ve kullanılacak sıcak mukavemete sahip çeliklerinin (CrMoV ve CrMoVW çelikleri, özellikle iç gömlek) seçimine büyük önem verilmelidir.

İç gömlek, özenle seçilmiş bir malzeme ile imal edilmiş olsa dahi, yüksek değerdeki aşınmadan dolayı servis zamanları genellikle, kolay ekstrüze edilebilir malzemelerde 50000-100000, zor ekstrüze edilebilir malzemelerde ise 15000-20000 ekstrüzyon işlemi ile sınırlıdır.

Göreceli olarak yüksek verime sahip olan yegane presler, genişlikleri yüksekliklerine oranla daha büyük olan dikdörtgen kesitli alıcıya sahip preslerdir. Örnek olarak, 670x250 mm² kesitli 85 MN'luk pres gösterilebilir.

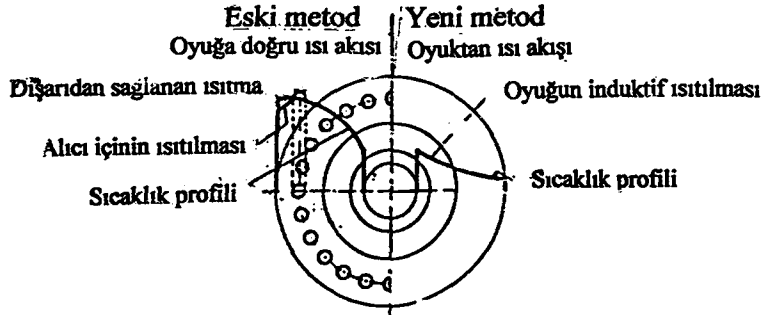
Tablo 1.7 Hafif alaşımların ekstrüzyonunda, direkt ekstrüzyon presi boyutları.[28]

Pres kuvveti MN	Alıcı iç çapı, mm	Uzunluk, mm
10,0	160'a kadar	500
31,5	280'e kadar	1000
50,0	355'e kadar	1250
80,0	350'ye kadar	1600
125,0	800'e kadar	2000

Özet olarak, alıcıdan ilk olarak şu beklentileri yerine getirmesi beklenir :

1. Yaklaşık 10^3 N/mm² iç basınç, ve yüksek sıcaklıkta (Çelik için yaklaşık 1500 K'e kadar) iç cidar, özelliklerini kaybetmeden görevini yapmalı.
2. Uygun şekil değiştirme sıcaklıkları sağlamalı.

Alıcı mümkün olan en düşük çalışma sıcaklığında çalıştırılmalı ve termal şokların önlenmesi amacı ile dikkatli ve etkili bir şekilde soğutulabilmelidir.



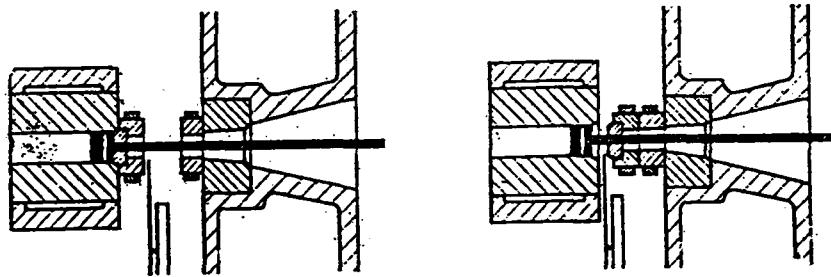
Şekil 1.50 Alıcıda oluşan sıcaklık dağılımı. [19]

1.4.2 Istamp, ön levha, malafa

Ekstrüze edilecek blokların preslenmesinde dairesel kesitli silindirik ıstampalar kullanılır. Takım malzemesi olarak X 38 CrMoV51 ilk akla gelen ve en sık rastlanan sıcak iş çeliğidir. Küçük ve orta derecedeki ıstamp basıncı için, alıcı iç gömleğinde de kullanıldığı gibi (CrMoV) çelikleri, daha yüksek değerlerde ise (200 mm ϕ) NiCrMoV çelikleri kullanılır.

Blok ile ıstamp arasında kaynama olasılığını engellemek amacı ile her ikisi arasında "ön levha" olarak hitab edilen takım kullanılır. Yine, bu parçada da sıcak mukavemeti yüksek (CrMoVW veya CrMoV) çelikleri kullanılır. Diğer şekil verme metodlarının tersine, ekstrüzyon işleminde şekil değiştirme kuvveti direkt olarak ıstampaya değil, ıstampanın blok ile yüzleşen tarafında bulunan ön levhaya iletilir. Sıcak iş çeliğinden imal edilmiş olan ön levhanın dış çapı, alıcı iç çapından, çok az bir fark ile daha küçüktür.

Metalurjik sebeplerden dolayı, direkt ekstrüzyonda ekstrüzyon blokları sonuna kadar pres edilemezler ve belli bir kalınlıktaki artık parça ekstrüze edilmeden kalır. Ekstrüzyon artığı, bir testere veya bir hidrolik makas yardımı ile çıkan üründen ayrılır. Ön levha ekstrüzyon artığından, pres dışında, özel bir ön levha ayırıcısı ile ayrılır ve yardımcı bir eleman ile, ön levha, yükleme konumuna getirilir.

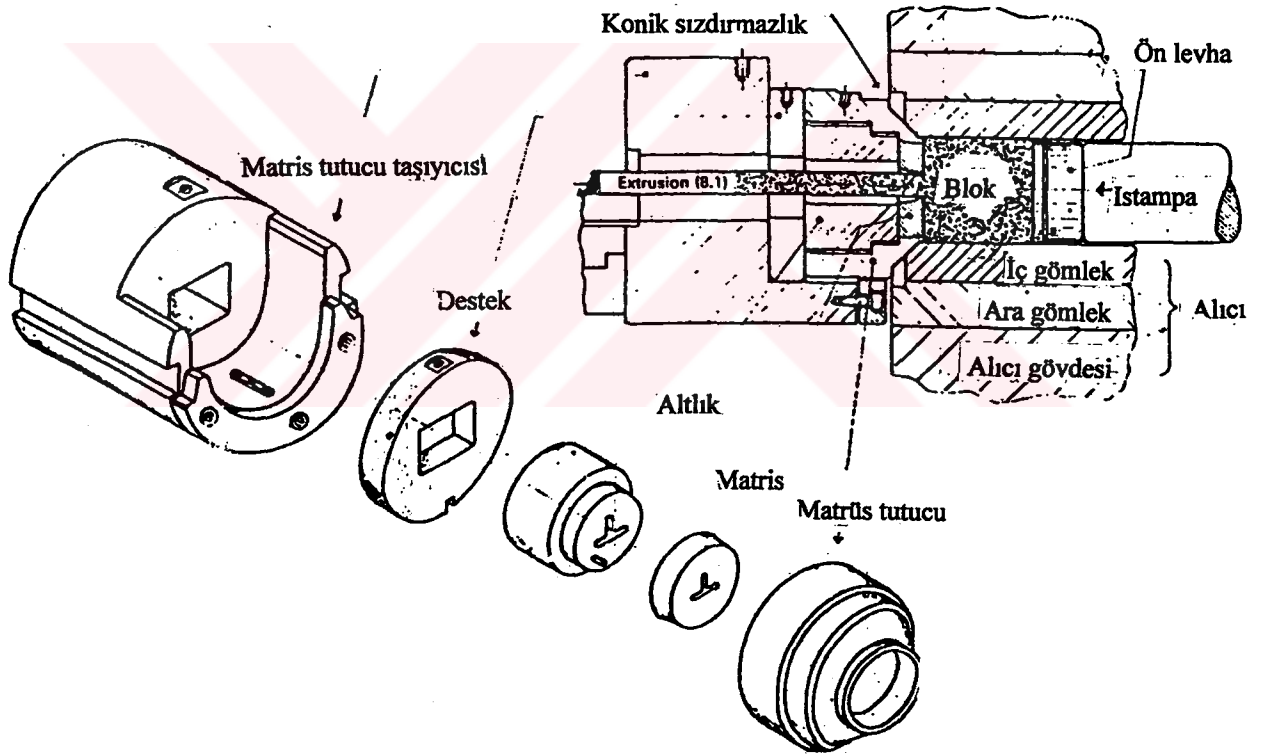


Şekil 1.51 Kesici takım yardımı ile, takımın ön ve arkasından ekstrüzyon artığının ayrılması. [19]

Boru ve basit içi boş profiller, sabit veya beraber hareket edebilen malafalar yardımı ile ekstrüze edilirler. Sabit malafalar, ekstrüze edilen boru veya profilin eşit et kalınlıklarına sahip olması amacı ile matris girişine sabitlenirler. Malafa, çok yüksek bir sürtünmenin etkisinde kaldığından dolayı, yüksek sürtünme mukavemetine sahip olması gerekir. Termik zorlamanın etkisini belli sınırlar arasında tutmak amacı ile blok boylarının kısa tutulması yoluna gidilir.

Hareketli malafalar ise ıstampa üzerine sabitlenmiş olabilirler. İşlemin bitiminde malafanın kolayca geri çekilebilmesi amacı ile hafif bir koniklik verilmesi yararlıdır.

1.4.3 Matris



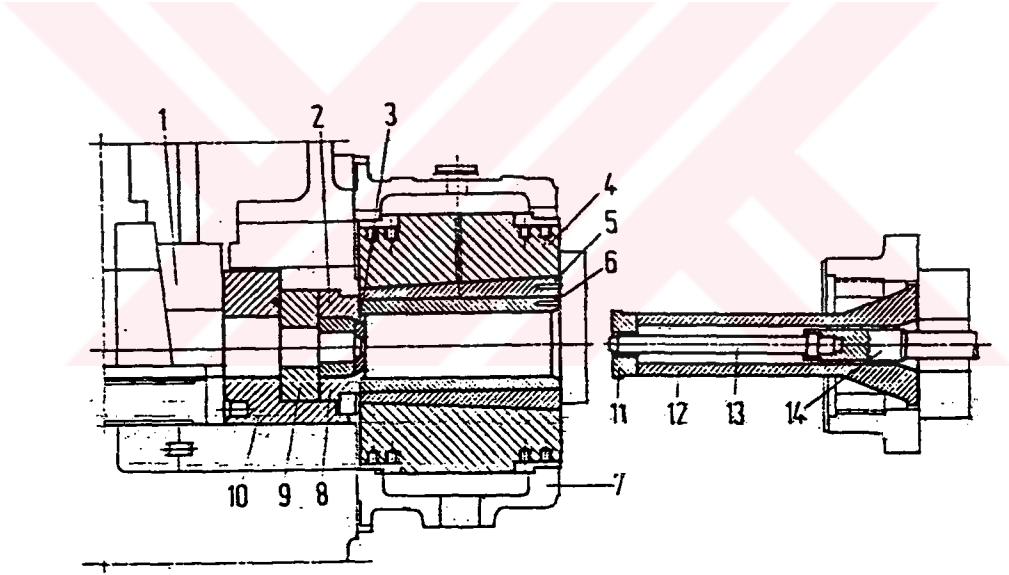
Şekil 1.52 Normal matris takımı. [16]

Uygulanan yüksek basınç ve sıcaklık değerleri göz önüne alındığında, takımın uzun süre formunu koruması ve en uzun servis ömrünü vermesi amacı ile, ekstrüzyon edilen malzeme ile karşılaşan yüzeyin en düşük seviyede olması istenir. Uygulanan

basıncın pres doğrultusunda dağıtılması, takımın alıcıya iyi bir şekilde oturtulması ve sızdırmazlığın sağlanması amacı ile bazı yardımcı takımlar kullanılır ve içden dışa doğru azalan bir sıcaklık akışı oluşur.

Yukarıda söz edilen sebeplerden dolayı, matris malzemesi olarak sıcak iş çelikleri kullanılır. Örnek olarak X40CrMoV51 (malzeme no: 1.2344) çeliği verilebilir. Homojen bir akışın sağlanması ve takımın deformasyonu ve kırılmasının engellenmesi amacı ile, takımın belli işletme sıcaklığına kadar ısıtılması ve aşırı ısınma durumunda ise hemen soğutulabilmesi gerekir.

Matrisler, matris malzemeleri ve matris dizyanı hakkında daha detaylı bilgi takip eden bölümlerde verilecektir.



Şekil 1.53 Boru ekstrüzyonunda kullanılan pres takımları.[15]

- | | | |
|-------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1. Matris grubu gövdesi | 6. İç gömlek | 11. Ön levha |
| 2. Altlık | 7. Alıcı tutucusu | 12. İstampa |
| 3. Matris | 8. Matris tutucusu | 13. Malafa |
| 4- Gövde | 9. Destek | 14. Malafa tutucusu |
| 5. Ara gömlek | 10. Matris tutucu taşıyıcısı | |

Tablo 1.8 Ekstrüzyon takım malzemeleri. [28]

Takım	Al alaşımları		Cu alaşımları		Çelik ve alaşımları	
	Malzeme	Sertlik değeri (HRC)	Malzeme	Sertlik değeri (HRC)	Malzeme	Sertlik değeri (HRC)
Alıcı						
İç gömlek	1,2343	40-45	1,2367	40-45	1,2344	40-45
Ara gömlek	1,2323	32-40	1,2323	32-40	1,2323	32-40
Gövde	1,2312	30-32	1,2323	30-32	1,2343	30-32
İstampa	1,2344	45-52	1,2365	45-52	1,2365	45-52
Ön levha	1,2343	42-48	1,2344	42-48	1,2365	42-48
Matris	1,2343	42-48	1,2367	42-48	1,2344	42-48
Matris tutucu	1,2714	40-45	1,2714	40-45	1,2714	40-45

2. MATRİS DİZAYNI VE MATRİS MALZEMELERİ

Ekstrüzyon presi takımlarına, geçen bölümde genel olarak değinilmiştir. İşlem dahilinde en büyük önemi taşıyan parçalar olan matrislere ise bu bölüm içinde değinilecektir. Matris imalatının ilk aşaması olan dizayn prosesinden bahsedildikten sonra, matris imalatında kullanılabilen malzemeler ve bu malzemelere uygulanan işlemlere de değinilecektir.

2.1 Matris Dizaynı

Takımların yardımı ile gerçekleştirilen imalat yöntemlerine geçilmesinden bugüne kadar şu görülmüştür ki, imal edilen ürünün kalitesi büyük ölçüde kullanılan takımın verimliliğine bağlıdır. Aynı mantık ekstrüzyon işleminde de geçerlidir.

Bir ekstrüzyon takımının verimliliği aşağıdaki 5 özellik ile belirlenir:

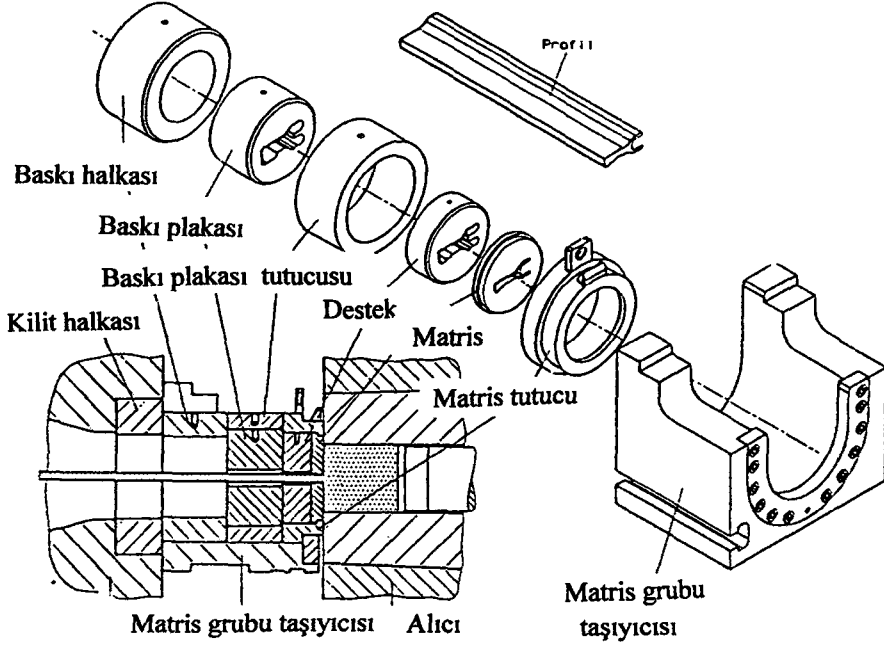
- İyi konstrüksiyon ve düşük üretim maliyeti,
- Hassas ve üretime uygun imalat metodu ,
- İyi kalitede takım malzemesi,
- İstenen özelliklere uygun ısıl işlem.

Konstrüksiyonun temelleri olarak da şunları sayabiliriz :

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

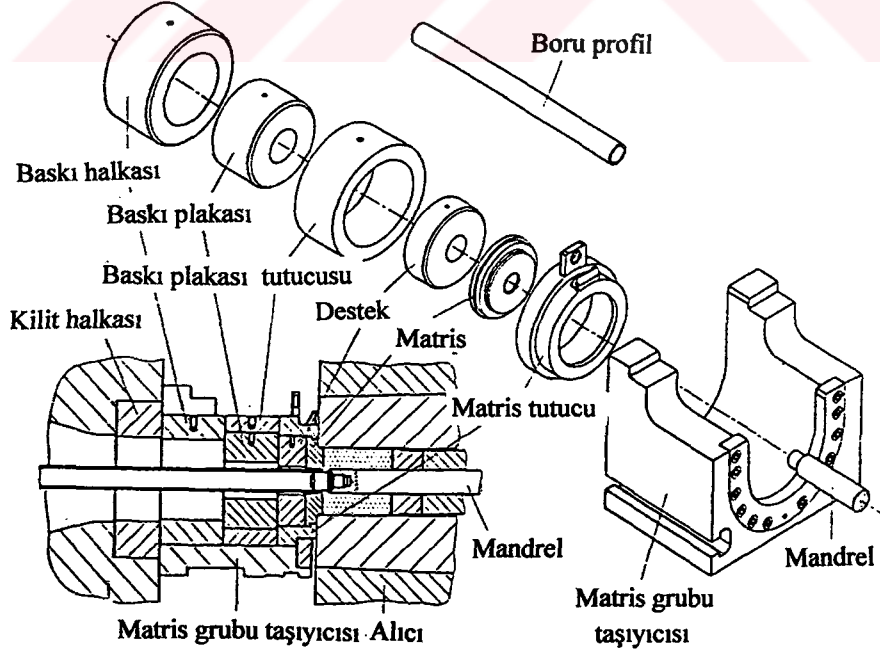
Üretilen olan profile bağlı olarak farklı üç tip takım kullanılmaktadır :

Açık veya dolu profillerin üretimi için normal veya düz matrisler kullanım alanına sahiptir. Alıcı ile matris arasındaki sızdırmazlık dairesel halka formundaki takım parçaları ile sağlanır. Normal bir matris takım kombinasyonuna sahip ekstrüzyon presinin parçaları Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Ekstrüzyon presinde normal matris takımının yapısı. [19]

Yuvarlak ve şekilli boruların imalinde kullanılan boru takımları, boruya dış şeklini veren normal matris ile iç formu veren mandrelden meydana gelirler (Şekil 2.2).

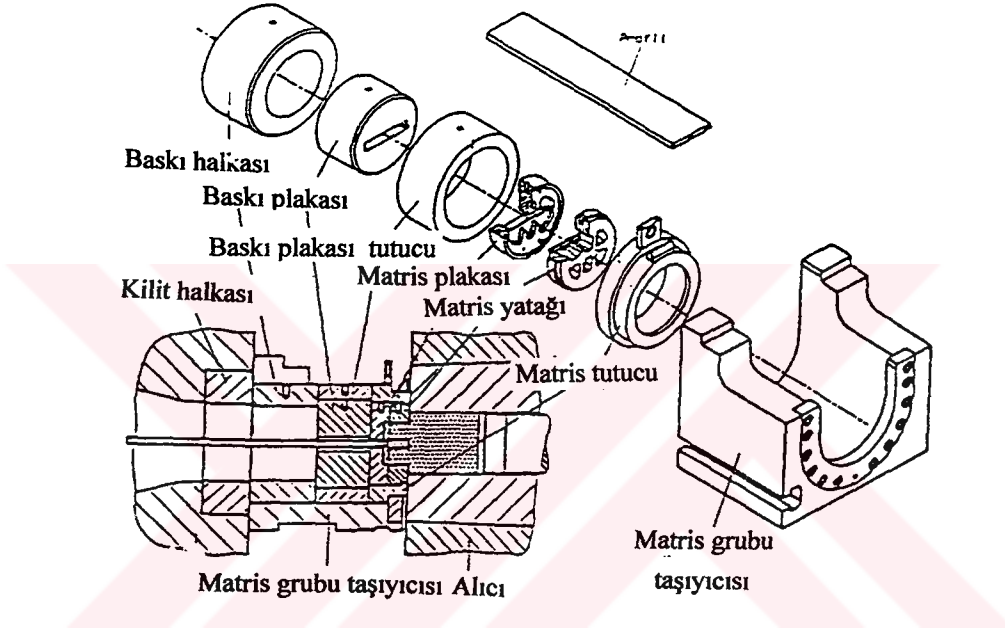


Şekil 2.2 Boru imalatında kullanılan takımların ekstrüzyon presindeki yerleşimi.[19]

Pres içinde yeralan malafa sayesinde iç boşluğun oluşumu sağlanır ve böylece dikişsiz boru üretimi mümkün hale gelir. Kalın borular ve içi delik bloklar, ince cidarlı borular haline getirilebilirler.

İçi boş profillerin üretiminde ise özel matrislerin kullanımı yoluna gidilir (Şekil 2.3).

Profilin dış şeklini veren matris plakası ile iç şekli veren matris mandreli, beraber bir bütün oluştururlar.



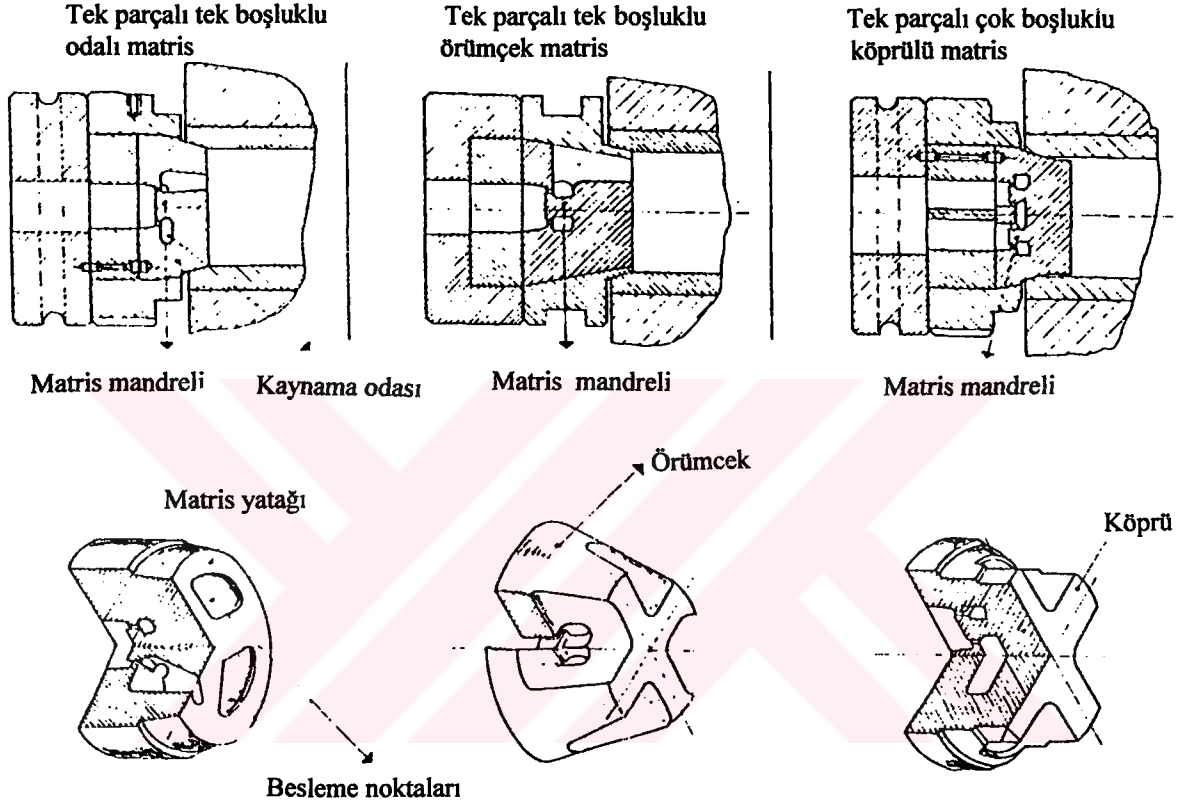
Şekil 2.3 Ekstrüzyon presinde özel matris kullanımı. [19]

Özel tip matrisler söz konusu olduğunda en çok köprülü, örümcek ve odalı matrislerin kullanımına rastlanır. Boruların ve özellikle komplike kesitlere sahip alüminyum kutu profillerin imalatında önem taşırlar. Bu tür takımların kullanım mantığı alüminyum malzemelerin yüksek basınç altında kaynamasıdır. Basit matris tiplerinde akış sisteminin sürtünme yüzeylerinin yapısı ile kontrol edilmesi karşısında, bu tür matrislerde kontrol, bağımsız giriş yolları ve mandrel parçalarının yerleşimlerinin düzenlenmesi ile sağlanır.

Köprülü matrislerin ana kullanım amaçları ince cidarlı kutu profillerin imalatıdır. Diğer kutu profil takımlarına kıyasla en düşük ekstrüzyon kuvvetine ihtiyaç duyarlar ve en yüksek ekstrüzyon hızına erişilir. Yağlama maddelerinin

kullanımına imkan verirler ve her ekstrüzyon işleminden sonra tamamen boşaltılıp temizlenebilirler.

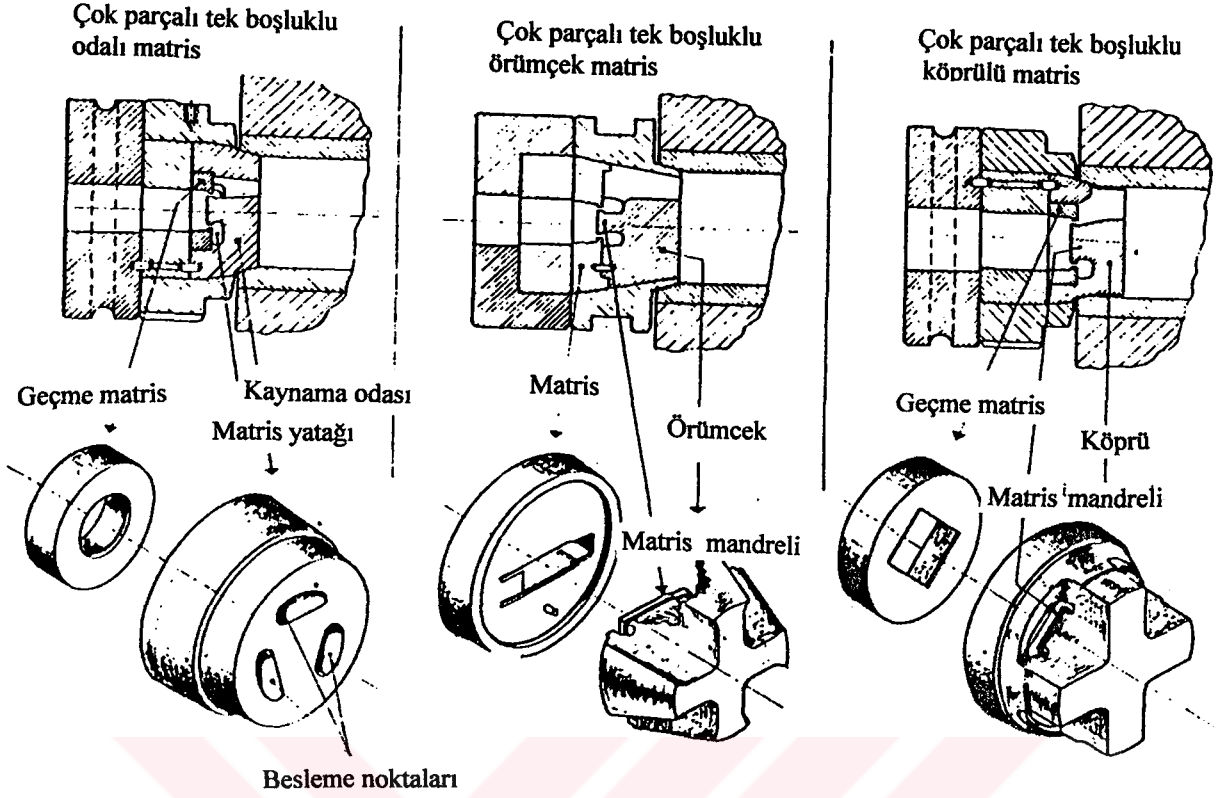
Bunun karşısında, yüksek imalat maliyeti, ekstrüzyon kalıntısının meydana çıkardığı ek maliyet ve diğer matris tiplerine oranla daha küçük profillerin pres edilebilmesi bu tip matrislerin dezavantajları olarak sayılabilir.



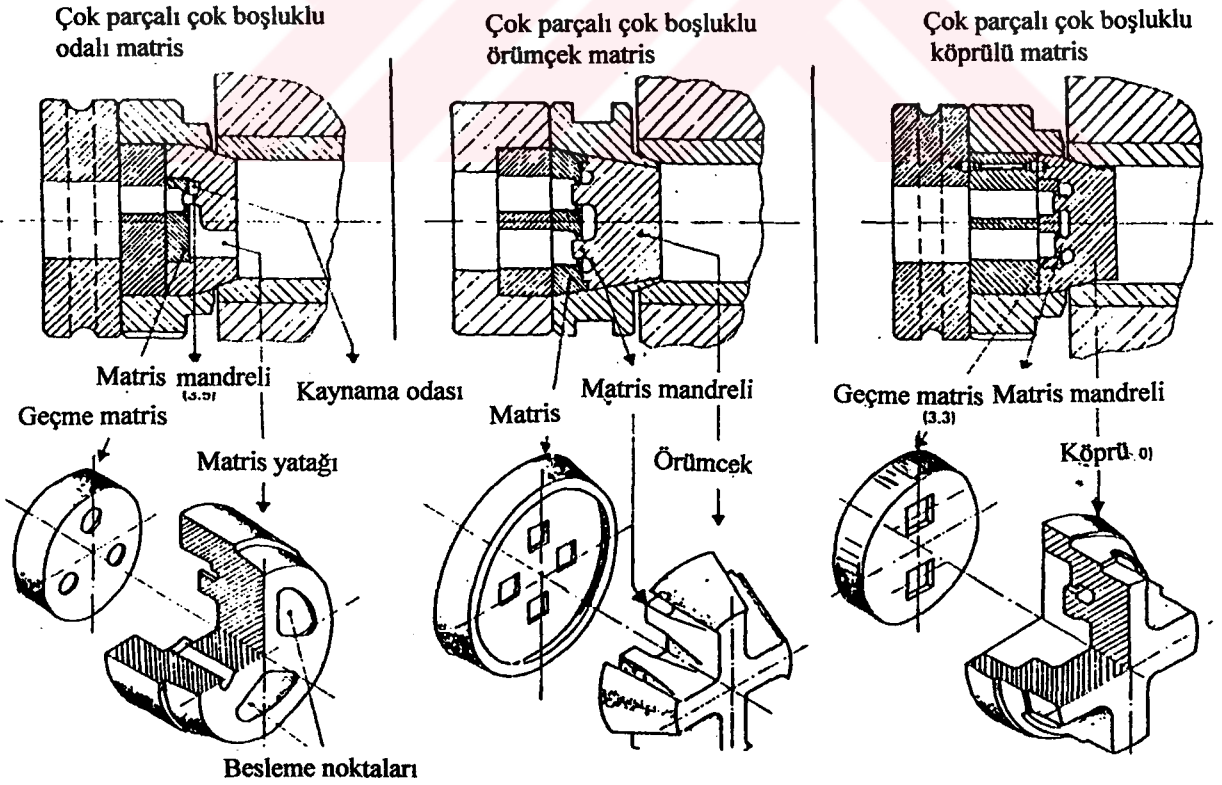
Şekil 2.4 Tek parça ve tek delikli özel matris tipleri. [16]

Örümcek matrisler ilave için özel bir destek görevi görürler. Köprülü matrislere oranla daha büyük profiller ekstrüze edilebilinip, artık ekstrüzyon malzemesinde azalma, üretim maliyetinde de düşme görülür. Her ekstrüzyon işleminden sonra temizleme gereksinimi yoktur ve yüksek ekstrüzyon kuvvetleri uygulanır. Matris ve destek parçasının hassas bir şekilde merkezlenmesi lazımdır.

Odalı matrisler, hemen hemen her çeşit profilin üretimini imkan dahilinde kılmakla beraber, büyük ölçekli veya birçok simetrik ve asimetric boşluğa sahip komplike profillerin üretiminde başarı ile kullanılmaktadır. Avantaj ve dezavantajları örümcek kalıplarınki ile kıyaslanabilir düzeydedir.



Şekil 2.5 Çok parçalı, tek boşluklu özel matris tipleri. [16]



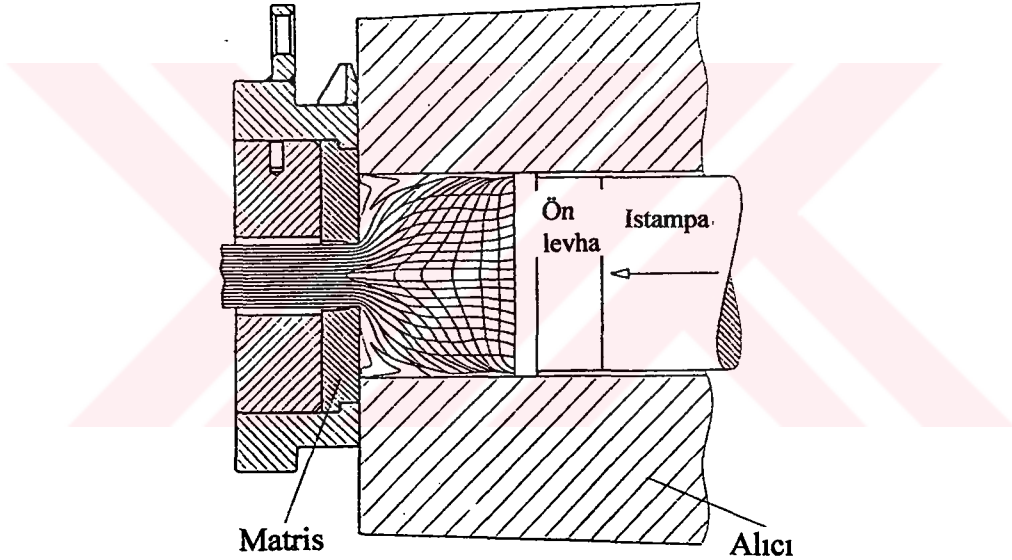
Şekil 2.6 Çok parçalı ve çok boşluklu özel matris tipleri. [16]

2.1.1 Malzeme akışının kontrolü

Temel olarak, alıcı içerisindeki malzeme akışı, matris açıklığına kadar bütün ekstrüzyon presi takımlarında eşittir (Şekil 2.7).

Ekstrüze edilecek blok, ıstampa ve ön levhanın önünde, basınç altında yığılmaya başlar ve bir sonraki adımda blok, matris açıklığından istenen profile çıkmaya başlar.

Akış resminde bloğun merkezinde akışın daha hızlı gerçekleştiği görülür. Matris boşluğunun önünde doğal olarak konik bir akış oluşur ve alıcı ile matris alın kenarları arasında matris açıklığına doğru bir ölü bölge oluşur.



Şekil 2.7 Alıcı içerisinde malzeme akışı. [19]

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

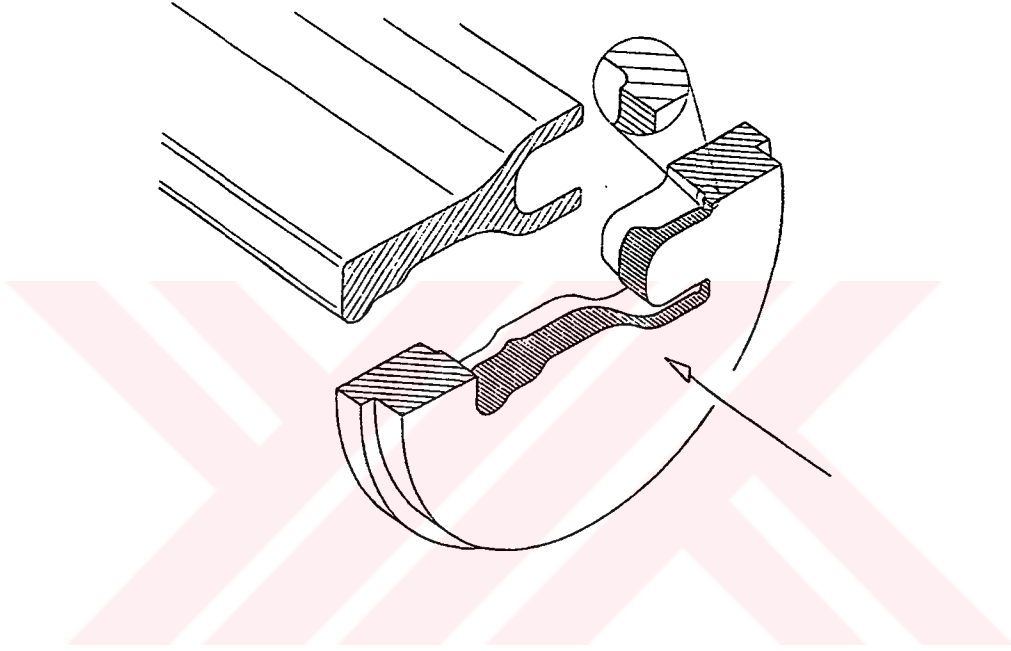
- Matris içinde bulunan akma yüzeylerinin farklı uzunluklara sahip olması.
- Ön oda tertibatının kullanılması.
- Ek olarak, özel matrislerde, farklı form ve büyüklüklerde kaynama odaları.

