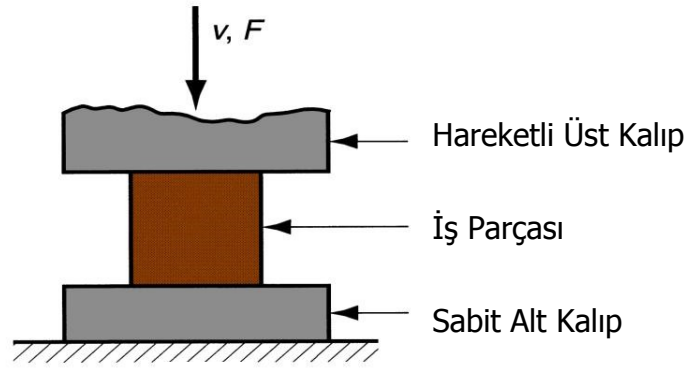


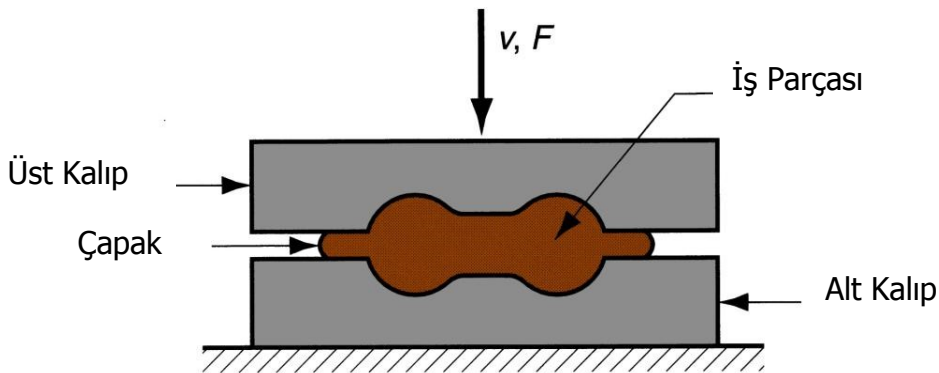
2. DÖVME

En eski metal şekillendirme yöntemidir. İki kalıp arasında basınç uygulanarak şekillendirme gerçekleştirilmektedir. Genelde daha büyük şekil değişimlerine olanak sağladığı için ve kuvvet gereksinmesi daha az olduğundan büyük parçaların dövülmesine olanak sağladığı için sıcak dövme uygulamaları daha çok tercih edilmekle birlikte getirdiği dayanım artışı ve hassas boyutlar ve yüzey kalitesi nedeniyle küçük parçalara uygulanan soğuk dövme uygulamaları da vardır. Sıcaklık dışında dövme yöntemlerini üç kategoriye ayırmak mümkündür:

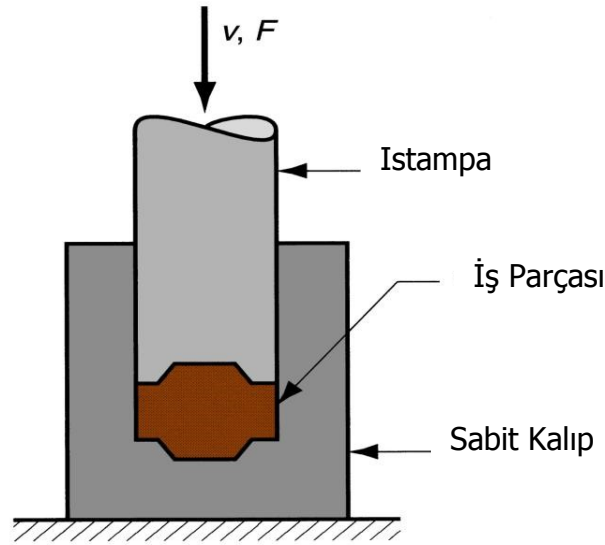
1. Açık Kalıpta Dövme



2. Kapalı kalıpta çapaklı dövme,

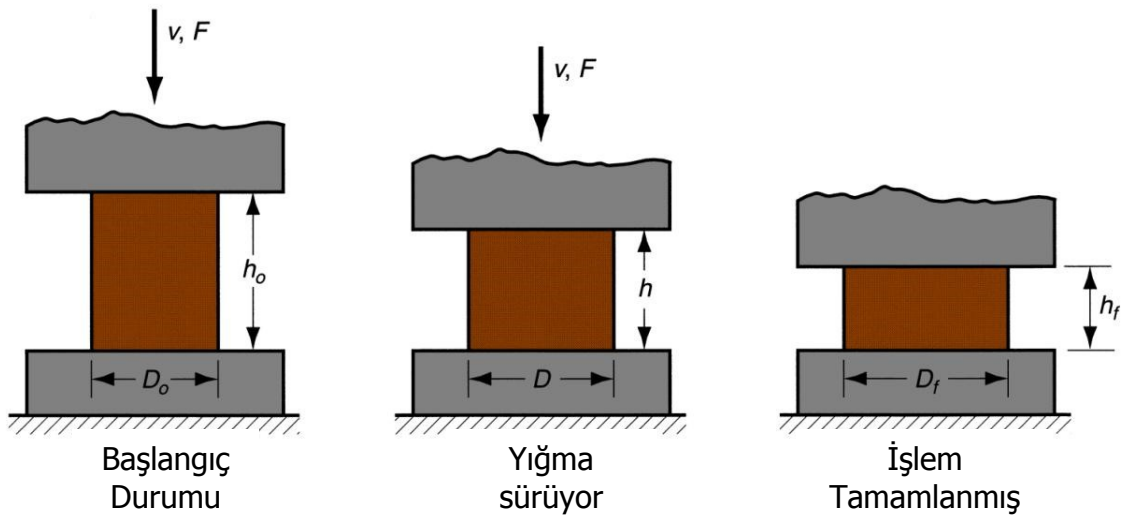


3. Kapalı kalıpta çapaksız dövme.



A) AÇIK KALIPTA DÖVME

Yöntemin uygulanması iki düz kalıp arasında yapılan basma deneyindeki duruma benzemektedir. “Yığma” olarak da isimlendirilir. Basma ile parça yüksekliği azalırken kuvvete dik olarak uzanan kesit alanı artmaktadır. Çoğunlukla aksenal simetriye sahip yuvarlak kesitli parçaların yığılması söz konusudur. Yığmanın ideal koşullarda yani sürtünmesiz olması durumunda silindirik bir parçanın açık kalıpta yığılması aşamaları aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Burada sürtünme etkisi olmadığından silindirik görünüm korunmakta ancak yükseklik azalırken çap da hacim sabitliğini sağlayacak şekilde artmaktadır. Yığma sırasında herhangi bir h yüksekliğinde yaratılan birim şekil değişimi miktarı:

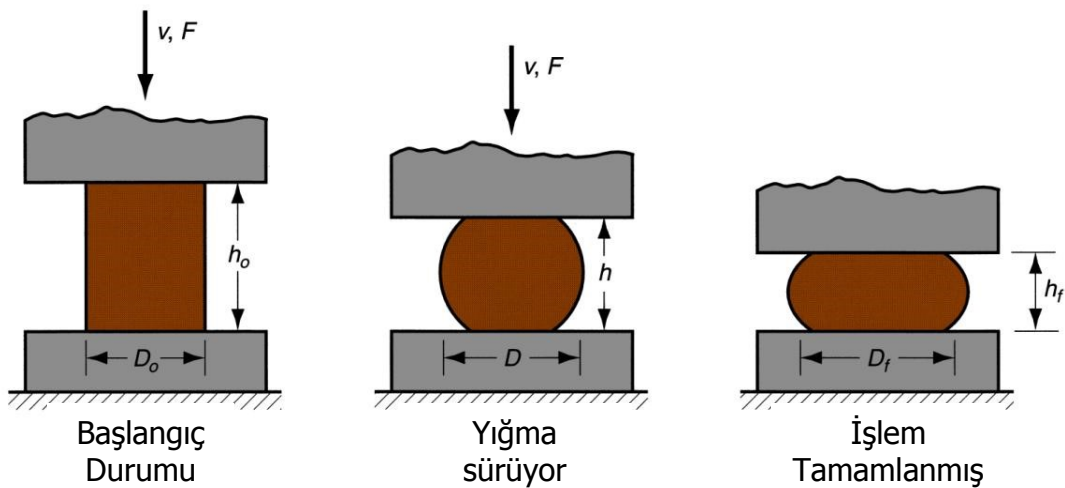
$$\varepsilon = \ln \frac{h_0}{h}$$

Şeklinde tanımlanmaktadır. Burada h_0 parçanın başlangıçtaki yüksekliğidir. Yığma kuvveti ise;

$$F = \sigma.A$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada ise σ malzemenin akma dayanımı, A ise basma gerilmesine dik olarak uzanan parçanın kesit alanıdır. Sıcak yığmada deformasyon hızına bağlı akma gerilmesinin, soğukta ise pekleşme neticesinde artmış olan akma gerilmesinin dikkate alınması gerekmektedir.

Ancak gerçekte kalıp yüzeyleri ile yığılan iş parçası yüzeyleri arasında sürtünme söz konusudur. Bu durumda yığma aşamaları aşağıdaki gibi olmaktadır:



Yüzeylerde dairesel alanın yayılma hareketine karşı oluşan sürtünme genişlemeye izin vermemekte ve parça fıçı şeklini

almaktadır. Buna “fıçılaşma” adı verilir. Sürtünme kuvvetleri ne kadar azaltılırsa fıçılaşma o kadar önlenmiş olur. Sıcak yığma işlemlerinde fıçılaşmayı destekleyen diğer bir faktör de kalıpların iş parçasının temas yüzeylerini soğutmasıdır. Böylece soğuyan yüzey ve ona yakın bölgelerde malzeme dayanımı artmakta ve şekil değişimi zorlaşarak fıçılaşma eğilimi göstermektedir. Yığma kuvveti analizi sürtünmesiz duruma göre önemli farklar göstermektedir. Yığma kuvveti;