İleriki sayfalarda ise, bu öğelere kısa olarak değinilip şekiller yardımı ile konu hakkında kısa bilgiler verilecektir.

2.1.2 Matris akma yüzeyleri

Akma yüzeyi, malzemenin işlem dahilinde takım üzerinde kaydığı ve bu esnada istenen profil formunu aldığı bölümdür.

Akma yüzeyi uzunlukları öyle ayarlanmalıdır ki, profil doğru zamanda ve istenen formda takımdan ayrılmalıdır.



Şekil 2.8 Matris akma yüzeyleri. [19]

Akma yüzeylerinin uzunluk ve büyüklükleri, matris açıklığı içindeki sürtünme kuvvetleri ile direkt bağlantı içindedirler. Bu da şu manaya gelmektedir : Kısa veya küçük akma yüzeyleri doğal olarak daha az sürtünme kuvvetine yol açarlar. Malzeme daha hızlı yol alır. Bunun tersi olarak, uzun akma yüzeylerinin, oluşan daha yüksek sürtünme yüzeyleri ile birlikte daha düşük bir akış hızına sahip olacakları neticesi ortaya çıkacaktır. Bu fiziksel kanun, akma yüzeylerinin uzunluklarının saptanmasında mantıklı bir şekilde uygulanmaktadır.

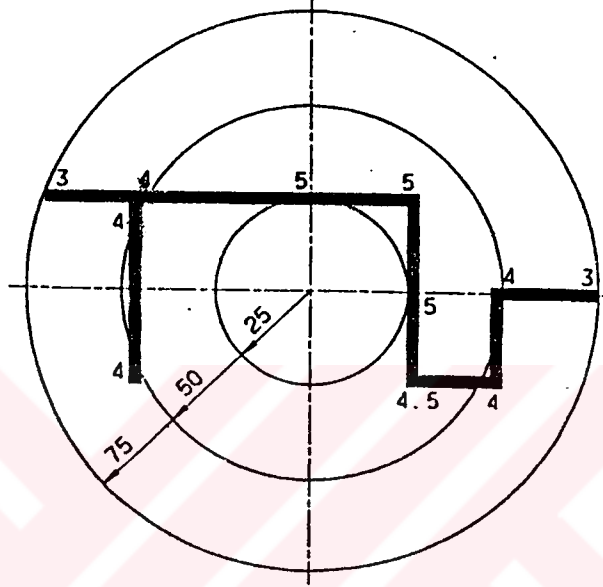
Matris akma yüzeylerinin uzunlukları şu faktörlere bağlıdır :

- Alıcı orta merkezine kıyasla takım içinde profilin durumu.
- Profil kesit farklılıkları.

a) Alıcı orta merkezinde profilin yerleşimi ile akma yüzey uzunluklarının bağımlılığı.

Daha öncede belirtildiği üzere malzeme alıcı merkezinde daha hızlı, çevre bölgelerde ise daha yavaş akar.

Profilin aynı formda matrisden akması amacı ile, akma yüzeyi alıcı kenarlarına doğru daha kısa tutulmalı, alıcı ortasına doğru ise daha uzun dizayn edilmelidir.



Şekil 2.9 Alıcı içinde profilin konumuna bağlı olarak akma yüzey uzunluklarının değişimi.

Richtwert'e göre şekilde görülen alüminyum ekstrüzyonunda, alıcı merkezinden itibaren akma yüzeyi uzunluğu 25 mm mesafede bir 1 mm azaltılmalıdır.

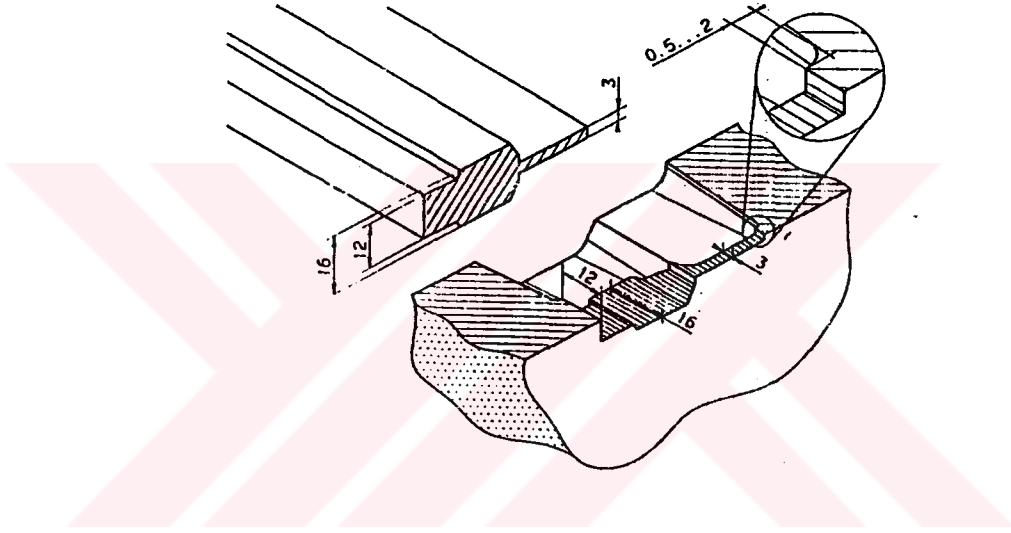
b) Profil kesit farklılıklarına bağlı olarak akma yüzeyi uzunlukları

Richtwert'e göre :Akma yüzeyi uzunlukları profil kesit kalınlıklarına oranlı olarak artmalıdır (Şekil 5.8).

Pratikte, akma yüzeyleri yukarıda sözü edilen iki maddenin kombinasyonu olarak belirlenir. Genellikle ele alınabilecek en kısa akma yüzeyinden yola çıkılır ki, bu da 2.5 mm olarak ortaya çıkmıştır. Kolay ekstrüze edilebilen malzemelerde sürtünme yüzeyleri 3-6 mm arasında bulunurken, yavaş ekstrüze edilebilen komplike profillerde bu mesafe 30 mm'ye kadar çıkmaktadır.

Akma yüzeyinin arkasında profil şekli hazır olarak bulunmaktadır. Böylece arka yüzeydeki akma yüzeyi, herhangi bir vurma veya çarpmanın olmaması amacı ile akma yüzey uzunluğundan bağımsız olarak 0.5 - 2.5 mm açıklığında yer alır ve matris açıklığı serbest kalır.

Matris köşe yuvarlatma yarıçapı, giriş noktalarında, Al ve alaşımları için $r = 0,5-1$ mm, Cu- Ni- alaşımları için ise 4-8 mm'dir. Matris çıkışında ise yaklaşık 0,5 mm'lik bir yuvarlatma verilip, matris çıkış boşluğu metale serbestlik tanınması amacı ile 3 ila 5 derece koniklik verilerek uzatılır.



Şekil 2.10 Profil kesit farklılıklarına bağlı olarak akma yüzeyi uzunluklarının değişimi. [19]

2.1.3 Malzeme akışının kontrolü amacı ile ön oda kullanımı

Ön oda kullanımı aşağıdaki işlemlere imkan tanır:

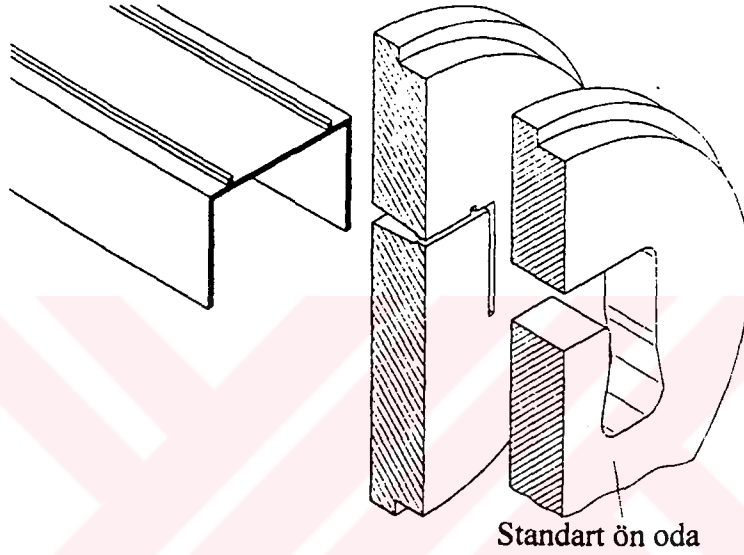
- “Sürekli ekstrüzyon” yönteminin uygulanabilmesi,
- Malzeme akışında ön bir oluşum sağlamak,
- Malzeme akışını desteklemek.

- Sürekli ekstrüzyonda ön oda kullanımı;

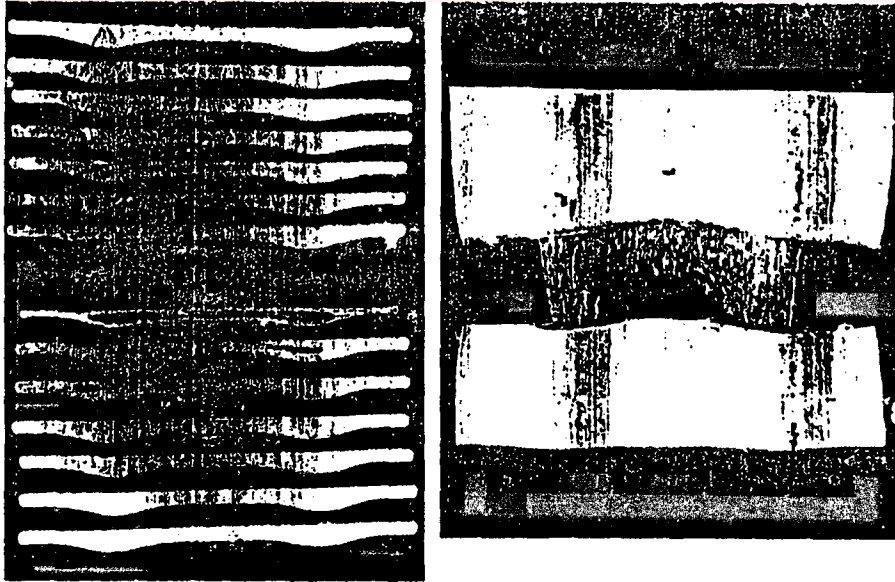
Burada, basit geometrik şekillere sahip standart ön oda kullanımı söz konusudur (Şekil 2.11).

Dikkat edilmesi gereken husus, ön odada arta kalmış olan alüminyum ile yeni bloktan gelen alüminyumun arasında bir kaynama söz konusu olduğundan, ekstrüzyon profilinde enine bir ekstrüzyon dikişinin bulunmasıdır (Şekil 2.12).

Bu tür bir dikiş bulandıran bir ekstrüzyon çubuğunun çekme işlemine tabi tutulması söz konusu ise, ön oda hacminin yeteri kadar büyük seçilmesi lazımdır ki, iyi bir kaynama gerçekleşsin ve çekme işlemi esnasında dikiş yerlerinden herhangi bir çatlama meydana gelmesin.



Şekil 2.11 Sürekli ekstrüzyon için standart ön oda. [19]

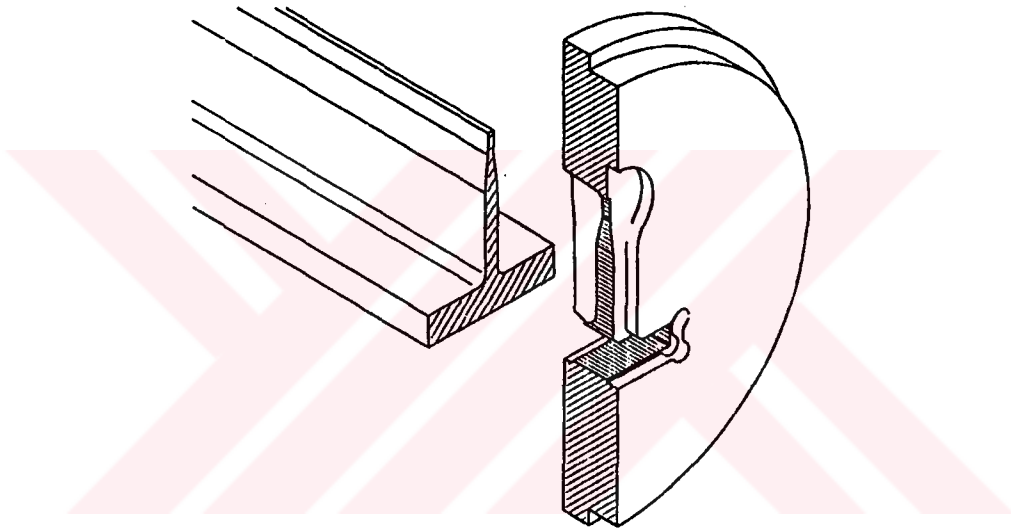


Şekil 2.12 Enine ekstrüzyon dikişi. [19]

b) Malzeme akışının kontrolü amacı ile ön oda kullanımı;

Direkt malzeme akışının kontrolü için kullanılırlar (Şekil 2.13). Ön odanın matris açıklığına olan mesafesi öyle seçilmelidir ki, kısmi olarak daha fazla veya daha az malzeme akışına imkan tanınmalıdır.

Bu metod yardımı ile, şekil bakımından hatasız profillerin üretimi veya büyük miktarda kesit farklılıklarına sahip profillerinin üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

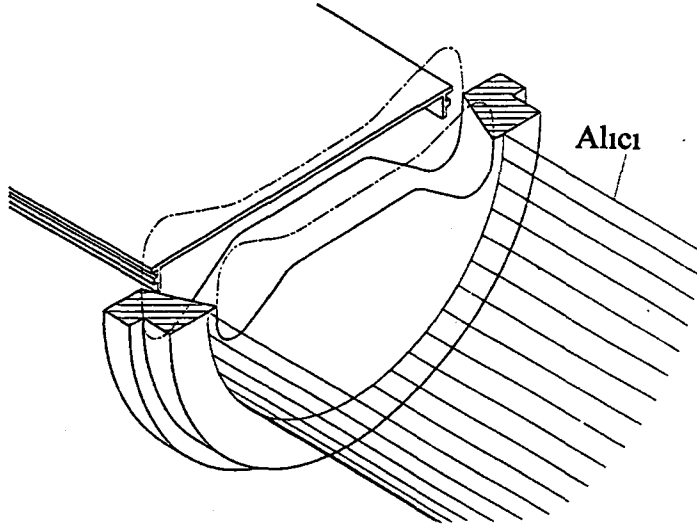


Şekil 2.13 Malzeme akışının kontrolü amacı ile ön oda tertibi. [19]

c) Destek amacı ile kullanılan ön oda;

Çevre çapları alıcı çapından daha büyük olan profillerin üretiminde malzeme akışının matris açıklığına yönlendirilmesi amacı ile kullanılırlar.

Şekil 2.14'de görüldüğü üzere, sivri ve geniş ön oda girişlerinde, hedeflenen ön oda genişlemesi ile malzeme matris açıklığına yönlendirilir ve istenen form ve büyüklükte profilin üretimi gerçekleştirilir.



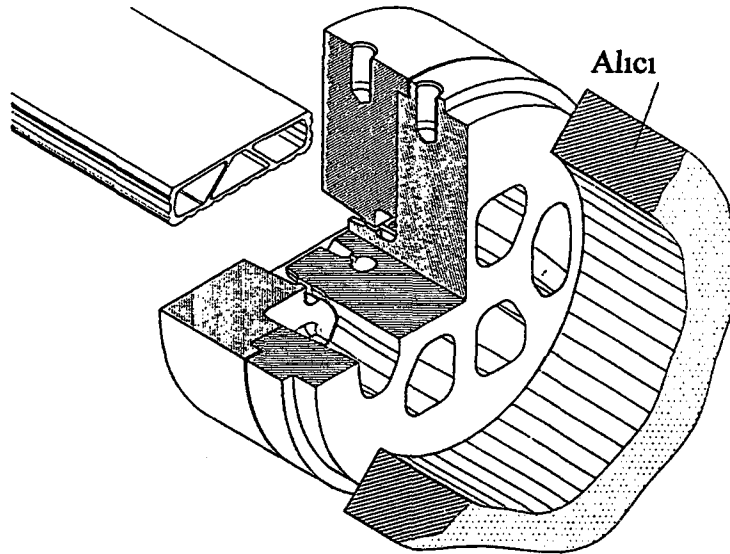
Şekil 2.14 Destek ön odası. [19]

2.1.4 İçi boş profillerin üretiminde malzeme akışının kontrolü için kullanılan kaynama odaları

Oda takımları malzeme kontrolü göz önüne alındığında büyük bir serbestlik avantajına sahiptir.

Gösterilen akma yüzeylerine ve gömme ön odalara ek olarak şu olasılıklar da söz konusudur :

- farklı giriş formları ve büyüklükleri ve
- farklı form ve büyüklüklerde kaynama odaları.

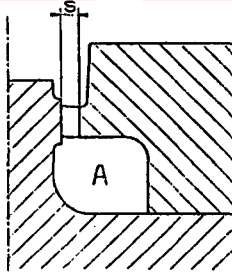


Şekil 2.15 Oda takımı. [19]

Bu tür bir tertip, iyi ekstrüzyon dikişleri ve dolayısı ile dekoratif bir görünümün talep edilmesi durumunda uygulanır.

Bu hedeflere ulaşılabilmesi amacı ile şu noktalara dikkat edilmesi gereklidir :

- Kaynama odasında yeterli deformasyon basıncının elde edilmesi için, girişler yeteri kadar büyük alınmalıdır.
 - Takip eden blok malzemesinin çabuk boşaltılması amacı ile girişler çok büyük seçilmemelidir.
 - Blok kabuk kısmının içeri akmasının önlenip daha iyi kalitede ekstrüzyon dikiş kalitesinin eldesi amacı ile girişlerin çapı alıcı çapının 90% boyutunda olmalıdır. Bu sağlanamadığı takdirde ise, ekstrüze edilecek bloklar tornalama işleminde geçirilerek yüzey temizleme işlemi uygulanır.
 - Ekstrüzyon oranı = (Alıcı kesit alanı) / (Profil kesit alanı) $\geq 14 : 1$ olmalıdır. Bu oranın altına inildiğinde, iyi kalitede bir ekstrüzyon dikişinin eldesi için özel takım ve ekstrüzyon koşullarının sağlanması lazımdır.
- Kaynama odası büyüklüğü Richtwert'e göre aşağıdaki gibi olmalıdır (Şekil 2.16) :



Şekil 2.16 Kaynama odası büyüklüğü. [19]

$$A = (s \times f)^2 \quad (2.1)$$

A = Kaynama odası kesiti [mm²]

s = Çidar kalınlığı [mm]

f = Katsayı (6...8)

Teorik olarak bir açıklığa sahip takımlarda, profil boşluk odaları takım ortasında yer almalıdır. Giriş geometrik olarak basit olmalıdır. Girişlerin sayısı profilin formuna bağlıdır. Profil formu zorlaştıkça malzeme akışının kontrolü için daha fazla girişe ihtiyaç duyulacaktır.

2.1.5 Büzülme miktarı

Aluminyum alaşımlar ele alındığında, deformasyon prosesi esnasında malzeme sıcaklığı, 400 ila 550 derece arasında bulunur.

Ekstrüzyon malzemeleri bu nedenle 420 ila 480 derece civarlarında bir ön ısıtmaya tabi tutulmalıdırlar.

Matris açıklığı ölçüsüne oranla öyle dizayn edilmelidir ki, soğuma ve çekme işlemlerinden sonra istenilen boyutlarda ürün elde edilmelidir.

Matris açıklığının ölçüsü, profil ölçüsüne bağımlı olarak söz konusu büzülme miktarını içermelidir.

Bu ise aşağıdakilere bağlıdır :

- Takım çeliğinin ve Al-alaşımının ekstrüzyon sıcaklığında genişleme katsayısı,
- Profil formu ve takımın desteklenmesi,
- Profil ölçülerinde tolerans alanları,
- Germe veya çekme derecesi.

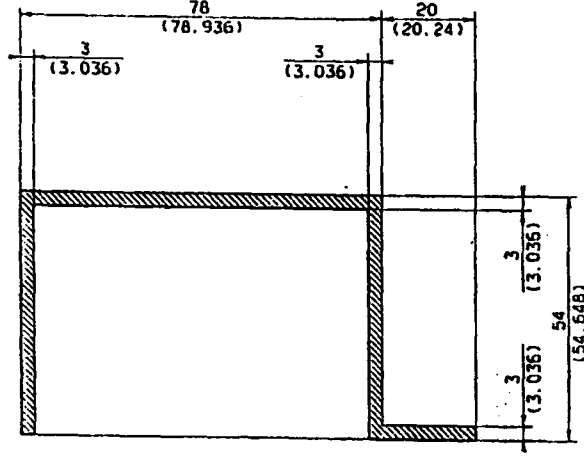
Pratikte, alaşım tipi ve ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak profil ölçülerine 1% ila 2% arasında bir ilave yapılır.

Bu konuya şu açıdan bakmak uygun olur : Alaşım oranı arttıkça, büzülme miktarında da artış görülür.

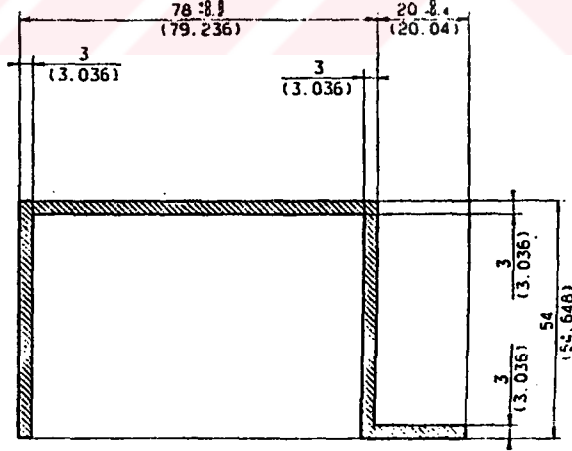
Verilmiş genel ölçü artışlarına aşağıdaki ölçü ilave veya indirimleri uygulanır:

Toleranslı verilmiş ölçülerde tolerans alanlarının belirtilmesi (Şekil 2.18)

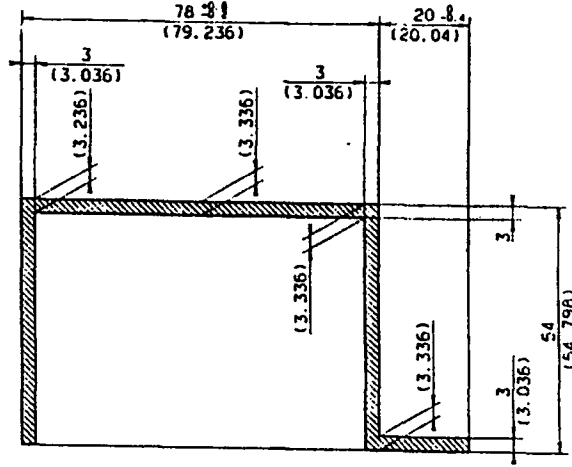
Profil formuna ve desteklemeye bağlı olarak takım eğilmesi göz önüne alındığında ele alınış (Şekil 2.19).



Şekil 2.17 Büzülme miktarı ek olarak 1,2%, 0,2% çekme ilavesi. [19]



Şekil 2.18 Tolerans durumuna bağlı olarak büzülme ölçüleri için ilave veya indirgemeler. [19]

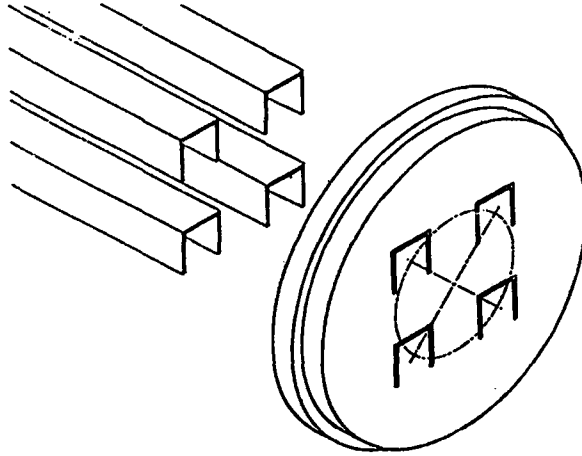


Şekil 2.19 Destekleme amacı ile ilave yapılmış büzülme ölçüleri. [19]

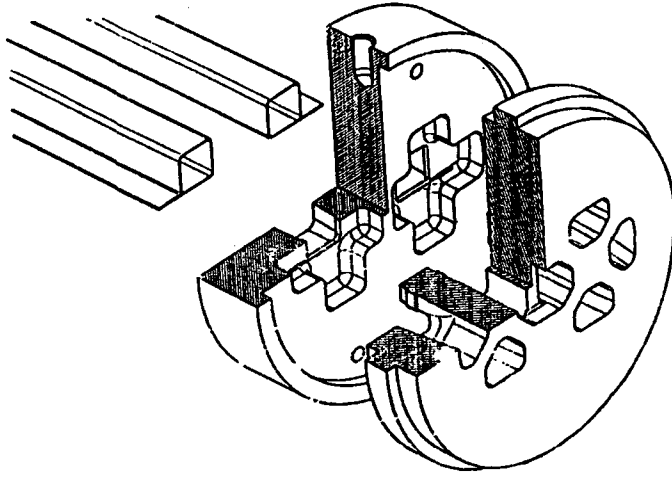
2.1.6 Birden fazla boşluğa sahip takımlar

Ekstrüzyon presinin tam kapasite ile kullanılması amacı ile aynı matris üzerinde 6, hatta 8 adet aynı profil formuna sahip delik bulunabilir (Şekil 2.20 ile 2.21).

Burada önemli olan, matris ve ona bağlı olan destek takımlarının, şekil verme işlemi esnasında takımda geometrik değişim olmaması amacı ile iyi dizayn edilmiş olma gereksinimidir.



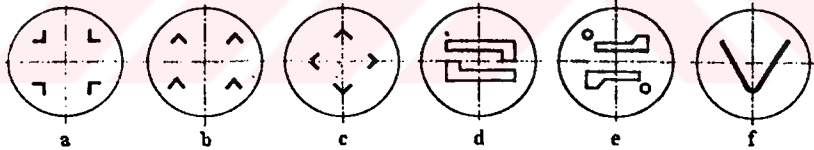
Şekil 2.20 Dört profil deliğine sahip matris. [19]



Şekil 2.21 İki adet içi boş profil boşluğuna sahip matris takımı. [19]

Bu yöntem ile pres kapasitesi tam olarak kullanılmış olup üretim kapasitesi de belirli düzeyde artırılmış olur.

Birden fazla profilin ekstrüzyonuna imkan sağlayan matrislerde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, profillerin matris üzerine uygun yerleştirilmeleridir.



Şekil 2.22 (a- f) Matris profil açıklıklarının yerleşimi. [15]

Mümkün olan en uygun malzeme akışının sağlanması amacı ile a- şeklideki yerleşim uygulanır. Buna rağmen her açıklıktan eşit formda malzeme akışının elde edilmesi amacı ile b- şeklindeki konum söz konusu olur. Yüksek dayanıma sahip malzemelerde, kenar kısımların ince taneli yapıya sahip olması durumunda ise, göbek kısımları ortaya bakacak şekilde en simetrik konum yakalanarak düzenleme yapılır (c-). Uyulması gereken en önemli şartlardan birisi de ağırlık noktasının matris ortasında bulunması gerekliliğidir. Simetrik olmayan profillerde de bu yöntem ile istenen akış elde edilebilir (d-). Diğer durumlarda ise, denge

çubuklarının profil ile birlikte preslenmesi eş formlu malzeme akışına ulaşılmasını sağlayacaktır.

Çok büyük profil çevre dairesine sahip profillerde ise V profil düzenlenerek ekstrüzyon işlemi sonrası düzleştirme ve çekme işlemlerine tabi tutularak istenen profil formu sağlanır.

2.1.7 Takım Ölçüleri

Her ne kadar alüminyumun ekstrüzyonunda yüksek sıcaklık değerlerinin kullanılmasına rağmen, uygulanan deformasyon basınçları normalin üzerinde seyrederek (300 ila 1100 N/m² arasında olabilirler).

Takımlar, teknik imalat zorunluluklarından dolayı küçük dizayn edilmelidirler ve bu sebeple bu yüksek zorlamaları taşıyabilirler.

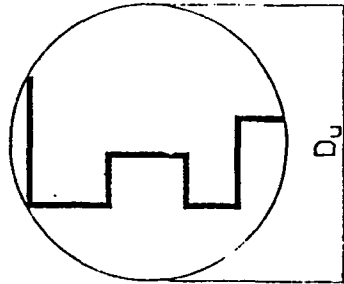
Bundan dolayı ilave olarak desteklenmelidirler. Destekleme takımları ise şu ana kadar söz edilen,

- Destek ,
- Baskı plakası ve
- Baskı halkasıdır.

Destek takımının profil boşlukları ve takip eden baskı plakası kural olarak, kendinden önce gelen takımın çıkış bölgesi açıklığından 3 ila 5mm kadar büyük yapılmalıdır.

Takım çap ve kalınlıkları profil cinsi, büyüklüğü, profilin ekstrüzyon edilebilirliği ve pres büyüklüğüne bağlıdır [DIN 24 540].

Matris ve ilgili takımların çaplarının tespiti, profili çevreleyen en küçük çapın elde edilmesi ile sağlanır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Profil dairesi çapı ϕ . [19]

Normalde, içi boş ve dolu profiller için mümkün olan maksimum çap olarak şu değer alınır :

$$d_{u_{\max}} = (0,8-0,85) \times d_R \text{ (mm)} \text{ (Alıcı çapının 80-85%'i kadar).} \quad (2.2)$$

Normal büyüklükler ise şu ifade yeterlidir :

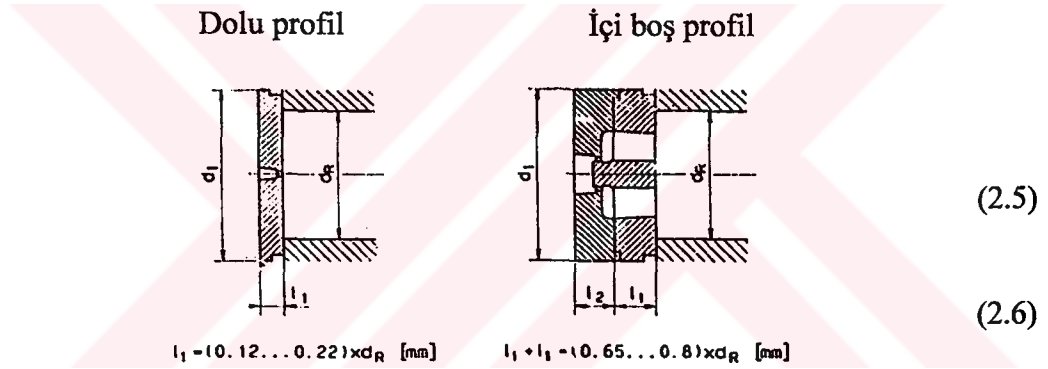
$$d_u = (0,5-0,6) \times d_A \quad (2.3)$$

Matris çapı genel olarak profilin büyüklüğü, ekstrüzyon edilebilirliği, profil malzemesi ve alıcı ile matris arasındaki sızdırmazlığın cinsine göre belirlenir.

Maksimum matris çapı,

$$d_i = (1,25-1,7) \times d_R \text{ (mm)} \quad (2.4)$$

ve takım kalınlıkları :



Alıcı ile matris arasındaki sızdırmazlık da göz önüne alınıp yapılan boyutlandırmada şu büyüklüklere ulaşılır;

Matris ile matris tutucu arasında sağlanan sızdırmazlık durumunda :

$$d_M = 0.8 \times d_A \quad (2.7)$$

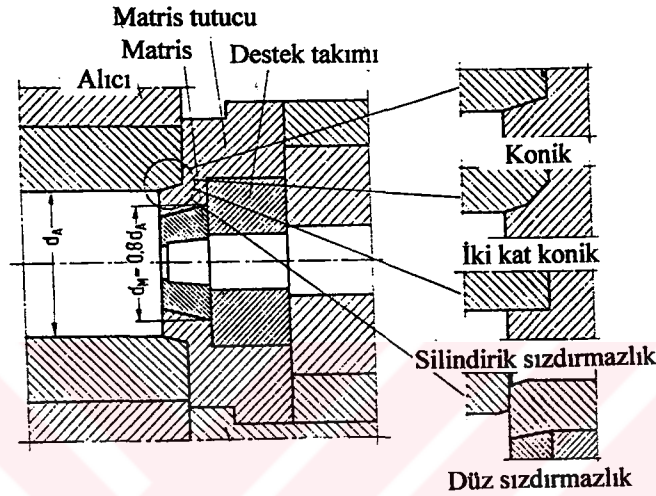
Alıcı ile matrisin kendisi arasında sağlanan sızdırmazlıkta ise :

$$d_M = (1,0 - 1,23) \times d_A \text{ (Basit profillerde)} \quad (2.8)$$

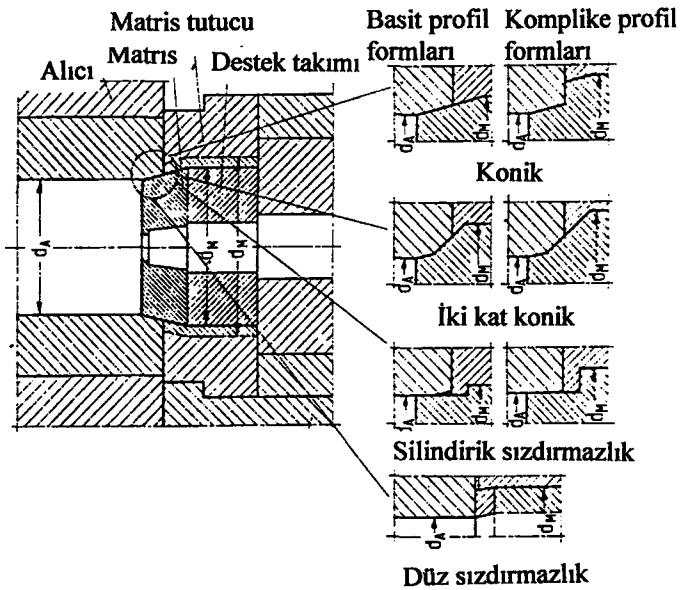
$$d_M = (1,0 - 1,23) \times d_A \text{ (Düşük cidar kalınlığına sahip komplike} \quad (2.9)$$

profiller ve zor ekstrüze edilebilen malzemelerin
ekstrüzyonunda.)

Yeni imal edilen ekstrüzyon preslerinde genel olarak silindirik ve düz sızdırmazlık tipleri görülmektedir. Her iki konstrüksyonda da matrisin elastik deformasyonu daha fazla azaltılır ve düz sızdırmazlık tipleri belli matris çap büyüklüklerine bağlı kalmazlar. Silindirik sızdırmazlık tipleri ise ekstrüzyon prosesi sonunda görülen geri çekme kuvvetlerini karşılayan yeterli boyutta konikliğe sahiptir.



Şekil 2.24 Alıcı ile matris tutucusu arasında sızdırmazlık. [15]



Şekil 2.25 Alıcı ile matris arasında sızdırmazlık. [15]

2.2 Profil Dizaynı

2.2.1 Tasarım açısından dizayn

Bu bölüm dahilinde, ekstrüzyon işleminin en önemli parçası olan matris dizaynı ile bağlantılı olarak alüminyum ekstrüzyon profilleri hakkında bilgi verilecektir. Konu içinde misal olarak alüminyum profillerin seçilmesinin en büyük nedeni, alüminyum alaşımları ile birbirinden farklı zor kesitlere sahip profillerin elde edilmesinin mümkün olmasıdır.

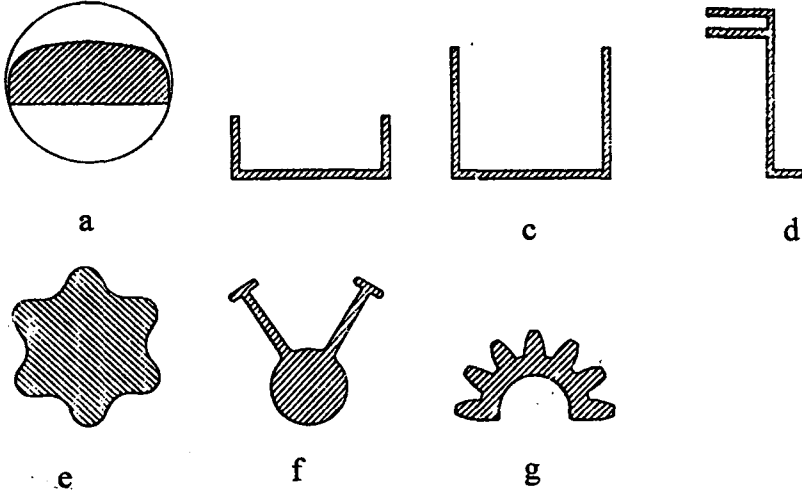
Ekstrüzyon profilleri dolu profiller, yarı açık profiller ve kutu profiller olarak üç grupta ele alınırlar. Başlıca dikkat edilmesi gerekenler keskin kenar ve köşelerin, sivri kesit geçitlerinin, büyük kesit farklılıklarının ve malzeme yığılmalarının mümkün olduğunca önüne geçilmesidir.

Takım tekniği bakımından keskin köşe ve kenarların hafif bir şekilde yuvarlatılması lazımdır. Tablo 2.1’de çeşitli yuvarlatma değerleri verilmiştir :

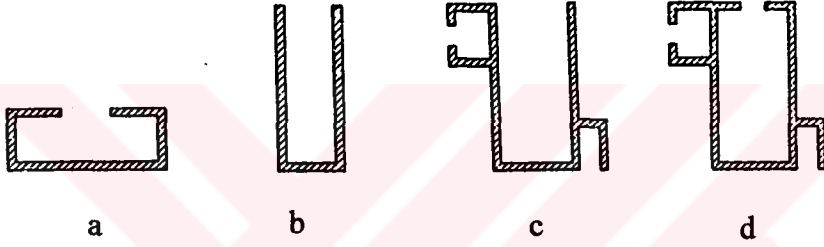
Tablo 2.1 İmalat açısından ön görülen yuvarlatma değerleri. [20]

Kalınlık		İç ve dış kenarlarda, sivri kesitlerde yuvarlatma değerleri
Alt değer	Üst değer	En yüksek değer
-	3	0,5
3	6	0,6
6	10	0,8
10	18	1
18	30	1,2
30	50	1,6

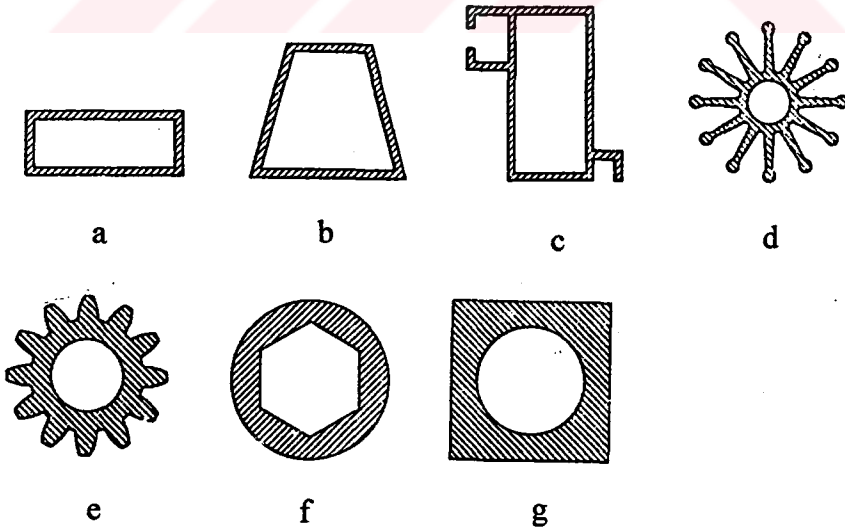
Sivri olma zorunluluğu bulunmayan oluk ve kenarlarda Tablo 2.2’de bulunan değerler göz önüne alınarak gerekli yuvarlatmaların yapılması tavsiye edilir.



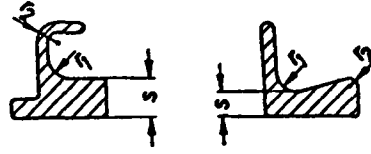
Şekil 2.26 Dolu profiller. [20]



Şekil 2.27 Yarı açık profiller. [20]



Şekil 2.28 Kutu profiller. [20]



Şekil 2.29 Konstrüksiyon açısından ön görülen yuvarlatma değerlerinin profil üzerinde gösterimi. [20]

Tablo 2.2 Konstrüksiyon bakımından ön görülen yuvarlatma değerleri. [20]

Kalınlık	Üst değer	Tavsiye edilen yuvarlatma değerleri	
		r_1	r_2
-	2	2	1
2	4	2,5	1,6
4	6	4	2
6	10	6	3
10	20	10	5
20	35	16	10
35	50	20	16

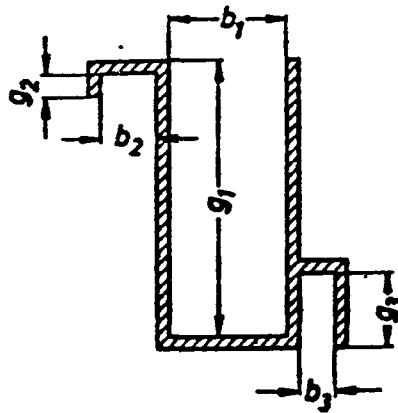
Kesit formlarının üç alt gruba bölüdüğü daha önce belirtilmişti. Her karşık profil, bir ana form ile bir veya daha fazla ilave formdan oluşabilir. Şekil 2.26-d'de dolu profil ana form olarak görülmekte iken bir yan form olan yarı açık form ile birleşmiştir. Şekil 2.28-c'de ise kutu profil yan form olarak dolu ve yarı açık profil ile birleşmiştir.

Dolu profillerde, düz ve ince profillerin üretimi zor gerçekleştirilir. Profil dairesi çapı ile bağlantılı olarak ekstrüzyon profilleri için mümkün olan en küçük cidar kalınlıkları Tablo 2.3'de verilmiştir.

Malzeme		Profil Dairesi Çapı																			
		25		50		75		100		150		200		250		300		350			
		G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m	s	G ¹ kg/m			
Al99,988 Al99,9 Al99,8 Al99,7 Al99,5 Al99	DIN 1712	1	0,08	1	0,16	1,2	0,29	1,5	0,49	2	0,97	2,5	1,62	2,5	2,16	3	3,16	4	4,97	5	6,5
AlMg	DIN 1725	1	0,08	1,2	0,20	1,5	0,34	1,7	0,54	2	0,97	2,5	1,62	3	2,63	4	4,21	5	6,15	6	7,5
AlMg0,5 AlMg1 Al99,9Mg0,5 Al99,9Mg1 Al99,9MgSi Al99,9ZnMg AlMg1 AlMgSi0,5	DIN 1725	1	0,08	1,2	0,20	1,5	0,34	1,7	0,54	2	0,97	2,5	1,62	3	2,63	4	4,21	5	6,15	6	7,5
AlMg2 AlMg3 AlMgMn AlMg3 AlSi5 AlMgSi0,8 AlMgSi1 AlZnMg1	DIN 1725	1,5	0,12	1,7	0,27	2	0,49	2,5	0,81	3	1,45	3,5	2,27	4	3,51	5	5,26	7	8,60	8,5	15,5
AlMg5 AlMg4,5Mn AlCuMg1	DIN 1725	1,7	0,14	2	0,33	2,5	0,57	3	0,97	3,5	1,68	4	2,60	5,5	4,80	7	7,37	9	11,70	11	27
AlZnMgCu0,5 AlZnMgCu0,5	DIN 1725	2	0,16	2,5	0,40	3	0,73	4	1,30	5	2,43	6	3,90	10	8,77	10	12,64	15	14,42	20	45

Tablo 2.3 Dolu profillerde, profil dairesi çapına bağlı olarak, en düşük cidar kalınlığı (s) ve en metre başına düşen asgari ağırlık için kılavuz değerler.[20]

Dolu profillerde derinlik (g) ve yüzey açıklıklarına (b) ait değerler Tablo 2.4'deki değerler karşılaştırılmalıdır.



Şekil 2.30 Yarı açık ekstrüzyon profili. [20]

Tablo 2.4 Dolu profillerde klavuz değerler. [20]

Açıklık genişliği - b -		
Alt değer	Üst değer	g : b
4	10	3,5
10	18	4,5
18	30	4
30	50	3,5
50	80	3
80	120	2
120	-	1,5

Yarı açık ve kutu profillerde önemli olan, en düşük cidar kalınlığının belirlenmesi, ölçü sapmalarının ve yüzey kalitesinin belirlenmesidir. Cidar kalınlığı ise yine mazleme ve profil dairesi çapına bağlıdır. Tablo 2.6'da cidar kalınlıkları için kılavuz değerler verilmektedir.

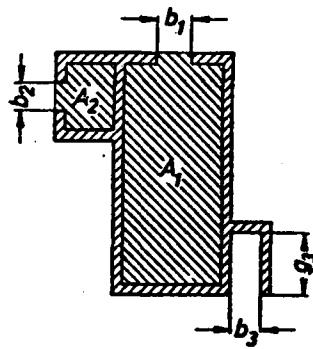
A kapalı alanına ve b açıklığına sahip yarı açık profillerde de aşığıdaki değerler karşılaştırılmalı olarak kullanılmalıdır.

Tablo 2.5 Yarı açık profiller için kılavuz değerler. [20]

Açıklık genişliği - b -		
Alt değer	Üst değer	A : b ²
4	10	3,5
10	18	4,5
18	30	4
30	50	3,5
50	80	3
80	120	4
120	-	1,5

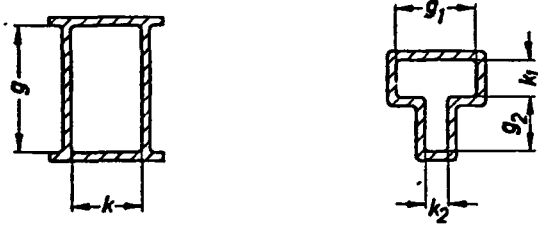
Tablo 2.6 Yarı açık profillerde, profil dairesi çapına bağlı olarak, en düşük cidar kalınlığı (s) için kılavuz değerler. [20]

Malzeme			En küçük cidar kalınlığı s, profil dairesi çapları											
			-	30	50	75	100	130	160	190	220	250	300	400
			bis											
			30	50	75	100	130	160	190	220	250	300	400	500
Al99,98R Al99,9 Al99,8 Al99,7 Al99,5 Al99	DIN 1712	A	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	
		B	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8,5	9,5	11	
AlMn	DIN 1725	B												
AlMg0,5 AlMg1 Al99,9Mg0,5 Al99,9Mg1 Al99,9MgSi Al99,9ZnMg AlMg1 AlMgSi0,5	DIN 1725	A	1,5	2	2,5	3	3,5	4,5	5,5	6,5	8	9	10	
		B	?	2,5	3	4	4,5	5,5	6,5	7,5	9,5	10,5	11	
AlMg2 AlMg2 AlMgMn AlMg3 AlSi3 AlMgSi0,8 AlMgSi1 AlZnMg1	DIN 1725	A	2	2,5	3	4	4,5	5,5	6,5	7,5	9	10,5	11	
		B	2,5	3	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5					
AlMg5 AlMg4,5Mn AlCuMg1	DIN 1725	A	2,5	3	4	5	6	7,5	9					
		B												
AlZnMgCu0,5 AlZnMgCu1,5	DIN 1725	A	3	3,5	5	6,5	8,5	10,5						
		B												



Şekil 2.31 Yarı açık profil. [20]

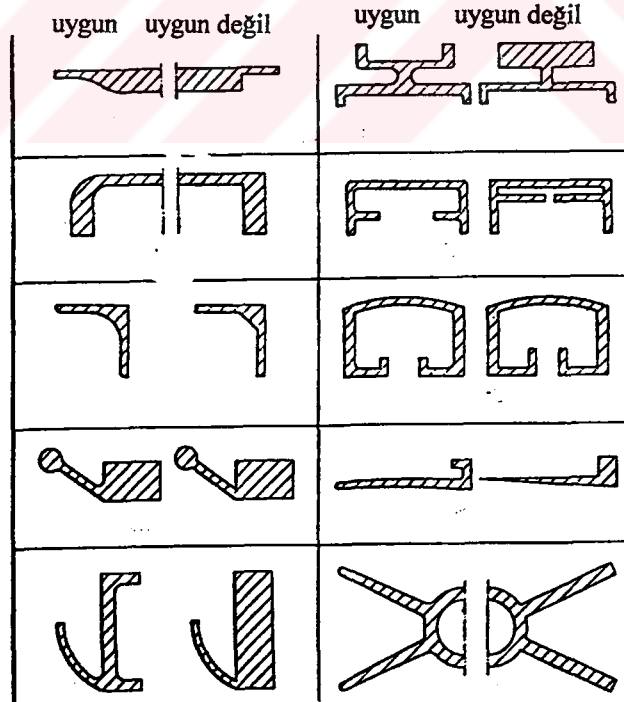
Kutu profiller için de aşağıdaki değerler geçerlidir,



Şekil 2.32 Kutu profil formları. [20]

Tablo 2.7 Kutu profiller için tavsiye edilen klavuz değerler. [20]

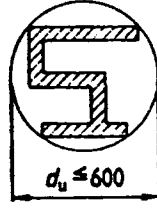
Genişlik - k -		g : k
Üst değer	Alt değer	Üst değer
5	10	3
10	18	5
18	30	6
30	-	7



Şekil 2.33 Ekstrüzyon tekniğine göre profil kesitlerin uygunluğu. [20]

2.2.2 Tolerans değerleri

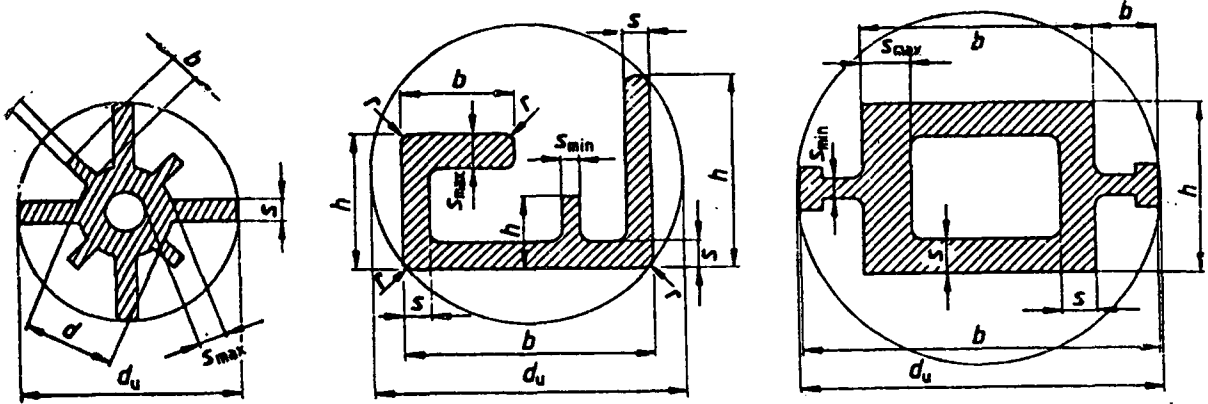
Ekstrüzyon profil imalatında uygulanan tolerans değerleri hakkında bilgi edinilmesi amacı ile bu bölümde alüminyum ekstrüzyon profillerinin konstrüksiyonunda kullanılan tolerans uygulamaları genel olarak ele alınacaktır.



Şekil 2.34 Profil dairesi çapı. [20]

Tablo 2.8 b, h ve d ölçüleri için müsaade edilen tolerans değerleri. [20]

Ölçü b, h ve d		$d_u : s_{min}$	$d_u : s_{min}$	$d_u : s_{min}$
Alt değer	Üst değer	20:1'e kadar	20:1'in üstü 40:1'in altı	40:1'e kadar
-	10	0,15	0,3	0,4
10	15	0,2	0,4	0,6
15	30	0,3	0,45	0,7
30	45	0,4	0,5	0,8
45	60	0,5	0,6	0,9
60	90	0,6	0,7	1
90	120	0,8	0,9	1,1
120	150	0,9	1	1,2
150	180	1,1	1,3	1,5
180	240	1,4	1,6	1,9
240	300	1,6	2	2,4
300	400	2	2,4	3
400	500	2,5	3	3,5
500	600	-	3,5	4



Şekil 2.35 Alüminyum ekstrüzyon profilleri. [20]

Tablo 2.9 Cidar kalınlıkları için izin verilen tolerans değerleri. [20]

Cidar kalınlığı -s- Alt değer	Üst değer	$d_u : s_{min}$	$d_u : s_{min}$	$d_u : s_{min}$
		20:1'e kadar	20:1'in üstü 40:1'in altı	40:1'e kadar
-	1,5	0,15	0,2	0,25
1,5	3	0,2	0,25	0,35
3	6	0,25	0,3	0,45
6	10	0,3	0,35	0,5
10	15	0,4	0,4	0,55
15	20	0,5	0,5	0,6
20	30	0,6	0,6	0,65
30	40	0,7	0,7	0,75
40	50	0,8	0,8	0,8

Tablo 2.10 d_n profil çapına sahip profillerde müsadde edilen tolerans değerleri.[20]

Cidar kalınlığı -s-						
Alt değer	Üst değer	75'e kadar	75'in üstü 130'un altı	130'un üstü 250'nin altı	250'nin üstü 400'ün altı	400'ün üstü 600'ün altı
-	1,5	0,3	0,35	-	-	-
1,5	2	0,3	0,4	0,5	-	-
2	3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
3	6	0,5	0,6	0,8	0,9	1
6	9	0,7	0,8	0,9	1	1,1
9	12	0,8	0,9	1	1,2	1,4
12	15	1	1,1	1,2	1,5	1,8
15	20	-	1,3	1,5	1,8	2,1
20	30	-	-	1,8	2	2,5

Uygun görülen kenar yarı çapları ise aşağıdaki gibidir,

Tablo 2.11 Uygun görülen kenar yarıçapları. [20]

Cidar kalınlığı		Müsadde edilen kenar yarıçapı
Alt değer	Üst değer	Max.
-	3	0,5
3	6	0,6
6	10	0,8
10	18	1
18	30	1,2
30	50	1,6

2.3 Matris İmalatında Kullanılan Malzemeler

Ekstrüzyon prosesi ekonomik açıdan ele alındığında, işlemin başarısının ekstrüzyon presi malzemeleri tarafından büyük derecede etkilendiği görülür. Bu nedenle, sözü geçen takımların mümkün olan en uzun ömüre sahip olmaları istenir. Ekstrüze edilen her alaşım, pres sıcaklığı, şekil değiştirme direnci, pres hızı gibi, kendine has ve pres parçalarının ömürlerini ekleyen parametrelere sahiptirler. Bununla beraber, konstrüksiyon, malzeme seçimi, ısıl işlem gibi birçok çalışma koşulu, dolayısı ile işlemin ekonomikliği bu faktörlere bağlı olarak etkilenmektedir.

Şekil değiştirme işlemi esnasında, ekstrüze edilecek malzeme, ekstrüzyon presi takımlarının aktif yüzeyleri ile temas halinde kayarak istenen geometrik şekli alır. Bu sebeple, birbiri ile temas halinde kayan iş parçası ile takım arasında, sürtünme ve aşınma oluşur. Sürtünme, şekil değiştirme işlemi ve ekstrüzyon kuvveti üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Aşınma ise takıma zarar vererek onu kullanılmaz hale getirebilir. Bundan dolayı, sürtünme ve aşınmayla bağlantılı mekanizmalar ile takımın ekonomik verimliliği arasında kesin bir bağ mevcuttur. Ekonomik sebeplerden dolayı, şu ana kadar, takımın aşınma direncini artırıcı teknolojik arayışlar içinde bulunulmuştur. Ekstrüzyon takımlarının aktif yüzeyleri üzerindeki sürtünme ile aşınma ve bu olguları minimuma çekme çabaları, kayan yüzeylerin “iş parçası / takım malzemesi” sürtünme sistemi olarak ele alınmasını sağlamıştır. Ekstrüzyon işlemi tarafından saptanan deformasyon olayı aslında temas halindeki bu ikiliye pek bir seçenek tanımaz. Yağlayıcı kullanılmadan gerçekleştirilen direkt ekstrüzyonda kuru akış sürtünmesi, yağlama durumunda karışık yollu sürtünme ve hidrostatik ekstrüzyonda akıcı sürtünme gibi, çeşitli proseslerde farklı sürtünme türleri ortaya çıkar. Aktif takım yüzeyleri başlıca, aşındırma ve yapışma gibi olaylara maruz kalırlar. Örneğin, yapışmanın söz konusu olduğu aşınma türü, matris boşluk yüzeylerinin kalitesini bozarken, aşındırıcı(zımparalayıcı) etkiye sahip aşınma türü, bu bölgede metal akışında bozulmalara yol açar ve sonuçta ekstrüzyon kesitinde fark edilebilir şekil ve boyut hatalarına yol açabilir.

Her iki aşınma türü, ekstrüzyon profillerinin son boyutlarına ulaşmalarını engellemedikleri takdirde dahi, meydana getirdikleri tahribata daha ileri bir seviyede devam edebilirler. Bu da, aktif takım yüzeylerinin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Ekstrüze edilen malzemenin şekil değiştirme sıcaklığına bağlı olarak, aktif takım yüzeylerinde fark edilebilir operasyon sıcaklıkları meydana çıkabilir. Bu sebeple, uzun servis ömrünün, doğru sıcak iş çeliğinin seçimi ile elde edilebileceği açıktır.

Ekstrüzyon takımlarının imali için uygun malzemeler, şekil değiştirme işleminde olduğu gibi, dinamik mekanik ve ısıl yüklere maruz kalırlar ve optimum ısıl direnç, yorulma dayanımı, sıcak sertlik, sıcaklık değişimlerine dayanım, ısıl iletkenlik, boyut ve şekil bakımından stabil kalabilme, yüksek sıcaklık aşınma direnci, ekstrüze edilen malzemeye karşı reaksiyon direnci ve oksidasyon direnci gibi konularda uygun davranışlar sergilemek zorundadırlar.

Metal matrise ait yüksek sıcak dayanım, yüksek solidüs, tekrar kristalleşme ve çökme sıcaklıklarına sahip malzemeler kullanılarak elde edilir. Demir, nikel, kobalt, molibden ve tungsten, iyi kimyasal bağları sebebi ile çok yüksek ergime sıcaklıklarına sahiptirler. Ötektik çelikler kym kafes yapısı sebebi ile yükselen tekrar kristalleşme ve çökme sıcaklıklarında sınırlı bir difüzyon davranışı sergiler. Genel olarak metal matrisin yüksek sıcaklık ve yorulma kırılmasına karşı dayanımı, ince taneli, çökme ve yüksek sıcaklığa direnci olan katı çözeltilerin oluşumu ile arttırılabilir.

Bunun ötesinde, ekstrüzyon takımı olarak kullanılan malzemeler, yüksek düzeyde bir saflığa ve homojen ve ince taneli bir yapıya sahip olmalı ve geniş olarak aynı vasıflı makro özellikler sergilemelidirler. Buna rağmen genelde, bütün bu özellikleri bir adet sıcak iş çeliğinde sağlamak imkan dahilinde değildir. Bir özelliğin sağlamış olduğu avantaj, diğerlerinde dezavantajları kabul etmek gibi sayılabilir. Netice olarak, özel yüksek sıcaklık alaşımları, örn:kobalt ve molibden bazlı olanlar, tungsten karbitleri ve seramik malzemeler düşük sertlik sergilerler. Bundan dolayı artan yüksek gerilme kuvvetlerinden korunmaları gerekir.

2.3.1 Çelik alaşımları ve alaşım elementlerinin incelenmesi

Matris malzemeleri ve bu malzemelere uygulanan ısıl işlemlere değinmeden önce konunun iyi anlaşılması nedeni ile çelik alaşımları hakkında özet bir bilgi aşağıda verilmiştir.

2.3.1.1 Alaşımlama işleminin amacı

Çelik malzemelerde alaşımlamanın amacı çeliğe ait belli bazı özelliklerin iyileştirilmesi isteğidir. Fakat, çeliğin özelliklerindeki değişim, her zaman alaşım elementinin artışı ile orantılı olarak değişmez. Bu sebeple birçok özellik değişiminin şartlarını meydana getiren koşullar hiçbir zaman gerçekleşmeyebilir, çünkü en basit durum ele alınırsa bir alaşım en çok üç maddeden oluşur : Demir - karbon - alaşım elementi. Alaşım elementlerinin etkileri belli bir çerçevede belli bir takım artışlar olarak ele alınmalıdır.

2.3.1.2 Alaşım elementlerinin çelik özelliklerine etkileri

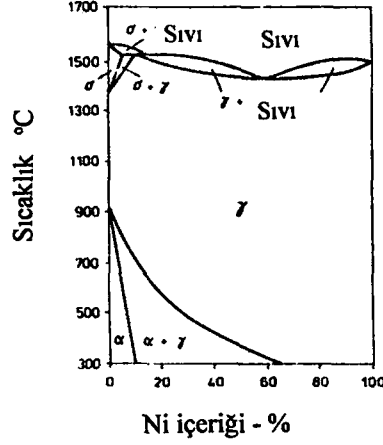
Perlit noktasının değiştirilmesi : Perlit noktasında, Cr ve Si miktarının artışı ile yüksek (20...30 K 1% Cr veya Si artışı ile, fakat yalnız 3% artışa kadar), V, W, Mo ve P ilavesi ile zayıf, Mn ve Ni'nin 1% ilavesi ile 10 K'ya varan azalma görülür.

Östenitte karbon doyma noktasına etki : Östenitte karbon için doyma sınırı sola doğru değişim gösterir ve Co elementinin tüm alaşım elementlerinde C'nin östenitte çözünürlüğünü azalttığı göz önüne alınmalıdır. Bu sebeple düşük karbon ihtiva eden perlitte ikincil element veya ledeburit görülür.

γ alanının değişimi : Alaşım elementinin γ -'da (α - demiri) farklı çözünürlüğünden dolayı oluşan farklı tiplerdeki γ - alanı değişimleri dört farklı gruba ayrılabilir :

Ni, Co ve Mn gibi elementler açık γ - alanı yaratırlar (Şekil 2.36). Yeterli miktarda alaşım elementi ile oda sıcaklığına kadar olan kısımda, östenitik çelik oluşur. Belirli özellikleri ise şunlardır : Magnetik özelliğe sahip değildir, düşük çekme sınırı, yüksek gevreklik, soğuk şekillendirme ile sertleşebilme, yüksek sıcak mukavemet

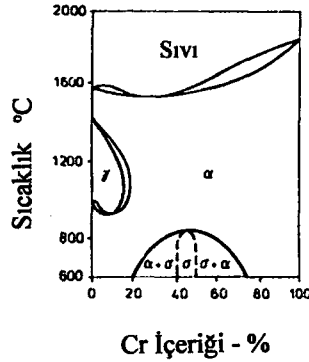
önemli özelliklerindedir. Su verilerek sertleştirme yapılamaz, iri taneli yapı, değişim ile ortadan kaldırılamaz.



Şekil 2.36 Demir - Nikel durum şeması. [8]

Östenitik krom nikel çeliği üretimi esnasında 1050 derecede su verilerek sertleştirilir. Bu yolla saf ve temiz östenit elde etmek mümkün olur. Yavaş soğutma esnasına ise tane sınırlarında krom karbit oluşumu gerçekleşir (gevreklik; taneler arası korozyon).

Cr, Al, Ti, Si, V ve Mo gibi elementler kapalı γ - alanının oluşumunu sağlarlar. Yeterli alaşım elementi ile γ - alanı kuvvetli şekilde sıkışır ve çelik tavlama yolu ile bir değişim göstermez (Şekil 2.37). Çelik ferritik kalır. Belirgin özellikleri şunlardır: Sıcak mukavemet, özel magnetik özellikler, su verilerek sertleştirmeye karşı uygunsuzluk, iri tane yapısı oluşumuna eğilim.

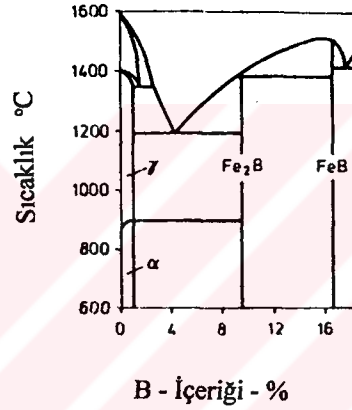


Şekil 2.37 Demir - krom durum diyagramı. [8]

Ferrit oluşumunu destekleyen elementlerin, ilk gruba ait elementlerin östenit oluşumunu kuvvetlendiren özellikleri vardır. Örneğin olarak 18% Cr ve 8%Ni'den oluşan paslanmaz östenitik çelikler verilebilir.

C, N, Zn ve Au genişleyen γ - alanı oluştururlar. Bu gruba ait en önemli temsilci olan karbonun etkileri demir-karbon diyagramından bilinmektedir.

B, S, Zr ve Ce g,b, elementler dar bir γ - alanı oluşumu meydana getirirler (Şekil 2.38). Bu tür elementler çökelme sertleşmesi ile önemlerini artırırlar.



Şekil 2.38 Demir-Bor diyagramı. [8]

Çoğu alaşım elementli ile karbonun γ - ve α - demirinde difüzyon hızı azalır ve böylece kritik soğuma hızında da azalma görülür. Çeliğin değeri ve uygunluğu göz önüne alınırsa (Si: Gevreklik), Mn, Cr ve Ni en önemli alaşım elementleri olarak karşımıza çıkar. Bu elementlerin yeterli düzeyde bulunması ile perlit düzeyindeki değişim, hava ile soğutma sonucu martenzitik çeliği verir.

Alaşımız çelikler karşısında alaşımız çelikler sürekli soğutma sonrası belli bir ikinci faz gösterirler.

C- ihtiva eden çeliklerde Mn, Cr, W, Mo, Ta, Nb, V ve Ti karbit oluşumuna meyil teşkil ederler. Bunların içinde V ve Ti kuvvetli, Mn ve Cr ise zayıf tesir gösterir.

Karbit tipleri üç gruba ayrılabilir :

- a) Karışık karbit : Sementit yapılı karışık karbitler. Örnek olarak $(Fe, Mn)_3C$ verilebilir.
- b) Özel karbit : Özel yapıya sahip karbitler. Cr_7C_3 .
- c) Çift karbit : Fe_3W_3C .

Karbon çeliklerinde alaşım elementlerinin etkileri, karbit yapılına eğilim yaratmak ve ana kütlede çözünmeyi sağlamak gibi gruplandırılabilir. Yüksek karbon içeren çeliklerde ana kütle alaşım bakımından fakirdir, çünkü daha fazla karbit oluşumu gerçekleşmiştir. Az miktarda karbon ihtiva eden çeliklerde ise ana kütlede daha fazla alaşım elementi bulunur çünkü daha az karbit oluşumu gerçekleşmiştir.

Artan sıcaklıkla karbonun ana kütledeki çözünürlüğünde artış görülür ve böylelikle karbitlerde çözünme görülüp ana kütle karbit bakımından zengin bir konuma ulaşır. Böylelikle yüksek sıcaklıklarda hızlı soğutma sayesinde zengin alaşım bir yapı elde edilebilir. Yavaş soğutmada ise tam tersi gerçekleşecek ve yapı alaşım bakımından fakir bir hal alacaktır.

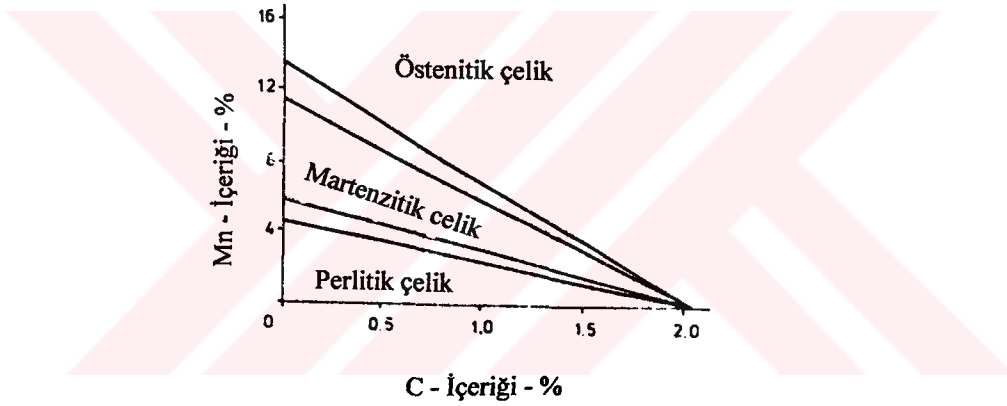
2.3.1.3 Çeliklerde alaşım elementlerinin malzeme özelliklerine etkileri

Mangan : Mangan alaşımını çelikler perlitik yapı ve takım çelikleri ile östenitik çelikler olarak kullanılırlar. 2...10% Mn bulunduran alçak derecede tavllanmış martenzitik çelikler gevrekliklerinden dolayı kullanılmazlar. Şekil 2.39'da görülen diyagram yalnız tane yapısı yaklaşımları için kullanılırlar. 0,9%'dan fazla C ve 12%Mn bulunduran çelikler hava ile soğutulurken su ile soğutma ile tam östenitik yapı elde edilir.

Mangan çeliğin çekme mukavemetini ve çekme sınırını yükseltici etki gösterir (100 N/mm² - 1% Mn).

Mangan perlit noktasını sol aşağıya çeker (2% Mn, 0,7%C ve 620 °C). Ayrıca mangan kritik soğuma hızını düşürerek sertleşme derinliğini yukarıya çeker. Tavlama gevrekliği yaratır ve çeliği aşırı tavlamaya karşı hassas kılar. 1...2,5 mangan kaynak edilebilme kabileyitini de iyileştirir.

En önemli mangan çeliği ise, Mn : C, 10 : 1 olan çeliktir (Örnek 120 Mn 50). Su verilmiş hali yumuşak ve gevrek. En yumuşak durumda (220 HB) en düşük çekme sınırı davranışı ve en önemlisi soğuk şekil vermede en yüksek mukavemet değeri $R_m = 1000 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Bu sebep ile işlenmesi çok zordur. Su verme işlemi ile birlikte uygulanan yağlama işlemi ile çekme dayanımı ve kopma uzamasında önemli bir artış oluşur ve sertlikte ve çekme sınırında bir değişim oluşmaz.



Şekil 2.39 Mangan çeliğinin yapısı. [8]

Silisyum : Silisyum çekme mukavemetini ve çekme sınırı ıslah edilmiş çeliklerde yükseltir. Bu nedenle yüksek zorlama altındaki yay çeliklerinde (65 Si 7) ve 7 mm kalınlığın üzerindeki levha yaylarda kullanılırlar (840 °C / Yağ /, 420 °C / Hava /, Çekme mukavemeti = 1450 N/mm², Çekme uzaması = 5%).

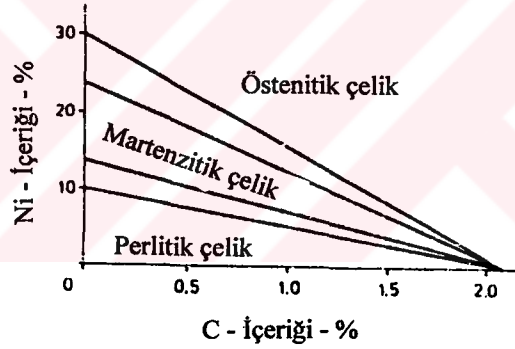
Silisyum soğuk şekil verme kabileyetini azaltmasına rağmen (derin çekme levhalarında 0,2%'den fazla olmamalı), aşınma mukavemetini ve tavlama mukavemetini yukarıya çeker. Silisyum elektiriksel direnci yükseltmesine rağmen bağlı olduğu gevreklik özelliğinden dolayı 4,3%'den fazla olmamalıdır (5Si17) .

Silisyum oksitlenme direncini de yükseltir (örnek : Sıcağa dayanıklı çelik G-X40CrNiSi 22 9- %2 Si). Yaklaşık 14% Si, çeliğin asite karşı dayanımını da artırır, fakat mekanik özellikler ve sıcak şekil alma kabiliyetinde büyük düşme görülür. Bu nedenle bu miktar yalnız asite dayanıklı dökme demirlerin üretiminde kullanılır.

Aluminyum : Silisyumun yanında 1,5% Al, yüksek alaşımlı (24% Cr'a kadar) krom çeliklerinde (ferritik) oksitlenme direncini artırır.

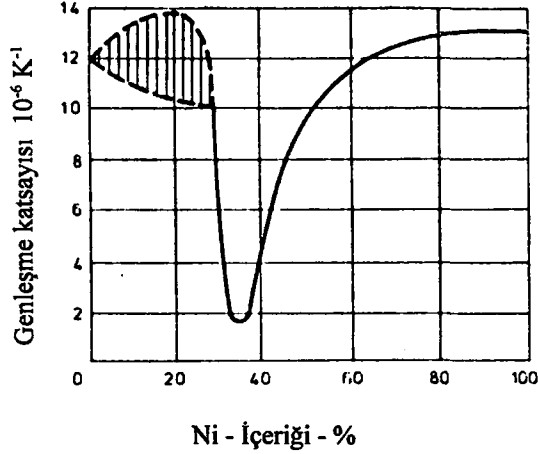
13% Al'a kadar alüminyum, sürekli magnetik alaşımlarda bulunur (Co, Ni ve Cu yanında).