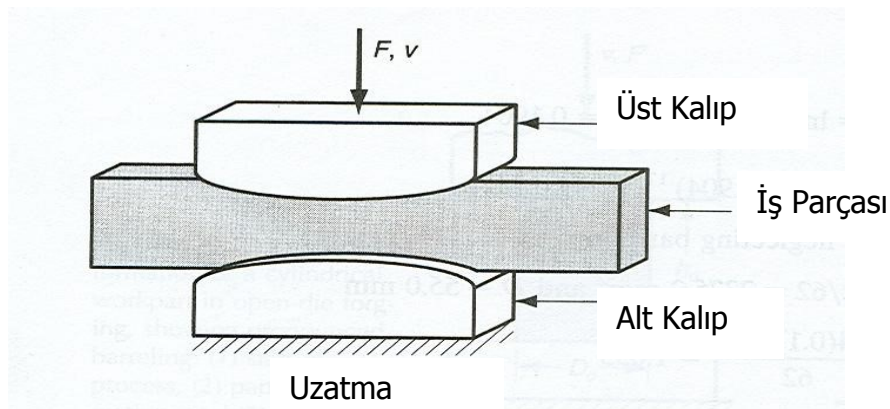
$$F = K \cdot \sigma \cdot A$$

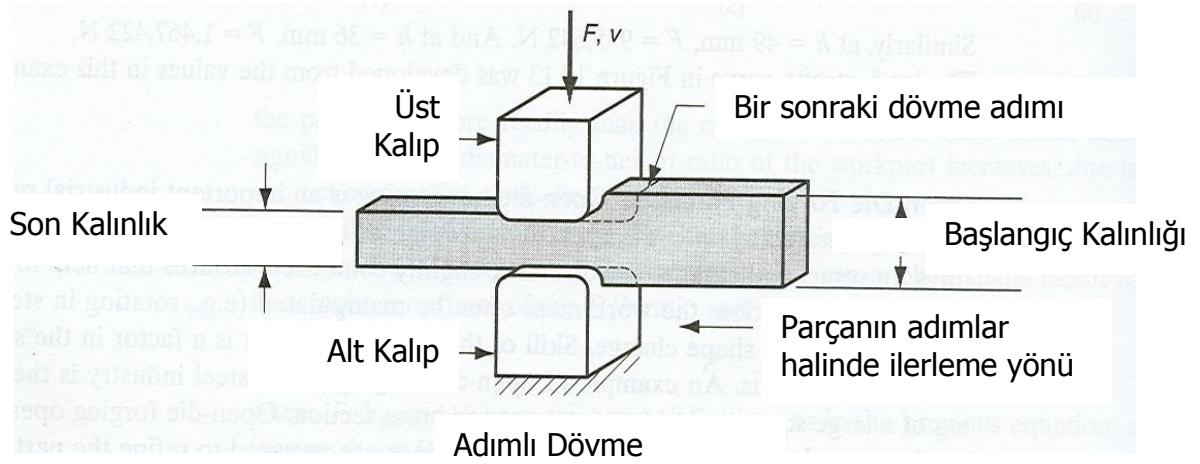
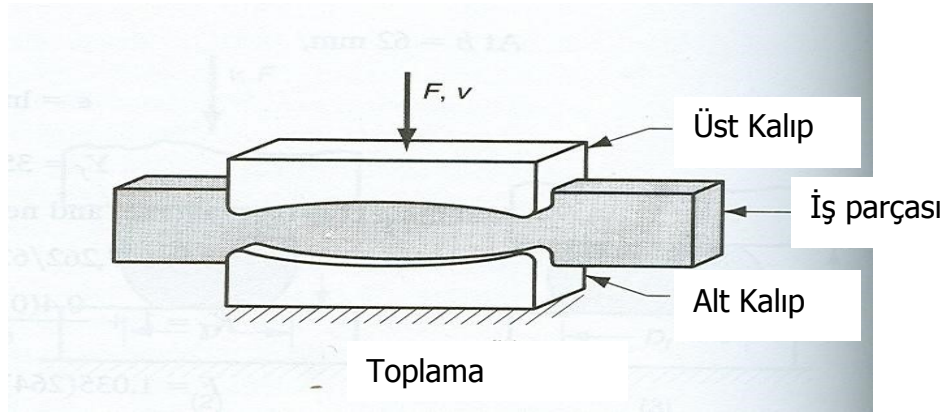
şeklinde belirlenmekte olup burada öncekinden farklı olarak K “şekil faktörü” kullanılmaktadır. Şekil faktörü birimsiz bir katsayı olup parçanın şekline ve parça ile kalıplar arasındaki sürtünme koşullarına bağlıdır:

$$K = 1 + \frac{0.4 \cdot \mu \cdot D}{h}$$

Burada μ sürtünme katsayısını, D parçanın o andaki çapını ve de h parçanın o andaki yüksekliğini ifade etmektedir. K değerinin artması yığma kuvvetinin artmasına neden olmaktadır. Kısa ve geniş parçaları yağlayıcı kullanmadan yığmak gerekli olan kuvveti arttırmaktadır. Alan ve çap hesaplarında hacim sabitliği kullanılmakta ve fıçılaşma ihmal edilmektedir.

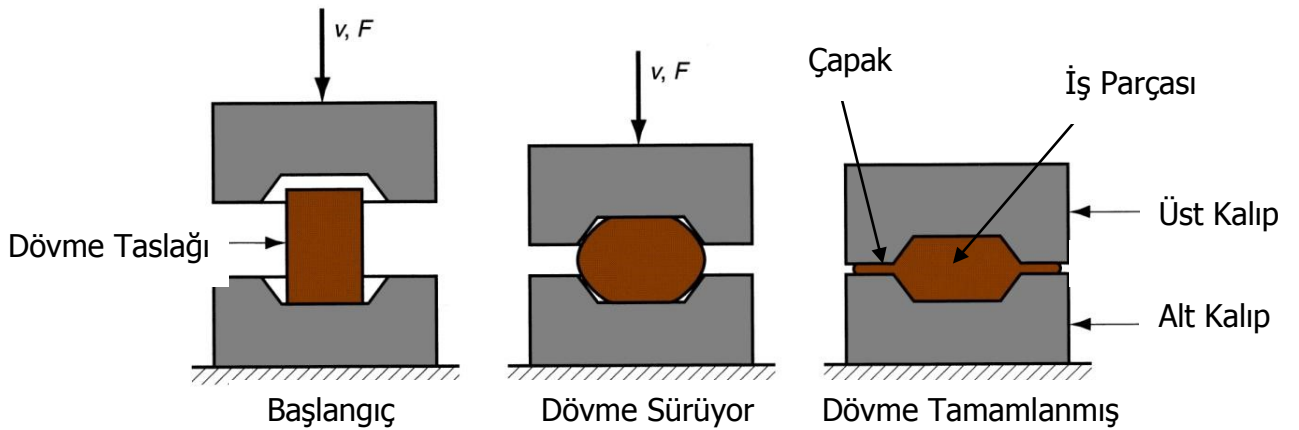
Diğer açık kalıpla dövme uygulamaları aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.





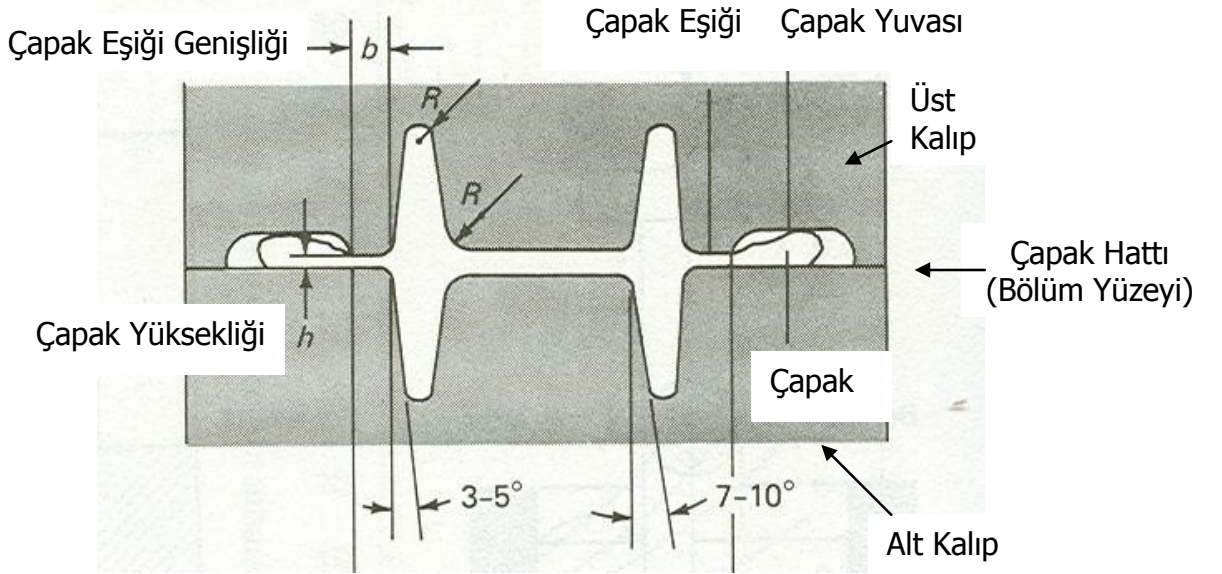
(B) KAPALI KALIPTA ÇAPAKLI DÖVME

Şekillendirilecek parça geometrisinin tersi işlenmiş iki yarım kalıp arasında malzemeyi basma gerilmeleriyle sıkıştırarak akıtılması ve kalıp boşluklarının doldurulması şeklinde tanımlanmaktadır.



Kapalı kalıpta dövmede en önemli nokta dövmenin uygulanacağı kalıpların tasarımı ve imalatıdır. Kapalı kalıpta çapaklı dövme işlemlerinde kullanılacak kalıplarda bazı özelliklerin sağlanması gerekir:

1. Kapalı kalıpta çapaklı dövmede çapak tasarımı çok önemlidir. Genelde dövme taslakları hazırlanırken hacim olarak biraz fazla pay bırakılır. Böylece dövme sırasında malzemenin kalıbın tüm boşluklarını doldurması ve sonra da fazlasının çapak eşiğinden dışarı atılması amaçlanır. Çapak eşiği geniş ve çapak kalınlığı düşük tutulursa çapağın dışarı akması zorlaşır ve dövme işlemi sırasında kalıba çok büyük basınçlar etkir. Bu da erken aşınma ve hatta kalıbın kırılmasına yol açabilir. Eğer çapak kalınlığı fazla, eşik de dar tutulacak olursa bu defa malzeme kalıp boşluklarını doldurmadan çapak olarak kolaylıkla dışarı akar ve istenilen parça geometrisi elde edilmemiş olur.



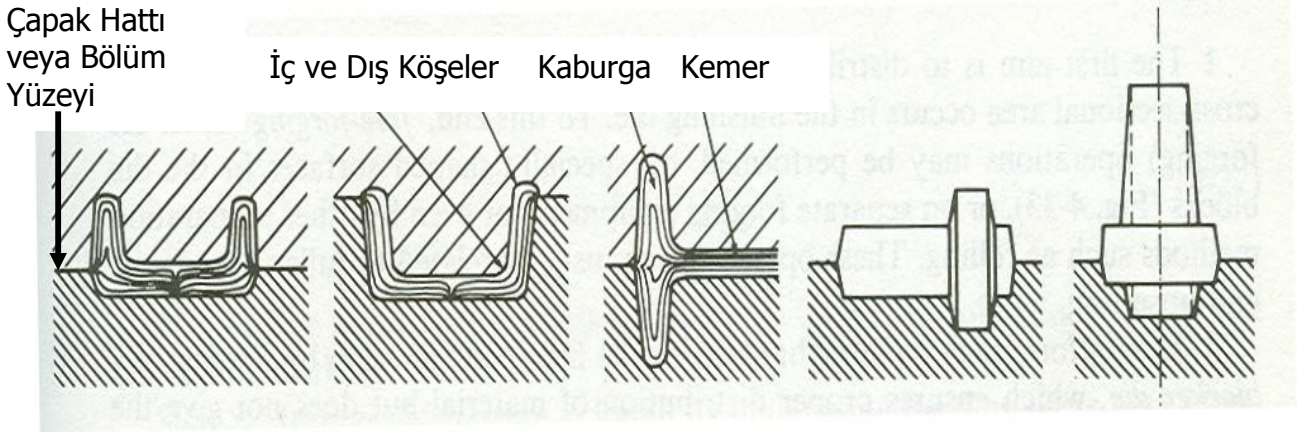
Genel bir kural olarak çapak kalınlığı h (mm;

$$h = 0.015.(A)^{1/2}$$

olarak dövme alanı A 'nın (dövme kuvvetine dik olarak uzanan parça kesitinin alanı) bir fonksiyonu şeklinde ampirik olarak belirlenebilmektedir. Çapak eşiği genişliği b ise çapak yüksekliğinin 3 ile 5 katı arasında olacak şekilde seçilmektedir.