Nikel : Nikel alaşımlı çelikler yalnız perlitik ve östenitik çelikler grubunda öneme sahiptirler. Martenzitik nikel çelikleri zor işlenebilirlikleri yüzünden kullanıma sahip değildirlir.



Şekil 2.40 Nikel çeliklerinin yapısı. [8]

Nikel, her 1% Ni ilavesi ile çekme mukavemetini ve çekme sınırını yaklaşık 40 N/mm² yukarıya çeker ve ıslah edilmiş çeliklerde gevrekliği iyileştirir. Kritik soğuma hızını azaltarak sertleşme derinliğini artırır (Örnek 30CrNiMo 8 (2% Ni) 250 mm çapa kadar ıslah edilmiş çeliklerde). Elektriksel direnci artırır. Kuvvetli tane büyümesini engeller. Yapı çelikleri hemen hemen hiçbir zaman maliyetinden dolayı saf nikel çeliğinden imal edilmez, ana alaşım elementleri olarak Cr ve Mo kullanılır.



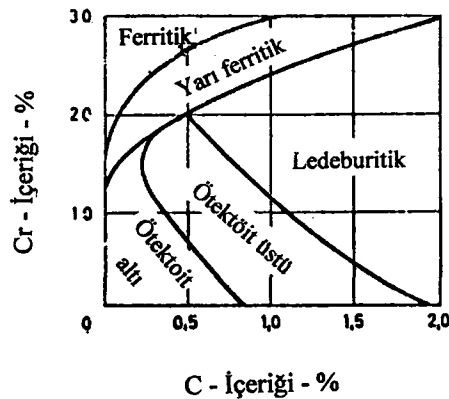
Şekil 2.41 Fe - Ni alaşımları için sıcak genleşme katsayıları. [8]

36 % Ni, $1,5 \cdot 10^{-6}$ mm / (mmK) sıcak genleşme katsayısı ile en düşük değere ulaşır.

Krom : Krom çekme mukavemetini, içerikteki her 1% artış dahilinde $90 N/mm^2$ arttırmakla kopma uzamasında 1.5% azalma görülür. Kritik soğuma hızını hızını azaltarak sertleşme derinliğini artırır.

γ - demiri için karbonun çözünürlüğünü azaltarak östenit doyma sınırını kuvvetli bir şekilde sola çekerek karbit artışına da etkir. 1% C ve 15% Cr ihtiva eden çelik ledeburitik çelik olarak da anılabilir.

12%'den fazla Cr ve az miktarda karbon ile birlikte su, bazı asitler ve sıcak gazlara karşı dayanıklılık sağlanır. Yüksek karbon oranlarında karbit yapılanması nedeni ile daha yüksek oranlarda krom kullanılmalı veya karbit oluşumu yüksek sıcaklıklarda su verme işlemi ile bastırılmalıdır.



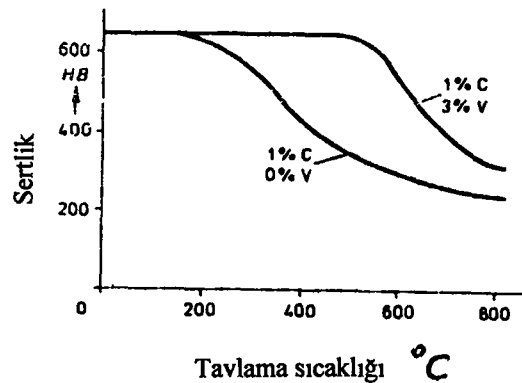
Şekil 2.42 Krom çeliğinin yapısı. [8]

17% ve daha fazla miktarda bulunan Cr, ferritik çelik oluşumuna tesir eder (X10CrAl 20 5). Ferritik çelikler, rekristalizasyon tarafından engellenemeyen ve kaynak işlemlerinde ve sıcak şekil vermede sorun yaratan iri taneli bir yapı oluşumuna eğilimlidirler. Krom, oksitlenmez çelikler için en önemli alaşım elementidir.

Molibden : Molibden özel karbitlerin oluşumuna etkir ve sonuçta sıcak ve uzun zamanlı mukavemetin artmasına yardımcı olur. V, W ve Cr ile birlikte özellikle kesme kabiliyetinin artışının arttığı görülür.

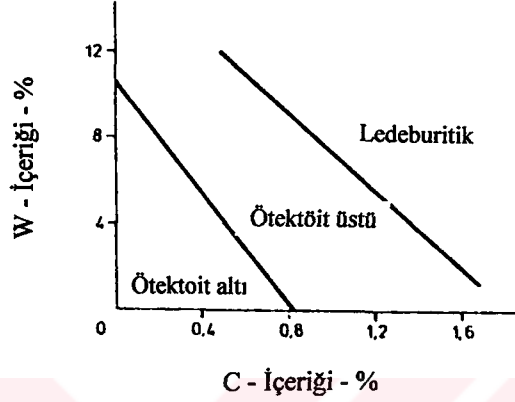
Tavlama gevrekliğinin engellenmesi için en etkili elementtir (Örnek : 34 CrMo 4, 0,2% Mo). Molibden, korozyona dayanıklı Cr-Ni çeliklerinde kükürtlü asit ve hidroklorik asitlere karşı dayanım kazandırır.

Vanadyum : Vanadyum Fe_3C gibi ötektoid içinde zor çözünen özel karbitlerin (VC) oluşumuna eğilimlidir. Yaklaşık 600 dereceye kadar tavlamaya karşı mukavemet sağlar. Tavlama esnasında sertlikteki ilk alçalma Fe_3C çökmesi nedeni ile gerçekleşir. Tekrar artış ise V_4C_3 'ün çok ince çökmesi ile görülür. 600 derece üstünde ilk yarıda sertlik çökelmiş karbitlerin yapışması (Pıhtılaşması) ile kuvvetli olarak düşer. Vanadyum karbit oluşumu, östenitik çeliklerde taneler arası korozyonun engellenmesine yardımcı olur.



Şekil 2.43 Vanadyum ilavesi ile tavlama dayanımının artırılması. [8]

Wolfram : Aşınmaya karşı dayanımı, tavlama ve sıcak mukavemeti geliştirir ve bu nedenle takım çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır. Wolfram, karbon için östenitik çeliklerde doyma sınırını sola doğru çeker (Şekil 2.44).



Şekil 2.44 Wolfram çeliklerinin yapısı. [8]

Vanadyum gibi Wolfram da yüksek sıcaklıklardaki karbit çökmesi nedeni ile tavlama mukavemetini yukarıya çeker.

Kobalt : Ana kütlenin mukavemetini artırır ve ayrıca kesme verimi, sıcak mukavemet ve aşınma mukavemetini de artırır. Bu nedenle hız çelikleride kullanılan bir alaşım elementidir (Örnek : X 86 WCrCo12 4 3). Fakat, kobalt kritik soğuma hızını da yükseltir.

Bakar : Çeliğin paslanmaya karşı dayanımını yükseltir. Hava şartlarına karşı dayanıklı çelik olan 0,2...0,3%Cu ve 0,06...0,1%P çeliği normal çeliğin yarı hızı ile korozyona tabi olur. 0,15% den fazla Cu, çelik üzerindeki boyanın dayanımı artırıcı etkiye sahiptir. Fakat, 0,3%'den fazla Cu içeriği çeliğin soğuk şekil verilme yeteneğini aşağıya çeker.

Titan : Titan, çeliklerin çekme mukavemetinde ve gevreklik özelliklerinde hafif bir artış görülmesini sağlar.

2.3.2 Ekstrüzyon presi takımlarında kullanılan sıcak iş çelikleri

Sıcak iş çeliklerinden beklentilerin günden güne daha fazla artmasından dolayı geçmiş zaman içinde birçok sıcak iş çeliği geliştirilmiştir. Bu çelik alaşımları ile isteklerin büyük bir bölümü karşılanmasına rağmen halen araştırmalar devam etmektedir. DIN 17350 normunda sözü geçen çelik alaşımları, ekonomiklik göz önüne alındığında ağır metallerin ekstrüzyonunda istenen verimliliğe ulaşamamıştır.

Tablo 2.12 Bazı sıcak iş çeliklerinin kimyasal açılımları. [14]

Kısaltma	No	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
55NiCrMoV6	1.2713	0.50 - 0.60	0.10-0.40	0.65-0.95	0.60-0.80	0.25-0.35	1.50-1.80	0.07-0.12
56NiCrMoV7	1.2714	0.50 - 0.60	0,10-0.40	0.65-0.95	0.45-0.55	0.45-0.55	1.50-1.80	0.07-0.12
X38CrMoV51	1.2343	0.36 - 0.42	0.90-1.20	0.30-0.50	1.10-1.40	1.10-1.40	-	0.25-0.50
X40CrMoV51	1.2323	0.37 - 0.43	0.90-1.20	0.30-0.50	1.20-1.50	1.20-1.50	-	0.90-1.10
X32CrMoV33	1.2365	0.28 - 0.35	0.10-0.40	0.15-0.45	2.60-3.00	2.60-3.00	-	0.40-0.70

Pres takımlarına gelen zorlamaların çeşitliği, DIN 17350 normunda bulunan çelik alaşımlarına ek olarak ekstrüzyon işlemi için geliştirilmiş bazı özel alaşımların kullanıma sunulması ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Tablo 2.12'de bulunan alaşımlar bunlara örnek teşkil etmektedir.

Grup 1, düşük ve orta alaşım oranına sahip sıcak iş çeliklerini göstermektedir. Bu kalitedeki çeliklerden yalnız belli düzeydeki mukavemet ve aşınma direnci değerleri elde edilebilmektedir. Bu tür malzemeler daha çok ekstrüze edilen malzeme ile direkt temasta olmayan kısımlarda kullanıma sunulurlar.

İkinci gruptaki malzemeler ise bu gün kullanımda olan sıcak iş çeliklerini kapsamaktadırlar. Bu grupta, krom-, molibden- ve vanadyum alaşımlı çelikler bir araya toplanmışlardır. Özellikle hafif metaller ile çalışıldığında, yüksek sıcak mukavemet, tavlama mukavemeti ve gevreklik istendiği kullanım koşullarında, beklentilere pozitif cevap vermektedirler.

Tablo 2.13 Ekstrüzyon takımları için kullanılan sıcak iş çelikleri. [14]

Malzeme No.	AISI	C	Co	Cr	Mo	Ni	V	W	Ti
1.2311	P20	0.40		2.00	0.20				
1.2323	-	0.45		1.45	0.75	1.65	0.30		
1.2713	6F2	0.55		0.70	0.30	1.65	0.10		
1.2714	6F3	0.55		1.10	0.50		0.10		
1.2343	H11	0.38		5.20	1.25		0.40		
1.2344	H13	0.40		5.20	1.35		1.00		
1.2365	H10	0.32		3.00	2.80		0.55		
1.2367	-	0.38		5.00	3.00		0.55		
1.2567	-	0.30		2.35	0.60			4.25	
1.2581	H21	0.30		2.65	0.35			8.50	
1.2678	H19	0.45	4.50	4.50	0.50		2.00		
1.2885	H10A	0.32	2.80	3.00	2.80		0.60		
1.2889	H19A	0.45	4.50	4.50	3.00		2.00		
1.2731	-	0.50		13.00		13.00	1.30	1.30	210
1.2758	-	0.50	1.70	4.00	0.70	11.50	1.10	12.50	
1.2779	A286	0.05		15.00	1.30	25.50	0.30		

Fakat ağır metallerin ve çeliğin ekstrüzyonunda da çoğu zaman gereken sonuç alınabilmektedir. Üçüncü grup ise, volfram alaşımlı iki sıcak iş çeliğini göstermektedir. Uygulama çeşitliliği fazla değildir. Özellikleri Cr-Mo-V alaşımlı çelikler ile hemen hemen kıyaslanabilecek durumdadırlar. 1.2581 kalitesindeki çelik ile, içerdiği yüksek volfram miktarı nedeni çok iyi bir sıcak aşınma mukavemeti elde edilir.

Kobalt mevcudiyeti ile sıcak sertlik değerinde hissedilir bir yükselme gözlenir. Grup 4'deki Co alaşımlı çelikler yüksek sıcaklık uygulamalarında grup 2 çeliklerinin yerine kullanılırlar. Bu sebepten dolayı ağır metallerin ekstrüzyonunda

sıkca kullanılırlar. Son grup ise östenitik sıcak iş çeliklerini kapsamaktadır. Çok yüksek sıcak mukavemete sahip bu çelikler mevcut kullanım özelliklerine, sıcak/soğuk döverek sertleştirme (1.2731) veya çökerterek sertleştirme (1.2758, 1.2779) işlemlerinden sonra erişirler. Şekil 2.45 yüksek sıcaklıkta, 1.2779 östenitik çeliği ile 1.2344 martenzitik çeliği arasındaki sıcak çekme sınırını göstermektedir. Normal sıcak iş çeliği 1.2344, 700 derecede pratikte hemen hemen ölçülebilir hiç bir sıcak çekme sınırı göstermezken, 1.2779 aynı sıcaklıkta 350 N/mm² değerini vermektedir.

2.3.2.1 Sıcak iş çeliklerinin imali

Genel olarak sıcak iş çelikleri, elektririk ark fırını gibi elektririkli fırınlarda eritildikten sonra istenmeyen gazlardan arındırılarak kokil kalıplarda dökümleri gerçekleştirilir. Bu yolla elde edilen ham bloklar presler yardımı ile sıcak şekil verme işlemine tabi tutulur. İmalat esnasında verilen zahmetli uğraşıya rağmen büyük kesitlere ulaşıldığında homojenlik sorunları ile karşılaşılabilir. Elektro ergitme işlemleri (ESU) ile gerçekleştirilen ergitme uygulamalarında bu tür sorunları ortadan kaldırma imkanı mevcuttur.

Çeliklerin sahip oldukları özellikleri geliştirme işleminde ise ek bir ergitme işlemi uygulanır. Pratikte avantaj olarak sayılabilecek pek çok özelliğin elde edilebilmesine rağmen önemli olan, bunlar arasında optimal noktanın saptanmasıdır.

Daha önce bahsedilen Ni- ve Co- esaslı alaşımlara yalnız, ESU-, vakumlu ark fırını ve hatta toz metalurjisi uygulamaları gibi özel ergitme yöntemleri ile ulaşılabilir.

2.3.2.2 Sıcak iş çeliklerinin işlenmesi

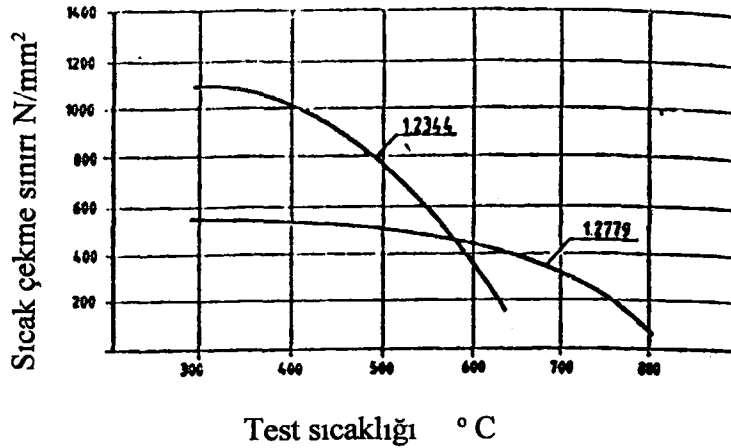
Yüksek alaşımlı sıcak iş çelikleri sıcak şekil verme işleminden sonra gerilme çatlama tehlikesi sebebi ile yavaş soğutulmalıdır. Bu, ara bir fırın veya bir soğutma tüneli kullanılarak gerçekleştirilir. 1.2344 sıcak iş çeliğine ait diyagramda,

çökme bölgesinde tane sınırlarında konsantre olarak bulunan karbitlerin durumları görülmektedir.

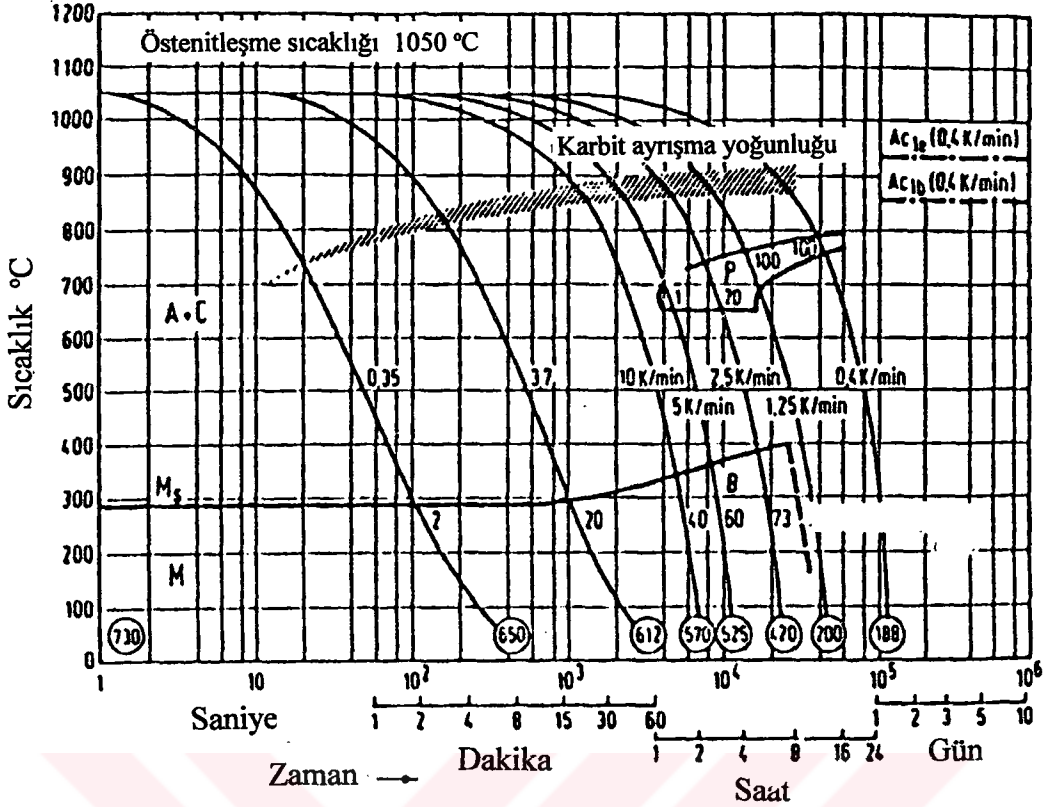
Tane sınırında bulunan karbitler, sıcaklık değişimlerine karşı dayanımına negatif bir tesirde bulunabilirler ve takip eden normal ısıtma işlemde ya kısmı yada hiçbir şekilde çözünmezler. Sıcak şekil verme işleminden sonra uygulanan özel bir ısıtma işleminden sonra bu çökeltiler çözünebilirler. Bağlayıcı yumuşak tavlama işleminden sonra iyi bir yapı elde edilebilir. Malzeme, daha sonraki ısıtma işlemleri için iyi bir çıkış durumu elde eder. Bu işlemde ek olarak iyi bir iç yapı homojenliği elde edilir.

Bu karakteristiklerin incelenmesinden sonra tabii, en iyi malzeme kalitesine ulaşmak amacı ile birçok kontrolün yapılması zorunludur. Başlıca kontroller mikro-ve makroskobik yapı kimyasal analizleri, saflık yüzdesinin belirlenmesi, çatlak kontrolü, ultrason kontrolü, görsel kontroller ve darbeli bükme deneyi ile sertlik kontrolleridir.

Sonuçta önemli olan çelik türünün kullanım amacına uygunluğu ve çelik üreticisi ile kullanıcı arasındaki sözleşmenin yerine getirilmesidir.



Şekil 2.45 1.2344 ve 1.2779 çeliklerine ait sıcak çekme sınırları. [14]

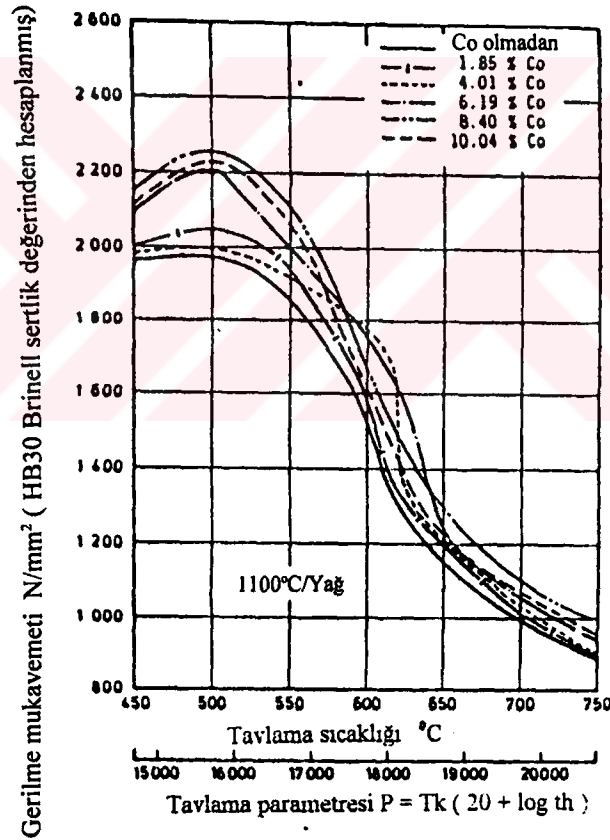


Şekil 2.46 1.2344 (X40CrMoV51) alaşımına ait soğuma eğrisi. [14]

2.3.2.3 Ekstrüzyon takımlarında kullanılan sıcak iş çeliklerinin yapı ve özelliklerinin incelenmesi

Sıcak iş proseslerinde, sıcak iş çelikleri genel olarak istekleri karşılayacak özelliklere sahiptir. Yağda sertleştirme ve tavlama koşullarında, 900 ila 1800 N/mm² dayanıma sahip çelikler elde edilebilir. Ekstrüzyon takımlarında, özellikle ekstrüze edilen malzeme ile direkt kontakt halinde oluşan yüksek ısıl yük, imal edilen takımların yüksek ısıl dirence sahip olmalarını gerektirir. Bu tür bir dirence sahip olan çeliklerde, Co, Mo, W, V gibi özel karbitlerden oluşan alaşım elementleri kullanılır. Bunlar yüksek ısıl mukavemeti sağlayan alaşım elementleridir. C, Si, ve Mn temel içeriğinden ayrı, ana ilave Cr'dir ve belli sıcak iş çeliklerinde, yukarıda adı geçen özel karbit oluşum elementlerine ek olarak Ni ve Si eklenir. Östenit içindeki çözünüm miktarı, mukavemeti artırıcı etki ile orantılıdır. Cr aşınmaya karşı direnci artırıcı bir etkiye sahiptir. Mo sertleştirilebilirlik lehinde etki eder, sertliği artırır ve tavlama gervekliğine karşı en etkili alaşım elementidir.

Ek olarak, Mo karbitleri, yüksek sıcaklık ve yorulma mukavemetlerini geliştiren tavlamaya karşı dirençlidirler. Ni, sertleştirilebilirlik ve sertliği geliştirir. V, tavlama oluşmuş gevrek çatlama olayına karşı koyar ve ince taneli bir yapı oluşumuna yardım eder. V karbitleri 600 dereceye kadar tavlama işlemine karşı mukavemettir. Bu, yüksek sıcaklık dayanımının gelişmesine yardım eder. W'de aynı etkiye sahiptir ve ince taneli yapının oluşumuna yardım eder. W, ayrıca çökme noktasının yerini değiştirerek ısı direncin gelişmesine yardımcı olur. Co aşınma direncini ve çeliğin ikincil sertliği artırarak ısı direncini geliştirir. Şekil 2.47'de, artan Co miktarının 1.2603 sıcak iş çeliğinde ikincil sertlik üzerindeki etkisi görülmektedir. Co ayrıca matris içindeki karbon çözünürlüğünü aşağıya çekerek, karbit çökmesini destekler.



Şekil 2.47 1.2603 sıcak iş çeliğinde, artan Co miktarının ikincil sertlik üzerinde etkisi. [23]

Elementler, sıcak iş çeliklerinin özelliklerini, etkileri karşılıklı denge sınırları içinde kalacak şekilde, çeşitli yollar ile artırırlar. Bunun ötesinde çoğu sıcak iş çeliği belirli tavlama koşullarında ikincil sertleşmeye sahiptir. Buradaki sertleşmenin türü çökelme sertleşmesidir. Her ne kadar tavlama sıcaklığını yükseltmek, demir karbür çökmesi ile, ilk olarak dayanımı düşürücü etki yapsa da, 450 - 500 derecenin üzerinde, karbitlerin martenzitik çelik matrisine çökmesi ve fazla östenitin ayrılması ile, dayanım artış gösterecektir. Sertlik ve dayanım Şekil 2.48'de görüldüğü üzere optimize edilir. Ama, yukarıda bahsi geçen karbitler bir taraftan güçlkle çözünebilirken, diğer taraftan, çeliğin martenzitik matrisinde yalnız dereceli olarak çökme gösterir. Buna rağmen yüksek ısı direncin eldesi amacı ile birçok sayıda karbit, alaşımlama işleminde kullanılır. Karbit çözülme derecesi, maksimum sertlik ve tavlama ile kazanılan ısı direncin saptanmasını sağlar. Yüksek sertleşme sıcaklıkları seçilmelidir, ama öte taraftan çeliğin sertliği artan sıcaklıktan dolayı zarar görür. Bu nedenden dolayı, her iki özelliğe isabet eden sıcaklık değeri seçilmelidir.

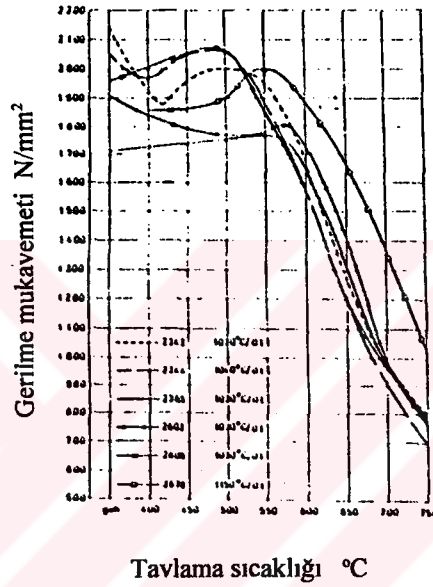
Tavlama sıcaklıkları aşıldığı takdirde, sıcak iş çeliği artan derecede yumuşar ve basınç altında akar (Şekil 2.48, Piriç tel imalinde kullanılan termomekanik olarak zorlanmış dört delikli matris). Bu noktada statik testlerden elde edilmiş malzeme parametlerinden öte, dinamik ve zamana bağlı malzeme davranışları daha önemlidir.

Ekstrüzyon çevrimi içinde, yük altındaki zaman, genel olarak ekstrüzyon hızları ve malzeme özelliklerine bağlıdır. Örneğin demir alaşımlarının direkt ekstrüzyonu yaklaşık olarak minimum 20 s. iken alüminyum alaşımları ihtiva eden yüksek alaşımlı bakırda aynı işlem yine yaklaşık olarak maksimum 20 dak. sürmektedir.

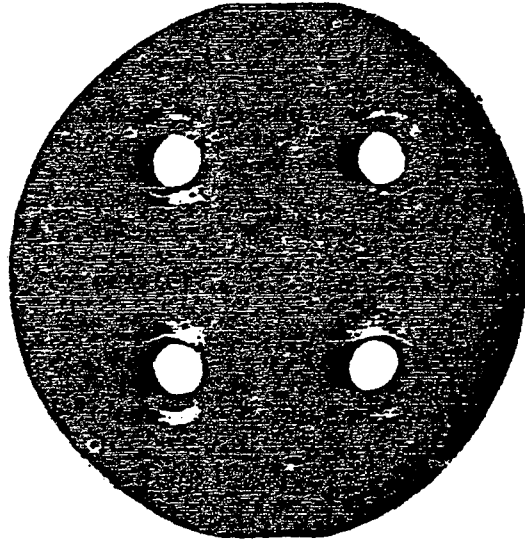
Belirli durumlarda ekstrüzyon takımları uzun dönemli zamanlarda yüksek mekanik/ısı yüklerine karşı koymalıdır. Bu yükler, takım malzemesinin yeniden kristalleşme sınırları içindedir. Uzun zamanlı mekanik/ısı yüklerinin sonuçları Şekil 2.49'de görülmektedir. 1.2342 sıcak iş çeliğinde, kısa zamanlı yükleme ile saptanan 0.2% deneme gerilimi ve 100 saatlik çekme gerilimi 500 ile 600 dereceler

arasında uygulanmıştır. Yükleme süresi artırılarak yeniden kristalleşme alanında, 0.2% deneme gerilimi esasen azaltılmıştır. Uzama kopma gerilimi, yağda sertleştirme ve tavlama dirençlerine bağlıdır.

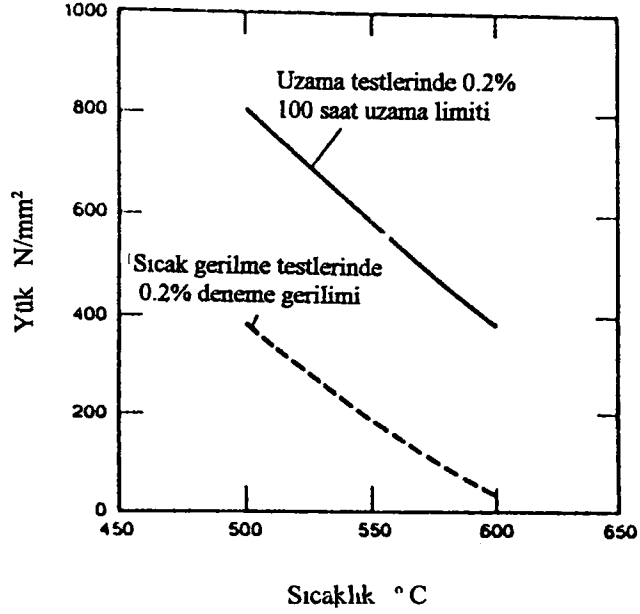
Sıcak iş çelikleri yük altında, belli bir sıcaklığın üzerinde uzarlar. Bu limit sıcaklık, malzemenin yeniden kristalleşme özelliklerine bağlıdır. Sıcak iş çeliklerinde yeniden kristalleşme 420 derecede başlar. Operasyon sıcaklıkları, alüminyum alaşımlarda dahi 450 ila 600 derece arasındadır ve görüldüğü üzere bu değerler, limit sıcaklığının üzerindedirler.



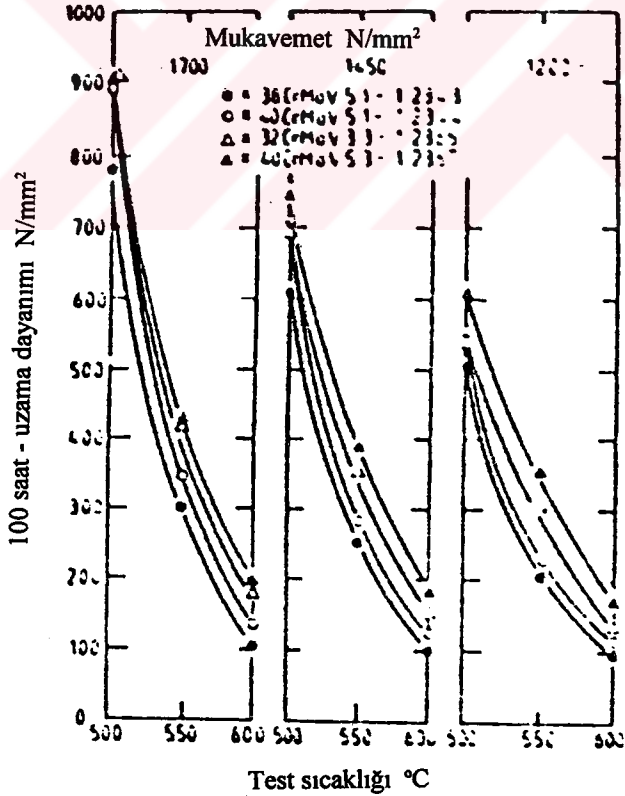
Şekil 2.48 Özellikle Cr-Mo alaşımlı, çeşitli sıcak iş çelikleri için tavlama diyagramı. [23]



Şekil 2.49. Pirinç tel üretimi için dört delikli matris (termomekanik olarak zorlanmış). [23]



Şekil 2.50 1.2343 sıcak iş çeliğine ait 0.2% bel verme mukavemetinin karşılaştırılması.(sıcak gerilme testleri ile 500 ila 600 dereceler arasında ve aynı sıcaklıkta 0.2% - 100 saat uzama limiti). [23]

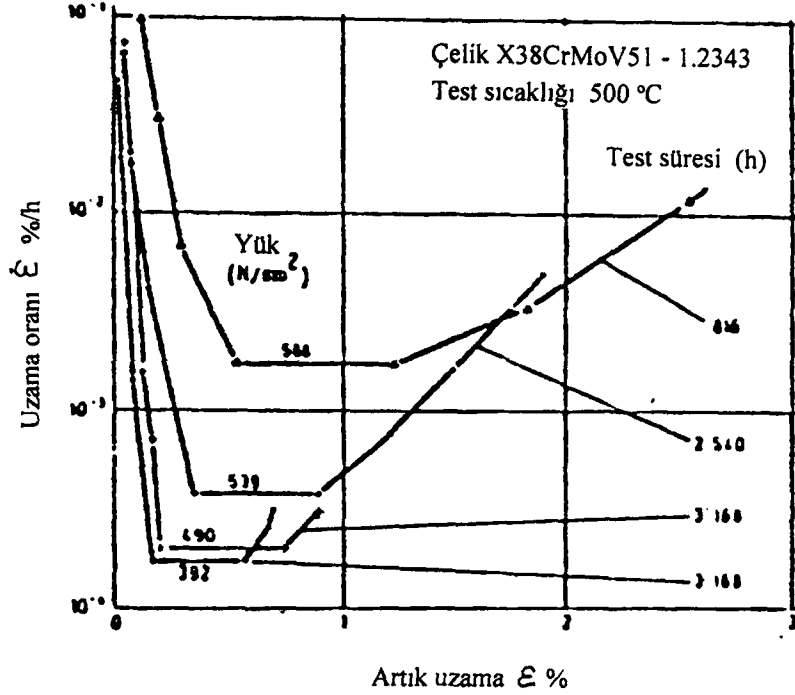


Şekil 2.51 Çeşitli sıcak iş çeliklerinde 100 saat-uzama dayanımının ısı uygulanmış sertlik ile bağımlılığı. [23]

Şekil 2.51, 100 saat-uzama dayanımının çeşitli ısı işlem görmüş sıcak iş çeliklerindeki bağımlılığı görülmektedir. İstenen ekstrüzyon koşullarının sağlanması açısından, uzama/yorulma özelliklerinin bileşimi takım malzemesi seçiminde en büyük rolü oynar. Tablo 2.14'de tipik parametreler verilmektedir. Tabloda günümüzde kullanılan sıcak iş çelikleri malzeme parametreleri ile nikel bazlı bir alaşım, statik, dinamik, ısı ve uzama yüklemeleri ele alınarak mukayese edilmiştir.

Yumuşak çelikler mekanik / ısı uzun süreli yüklerde, uzamaya göre , tipik bir şekil değiştirme prosesi sergiler (Şekil 2.52; 1.2343 çeliği, 500 derece). Çeliğin kırılmaya kadar olan uzama prosesi üç sahaya bölünmüştür; birincil, ikincil ve üçüncül fazlar. Kısa dönemli yüklerden sonraki takım kırılmasının önlenmesi için, çeliğin geniş bir ikincil uzama alanına ihtiyacı vardır. Bütün sıcak iş çelikleri bu kurala uymazlar. Şekil 2.53'de görülen uzama eğrilerinde olduğu gibi (1.2714, 1.2343, 1.2567 ve 1.2886 çelikleri). Bundan ayrı olarak, sıcak iş çelikleri Şekil 2.54'de de görüldüğü üzere uzama kırılması gevrekliğine artan bir eğilim gösterebilirler. Uzama kırılması gevrek çatlaması ile yüksek sıcaklık gevrek çatlaması arasında yakın bir ilişki bulunur. Yüksek sıcaklık gevrekliğine daha az bir eğilime sahip çelikler, uzama kırılması yüklemesi altında da daha az gevreklik eğilimine sahiptirler. Bununla birlikte, uzama kırılması gevrek çatlaması, yüksek sıcaklık gevrek çatlamasından 100 derece daha düşük bir sıcaklıkta başlar. Bu sebepten dolayı malzeme seçiminde bu malzeme davranışı, özellikle ekstrüzyon takım yükü açısından, göze alınmalıdır, çünkü mekanik/ısı yüklerine bağlı olarak plastize olma eğilimine sahip takımlar beklenmedik bir şekilde uzama kırılma gevrek çatlamasına bağlı olarak kırılabilirler. Sıcak iş çeliklerinin uzama özellikleri, Mo, W, V gibi yüksek tavlama direncinden sorumlu, aynı alaşım elementleri sayesinde pozitif olarak etkilenebilirler.