2. Kalıplarda sıcak dövme sonrasında malzemenin çekmesini ve tufal kayıplarını tolere edecek kadar hacim fazlalığı bırakılmalıdır.

3. Malzeme akışını kolaylaştıracak, kalıbı dengeli zorlayacak ve malzemenin dövme sonrasında kalıptan kolay çıkmasını sağlayacak çapak hattı veya bölüm yüzeyi seçilmelidir.



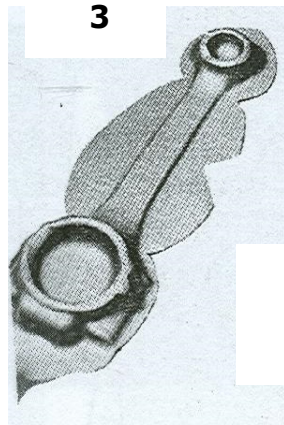
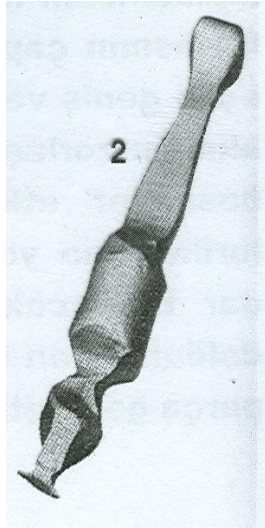
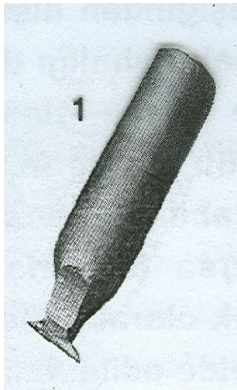
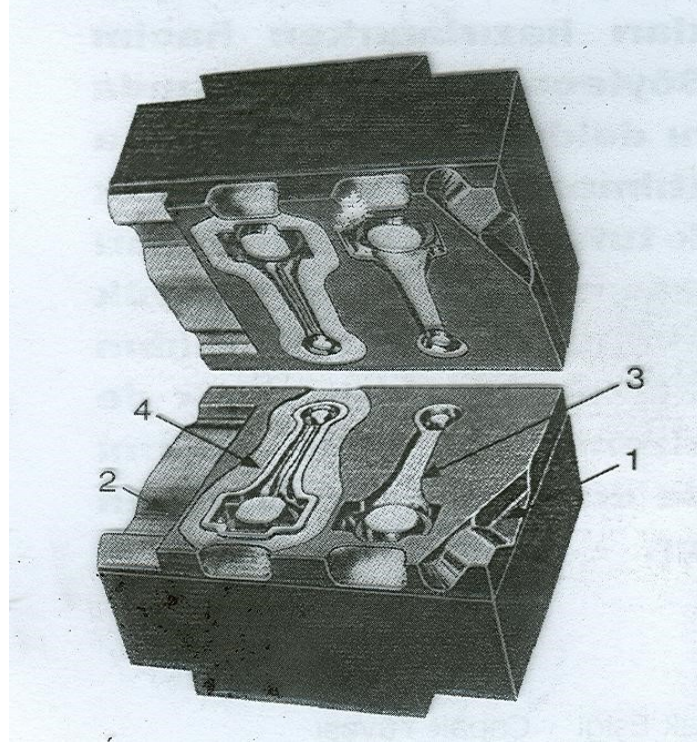
4. İç ve dış köşe radyüsleri çok küçük olmamalıdır. Keskin radyüslerin kullanılması durumunda köşelerde malzeme rahat akamaz ve katlanmalara ve çatlak oluşumuna sebebiyet verir.

5. Kaburgalar (dövme parçanın bölüm yüzeyine dik uzanan kısımları) kemerlerden (dövme parçanın bölüm yüzeyine paralel kısımları) hacim olarak daha fazla olacak şekilde tasarlanmamalıdır.

6. Kaburga şeklinde uzanan bölümler açılmalıdır. Genelde iç açılar dış açılardan biraz daha fazla olacak şekilde seçilir. Açı miktarı malzemenin cinsine de bağlıdır. Örneğin alüminyum için açılar $1-3^\circ$, çelik için $3-5^\circ$ ve süper alaşımlar için $7-10^\circ$ olacak şekilde seçilir. Açılandırmanın

esas amacı dövme sonrasında parçanın kalıptan kolaylıkla çıkarılmasıdır.

7. Parçanın karmaşık ve zor dövülebilir bir şekle sahip olması durumunda dövme işlemi kademelendirilerek bir kaç defada gerçekleştirilebilir.



Kalıp yan yüzeylerinin malzeme akışını kısıtlaması, farklı bölgelerde farklı deformasyon ve deformasyon hızlarının geçerli olması nedeniyle kalıbı zorlayan basınçları ve dövme kuvvetini hassas bir şekilde belirleyebilmek zordur. Ancak makul ölçülerde basitleştirmeler yaparak yaklaşık hesaplamalar yapmak mümkündür.

Farklı yükseklikleri olan bir parçanın deformasyon analizinde öncelikle bir ortalama yükseklik değeri h_{ort} belirlenmektedir:

$$h_{ort} = \frac{V}{A_t}$$

Burada V dövme taslağının hacmi, A_t ise çapak eşiği alanı dahil toplam dövme alanıdır. Buradan birim şekil değişimi;

$$\varepsilon_{ort} = \ln \frac{h_0}{h_{ort}}$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Buradaki h_0 dövme taslağının işlem öncesi yüksekliğidir. İşlemin sıcak yapılması durumunda ortalama deformasyon hızı;

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v}{h_{ort}}$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Buradaki v ise üst kalıbın kapanma hızıdır.

Kalıba etkiyen basınçları (işlem sırasında parçaya uygulanan basma gerilmeleri) veya gerekli olan kuvvetleri yaklaşık olarak hesaplamak için bazı ampirik katsayılardan (Q_K) yararlanılmaktadır. Enerjinin önemli olduğu bazı dövme makinelerinde kuvvetin yanı sıra dövme enerjisinin de hesaplanması gerekmektedir. Bunun da yaklaşık hesabında bazı ampirik katsayılardan (Q_E) yararlanılmaktadır.

Dövme Türü	Q_K	Q_E
Basit, çapaksız	3-5	2.0-2.5
Basit, çapaklı	5-8	3
Karmaşık, çapaklı	8-12	4

Böylece dövme kuvveti;

$$F = \sigma \cdot Q_K \cdot A_t$$

şeklinde, dövme enerjisi de;

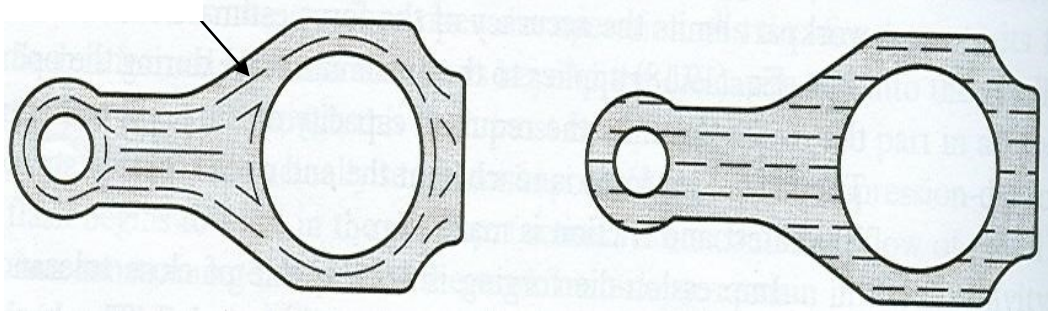
$$E = \sigma \cdot Q_E \cdot V \cdot \varepsilon_{ort}$$

olarak hesaplanabilmektedir.

Aynı geometrideki bir parçanın imalatında kapalı kalıpta dövme ile talaşlı imalat yöntemleri karşılaştırılacak olursa şu özellikler dikkati çeker:

- 1. Yüksek üretim hızı ve kapasitesi,**
- 2. Daha az malzeme kaybı,**
- 3. Tane yönlenmesiyle daha tok ve dayanımlı ürünler,**

Akış Çizgileri



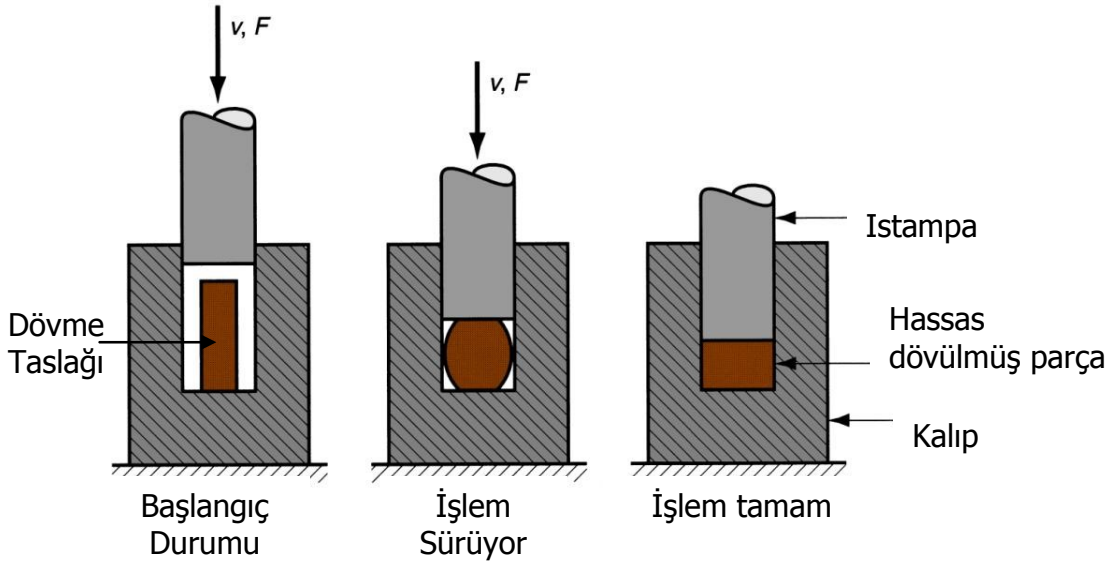
Dövülmüş

Talaşlı İmalat

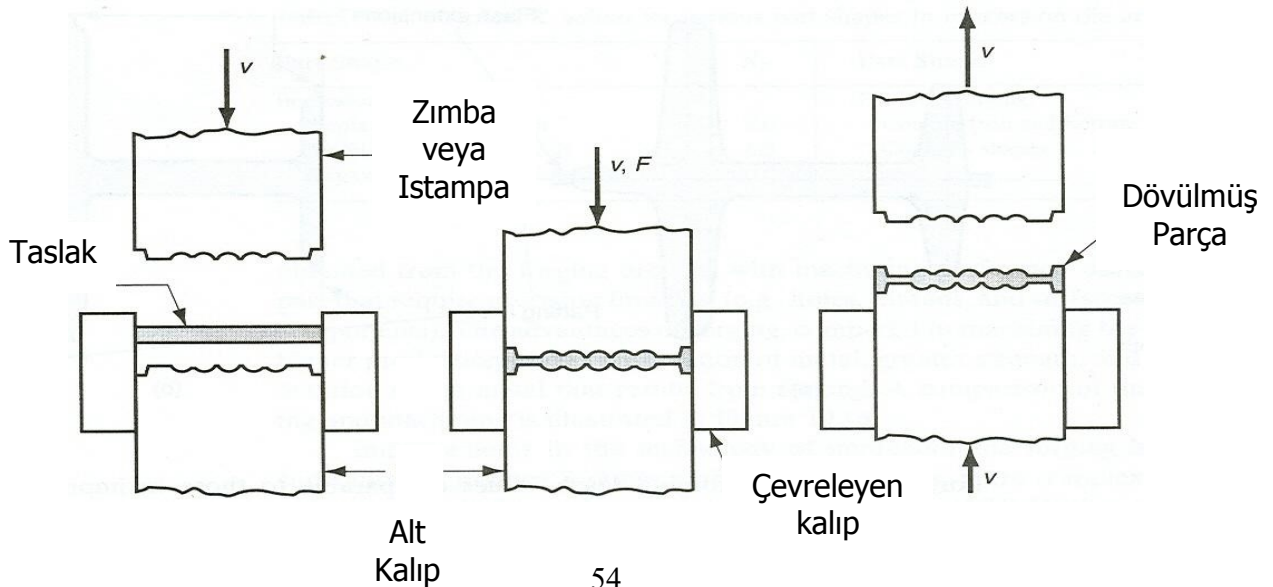
- 4. Daha düşük boyut hassasiyeti ve yüksek toleranslar,**
- 5. Daha kaba yüzey özellikleri.**

(C) KAPALI KALIPTA ÇAPAKSIZ DÖVME

Hassas dövme olarak da nitelendirilmektedir. Basit ve simetrik geometrilere sahip parçaların imalatına uygundur. Dövme taslağının hacminin dövme parçanın hacmine eşit veya çok yakın olması en önemli özelliğidir. Çapak gibi fazla malzemenin akacak yeri olmamasından dolayı işlem çok hassas olarak kontrol edilmelidir. Aksi takdirde kalıba veya makineye zarar verilme olasılığı vardır.