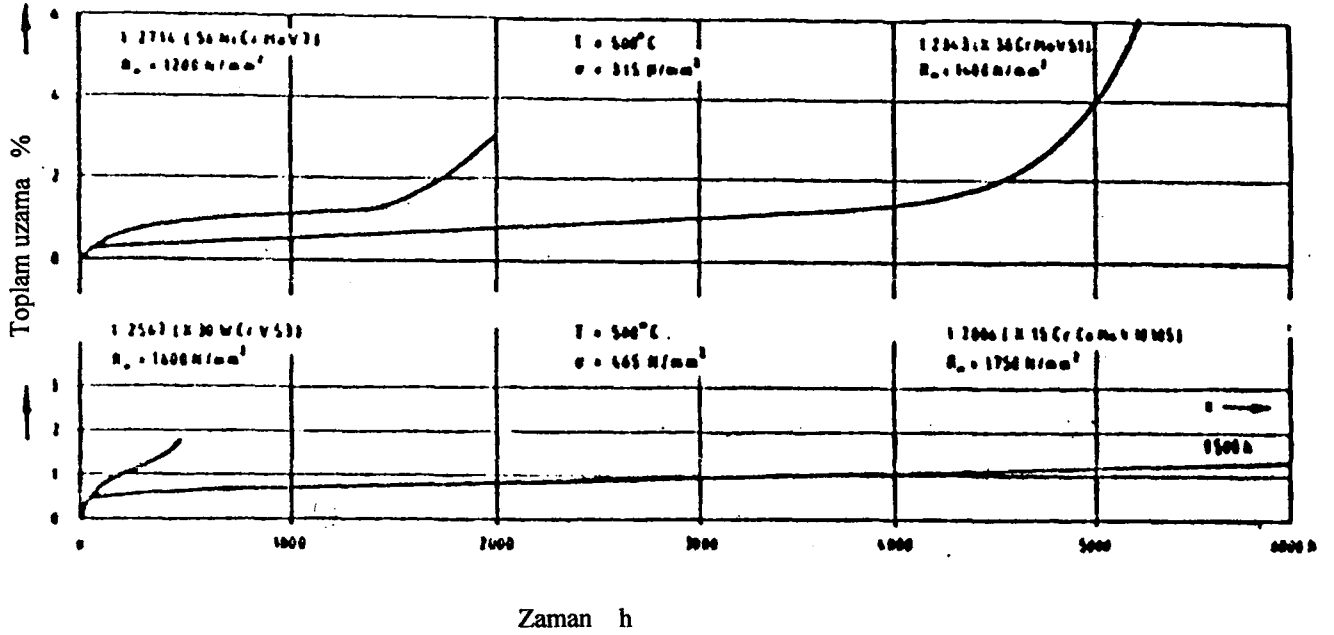
Ekstrüzyon takımlarının, elastiklik teorisi kullanılarak dizaynı, malzeme uzaması ile operasyon koşulları altında zamana bağlı şekil değişimlerini kapsamaz. Bu şekilde tasarlanmış bir takım, yalnız farzedilen elastik ilk konum için uygundur fakat operasyon koşulları için uygun değildir.



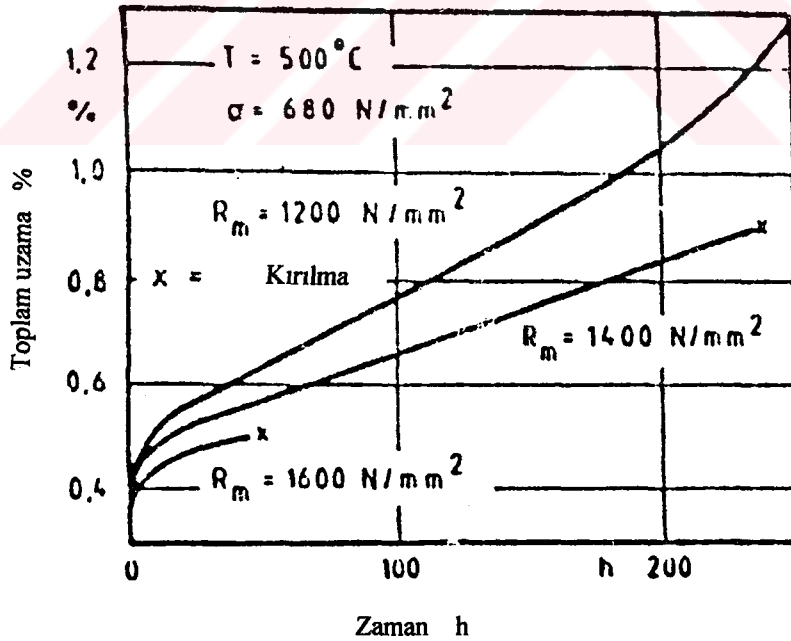
Şekil 2.52 1.2343 sıcak iş çeliğinin, farklı yüklemelerde, 500 derecedeki uzama davranışı. [23]

Özellik	Malzeme No.	$R_{m/RT}$	$R_{m/500}$	$R_{p0.2/500}$	$\sigma_{ZSch/500}$	$\sigma_B/500$	A_5
			(N / mm ²)			(1000)	(%)
X38CrMoV51	1.2343	1540	1060	700	550	500	12
X40CrMoV52	1.2344	1650	1120	720	540	480	12
X32CrMoV33	1.2365	1380	900	650	450	440	8
X30WCrV53	1.2567	1540	1030	720	520	460	12
X30WCrV93	1.2581	1580	1120	920	540	460	8
45CrMoW58	1.2603	1480	970	720	490	410	12
NiCr19CoMo	2.4973	1340	1320	970	610	---	--

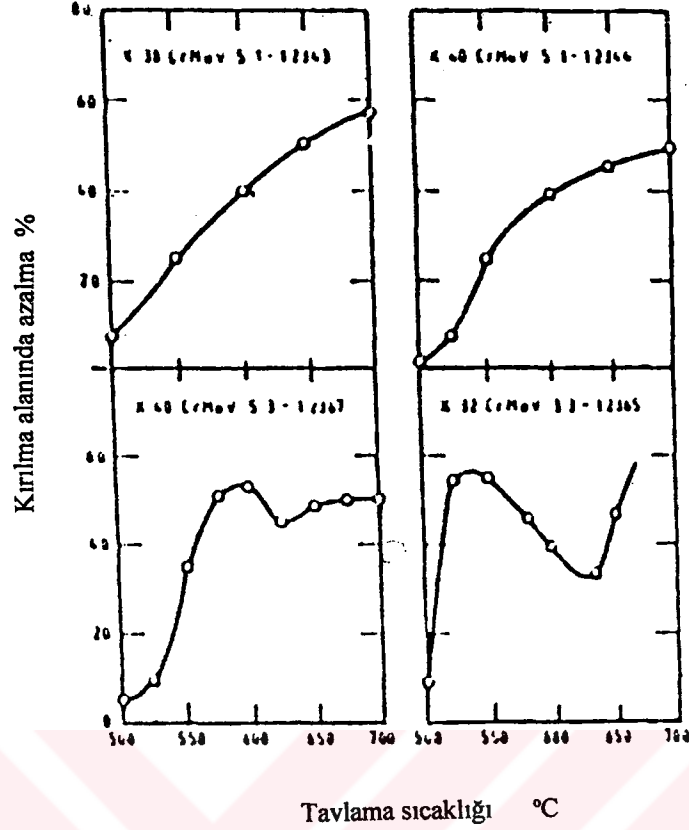
Tablo 2.14 Statik ve dinamik yükler altında yüksek sıcaklık çeliklerinin oda sıcaklığındaki(index RT) ve 500 derecedeki(index 500) mukavemet karakteristikleri ile 1000 saatlik servisten sonra kırılma için uzun dönem karakteristikleri (index1000). [23]



Şekil 2.53 1.2714, 1.2343, 1.2567 ve 1.2886 sıcak iş çelikleri için zaman bel verme eğrileri. Çelikler sünek ve gevrek uzama davranışları sergiliyorlar. [23]



Şekil 2.54 1.2365 sıcak iş çeliğine ait uzama karakteristiklerinin ısıtılmış sertlik ile bağımlılığı. [23]



Şekil 2.55 CrMoV çeliklerinde tavlama sıcaklığının alandaki azalma üzerindeki etkisi. [23]

X38CrMoV51-1.2343

X40CrMoV51-1.2344

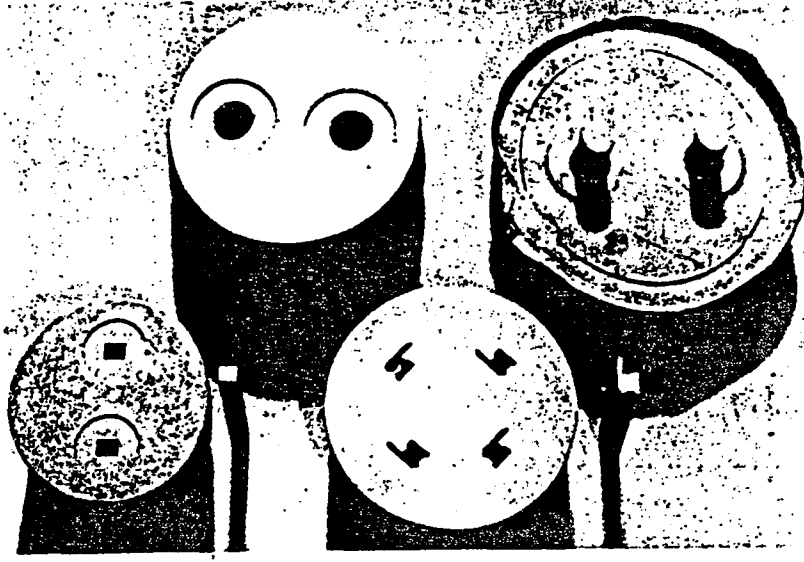
X40CrMoV53-1.2367

X32CrMoV33-1.2365

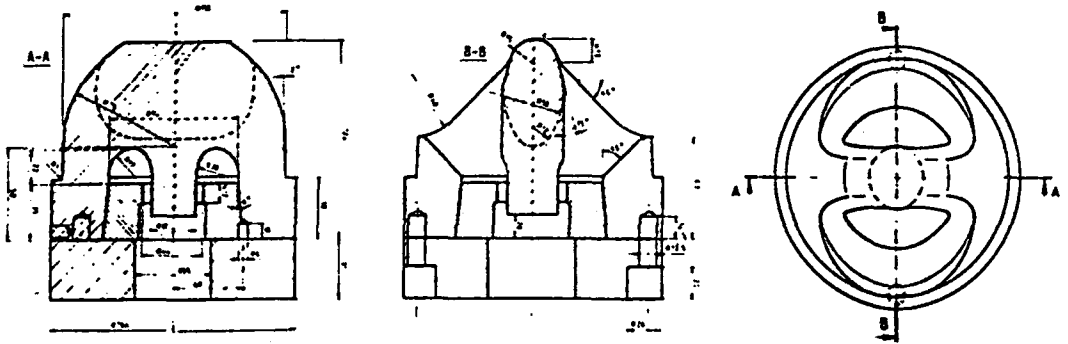
Tablo 1’de dikkati çeken bir özellik, dinamik yük ve uzama yüklemesi koşullarında ölçülmüş sıcak iş çeliği malzeme parametreleri arasındaki küçük farktır. Şekil 2.55, farklı seviyelere kadar ısıl işlem uygulanmış çeşitli çeliklerde bu durumu göstermektedir. Takım malzemesinin uzama dayanımı, ekstrüzyon takımlarının şekil ve boyutsal stabilitesinden sorumludur. Bu dayanımın aşılması, şeklin plastik şekil değiştirmesi ile sonuçlanır. Bu sebeple takım malzemesinin uzama davranışı belirli ekstrüzyon takımlarının dizaynında, gerekli koşullara bağlı olarak uygun

malzeme seçimi için önemlidir. Bu, yüksek ısı ve mekanik yüklere maruz kalan konteynırlar için kısmen doğrudur. Her halukarda, sıcak iş çeliğinden genel yol ile imal edilmiş matris tutucusunun sürekli uzama yüklemesine maruz kaldığı gözden kaçırılmamalıdır. Şekil 2.56 ile 2.57’de bu durum gösterilmiştir. Gövde içindeki sıcaklığa bağımlı uzama, sonraları çekme gerilimleri ile birlikte etki gösterir ve bu da belli bir servis süresi sonundaki matris tutucusu kaybının en büyük nedenidir. Şekil değiştirmeye hassas olan çelikler Şekil 2.52’de, 500 derecede, 1.2343 sıcak iş çeliğinde görülen duruma benzeyen, sürdürülen termomekanik yükleme altındaki şekil değiştirme eğrisine sahiptirler. Yüksek bir ilk değerden sonra zaman içinde oluşan çelikteki sertleşmeden dolayı uzama oranları azalma gösterir. Uzama oranı artan sürekli zorlama karşısında sabit kalır ve sonra yine hızlı şekilde artar. Bu yükseliş, sürdürülen termomekanik yükleme sonrası oluşan çelikteki yumuşama prosesine atfolunabilir. Kırılmaya giden uzama eğrisi üç bölüme ayrılmıştır, birincil kayma sahası (1), ikincil kayma sahası (2), üçüncül kayma sahası (3). Bunlar özellikle sıcak iş çeliklerindeki yüksek sıcaklık sertliği olmak üzere, sertliğin önemini ortaya koymaktadırlar. Örneğin, birçok matris kırılması mekanik çatlama atfolunabilir, çünkü takım malzemesinin kırılma dayanımı aşılmıştır. Bu çatlaklar genel olarak, çentik etkisine göre, yüksek gerilim toplanmalarının oldukları yerlerde başlarlar. Şekil 2.58’de matris çatlamlarına bir örnek verilmiştir. Sertlik, prensip olarak artan dayanımla azalır. Aşırı sertleştirme sıcaklıkları ve östenitleşme olayından sonraki çok yavaş soğuma oranları, sertlikte kesin bir azalmaya yol açar. Artan sertleştirme sıcaklıkları kırılma dayanımını geliştirse de sertliği aşağıya çeker.

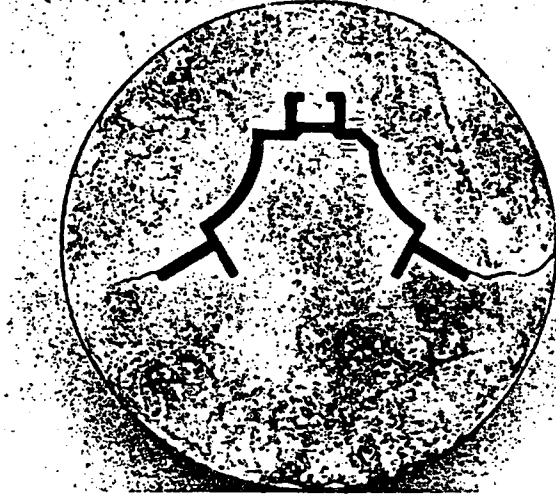
Şekil 2.52’de görüldüğü üzere, tungsten içeren ve bazı molibden alaşımli, sıcak iş çelikleri, örn : 1.2365 ve 1.2367, tavlama gevrekliğine eğilimlidirler. Yüksek sertlik her zaman, sertlikteki ve dayanımdaki azalmaya rağmen, tavlama sıcaklıklarının arttırılması ile elde edilemez.



Şekli 2.56 En üst : Sıkı geçme matris astarına sahip (zirkonyum oksit seramik) iki delikli ekstrüzyon matrisi. 35 MN ekstrüzyon presinde, 22 mm çaplı yuvarlak CuNiZn telinin ekstrüzyonunda kullanılmakta. Iskarta sağ tarafta görülmekte. Alt sol : Kare CuZn39Pb (pirinç) tel ekstrüzyonu için stelit astara sahip iki delikli ekstrüzyon matrisi. Sağ tarafta imal edilmiş parçaya ait kısım görülmekte. Alt sağ : CuZn39Pb ekstrüzyonu için, 1.2731 sıcak sertliğe sahip ötektik çelikten imal edilmiş dört delikli ekstrüzyon matrisi. [23]

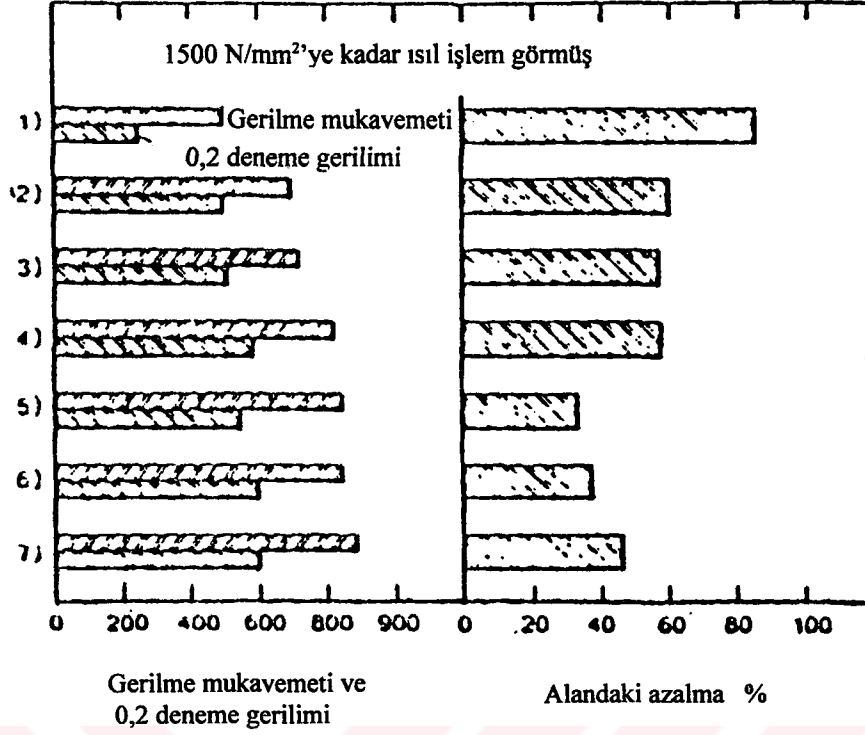


Şekil 2.57 CuZn37Al, CuZn40Al1 ve CuZn40Al2 özel pirinçlerinden tüp imalatı için 2.4969 nikel bazlı alaşımdan imal edilmiş tek delikli köprülü matris. [23]



Şekil 2.58 Pirinç profil ekstrüzyon matrisinin, kritik bir bölümünde çatlak oluşmuş, blok yüzü. [23]

Genel olarak sıcak iş çeliklerinin sertliği, artan operasyon sıcaklıkları ile iyileşir. Bundan dolayı, bunlardan imal edilmiş takımların kullanımdan önce tamamen dikkatli olarak ön tavlama tabi tutulmalıdır. Hernekadar, bazı sıcak iş çelikleri, özellikle tungsten ihtiva edenler, kimyasal bileşim, imalat koşulları, yağda sertleştirme ile tavlama diençleri ve ısıl işlemlere bağlı olarak 500 ila 650 derece arasında yüksek sıcaklık gevrekliğine eğilimlidirler. Böyle bir sertlik minimumu, molibden içeren çelikler, 1.2365 ve 1.2367 çeliklerinde gösterilmiştir (Şekil 2.59). Tavlama gevrek çatlama oluşmuş çeliklerin çentik vuruş sertliği, yaklaşık 30% düşebilir. Süregelen araştırmalara göre tavlama gevrek çatlama orjinal östenit tane sınırlarındaki özellikle P, Sb, Sn ve As yoğunlaşmasına atfolunabilir. Sıcak iş çeliklerindeki tipler arasında, bu tavırdaki farklılıklar, saflığı bozan bu elementlerin alaşım elementleri ile reaksiyona girmeleridir (örn:Cr ve Mn). Bilinmektedirki tavlama gevrek çatlama karşı eğilim, Mo alaşım elementi yardımı ile azaltılmaktadır. Her halukarda, takımların sıcaklığı sıcak işleme prosesinde yükselmektedir ve ekstrüze edilen malzemeye bağımlı olarak temas yüzeylerinde 700 dereceyi aşar. Sıcak iş çeliğinin operasyon sıcaklığı sınırları içindeki sertliği oda sıcaklığındaki sertliğinden çok daha önemlidir.



Şekil 2.59 Çeşitli sıcak iş çeliklerinde, kırılma anında (600 derece), alandaki azalma. [23]

1) 56NiCrMoV7	1.2714
2) X38CrMoV51	1.2343
3) X40CrMoV51	1.2343
4) X40CrMoV53	1.2344
5) X32CrMoV33	1.2365
6) X30WCrV53	1.2567
7) X20CoCrWMo109	1.2888

Şekil 2.59, 600 derecede kırılmada alandaki azalmadan yararlanarak, CrMoV ve WCrV tiplerinde farklı sıcak iş çeliklerinde sıcak sertliği vermektedir. Çelik tipleri 5=X32CrMoV33 (1.2365) ve 6=X30WCrV53 (1.2367) yüksek sıcak dayanımda en düşük sıcak sertliğe sahiptir.

Hiç bir sıcak iş çeliği tamamen, düzensiz sıcaklık değişimlerine dirençli değildir. Bununla birlikte, düzensiz sıcaklık değişimlerine maruz kalan takımların servis ömrü, sıcaklık değişimlerine direnç sağlayabilen, doğru malzeme parametrelerinin seçimi ile optimize edilir.

Deneysel sonuçlar, sıcak çatlama mekanik ve dinamik yükler altında oluşan yorulma çatlakları ile karşılaştırılabilirliğini ortaya koyar. Bu sebeple, yorulma dayanımını yükseltici önlemler, sıcak iş çeliğinin sıcak çatlama karşı direncini de yükseltecektir. Nitratlama örneğine sahip yüzey ısı işlemleri gibi, çeliğin çok temiz ve homojen bir yapıya sahip olması, takımın sıcaklık değişimlerine karşı iyi bir dirence sahip olması için ön şartlardır.

Yüksek şekil değiştirme sıcaklıklarında sürekli devirsel ısı gerilime maruz kalan ekstrüzyon takımlarında sık sık yüksek sıcaklık çatlama görülür. Şekil 2.60'da, zamanından önce takım kırılmasına neden olabilen ısısal gerilim çatlama görülmektedir. Isıl gerilim çatlakları, ekstrüzyon takımının aktif yüzeylerindeki devirsel germe/basma gerilimleri nedeni ile oluşur. Bunlar takım yüzeyi ile malzeme içinde oluşan sıcaklık farklarından dolayı oluşur. Bu yükler, özellikle her ekstrüzyon basamağı arasında şiddetli dış soğutma ile birleşen yüksek ısı gerilimler altındaki takımlar için çok tehlikelidir. Bu, sonuçta takım yüzeyinde ince çatlak oluşumuna yol açan plastik deformasyona sebebiyet verir. Devirsel ısı yük, düşük ısı iletkenliğe sahip sıcak iş çeliklerinde daha şiddetlidir. Bu tür bir yük altındaki takımların servis ömürleri, devirsel ısı gerilimlerine direnç sağlayan malzeme özellikleri arasında denge, ısı işlem uygulanarak optimize edilebilir. Test sonuçları sıcak çatlamanın, mekanik yük altında oluşan sürekli çatlaklar ile karşılaştırılabilir olduklarını ortaya koymuştur. Netice olarak şu söylenebilir ki, sıcak iş çeliklerinde uzama kırılma dayanımını arttırıcı her önlem, aynı anda yüksek sıcaklık çatlama karşı direncini arttırıcı bir etkiye sahiptir.

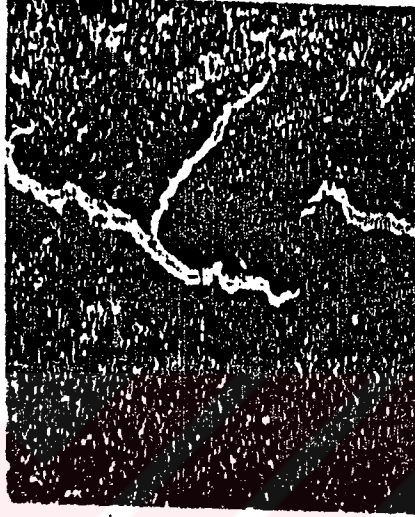


Şekil 2.60 Bakır tüplerin ekstrüzyonunda değişken sıcaklık gerilimleri nedeni ile mandrel aktif yüzeyinde oluşan ısıl çatlaklar. [23]

Aşınma direnci, genellikle sertlik ile artış gösterir. Bu ise yine, sertlik ile dayanım arasındaki ilişkiyi gündeme getirir. Yüksek dayanım düşük sertlik değerleri ile korunur. Fakat, sertliği düşürmek sıcak iş çeliklerinin çatlamaya karşı eğilimlerini artırır ve sıcaklık döngülerine karşı dirençlerini zayıflatır. Bu tip durumlarda, ekstrüzyon takımları aşınmaya yerine çatlamanın etkisi ile zarar görürler. Bu sebeple bu doğru bir uygulama değildir. Sıcak iş çeliği ile ekstrüze edilecek malzemenin uyumu kesin olarak, aktif takım yüzeylerine uygulanan yüzeysel bir ısıl işlem ile, takım yüzeylerinin kimyasal bileşiminin modifiyesi sonucu, iyileştirilebilir. Bu türden uygulamaların en yaygın olanı takım yüzeylerinin nitrojen yardımı ile nitratlama işlemine tabi tutulmasıdır. Bu işlem, çok ince bir yüzeysel tabaka içinde dayanım ve aşınma direncinin artmasına neden olur. Ayrıca yarı bitmiş ürünlerin yüzey kalitelerinde sık sık bozulmaya yol açan takım yüzeyindeki toplanma eğiliminide minimize eder. Yüzeysel ısıl işlemler özellikle alüminyumun ekstrüzyonunda servis ömürlerinin katlanması nedeni ile önemli bir avantaj sunar.

Ekstrüze edilen malzeme ve takım arasında şekil değiştirme işlemi esnasında bazı reaksiyonlar oluşabilir :

1. Uygulanan basınç ve sıcaklık altında ekstrüze edilen malzemenin, işleyen takım yüzeylerine kaynaması.
2. Sıcak iş çeliği tane sınırlarının ekstrüze edilen malzeme tarafından korozyon saldırısına uğraması.



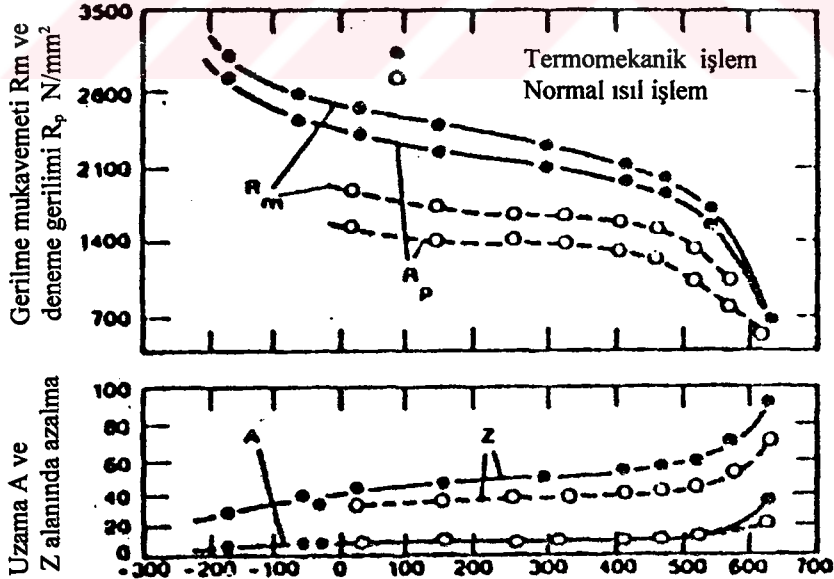
Şekil 2.61 AlSn6Cu1 alaşımının uzun süreli ekstrüzyonundan sonra ekstrüzyon presi iç gömleğinde oluşmuş lehim çatlamaşı. Gömlek 1.2306 çeliğinden imal edilmiştir). [23]

İşleyen takım yüzeylerinin artan aşınması ile ilişkili olarak, deformasyon esnasında, takım ile malzeme arasında basınç ve sıcaklık altında kaynama oluşabilir. Aktif takım yüzeyleri daha hızlı bir şekilde bozulmaya uğrar ve bunun sonucu ürün yüzey kalitesinde gerileme göze çarpar. Özellikle alüminyum alaşımlarının kaynamaya eğilimleri fazladır. Buna rağmen düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen ekstrüzyon işleminde, uygulanacak yüzeysel ısıl işlem, örn. nitratlama, sayesinde kaynama olayına karşı eğilim azaltılmış olur.

Bazı kesin durumlarda, eğer ekstrüze edilen malzemenin ya da düşük ergime fazının demir içinde çözünebilirliği varsa, şekil değiştirme işlemi esnasında likidüs sıcaklığı geçildiği taktirde ve ekstrüzyon takımının aktif yüzeyleri gerilim

kuvvetlerine maruz kalıyor ise, sıcak iş çeliği aktif yüzeylerinde oluşan korozyon saldırısı demir dışı metallerin ekstrüzyonunda görülür. Bu tür durumlarda, çok kısa bir süre içerisinde sıvı ekstrüzyon malzemesi tane sınırlarına saldırır ve takım malzemesinin içine nüfuz eder. Bu olay Şekil 2.61'de açık bir şekilde görülmektedir. Sıvı metal daha fazla gerilim kuvveti iletemeyecek duruma geldiği takdirde bu kuvvetler altında takım tane sınırlarında yırtılmalar görülür. Taneler arası korozyon çatlamasının bu özel türü, yapıştırma gevrekliği olarak da anılır. Bu tür bir korozyona karşı alınabilecek kesin bir önlem yoktur. Bu olay, uygun ekstrüzyon prosesi seçimi ile çalışma sıcaklığının likidüs sıcaklığının altına çekilmesi ile engellenebilir.

Sıcak iş çeliklerinin kalitelerinin, özellikle saflık ve yapısal homojenliklerinin artırılması gibi çeşitli tedbirler ile yukarıya çekilebileceğinin bilinmesi ile beraber son yollarda alaşımlama teknolojisinde dikkati çeken bir gelişme olmamıştır. Yapının homojenliği ESR (electrosag remelting process) yöntemi ile geliştirilebilir. Geleneksel yöntemler ile dökülmüş çelikler ile kıyaslandığında bu işlem malzeme karakteristiklerinin daha üniform olmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.62 1.2343 sıcak iş çeliğinde termomekanik işlemlerin malzeme karakteristiklerine etkisi.[23]

Termomekanik işlemler bazında, sıcak iş çeliklerinin malzeme özelliklerini geliştirici testler uygulanmaktadır. Şekil 2.62’de görüldüğü üzere, bu tür bir işlem sonucu malzeme dayanım özelliklerinde, eşit veya daha iyi sertlik dereceleri ile bağlantılı olarak gözle görülür bir iyileşme ortaya çıkar. Fakat termomekanik işlemlerin yüksek uygulama maliyeti, ekonoimik alandan bir engel oluşturmaktadır.

Ekstrüzyon takımları için kullanılan sıcak iş çeliklerinin önemli özellikleri Tablo 2.15’de görülmektedir (Verein Deutscher Eisenhüttenleute). Pratiklik sağlanması açısından tablo iki grupta algılanabilir, CrMo veya CrMoV çelikleri ile CrVW çelikleri. Hernekadar CrVW çelikleri özellikle yüksek sıcaklık aşınma direnci ile ayrılmış iseler de, termal şoklar ve tekrarlamalı ani sıcaklık değişimlerine karşı hassastırlar. Buna karşın, CrMoV gurubundaki çelikler termal şoklara ve yüksek sıcaklık çatlamlarına karşı, gelişmiş ısı iletme kabiliyetleri sayesinde daha az hassastırlar.

Avrupalı ekstrüzyoncular, özel yükleme koşullarında, 1.2344 ve 1.2365 çeliklerini tercih ederler. Son adı geçen çelik alaşımı, yaklaşık 3% olan yüksek Mo miktarı ile karakterize edilir. Bu, diğer çeliklere nazaran daha yüksek sıcak mukavemet ve sıcak aşınma mukavemeti verir. Bu sebepten dolayı bu sıcak iş çeliği özellikle yüksek ısıl gerilimlerin söz konusu olduğu uygulamalarda kullanılır. Düzensiz sıcaklık değişimlerine karşı olan düşük hassasiyeti ayrıca yardımcı bir unsurdur ve bundan dolayı su ile daha kolay soğutulabilir. 1.2367 sıcak iş çeliği kullanılmaktadır ve temel bileşimi 1.2344 çeliğinin bileşimine benzerdir, fakat 2.4 kat daha fazla Mo içerir. Tavlama karşı direnci, sıcak mukavemeti ve sıcak aşınma mukavemeti 1.2365 çeliğine ait veriler ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Bununla beraber, çoğu durumda 1.2343, 1.2344 ve 1.2365 çelikleri, tatmin edici servis koşulları ortaya koymuşlardır fakat 1.2365 ve 1.2367 çelikleri uzama ve sıcak gevrek çatlama sergileyebilirler.

Tungsten ihtiva eden çelik gurubu daha az öneme sahiptir. Bu proses sonuçlanmamıştır ve çeliğin sıcak çatlama ile beraber sıcak ve uzama gevrek çatlama davranışına hassasiyeti ile bağlıdır. CrMo içeren sıcak iş çelikleri çok benzer servis ömürlerine sahiptirler ve W içeren 1.2567 çeliği CrMo içeren 1.2344

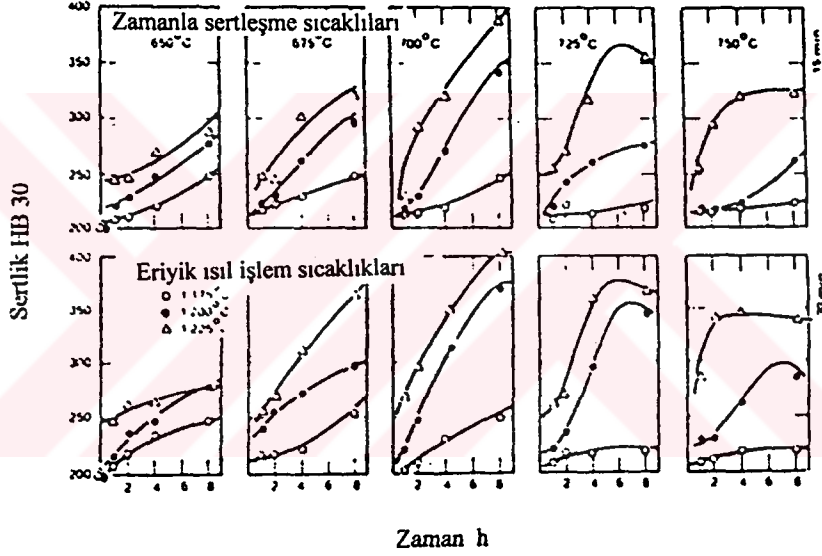
çeliği ile yer değiştirebilir. Her iki çeliğin tavlama karşı direnci benzerdir. Uzun zaman dönemi için 9% W'lı 1.2678 çeliği, tavlama karşı yüksek direnci, sıcak mukavemet ve sıcak aşınma mukavemeti nedeni ile başka bir çelik onun yerini alamaz. Bununla beraber bugün yalnız 4.5% W içeren fakat aynı Co ve Cr miktarına sahip 1.2678 çeliği onun teknolojik özelliklerine yetişip hatta geçmesinden dolayı 1.2678 çeliği, 1.2581 sıcak iş çeliğinin yerini alabilmektedir.