“Damgalama” tipik bir çapaksız dövme uygulamasıdır. Bu işlemde alt ve üst yüzeylerde dövme ve şekillendirme gerçekleştirilmektedir. Madeni paraların imalatında kullanılır.



Dövme işlemlerinde kullanılan makineler şu şekilde bir sınıflamaya tabi tutulurlar:

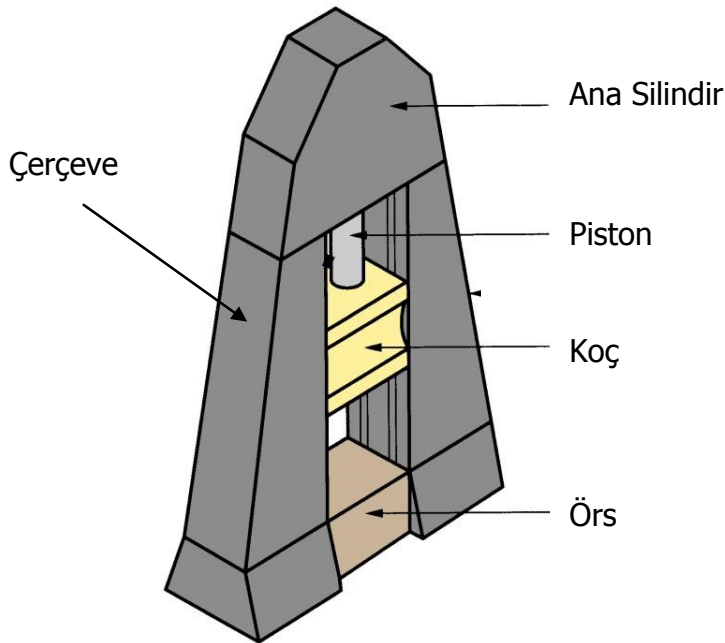
1. Çekiçler (Şahmerdanlar)

- a. Serbest Düşmeli Çekiçler**
- b. Güç Düşmeli Çekiçler**
- c. Karşı Vuruşlu Çekiçler**

2. Presler

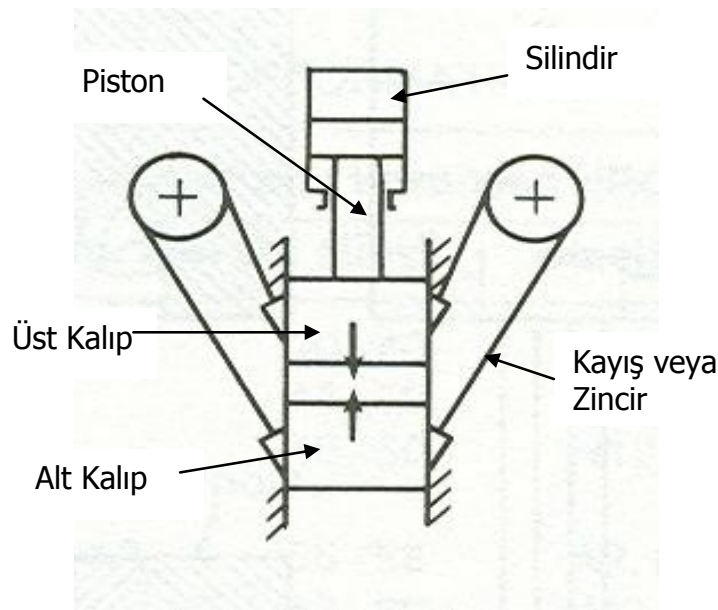
- a. Mekanik Presler**
 - i. Eksantrik (veya kranklı) Presler**
 - ii. Frikasyon (veya vidalı) Presler**
- b. Hidrolik Presler**

Çekiç veya şahmerdanlar enerji kısıtlı makinelerdir. Bir “güç düşmeli şahmerdan”ın şematik görünüşü aşağıdaki gibidir.



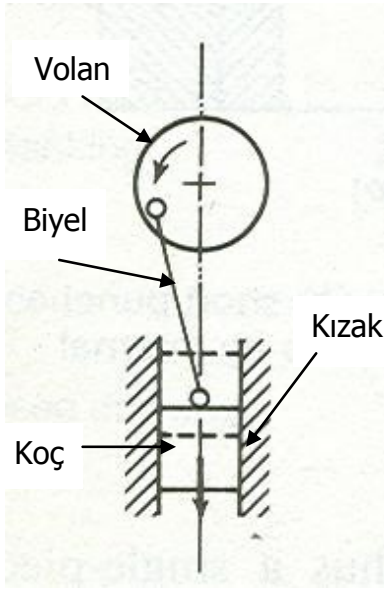
Üst kalıp koça bağlanır. Bağlantı kırlangıç kuyruğu şeklinde kalıp altlarının işlenmesi ve bunun koçtaki kızak şeklindeki yuvaya uydurulmasıyla gerçekleşir. Ana silindir yardımıyla basınçlı hava veya gaz kullanılarak koç aşağı doğru itilir ve

örs üzerine aynı şekilde bağlanmış olan alt kalıp üzerinde konmuş bulunan dövme taslağının üzerine düşmesi sağlanır. Eğer bu işlemde silindir ve piston mekanizması kullanılmazsa makine “serbest düşmeli çekiç” olarak adlandırılır. Parçaya vurdukları anda sahip oldukları potansiyel enerji ile şekillendirmeyi sağlarlar. Bu tür makinelerde enerji kaybı büyüktür. Enerjinin büyük bir bölümü (yaklaşık % 70) titreşimle birlikte temele giderek kaybolur. Enerji kaybının azaltılması için “Karşı Vuruşlu Çekiçler” geliştirilmiştir.

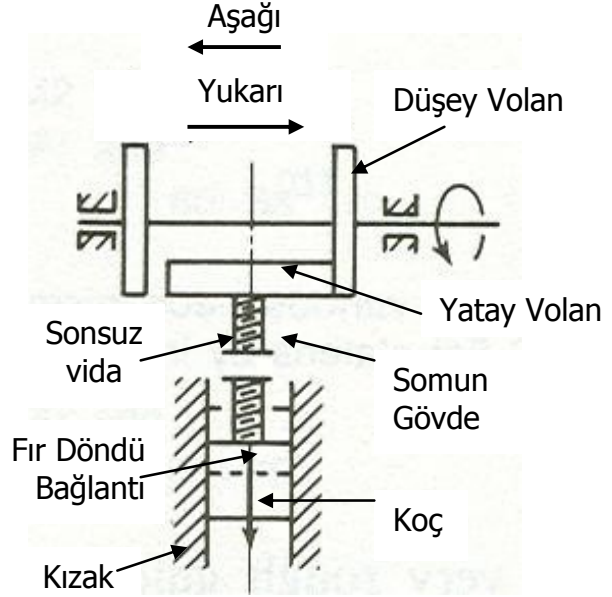


Kayışlı veya zincirli bir mekanizma vasıtasıyla alt ve üst kalıp birbirine bağlanmakta ve üst kalıp aşağı doğru yönlendirilirken alt kalıbın da yukarı doğru hareket etmesi sağlanmaktadır. Verim en az iki misli artmakta, daha zor parçaların dövülmesine olanak sağlamaktadır. Ancak alt kalıbın hareketli olması ve eksenel hassasiyetin sağlanmasında karşılaşılan zorluklar en önemli dezavantajlarıdır.

Mekanik presler de enerji kısıtlı makineler gurubuna girmektedir. Bu grupta yer alan friksiyon ve eksantrik preslere ait şematik görünüşler aşağıda verilmiştir.