Malz. No.	Ticari isim	Kimyasal bileşim													Isıl iletim (J/m K)	Genişleme katsayısı ($10^{-6}/K$, up (a) 1000 K)	Ergime sıcaklığı (K)
		C	Si	Mn	Co	Cr	Ni	W	V	Ti	Al	Zr	Nb				
Sıcak iş çeliği																	
1.2311	40CrNiMo7	0.40	0.30	1.45	-	1.93	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2312	40CrNiMoS86	0.40	0.40	1.50	-	1.90	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2323	40CrNiMo7	0.45	0.25	0.75	-	1.50	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2343	52CrNiMoV51	0.74	1.05	0.40	-	5.20	1.30	-	-	-	-	-	-	-	-	25.5 ¹⁾	10
1.2344	52CrNiMoV51	0.40	1.05	0.40	-	5.20	1.40	-	-	-	-	-	-	-	-	25.5 ¹⁾	10
1.2365	52CrNiMoV31	0.30	0.30	0.30	-	3.00	2.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
1.2367	52CrNiMoV31	0.37	-	-	-	5.00	3.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2367	52CrNiMoV51	0.30	-	-	-	2.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2581	52CrNiMoV91	0.30	-	-	-	2.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2603	52CrNiMoV58	0.45	0.60	0.40	-	1.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2606	52CrNiMoV51	0.37	1.05	0.45	-	5.00	1.40	-	-	-	-	-	-	-	-	25.12	10
1.2678	52CrNiMoV555	0.45	0.40	0.40	-	4.50	4.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	10
1.2705	52CrNiMoVCo99	0.45	-	-	-	1.20	5.50	1.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2706	52NiCrNi1885	0.03	-	-	-	9.00	-	5.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2713	52NiCrNiV6	0.55	0.30	0.60	-	0.70	0.30	1.70	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2714	56NiCrNiV7	0.54	0.30	0.70	-	1.00	0.50	1.70	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2885	52CrNiMoV333	0.32	-	-	-	3.00	3.00	2.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2886	52CrNiMoV10105	0.14	-	-	-	10.00	0.50	5.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2888	52CrNiMoV109	0.20	-	-	-	9.50	0.50	2.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2889	52CrNiMoV551	0.45	-	-	-	4.50	4.50	3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Östenitik çelik																	
1.2731	25NiCrNiV131	0.50	1.30	0.70	-	13.0	-	13.0	1.20	1.50	-	-	-	-	-	13 ¹⁾	18.5
1.2779	25NiCrTi2615	0.03	0.60	-	-	15.0	1.30	25.0	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4960	25NiCrTi2615	0.04	0.05	1.50	-	15.0	1.50	25.5	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-
Kobalt bazlı alaşımlar																	
2.4979	Abric C 50 CoCr2NiMoNi Plastic Pabo/20	1.20	-	-	61.0	27.0	-	1.50	-	0.50	-	-	-	-	-	-	appr. 13
		0.20	1.00	1.00	56.0	28.0	5.50	2.25	-	-	-	-	-	-	-	-	appr. 13
		1.40	-	-	67.0	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	appr. 17
Nikel bazlı alaşımlar																	
2.4648	NiCr19NbMo	0.05	-	-	0.50	19.0	3.00	rem.	-	-	1.00	0.40	5.10	Nb	-	-	-
2.4969	NiCr20Co18Ti	0.07	-	-	18.0	19.5	rem.	-	-	-	2.40	1.40	-	20 ²⁾	-	15.5	1613
2.4973	NiCr19CoMo	0.10	-	-	11.0	19.0	10.0	rem.	-	-	3.00	1.60	-	21 ²⁾	-	13.8	1593
Molibden bazlı alaşımlar																	
	T28	0.02	-	-	-	rem.	-	-	-	-	0.48	-	0.09	Zr 113 ²⁾	-	4.0	2883
Metal seramikler (Cermets)																	
	Cermetern 2013	-	-	-	-	85.0	-	-	-	-	-	-	15	Zr ₂ 121.4 ²⁾	-	6.6	slatered
Sert metaller																	
	E	rem.WC	-	-	18-22	-	-	0 - 3.5 (Ta,Nb)C	-	-	max. 1.0	TiC	-	-	-	6.3	slatered
	F	rem.WC	-	-	25-30	-	-	0 - 2.5 (Ta,Nb)C	-	-	max. 1.0	TiC	-	-	-	7.0	slatered
Seramik malzemeler																	
	Corning 1027	99.5	ZrO ₂	0.3	SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4 ²⁾	-	7.0	slatered
	Corning 2016	99.5	ZrO ₂	0.3	SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4 ²⁾	-	6.7	slatered
	Corning 2032	99.5	ZrO ₂	0.3	SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4 ²⁾	-	-	slatered

¹⁾ 293 K, ²⁾ 1000 K, ³⁾ 1373 K;

Tablo 2.15 İmalat kalıpları için kullanılan sıcak iş çelikleri. [23]

Uzamaya dirençli çeliklerin işlerken sertleşmesi, çeliğin ısı olarak tekrar kristalleşme sıcaklığının altında yüklenmiş olması ile sağlanabilir. İşlerken sertleşme ile yükseltile bel verme noktası, tekrar kristalleşme sıcaklığının hemen altındaki sıcaklık derecelerinde aşağıya çekilir; tekrar kristalleşme ile tamamen elimine edilir. Bu sebepten dolayı ekstrüzyoncular yüksek tekrar kristalleşme başlangıcına sahip uzamaya dirençli takım çelikleri ile ilgilenirler. Bu koşullar ötektik çelikler tarafından karşılanır. Ek olarak ilave edilen Mo, V ve W gibi alaşım elementleri ile, tekrar kristalleşme başlangıç sıcaklığı daha yukarıya çekilir. Etkili uzama direnci ve uzama özelliklerinin geliştirilmesi kararlı karbitlerin seçimi ile sağlanabilir (Şekil 2.63).

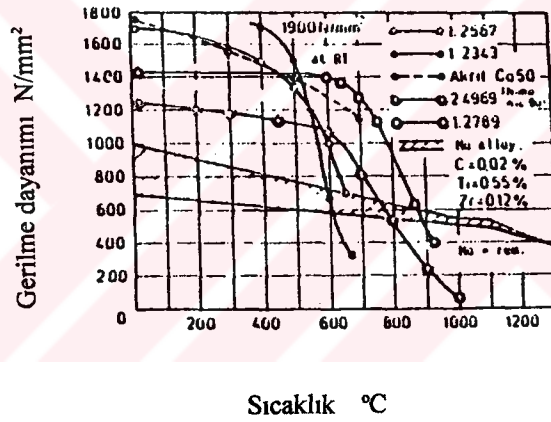


Şekil 2.63 1.2731 çeliğinde dayanım ve sertliğin çözelti işlem sıcaklığına bağlılığı. [23]

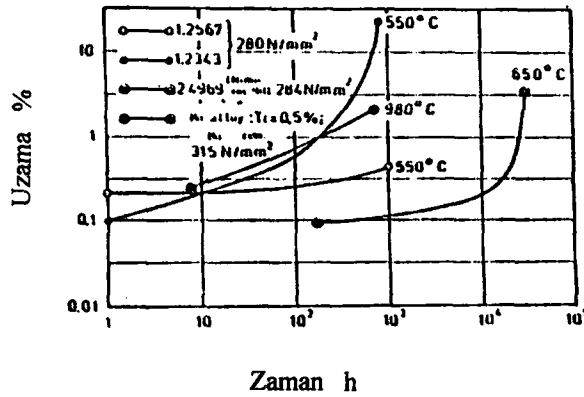
Ek olarak, kübik yüzey merkezli ötektik kafes yapısı, ötektik çeliklere daha düşük sıcaklığa bağlılık ile birleşmiş yüksek uzama direnci sağlar. Bu çeliklere örnek olarak 1.2731, V ile W ihtiva eden çelikler verilebilir. Yüksek zorlama altında kalan takımlar için önemli bir sıcak iş çeliğidir. Tam olarak ötektiktir ve herhangi bir ısıtma işlemi altında östenitten martenzite dönüşüm göstermez. Dövme işlemi ile sertleştirilerek kullanılır, fakat bu işlem esnasında oluşan şiddetli sertleşme nedeni

ile üniform dayanım özelliği sergileyemiyebilirler. Daha uygun dayanım özellikleri çökeltme sertleşmesi ile elde edilebilir. Eğer istenirse çökeltme işlemi ile ulaşılabilen sertlik değeri, tekrar kristalleşme sıcaklığı altındaki deformasyon ile çeliğin termomekanik işleme tabi tutulmasıyla yukarıya çekilebilir.

Ekstrüzyon kalıplarının konstrüksiyonunda yukarıda değinilen takım çeliklerinden ayrı olarak dövme veya döküm bakır bazlı alaşımlar (stelitler), molibden bazlı alaşımlar, tungsten karbitleri, cermet ve seramikler gibi özel alaşım ve malzemeler kullanılmaktadır. Tablo 2.15'de ekstrüzyon takımları için kullanılan genel özel alaşımların bileşimleri verilmiştir. Ayrıca Şekil 2.64 ve 2.65'de uzama özellikleri ve yüksek sıcaklık dayanımına genel bir bakış görülmektedir. Buna rağmen özel alaşımların ekstrüzyon takımlarına uygunluğu yalnız limitli bir düzeydedir.



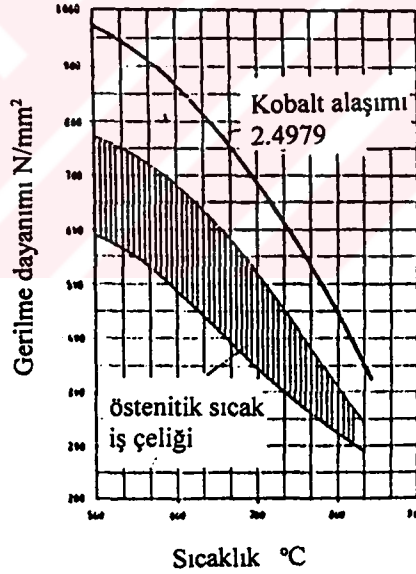
Şekil 2.64 Bazı sıcak iş takım malzemelerinin dayanım değerleri. [23]



Şekil 2.65 Matris imalinde, çeşitli sıcak iş takım malzemeleri için uzama miktarları. [23]

Yalnız belli uygulamalarda fayda gösterirler. Yüksek aşınma direncine rağmen çok sert değildirler ve yüksek kalite sıcak iş çeliğinden imal edilmiş desteklere ihtiyaç duyarlar.

Kobalt bazlı yüksek sıcaklık alaşımlarının içinde dövme sınıfları, 800 ila 1000 derece arasındaki şekil verme sıcaklıkları için imal edilen ekstrüzyon kalıplarının konstrüksiyonunda fayda sağlamışlardır. Şekil 2.66'da ötektik sıcak iş çelikleri arasındaki bir karşılaştırma gözükmektedir. Nikel bazlı yüksek sıcaklık alaşımları gibi, bu malzemeler, kübik yüzey merkezli bir yapıya sahip olmalarından ve yüksek tekrar kristalleşme sıcaklıklarından dolayı, kübik hacim merkezli yapıya sahip malzemelerden daha yüksek yüksek sıcaklık dayanımı gösterirler. Sözü geçen yüksek dayanım karbit ve karbon nitrat çökmesi ile yükseltilebilir. Bu sebeple Cr, Mo, V ve W gibi yüksek - ergime ve karbit oluşumunu sağlayan metaller, değişen miktarlarda kobalt bazlı alaşımlara eklenir.



Şekil 2.66 Kobalt bazlı alaşım Revolta'nın sıcak dayanımı ile yüksek sıcaklığa dirençli ötektik çeliklerin karşılaştırılması.[23]

Kübik yüzey merkezli katı çözeltilerin oluşumuna göre, nikel bazlı yüksek sıcaklık alaşımları ayrıca yükselmiş tekrar kristalleşme başlangıcı ve sonuç olarak iyi yüksek sıcaklık dayanım özellikleri sergilerler. Cr, Co, Mo, Al ve Ti gibi ilaveler intermetalik fazların çökmesini arttırmaları ve yüksek sıcaklık dayanımını daha da

arttırırlar. Nikel bazlı alaşımların uzama dirençlerinin, Ni₃ (Ti,Al) gama fazı çökelmeleri tarafından pozitif olarak etkilendiği görülmüştür.

Kobalt ve nikel bazlı yüksek sıcaklık alaşımları genel olarak 1000 derece sıcaklığa kadar gayet iyi dayanırlarken, bu sıcaklığın üzerindeki uygulamalarda yüksek ergime sıcaklığına sahip sıcak iş çeliklerinin kullanımı icap etmektedir. Nb, Ta ve W'nin yanında, 2620 derecelik bir ergime noktasına sahip olan kübik hacim merkezli Mo, bu sınıfta sayılabilir. Isı verme işlemi esnasında kafes yapı değişimi görülmez. Netice olarak şunu diyebiliriz ki, molibden bazlı alaşımlar 1500 dereceye kadar sıcaklıklarda yeterli direnci gösterirler. Yüksek sıcaklıklara karşı bu direnç, uygun alaşım elementlerinin kullanımı sonucu çökelme sertleşmesi ve tekrar kristalleşme başlangıcının yükseltilmesi ile sağlanabilir. Şekil 2.64'de görüldüğü üzere, molibden bazlı alaşımlar hafif Ti ve Zr ilaveleri ile, kobalt ve nikel bazlı alaşımlara karşı 1000 derece üzerindeki sıcaklıklarda dahi yüksek sıcaklık dayanımı gösterirler. Matris içine yayılmış karbitler tekrar kristalleşme başlangıç sıcaklığını 1300 derecenin üzerine çekme eğilimi gösterirler. Netice olarak, uzun süreli ısı yüklerine maruz kalındığında dahi, yapı ve dayanımda bir değişim olmayacaktır. Bunun ötesinde bu malzemelerin uzama özellikleri daha iyidir. Molibden bazlı alaşımlar işlerken sertleştirilmiş halde kullanılırlar.

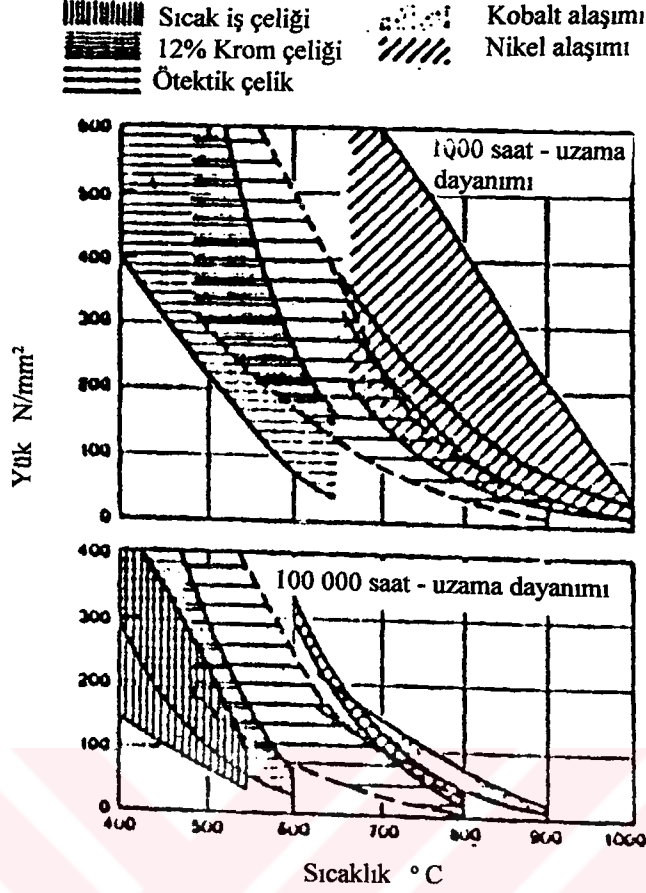
Tablo 2.15'de molibden bazlı malzemelerde cermet sınıfından, "Cermotherm 2015" adına ait bir bileşim görülmektedir. Bu malzeme, özellikle kurşun içeren sınıflarda, pirinçin ekstrüzyona uygulanabilir. Bu tür malzemelerin ekstrüzyonunda Cermotherm, stelitlerden 1.5 ila 3.5 kat arası daha fazla servis ömrüne ulaşır. Buna rağmen Cermoytherm kalıplar metalik malzemenin çentik hassasiyetinden dolayı yalnız düz ileleyen kesitlerin ekstrüzyonu için uygundur. Profil kısımları stelitlerden imal edilmiş kalıplarda daha iyi şekil alırlar. Bu malzeme maksimum yüksek sıcaklık dayanım değerine 600 derecenin yukarısındaki sıcaklıklarda erişir. 1200 derece civarındaki bir yüklemde bile dayanım değeri oda sıcaklığındaki dayanım değerinden daha yüksektir. Bu nedenle, 600 ila 1000 derece arasında şekil verilen malzemelerin ekstrüzyonunda kullanıma uygundur. Cermet malzemeler ekstrüze edilen malzeme ile kaynama eğilimi göstermezlerken, önemli ekstrüzyon

yüzeyleri elde edilebilir. 6 ve 15 % kobalt miktarına sahip sinterlenmiş kobalt karbitler, Ti ilaveleri ile de, kurşun ve kalay bazlı alaşımlardan ve bakırlı metallere oluşan tel ve çubukların ekstrüzyonunda matris astarı olarak kullanılırlar.

“International Cold Forging Group, Paris”, E ve F kalitesindeki sert metallere tercih edilmesini tavsiye etmişlerdir. Bunlar tungsten bazlı, kobalt alaşımlı sert metallere dir.

Metal bazlı özel alaşımlarının ötesinde, saf seramik malzemeler, örn. ZrO_2 , yüksek şekil değiştirme sıcaklıklarında faydalı kullanım özellikleri sergilemişlerdir. Ekstrüze edilen malzemeler iyi yüzey kalitesi sergilerler. ZrO_2 , gevrek bir malzeme olarak, sıkı geçme matris astarı olarak kullanılırlar. Bakır alaşımlarının, özellikle pirinç, karbon ve ötektik çeliklerinin ekstrüzyonu için uygundur. Kimyasal bileşimleri Tablo 2.15’den alınabilir. “Corning 1027, 2016 ve 2032” ticari isimlerine sahip kaliteler, yalnız tane boyutlarının inceliklerinden dolayı farklıdır. Corning 2032 matris astarları özellikle ince tane yapısına sahiptirler. Tane yapısı ince olarak bir taraftan sinterlenmiş malzemeye yüksek yoğunluk kazandırmakta, diğer taraftan ekstrüzyon işleminde iyi yüzey kalitesini garanti etmektedir. Kaba tane, ekstrüzyon sırasında ayrılabilir ve yüzey kalitesini etkileyebilir.

Literatürde de yazıldığı üzere, Al_2O_3 ekstrüzyon matris astarları bakır, bakır alaşımları ve alüminyum alaşımlarından imal edilen tel ekstrüzyonunda başarı ile kullanılmaktadır. Tungsten alaşımlı sıcak iş çeliklerinden imal edilmiş ekstrüzyon kalıpları ile karşılaştırıldıklarında daha uzun servis ömrü ve yüzey kalitesi eldesine sahiptirler. Örnek olarak, sıcak iş çelikleri kullanılarak ekstrüze edilen alüminyum iletken telin yüzey kalitesi birkaç bin metre sonra gerileyip, tel boyutlarına göre 30 ila 110 km arasında bir takım ömrü ölçülürken, Al_2O_3 matris astarları ile yüksek bir yüzey kalitesi elde edilebilir.



Şekil 2.67 Çeşitli sıcak iş takımlarında, 10^3 ile 10^5 saat uzama dayanımlarının genel bir karşılaştırılması. [23]

Ekstrüzyon eksperleri, ekstrüzyon kalıplarının imali amacı ile daha etkili malzemelerin arayışı içindedirler. Gaz ve buhar türbin parçalarında kullanılan yüksek sıcaklık ve ekstra yüksek sıcaklık çelikleri, ekstrüzyon matris imalinde matris malzemesi olarak düşünülmeye başlanmıştır. Ayrıca ekstrüzyon matris malzemelerinin, uygun uzama/yorulma özelliklerine sahip olmaları gerektiği daha iyi bir şekilde anlaşılmıştır. Bu gün, eldeki malzeme bilgisine göre, Şekil 2.67, yüksek sıcaklık çeliklerinin ve özel malzemelerin, zamanın fonksiyonu olarak uzama özellikleri genel bir şekilde göstermektedir.

Ekstrüze edilen malzeme tarafından yüksek sıcaklıklara maruz kalan ekstrüzyon matrislerinin imali için sıcak iş çeliklerinin seçiminde yalnız yüksek sıcaklığa direnç göz önüne alınmamalı, uzama dayanımı da dikkate alınmalıdır. Bu iki özellik arasında bir denge kurulmalıdır. Şu bilinmelidir ki, bugün hali hazırda 1000 derece üzerindeki sıcaklıklara direnç gösterip aynı anda uzun bir servis ömrü veren sıcak iş çeliği bulunmamaktadır.

2.3.2.4 En sık kullanılan matris malzemelerin genel olarak özetlenmesi

Pres matrislerine en yüksek derecede etki eden etkenler basınç, sıcaklık, sürtünme ve dolayısı ile aşınma ile beraber kendini gösteren zorlamalardır. Doğal olarak yapılması gereken, ekonomik olarak en uzun ömrü sağlayacak malzemenin matris imalatında kullanılmasıdır. Göreceli olarak düşük sıcaklıkların kullanılmasından dolayı hafif metaller grubu altında toplanan malzemelerin ekstrüzyonunda bu çok büyük bir problem oluşmamaktadır ve 1.2343, 1.2344 veya 1.2367 gibi 5% miktarında Cr ihtiva eden çeliklerin kullanımı sık olarak görülmektedir.

Mukavemet değerleri genel olarak 1500-1700 N/mm² civarındadır. Kısa zamanlı bir nitratlama işlemi matrisin kullanım süresinin artmasına yardımcı olacaktır. Yüksek zorlama durumunda ise, ESU-malzemesinden yapılacak ilave ve üç boyutlu bir yardımcı disk gerekli olabilir. Ağır metallerin ekstrüzyonunda karşılaşılan yüksek ısı zorlamaları yüksek alaşımli çeliklerin kullanımını gündeme getirirler. Bu nedenle yüksek sıcaklığın etkilediği pres kanalı duvarları kütük sıcaklığına eş hatta daha yüksek sıcaklığa sahip olurlar.

Martenzitik çeliklerden 1.2678 ve 1.2889 çelikleri elde edilmiştir ve bunlar 1.2581 çeliğinin yerini almışlardır.

Açık olarak şu görülür ki, yüksek sıcak gevreklik ve yüksek sıcak mukavemete sahip östenitik matris çelikleri de sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Buna en iyi örnek 1.2731 çeliğidir. Bu tam östenik malzeme, tabii sertlik durumunda matris malzemesi olarak yeterli bir sertliğe sahip değildir. 600 derecedeki sıcak-soğuk sertleştirme işleminden sonra mukavemet değeri 1100-1200 N/mm² değerine kadar artış gösterir. Dezavantaj olarak sayılabilecek bir taraf ise, bu çelikde, düşük sayıdaki pres işleminden sonra pres kanalında az miktarda bir büzülme görülmesidir. Bu tür çeliklerde istenen mukavemetin sağlanmasında ısı işlemlerden daha çok döverek sertleştirme işleminde amaca daha yaklaşılmıştır.

Bir diğer östenit malzeme ise 1.2758'dir. Isıl işlem sonrasında yüksek ve daha önemlisi eşit miktarda bir mukavemet değerine sahip olur. Büyük ebatlı matrisler

için geçerlidir. 1.2731 karşısında iyileşmiş sıcak aşınma mukavemeti ile iyi bir avantaja sahiptir. Fakat yüksek alaşım miktarı nedeni ile pahalı bir fiyata sahiptir.

Uzun pres zamanı, yüksek sıcaklık ve hızlı pres yüklemesi söz konusu olduğu durumlarda gittikçe daha fazla olarak Co- veya Ni- asıllı alaşımlar kullanılmaktadır. Bu alaşım elemanları, en yüksek sıcak çekme sınırlarını ve sıcak mukavemetini belirleyici özelliğe sahiptirler. Kobalt esaslı alaşımlar, 2.4979 (dövülmüş) ve P 42 H (dökülmüş) hem bakır hem de tüm bakır alaşımları için elverişlidir. Aynı anda Ni-esaslı alaşımlar 2.4668 ve 2.4973 yalnız bakır için kullanıldığında mantıklı olur. İç oyuk malzemelerde (köprülü ve örümcek) söz konusu yüksek sıcak mukavemet gereğinden dolayı 2.4973 kullanılması pratik sonuçlar verir. 2.9877 (SL 22 PM) gibi, toz metalurjisi katkıları ile üretilmiş temel alaşımlar, ek olarak dövülerek sertleştirilmiş olabilir, yeni perspektifler vermekte ve pozitif neticelere erişilmektedir. Ayrıca serimik matris malzemelerindeki devmalı iyileşme, bu malzememeye iyi bir gelecek hazırlamaktadır. Ek 2 ve Ek 3’de toplu olarak ağır ve hafif metallerin ekstrüzyonunda kullanılan çelik alaşımları görülmektedir.

Tablo 2.16 Ekstrüzyon takımları için sıcak iş çelikleri. [23]

Takım	Fe-, Ni-, Ti bazlı alaşımlar	Bakır alaşımları	Aluminyum alaşımları	Zn-, Pb- ve Si bazlı alaşımlar	Mukavemet (N/mm ²)
Ekstrüzyon takımları	2343/2344 2705/2731	2365/2567 2581/2705 2706/2731	2343/2344 2367/2885	2343/2344	1400-1600
Takım astarı	TZM, ZrO ₂	2885/2888 2889 Cermoterm ZrO ₂	Al ₂ O ₃	E ve F tipi sert metaller	
Köprülü matrisler Porthole matrisler Örümcek matrisler		2.4668 2.4979	2343/2344 2367 2343/2344 2343/2344 2367	2343/2344 2343/2344	1400-1600
Mandrel	2343/2344	2343/2344 2365/2567 2581/2885 2889	2343/2344 2367/2567 2885	2344	1500-1700
Mandrel uçları (Değiştirilebilir)		2.4668 2.4979	2344/2567 2885		1500-1700

3. MATRİSLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Takım çeliklerinin özellikleri, uygulanan ısıtma işleminden belirgin bir şekilde etkilenirler. Çeliklerin işlem dahilinde davranışları, zaman-sıcaklık-değişim (ZSD) diyagramlarından takip edilebilmektedir. Bu bölümde, takım çeliklerinden ve özellikle matris imalinde kullanılan sıcak iş çeliklerinden üretilmiş takımlara uygulanan ısıtma işlemlerinden kısaca bahsedilecektir.

3.1 Isıtma İşlemi Teşkil Eden Basamaklar

3.1.1 Sertleştirme

Sertleştirme prosesi östenitleştirme ve amaca uygun bir hızla uygulanan soğutma işleminden meydana gelir.

3.1.1.1 Östenitleştirme

Bu işlem ısıtma ve belli süre östenitleştirme sıcaklığında bekleme ile sonuçlanır. Genel olarak sertleştirme sıcaklığı ile östenitleştirme sıcaklığı aynı manalara gelirler. Isıtma işlemi basamaklara bölünerek gerçekleştirilebilir. Alaşımli çeliklerde bu önlem gereklidir.

3.1.1.2 Soğutma

Östenitleştirme işleminden sonra istenen sertlik değeri göz önüne alınarak yeterli soğutma hızı ile soğutma işlemi gerçekleştirilir.

Soğutma işlemi yine ısıtma işleminde olduğu gibi kademeler halinde gerçekleştirilebilir ve yine alaşımli çeliklerde kademeli soğutma, gerekli bir önlem olarak sayılmalıdır. Soğutma işleminin uygulanmasında, ele alınan çeliğin bileşimi, östenitleştirme şartları, takımın şekil ve büyüklüğü gibi olgularda göze önüne alınmalıdır.

3.1.2 Tavlama

Sertleştirme işleminden sonra, malzeme bir veya birkaç defa tavlama işlemine tabi tutulmalıdır. Tavlama sıcaklığı ve süresi istenen sertlik değerine bağlı olarak belirlenir.

3.2 Sertleştirme ve Tavlama İşlemlerinin Uygulanması

3.2.1 Ön hazırlık

Ön hazırlık işlemleri takım malzemesinde istenmeyen etkiler yaratan gerilimlerin ortadan kaldırılması ve ısıtma işlem prosesinin akışının sorunsuz gerçekleşmesi amacı ile uygulanır.

Gerilim giderme tavlama ile artık gerilimlerden dolayı meydana gelebilecek sorunların önüne geçilmiş olur. Uygulama sıcaklığı A_c1 sıcaklığının altında olmalıdır fakat mümkün olduğunca bu sıcaklığa yakın olması gereklidir. Isıtma işleminden sonra bekletme gibi bir işleme daha gerek yoktur, fakat ısıtma ve soğutma işlemlerinde ek olarak yeni gerilimlerin meydana gelmemesine dikkat edilmesi zorunludur.

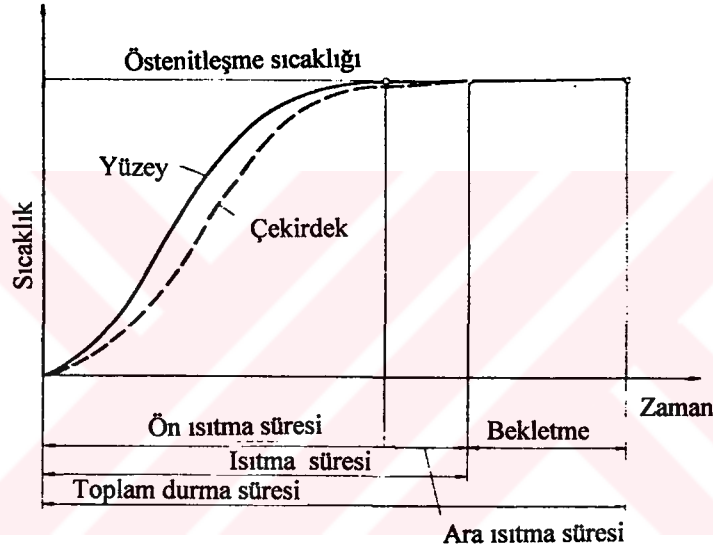
Bazı özel gerilimlerin giderilmesi amacı ile gerilim giderme tavlama yerine östenitleşme sıcaklığına kadar çıkılması gereklidir. Bu taktirde malzeme yapısı da homojen bir hal almış olur. Soğutma işleminde ise daha sonra gerçekleşecek soğutma işlemlerinde meydana gelebilecek ölçü ve şekil değişimleri en aza çekilerek bu değişimlerin oluşumları hakkındada önceden bilgi edinilmiş olur.

Üst yüzey saflığı ve istenen kalite düzeyine bağlı olarak takımın sertleştirme öncesi yıkama, kurutma, madeni cilalama ve parlatma gibi işlemlere tabi tutulması gerekebilir.

3.2.2 Sertleştirme

3.2.2.1 Östenitleştirme

Şekil 3.1’de önemli kesit farklılıkları bulunmayan basit şekilli bir takımda, östenitleştirme veya sertleştirme sıcaklığına ısıtma işleminin, kenar ve çekirdek kısımlardaki zaman-sıcaklık akışı görülmektedir. Farklı kesit ölçülerine sahip takımlarda her kesit, kenar ve çekirdek kısımlar için ayrı bir ısınma eğrisi sergileyecektir.



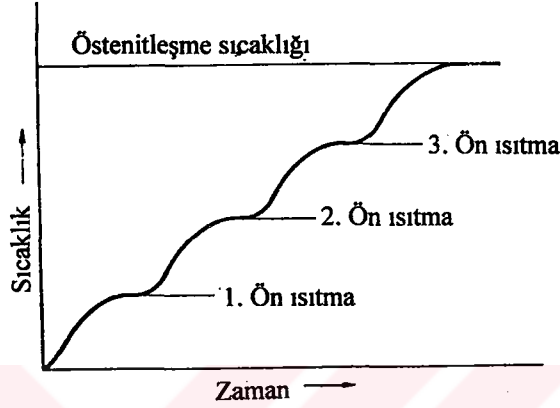
Şekil 3.1 Östenitleştirme işleminde zaman-sıcaklık-sonuç eğrileri. [15]

Malzemeye bağlı olarak uygulanan sertleştirme sıcaklıkları DIN 17 350’de veya ilgili çelik üreticisi tarafından belirlenmiştir.

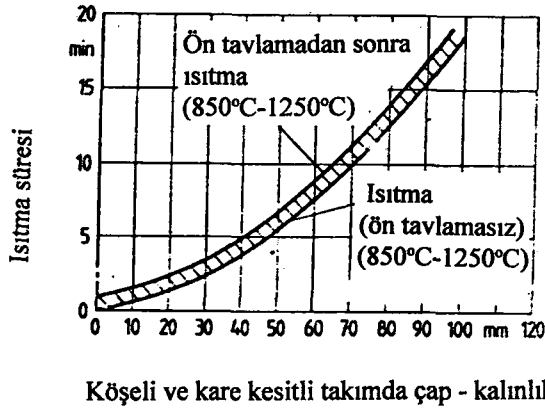
Isıtma ve bekleme süreleri, takımın fırın içindeki toplam bekleme sürelerini vermektedir.

Isınma esnasında çekirdek ile kenar kısımlar arasında sıcaklık farklılıkları oluşabilir. Sıcaklık farklılıkları, kesit ve soğuma hızındaki artış ile artar, malzeme

ısı iletim katsayısındaki azalma ile orantılı olarak da azalma gösterir. Bu farklılıklar gerilimlerin oluşmasına neden olabilirler. Gerilimler ise çekme gibi tehlikeleri beraberlerinde getirebilirler. Bu sebeple, büyük kesit farklılıklarına sahip veya büyük ölçekteki takımlar yavaş veya kademeli olarak ısıtılmalıdır.

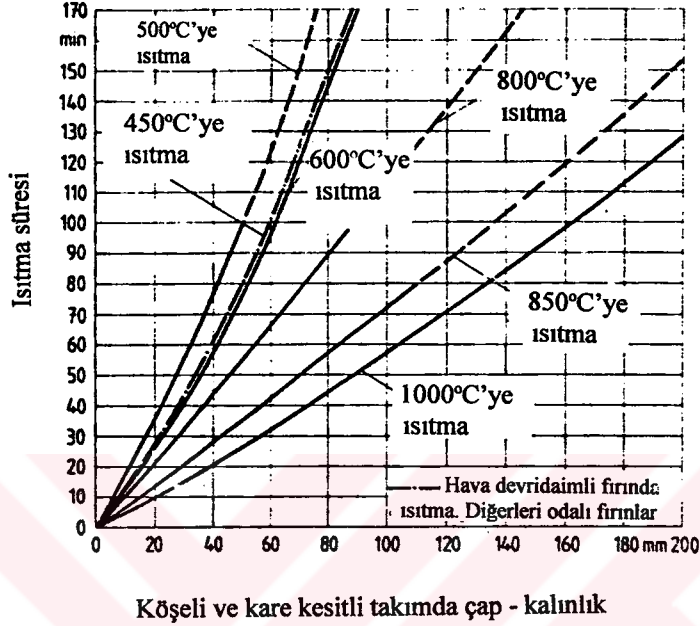


Şekil 3.2 Östenitleştirme işleminde üç kademeden oluşan ön ısıtma. [15]



Şekil 3.3 Farklı zaman-sıcaklık-sonuç diyagramlarında ısıtma süreleri. [15]

Şekil 3.3'de farklı zaman-sıcaklık-sonuç diyagramlarında ısıtma süreleri verilmiştir. Burada, dairesel ve dikdörtten kesitli farklı formlardaki kesitlerde tuz banyosunda bekleme zamanları söz konusudur. Hava devridaimli fırınlarda bekleme süreleri Şekil 3.4' de verilmiştir.



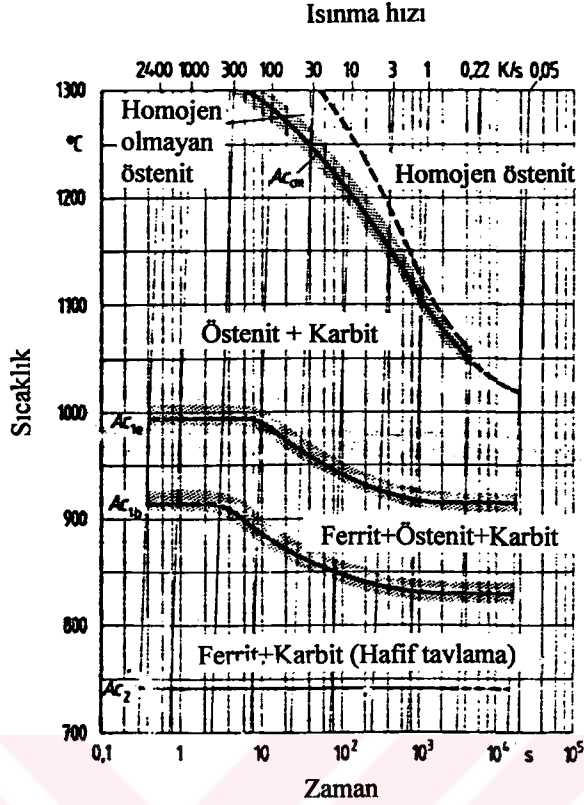
Şekil 3.4 Hava devridaimli ve odalı fırınlarda ısınma süreleri. [15]

Östenitleşme sıcaklığına kadar ısınma esnasındaki yapı değişiklikleri X38CrMoV51 sıcak iş çeliği örneğinde de görüldüğü gibi Şekil 3.5'de verilmiştir. Değişimler zaman-sıcaklık-östenitleşme diyagramlarındadır. takip edilebilmektedir.

Şekil 3.5'de görüldüğü üzere artan ısıtma hızı ile karbit çözülmesi gibi östenit yapılanması yüksek sıcaklıklara çekilir. İstenen yapıya ulaşmak için gerekli sıcaklık ve zaman bilgileri bu diyagram yardımı ile yaklaşık olarak belirlenebilir.

Artan alaşım miktarı ile östenit yapılanması ve karbit çözülmesi daha geç zamanlara ve daha yüksek sıcaklıklara itilir.

Takımın östenitleştirilmesi tuz ergiyiği, korumalı ve inert gaz ortamı veya vakum ortamında neticelenmelidir.



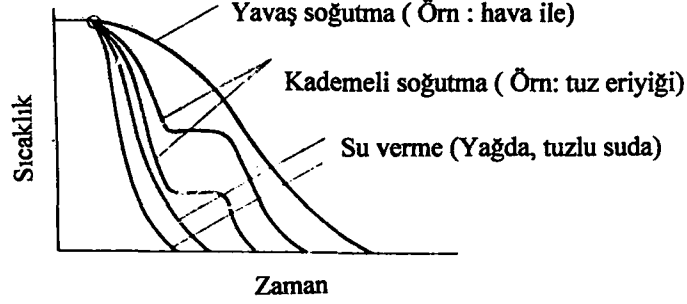
Şekil 3.5 X 38CrMoV51 sıcak iş çeliği için zaman-sıcaklık-östenitleşme diyagramı. [15]

3.2.2.2 Soğutma

Soğutma işleminde de ısıtmada olduğu gibi çekirdek ile kenar tabakalar arasında sıcaklık farklılıkları oluşur. Bu nedenle soğuma sonrası çatlaklara neden olabilecek gerilmelerin oluşmamasına dikkat edilmesi lazımdır.

Çeşitli soğutma ortamlarında elde edilen soğuma eğrileri Şekil 3.6'da görülmektedir.

Kademeli soğutmada amaç, perlit ve martenzit safhaları arasında, belli bir sıcaklıkta, sıcaklık dengelenmesi amacı ile bir müddet ara verildikten sonra soğutma işlemine belirlenen ortamda devam edilmesidir. Çatlama riskinin en aza indirilmesi amacı ile takım, tavlama öncesi oda sıcaklığına kadar soğutulmamalıdır (Hız çelikleri istisna olarak alınabilir).



Şekil 3.6 Soğuma eğrileri. [15]

Şekil 3.7'de daire veya dikdörtgen şekilli kesitlerde sıcak banyodaki su verme işleminde soğuma süresi için bekleme değerleri verilmiştir.

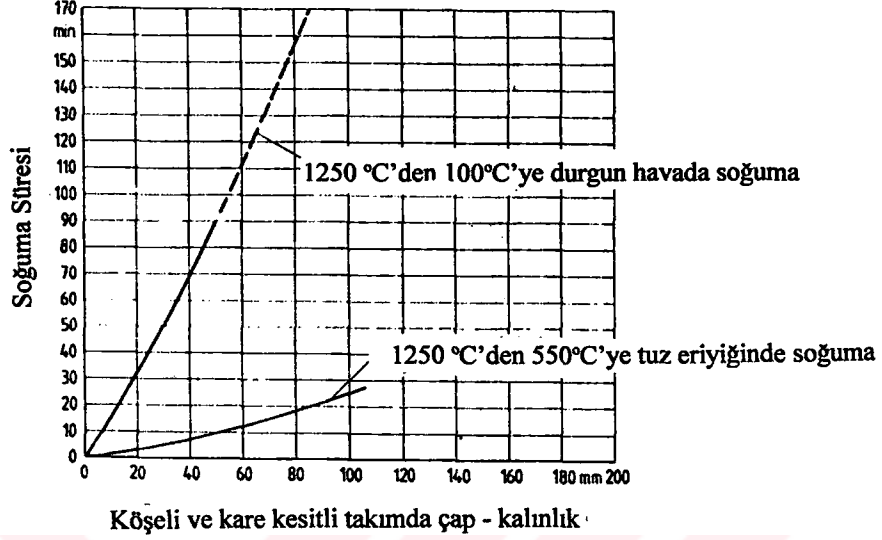
Östenitleşme sıcaklığından itibaren soğuma esnasındaki bünye değişimlerine misal olarak X 38CrMoV 51 çeliğinin zaman-sıcaklık-değişim diyagramı örnek olarak verilmiştir.

ZSD diyagramları her çelik türü alaşımı için yapı değişimlerinin meydana geldiği sahaları gösterirler. Bu sahaların yerleri ve değişim süreci çeliğin yapısı ve östenitleştirme şartlarından birinci derecede etkilenirler. ZSD diyagramları ile soğuma eğrilerinin yardımıyla, oda sıcaklığında beklenen yapı bileşimi ve sertlik değeri hakkında bilgi edinilir.

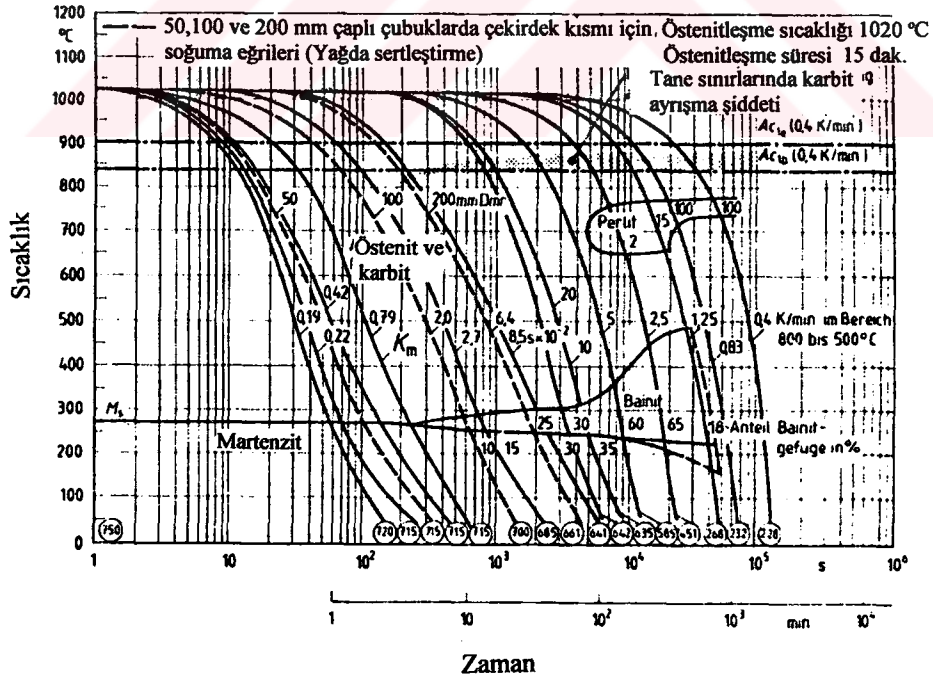
Sertleştirme işlemi esnasında martenzit kademesinde bir değişim meydana gelir. Bu karakteristik kritik soğuma hızına (K_m) ulaşan her çelik için mümkündür.

Östenitten değişim M_f sıcaklığına ulaşıldığında sona erer ki, bu sıcaklık çoğu takım çeliği için oda sıcaklığının altındadır. M_f , östenitte çözünen karbon ve alaşım elementlerinin artışı ile orantılı olarak azalır.

Yeniden östenitleşme bölgesi, östenitte çözünen karbon ve alaşım elementleri ile yükselir. Soğuma hızı ile de değişim içindedir.



Şekil 3.7 Sakin hava ile soğutmada çekirdekte soğuma süresi için durma zamanları (550 derece, sıcak banyoda). [15]



Şekil 3.8 X 38CrMoV 51 sıcak iş çeliği için ZSD diyagramı. [15]

3.2.2.3 Tavlama

Sertleştirme sonrası uygulanan tavlama işleminin amacı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Sertlikteki değişim
- Tokluktaki değişim
- Artık gerilmelerin azaltılması
- Çatlama olasılığının azaltılması
- Tekrar östenitleşme miktarının azaltılması

Tavlama sıcaklığı istenen özelliklere göre saptanır ve DIN 17350 normunda bulunan tablolardan ilgili sıcaklık değerleri alınabilir.

Genel olarak 180-250 derece ile 550-650 dereceler arasında tavlama işlemi gerçekleştirilir. Tokluk bakımından özel bir istek bulunduğu takdirde, oluşan tavlama gevrekliği bakımından 250-550 derece arasında tavlama uygulanabilir. Verilen tavlama sıcaklıkları, gevreklik davranışının zamana bağlı difüzyon olayına bağlı olmasından dolayı, tavlama süreleri ile değişime uğrayabilir.

Tavlama sonrası yüksek sıcaklıklarda kritik soğuma hızı bölgesinde yavaş soğumadan dolayı 500 derece gevrek davranışı görülebilir. 550 derecenin üzerine çıkılarak yeniden gerçekleştirilen oda sıcaklığına kadar, hızlı bir soğutma önlem olarak görülebilir.

Martenzit karbit çözünmesi gerçekleşir ve sertlikte bir azalma oluşur.

Çelik bileşimine bağlı olarak tavlama karakteristikleri kuvvetli olarak etkilenirler. Şekil 3.9'da iş çelikleri için geçerli karakteristik tavlama eğrileri verilmiştir.

Tavlama sıcaklığı ile tavlama süresi beraber bir ilişki içindedirler. 450 derecenin üstünde aşağıdaki denklem geçerlidir :

$$P = T \times (a + Lg t) \quad (3.1)$$

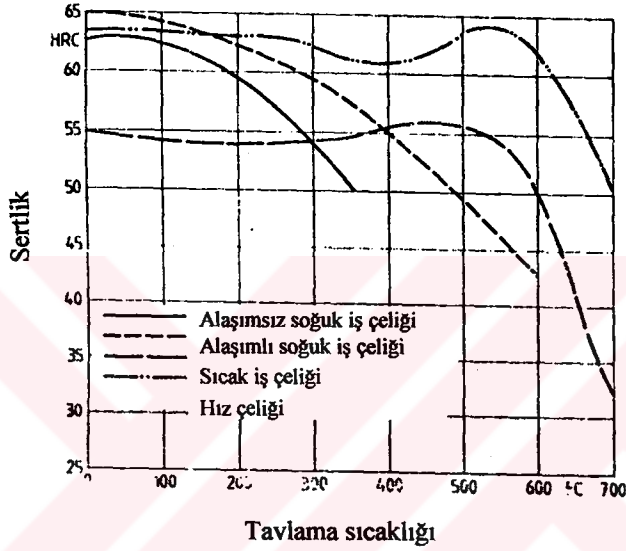
P : Tavlama parametresi

T : Sıcaklık (K)

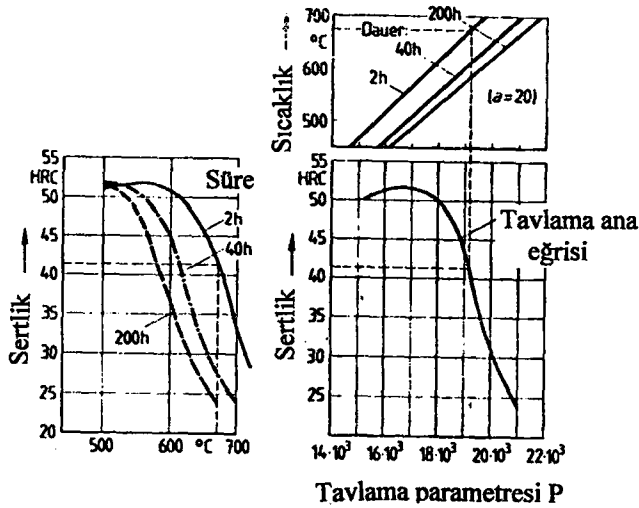
t : Süre (h)

a : Sıcak iş çelikleri için sabit $a=20$

Tavlama eğrilerinin sıcaklık ve tavlama sürelerine göre sertlik ile bağımlılığı, sertlik değerlerinin yaklaşık olarak elde edilmesini sağlar. 40 ila 200 saat için elde edilmiş eğriler ile 450 derece üzeri sıcaklıklar ve uzun servis süreleri için hangi sertlik değerinin seçileceği bulunabilir.



Şekil 3.9 Takım çelikleri için karakteristik tavlama eğrileri [15]



Şekil 3.10 X 30 CrMoV 53 (1.2567) sıcak iş çeliğinde sıcaklık ve etki süresinin sertliğe etkisi. [15]

3.3 Sıcak iş çeliklerinde uygulanan ısı işlemler

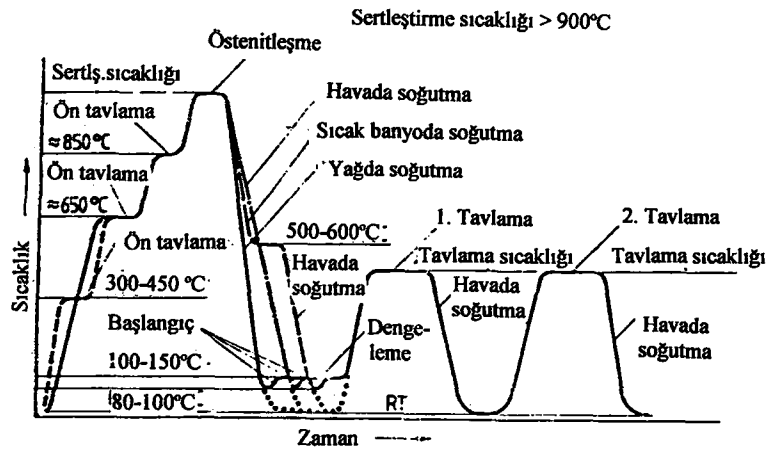
3.3.1 Yumuşak tavlama

Yumuşak tavlama, talaş kaldırma veya soğuk şekil verme gibi birçok durumda amaca uygun olarak sertleştirme için en uygun çıkış bünyesinin elde edilmesini sağlar. Çeliğin yumuşak tavlama sıcaklığına yavaş bir ısınma prosesi ile ulaşmasından sonra bu sıcaklıkta bir saat veya daha fazla tutulması ile yine yavaş bir soğutma işlemine (10-20 K/h) tabi tutulmasından meydana gelir.

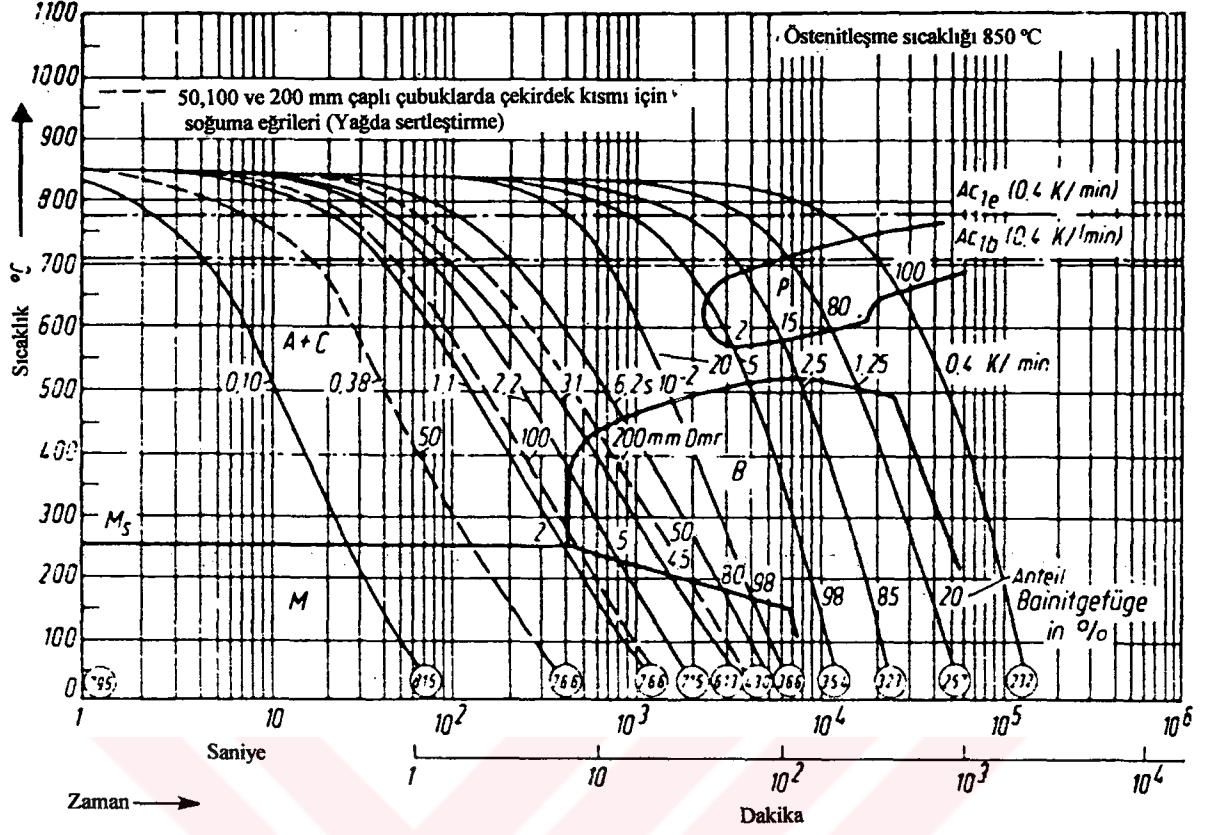
Tavlama sıcaklığı, alaşımsız soğuk iş çeliklerinde yaklaşık 700 derece olarak alınmaktadır. Diğer alaşımlı takım çeliklerinde tavlama sıcaklığı ZSD diyagramlarında verilmiş A_{c1b} sıcaklığı olarak seçilmelidir.

3.3.2 Gerilim giderme tavlaması

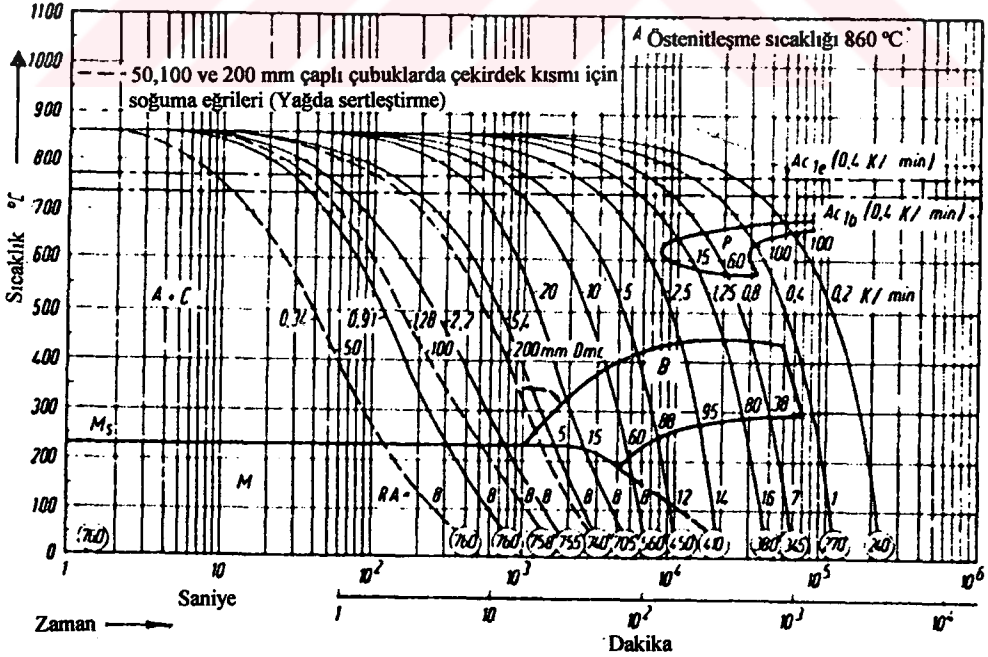
Şekil verme işleminden sonra malzeme içinde artık gerilmeler kalır. Bu gerilimler takip eden sertleştirme tavlamasında istenmeyen ve düzensiz yapıların oluşmasına neden olacaktır. Bu sebeple, düzensiz ve zor şekil alan takımlarda son mekanik şekil verme işleminden sonra 1 ila 2 saat arası 600-650 derece arasında, artan gerilmelerin yok olması için tavlama işlemine tabi tutulması tavsiye edilir. Soğutma işlemi mümkün olduğu kadar fırın içinde yapılmalıdır.



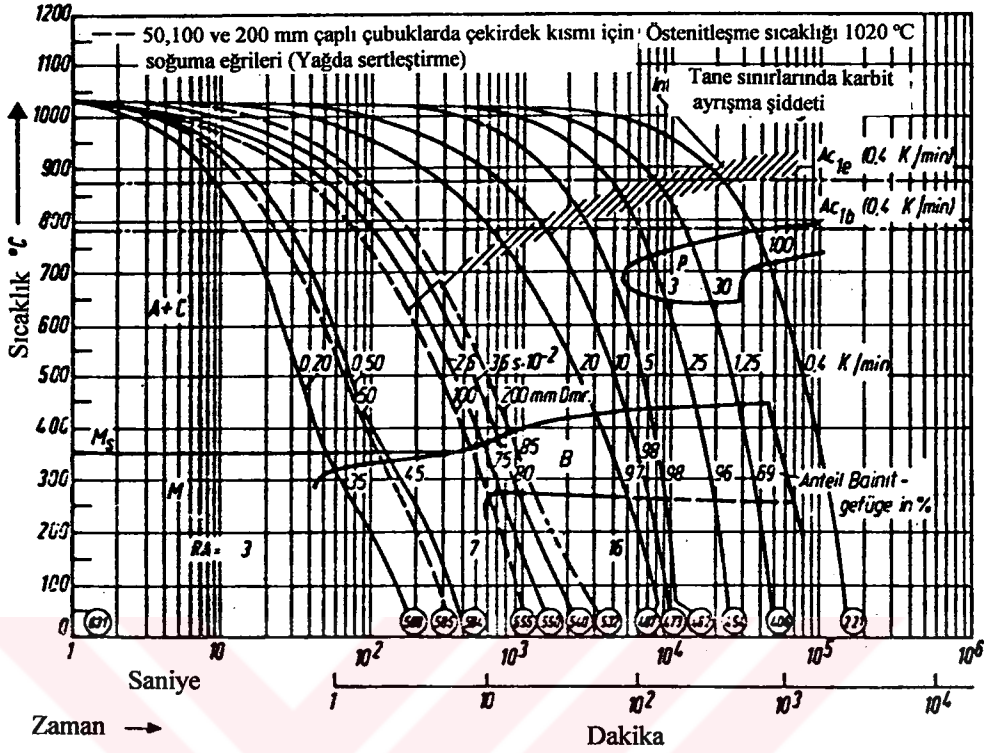
Şekil 3.11 Soğuk ve sıcak iş çelikleri için zaman-sıcaklık-sonuç diyagramı. [15]



Şekil 3.12 55 NiCrMoV 6 (1.2713) sıcak iş çeliğine ait zaman-sıcaklık-değişim diyagramı. [15]



Şekil 3.13 56 NiCrMoV 7 (1.2714) sıcak iş çeliğine ait zaman-sıcaklık-değişim diyagramı. [15]



Şekil 3.16 X 32CrMoV 33 (1.2365) sıcak iş çeliğine ait zaman-sıcaklık-değişim diyagramı. [15]

Şekillerde bulunan kısaltmaların açıklamaları :

A+C Östenit ve karbit bölgesi

P Perlit bölgesi

M_s Martenzit değişiminin başlangıcı

M Martenzit oluşum bölgesi

RA Tekrar östenitleşme miktarı %

0,10 6,2 Soğuma parametresi (800 dereceden 500 dereceye soğuma zamanı saniye olarak 10^{-2} 'dir.)

20 ... 0,4 K/min Soğuma hızı (800 dereceden 500 derece arası bölgelerde)

2; 15; 80; ... Yapı kısmını %

o Sertlik değeri HV

3.3.3 Sertleştirme

3.3.3.1 Sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtma

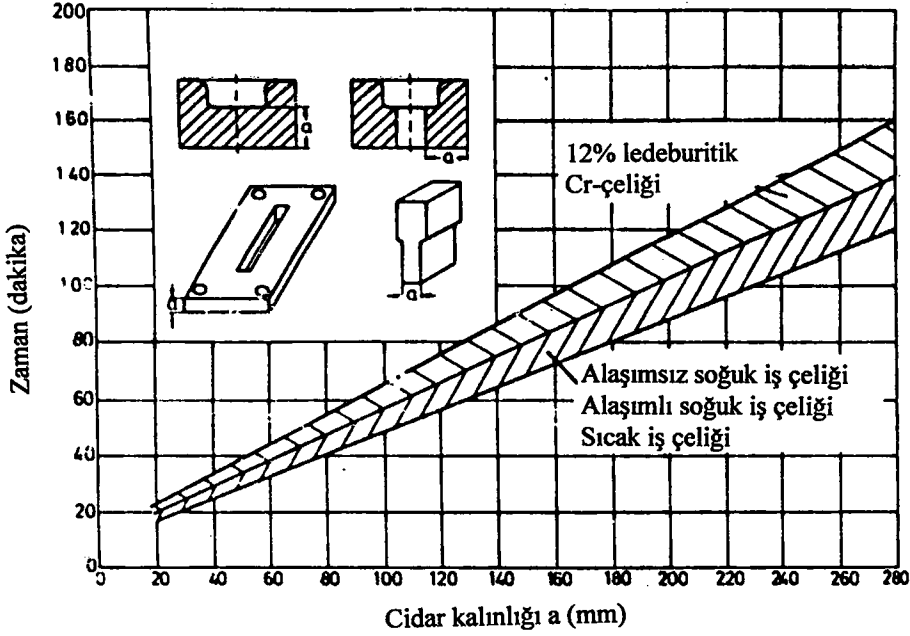
Sıcak gerilmeleri ve çekme ihtimalini en aza indirmek için malzemenin yavaş yavaş sertleştirme sıcaklığına ısıtılması lazımdır. Çabuk ısıtma düzenlerinde tavlama işleminin sıcaklık kademelerine bölünmesi kesinlikle tavsiye edilmektedir. İlk ön tavlama kademesinde genellikle hava devridaimli fırınlarda yaklaşık 400 dereceye kadar ısıtılır. Diğer tavlama kademeleri zaman-sıcaklık-sonuç tablolarında görülmektedir. Ön tavlamalardaki duraklama sürelerinin takip eden östenitleştirme prosesine önemli hiç bir etkisi yoktur.

3.3.3.2 Östenitleştirme

Son ön tavlama kademesinde malzeme Ek 4'de ön görülen değerler göz önünde tutularak belli sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılırlar. Bu sıcaklığa tüm takım dahilinde erişildiğinde (hız çelikleri istisna olarak alınır) kesitten bağımsız olarak 10 ila 20 dakika bu sıcaklıkta bekletilir. Sertleştirme sıcaklığına varıncaya kadarki ara tavlama süresi takım cidar kalınlığına bağlıdır. Şekil 2.84'de, takım üst yüzeyinde sertleştirme sıcaklığına erişildikten sonra seçilmiş zamanlar için duraklama zamanları verilmiştir. Şekil 2.84'deki değerler deneysel verilerden elde edilmiş değerlerdir. Hız çeliklerinde sertleştirme sıcaklığı ergime noktasının çok yakınlarında olduğundan dolayı östenitleştirme süresi çok kısadır (yaklaşık 80 saniye).

3.3.3.3 Soğutma

Östenitleştirme işleminden sonra ilgili tablolarda belirtilen sertleştirme elemanları kullanılarak takımlar soğutma işlemine tabi tutulurlar. Erişilebilir sertlik derecesi sertleştirme sıcaklığı ve soğutma hızına bağlıdır. Bunlar soğutma elemanı ve takım büyüklüğünden etkilenirler. Alaşımli takım çelikleri için belli sertlik derecesine ulaşmak için gerekli soğutma hızı zaman-sıcaklık-değişim tablolarından alınabilmektedir.

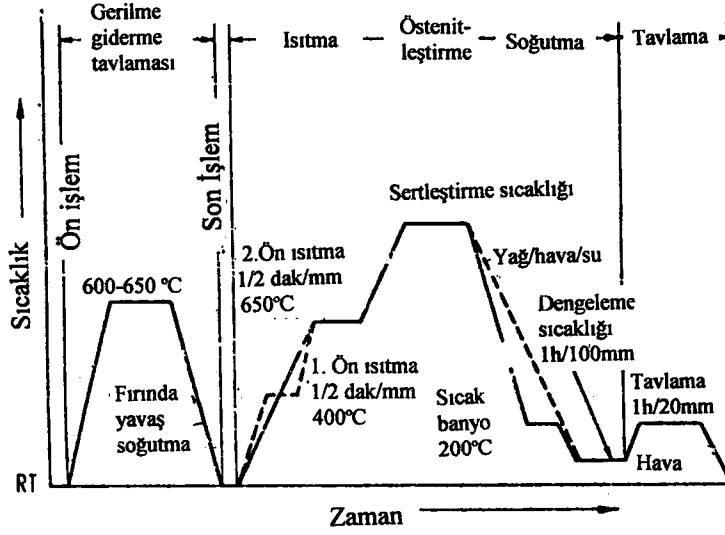


Şekil 3.17 Takım yüzeyinde sertleşme sıcaklığına erişildikten sonraki bekleme zamanları için temel değerler veya a cidar kalınlığına bağlı olarak tuz banyosunda bekletme zamanları . [15]

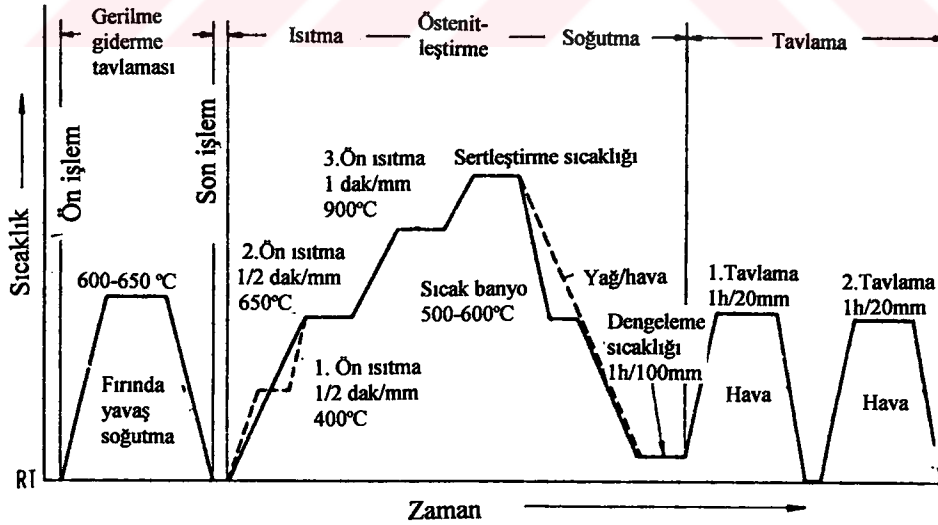
Diğer taraftan, maksimum sertlik değerinin hedeflenmesi gereken durum ile kıyaslanırsa, soğuma gerilimlerinin en aşağıda tutulması amacı ile soğuma hızı daha fazla olmamalıdır. Çeliğin değişim davranışları izin verdiği ölçüde bir soğuma prosesinde 550 derece civarında, sıcaklık dengeleme kademesi konması gerekir. 80 dereceye kadar soğutulan kısımlarda, takımların 100 ila 150 derece arasında sıcaklığa sahip fırınlara geçirilmesi gerekir. Böylece oda sıcaklığında soğuma esnasında oluşabilecek sıcak gerilim çatlaklarının önüne geçilmiş olur. Dengeleme fırınlarındaki 100-150 derece arasındaki bu dengeleme tavlama özellikle büyük ölçekli parçalarda çok önemlidir.

3.3.3.4 Temperleme

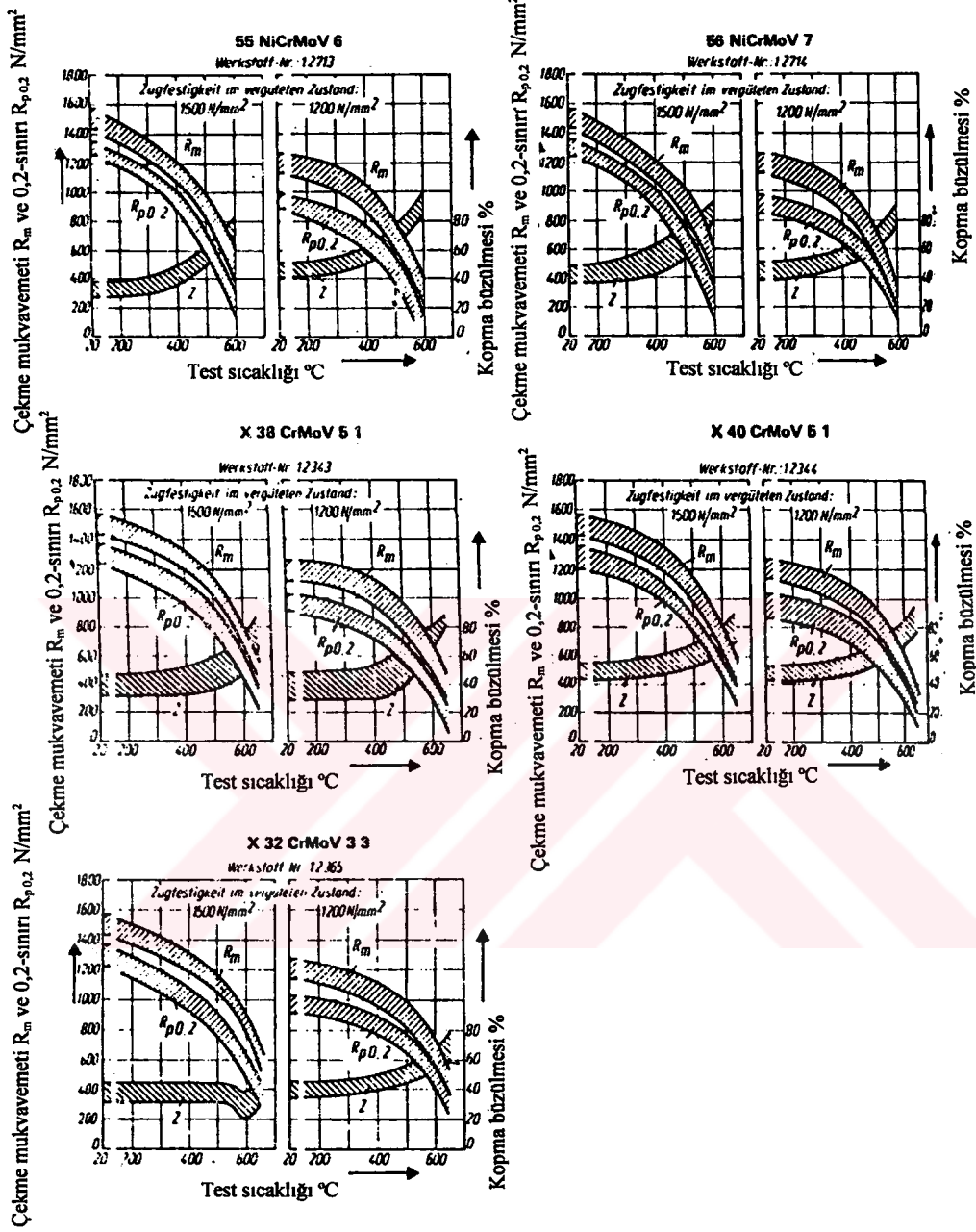
Çeliğin sertleştirme işleminden sonra temperleme vasıtası ile önceden belirlenmiş sertlik derecesine ulaşılır. Temperleme sıcaklığı yine ilgili tablolardan alınabilmektedir. Temperleme sıcaklığına ısınma yavaş olmalıdır. Temperleme fırınında 1 saat içinde 20 mm cidar kalınlığında erişilmelidir. Bu işlemi ise hava ile soğutma takip etmektedir. Bu tavlama işleminin ise iki defa uygulanması yararlı olacaktır.



Şekil 3.18 Alaşımli ve alaşımsız soğuk-sıcak iş çeliklerinde 900 dereceye kadar sıcaklıklarda ısıl işlem için zaman-sıcaklık-sonuç diyagramı. [15]



Şekil 3.19 Sıcak iş çeliklerinde 900 derecenin üstündeki sıcaklıklarda ısıl işlem için zaman-sıcaklık-sonuç diyagramı. [15]



Şekil 3.20 Sıcak iş çeliklerinde çekme dayanımı, 0,2- sınırı ve kopma büzülmesinin ıslah edilmiş hallerde 1500 ve 1200 N/mm² çekme dayanımlarında deney sıcaklıklarına bağımlılığı. [15]

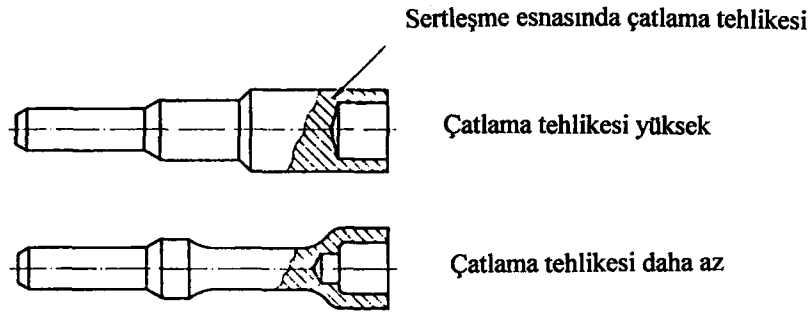
3.4 Takımlara uygulanan ısıtıl işleminden dolayı meydana gelen hatalar

Yanlış uygulanmış bir ısıtıl işleminden dolayı takımında çeşitli hatalar oluşabilir. Bu hataların sebepleri ısıtıl işlem harici, takım şekli ve takımın daha sonra geçirdiği ilave işlemlerden dolayı da meydana gelebilir.

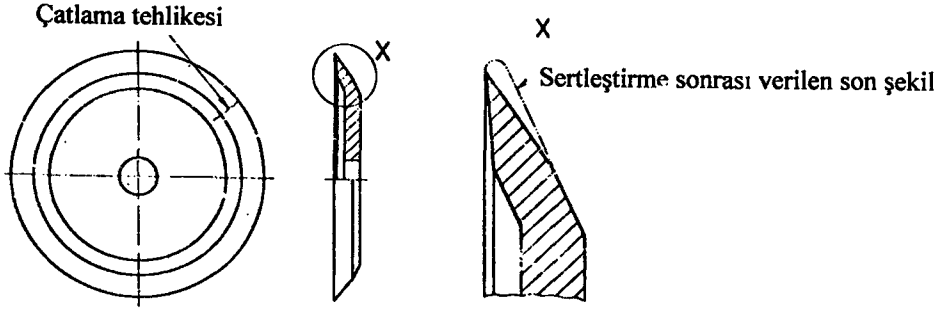
Ek 5’de pratikte en sık rastlanan hatalar ve onların nedenlerine değinilmiştir.