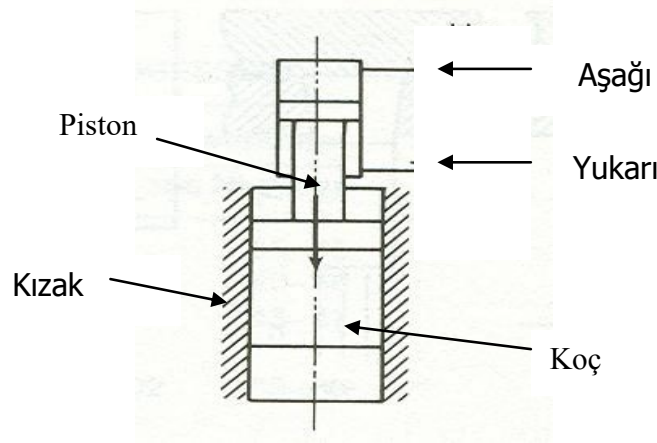
Eksantrik Pres



Friksiyon Pres

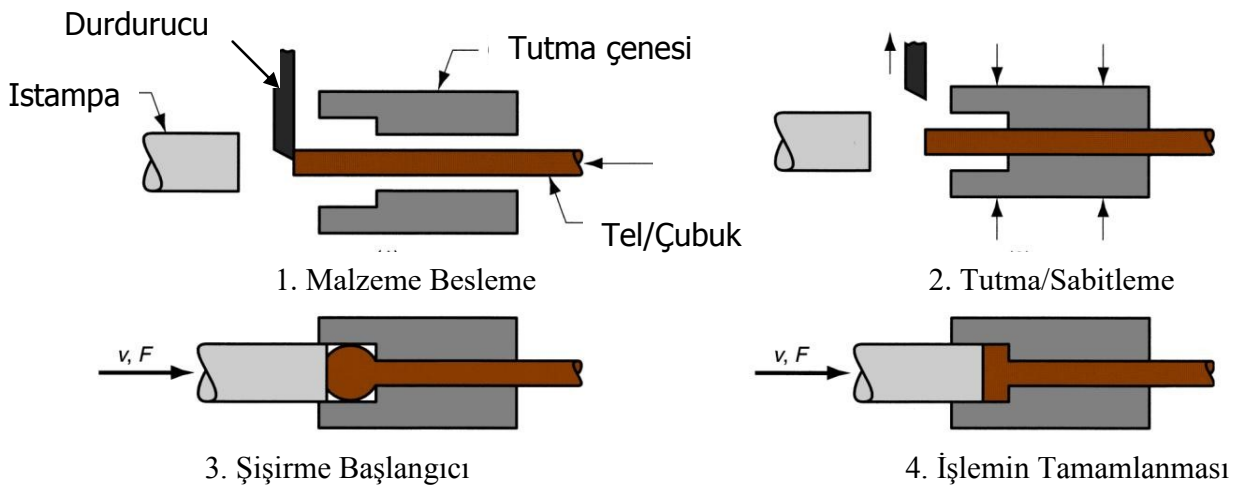
“Eksantrik preste” dönen volanın enerjisi biyel kolu yardımıyla koça aktarılmakta ve üst kalıp alt kalıp üzerine kapanmaktadır. Bu tür presler yüksek parçaları dövmeye müsait değildir. Ayrıca büyük kuvvetler gerektiren dövme işlemlerinde sık kullanılmazlar. **“Friksiyon preste”** ise sürekli olarak yatay konumda dönen volana düşey volanlar kaydırılarak temas ettirilir. Sürtünmeyle volan enerjisi yatay volana aktarılır. Yatay volanın altındaki sonsuz vida bir somun gövdeye bağlıdır. Dönüş yönüne göre vida aşağı veya yukarı hareket eder. Vidanın alt ucu bir fır döndü mekanizmayla koça bağlanmıştır. Bu şekilde üst kalıp alt kalıp üzerine kapanır. Üst kalıp yukarı alınmak istendiğinde diğer düşey volan yatay volanla temas ettirilir ve vida hareketinin yukarı olması sağlanır. Bu presler dövme sektöründe yaygın olarak kullanılmakta ve orta ile büyük parçaların dövülmesine olanak sağlamaktadır.

“Hidrolik presler” kuvvet sınırlı makinelerdir. Silindire gelen basınçlı sıvının pistonu etkimesiyle piston ve buna bağlı koç ve de ona bağlı üst kalıp aşağı doğru hareket eder.

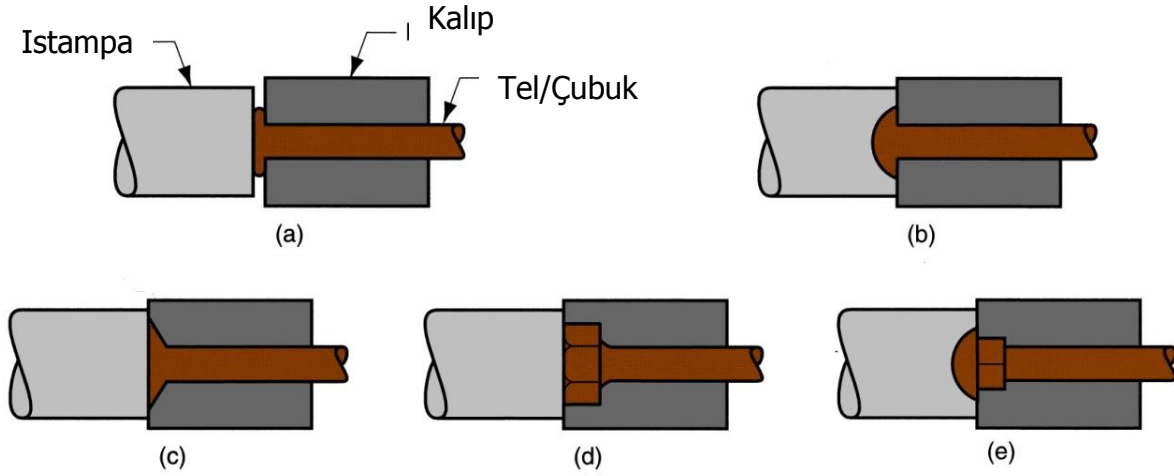


Uygulayabildiği kuvvet piston alanı ile sıvının basıncı çarpımına eşittir. Koçun yukarı kaldırılmasında basınçlı sıvı (genelde yağ) bir yön değiştirici valf yardımıyla silindirin altına yönlendirilir ve pistonun yukarı hareketi sağlanır. Çok büyük kuvvetlerin uygulanması mümkün olmakla birlikte yavaş hareket ettiklerinden dövme işlemlerinde çok sık kullanılmazlar.

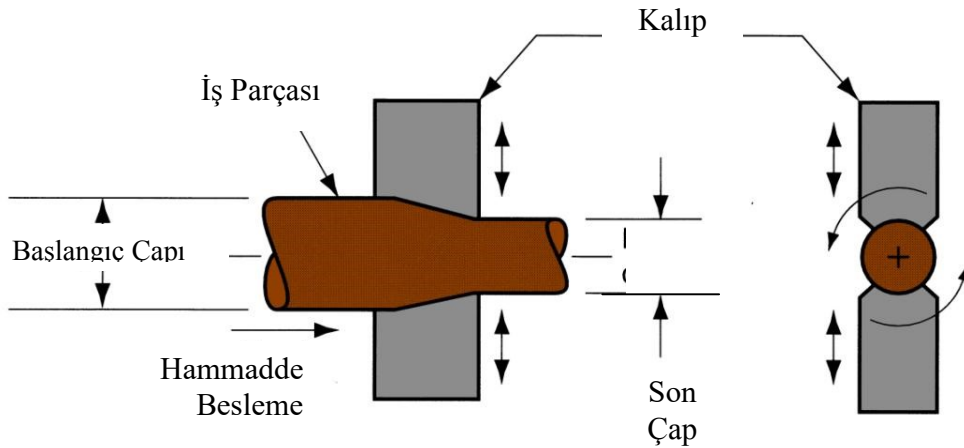
Önemli dövme uygulamalarından birisi de “Kafa Şişirmek (veya yığmak)”tır. Özellikle çivi başları, perçin başları, cıvata başlarının şekillendirilmesinde kullanılır. Tel veya çubuk şeklindeki malzeme makineye yüklenir. Sıcak şişirme yapılması halinde endüksiyonla ısıtma donanımı kullanılır. Kafa şekillendirildikten sonra ürün olması gereken boyuna kesilir. Cıvata ve vidaların imalatında bundan sonra ovalama yöntemi kullanılır.



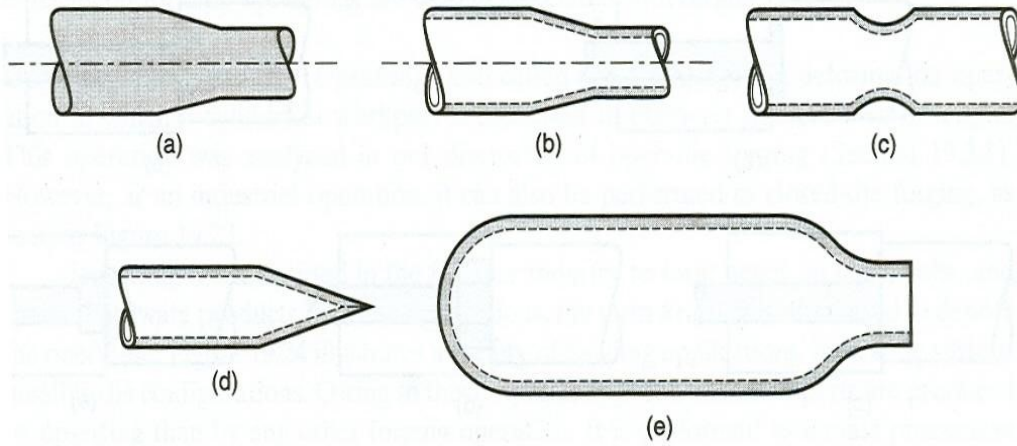
Kafa şişirme veya yığma işlemlerine ait bazı örnekler aşağıda şekilde verilmektedir:



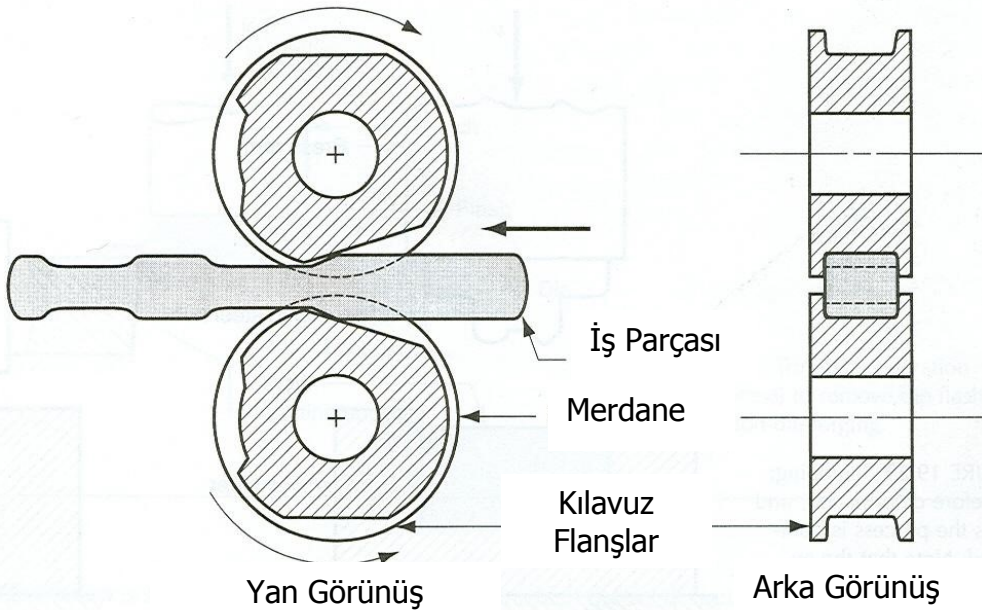
Diğer bir soğuk dövme işlemi “Tokaçlama” olarak isimlendirilen yöntemdir. Daha çok yuvarlak çubuk ve borulara koniklik vermek için geliştirilmiş bir tekniktir. Karşılıklı iki kalıbın yuvarlak malzemeye radyal olarak karşılıklı ve tekrarlı bir şekilde vurmasıyla gerçekleştirilir. Boruların tokaçlanmasında belirlenen iç çap değerinin sağlanması için mandrel kullanılır.



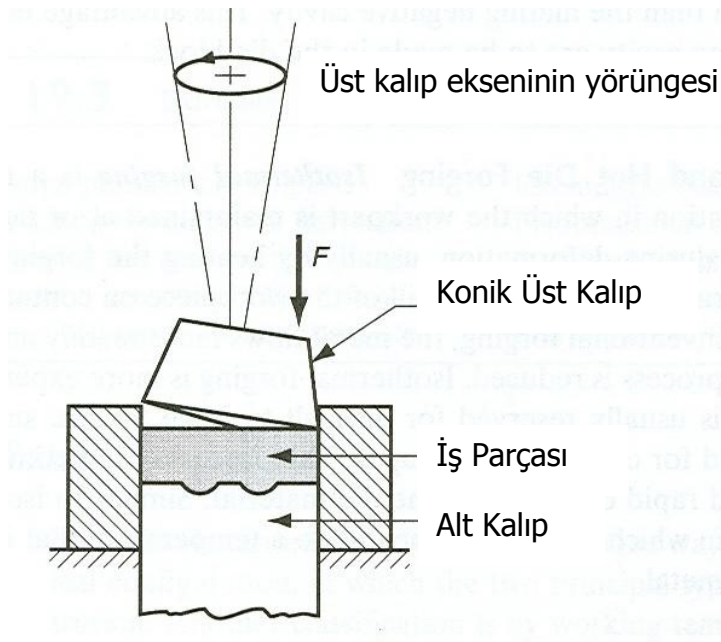
Tokaçlama yöntemiyle boru ve çubuk malzemelerden üretilen bazı mamullere ait örnekler aşağıdaki şekilde verilmektedir:



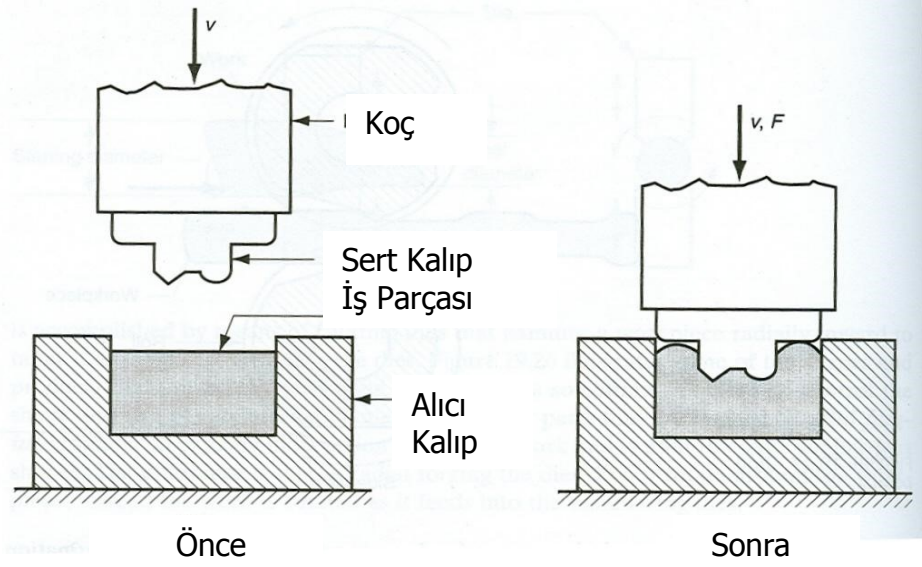
“Haddeleyerek Dövme” işleminde yuvarlak veya dörtgen kesitli parçalar birbirine karşı dönen ve üzerlerine şekillendirilme yapılacak geometrinin tersi işlenmiş merdaneler arasından geçirilerek imalat yapılır. Bu işlemde merdaneler haddelemede olduğu gibi sürekli dönmez. Sadece işlem tamamlanana kadar dönmeyi sürdürür. Dövülecek parça uzunluğu da (tekrarlar yoksa) merdane çevresi boyunca aşamaz.



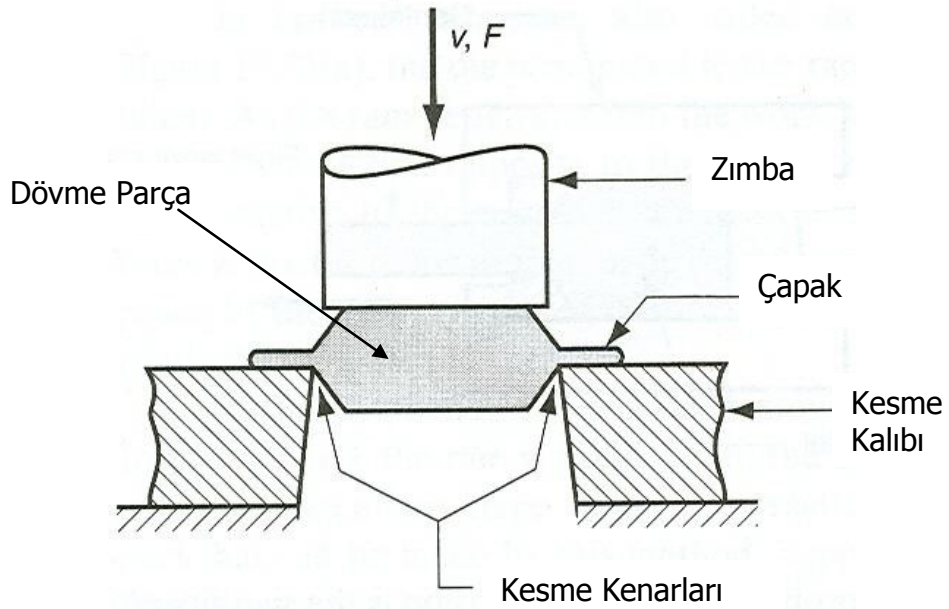
“Orbital Dövme” işleminde konik bir üst kalıp eksenî etrafında döndürölerek iş parçası üzerine bastırılmaktadır. Ayrıca üst kalıbın dönme eksenine de yörüngesel bir hareket verilmektedir. Kalıp konik olduğu için her dönme sırasında parçanın belli bir alanına kuvvet uygulamakta ve böylece dövme işlemi kademeli olarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem özellikle büyük dövme kuvvetleri gerektiren işlemler için kullanışlıdır. Çoğunlukla tekerlek gibi radyal simetriye sahip parçaların dövülmesinde bu yöntemden yararlanılmaktadır.



“Ezerek Dövme” veya **“Çökertme”** işleminde sert metalden hazırlanmış bir erkek kalıp daha yumuşak malzemeye sahip iş parçasına bastırılmaktadır. Böylece erkek kalıp yüzünün sahip olduğu şeklin tersi parça üzerine çökertilerek şekillendirilmiş olur. Genelde plastik parça kalıplarındaki veya basınçlı döküm kalıplarındaki boşlukları işlemede kullanılan bir tekniktir. Kalıp boşluğunun tam olarak elde edilmesi birkaç işlem kademesi gerektirebilir. İşlem tamamlandıktan sonra yüzeye çıkan fazla malzeme talaşlı imalat ile alınır. Gerektiğinde uygulanacak yeniden kristalleşme tavı ile pekleşme etkisi yok edilebilir.



Son olarak çapaklı dövme sonrasında çapakların dövme parçadan ayrılması için “Çapak Kesme” işlemine başvurulmaktadır. Bunun için hazırlanan kesme kalıpları daha çok eksantrik preslere bağlanmakta ve kesme işi gerçekleştirilmektedir.

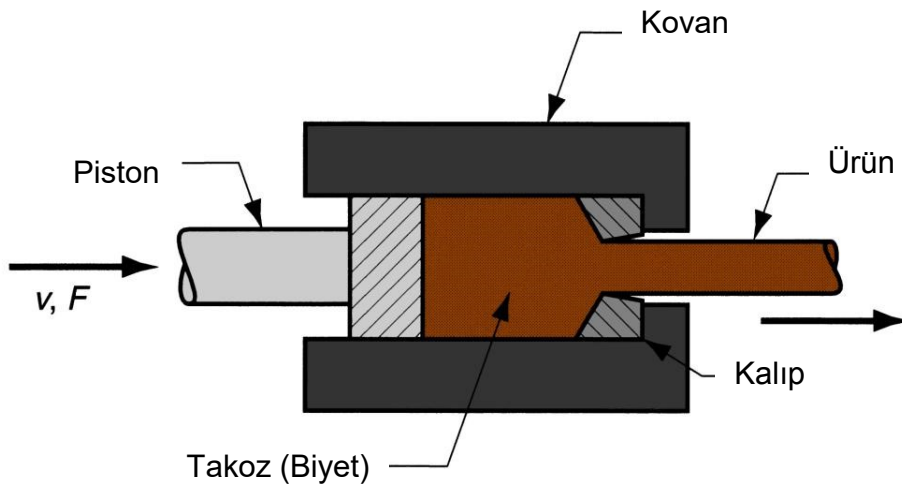


3. EKSTRÜZYON

Basma gerilmeleri ile malzemenin sıkıştırılması ve bir kalıptan o kalıbın şeklini alarak akmaya zorlanması ile gerçekleştirilen şekillendirme işlemidir. Diş macunu tüpüne uygulanan basınç ile diş macununun akıtılması işlemine benzer. Belirli bir kesite sahip malzemenin uzun boylarda üretilmesini sağlar. Başlıca iki türü vardır:

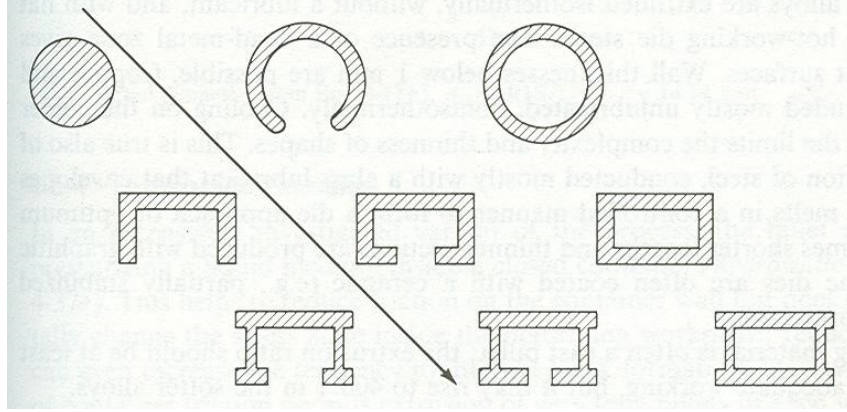
- a. Direk Ekstrüzyon**
- b. Endirekt Ekstrüzyon**

1. Direk Ekstrüzyon

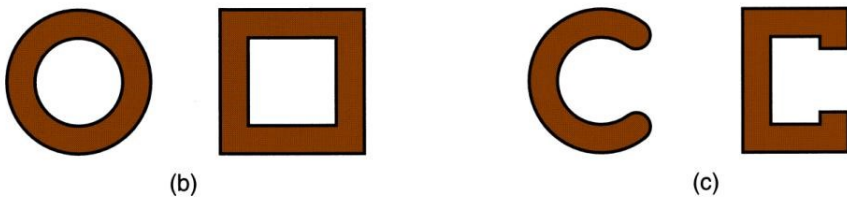
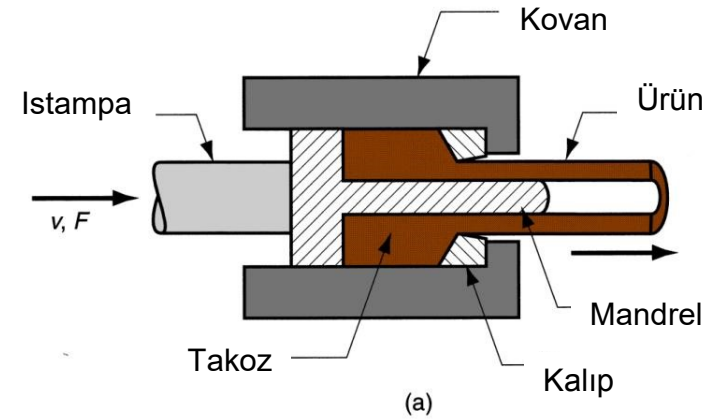


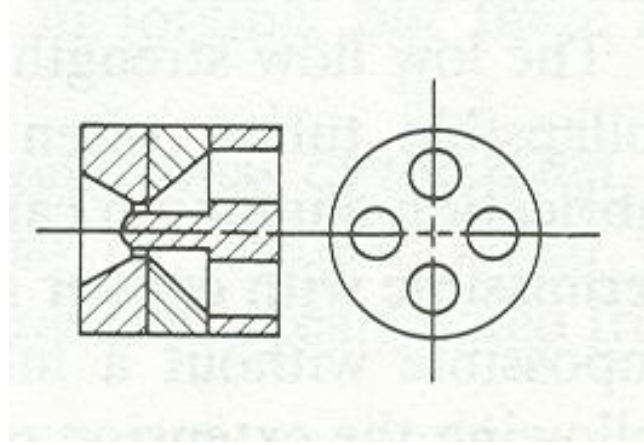
Ekstrüzyonun ham maddesi olan ve genelde yuvarlak kesite sahip takozlar kovan adı verilen kalın cidarlı bir silindirik kabın içine konur. İşlem ileri ekstrüzyon olarak da anılır. İşlem sıcak veya soğuk koşullarda gerçekleştirilebilir. Mamul kesit özelliklerini kalıp belirler. Direk ekstrüzyonda ürünün hareket yönü ile pistonun hareket yönü aynıdır. Ekstrüzyon işlemi sırasında takoz sonuna kadar basılmaz ve kovan içinde bir miktar artık malzeme kalır. Direk ekstrüzyonda dolu kesitli ürünler elde edilebildiği gibi içi boş, örneğin tüp veya boru şeklinde ürünler de elde edilir.

Direk ekstrüzyon sırasında ıstampa malzemeyi kovan içinde ileri kalıba doğru ittirdiği için kalıp-takoz ara yüzeyinde büyük sürtünme kuvvetleri oluşur. İşlemin gerçekleştirilmesi için bunun aşılması gerektiğinden çok büyük ekstrüzyon kuvvetleri doğar.



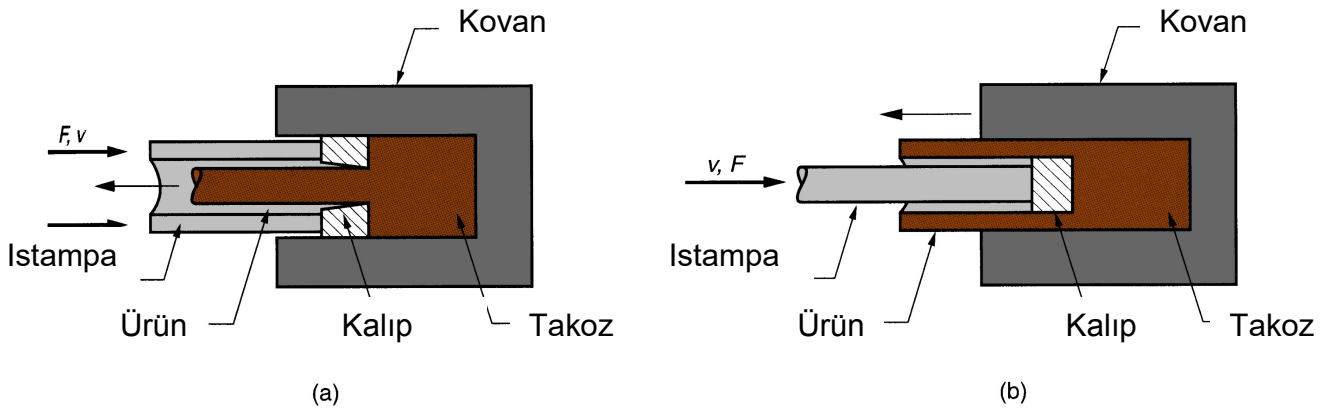
Ekstrüzyon sırasında elde edilen kesitlerin zorluk derecesi yukarıdaki şekilde yer alan okun yönüyle belirtilmektedir. Burada belirleyici parametre “çevre/alan” oranıdır. Bu oran ok yönünde olduğu gibi arttıkça işlem zorlaşır. Örneğin içi boş ürünlerde bu oran büyük olup işlem zorlaşmaktadır. Boru ekstrüzyonu “Mandrel” veya “Köprülü matris” kullanılarak gerçekleştirilir.





Köprülü matris veya kalıpta takoz malzeme dört yoldan ilerleyerek kalıp ağzına doğru gelir. Burada dört adet çeyrek boru kesitindeki malzeme birleşir ve tam daire şeklini oluşturan yüksek basınçların yardımıyla alır. Üretim hızı yüksektir ancak kalıp maliyeti fazladır. Ayrıca nispeten yumuşak olarak kabul edilen malzemelere uygulanabilmektedir.

2. Endirekt Ekstrüzyon

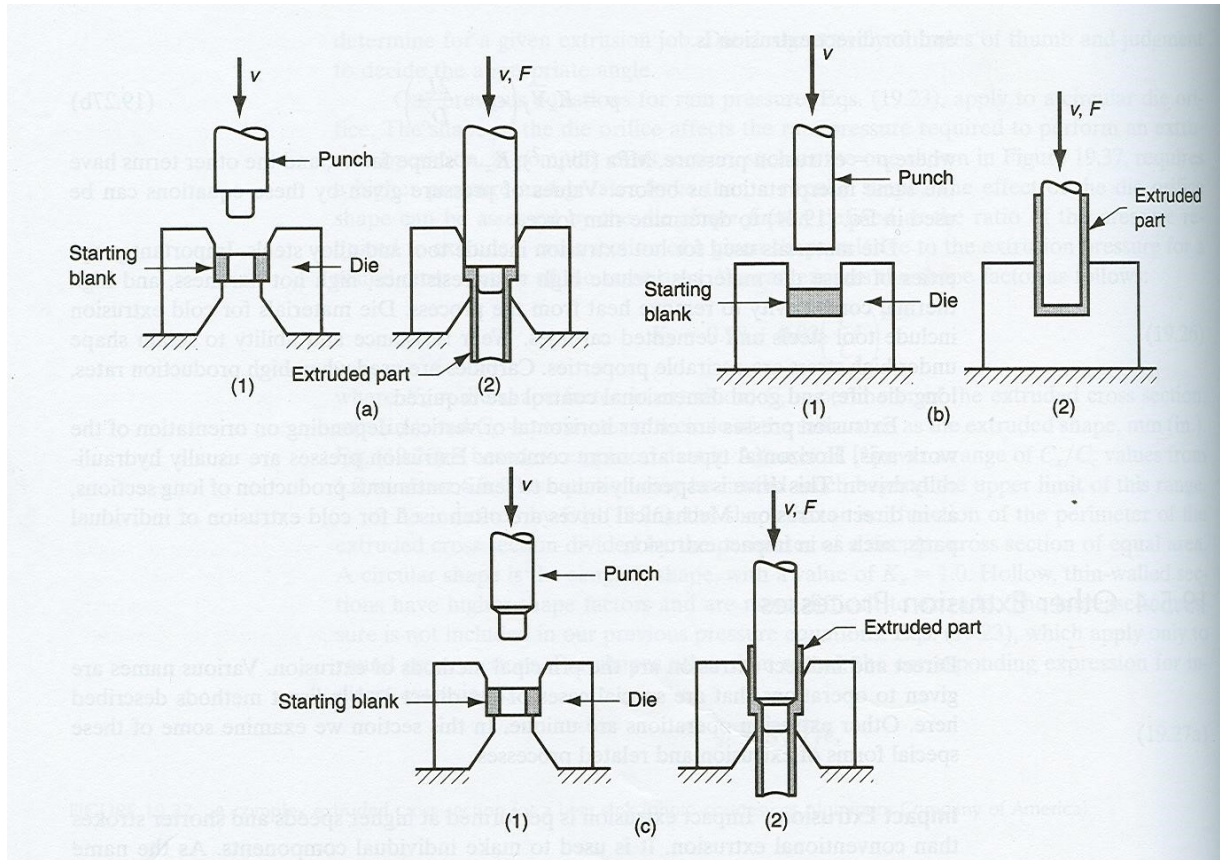


Endirekt ekstrüzyonda kalıp veya mandrel takozu batır, burada takozun kovana göre bir hareketi söz konusu değildir. Bu nedenle gerekli ekstrüzyon kuvveti azalır. Ancak burada ıstampa'nın azalan kesiti dikkate alınmalıdır. Bu işlem sırasında güçlük çıkarmaktadır. Bu işlem aynı zamanda “geri ekstrüzyon” veya “ters ekstrüzyon” olarak da bilinmektedir. Ayrıca ürünün hareket yönü de işlemde zorluk çıkarmaktadır.

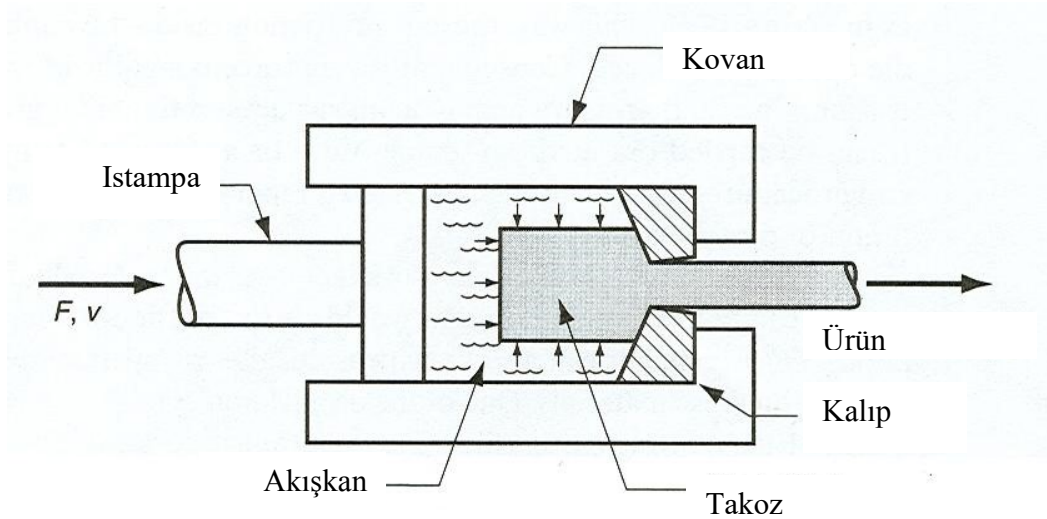
Ekstrüzyon şu üstünlüklere sahiptir:

- 1. Muhtelif şekillerde ancak uniform kesite sahip uzun yarı-mamullerin üretimi için çok uygundur,**
- 2. Soğuk ekstrüzyonla dayanım arttırmak mümkündür,**
- 3. Mamul boyutlarında yeterli hassasiyeti sağlamak daha kolaydır,**
- 4. Üretim sırasında zayıt ve hurda kaybı daha azdır.**

Sıcak ekstrüzyon takozun ve kovanın malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. Bu sıcaklıkta akma dayanımı azaldığı ve şekillendirilebilme arttığı için daha kolay (daha az kuvvet ve güç kullanılarak) ve daha çok şekil değişimi (daha büyük kesit değişiklikleri sağlanarak) verilebilmektedir. Soğuk ekstrüzyon genel anlamda sürekli ürün imalatına uygun olmayıp genel olarak tek parça ürünlerin elde edilmesine müsaittir. Bu tür işlemler “darbeli ekstrüzyon” olarak tanımlanmaktadır.



Kalıp/kovan sürtünme etkisinden kurtulmanın en iyi yolu “hidrostatik ekstrüzyon” yöntemidir. Burada sıvı kovan ile takoz arasında yer alır ve sürtünme etkisini ortadan kaldırır. Bu işlemi yüksek sıcaklıklarda yapmak mümkün olmadığından yüksek kuvvetler gerekir ayrıca şekil verme miktarı da daha sınırlıdır. Ayrıca sızdırmazlığın sağlanması da işlemi zorlaştırmaktadır.



Ekstrüzyon işleminin analizinde öncelikle deformasyon miktarının tayin edilmesi gerekir. Bu amaçla “Ekstrüzyon Oranı” adı verilen parametreden yararlanılır. Bu değer endüstriyel uygulamalarda 16 ile 400 arasında gerçekleşir.

$$R = \frac{A_0}{A_s}$$

Burada A_0 takozun kesit alanını, A_s ise ürünün kesit alanını temsil etmektedir. Birim şekil değişimi ε ise;

$$\varepsilon = \ln R = \ln \frac{A_0}{A_s}$$

Şeklinde tanımlanmaktadır. Sürtünme ve iç şekil değişimi işinin ihmal edildiği ideal deformasyon şartlarında ıstampa yüzeyine gelen basınç p ,

$$p = \sigma \cdot \ln R$$

olarak hesaplanır. Burada işlem soğuk gerçekleştiriliyorsa akma gerilmesi σ yerine ortalama akma gerilmesi σ_{ort} hesaplanmalıdır. Ancak gerçek uygulamalarda gerek şekil değişimi sırasında iç şekil değişimi işini gerekse sürtünme etkisini hesaba katmak gerekmektedir.

Endirekt ekstrüzyonda sürtünmenin yokluğunda birim şekil değişimi hesabında aşağıdaki deneye dayalı ifadeden yararlanılmaktadır:

$$\varepsilon = a + b \cdot \ln R$$

Burada $a=0.8$, b ise kalıp açısına bağlı olarak 1.2 ile 1.5 arasındaki değerleri almaktadır. Istampaya yüzeyine gelen basınç ise,

$$p = \sigma(a + b \cdot \ln R)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Direk ekstrüzyonda ise sürtünmenin etkisi katılmalıdır. Aşağıdaki analizde sol taraf sürtünme nedeniyle gerekli ekstrüzyon kuvvetindeki artış, sağ taraf ise kovanda takozun hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvveti verilmektedir ve bunların birbirine eşit olduğu kabulü yapılmaktadır.

$$p_s \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \right) = \mu \cdot p_c \cdot (\pi \cdot D_0 \cdot L)$$

Burada p_f sürtünmeden gelen ek basınç, μ sürtünme katsayısı, p_c kovan yüzeyine etkiyen basınç, L takoz boyu ve $(\pi \cdot D_0 \cdot L)$ takozun sürtünme yüzeyi alanıdır. En kötü durumda sürtünmenin çok yüksek yani yapışma durumunun geçerli olduğu halde sürtünme gerilmesinin takoz malzemesinin

kesme akma gerilmesine (τ) eşit olduğu düşünüldüğünde bağıntı,

$$p_s \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \right) = \mu \cdot p_c \cdot (\pi \cdot D_0 \cdot L) = \tau \cdot (\pi \cdot D_0 \cdot L)$$

şeklini alır. Ayrıca kesme akma gerilmesinin malzemenin normal akma gerilmesinin yarısına eşit olduğu varsayılacak olursa sürtünme kaynaklı basınç artışı;

$$p_f = \sigma \frac{2L}{D_0}$$

olarak hesaplanır. Bu durumda toplam ekstrüzyon basıncı,

$$p = \sigma \left(\varepsilon + \frac{2L}{D_0} \right)$$

olup bu durumda ekstrüzyon kuvveti F (N)

$$F = p \cdot A_0$$

ve işlemi gerçekleştirmek için gerekli güç P (J/s) ise

$$P = F \cdot v$$

olarak hesaplanır. Burada v (m/s) ıstampanın hızıdır.

Kuvvet hesabında bir de kesit faktörü K dikkate alınmalıdır.

$$K = 0.98 + 0.02 \left(\frac{C_X}{C_C} \right)^{2.25}$$

Ampirik olarak yukarıdaki gibi tanımlanabilen bu bağıntıda C_x ürün kesitine ait çevre uzunluğu, C_c ise kesit alanının dairesel olarak düşünüldüğünde sanal olarak elde edilecek olan çemberin uzunluğudur. Katsayılar ve üstel ampirik değerlerdir. Bu ilişki $\frac{C_x}{C_c}$ oranının 1 ile 6 değerleri arasında geçerlidir. Bu durumda ekstrüzyon kuvveti:

a. Endirekt durumda ve sıcakta:

$$F = \sigma.K.\varepsilon.A_0$$

Soğukta

$$F = \sigma_{ort}.K.\varepsilon.A_0$$

Olarak hesaplanmaktadır.

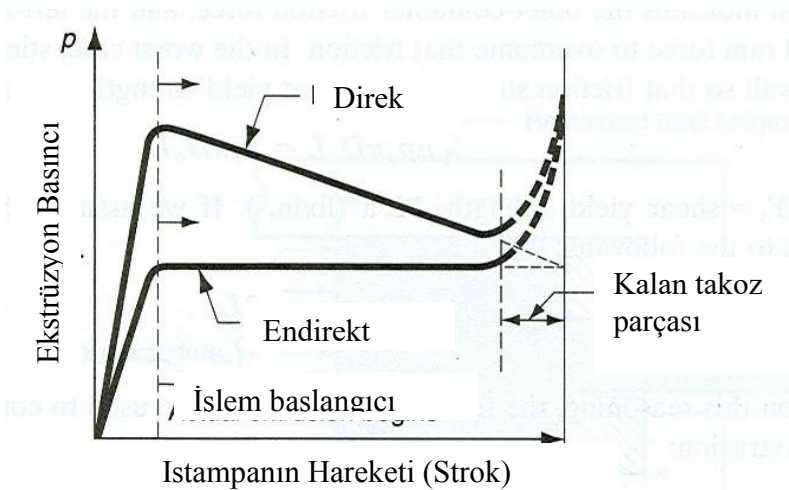
b. Direk durumda ve sıcakta:

$$F = \sigma.K.\left(\varepsilon + \frac{2.L}{D_0}\right).A_0$$

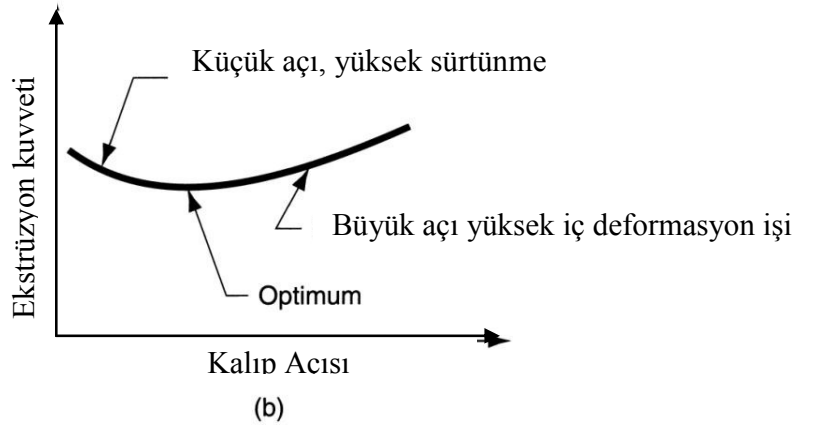
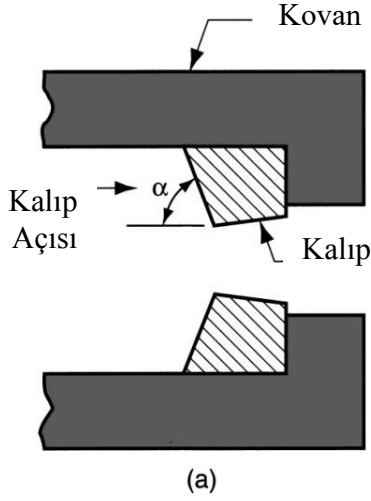
Soğukta ise

$$F = \sigma_{ort}.K.\left(\varepsilon + \frac{2.L}{D_0}\right).A_0$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

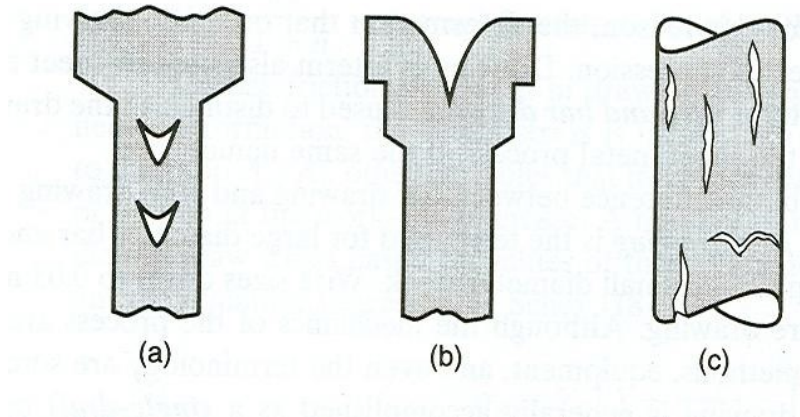


Ekstrüzyon kalıplarının bazıları açılı olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bazılarında ise düz kalıplar ($\alpha=90^\circ$) kullanılmaktadır. Genellikle alüminyum ve alaşımları için düz kalıplar kullanılırken çelik pirinç gibi malzemelerin ekstrüzyonunda açılı kalıplar tercih edilmektedir.



Buradan da görüleceği gibi kalıp açısı seçiminde sürtünmenin ve iç deformasyon işinin dengelendiği optimum değer dikkate alınmaktadır. Optimum açının belirlenmesinde aynı zamanda yağlama ve işlem sıcaklığı da etkin olmaktadır.

Ekstrüzyon işleminde başlıca üç tip kusur oluşumu meydana gelebilir:



1. Yukarıda (a) şeklinde olduğu gibi merkezde ok başı şeklindeki çatlaklar: Bunun nedeni yetersiz redüksiyondur (şekil değişimi miktarı). Örneğin ekstrüzyon oranının 10'dan düşük olması durumunda işlem sırasında yüzeydeki sürtünme kuvvetleri malzemenin merkezinde ikincil çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olur. Bunun büyük değerler almasıyla merkezde eksen boyunca çatlaklar görülebilir.

2. Yukarıda (b) şeklinde olduğu gibi takoz sonuna kadar basıldığı durumda ortadan kolayca ve daha fazla akan malzeme merkezde ürünün sonuna doğru boru oluşumuna neden olur. Bu yüzden takozu sonuna kadar basmamak gereklidir.

3. Yağlamanın yetersiz olduğu durumda yukarıdaki (c) şekilden de görüleceği gibi, sıcaklığın özellikle yüksek deformasyon hızları nedeniyle arttığı durumlarda yüzey çatlaklarına da rastlanabilir.

Ekstrüzyon işlemlerinde çoğunlukla yatay, hidrolik ekstrüzyon preslerinden yararlanılır. Bu tür presler 500 ile 4000 ton aralığında basma kapasitesine sahiptir. Sıcak ekstrüzyonda takozların ısıtılmasında fırınlardan veya endüksiyon ısıtma donanımından yararlanılmaktadır. Gene sıcak ekstrüzyon işleminde kovanlarda takozun ısı kaybını önlemek için ısıtma tertibatı da bulunmaktadır. Yardımcı donanım olarak ayrıca ürün çıkışında ani soğutma ve gerdirme üniteleri de kullanılabilmektedir.

4. ÇUBUK ve TEL ÇEKME

Bu işlemle çubuk veya telin kesit alanı küçültülmekte ve boyu uzatılmaktadır. Ekstrüzyona prensip itibarıyla benzetmekle birlikte ekstrüzyonda işlem takozun ittirilerek basılmasıyla gerçekleşirken burada işlem çubuk veya telin kalıp sonrasında tutulup çekilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Çekme işleminde çekme gerilmeleri etkin olmakla birlikte dolaylı olarak kalıpta şekillenme sırasında basma gerilmeleri de rol almaktadır.