Takımların ölçülendirilmesi ve şekillendirilmesinde sertleştirme esnasında oluşan gerilimlerden dolayı şekil ve ölçülerde değışimler oluşabilir. Bu değışimlerin tasarım esnasında göz önüne alınması, sonradan meydana gelebilecek takım hatalarının oluşmasının önüne geçecektir. Bunun için dikkat edilecek hususlar şunlardır :

- Uygun kütle dağılımı
- Dik ve keskin köşelerin yuvarlatılması
- Simetrik formun kullanılması



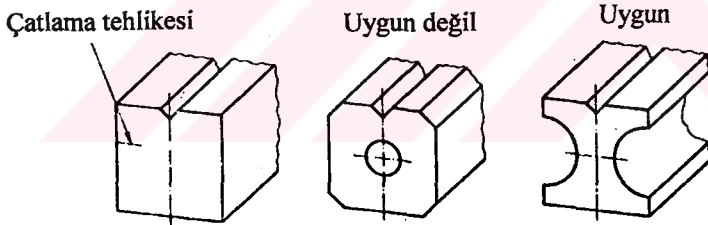
Şekil 3.21 Uygun kütle dağılımının ve daha yuvarlatılmış köşelerin bulunduğu kesit geçişleri. [15]



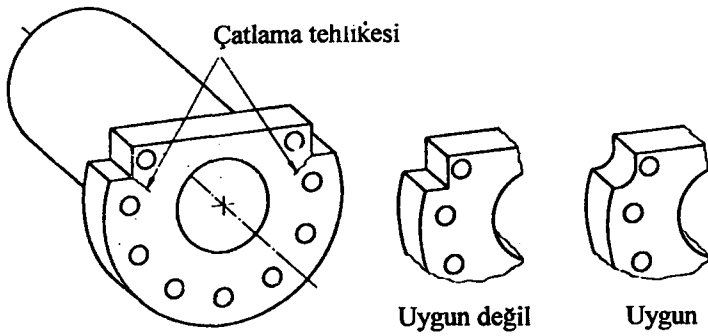
Şekil 3.22 Nihai formun sertleştirme sonrası verildiği bir örnek. [15]



Şekil 3.23 Uygun kütle dağılımına bir örnek. [15]



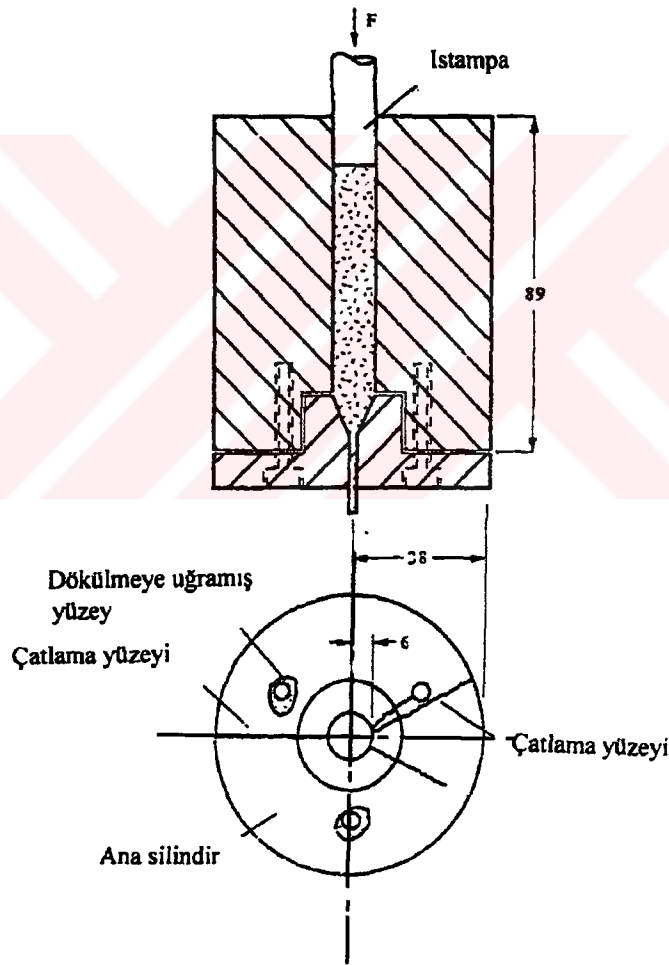
Şekil 3.24 Uygun konstrüksiyona örnek. [15]



Şekil 3.25 Daha yuvarlak kesit geçişleri temsilen bir örnek. [15]

3.5 Matris Çatlamasının Isıl İşlem ile Bağlantısını Belirleyen Örnek Bir Çalışma

Matris dizaynı konusu ve profil dizaynı etkisinde şekillenen bu konunun, ürün ve proses özelliklerine etkileri, belirli standartlar dahilinde belirlenip geçmiş bölümlerde açık bir şekilde verilmesine rağmen, malzeme özellikleri gölgesinde kalan matris çeliklerine uygulanan ısıl işlem çalışmalarının işlem bütününe etkilerine, kısa bir örnek ile değinilmesi yararlı olacaktır.



Şekil 3.26 Çatlamamanın meydana geldiği ekstrüzyon matrisi (Ölçüler mm.).[12]

Örnek çalışmada ele alınan matris, ötektik kurşun-bizmut alaşımlarının ekstrüzyonunda kullanılan ve çelikten imal edilmiş bir matristir. Ötektik alaşımın 124°C’de ergidiği göze önüne alınarak, matris boşluğu ergimiş alaşım ile doldurulup alaşımın katılaşması sağlanır. Karışım yaklaşık 50 °C’ye kadar ısıtılarak ekstrüzyon işlemi 50 tonluk bir pres yardımı ile gerçekleştirilir. Normal olarak, ekstrüzyon işleminin gerçekleşmesi için bu yükün yalnızca küçük bir bölümü gerekli olsa da, söz konusu matrisin iç basınç altında çatladığı görülür. Şekil 3.26’da görüldüğü üzere, matris üzerinde çatlaklar teşekkül etmiş ve bunlara ek olarak iki klavuz deliği etrafında malzeme dökülmeleri gerçekleşmiştir.

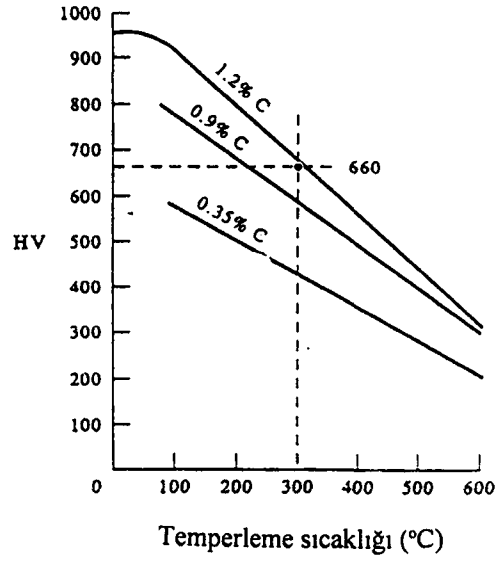
Çatlama nedenlerinin incelenmesi safhasında, çeliğin bileşimi ve ısıl işlemi hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Matris yüzeyi çok sert olmasından dolayı matris çeliğinin su verme işlemine tabi tutulup ardından temperleme işlemi uygulandığı tahmin edilmektedir. Bu noktada, çatlamların nedeni hakkında en uygun tahmini açıklama, çeliğin, su verme işlemi sonrası doğru bir şekilde temperlenmediği ve çatlamların uygunsuz sertleştirme işlemiden sonra oluşan gevrek yapı sonucu doğduğudur.

Bu teorinin doğrulunun pratik bir şekilde ispatlanması amacı ile bir takım basit deneylerin yapılması gerekmektedir. Başlangıçta matris alt yüzeyinden küçük bir parça kesilir. Kesilen parçaya ait yüzeylerinden bir tanesi düz bir satıha sahiptir ve bu yüzey üzerinde Vickers sertlik deneyleri uygulanır. Matris dış yüzeyine yakın bölgelerde sertlik değeri yaklaşık 660 HV, 10 mm içeriye doğru 630 HV, çatlama yüzeylerinin ortalarına doğru ise sertlik değeri ise 600 HV civarındadır. Kesilen parça, yine zımpara taşlı testere kullanılarak iki ayrı parçaya bölünür. Birinci parça açık kırmızı hale gelinceye kadar ısıtıldıktan sonra, soğuk suda soğutma işlemine tabi tutulur. Yapılan ölçümler sonucu parça dahilinde sertlik değerinin 890 HV ile 974 HV arasında değişmekte olduğu görülür. Hızlı gerçekleşen soğutma işlemi sonucu yapı temperlenmemiş martenzit ve bir miktar östenitten oluşmaktadır. Temperlenmemiş martenzitin sertlik değerinin, çelik karbon miktarı ile değiştiği gözönüne alındığında, 974 HV sertlik değeri ile matris çeliğinin en az 1% oranında karbon ihtiva ettiği görülür. İkinci parça ise kaynak alev tabancası yardımı ile açık

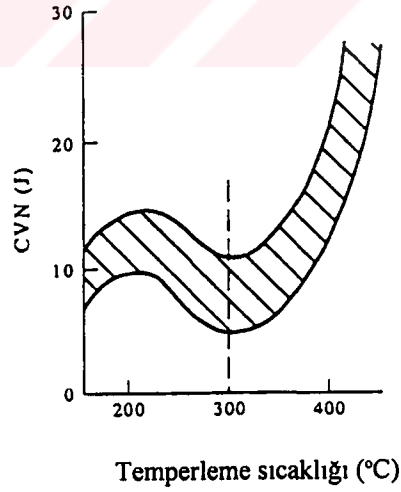
kırmızı renk alıncaya kadar ısıtılarak, alev şiddetinin yavaş bir şekilde azaltılması ile kademeli olarak soğutulur. Parça sıcaklığı, oda sıcaklığına eriştiği an ise, parça parlatılarak nitratlama işlemine tabi tutulur ve sonuçta mikroskop altında incelenmeye alınır. Östenit tane sınırları demir karbür bileşikleri ile çevrilmiş, diğer kısımlarda ise ince perlit düğümleri bulunmaktadır. Sertlik, ince perlit yapısından beklendiği üzere, 310 HV civarındadır. Yapı, 0.80% karbon oranı ihtiva eden ötektik bileşimden daha yukarı karbon oranına sahip, normalizasyon işlemi görmüş çeliğin tipik yapısıdır.

Matris üzerinde yapılan sertlik ölçümlerinden, çeliğin yüksek sertleşebilirlik özelliğine sahip olduğu görülür. Matris çapı 76 mm olmasına rağmen yüzeyden itibaren sertlikte yalnız küçük miktarda bir düşüş oluşmuştur. Bu oluşumun, yalnız karbon miktarı ile elde edilemesi imkansızdır. 0.86% karbon oranına sahip bir çelik yağ ile sertleştirme işlemine tabi tutulduğunda, 100% martenzit yapı yalnız yaklaşık 15 mm'den daha az bir çapın söz konusu olduğu durumlarda tüm bünyeye tamamen taşımıştır. Fakat şu da görülür ki, yaklaşık %1 krom ilavesi, 100% martenzit yapının matrisin orta kısımlarına kadar erişmesine imkan sağlar. Buradan da, imalat safhasında düşük alaşımlı bir çeliğin kullanıldığı görüşüne ulaşılabilir.

Şekil 3.27'de, karbon-martenzit yapıda sertliğin, artan temperleme sıcaklığı ile birlikte nasıl düştüğü görülür. Buradan elde edilen bilgiye göre, söz konusu matrisin 300 °C kadar düşük bir sıcaklıkta da temperleme işlemine tabi tutulmuş olabileceği görülür. Bunun ise, temperleme işlemi için seçilebilecek en kötü sıcaklık olabileceği ise Şekil 3.28'de açıkça görülebilir. Bu şekilde, su verilmiş düşük alaşımlı çeliklerde, Charpy V- çentik vuruş enerjisinin, temperleme sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir. Yaklaşık 300 °C civarında gerçekleşen azalma göz önüne alındığında, bu sıcaklıkta yapılmış bir temperleme işleminde vuruş enerjisinin, hiç temperleme işlemine sokulmuş çeliğinkine oranla daha düşük bir değere sahip olduğu görülür.

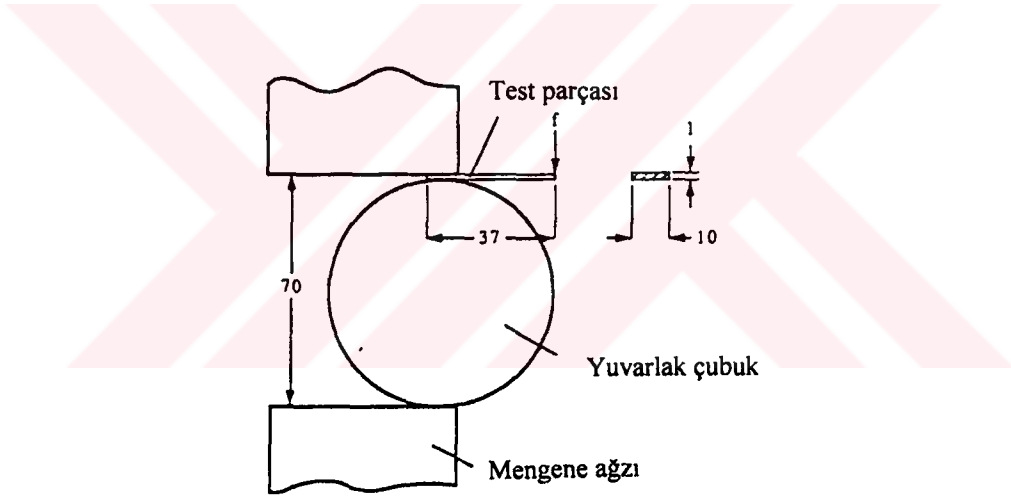


Şekil 3.27 Martenzit yapılı çelikde, artan temperleme sıcaklığı ile sertlikteki azalma. [12]



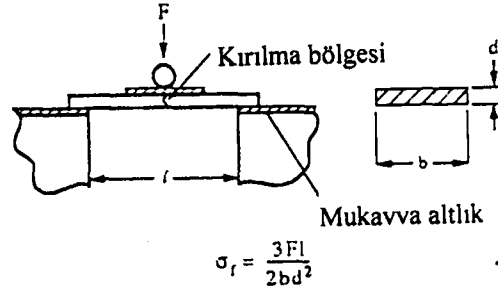
Şekil 3.28 Charpy V- çentik vuruş enerjisinin temperleme sıcaklığına bağımlılığı.[12]

Matris çeliğinin gevrekliği konusunda fikir edinmek amacı ile 1 mm kalınlığındaki bir parça matris alt kısmından kesilir. Bu dilim ise 10 mm genişliğinde 37 mm uzunlunda, şerit şeklinde bir parça vericek şekilde tekrar kesilir. Bu parça, Şekil 3.29’da görüldüğü üzere, büyük yuvarlak bir çubuk etrafında eğilmeye zorlanarak i teste tabi tutulur. “Eğme testi”, normalizasyon işlemi görmüş çeliğin süneklik derecesinin ölçülmesi amacı ile uygulanmaktadır. 1 mm kalınlığındaki şerit parçanın, 3 mm çapa sahip bir çubuk etrafında 180 °C eğilebilmesi gerekmektedir. Fakat sonuçta şu görülür ki, söz konusu matris çeliği fazlası ile gevrek ve kırılma gerilimi eğilme geriliminden daha düşüktür.



Şekil 3.29 Eğme testine ait şematik gösterim (Ölçüler mm). [12]

Kırılma gerilimi hakkında, Şekil 3.30’da görüldüğü üzere üç noktalı yük testleri yardımı ile fikir edinilebilir. Dört ayrı test uygulanır ve kırılma geriliminin 656 ile 1321 Mpa arasında değiştiği ve ortalama değer 864 Mpa olduğu görülür.



Şekil 3.30 Üç noktalı yükleme testinin şematik gösterimi. [12]

$$\sigma_y \text{ (MPa)} = H/3 = (600 \times 9.81) / 3 = 1960. \quad (3.2)$$

σ_y , sertlik testinde uygulanan ekstra 8% plastik zorlama sonrası eğilme gerilimidir. Isıl işlem görmüş yüksek karbonlu çelikler, 8% zorlama sonrası, yaklaşık 160 Mpa ile sertleşirler. Böylece matris çeliğinin testten önceki eğilme geriliminin yaklaşık 1800 Mpa civarında olduğu görülür. Bu ise kırılma geriliminde kıyasla, fazlası ile yüksek bir değerdir.

Bu çalışma ile, ısıl işlem adı altında toplanan sertleştirme işlemi ve takip eden işlemlerin, matris servis ömrüne etkileri bir daha somut bir şekilde gözler önüne serilmiştir. Şu sonuca ulaşılabilmeye ki, su verme işlemine tabi tutulan çeliklerin gevrek davranışlı kırılmalarına muruz kalmamaları amacı ile, uygun sıcaklıklarda temperlenme işlemine tabi tutulmaları gerekmektedir. Matris çeliği, çentik testi sonucu ölçülen yüksek bir sertliğe sahip olmasına rağmen, eğilme geriliminin yalnız yarısına eşit değerdeki bir kırılma gerilimi ile gevrek bir şekilde kırılması en göze çarpan noktadır. Eğer çelik uygun bir şekilde temperlenmiş olsa idi, kırılma gerilimi eğilme geriliminden daha yüksek bir değere sahip olacaktı ve böylece malzeme, eğilme gerilimi ve kırılma gerilimi arasında sınırlı bir sünek davranış sergileyecek ve kırılmanın önüne geçilebilecekti.

4. SONUÇLAR

Ekstrüzyon işlemi, tüm diğer imalat metodlarında da görüldüğü gibi, kalite ve maliyet amaçlı araştırmalar yardımı ile, her geçen gün kendini geliştirme eğilimi içindedir. Bu noktadan yola çıkarak ekstrüzyon işleminde, kalite beklentilerinin yanısıra işlem sürekliliğinin kesintiye uğramaması ve dolayısı ile yüksek verimlilik sağlanması amacı ile, matris çatlamalarının genel kaynağı olan matris dizaynı ve ısıl işlemi konusunda bir araştırma yapılmıştır. Literatür taraması ve teorik olarak yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir :

1- Matris dizaynı ile iç içe sayılabilecek profil dizaynında, keskin kenar ve köşelerin verilen standartlar dahilinde yuvarlatılması, sivri kesit geçitlerinin ortadan kaldırılıp, büyük kesit farklılıklarının ve malzeme yığılmalarının engellenmesi, profil tasarımından doğan hataların önüne geçilmesine yardımcı olacaktır.

2- Matris dizaynında en önemli nokta, malzeme akışının kontrol altına alınmasıdır. Mevcut pres kapasitesinin tam olarak kullanılması ve üretim kapasitesinin artırılması amacı ile, matris üzerine yerleştirilen profil açıklıklarının belli bir düzen içinde yerleştirilmiş olması gerekir. Matriste, çatlama ve hatta kırılmaya yol açabilecek yüksek değerdeki bir zorlamadan kaçınılması amacı ile malzeme akışının matrisin her tarafında kontrollü olarak sürdürülmesi gereklidir. Bu amaç için, sürtünmeye dayalı bir uygulama olan, farklı akma yüzey uzunluklarının kullanımı ile ön oda tertibatlarının kullanılması başlıca çözümlerdir.

3- Matris malzemesi seçiminde, takım maruz kalacağı yük değerleri ve dolayısı ile ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon hızı, ekstrüze edilecek malzemeye ait şekil değiştirme direnci gibi ekstrüzyon parameterleri göz önüne alınarak, seçimin bu yönde yapılması lazımdır.

4- Alaşımlama ve yüzey işlemi yardımı ile, takımın termik ve mekanik zorlamalar karşısında daha mukavemetli bir davranış alması sağlanabilir. Sıcak iş çeliklerine

görülen, az miktardaki Cr- ilavesi ile kısa zamanlı bir nitratlama işlemi bu tür bir uygulamaya örnek sayılabilir.

5- Uygulanan ısı işlemi mutlaka belirlenmiş sınırlar çerçevesinde gerçekleşmesi gerekir. Sertleştirme işleminde önce bir ön tavlama uygulanması lazımdır. Isıtma ve soğutma aşamaları, takım çeliğinin bileşimi, takım şekil ve büyüklüğü göz önüne alınarak kademeli olarak gerçekleştirilmelidir. Böylece, çekirdek ile kenar kısımlar arasındaki sıcaklık farkından doğan gerilmelerin önüne geçilmiş olunur. Isıtma ve soğutma sıcaklıkları ile ilgili süreler, malzeme cinsine göre düzenlenmiş tablo ve diyagramlardan alınmalıdır.

6- Sertleştirme işlemini mutlaka doğru uygulanmış bir temperleme işlemi takip etmelidir. Temperleme sıcaklığına ısınma, yavaş olmalıdır ve sıcaklık ile zaman değerleri yine ilgili tablo ve diyagramlardan alınmalıdır. Örnek olarak vurgulamak gerekir ise, yanlış sıcaklıkta uygulanan temperleme işleminde elde edilen sertlik değerinin, hiç temperleme uygulanmamış diğer bir örnek ile kıyaslandığında daha düşük çıktığı görülür.

Matris dizaynı ve ısı işleminin bir bütün olarak ele alınması, üretimine geçilecek profile ait takımın imali aşamasında, uygulanan ısı işlemin başarı ile gerçekleşmesini sağlayacaktır. Matris çatlama riski azalacak ve sertleştirme işlemi sonrası arzu edilen servis şartlarına en sağlıklı şekilde ulaşılabilecektir.

KAYNAKLAR

Aluminium Taschenbuch, (1983), Al-Zentrale Düsseldorf, Aluminum- Verlag Düsseldorf. [1]

Anke, F. ve Vater M., (1974), "Einführung in die Technische Verformungskunde", Stahleisen mbH. Düsseldorf. [2]

Archer, R.S., (1950), "Molybdenum", Climax Mo Company-New York. [3]

Berns, H., (1991), "Stahlkunde für Ingenieure", Springer-Berlin. [4]

Bulander, R., (1989), "Werkzeugverformungen beim Strangpressen und ihre Auswirkungen auf die Produktgenauigkeit", Springer-Verlag Berlin. [5]

Degenkolbe, J., Kalwa, G., Kaup, K. ve Potthast, E., (1990), "Begrenzung der Gehalte von Begleitelementen zur Verbesserung der Stahleigenschaften", Stahl und Eisen, Heft 5, Verlag Stahleisen mbH. Düsseldorf. [6]

DIN- Taschenbuch 404 Stahl und Eisen Gütenormen 4, (1993), Beuth [7]

Domke, W., (1986), "Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung", W. Girardet-Düsseldorf. [8]

Geleji, A., (1967), "Bildsame Formgebung der Metalle", Akademie Verlag-Berlin.[9]

Hetting, R., Haensel, M., Geriger, M., (1990), "Kaltmassiv Umformung", 8. International Kongress, VDI-Düsseldorf. [10]

DMIC, (1963), "Hot-Cold Working of Steel To Improve Strength", Defense Metals Information Center-Ohio. [11]

Jones, D., (1993), "Engineering Materials 3", Library of Congress Cataloguing in Publication Data. [12]

Kienzle, Otto., (1968), "Mechanische Umformtechnik", Springer-Verlag Berlin.[13]

Kortmann, W., (1993), "Werkzeugstoffe für Strangpressen", Umformtechnik 27.[14]

Lange, K., (1974), "Lehrbuch der Umformtechnik", Band 2 Massivumformung, Springer-Verlag Berlin. [15]

Lange, K., (1976), "Strangpressen", Aluminium-Verlag GmbH Düsseldorf. [16]

Lange, K., (1985), "Handbook of Metal Forming". [17]

Metals Handbook Volume 14, (1988), "Forming and Forging", ASM Int. Handbook Committee. [18]

Müller K., (1986), "Grundlagen des Strangpressens", Expert Verlag. [19]

Nichteisenmetalle 2, (1987), Al, Aluminiumlegierungen Normen, Beuth Berlin.[20]

Pöhlndt, K., (1986), "Werkstoffprüfung für die Umformtechnik", Springer-Berlin.[21]

Richter, F., (1983), "Physikalische Eigenschaften von Staehlen und ihre Temperaturabhängigkeit", Mitteilung aus dem Forschungsinstitut der Mannesmann AG, Stahleisen mbH. Düsseldorf. [22]

Sauer G., Werke, Glyco-Metall-Werke, Wiesbaden. "Hot working materials for the construction of extrusion press tools". [23]

Schatt, W., (1974), "Werkstoffe des Maschinen-, Anlagen-, und Apparatebaues", VEB-Leipzig. [24]

Schey, J.A., (1970), "Metal Deformation Process", Mercel Decker Inc.-New York.[25]

Simonds, H.R., (1954), "Extrusion of Plastics Rubber and Metals". [26]

Storoschew, M.W., ve Popow, E.A., (1968), (1968), "Grundlagen der Umformtechnik", VEB Verlag Technik-Berlin. [27]

Tschatsch, H., (1987), "Handbuch Umformtechnik", Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag-Darmstadt. [28]

Wilmes, S., (1985), "Werkstoffkunde Stahl", Stahleisen-Düsseldorf. [29]

Wüttemberger, G., (1976), "Fachkunde für Metallberufe", Europa-Lehrmittel OHG Stuttgart. [30]

Ek 1. 1.1'den 1.6 Numaralı Denklemlere Kadar, Hesaplamalarda Kullanılan
Malzeme Değerleri. [15]

Malzeme	Ekstrüzyon sıcaklığı	Sıcaklık iletkenliği	Isı iletkenliği	Isı nüfuz Katsayısı	Kayma gerilimi sınırı
	T	$10^6 \cdot a$	λ	b	τ_{max}
	[K]	[m ² /s]	[W/mK]	[kJ/m ² Ks ^{1/2}]	[N/mm ²]
Aluminyum	723	63	184	23,4	6,9
Al - alaşımı (Cu esaslı)	693	58	176	23	24,5
Bakır	1073-1173	77	322	36,4	9,8
Pirinç	923-1123	43	151	23	14,7(9,8)
Matris malzemesi (X38CrMoV51)	723	8,2	39	13,8	

Ek 2. Hafif Metaller İçin Ekstrüzyon Takımları.. [14]

Ekstrüzyon Takımları	Malzeme Numarası	İşaret / Marka	Gerilme Mukavemeti
Alıcı	1.2311	WAGT	1000-1150
	1.2323	PHM	
	1.2343	DCM	
Ara gömlek	1.2323	PHM	1200-1350
	1.2343	DCM	
İç gömlek Normal yük Aşırı yük	1.2343	DCM	1400-1500
	1.2367	WM 30	1400-1500
Istampa P < 700 N/mm P > 700 N/mm	1.2343	DCM	1500-1600
	1.2367	WM 30	1600-1700
Ön levha Normal yük Aşırı yük	1.2343	DCM	1500-1600
	1.2344	DCV	1500-1600
	1.2367	WM 30	
Sabit ön levha	1.2367	WM30	1500-1600
Mandrel < 50 mm > 50 mm > 100 mm	1.2344	DCV	1600-1700
	1.2367	WM 30	
	1.2343	DCM	1500-1600
	1.2344	DCV	
	1.2343	DCM	1400-1500
	1.2344	DCV	
Mandrel tutucular	1.2714	SRSE	1250-1350
Matris tutucular Normal yük Aşırı yük	1.2714	SRSE	1400-1600
	1.2343	DCM	1400-1600
Matrisler	1.2343	DCM	1500-1700
	1.2344	DCV	
	1.2367	WM 30	

Ek 3. Ağır Metaller İçin Ekstrüzyon Takımları.. [14]

Ekstrüzyon Takımları	Malzeme Numarası	Gerilme Mukavemeti
Alıcı	1.2311 1.2323 1.2343	1000-1150
Ara gömlek	1.2323 1.2343	1200-1350
İç gömlek Normal yük Aşırı yük	1.2365,1.2567 1.2779	1400-1500 1400-1500
Istampa P < 700 N/mm P > 700 N/mm	1.2365,1.2367 1.2367	1500-1600 1600-1700
Ön levha	1.2365,1.2367 1.2885,1.2581 1.2889,1.2678 2.4668	1500-1700
Temizleme levhası	1.2344	1400-1500
Mandrel < 40 mm > 40-60 mm > 60 mm	1.2365,1.2367 1.2885,1.2678 1.2344,1.2365 1.2367 1.2365,1.2367	1600-1700 1600-1700 1500-1600
Mandrel ucu	1.2889,2.4979 2.4973	1400-1500 (2.4973 yaklaşık 1200)
Mandrel tutucular	1.2714	1250-1350
Takım tutucular	1.2365,1.2885 1.2678	1400-1500
Matris başlıkları	1.2714, 1.2343	1200-1300
Matrisler	1.2581,1.2889 1.2678,1.2731 1.2758 P42H, 2.4668 2.4973,2.4979	1450-1550

Ek 4. Sıcak İş Çeliklerine Ait Kimyasal Bileşim ve Isıl İşlem Verileri.

Çelik cinsi	Malzeme numarası	Kimyasal bileşim %								Yumuşak tavlama durumunda sertlik	Setlik için veriler			Tavlama sonrası setlik		
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Sıcaklık		Araç	Tavlama sıcaklığı	Tavlama sıcaklığı	Sıcaklık	Araç	Tavlama sıcaklığı
S5NiCrMoV6	1,2344	0,50-0,60	0,10-0,40	0,65-0,95	0,60-0,80	0,25-0,35	1,50-1,80		0,07-0,12	248	830-870	Yağ	850	Yağ	500	40
S6NiCrMoV7	1,2714	0,50-0,60	0,10-0,40	0,65-0,95	1,00-1,20	0,45-0,55	1,50-1,80		0,07-0,12	248	830-870	Yağ-Hava	850	Yağ	500	44
X38CrMoV51	1,2343	0,36-0,42	0,90-1,20	0,30-0,50	4,80-5,50	1,10-1,40			0,25-0,50	229	1000-1040	Yağ-Hava-Sıcak banyo	1020	Yağ	550	50
X40CrMoV51	1,2344	0,37-0,43	0,90-1,20	0,30-0,50	4,80-5,50	1,20-1,50			0,90-1,10	229	1020-1060	Yağ-Hava-Sıcak banyo	1030	Yağ	550	51
X32CrMoV33	1,2365	0,28-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	2,70-3,20	2,60-3,00			0,40-0,70	229	1010-1050	Yağ-Sıcak banyo	1040	Yağ	550	47

İlgili şekildedeki tavlama-sertlik eğrisine bakınız

İlgili şekildedeki tavlama-sertlik eğrisine bakınız

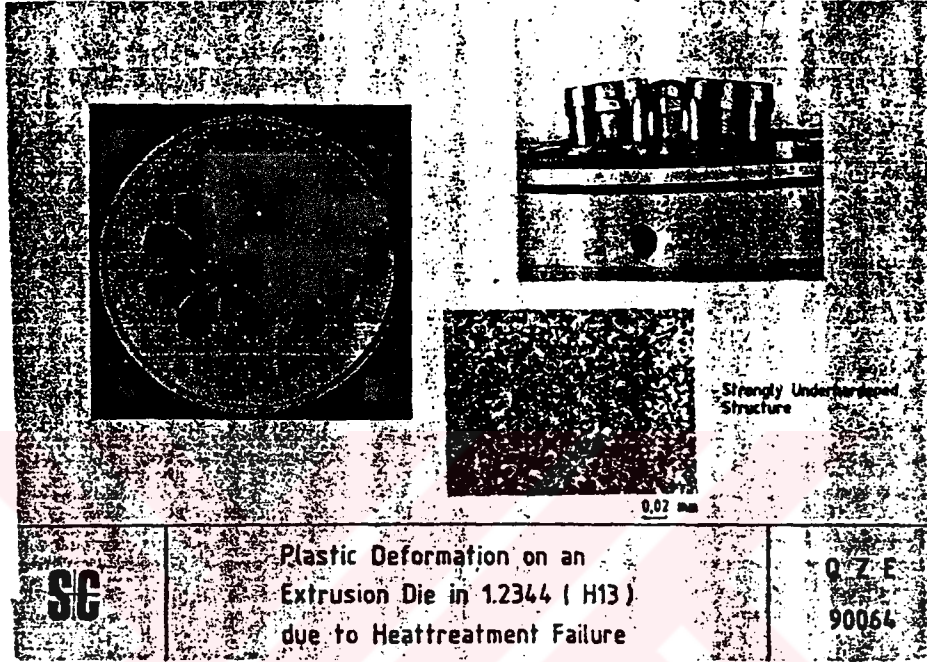
Ek 5. Isıl İşlemden Dolayı Meydana Gelen Başlıca Hatalar ve Sebepleri.

Hata	Isıl işleme dayalı sebep	Isıl işlemde ilgili hata
1. Sertlik çok az	1.1 Değişim göstermeyen ferrit veya çok az karbit çözülmesi	-Östenitleştirme sıcaklığı çok az -Östenitleştirme süresi çok az
	1.2 Tüm kesitteki martenzit bölümü çok az : 1.2.1 Bainit ve/veya Perlit ve/veya Ferrit oluşumu	-Östenitleştirme sıcaklığı çok az -Östenitleştirme zamanı çok az -Su verme etkisi çok az (Soğutma elemanı: Miktarı yeterli değil, soğutma kapasitesi yeterli değil...)
	1.2.2 Tekrar östenitleştirmede	-Östenitleştirme sıcaklığı çok fazla (Aşırı ısıtma) -Östenitleştirme süresi çok fazla -Çok hızlı soğutma -Doğru ve zamanlı derin soğutma yapılmamış -Yeterli ve doğru zamanlı tavlama yapılmamış -Uzun zaman sıcak banyo sıcaklığında tutulmuş
	1.3 Kenar kısımlarda martenzit bölümü çok az 1.3.1 Bainit ve/veya perlit ve/veya ferrit oluşumu	- Su verme etkisi çok az -Kenar oksidasyonu -Alaşım elementlerindeki fakirleşme
	1.3.2 Tekrar östenitleşme	-Karbürasyon
	1.4 Martenzit yapı çok zayıf	-Tavlama sıcaklığı çok yüksek -Tavlama süresi çok fazla
	1.5 Tekrar östenitleşme bölümü çok fazla ve/veya çok az karbit çözülmüş	-Tavlama süresi veya doğru zamanlı tavlama yapılmamış -Tavlama sıcaklığı çok düşük -Tavlama süresi çok kısa
2. Sertlik çok fazla	2.1 Martenzit tüm kesitte çok sert	-Tavlama yapılmamış -Tavlama sıcaklığı çok düşük -Yeterli tavlama yapılmamış
	2.2 Kenar tabakalarda martenzit çok sert	-Karbürasyon

Ek 5. (Devamı) Isıl İşlemden Dolayı Meydana Gelen Başlıca Hatalar ve Sebepleri.

Hata	Isıl işleme dayalı sebep	'Isıl işlemde ilgili hata
3. Ölçü ve form değişimi çok fazla	Isıtma ve değişim gerilimleri çok fazla veya dengeli dağılmamış	-Çabuk ve ya dengesiz ısınma -Fırında amaca uygun olmayan uzunluk -Karbondan arındırma -Karbürasyon -Hızlı veya dengeli olmayan ısıtma -Kademeli olmayan soğutma
4. Çatlama	Isınma ve/veya değişim gerilimleri çok yüksek	-Çok hızlı ve/veya dengeli olmayan ısıtma -Dengeli yapılmayan östenitleştirme -Östenitleştirme sıcaklığı çok yüksek -Östenitleştirme sıcaklığı çok fazla -Kenar tabakalar karbondan arındırılmış -Kenar tabakalara karbürasyon uygulanmış -Çok hızlı ve/veya dengesiz soğutulmuş -Yeterli miktarda soğutulmamış -Tavlama uygulanmamış -Tavlama sıcaklığı çok düşük -Tavlama zamanı çok kısa -Yetersiz veya çok geç tavlama uygulanmış -Tavlama sonrası çok keskin olarak soğutulmuş
5. Yüzaysel devamsızlıklar ve boşluklar	Korozyon	-Isıl işlemde önce temizlenmemiş -Saf olmayan banyoda ıslah işlemi gerçekleştirilmiş

Ek 6. 1.2344 Malzeme Numaralı Ekstrüzyon Matrisinde Isıl İşlem Hatasından
Dolayı Gelişen Plastik Deformasyon



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	08.09.1973	
Doğum yeri	Ankara	
Lise	1984-1991	Özel Moda Koleji
Lisans	1991-1996	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996- Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Müh. Anabilim Dalı, İmalUsülleri Programı
Çalıştığı kurum	1997- Devam ediyor	Teo Tekstil Endüstri Organizasyon San. ve Tic.A.Ş.



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜHÜR