

BÖLÜM 1

ÜRETİM KAVRAMI

1.1 GİRİŞ

İnsanoğlu tarihin eski çağlarından itibaren çeşitli aletler kullanarak hayatını daha kolaylaştırmaya ve güzelleştirmeye çalışmıştır. Bu amaçla öncelikle doğada doğrudan bulduğu malzemeleri kullanmış, daha sonraları ise geliştirdiği yöntemleri kullanarak yeni malzemeler üretmiş ve bunları kullanmaya başlamıştır. Sanayi devrimiyle birlikte üretimin daha büyük miktarlarda yapılması anlayışı öne çıkmış, böylece makineleşme yaygınlaşarak çeşitli modern üretim yöntemlerinin oluşturulması sağlanabilmiştir.

Ülkemizdeki sanayileşme çalışmaları özellikle Cumhuriyetle birlikte hızlanmış ve küçümsenemeyecek atılımlar yapılarak önemli başarılarla imza atılmıştır. Önceleri gümrük duvarlarıyla yapılan koruma, 1996 Avrupa Gümrük Birliğiyle birlikte ortadan kalkmıştır. Bunun sonucunda yerli üreticilerin rekabet gücünü koruyabilmeleri, yapacakları araştırma-geliştirme çabalarına ve bunların başarılarına bağlı hale gelmiştir

1.2. ÜRETİM

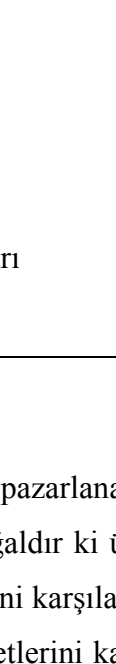
1.2.1. Üretim Aşamaları

Sanayi anlamı ile üretim, eldeki hammaddenin işlenerek istenilen özellik ve biçimdeki bitmiş ürün haline getirilme süreci olarak tanımlanır (Goetsch, 1991). Üretimin birbirinden farklı 3 aşaması mevcuttur:

- 1) Başlangıç (Hammadde)
- 2) Proses (Süreç)
- 3) Sonuç (Ürün)

Bu aşamaların içerikleri Çizelge 1.1.'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Üretim aşamaları ve içerikleri (Goetsch, 1991)



BAŞLANGIÇ	PROSES	SONUÇ
<ul style="list-style-type: none">• Talep• Hammadde• Sermaye• Enerji• Zaman• İnsan kaynakları	<ul style="list-style-type: none">• Tasarım• Planlama• İşleme• Yönetim• Pazarlama	<ul style="list-style-type: none">• Alıcıya ulaşım• Tamamlayıcı ürünler• Kullanım konusunda bilgilendirme

İlk aşama, pazarlanabilir bir ürün elde edebilmek için gerekli olan tüm şartları kapsar. Ancak doğaldır ki ürün için öncelikle bir talep veya ihtiyaç olmalı ve bu talep yatırım maliyetlerini karşılamalıdır. Ürün tüm ülkenin ihtiyacını karşılayacak halde iken bile yatırım maliyetlerini karşılayamıyorsa üretimin gerçekleşmesi söz konusu değildir. Bu şart sağlanırsa gerekli hammaddeye bir şekilde ulaşılır. Üretime geçmeden fizibilite çalışması yapılması gereken diğer alt kısımlar ise enerji kaynakları, zaman ve insan kaynakları olarak sıralanabilir.

Proses aşaması da çeşitli kısımlara ayrılır. İlk karşımıza çıkan kısım tasarımıdır. Tasarım temel hareket noktası seçilerek değişik planlar gerçekleştirilir ve bunlar süreç aşamasının işleme kısmında yerine konur. Kaynakların ve prosesin doğru yönetilmesi verimlilik ve üretkenliğin artırılması bakımından oldukça önemlidir. Sürecin son kısmını pazarlama oluşturur. 3. ve son aşama ürün aşamasıdır. Bu aşamanın ilk kısmı ürünün alıcıya ulaştırılmasıdır. Ürünün niteliğine bağlı olarak tamamlayıcı diğer ürünler tarafından desteklenmesi gerekebilir. Yine ürünün kullanma karmaşıklığına bağlı olarak kullanım konusunda bilgilendirme bölümüne ihtiyaç duyulabilir (Altınbalık, 2000).

1.2.2. Üretim Malzemeleri

Genel anlamda, belirli bir üretimin gerçekleştirilmesi için gereksinme duyulan maddelerin tümüne malzeme denir. Teknik dilde ise malzeme sözcüğünden özellikle, mühendislik yapıtlarının gerçekleştirilmesi için gerekli katı maddeler anlaşılmaktadır. Her dönemin tekniği ve dolayısıyla bir anlamda uygarlığı o dönemde kullanılan malzemelerle büyük ölçüde sınırlanmıştır. Bu durum tarihten önceki taş, tunç (bronz) ve demir çağlarında açıkça görüldüğü gibi, sonraki dönemlere ilişkin önemli teknik aşamalar da aynı savı doğrular niteliktedir. Örneğin demiryollarının çelik üretimindeki ilerlemeye, ses üstü (süpersonik) uçakların yapımının titanyum alaşımlarının geliştirilmesine, elektronikte atılan büyük adımların yarı iletkenlerin bulunmasına bağlı olması gibi (Güleç, 1985).

Mühendislikte kullanılan malzemeler temel olarak iki kısma ayrılır. Bunlar; metal esaslı malzemeler ve metal dışı malzemelerdir. Metal esaslı malzemeler;

- Demir esaslı metalsel malzemeler
- Demir dışı metalsel malzemeler
- Yüksek alaşımlı metalsel malzemeler
- Toz metal malzemeler

olarak dört bölüme ayrılırken, metal dışı malzemeler ise

- Plastikler

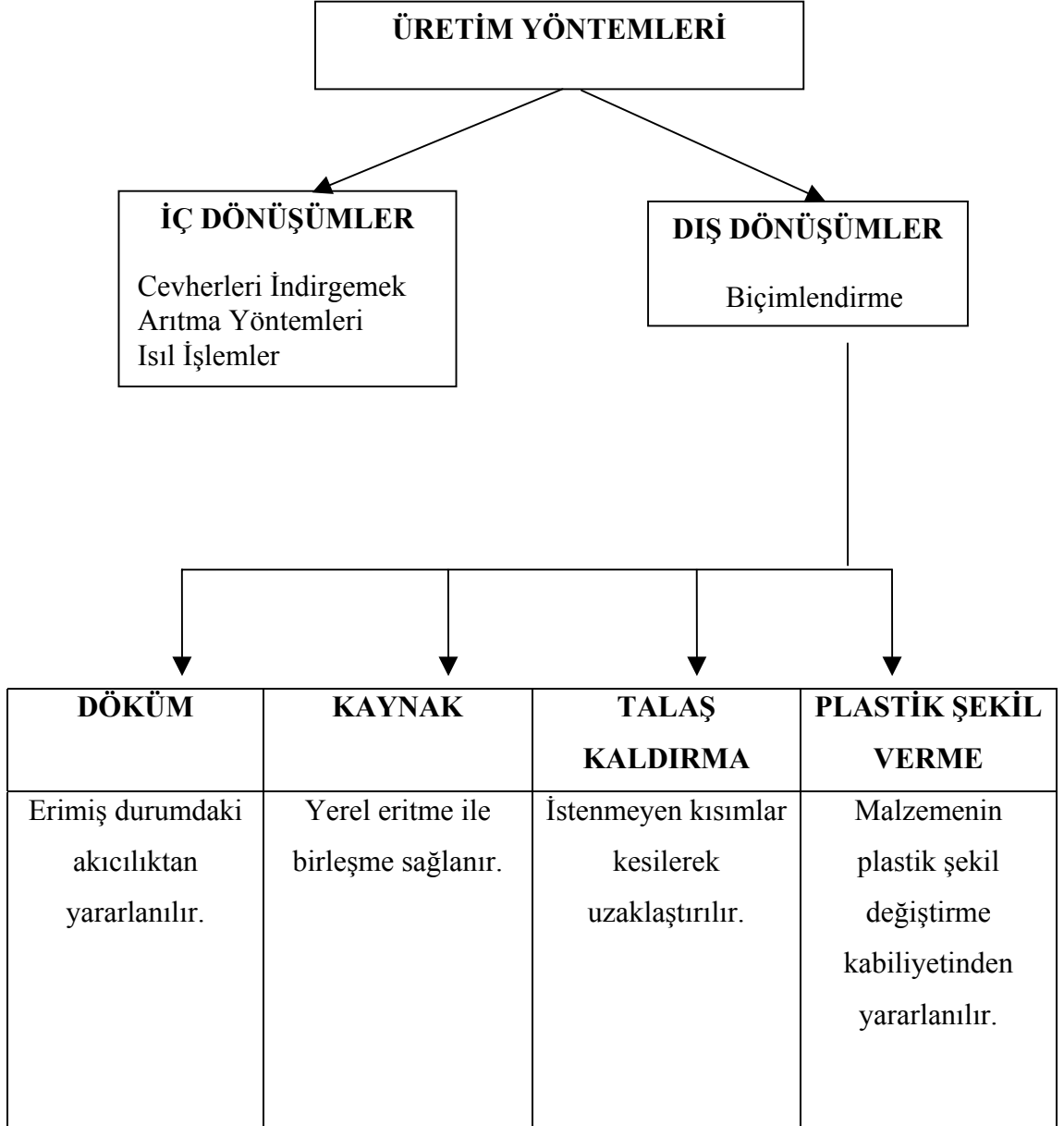
- Elastomerler
- Kompozitler
- Seramikler ve camlar, şeklinde sıralanabilir.

1.2.3. Üretim Yöntemleri

Son yıllarda, günümüz yaşam standartlarında sağlanmış inanılmaz artış büyük ölçüde yüksek kaliteli ürün tasarımı ile bunların seri ve ucuz olarak üretimini sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi sayesinde gerçekleşmiştir. Üretim yöntemlerini tanımak, yalnızca makine mühendisleri için değil, diğer mühendislik dalları içinde kaçınılmazdır. Mühendisler üretim yöntemlerinin her birinin üstünlüklerini, sınırlarını, olanaklarını tanıyarak amaçladıkları tasarıma en ucuz ve doğru ulaşmak için gerekli bilgileri edinmek zorundadırlar.

Mühendislik disiplini içinde üretim yöntemlerini iç ve dış dönüşümler olarak iki gruba ayırarak inceleyebiliriz. İç dönüşümler genellikle cevherlerin indirgenmesi, kimyasal arıtma, ısı işlemler gibi maddelerin kimyasal dönüşüme uğratıldıkları üretim teknikleridir. Dış dönüşümler ise malzemelerin istenilen biçim ve boyutlara sokulması anlamında olup, teknik terminolojide bu teknikler için genellikle üretim yöntemleri adı kullanılmaktadır. Birçok değişik yöntem içeren üretim yöntemlerinin başlıcaları döküm, kaynak, plastik şekil verme ve talaş kaldırma yöntemleridir. Şekil 1.1.'de üretim yöntemleri ile ilgili bilgiler gösterilmektedir.

Yukarıda bahsedilen üretim yöntemlerinin genel olarak bir sınıflandırmasını yapmak istediğimizde temel olarak 6 grubun var olduğu görülmektedir. Üretim yöntemlerinin sınıflandırılması Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir (Lange, 1985).



Şekil 1.1. Üretim yöntemleri (Aran, 1993)

Çizelge 1.2. Üretim yöntemlerinin sınıflandırılması (Lange, 1985)

	Bütünlüğün Yaratılması	Bütünlüğün Korunması	Bütünlüğün Bozulması	Bütünlüğün Arttırılması
ÜRETİM YÖNTEMİ GRUPLARI	Grup 1 Birincil biçimlendirme	Grup 2 Biçim Değiştirme	Grup 3 Ayırma Grup 6 Malzeme özelliklerinin değiştirilmesi, yani partiküllerin a) İlavesi b)Uzaklaştırılması c) Düzenlenmesi	Grup 4 Birleştirme Grup 5 Kaplama

Grup 1. Birincil Biçimlendirme

Bu grup içinde gaz veya sıvı halden veya belirsiz rastgele şekilli katı parçacıklardan orijinal (birincil) şeklin yaratılması, başka bir deyişle de malzeme parçacıkları arasındaki bütünlüğün oluşturulması ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır.

Bu grup üretim yöntemlerine döküm, toz metalurjisi ve kompozit malzeme imalinde kullanılan bir takım özel teknikler girer.

Grup 2. Biçim Değiştirme

Bu grup yöntemler içinde belirli bir şekildeki bir katı cismi, kütlesini veya bileşimini değiştirmeden başka bir şekle dönüştürme ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır. Plastik şekil verme yöntemleri bu grupta yer alır.

Grup 3. Ayırma

Malzemenin ana kütlede kopartılması veya talaşı biçimlendirme yani bağlantının ortadan kaldırılması ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır. Taşlama ve talaşı şekil verme bu grupta yer alır.

Grup 4. Birleştirme

Çeşitli ve ayrıık iş parçaları arasında bağlantı oluşturarak başka iş parçaları veya elemanlar oluşturmak ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır. Kaynak ve lehimleme bu grupta yer alır.

Grup 5. Kaplama

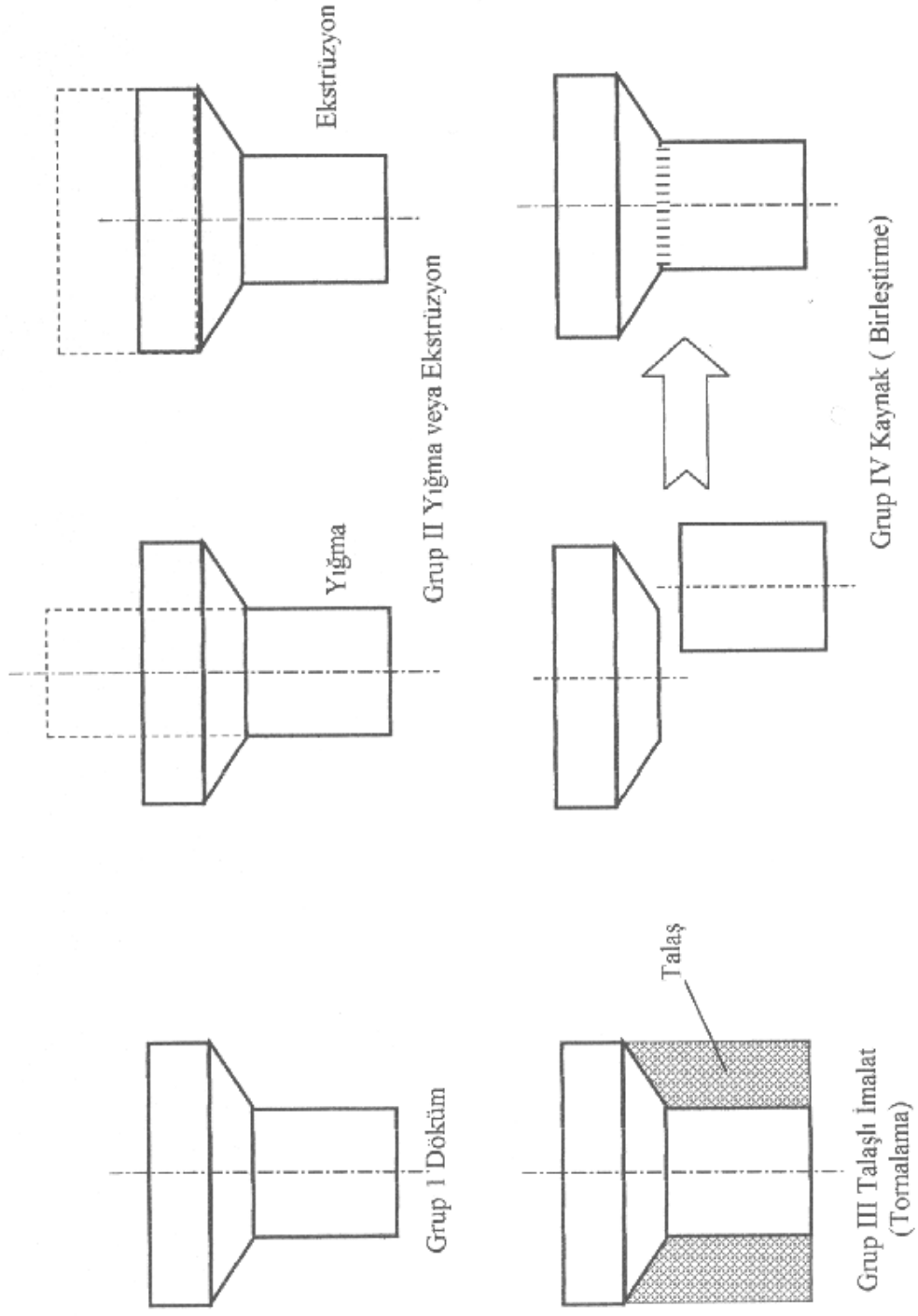
İş parçasına galvaniz çekme, boyama ve plastik tabakalar kaplama gibi ince tabakalar uygulayarak iş parçası ile kaplama malzemesi arasında bağ oluşturmak söz konusu olur.

Grup 6. Malzeme Özelliklerinin Değiştirilmesi

Üretim yönteminin belli bir aşamasında, iş parçasında optimum özellikler elde etmek amacıyla malzeme özelliklerinin değiştirilmesi ile ilgili yöntemler anlaşılır.

Bu yöntemlerde difüzyon benzeri mekanizmalarla malzemedeki parçacıklar çıkarmak, parçacıklar ilave etmek veya parçacıkların yeniden düzenlenmesi ile ilgili işlemler yer alır.

Üretim teknolojisinde 1-4 arasında yer alan gruplarda belirli bir parçayı gerekli toleranslar ve yüzey koşullarında ve malzeme özelliklerinden en ekonomik olarak yararlanmak kaydıyla ne şekilde elde edilebileceği problemi ile karşı karşıya kalınır. Bu aşamada, üretim miktarına ve üretim şartlarına bağlı olmaksızın basit bir sıvıtanın ilk dört grup üretim yöntemi kullanılarak üretilbileceği örneğini verebiliriz (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2 Bir civatanın değişik üretim yöntemleri kullanılarak üretimi (Lange, 1985)

BÖLÜM 2

PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ

2.1. ÜRETİM YÖNTEMİ OLARAK PLASTİK ŞEKİL VERME

Plastik şekil verme, metallere katı durumda ve hacimleri sabit kalacak şekilde yapılan bir şekillendirme işlemidir. Katı durumdaki metalin sürekliliği bozulmadan, yani kırılma ve ayrılma olmadan şekillendirilebilmesi için malzeme plastik şekil değiştirme kabiliyetinin iyi bilinmesi, bunun yanında ayrıca işlem için gerekli basınç ve kuvvet seviyelerinin de bilinmesi önemlidir. Yöntemin başarısı için malzeme özellikleri ile işlem parametrelerinin birbirine uygun olarak seçimi çok önemlidir.

Karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum, çinko, bakır ve bunların alaşımları gibi demir dışı malzemeler plastik şekil verme yöntemleri ile şekillendirilebilmektedir.

Malzemelere plastik şekil vererek üretim; sağladığı yüksek mekanik özellikler, yüksek üretim hızı, iyi yüzey kalitesi, dar tolerans aralıkları, düşük parça başı maliyet ve hemen her geometride parçanın üretilebilmesi gibi avantajları nedeniyle en çok tercih edilen üretim yöntemlerinin başında yer almaktadır.

Aşağıdaki liste plastik şekil değiştirme ile üretilen iş parçalarının en önemli uygulama alanlarını teknik önemi ile birlikte vermektedir:

1) Otomobil parçaları ve makine takımları yapımında kullanılması (Burada metal biçimlendirme hafif alaşımların dizaynının gelişiminde önemli bir bağ oluşturmaktadır),

2) Çekiçler, tornavidalar, el takımları ve tıbbi cihazların yapımında kullanılması,

3) Cıvata vida ve perçin gibi bağlama elemanlarının yapımında kullanılması,

4) Metal kutular ve içecek kutularının yapımında kullanılması,

5) Tünel açma ve madencilik kollarında parça imalatında kullanılması,

6) İnşaat sektöründe kapı ve pencere tutucuları, kornişler gibi elemanların imalatında kullanılması.

Üretilecek parçaların boyutları ve malzemelerine göre bir takım ayrılıklar görülmesine rağmen plastik şekillendirme yöntemlerinin başlıca karakteristik noktaları şu şekilde sıralanabilir:

1) Şekil değiştirme için gerekli gerilme ve kuvvet değerleri çok büyüktür. Gerilmeler 50-2500 Mpa arasında değişmektedir. İş parçasının tümü veya çok büyük bir kısmı deforme edildiği için gerekli kuvvet değerleri de çok yüksektir. Örneğin yüksek kapasiteli bir planyada kesme kuvvetleri ancak birkaç kN'a çıkabildiği halde basit bir kalıpta kesme işlemi için kullanılan küçük bir eksantrik preste en azından 20 kN gibi bir kuvvet söz konusudur.

2) Parçaların büyük bir kısmı tamamıyla yeni bir biçim alır. Büyük kuvvetlerle çalışıldığı için takımlar genellikle çok büyük, ağır ve dolayısıyla da çok pahalıdır. Metal biçimlendirme kalıplarının üretimi, iyi donanımlı bir atelyeye ve çok kalifiye elemanlara ihtiyaç duyar. Çünkü kalıp üretimindeki tolerans aralığı oldukça dardır.

3) Kalıp maliyeti kısmı, parça sayısına bağlı olmaksızın halledilmesi gereken bir meseledir. Alet, donanım ve kalıpların pahalı olması nedeniyle üretilecek parça sayısının belli bir minimum değerden fazla olması gerekir. Bu minimum üretim sayısı sağlandığı takdirde şekil değiştirme yöntemleri avantajlı duruma geçer.

Teknolojik çağda parçalardan beklenen özelliklerin değişmesi sonucu değiştirilen birçok yeni malzeme de şekil değiştirme yöntemleri ile biçimlendirilmektedir. Böylece ekonomik ve yüksek kaliteli parça ile biçimlendirme yöntemi birbirine bağlı iki unsur olduğu söylenebilir. Biri geliştikçe diğerini de beraberinde sürükler.

Plastik şekil değiştirme işlemleri başlıca iki gruba ayrılır: Bunlar kütle biçimlendirme ve sac şekillendirme işlemleridir. Kütle biçimlendirmede iş parçası genellikle bütün doğrultularda ve büyük miktarda şekil değiştirerek büyük kesit değişiklikleri ortaya çıkar. Buna karşılık sac şekillendirmede sac parçalar hemen hemen eşit cidar kalınlıklarında içi boş parçaların üretiminde kullanılır.

Kütle biçimlendirme işlemleri çok eksenli basma yükleriyle karakterize edilebilir. Karşılaşılan kuvvetler sac şekillendirmeye göre genel olarak oldukça yüksektir. Plastik şekil değişimi, sıcak, ılık ve soğuk şekil verme olarak gerçekleştirilebilir.

Yukarıdaki sınıflamanın dışında biçimlendirme işlemlerindeki etkin gerilme türünün esas alındığı başka bir gruplandırma da söz konusudur. 5 etkin gerilme haline göre hazırlanan bu gruplandırma Şekil 2.1.'de verilmiştir:

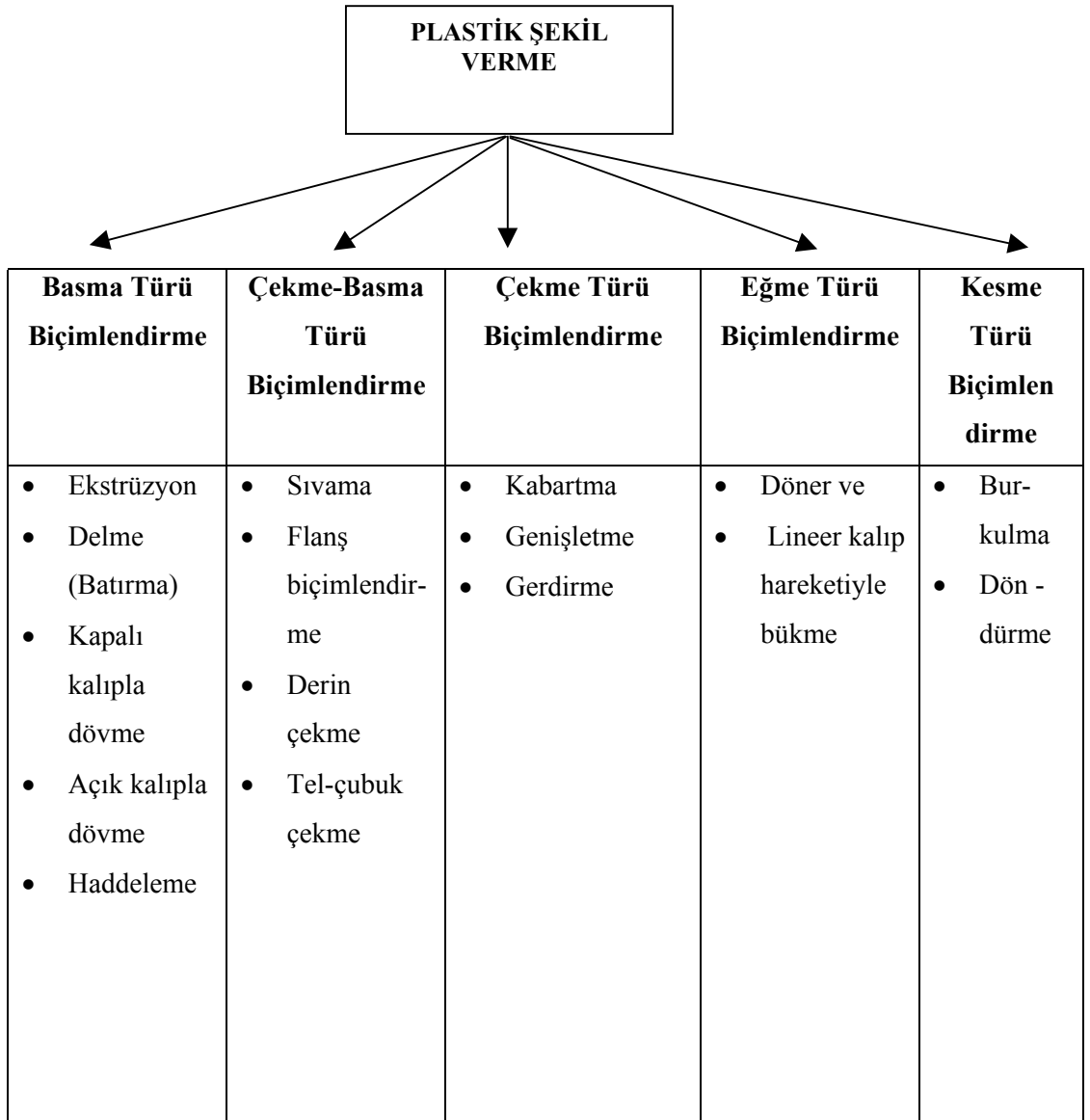
1) Basma türü biçimlendirme işlemleri: Bu gruptaki biçimlendirmelerde iş parçası veya hammadde esas olarak tek veya çok eksenli basma gerilmelerinin etkisi altında şekil değiştirir.

2) Birleşik çekme ve basma türü biçimlendirme işlemleri: Bu başlık altındaki şekillendirme işlemlerinde iş parçasının şekil değişimi esas olarak birleşik tek veya çok eksenli çekme ve basma gerilmelerinin etkisiyle sağlanır.

3) Çekme türü biçimlendirme işlemleri: Bu yöntemlerde iş parçasının şekil değişimi tek veya çok eksenli çekme gerilmeleri etkisinde oluşur.

4) Eğme türü biçimlendirme işlemleri: İş parçasının eğilme gerilmeleri etkisiyle şekil değiştirdiği işlemler bu gruba girer.

5) Kesme türü biçimlendirme işlemleri: Anlaşıldığı üzere, şekillenen iş parçalarında kayma veya kesme gerilmeleri daha etkindir.



Şekil 2.1. Etkin gerilme türüne göre plastik şekil verme yöntemleri (Lange,1985)

Üretim yöntemleri içinde Plastik Şekil Vermenin yeri ile öneminin ana hatlarıyla ve kısaca açıklandığı bu bölüm, sunulan çalışmanın alanını da belirlemiştir. Bölüm 1.2.3. ve Şekil 1.2.'de de belirtildiği gibi, herhangi bir parçanın çeşitli yöntemlerle üretilmesi mümkün olduğunda hangi yöntemin seçileceği kararı mevcut olanakların değerlendirilmesiyle birlikte ekonomik kaygıları da rol oynar. Bazı durumlarda parçaların tümüyle belirli bir yöntemle üretilmesi yerine değişik üretim yöntemlerinin birbirini takip eden sıralarla kullanılması mümkün ve hatta daha ekonomik olabilir.

Plastik şekil verme, diğer üretim yöntemlerine göre şu belirgin karakteristikleri içermektedir :

a . Bu yöntemde malzemenin kütle ve hacmi sabit kalır, yalnızca şekli değişir.

b . Yöntem yüksek sıcaklıklarda uygulanırsa, malzemenin birincil katılaşması sırasında oluşmuş boşluk ve gözenekler (eğer oksitlenme olmamışsa) kapanır. Ayrıca iri ve çubuksu taneler de kırılarak, yeniden kristalleşme sonucunda kaba döküm yapısı yerini ince taneli, homojen bir iç yapıya bırakır. Bunun sonucu olarak mekanik özelliklerde (akma dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, darbe dayanımı, kırılma tokluğu, süneklik vb.) önemli iyileşmeler görülür.

c . Plastik biçimlendirme soğuk olarak uygulanırsa meydana gelen pekleşmeden faydalanarak malzemenin dayanımı artırılabilir.

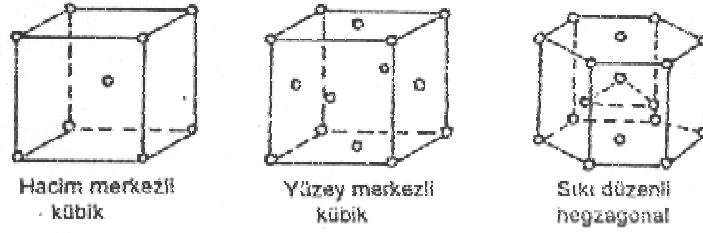
d . Plastik şekillendirme yöntemleriyle dar toleranslara sahip hassas parçalar üretilebilir. Özellikle soğuk şekillendirmeye çok kaliteli yüzeyler elde edilebilir.

e . Yöntemin uygulanmasında kullanılan tezgah ve takımlar (pres, hadde, şahmerdan, kalıplar vb.) pahalı olduğundan, yöntem genellikle seri üretim için ekonomiktir.

2.2. PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞTİRME MEKANİZMALARI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN AÇIKLANMASI

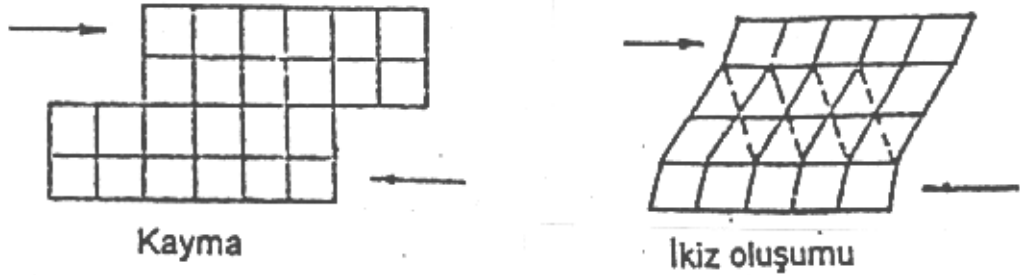
2.2.1. Plastik Şekil Değişirme Mekanizması

Metaller esas olarak, atomların belirli düzenlerde bir araya gelmesiyle oluşan kristal kafeslerden oluşur. Atomların kafes içerisindeki diziliş biçimlerine göre hacim merkezli, yüzey merkezli, sıkı düzenli hegzagonal gibi kafes tipleri vardır (Şekil 2.2.)



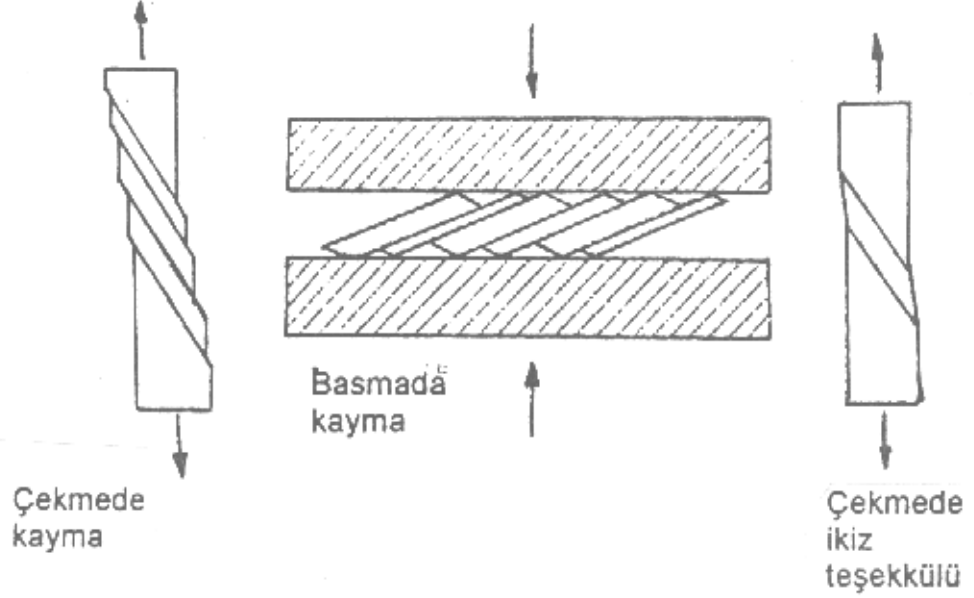
Şekil 2.2. Temel kafes türleri (Anık, 1994)

Kristal kafesleri bir araya gelerek taneleri, taneler de bir araya gelerek malzemeyi oluştururlar. Şekil değişimi, bu kristal kafeslerinin birbirine göre hareket etmesiyle oluşmaktadır. Kafeslerin hareketleri kayma, ikiz oluşumu ve ikisinin birlikte olması ile oluşabilir. Şekil 2.3.'de bu hareketler şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.3. Şekil değişiminde kafes hareketleri (Anık, 1994)

Kuvvet etkisi olmayan kübik kafeste düzlemler arasındaki açı dik açıdır. Kaymada; kuvvet etkisiyle kristal kafesler birbiri üzerinde kayar ve kafes düzlemleri arasındaki açı 90^0 dır. İkiz oluşumunda ise; kafes düzlemleri birbiri üzerinde kaymaz, fakat aralarındaki açı değişir. Makro seviyede bu hareketler şekil 2.4.'deki gibidir.



Şekil 2.4. Şekil değişiminde makro hareketler (Anık, 1994)

Kayma düzlemleri arasında birçok kayma olmayan düzlem bulunmaktadır. Kaymalar ilerledikçe; kafeslerin şekil değiştirme kabiliyeti azalır, sonunda düzlemler arasında ayrılma oluşur ve parça kopar. İkiz oluşumu, birbirine dikey olan düzlemler arasında meydana gelemez. Yüzey merkezli kübik, hekzagonal ve rombik kristal kafeslerde meydana gelir.

Kaymayı açıklayan şekil incelenirse; iki düzlemin birbirine göre kayma düzlemlerinde ilerleyebilmesi için, o düzlemlerde var olan bütün atomların bağlarının kopması gerekmektedir. Bu işi sağlamak için gerekli

kuvvet hesaplandığında, bunun deneyle bulunandan çok daha büyük (100 ila 1000 defa) olduğu görülmektedir. Bu fark, dislokasyon adı verilen kafes hatalarına bağlanmıştır. İlk zamanlarda teorik olan bu düşünce, bugün artık elektron mikroskopuyla görülmüş ve kanunları ortaya konmuştur. Dislokasyona sahip bir kafes sisteminde bütün düzlemde kaymayı sağlamak için, gerekli kuvvetin sadece birkaç atomun bağımlı koparabilecek düzeyde olması yeterli olmaktadır. Parça üzerinde görülebilir bir deformasyonun olabilmesi için, çok büyük sayıda dislokasyonun olması gerekir. Son araştırmalar göstermiştir ki; normalize edilmiş bir malzemede dislokasyon yoğunluğu $10^6 - 10^8$ cm/cm³ düzeyindedir.

Kaymalar, kafeslerin atom yoğunluğunun en yüksek olan düzlemlerinde meydana gelir. Bunun sebebi; bu düzlemlerde atomlar arası mesafe kısaldığı için, dislokasyon adımı da kısalmakta ve daha az bir kuvvet dislokasyonu harekete ettirebilmektedir.

2.2.2. Plastik Şekil Değişimine Etki Eden Faktörler

Malzemelerin plastik şekil değişimi karşısındaki davranışları; malzemenin kimyasal bileşim ve iç yapısı, şekil verme sıcaklığı, şekil verme hızına ve sürtünme şartlarına bağlıdır. Malzemenin kimyasal bileşim ve iç yapısına göre; malzeme ya kolayca şekil değiştirir ve istenen biçimi alır, ya da zor şekil değiştirir ve istenen biçimi almadan kırılır. Şekil değişimi sırasında malzemenin sıcaklığına bağlı olarak plastik şekil değişimi, “soğuk şekil değiştirme” ve “sıcak şekil değiştirme” olarak ikiye ayrılır. Malzeme akışı da kalıplar tarafından uygulanan yüksek basıncın etkisiyle oluşur. Malzeme-kalıp ara yüzeylerindeki sürtünme şartları malzeme akışını, basınç dağılımını, yük ve enerji büyüklüklerini etkiler (Akata, 1987).

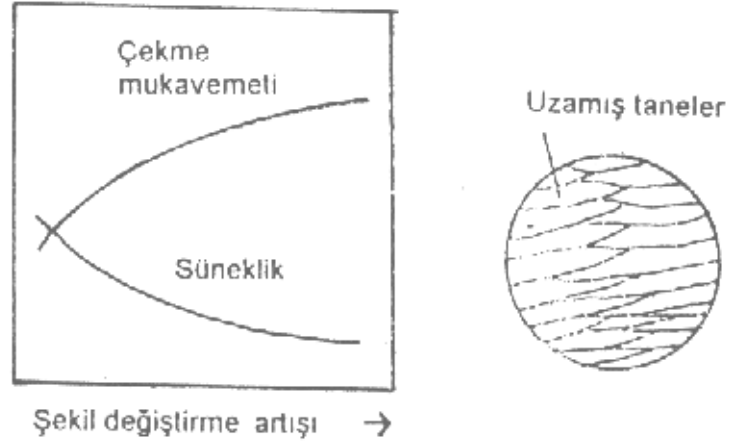
2.2.2.1. Plastik Şekil Değiştirmeye Sıcaklığın Etkisi

Sıcak şekil değiştirmede; şekil değişiminin ortaya çıkardığı iç yapı ve mekanik özelliklerdeki değişimler şekil değişimi sırasında ortadan kalkar ve malzeme şekil değişiminden önceki özelliklerine sahip olur. Soğuk şekil değiştirmede ise; şekil değişimi sonundaki özellikler, başlangıçtaki

özelliklerden farklıdır ve herhangi bir işlem yapmadan eski özelliklerini kazanamaz.

2.2.2.1.1. Soğuk Şekil Değiştirme

Soğuk şekil değiştirmede, kuvvetin etkisi altında malzemenin kristal kafeslerinde kayma, ikiz teşekkülü veya her ikisi birden meydana gelir. Bunun sonucunda taneler uzar. Şekil değişiminin ilerlemesiyle; malzemenin şekil değişimine karşı mukavemeti artar. Eğer şekil değişimine devam edilirse, malzemede çatlama ve yırtılmalar oluşabilir. Soğuk şekil



değişimi sonunda malzemenin mukavemeti ve sertliği artar, sünekliği azalır (Şekil 2.5.).

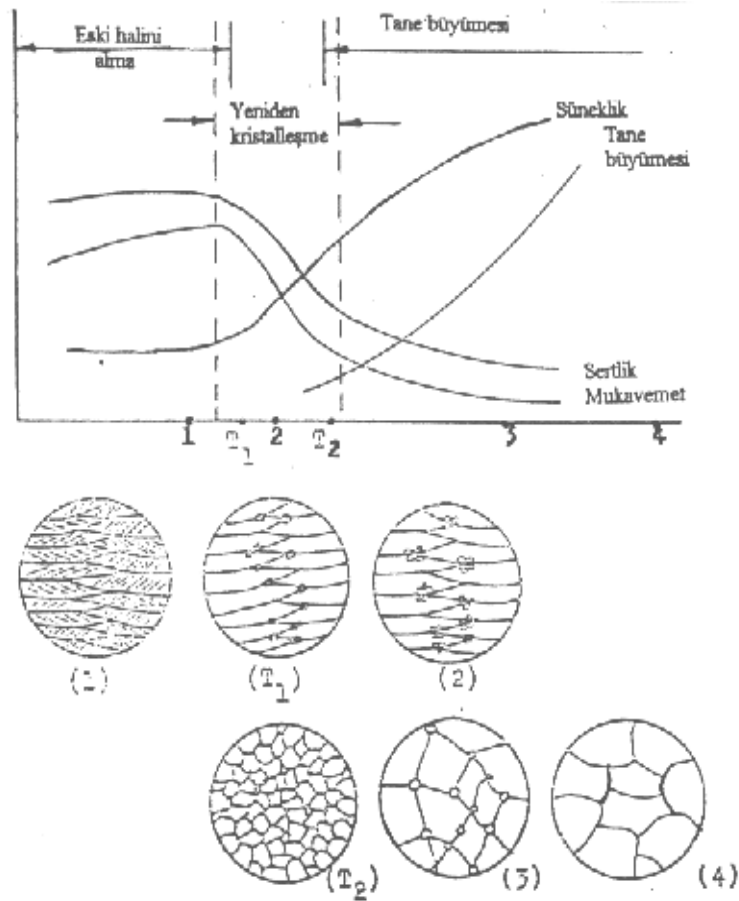
Şekil 2.5. Soğuk şekil değiştirmede özellik değişimi (Anık, 1994)

Soğuk şekil değiştirme sonunda sertliğin artması, “şekil değiştirme sertleşmesi” (pekleşme) olarak adlandırılır. Sertleşme miktarı malzemenin cinsine de bağlıdır. Alaşım elemanı ilavesi malzemenin akma sınırını yükselttiğinden, alaşımlı malzeme alaşımsız malzemeye göre daha fazla sertleşir. Soğuk şekil değişimi sonunda metallerin sertleşme ve mukavemetinin artmasını açıklayan çeşitli teoriler bulunmaktadır. Bunlardan en eskilerinde kafesin bozulması, iç gerilmelerin oluşumu ve kayma düzlemleri civarında parçalanmış kafeslerin oluşturduğu amorf metalin şekil değiştirmenin devamını güçleştirilmesi bu sertleşmenin sebepleri olarak belirtilmektedir.

Bugünkü teoride ise, sertleşmeye birbiri ile karşılaşan ve birbirinin hareketini engelleyen dislokasyonların sebep olduğu ifade edilmektedir.

Plastik şekil değişimi sonunda malzemenin çekme ve yorulma mukavemeti, sertliği, elektriksel direnci ve kimyasal çözünmesi artar; fakat uzama, alan küçülmesi ve sürünme kabiliyetleri azalır. Soğuk şekil değişimi sonunda malzeme yüksek bir iç enerjiye sahip olur ve atomları daha dengeli mevkilere yayılmak isterler. Bu yayılma oda sıcaklığında çok yavaş oluşur. Sıcaklık yükseltirirse, atomların yayılması (difüzyonu) hızlanır ve bunun sonucu olarak malzeme tekrar eski sünekliğini kazanır. Böylece, soğuk şekil değişimine uğramış malzeme ısıtılma yoluyla yumuşatılabilir.

Isıl işlem yapılırken, sertleşmiş malzemenin tekrar eski özelliklerini kazanması



sırasında oluşan olaylar şekil 2.6.'de şematik olarak verilmiştir.

Şekil 2.6. Sıcak plastik şekil değiştirmede, mukavemet ve iç yapı değişimleri

(Anık, 1994)

Düşük sıcaklıklarda (T_1 'in altında) malzemenin iç yapısı değişmemesine rağmen; elektriksel iletkenlik ve mukavemet biraz artar, iç gerilmeler azalır. Bu durum “malzemenin eski halini alması” olarak adlandırılır. Kazanılan mukavemeti kaybetmeden, iç gerilmelerin azaltılması istenilen bir durum olmaktadır. T_1 'de malzeme yumuşamaya başlar. T_1 ve T_2 arasında süneklik artarken, sertlik ve mukavemet aniden düşer. Malzemede oluşan bu değişme aşaması, “yeniden kristalleşme” olarak adlandırılır. Yeniden kristalleşmenin başlangıcında, plastik şekil değişimi sonunda uzamış taneler arasında yeni taneler oluşmaya başlar. Bu tanelerin oluşmaya başladığı sıcaklık “yeniden kristalleşme sıcaklığı” olarak adlandırılır ve metalden metale değişir. Tekrar kristalleşmiş taneler, şekil bakımından düzgündürler, kayma çizgileri içermezler ve genellikle küçüktürler. Tekrar kristalleşme; mekaniksel özelliklerdeki ani değişiklik, uzamış tanelerin kaybolması, kayma çizgilerinin görülmemesi ve tane büyümesi ile tanınır.

Tekrar kristalleşen taneler aynı kafes yapılarını korurlar ve bu sebepten tekrar kristalleşme, faz değişikliğini içine alan ısı işlemlerden farklıdır. Metalin tekrar kristalleşme sıcaklığından ani soğutulmasıyla, sertleşme eğilimi yoktur. Örneğin; soğuk plastik şekil değiştirmiş demir ve yumuşak çelikler yaklaşık $500-700$ °C arasında tekrar kristalleşir. Bu sıcaklık değerleri kritik bölgenin altındadır. Pirinç için soğuk plastik şekil değiştirme oda sıcaklığında olur, molibden ve tungsten malzemelerde 800 °C de yapılan şekil değişimi hala soğuk plastik şekil değişimidir. Açıklama olarak soğuk plastik şekil değişimi, tekrar kristalleşme sıcaklığının altında yapılan şekil değişimidir. Yeniden kristalleşme sıcaklığına etki eden faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

a) Tekrar kristalleşmenin olabilmesi için, belirli bir soğuk şekil değiştirmeye ve sıcaklığa gereksinim vardır.

b) Plastik soğuk şekil değiştirme ne kadar az ise, tekrar kristalleşme sıcaklığı o kadar yüksek olur.

c) Uzun tavlama süresi, gerekli kristalleşme sıcaklığını düşürür. Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi; T_2 sıcaklığına doğru, yeni oluşmuş taneler büyüyerek zorlanmış taneleri ortadan kaldırırlar. T_2 sıcaklığında sertlik ve mukavemeti düşük, sünekliği yüksek tamamen yeni bir yapı oluşur. Metalik malzeme T_2 sıcaklığının üzerinde ısıtıldığı zaman, taneler büyür. Bu olaya “tane büyümesi” adı verilir. En son tane büyüklüğü; uygulanan şekil değişimi oranı, tavlama sıcaklık ve zamanına bağlıdır.

2.2.2.1.2. Sıcak Şekil Değiştirme

Plastik şekil değiştirme tekrar kristalleşme sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta yapılırsa, işleme “sıcak plastik şekil değiştirme” adı verilir. İşlem sırasında şekil değiştirme hızı, derecesi ve sıcaklığı uygun seçilmişse; malzemenin şekil değişimi sonunda sertliği değişmez. Ufak taneli ve yüksek mukavemetli bir yapı elde edilir. Yukarıda sayılan şartların uygun seçilmesiyle; şekil değişimi sonunda oluşan yapı değişikliği, tekrar kristalleşme ile düzeltilmiş olur.

Sıcak şekil değiştirmede, şekil değişimi için harcanan enerji soğuk şekil değiştirmeden daha azdır. Ayrıca sıcak plastik şekil değişimi çatlama olmadan şekil değişebilme kabiliyetini yükseltir ve yüksek sıcaklıktaki hızlı difüzyon ile de döküm, ingot yapıdaki kimyasal homojensizliklerin ortadan kalkmasını sağlar. Hava kabarcıkları ve gözenekler, bu boşlukların birbirine kaynaması ile ortadan kaldırılır ve dökümün uzun, kalın taneleri kırılarak aynı büyüklükte tekrar kristalleşmiş taneler meydana gelir. Sıcak şekil değiştirme sonunda ortaya çıkan değişimler, döküm yapıya nazaran süneklik ve tokluğu artıracak yöndedir.

Yukarıda sayılan avantajların yanında sıcak plastik şekil değişiminin de bazı dezavantajları vardır. Yüksek sıcaklığa kadar ısıtıldığından, metal ile fırın atmosferi arasındaki reaksiyonlar istenmeyen sonuçlar verir. Genellikle sıcak şekillendirme havada yapılır ve oluşan oksidasyondan ötürü, önemli oranda metal kaybı olur. Molibden gibi bazı reaktif metaller oksijenle gevrekleşir, bu sebepten soy atmosfer altında şekil verilmelidir. Çeliklerin sıcak şekillendirilmelerinde yüzeyden karbon kaybı olur. Bütün bunların yanında, gerekli ısıyı sağlamak için ek masraf yapılır.

Sıcak plastik şekil verme için en düşük sıcaklık; tekrar kristalleşme zamanında şekil değiştirme sertleşmesini önleyecek hızdaki şekillendirmedeki en düşük sıcaklıktır. En yüksek sıcaklık ise, ergime noktası veya aşırı oksitlenmenin olduğu sıcaklıktır. Genellikle en yüksek sıcaklık olarak ergime noktasının 100 °C altındaki değer alınır.

Pahalı bir yöntem olan sıcak plastik şekil değiştirmenin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a) Şekil değiştirme sıcaklığı yükseldikçe, metale istenen şekli vermek için gerekli enerji miktarı süratle azalır.

b) Metalsel malzemelerin çatlamadan ve kopmadan şekil değiştirme kabiliyetleri, sıcaklıkla orantılı bir şekilde artar.

c) Metalin içindeki heterojenlikler, yüksek sıcaklıkta yapılan dövme ile kolaylıkla giderilebilir.

Yukarıdaki son madde, dökme ve dövme parçalar arasındaki en önemli farkı izah etmektedir. Genel olarak dökme ve dövme parçaların çekme mukavemetleri arasında çok açık bir fark yoktur. Yalnız döküm yapısı, tane sınırları ve tane içleri arasındaki heterojenlikler nedeniyle düşük bir çentik darbe mukavemetine sahiptir. Sıcak dövme sırasında, şekil değiştirme ve tekrar kristalleşme ile oluşan tanelerden oluşmuş yapının çentik darbe mukavemeti çok daha fazladır.

2.2.2.2. Plastik Şekil Değiştirmeye Şekil Değiştirme Hızının Etkisi

Malzemenin şekillendirmeye karşı davranışı şekillendirme hızına göre değişir. Sünek halden gevrek hale geçme, hızlı şekillendirmelerde daha fazla görülür. Bu davranış malzemenin içinde bulunduğu sıcaklığa da bağlıdır. Örneğin; demir ve çelik oda sıcaklığının altında çekiçlenirse çatlar. Fakat aynı sıcaklıkta yavaş bir şekil

değişiminde çatlama görülmez. Şekil değiştirme hızı arttıkça, malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti azalır.

2.2.2.3. Plastik Şekil Değiştirmeye Sürtünme Şartlarının Etkisi

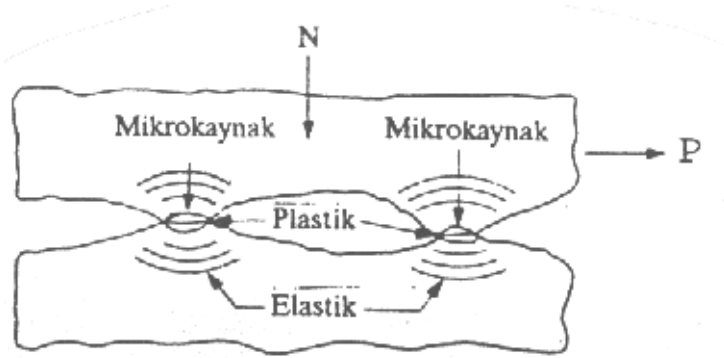
Bir plastik şekil verme işleminde basınç, yük ve iş hesaplamalarının yapılabilmesi için iş parçası / kalıp ara yüzeyindeki sürtünmenin nicel olarak ifade edilmesi gerekir. N normal kuvvetiyle birbirine bastırılan iki cismi kaydırabilmek için bir teğetsel kuvvet (P) uygulanmalıdır (Şekil 2.7.). Sürtünme kuvveti denen P kuvvetiyle N normal kuvveti arasındaki oran sürtünme katsayısı olarak adlandırılır ve μ ile gösterilir. Gerçek temas yüzeyindeki normal gerilme σ_n ve arayüzey kayma gerilmesi (veya dayanımı) τ ise

$$N = \sigma_n A_g \quad (2.1)$$

ve

$$P = \tau A_g \quad (2.2)$$

olduğundan denklem 2.3, yani ($\mu = \tau / \sigma_n$) elde edilir (Çapan, 1999).



Şekil 2.7. İki kuru yüzey arasındaki temas (Çapan, 1999)

Bu amaçla sürtünme gerilmesi

$$\tau = \sigma_n \cdot \mu \quad (2.3)$$

veya $0 \leq \mu \leq 1$ olmak üzere

$$\tau = m.k \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. σ_n kalıp / iş parçası ara yüzey gerilmesini, μ sürtünme katsayısını, m kayma faktörünü, k ise şekil verilen malzemenin basit kayma halindeki akma sınırını ifade etmektedir. Çeliklerin, alüminyum alaşımlarının ve bakırın fosfat-sabun yağlayıcılar veya sıvı yağlar kullanılarak yapılan soğuk şekil verme işlemlerinde $m = 0.05...0.15$; çeliklerin, bakır ve alüminyum alaşımlarının grafit esaslı (grafit-su veya grafit-sıvı yağ) yağlayıcılar kullanılarak yapılan sıcak şekil verme işlemlerinde $m = 0.2-0.4$; titanyum ve ısıya dayanıklı alaşımların cam yağlayıcılarla yapılan sıcak şekil verme işlemlerinde $m = 0.1-0.3$; slab ve levhaların sıcak haddelenmesi ve alüminyum alaşımlarının yağlamasız ekstrüzyonu gibi yağlayıcı kullanılmayan şekil verme işlemlerinde $m = 0.7-1.0$ değerleri arasındadır. Bakır, pirinç ve alüminyumun derin çekilmesinde $\mu = 0.08-0.15$; alüminyum ve çelik çubukların çekilmesinde $\mu = 0.02...0.20$; pirinç ve çelik için $\mu = 0.03...0.10$; bakır ve paslanmaz çelik için $\mu = 0.07...0.30$ düzeyindedir (Çapan, 1999).

İki kuru (yağsız) yüzey arasındaki gerçek temas yüzeyi A_g , bu yüzeylerin pürüzlü olması nedeniyle, görünür temas yüzeyinden çok küçüktür (Şekil 2.6.).Bu nedenle N kuvveti ancak birbiriyle temas eden pürüzler tarafından taşınır. Temas eden pürüzler arasındaki toplam alan gerçek temas yüzeyidir (A_g). Gerçek temas yüzeyi ile normal kuvvetin (N) belirli değerleri için pürüzlerin temas yüzeyinde oluşan gerilmeler elastiktir. Normal kuvvet N arttıkça bu gerilmeler de giderek büyür ve nihayet pürüzlerin temas yüzeyleri de plastik şekil değiştirir. Normal kuvvetin artmasıyla birlikte pürüzlerin temas yüzeyi de büyüdüğü için önceden temas etmeyen pürüzler arasında da temas oluşur. Pürüzlerin farklı yükseklikte olmaları, bazı temas yüzeylerine etkileyen normal gerilmelerin elastik bazılarının ise plastik olmasına yol açar. Normal kuvvetin (N) ve dolayısıyla pürüzlerin temas yüzeylerindeki normal gerilmelerin aşırı artması pürüzler arasında mikrokaynaklar doğurur.

Sürtünmeyi azaltmak için kullanılacak yağlayıcıdan şu özellikler istenir:

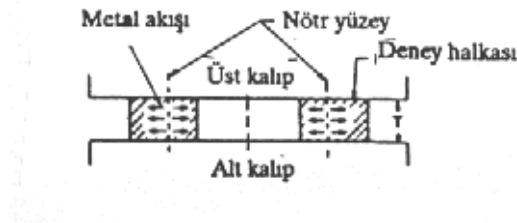
İş parçası ile kalıp arasındaki kayma sürtünmesini azaltmalıdır.

- İş parçası ile kalıp arasında sürekli bir film oluşturmalı, bölgesel yapışmalara yol açmamalıdır.
- Sıcak iş parçasından, nispeten soğuk olan kalıplara ısı iletimini engelleyebilmelidir.
- Aşındırıcı ve korozif olmamalıdır.
- Çevre kirletici ve zehirli olmamalı.
- Kolayca temizlenebilmeli ve ucuz olmalı.

Bu özelliklerin tümünü sağlayabilen bir yağlayıcı bulabilmek güçtür. Ayrıca tek bir yöntemle bu özelliklerin tümü belirlenemez. Bu sebeple yağlayıcıları değerlendirmek ve sürtünme şartlarını belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Dövmede sürtünmeyi sayısal olarak ölçmek için halka basma deneyi en çok kullanılan yöntemdir.

2.2.3. Halka Yığma Deneyi

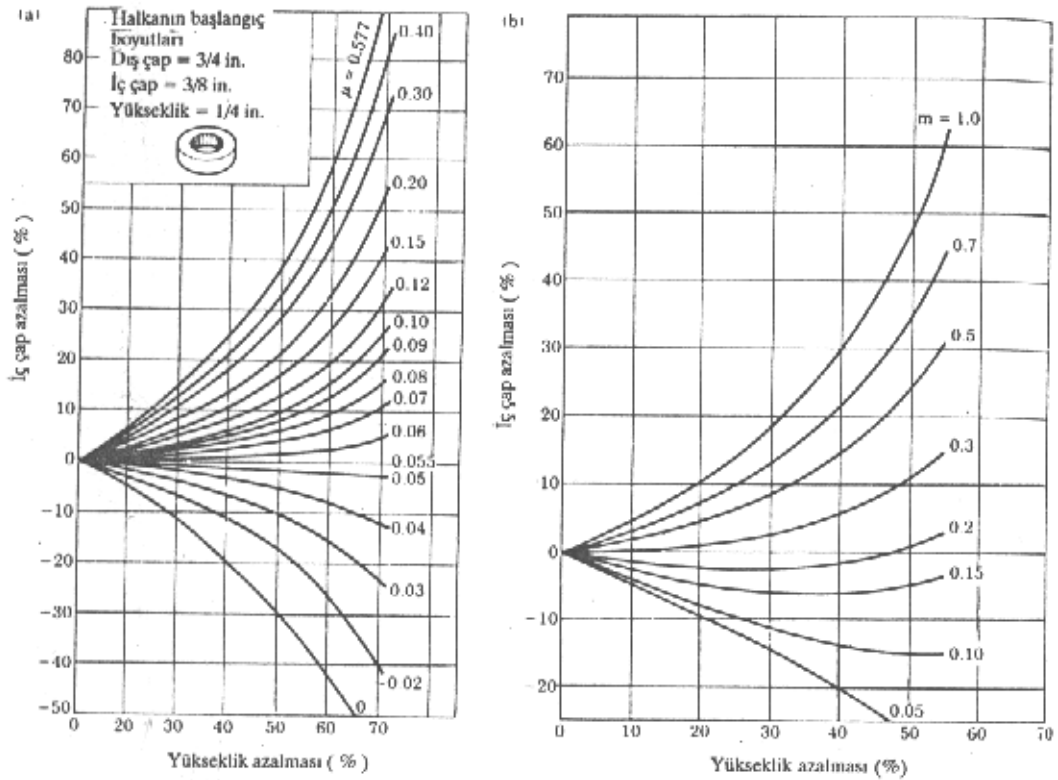
Bu yöntemin esası Kunogi tarafından ekstrüzyonda kullanılan yağlayıcıları karşılaştırmak için yapılan bir deneye dayanır. Buradan hareketle, A. T. Male ve M. G. Cockroft (1964-1965) tarafından geliştirilen halka basma deneyinde, halka şeklinde bir parçaya yüksekliği doğrultusunda iki düzlemsel kalıp arasında basılarak iç çapında oluşan değişmeler yardımıyla sürtünme katsayısı bulunur (Şekil 2.8.). μ (sürtünme katsayısı) 0 olduğunda halkanın iç çapı artar; μ arttıkça iç çapın artışı azalarak kritik bir μ değeri için sıfır olur. Kritik değerden büyük μ değerlerinde ise malzeme akışının olmadığı tarafsız yüzey, iç ve dış çap arasında bir yerde kalacağı için iç çap basma sonunda azalmaya başlar (Akata, 1987).



Şekil 2.8. Halka basma deneyi (Çapan, 1999)

Halka basma deneyinde, halka yüksekliğindeki azalma Δh , başlangıç yüksekliği h_0 ile gösterilirse, farklı sürtünme katsayıları için halka iç çapının $\Delta h / h_0$ ile değişimi Şekil 2.8.'da gösterilmiştir. Bu yöntemin en önemli üstünlükleri, sürtünme katsayısını belirleyebilmek için, malzemenin akma sınırını bilmeye ve basma kuvvetini ölçmeye gerek olmaması, ayrıca değişik basma hızlarında deney yapılabilmesidir.(Akata, 1987)

Belirli ölçülerde halkalar için, iç çaptaki azalmanın halka yüksekliğindeki birim kısalma ile değişim eğrileri teorik olarak çizilmiş bulunmaktadır (Şekil 2.9.). Bir halka basma deneyinde, halka yüksekliğindeki % şekil değiştirme ile halka iç çapındaki % azalma tarafından belirlenen noktanın konumu teorik eğrilerle kıyaslanarak deney koşullarındaki m (kayma faktörü) ve μ (sürtünme katsayısı) değerleri saptanabilir (Çapan, 1999).



Şekil 2.9. Halka basmada teorik değişim eğrileri (Çapan, 1999)

2.3. PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ

Değişik amaçlarla kullanılabilen çok sayıda plastik şekil verme yöntemi geliştirilmiş olup, bunlar deformasyon için uygulanan kuvvet veya gerilmenin türü ile metalin şekillendirme sırasındaki akış yönüne bağlı olarak şu şekilde sınıflandırılabilir (Aran)

- a . Dövme
- b . Haddeleme
- c . Ekstrüzyon
- d . Çubuk ve tel çekme
- e. Sac şekillendirme yöntemleri

2.3.1. Dövme

Çok eski bir üretim yöntemi olan dövme, iş parçasının basma kuvvetlerinin etkisiyle plastik şekil değiştirdiği bir işlemdir. Sanayi devrimi ile kol gücü yerini makinelere bırakmış ve bu gelişmelerle seri üretime yönelik metal şekillendirme işlemlerinde dövme teknolojisi büyük önem kazanmıştır. Krank milleri, el aletleri, cıvata başları, dişliler, tekerlekler, biyel kolları ve kancalar gibi çok sayıda makine parçası bu yöntemle üretilmektedir. Ülkemizde, 1960 sonrası hızla büyüyen otomotiv endüstrisiyle dövme yöntemi paralel bir gelişme göstermiştir.

Dövme işlemleri, benzeş sıcaklığının (metalin şekillendirilme sıcaklığının, mutlak sıcaklık cinsinden metalin ergime sıcaklığına oranı) $T_b < 0,3$ olduğu sıcaklıklarda yapılması durumunda soğuk dövme olarak, $T_b > 0,5$ olduğu sıcaklıklarda ise sıcak dövme olarak adlandırılmaktadır. Soğuk dövme, büyük dövme kuvvetleri gerektirdiğinden genellikle küçük parçalar ile küçük şekil değişimleri içeren işlemler için uygundur. Örneğin günümüzde ancak 3 kg'a kadar parçaların dövülmesi ekonomik sayılmaktadır. Daha çok cıvata ve somun üretiminde soğuk dövmeden

yararlanılmaktadır. Ayrıca işlem sırasında pekleşme nedeniyle giderek artan dövme kuvvetleri gerekecektir. Sıcak dövme, malzemenin daha kolay şekillendirilebilmesi ve dövme kuvvetlerinin düşüklüğü nedeniyle daha geniş uygulama alanına sahiptir.

Dövme yöntemine en uygun malzemeler olarak; basit karbonlu çelikler, düşük alaşımlı çelikler, alüminyum alaşımları, bakır alaşımları ve titanyum alaşımları gösterilebilir (Aran).

Dövme yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

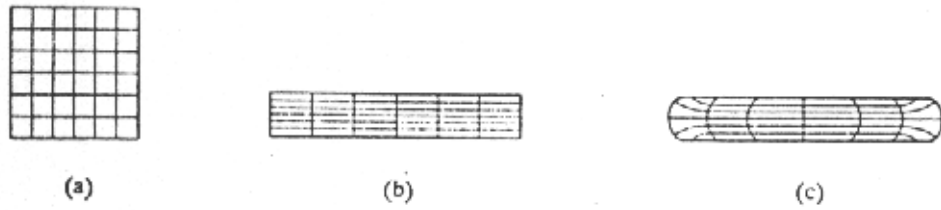
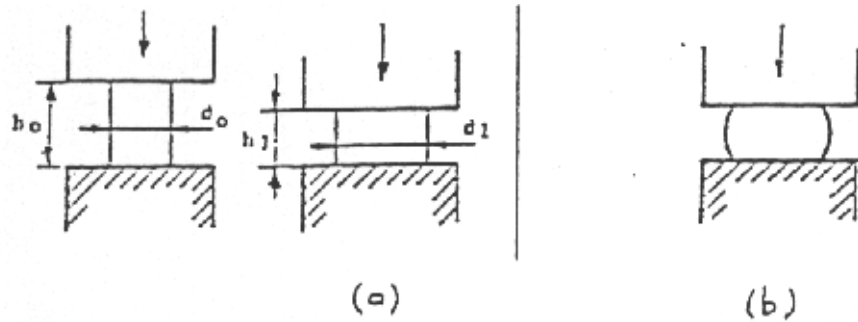
- a) Açık kalıpta dövme
- b) Kapalı kalıpta çapaklı dövme
- c) Kapalı kalıpta çapaksız dövme (hassas dövme)
- d) Delme
- e) Kafa şişirme
- f) Haddeleyerek dövme
- g) Radyal dövme
- h) İzotermal dövme
- i) Orbital dövme
- j) Maçalı dövme
- k) Sinter dövme
- l) Artımlı (incremental) dövme

2.3.1.1. Açık Kalıpta Dövme

En temel dövme işlemidir. Parçalar basit biçimli ve çoğunlukla düzlemsel iki kalıp arasında, basma kuvveti ile şekillendirilmektedir. Genellikle kaba şekillendirme ve kapalı kalıpta dövme öncesi ön şekillendirme işlemlerinde kullanılır. Ayrıca kapalı kalıp yatırımının ekonomik olamayacağı kadar az sayıda parça üretiminde ve kapalı kalıba sığmayacak kadar büyük parçaların plastik şekillendirilmesinde de açık kalıpta dövme tercih edilir.

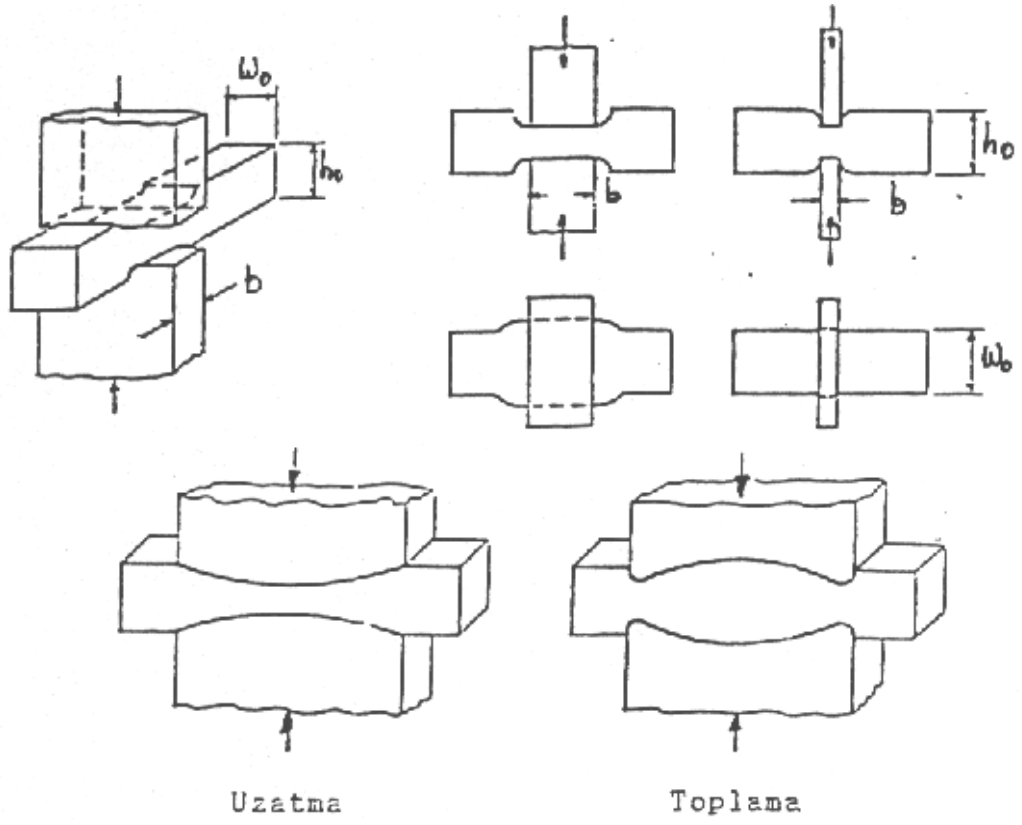
a) Yığma: Bu basit açık kalıpta dövme işleminde parçalar iki düz basma yüzeyi arasında şekillendirilmektedir. Madeni para presi, kafa şişirme de yığma işlemidir. Kısa süren bir işlemdir ve işlem sırasında akış çizgileri aynı olmaz. Malzeme akışı ışık noktaları veya grid denilen ağlar yardımıyla gözlemlenebilir. Hareket ve deformasyon dağılımı sıcaklık ve genleme oranlarından daha çok sürtünme tarafından derinden etkilenir. Sürtünmenin şiddeti yüksek çap oranları içeren iş parçalarında artar. Bu gibi durumlarda yağlama daha önemli olmaya başlar. Sıcak yığmada lokal deformasyon dağılımı takım temas hızının artmasıyla daha üniform olur. Şekil 2.10. ve 2.11.'de görüldüğü gibi yığma öncesinde h_0 yüksekliğinde ve d_0 çapında olan silindirik bir parça, ideal durumda yığma sonrasında h_1 yüksekliğine düşmekte ve d_1 çapına genişlemektedir. Gerçek durumda ise, kalıp yüzeylerine dik doğrultuda akmaya çalışan malzeme, sürtünme ve kısmen soğuma nedeniyle temas yüzeylerinde engellendiğinden fiçilaşma oluşur (Aran).

Şekil 2.10. Düz kalıplarda yığmada ideal (a) ve gerçek (b) durum (Aran)

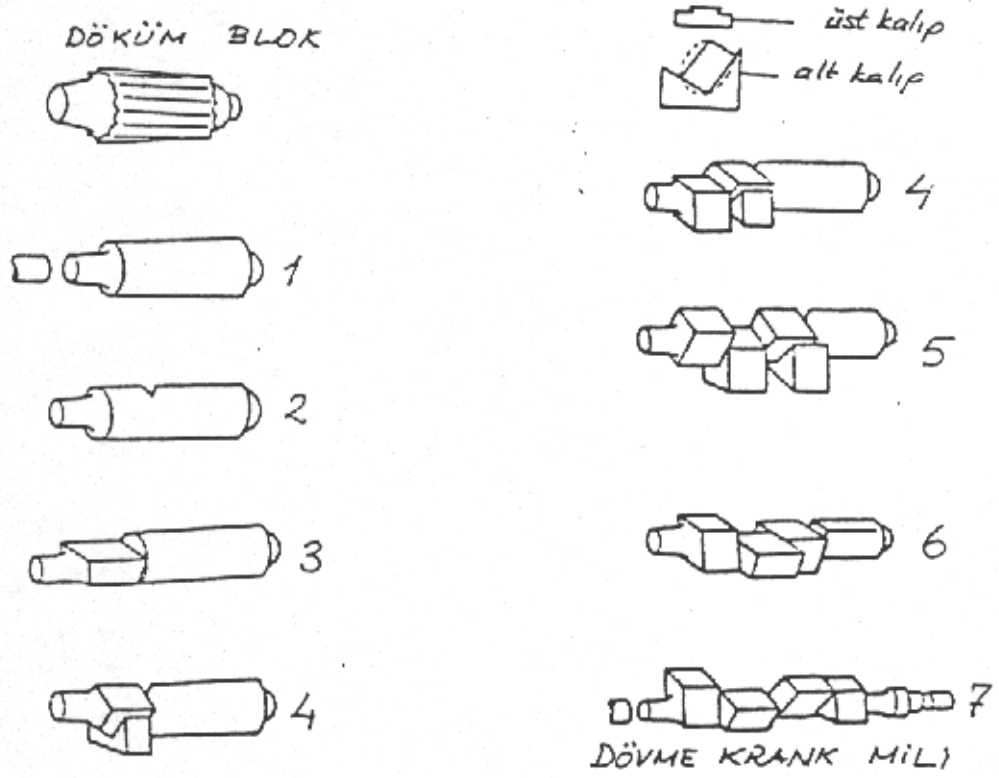


Şekil 2.11. Yığmada malzeme akışı: (a) Yığmadan önce, (b) Yığmadan sonra (sürtünmesiz hal), (c) Yığmadan sonra (sürtüneli hal); (Çapan, 1999)

b) Dar Kalıplarla Yığma: Dar kalıpla dövmede parçadaki şekil değişimi, sürtünmenin malzeme akışını daha az engellediği, kalıbın dar boyutu doğrultusunda oluşmaktadır.



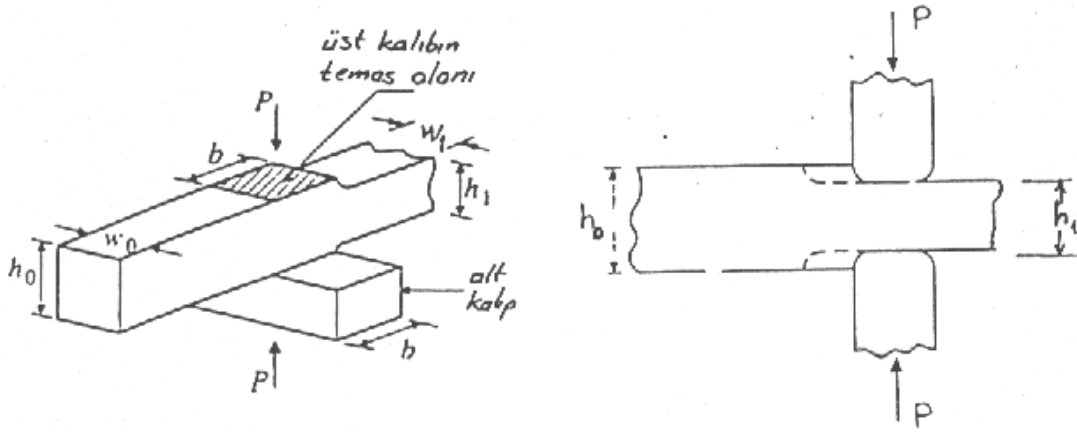
Şekil 2.12. Açık kalıpta dövme işlemlerine örnekler (Aran)



Şekil 2.13. Açık kalıpta dövme ile üretilen bir parçada dövme kademeleri (Aran)

Bu özellikten yararlanarak düz kalıplarla parçada uzatma ve genişletme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kalıp genişliğinin çok daraltılması durumunda kesme işlemi de yapılabilir. Ayrıca dış bükey (uzatma), iç bükey (toplama) kalıplarla toplama ve uzatma işlemleri de uygulanabilir (Şekil 2.12.).

Şekil 2.13.'de açık kalıpta dövme ile üretilen bir parçada dövme kademeleri görülmektedir.



Şekil 2.14. Dar kalıpta dövmede geometrik ilişkiler (Aran)

Şekil 2.14.'te görülen dar kalıplarla yığma işleminde uzama ve genişleme oranlarının belirlenmesinde bazı ampirik bağıntılardan yararlanılmaktadır:

Enine birim şekil değişimi,

$$\varepsilon_w = \ln (w_1 / w_0) \quad (2.5)$$

Kalınlığına birim şekil değişimi,

$$\varepsilon_h = \ln (h_0 / h_1) \quad (2.6)$$

olarak yazılabilir.

Genişleme,

$$s = \varepsilon_w / \varepsilon_h = \ln (w_1 / w_0) / \ln (h_0 / h_1) \quad (2.7)$$

şeklinde bir tanım yapılırsa, s değeri bize deformasyonun karakterini belirler. s = 0 ise sadece enine genişleme söz konusudur. s'nin ara değerleri bu iki farklı deformasyonun çeşitli oranlarına karşılık gelir.

Herhangi bir kalıp genişliği için s değeri kalıp genişliğine bağlı olarak

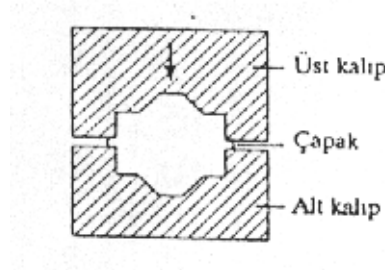
$$s = (b / w_0) / (1 + b / w_0) \quad (2.8)$$

şeklindeki bir ampirik ifadeyle verilmektedir. Bu bağıntı yardımıyla uygun kalıp ve malzeme boyutları seçilerek s değeri ayarlanabilir.

Açık kalıpta dövme sırasında her bir kademe verilen şekil değişimi miktarı (parçanın dövme öncesi yüksekliğinin dövme sonrası yüksekliğine oranı olarak kabul edilmektedir) istenildiği kadar büyük seçilemez. Nitekim şekil 2.14.'de görüldüğü gibi, $h_0 / h_1 > 1,3$ olduğunda katlanma tehlikesi vardır. Aynı şekilde kalıp genişliğinin parça yüksekliğine oranı $b / h_0 < 1/3$ ise, bu durumda kesme veya parçaya batma tehlikesi ortaya çıkar.

2.3.1.2. Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme

Karmaşık şekilli parçaların dar toleranslar içinde elde edilebilmesi için birbiri üzerine kapanan ve kapandığında elde edilebilecek parçanın biçimine sahip bir kalıp boşluğu oluşturan kalıplardan yararlanır (Şekil 2.15.). Kalıp maliyeti yüksek olduğundan, yöntem seri üretim için ekonomiktir.



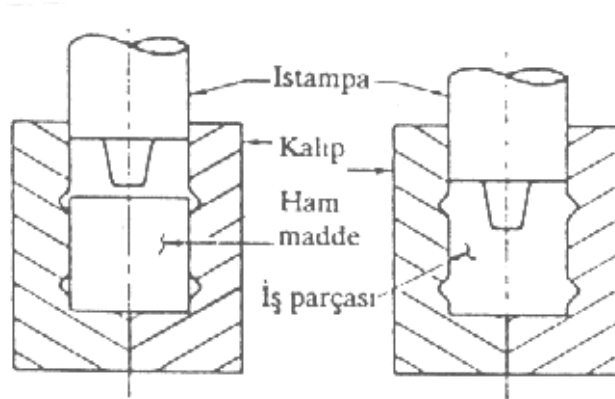
Şekil 2.15. Kapalı kalıpta çapaklı dövme (Çapan, 1999)

Şekillendirilmek üzere kalıba konulan metalin miktarı kalıp boşluğunu doldurmaya yeterli olmalıdır. Bunun tam olarak ayarlanması güç olduğundan, malzemenin hacmi kalıbın hacminden fazla tutulur ve kalıpta gerekli düzenlemeler yapılarak, bu fazla malzemenin kalıp boşluğu dışına dar bir şerit şeklinde çıkması sağlanır (çapak). İş parçasını çevreleyen çapak, dövme işleminden sonra mekanik preslerde kesme kalıpları yardımıyla kesilerek uzaklaştırılır. Kesme işleminin güç olduğu yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde çapak kesme işlemi ya sıcak olarak, ya da yumuşatma tavını takiben yapılır.

Malzeme, genellikle bir defada son biçimine getirilemez. Bu yüzden ön şekillendirme ve ara dövme gibi işlemlere gereksinim vardır. Bu işlemler çoğunlukla aynı kalıp bloğu üzerinde gerçekleştirilecek şekilde tasarlanır.

2.3.1.3. Kapalı Kalıpta Çapaksız Dövme (Hassas Dövme)

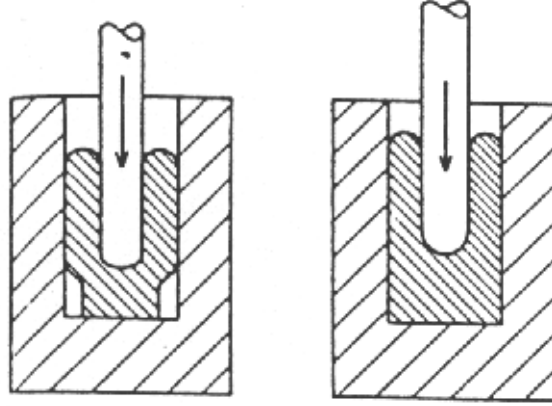
Hassas dövmede parça bir kapalı kalıpta çapaksız olarak biçimlendirilir. Bu yöntemle üretilen parçalar genellikle ek bir talaş kaldırma işlemine gerek kalmadan veya çok az bir talaş kaldırma işleminden sonra kullanılabilir. Ancak burada kalıba yerleştirilen malzeme miktarının çok hassas olarak ayarlanması zorunluluğu vardır (Şekil 2.16.).



Şekil 2.16. Hassas dövme (Çapan, 1999)

2.3.1.4. Delme

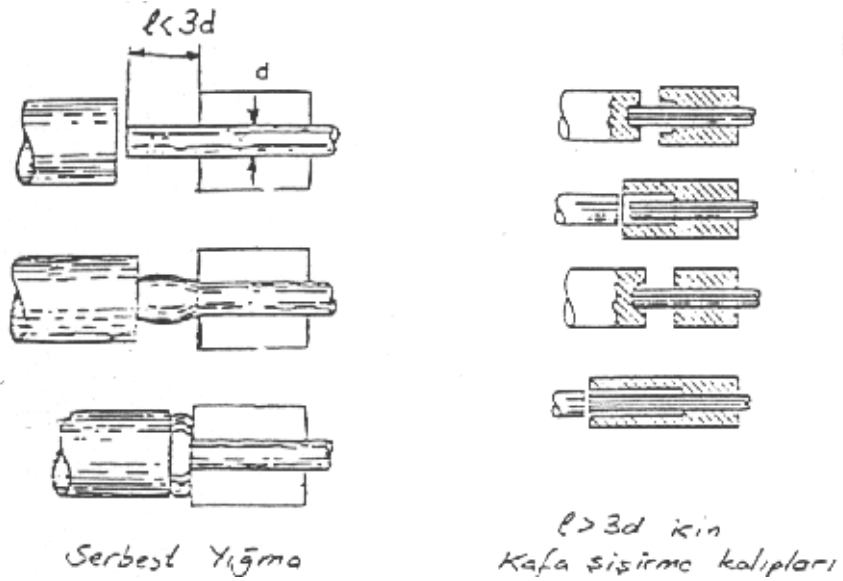
Kalın cidarlı içi boş parçalar elde etmek için uygulanan bir dövme yöntemidir (Şekil 2.17.).



Şekil 2.17. Delme (Çapan, 1999)

2.3.1.5. Kafa Şişirme

Bu yöntemde metalin bir ucu eksenî doğrultusunda uygulanan basma kuvvetiyle yığılarak şekillendirilir (Şekil 2.18.)



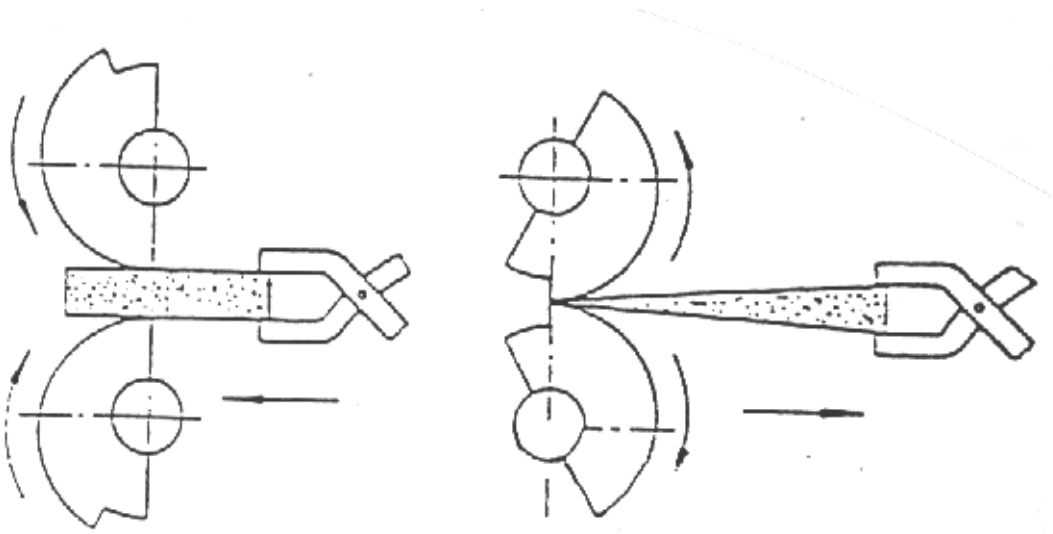
Şekil 2.18. Kafa şişirme (Aran)

Yatay dövme makinelerinde sıcak veya soğuk olarak yapılan bu işlemden biri sabit, diğeri hareketli olan tutucu kalıp yarıları tarafından sıkı bir şekilde kavranan malzemenin serbest ucu yığılır. Cıvata kafalarının şekillendirilmesinde de kullanılan bu yöntemde burkulma olasılığını önleyecek tedbirlerin alınması gerekir .

Bunun için çubuğun kalıp dışında kalan serbest ucunun uzunluğunun çapın 3 katından büyük olmaması veya özel yığıma kafalarının kullanılması gerekmektedir (Şekil 2.18.).

2.3.1.6. Haddelerek Dövme

Uzun ve ince parçaların üretiminde ön şekillendirme işlemi olarak uygulanan bu yöntemde sıcak iş parçası uygun şekilde profillendirilmiş haddeler arasında geçirilir (Şekil 2.19.).



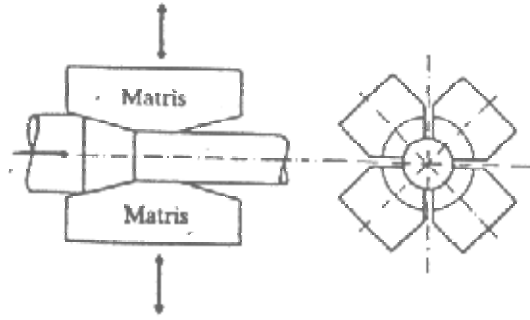
Şekil 2.19. Haddelerek dövme (Aran)

Malzeme hadde merdanelerinin sadece profilli yüzeyleri arasında şekil değiştirir. Şekillendirme sonrası iş parçası makineye verildiği taraftan geri alınır.

2.3.1.7. Radyal (Çevresel) Dövme

Soğuk veya sıcak olarak uygulanabilen bu yöntemde iki veya daha çok sayıdaki (ikişer ikişer karşılıklı olarak çalışmak koşuluyla) kalıbın radyal hareketiyle dövme işlemi gerçekleştirilir (Şekil 2.20.).

Aynı zamanda kalıpların da döndüğü bu yöntemle, yuvarlak kesitli uzun parçalar (büyük miller, kolonlar vb.) biçimlendirilmektedir. Top namlusu gibi içi boş parçaların üretiminde de, bu yöntemden parça içine maça yerleştirerek dövme suretiyle yararlanılmaktadır.



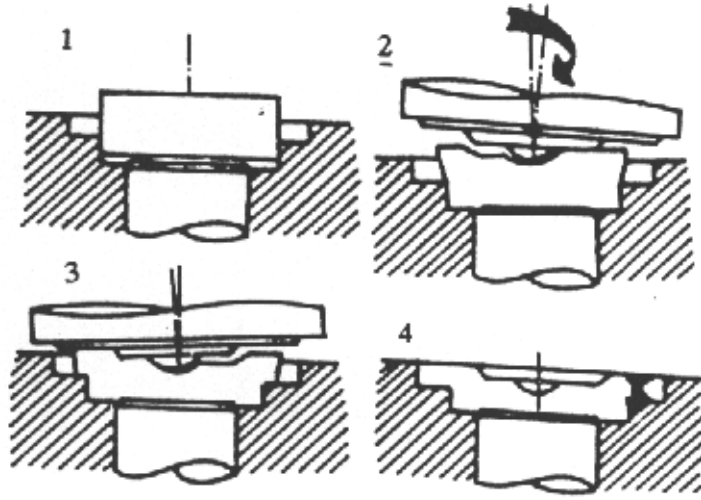
Şekil 2.20. Radyal dövme (Çapan, 1999)

2.3.1.8. İzotermal Dövme

Klasik kapalı kalıpta dövme yönteminde, malzemenin ve kalıbın sıcaklıkları her parça için az da olsa farklı olmaktadır. Ayrıca kalıp / parça arasındaki sıcaklık farkının büyük olmasından dolayı oluşan soğuma da, boyutların hassas olarak elde edilmesinde sorunlar yaratmaktadır. Sıcaklık farklılıklarını gidererek boyut hassasiyetini yükseltmek ve aynı zamanda parçada daha homojen bir iç yapı sağlamak için uygulanan izotermal dövmede, kalıplar ve dövülecek parça aynı sıcaklığa getirilerek şekillendirme yapılır.

2.3.1.9. Orbital Dövme

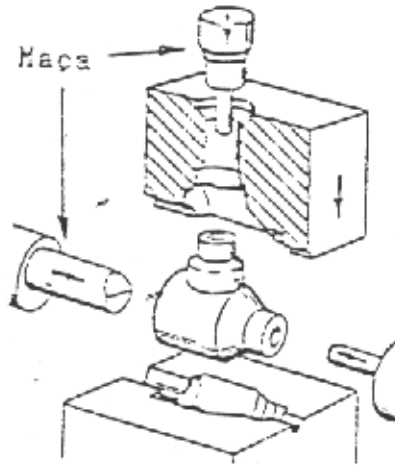
Malzemenin yörüngesel hareket yapan bir üst kalıp ile sadece düşey doğrultuda hareket eden bir alt kalıp arasında dövüldüğü bir yöntemdir (Şekil 2.21.).



Şekil 2.21. Orbital Dövme (Çapan, 1999)

2.3.1.10. Maçalı Dövme

İçi boşluklu tesisat armatürleri gibi parçaların dövme yöntemiyle elde edilebilmesi için maçalı dövmeden yararlanır. Genellikle sıcak olarak ve demir dışı metallere uygulanır (Şekil 2.22.).



Şekil 2.22. Maçalı dövme (Aran)

2.3.1.11. Sinter Dövme

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilecek parçalara uygulanır. Toz halindeki metal kalıba doldurulur ve sinterlemenin gerçekleşeceği sıcaklıklarda dövülür. Bazı durumlarda önceden sinterlenmiş parçalara ikincil biçimlendirme yöntemi olarak dövme uygulanır. Bu sayede sinter parça içindeki gözenek miktarı azalır ve özellikleri olumlu etkilenir.

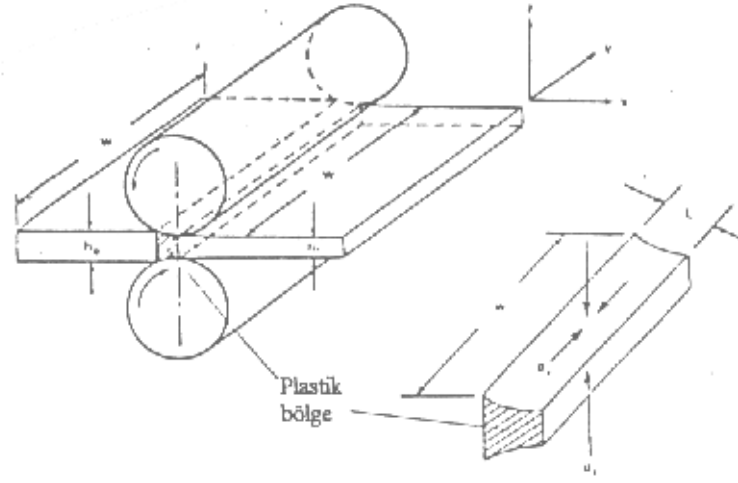
2.3.1.12. Artımlı (Incremental) Dövme

İş parçasının, toplam deformasyon yüzeyine oranla çok küçük bir yüzeyinin deforme edildiği ve deformasyonun artımlı bir şekilde prosesin karakterine de bağlı olarak sürekli veya kesintili olarak uygulandığı bir yöntemdir. Artımlı şekillendirme, klasik şekillendirmeye nazaran büyük oranda kuvvet ve enerji tasarrufu sağlayarak, aynı deformasyonun elde edilebilmesi için daha küçük çapta makine ve teçhizat kullanılması avantajını sağlar. Özellikle küçük ölçekli üretim yapan endüstrilerde tercih edilmektedir.

2.3.2. Haddeleme

İş parçasının, eksenleri etrafında dönen silindirler arasından geçirilerek, uygulanan basma kuvvetleri etkisiyle plastik olarak şekillendirilmesine haddeleme denir. Şekil 2.23.'de şematik olarak verilen bu sistemde iş parçasının kesiti küçülürken, aynı zamanda da uzama ve genişleme meydana gelir.

Haddeleme en fazla kullanılan plastik şekil verme yöntemlerinden birisidir. Çünkü kapasite yüksektir ve ölçüler daha iyi kontrol edilebilir. Malzeme, merdane adı verilen silindirler arasında şekil değiştirirken, merdanelerin sıkışmasından ötürü basma gerilmesine; yüzey de, malzeme ile merdane arasındaki sürtünmeden dolayı kesme gerilmesine maruz kalır. Sürtünme kuvveti, malzemenin merdaneler arasından çekilmesini sağlar.

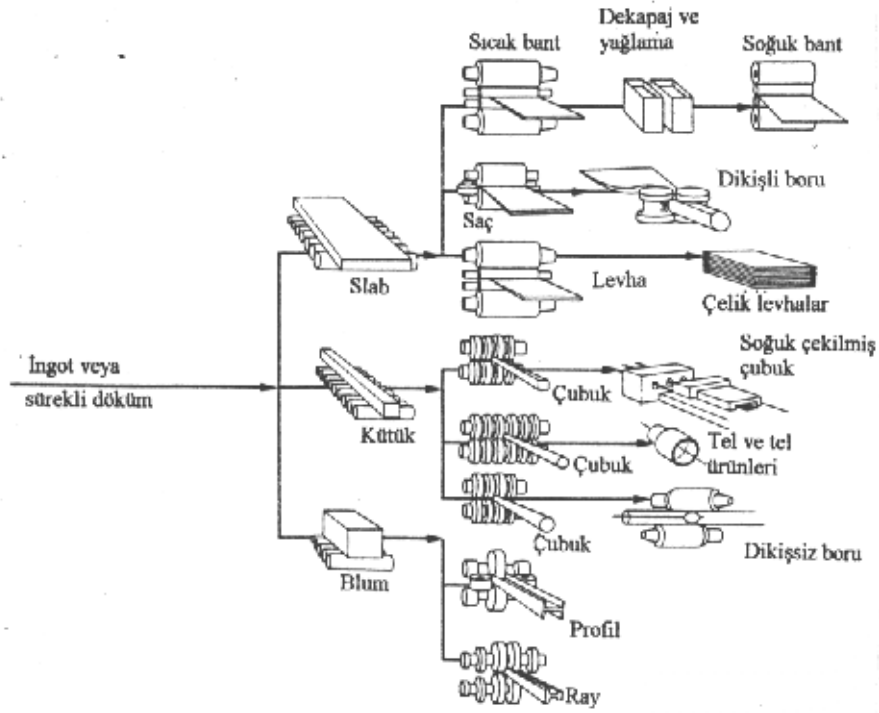


Şekil 2.23. Haddelenenin prensibi (Anık, 1994)

İngot ve kütüklerin haddelenmesinde olduğu gibi; iş parçasının haddelenmeden önceki ve sonraki farklı kesitleri arasındaki fark büyükse, şekil değişimi yüksek sıcaklıkta sağlanır (sıcak haddeme). Bu sıcaklık, çelik için yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindedir. İngot ve kütüklerin haddelenmesinden elde edilen ürünler daha sonra yine sıcak olarak haddelenerek levha, çubuk, tel veya profil haline getirilir. Genellikle son haddeme oda sıcaklığında yapılır. Soğuk haddeme adı verilen bu haddeme ile düzgün yüzey, hatasız ölçü ve yüksek mekanik özellikler elde edilir. Fakat gerekli haddeme kuvvetleri ve dolayısıyla harcanan güç fazladır.

Demir çelik endüstrisinde haddelenen ürünlerin adlandırılmasında kesin bir ölçü verilemez. Blum, ingotun ilk haddelenmiş şeklidir. Genel olarak blumun genişliği derinliğine eşittir. Blumun sıcak haddelenmiş şekli de, kütük olarak bilinir. İngotun haddelenmesi sonucunda elde edilen ürünün genişliği kalınlığının iki katı olursa, bu ürün slab adını alır. Blum, slab ve kütükler yarı ürünler olup, istenilen şekiller için tekrar haddelenirler. Şekil 2.24.'de blum, slab ve kütüklerin haddelenmesiyle elde edilen ürünler görülmektedir.

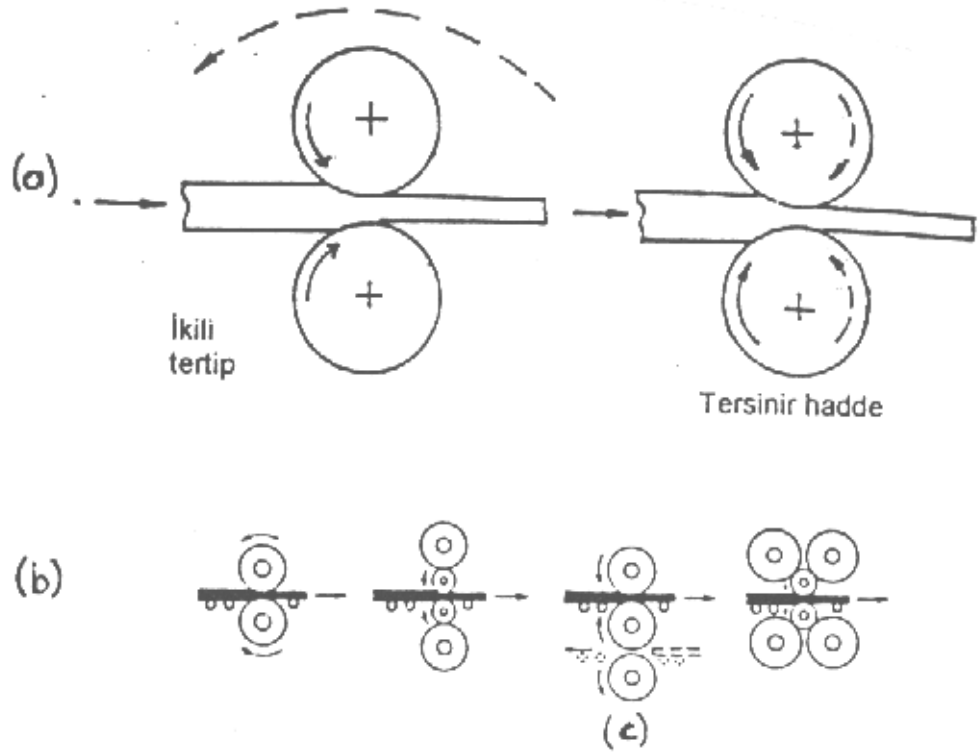
Bir haddeleme teçhizatı; merdaneler, yataklar, bunları taşıyan kısımlar, merdanelere güç uygulayan ve hız kontrol eden kısımlardan meydana gelir. Haddelemede kuvvet çok yüksek olduğundan, çok rijid bir sistem ve yeterli gücü sağlayacak motorlara gereksinim vardır.



Şekil 2.24. Blum, slab ve kütüklerin haddelenmesiyle elde edilen çeşitli ürünler (Çapan, 1999)

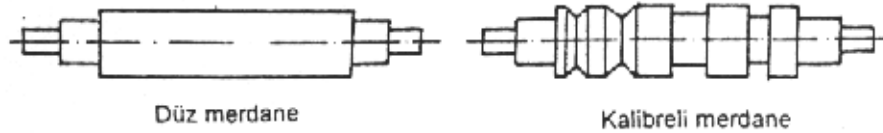
Haddeleme sisteminde merdanelerin düzen şekline göre, çeşitli düzenler ortaya çıkmaktadır. En basit ve geneli ikili düzendir (Şekil 2.25.-a). Burada eşit büyüklükteki merdaneler tek yönde dönerler. Hadelenen malzeme tekrar haddelenebilir. Yine aynı şekilde görülen tersinir hadde; merdanelerin dönme yönleri değiştirilerek, malzeme ileri geri her iki yönde de haddelenir. Diğer bir düzen ise üçlü düzendir. Burada alt ve üst merdaneler motorla çevrilir, ortadaki sürtünmeyle döner. Haddeleme için istenen güç, küçük çaplı merdaneler kullanılarak azaltılabilir. Fakat bu küçük çaplı merdaneler ,

arkadan daha büyük merdanelerle desteklenmelidirler. Bunların en basiti, Şekil 2.25.-b’de görülen dörtlü düzendir. Küçük çaplı merdaneler ile, çok ince saclar en ince toleranslara kadar kolayca haddelenebilir. Şekil 2.25.-c’de bir üçlü düzen görülmektedir.



Şekil 2.25. Haddede merdane düzenleri (Anık, 1994)

Ayrıca çift ikili düzen hadde sisteminden oluşan devamlı hadde yapabilen sistemler de vardır. Merdaneler çeşitli demir dökümlerden veya çelik dökümlerden yapılır. Dış kısımları düz veya malzemeye verilecek şekle göre kalibrelenmiş şekildedir. Buna göre üzeri düz olanlara düz merdane, kalibreli olanlara kalibreli merdane adı verilir (Şekil 2.26.).



Şekil 2.26. Merdane tipleri (Anık 1994)

Merdaneler malzemeyi şekillendiren gövde, yataklanmaya yarayan muylu ve güç aktarılmasına yarayan kavrana kısımlarından oluşur. Düz merdaneler sac üretiminde, kalibreli merdaneler ise çeşitli şekillere sahip profillerin yapımında kullanılır. Kalibreli merdanelerde birbirinin karşısına gelen girinti ve çıkıntılar, buradan geçen malzemenin şeklini belirler.

2.3.3. Ekstrüzyon

Bir metal bloğun kovanlara yerleştirilerek, bir ıstampa yardımıyla basınç altında, belirli profillere sahip matrisler içerisinden geçirilerek şekillendirilmesine ekstrüzyon adı verilir. Borular ve çeşitli profiller, hafif ve ağır metallerden ekstrüzyon yoluyla elde edilebilir. Metalsel malzemelerin ekstrüzyonu genel olarak sıcak şekilde yapılır. Bununla beraber, kurşun ve kalay gibi yumuşak malzemelere soğuk ekstrüzyonla şekil verilebilir.

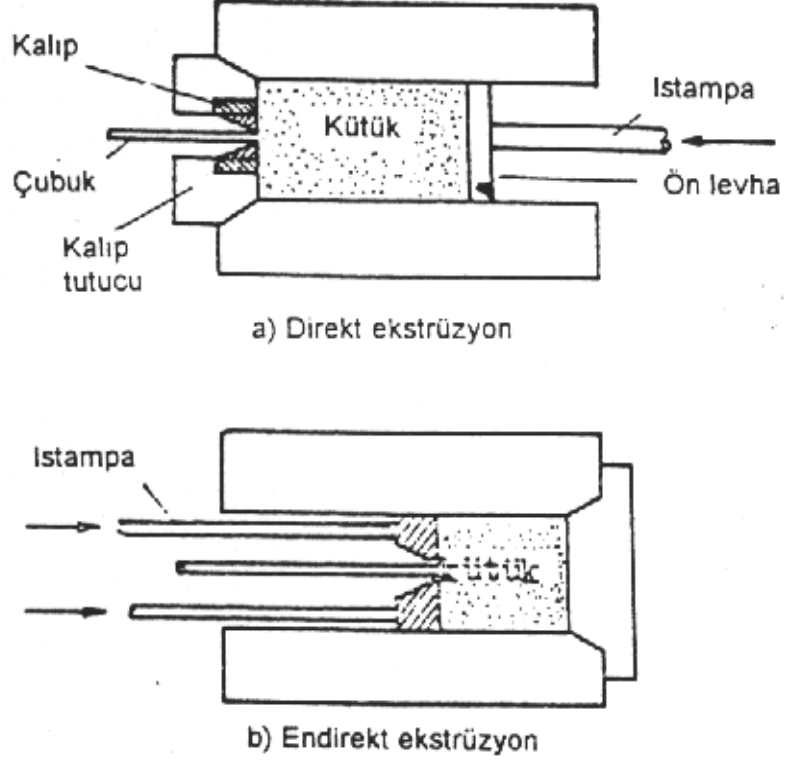
Genel olarak ekstrüzyon, silindirik çubuk veya tüplerin üretiminde kullanılır. Fakat alüminyum gibi kolayca şekil değiştirebilen malzemeler kullanılarak, düzgün kesitli olmayan parçaların üretimi de gerçekleştirilebilmektedir. Ekstrüzyonda büyük kuvvetlere gereksinim olduğu için, birçok metal sıcak olarak şekillendirilir.

Şekillenen malzemenin çıkış yerine göre ekstrüzyon ikiye ayrılır:

- a) Direkt ekstrüzyon
- b) İndirekt ekstrüzyon

Şekil 2.27.-a' da direkt ekstrüzyonun prensibi şematik olarak verilmiştir. Burada metal kütük bir kalıp içerisine konur; ıstampa ile bir ucundan itilerek, diğer uçtaki kalıptan (matris) malzeme şekillenmiş olarak elde edilir. İstampayı korumak amacıyla, kütük ile aralarına bir ön levha konur. İndirekt ekstrüzyonda ise, malzemenin alacağı şeklindeki kalıp ıstampa üzerindedir (2.27.-b). Malzemenin bulunduğu kovanın diğer tarafı bir plaka ile kapatılmıştır. İndirekt ekstrüzyonda kütük ile malzemenin bulunduğu

kovan arasında sürtünme olmadığından, şekil verme için direkt ekstrüzyondan daha az basınca gereksinim vardır.



Şekil 2.27. Ekstrüzyon tipleri (Anık, 1994)

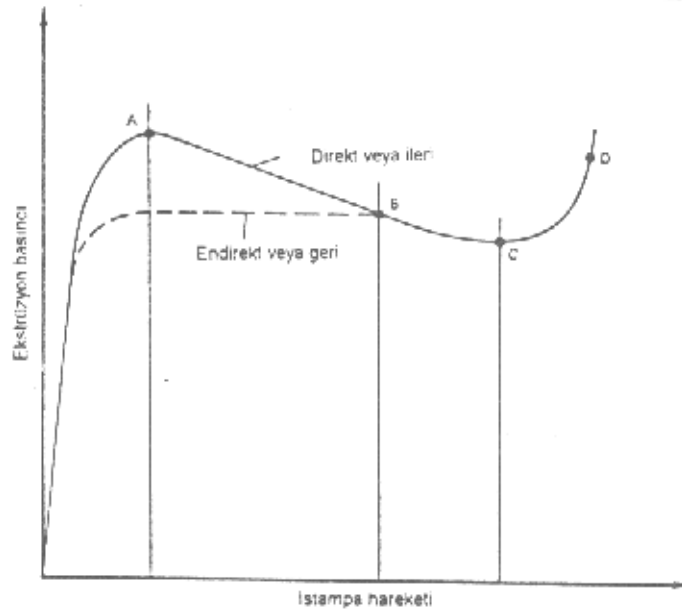
Kovan ile kütük arasında sürtünmenin yok edilmiş olduğu bir başka yöntemde hidrostatik ekstrüzyondur. Bu yöntemde ıstampa basıncı kütüğe kovan içine doldurulmuş olan bir akışkan vasıtasıyla iletilir. Bu akışkan aynı zamanda takozla alıcı arasındaki sürtünmeyi de ortadan kaldırır. Ayrıca darbeli ekstrüzyon da indirekt ekstrüzyonun başka bir türüdür.

Ekstrüzyonla parça üretiminde gerekli olan kuvvete etki eden faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Ekstrüzyon tipi
- b) Ekstrüzyon oranı

- c) Çalışılan sıcaklık
- d) Şekil değişimi hızı
- e) Sürtünme

Ekstrüzyon kuvvetinin kütük kesitine oranına ekstrüzyon basıncı adı verilir. Şekil 2.28.' de direkt ve endirekt ekstrüzyonda, ekstrüzyon basıncının ıstampa hareketine göre değişimi verilmiştir. Bu diyagramdaki ilk artış, ani ve çok yüksektir (A). Bunun sebebi, kütüğün ekstrüzyon kabını (kovanı) doldururken oluşan kuvvetli basmadır. Direkt ekstrüzyonda kütüğün kovandaki kısmı gittikçe azaldığında, kütük ile kovan arasındaki sürtünme azalacağından, ekstrüzyon basıncı düşer (B).



Şekil 2.28. Ekstrüzyon basıncının, ıstampa hareketine göre değişimi (Anık, 1994)

İndirekt ekstrüzyonda kütük ile kovan arasında bir sürtünme olmadığından, ıstampanın hareketiyle basınç değişmez, sabit kalır (B). Kovanda malzeme azalınca, basınç direkt ve endirekt ekstrüzyonda aynı şekilde artar (C ve D).

Ekstrüzyondan önceki kesit alanının ekstrüzyondan sonraki kesit alanına oranına, ekstrüzyon oranı denir (A_0 / A_f). Ekstrüzyon basıncı yaklaşık olarak,

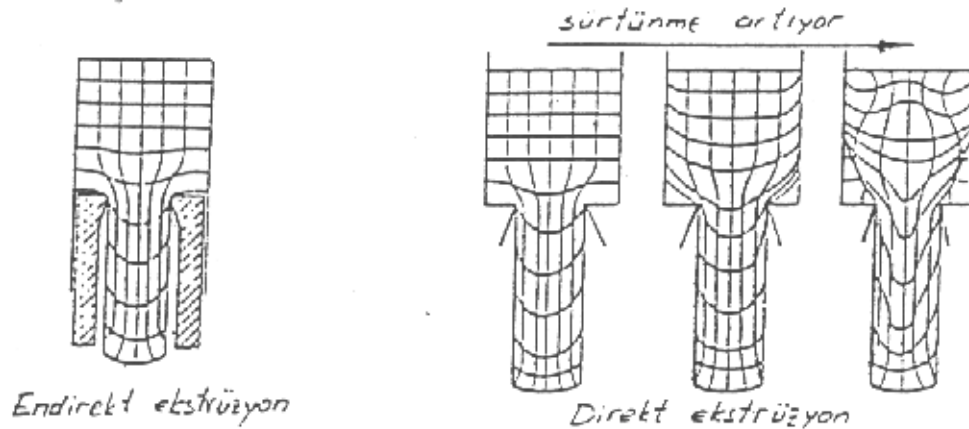
ekstrüzyon oranının tabii logaritmasının doğrusal bir fonksiyonudur. Bundan dolayı ekstrüzyon kuvveti (P) aşağı şekilde hesaplanır.

$$P = K A_0 \ln (A_0 / A_f) \quad (2.9)$$

Burada, K: ekstrüzyon sabiti olup; malzeme akış gerilmesi, sürtünme ve homojen olmayan şekil değişimi içeren değerlerin ortalamasıdır.

Şekil değişimi kuvvetini azaltmak için birçok metal sıcak olarak ekstrüzyona tabi tutulur. İstampa hızı arttıkça, ekstrüzyon basıncı da artar. Hızdaki 10 kat artma basıncı % 50 arttırır. Kalıptaki ve kaptaki sürtünme ekstrüzyon basıncını arttırır.

Sürtünmeyi azaltmak için uygun yağlama yapılabilir. Örneğin alüminyum genellikle yağlamasız veya sadece matris çok az yağlanarak biçimlendirilir. Alüminyum ve bakır alaşımlarında grafit, çeliklerde ise cam, yağlayıcı olarak kullanılabilir. Soğuk ekstrüzyonda ise yağlayıcı olarak sabun, organik ve madeni yağlar ile grafit tozu içeren karışımlar kullanılabilir.

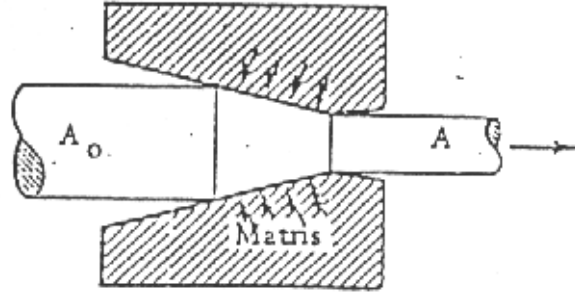


Şekil 2.29. Ekstrüzyonda malzeme akışı (Aran)

Ekstrüzyon türüne, matris biçimine ve sürtünme koşullarına ve ekstrüzyon oranına bağlı olarak kovanadaki malzeme akışı değişir. Şekil 2.29.' de endirekt ve direkt ekstrüzyonda malzeme akışı görülmektedir.

2.3.4. Tel ve Çubuk Çekme

Çekme yönteminde malzemeler matris olarak adlandırılan bir kalıp içinden geçirilerek kesitleri daraltılır ve biçimlendirilir. Bu plastik şekil değişimini gerçekleştirmek için parçaya çıkış tarafından bir çekme kuvveti uygulanır (Şekil 2.30.). Bu yöntemde şekil değişimini sağlayan, metalin kalıpla temas yüzeyinde ortaya çıkan dolaylı basma gerilmeleridir. Çekme yöntemiyle genellikle dairesel kesitli veya aksenal simetrisi olan ürünler elde edilir. Yöntem yüksek bir yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti elde etmek için uygundur. Başlangıç malzemesi olarak hadde, ekstrüzyon veya diğer yöntemlerle biçimlendirilmiş ara ürünler kullanılır.

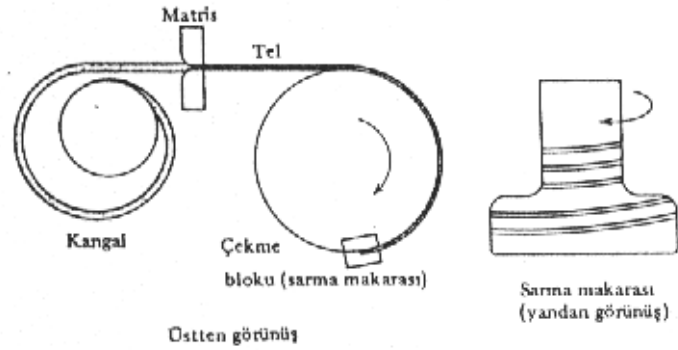


Şekil 2.30. Tel ve çubuk çekmenin prensip şeması (Aran)

Elde edilen ürünün kesit biçimi ve büyüklüğüne bağlı olarak yöntem, çubuk, tel ve boru çekme olarak sınıflandırılabilir. Çekme sıcak ve soğuk yapılabilir. Ancak genellikle soğuk çekme tercih edilir. Bununla beraber soğuk çekmede bile parça içinde deformasyon ve sürtünmeden kaynaklanan büyük miktarlarda ısı oluşumu söz konusudur.

Tel çekmede ürün, bobin veya kangal olarak sarılabilir, çekmede ise ürünün düz çekilmesi gerekir. Çubuk zincirli veya hidrolik bir mekanizma ile çekilir. Çekme makinesinin en önemli elemanı, şekil değişimini sağlayan matristir. Matrisin çan biçimindeki giriş kısmı yağlayıcıyı matris içine çekecek şekilde biçimlendirilmiştir. Matriste şekil değişimini belirleyen konik bölgenin tepe yarım açısı her malzeme için farklıdır ve çekme kuvvetini belirleyen önemli bir parametredir.

Tel çekme işlemine yüzeyi mekanik olarak veya asitle temizlenmiş, bobin veya kangal şeklinde sarılmış malzemelerle başlanır (Şekil 2.31.). Çekilecek malzemenin yüzeyine genellikle kaplama uygulanır. Matrisler, çubuk çekmedekilere benzer. Yağlayıcı olarak kuru çekmede gres veya sabun tozu kullanılır; yağ çekmede ise tüm matris sıvı yağlayıcı içindedir.



Şekil 2.31. Tel çekme tezgahı şeması (Çapan, 1999)

Borular ya sac şeritlerin kıvrılıp kaynatılmasıyla (dikişli boru), veya blok malzemeden çeşitli yöntemlerle çekilerek (dikişsiz boru) üretilirler.

2.3.5. Sac Şekillendirme Yöntemleri

2.3.5.1 Sac Kesme

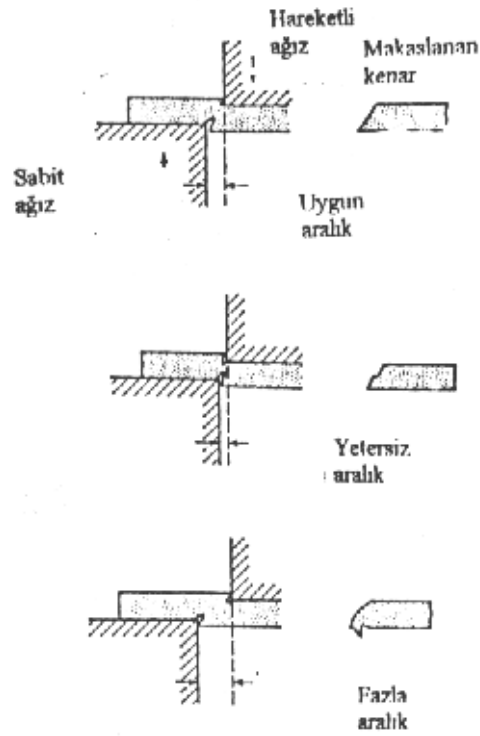
Kesme yada diğer bir deyimle makaslama, hareket eden iki kesme ağız tarafından metalin ayrılmasıdır (Şekil 2.32). Bir zımba ve buna uyan matris arasına konan bir sacın zımba ve matris arasında zorlanarak kesilmesine zımbalama denir. Kesmede bıçaklar birbirine doğru hareket etmeye başlayınca, sacın her iki yüzünde de tatbik edilen kuvvet nedeniyle bir plastik şekil değişimi başlar ve kopma mukavemet değerine erişilince kopma meydana gelir.

Makaslamada kesme ağızları arasındaki aralık önemli bir değişkendir. Uygun aralıkta kesme ağızlarında oluşan çatlamlar, metal kalınlığınca uzayıp tam ortada birleşerek, düzgün bir kesme ağızı meydana getirir. Fazla aralıkta kesme ağızı düzgün

olmaz ve fazla kısım plastik şekil değişimine uğradığı için de daha büyük kuvvete gerek duyulur. Sert ve gevrek malzemeler az plastik şekil değişimine uğrayabileceklerinden, aralık dar olmalıdır. Sac kalınlığı (t) olmak üzere, ıstampa ile matris arasındaki aralık malzeme cinsine göre aşağıdaki değerlerde olabilir:

<u>Malzeme cinsi</u>	<u>Aralık</u>
Az karbonlu çelik, pirinç	(1 / 40).t
Yüksek karbonlu çelik	(1 / 30).t
Alüminyum	(1 / 20).t

Kesme sisteminde hareketli ağız ıstampa, sabit ağız matris üzerindedir. Matris ve ıstampa arasındaki aralık sac kalınlığı ve sac malzemesinin fonksiyonudur.

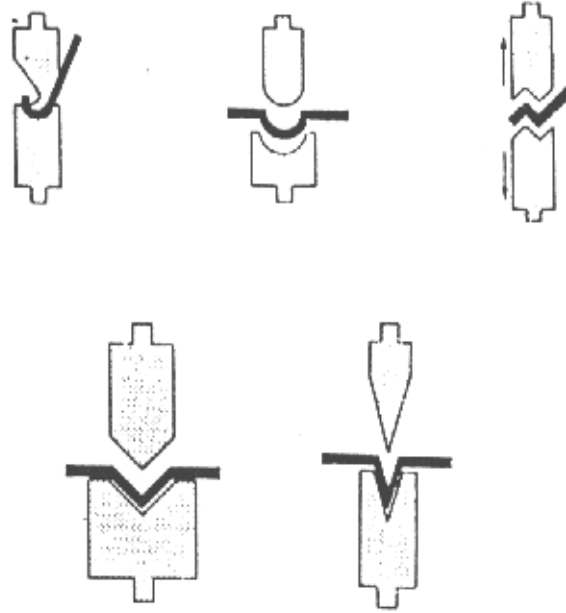


Şekil 2.32. Kesme işleminin prensibi (Anık, 1994)

Başlıca kesme işlemleri: Uç kesme, ayırma, çevre kesme, delme, çentik açma, yarma, etek kesme, hassas kesmedir.

2.3.5.2. Bükme

Sacların plastik bölgeye girilecek şekilde uygulanan eğme zorlanmaları ile biçimlendirilmesi bükme olarak adlandırılır. Bükme işleminden sonra düzlemler arasında bir açı oluşturulabileceği gibi, belirli çaplarda eğri şeklinde bükmeler de yapılabilir. Kıvrırma ise , sonsuz sayıda bükmelerin kapalı veya açık eğri oluşturmaları olarak tarif edilebilir. Şekil 2.33.' de çeşitli bükme işlemleri görülmektedir.



Şekil 2.33. Çeşitli bükme işlemleri (Anık, 1994)

Bükme işlemi bir bükme makinesi (caka veya abkant pres) veya herhangi bir prese takılan bükme zımbalarıyla yapılır. Cakalar daha çok ince sacların bükülmesinde kullanılır. Abkant preslerle ise büyük boyutlu saclar bükülebilir. Kıvrırma işlemi özel kıvrırma tezgahlarında veya kıvrırma zımbaları ile yapılır. Bu tezgahlarda sac altta iki ve üstte bir olmak üzere üç merdaneden oluşan bir haddeden geçerek kıvrılır.

Bükme işlemi kısıtlayan faktörler şu şekilde özetlenebilir:

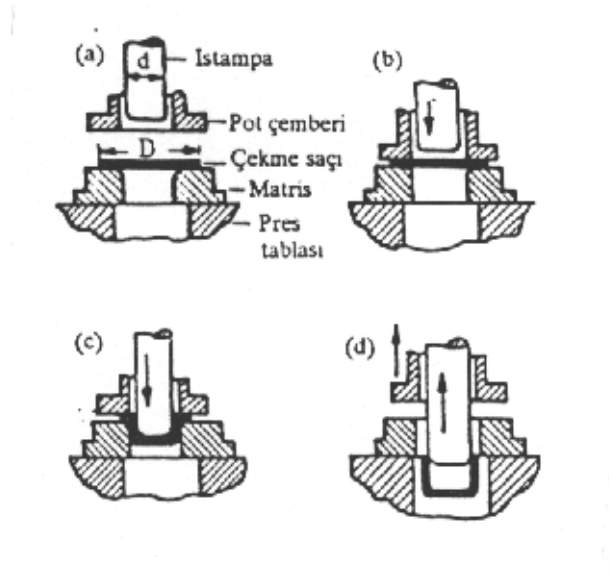
a) Bükme sonrasında sac yüzeyinin portakal kabuğu şeklindeki görünümü estetik açıdan problem yaratabilir. Bu, ince taneli malzeme kullanılarak giderilebilir.

b) Bükme sırasında uygulanabilecek en küçük bükme yarıçapından daha küçük bükme yarıçaplarının uygulanması durumunda, yerel büzülme, dış yüzeyde çatlama, iç yüzeyde ezilme oluşumu görülür.

c) Bükme sonrasında malzemenin geri yaylanması sonucunda bükme kalıbının belirlediği geometri elde edilmeyebilir. Bundan kaçınmak için malzemeye aşırı basma gerilmesi uygulanabilir veya akma sınırını düşürerek şekillendirme (yüksek sıcaklıkta şekillendirme) yapılabilir.

2.3.5.3. Derin Çekme ve Sıvama

Derin çekme, sac levhalardan kap şeklinde cisimler elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Üretilcek parçanın açılmış şekline uygun bir sac parçası çekme matrisi üzerine konur. Pot çemberi adı verilen bir bastırıcı sac levhayı tutar ve ıstampa sac parçasını matris deliğinden geçirerek, iş parçasının elde edilmesini sağlar (Şekil 2.34.).



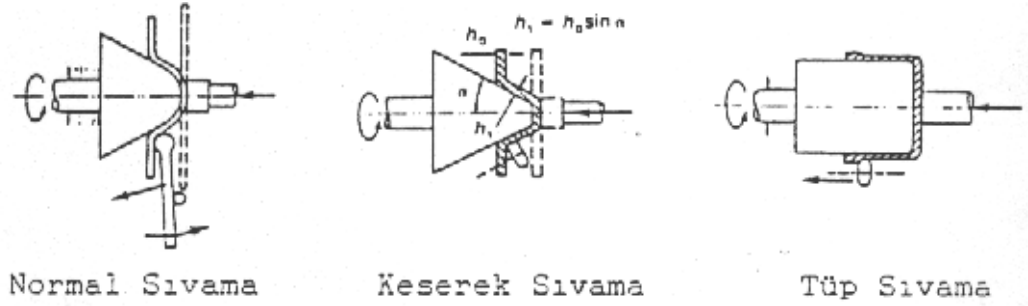
Şekil 2.34. Derin çekme (Çapan, 1999)

Çekme işleminde sac parçası matris üzerine konur. Pres harekete geçince, sac pot çemberi ve matris arasında sıkışır. İstampa çekmeye başladığı zaman, sac yavaş

yavaş süzülmelidir. Eğer pot çemberi kuvveti fazla gelir ve süzülme olmazsa sac yırtılır; kuvvet az gelirse, sac katlanır.

Çekme sırasında meydana gelen sürtünme, kalıp yüzeyleri düzgün işlenerek ve sac parçaları yağlanarak olabildiğince azaltılır. Yağlamada sabunlu yağ ve gres kullanılır. İnce yağlar yüksek basınç altında dışarı atılacağından, grafit ve kireçli su ilavesiyle kalınlaştırılır.

Sıvama işleminde, dönele simetriye sahip derin parçalar, düz bir sacın, üretilecek parça biçimine sahip ve dönen bir kalıp üzerine bastırılması yoluyla elde edilmektedir. İşlem el yeya makine gücüyle yapılabilir. 3 mm. Kalınlığa kadar düşük karbonlu saclar ve 6 mm. kalınlığa kadar alüminyum levhalar elle biçimlendirilebilmektedir. Şekil 2.35.' de gösterildiği gibi normal sıvama, keserek sıvama ve tüp sıvama gibi değişik türleri vardır.



Şekil 2.35. Sıvama ile şekillendirme (Aran)

BÖLÜM 3

KONUNUN ÖNEMİ, ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR VE TEZ ÇALIŞMA PLANI

3.1. KONUNUN ÖNEMİ

Üretim yöntemleri içinde önemli bir yere sahip olan dövme, çok sayıda üretim söz konusu olduğunda büyük zaman kazancı sağlar. Bununla beraber dövme yöntemi, dövme malzemesinin tokluğunu arttırarak ve yönlendirilmiş bir malzeme akışı sağlayarak mekanik özellikleri de iyileştirdiği için tercih edilen bir üretim yöntemidir.

(Akata, 1987)

Plastik şekillendirmede malzemelerin davranışları; malzemenin kimyasal bileşim ve iç yapısı, şekil verme sıcaklığı, şekil verme hızına ve sürtünme şartlarına bağlıdır. Bu çalışmada en temel dövme yöntemlerinden olan açık kalıpla dövme (yığma), bu işlem esnasında iş parçası-kalıp ara yüzeylerindeki sürtünme sonucu oluşan fıçılama ve katlanma olayı, yüzey alanlarının değişimi konusu araştırılmaktadır. Sürtünmeli ve sürtünmesiz durumlarda, değişik malzeme türlerinde yüzey alanlarının ne şekilde değiştiği, ilk hale göre nasıl değiştiği araştırılmıştır. Fıçılama kurtulmak için Rastegaev Test Parçalarının kullanımı ve yağlamanın önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca numunenin yüksekliğinin ve malzeme türünün fıçılama üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sürtünme katsayısını belirlemede, literatürde önerilen halka yığma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde belirli bir deformasyonda halka iç ve dış çap değerlerindeki değişme, kalıp / halka ara yüzeyindeki sürtünmeye büyük ölçüde bağlıdır. Bilindiği gibi

halka yığma yönteminde, sürtünme katsayısını belirleyebilmek için, malzemenin akma sınırını bilmeye ve basma kuvvetini ölçmeye gerek duyulmaz ve değişik basma hızlarında deney yapılabilir. Sürtünme katsayısını belirlemede kullanılan halka yığma yöntemi ile birlikte fıçılama ve katlanma miktarından faydalanarak da sürtünme katsayısının tayin edilmesi konusunda çalışılmıştır.

Bu deneylerle sürtünme katsayısının malzeme çeşitlerine göre değişip değişmediği analitik olarak incelenmiştir. Takip eden bölümde bu yöndeki çalışmalar ile ilgili bir literatür taramasının sonuçları verilecektir.

3.2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Açık kalıpla dövmedeki malzeme akışı; yığma, sürtünme, fıçılama ve katlanma olaylarıyla yakından ilişkilidir. Bundan ötürü bu konularla ilgili çalışmalar incelenmiştir.

En basit dövme işlemi yığmadır. Yığmada, iki düz yüzeyle kalıp arasındaki iş parçasının, yüksekliği doğrultusunda uygulanan basma kuvveti etkisiyle şekil değiştirmesi sağlanır. Yığma ile ilgili olarak birçok deneysel ve kuramsal çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar şu soruların cevaplarını bulmaya yöneliktir:

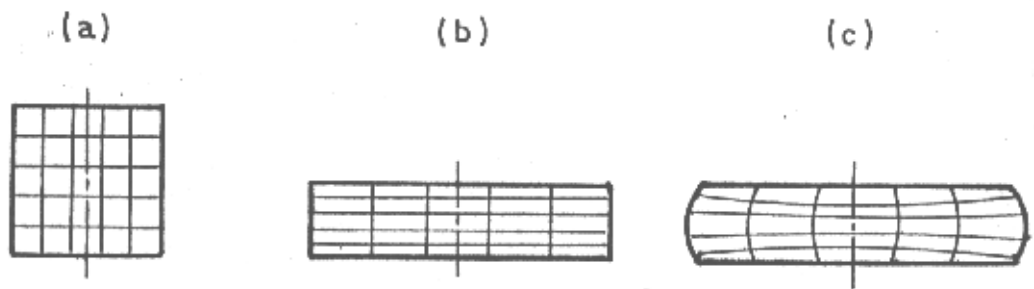
1. Yığma kuvveti, malzeme özellikleri ve yığma işlemi değişkenleri arasındaki ilişki nedir?
2. İş parçasında malzeme nasıl şekil değiştirmektedir?
3. İş parçasında bir hasar olmadan, yüksekliği ne kadar azaltılabilir?

Yığma konusundaki kuramsal çalışmalar çok eskilere dayanır. Örneğin, şeritlerin ve aksel simetrik (silindirik) parçaların iki rijit plaka arasında basılması gibi konular 20. Yüzyılın başından itibaren incelenmeye başlanmıştır. Bu çalışmalarda, sürtünmeli ve/veya sürtünmesiz hallerde, parça ile rijit plakaların temas yüzeylerindeki gerilme analizi, buna bağlı olarak da kuvvet hesabı kuramsal olarak incelenmiştir.

Yığıma ile ilgili deneysel çalışmalar da oldukça eskiye dayanır. Cook ve Larke (1945), bakır ve bakır alaşımlarından yapılan silindirik deney parçaları ile oda sıcaklığında basma deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde değişik çaplar ve bu çaplara ait değişik “yükseklik/çap” oranları kullanarak parça geometrisinin basma kuvveti ve gerilmesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu deney sonuçlarına göre, belirli bir çap için parça yüksekliği arttıkça (veya belirli bir yükseklik için parça çapı azaldıkça), aynı miktarda bir şekil değişimi için daha düşük basma gerilmeleri elde edilmektedir.

Bu konuda temel araştırma niteliğindeki bir çalışma Schroeder ve Webster(1949) tarafından yürütülmüştür. Anılan çalışmada dairesel ince bir plakanın basılması olayı, farklı yağlayıcılar kullanılarak oluşturulan değişik sürtünme şartları altında incelenmiştir. Oda sıcaklığında yapılan bu deneyler sonunda, sürtünme katsayısının yağlama şartlarına bağlı olduğu, deney parçası malzemesinin sürtünme katsayısını etkilemediği gösterilmiştir.

Bilindiği gibi, yığımda sürtünme, parçanın fıçı şeklinde şişmesine yol açar (Şekil 3.1.). Fıçılaşıma kuramsal sonuçların pratiğe uygulanmasını sınırlandıracak gibi belirli bir yığıma oranından sonra deney parçasının serbest yüzeylerinde çatlak oluşmasına yol açar.



Şekil 3.1. Yığımda sürtünmenin etkisi: Deney parçasının; (a) İlk hali, (b) Sürtünmesiz halde şekil değiştirmiş hali, (c) Sürtünmeli halde şekil değiştirmiş hali (Akata, 1987)

Sürtünme katsayısının bulunması ile ilgili olarak, ilk defa Kunogi tarafından önerilerek Male ve Cockroft (1964-1965) tarafından geliştirilen halka basma

deneyleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın temeli, daha önce de belirtilmiş olduğu gibi, halka şeklindeki bir parçanın yığılması sırasında halka iç çapındaki değişimlerin ölçülmesidir.

Kulkarni ve Kalpakjian (1969) serbest deformasyonun bir örneği olan fiçilaşma konusunda 7075-0 Alüminyum numunelerle çalıştılar. Çalışmalarında fiçilaşan yüzey profilinin bir daire parçası olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Kobayashi (1970), AISI 1040 çeliğinden yapılan silindirik ve halka şeklindeki deney parçalarını oda sıcaklığında farklı sürtünme şartlarında yığarak sürtünmenin fiçilaşmayı arttırdığını, yığma sonucunda dış yüzeylerde oluşan çatlakların tipini etkilediğini, ayrıca halkalarda silindirlere, uzun parçalarda ise kısıllara kıyasla daha etkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada verilen parça geometrilerine göre yığma sonundaki maksimum kesitin, fiçilaşma olmaması kabulü ile hesaplanan ortalama kesite oranı, düz tabanlı ıstampalar ve yağlama yapılmaması durumunda 1.07 değerine kadar çıkabilmektedir. Yağlayıcı kullanılması durumunda ise bu oran 1.04 civarındadır.

Yine yığmada fiçilaşma üzerine Lee ve Altan'ın (1972) bir çalışması dikkat çekicidir .Bu çalışmada silindirik ve halka şeklindeki parçaların yığılmasında, şekil değişimi miktarı, şekil değişimi hızı, deney parçasında akma gerilmesi dağılımı, kuvvet- şekil değişimi eğrisi ve fiçilaşma profili, hazırlanan bir bilgisayar programı ile kuramsal olarak hesaplanmış, elde edilen değerlerin belirli sürtünme koşullarında deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada verilen parça boyutları ve yığma oranı için maksimum kesitin ortalama kesite oranı, maksimum sürtünme şartlarında 1.1, yağlayıcı kullanılması halinde ise 1.08 civarındadır.

Halka dövmede yığma kuvvetleri ve malzeme akışının belirlenmesi için Avitzur ve Sauvervine (1978) tarafından, halka iç ve dış yüzeylerindeki fiçilaşmayı da dikkate alan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Yine halka dövmede malzeme akışını ve parça üzerindeki sıcaklık dağılımını tahmin edebilmek için Nagpal, Lahoti ve Altan (1978) tarafından bir nümerik analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada malzeme akışı ve parça üzerindeki yerel sıcaklık dağılımının birbirlerini karşılıklı olarak etkilediği göz önüne alınarak belirtilen çözüm elde edilmiştir.

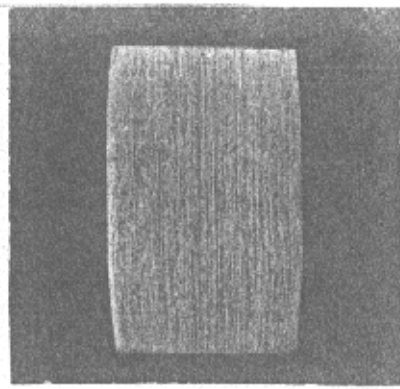
Avitzur ve Kohser (1978), şerit ve disk şeklindeki parçaların dövülmesinde serbest yüzeylerdeki malzemenin kalıplar üzerine yatmasını da dikkate alan matematiksel modeller geliştirmişlerdir

Dadras (1981) tarafından yapılan bir çalışmada da dövülen bir silindirdeki elastik bölgenin (ölü bölge) sınırları, fiçilaşma profilinin denklemi ve kuvvet-şekil değişimi eğrisinin belirlenmesi için yarı ampirik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada elastik bölgenin, malzemenin başlangıç akma gerilmesi σ_0 ile deney sırasındaki akma gerilmesi σ_{Ak} oranına (σ_0/σ_{Ak}) bağlı olduğu ve sürtünmenin artması halinde elastik bölgenin büyüdüğü gösterilmiştir.

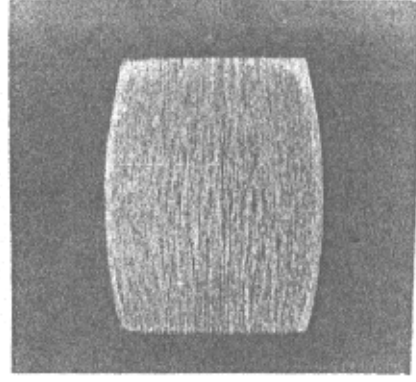
Soğuk dövmede hasar tahmini ile ilgili olarak yapılan başka bir çalışmada ise Ettouney ve Hardt (1983) fiçilaşmadan gelen etkiyi bir yüzey düzeltme katsayısı ile elimine etme yoluna gitmiştir.

Banerjee de (1985) yaptığı deneylerde fiçilaşma profilinin bir daire parçası olduğunu ve yarıçapının gerçek aksenal basma gerilmesine bağlı olduğunu göstermiştir.

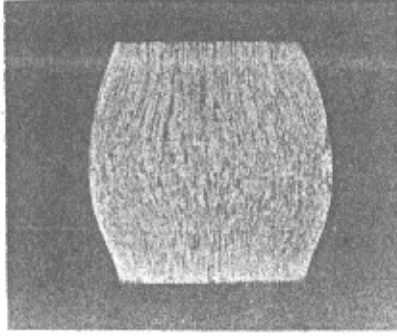
Akata (1987), düz dipli ıstampaları kullanarak, çeşitli yığıma oranlarında AISI 1040 çeliğinde malzeme akışını (Şekil 3.2.) ve yükseklik / çap oranının malzeme akışına etkisini (Şekil 3.3) incelemiştir.



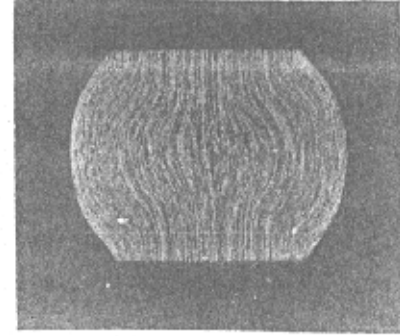
(1) %10 şekil değişimi



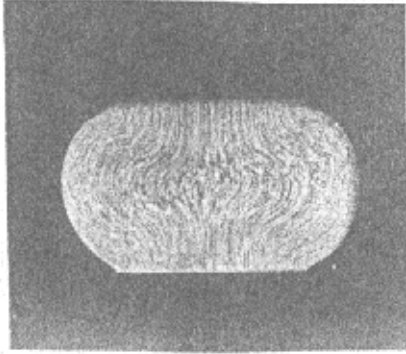
(2) %20 şekil değişimi



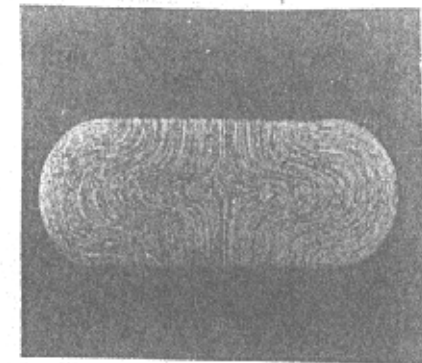
(3) %30 şekil değişimi



(4) %40 şekil değişimi

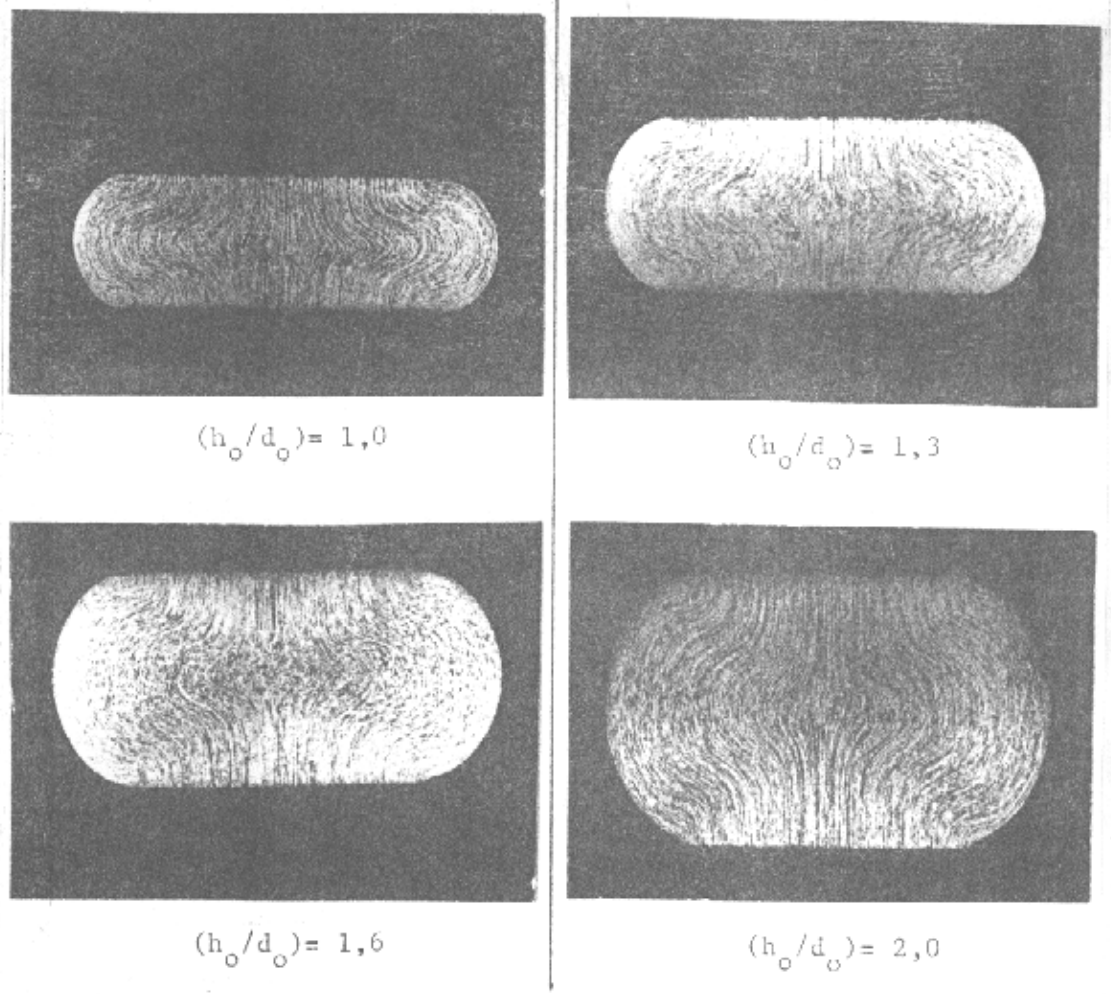


(5) %50 şekil değişimi



(6) %60 şekil değişimi

şekil 3.2. Düz dipli ıstampalarla yığmada malzeme akışının gelişimi (Akata, 1987)

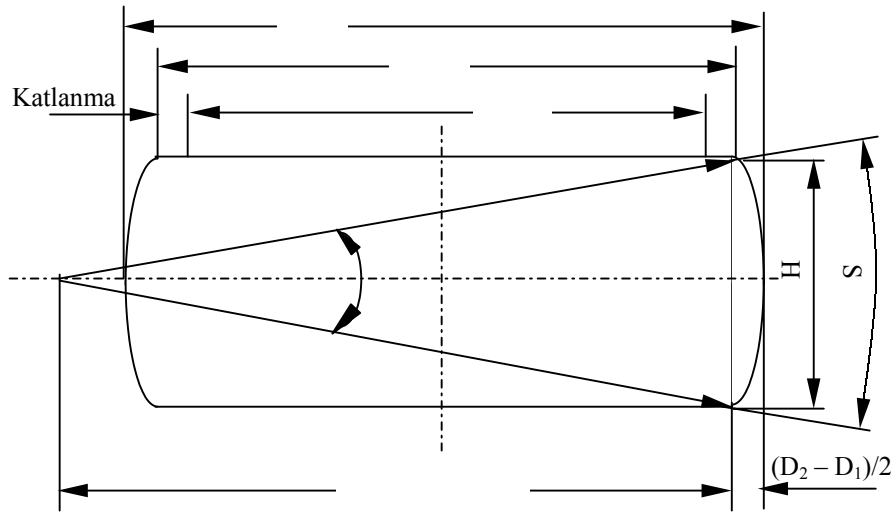


Şekil 3.3. Düz dipli ıstampalarla yığmada yükseklik / çap oranının malzeme akışına etkisi (Tüm numuneler % 50 yığılmıştır) (Akata, 1987)

Yine fiçilaşma üzerine Akata (1988) tarafından yapılan bir çalışmada, AISI 1040 orta karbonlu çelikten talaşlı şekil vermeye elde edilmiş değişik H_0/D_0 oranlarına sahip silindirik parçalar yüksek sıcaklıkta ısıtılarak yığılmıştır. Maksimum çapın ortalama çapa oranının, yığıma oranı ve parça başlangıç yüksekliğine de bağlı olarak 1.07 ile 1.12 arasında değiştiği ve yığıma sırasında grafit yağlayıcı kullanılmış olmasına

rağmen yüksek sıcaklıklarda kalıp soğutması etkisi nedeniyle fiçilaşmanın soğuk yığmaya kıyasla daha büyük olduğu gösterilmiştir.

Ettouney ve Stelson (1990) üniform olmayan(sürtünmeli durum) basma testine maruz kalan bir silindirin katlanma hesabına ait bir yaklaşık model sundular (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Üniform olmayan basma sırasında deforme olmuş bir silindir geometrisi

Bu model hacim sabitliği ve iş parçası geometrisi kullanılarak formüle edilmiştir. Bu model, katlanmaya ek olarak ekvatorial-eksenel genlemeleri hesaplamada da kullanılabilir. Bu çalışmada fiçilaşan yüzeyin yarıçapı bir daire arkına yaklaştırılarak, Pisagor Teoreminden hareketle;

$$R = \frac{H^2 + (D_2 - D_1)^2}{4(D_2 - D_1)} \quad (3.1)$$

olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yine aynı araştırmacılar (1990) üniform olmayan basma esnasında sürtünme katsayısının hesaplanmasına dair bir çalışma da yapmışlardır.

Dikicioğlu, Akata ve Erdoğan (1990) orta karbonlu çeliklerde tane boyutunun halka yığma deneyi üzerinde etkilerini araştırdılar. Çalışma sonucunda halka iç çapının değişiminin tane boyutundan etkilenmediği gösterilmiştir.

Vertin ve Majlessi (1993) Plastisite Deformasyon Teorisi yardımıyla asimetrik yığma işlemlerinin sonlu eleman analizi konusunda çalışmalar yapmıştır.

Lin (1995) yapmış olduğu çalışmada, yığma işlemi esnasında kalıp-iş parçası arayüzey sürtünmesini inceledi. Sürtünmenin deformasyon miktarıyla ilgili olduğu gerçeğinden yola çıkararak genleme, genleme oranı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olan akma gerilmesine bağlı bir termoelastik-plastik “coupling” modeli üzerinde çalıştı. Deformasyon miktarının bir fonksiyonu olarak sürekli değişen bir durum mevcut olduğundan, yükseklik azalmasına göre olan fonksiyonların (exponansiyel, polinomal) bu sürekli değişen olayı simule etmede kullanılabileceğini ileri sürdü. Deneyler sonucu iş parçası serbest yüzeyinin fiılaşmasını artarda gelen önerilen fonksiyonları modifiye etmede kullanılmıştır.

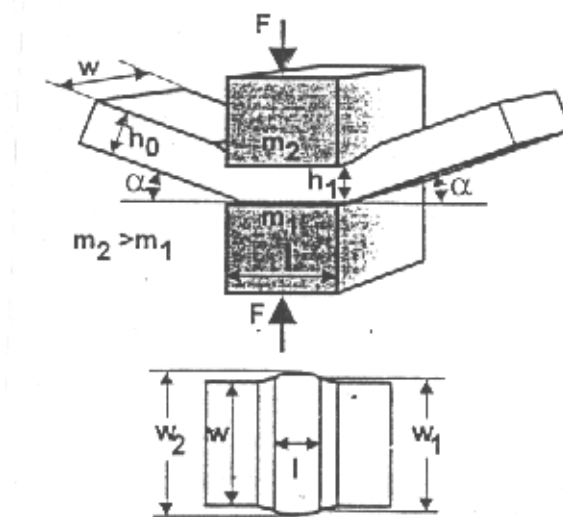
Narayanasamy ve Pandey (1997) tavlanmış alüminyum silindirlerin yığılmasını, oluşan fiılaşma eğriliğini daire yayına benzeterek araştırdılar. Fiının eğrilik yarıçapının silindirin yükseklik / çap oranına bağlı olmaksızın yeni bir geometrik Şekil faktörüyle ilişkili olduğunu ileri sürdüler. Ayrıca, fiının ölçülen eğrilik yarıçapı ile hidrostatik gerilme ve gerilme oran parametresi gibi diğer değişkenler arasında ampirik ilişkiler bulundu. Bu çalışmada eğrilik yarıçapı;

$$R^{1/2} = [H_0 / 2 (D_2 - D_1)^{1/2}] * [3D_0^2 / (2D_2^2 + D_1^2)] \quad (3.2)$$

olarak elde edilmiştir.

Pawelski, Rasp ve Volff (1998) sürtünme katsayısının belirlenmesi amacıyla bir dizi çalışma yapmıştır. Buna göre, dikdörtgen bir plaka ile yapılan basma deneyinde alt ve st takımlardaki sürtünme koşulları farklı ise numune bir α açısı ile st takıma doğru eğilir. Bu açı $\alpha = f (m_1, m_2, l / h, h_1, \sigma_f)$ olacak Şekilde pek çok parametrenin bir

fonksiyonudur. Böylesi bir deneyde sürtünmeyi ölçmenin iki yolu vardır: 1) Maksimum eğilme metodu: Herhangi bir yüzdeki sürtünme faktörü biliniyorsa (ör. $m = 1$) eğilme açısı α , diğer yüzdeki sürtünme katsayısının bir ölçüsüdür. 2) Karşılaştırma metodu: Bir yüzdeki bilinmeyen sürtünme faktörü, diğer yüzdeki değişik sürtünme durumlarıyla karşılaştırılır. Referans sürtünme değerleri ise halka basma deneyi ile elde edilir. Bu metot özellikle küçük sürtünme farklarına oldukça duyarlıdır ve küçük α açısından dolayı $d\varepsilon/dt = 1500-2000$ 1/sn. olan yüksek hızlı şekillendirmeler için uygundur. Çalışmalarında her iki yöntemi de kullanan Pawelski ilk yöntem için üst zımba yüzeyinde değişik sürtünme koşulları oluşturmuş ve yaptığı deneyleri, geliştirdiği matematiksel metotla karşılaştırmıştır. 2. yöntem için yüksek hızlı şekillendirmenin yapıldığı çalışmada α açısının değişimi incelenmiştir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Asimetrik yığma ve yanal yayılan numunenin üstten görünüşü (Pawelski, 1998)

Parteder ve Bünten (1998) bir iteratif sonlu eleman yöntemi kullanarak yapışma (sticking) sürtünmesi koşulları altında bir basma testi yardımıyla akma eğrilerini belirlediler. Bu çalışmada yapışma (sticking) sürtünmesi koşullarını sağlamak için yüksek sıcaklıkta seramik kalıplar kullanıldı. Deneyler molibden, tungsten ve tantal gibi refrakter metallerde tekrarlanmıştır.

Beyaz ve siyah plastisinle çalışmalar yapan Sofuoğlu ve Rasty (1999) tüm malzeme tipleri ve şartları için, literatürde kullanılan halka yığıma testlerinin kullanımının genelleştirilmiş sürtünme kalibrasyon eğrilerinin kullanımına uygunluğunu incelemişlerdir. Özel olarak sürtünme kalibrasyon eğrilerinin davranışları üzerinde malzeme özelliklerinin, genleme oranı hassasiyetinin ve fiçılaştırmanın etkisi araştırıldı. İlk PMT (Fiziksel Modelleme Tekniği) ile düzenlenen ve ABAQUS (elastik-plastik sonlu eleman kodu) yardımıyla simüle edilen deneyler sonucunda malzeme özellikleri ve test koşullarının sürtünme koşullarını etkilediği görüldü. Deneylerde yağlayıcı olarak vazelin, teflon ve talk pudrası kullanılmıştır. Sofuoğlu'nun plastisinle elde ettiği eğriler, sürtünmesiz hal dışında, Male'ninkinden farklıdır. Malzeme özelliklerinin sürtünme koşullarına etkilerinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmada söz konusu iki malzeme için kalibrasyon eğrileri karşılaştırılmış ve sürtünme koşullarının artmasıyla birlikte iki malzeme arasında önemli farklar olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada bir diğer önemli faktör fiçılaştırma olarak göze çarpmaktadır. Parçanın üst yüzeyinden ve ortasından alınan ölçümlere göre çizilen eğriler, deformasyon miktarının % 20' den büyük olduğu durumlarda farklar göstermektedir.

Li, Peng, Liu, Liu ve Jiang (2000) Ti-6Al-4V alaşımı numunelerle halka yığıma testi yardımıyla A5 cam yağlayıcının yağlama davranışını deneysel olarak araştırdılar. Sıcaklık ve genleme oranının değişimine göre yağlayıcının sürtünme ve kayma faktörleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Creus (2000) sürtünme katsayısı ve gerilme-genleme ilişkisini tek deneyle belirlemek için çalışmalar yapmıştır.

Hallström (2000), kalıp/iş parçası ara yüzeyindeki ortalama sürtünmeyi bulmak ve sürtünme ile kalıp doluluğu arasındaki ilişkiyi incelemek üzere çalışmalar yapmıştır. Darbeli çekiçlerle yapılan deneylerde üst kalıp yağlanmış ancak alt kalıba herhangi bir yağlayıcı sürülmemiştir. Çalışmasını sonlu elemanlar analizi yapabilen FORM2D ile destekleyen ve ampirik bir bağıntı öneren yazar kendi spesifik deney şartlarında

(malzeme, sıcaklık, presin darbe sayısı) en iyi doluluk oranının üst kalıp için $m = 0.2$ ve alt kalıp için $m = 1$ durumunda sağlandığını belirtmektedir.

Wang (2001) daimi olmayan sürtünme kesme gerilmeleri yardımıyla kalibrasyon eğrilerinin yeniden oluşturulması için yeni bir yöntem üzerinde çalışmıştır. Bu modelde, sürtünme yüzeyi üzerindeki kesme gerilmesi dağılımı türetilebilir. Sürtünme kesme gerilmesinin dağılımının z-yönündeki hızın ikinci ve birinci türevlerinin oranına (F katsayısı) bağlı olduğu gösterilmiştir.

Park, Kim ve Jin (2001) daha düşük eksenel yığıma kuvvetleriyle çalışabilmek ve daha yüksek deformasyon oranlarına ulaşabilmek için rotasyonel dövme prosesini geliştirmiştir.

Yukarıda açıklanan ve literatürde yer alan çalışmalar, plastik şekil verme yöntemlerinde büyük bir önemi bulunan sürtünmeyle ilgili araştırmalar arasından derlenmiştir. Çalışmalarda sürtünme katsayısının malzemeye bağlı olmadığı yönünde büyük bir uzlaşma olmasına karşılık, malzemeye göre değiştiği yönünde de iddialar mevcuttur. Bu durumda silindirik parçaların yığılması olayında deformasyon profillerinin daha detaylı olarak incelenmesi önem kazanmaktadır. Sunulan tez çalışması gerek bu tartışmalara katkıda bulunmak ve gerekse de silindirik parçaların yığılması olayında deformasyon profillerinin daha detaylı olarak incelenmesi üzerinde yoğunlaşacaktır. Bu amaçla, takip eden bölümde silindirik parçaların düz kalıplar arasında yığılmasında sürtünmesiz ve sürtünmeli haller için yüzey profilleri ve yüzey alanları ile ilgili olarak daha detaylı bilgiler yer alacaktır.

3.3. ÇALIŞMA PLANI

Önceki kısımlarda belirtilen konular ışığında, plastik şekil vermenin temel yöntemlerinden olan açık kalıpla dövme (yığma) prosesinde karşılaşılan fıçılama olayı, sürtünmesiz ve sürtünmeli durumlar için değişik malzemelerde yarıçap ve yüzey alanı değişimleri belirlenecektir.

Üniform (sürtünmesiz) durumun sağlanması için, literatürde de belirtilen Rastegaev test parçalarından yararlanılacaktır. Değişik malzemelerden (kurşun, alüminyum, Ms 58 pirinç, 4140 ıslah çeliği, 8620 sementasyon çeliği), h_0 / d_0 (ilk yükseklik / ilk çap oranı) 1 ve 0,5 olan Rastegaev test parçaları ve normal numuneler hazırlanacaktır. Daha sonra her iki gruba ait numunelerin yüzeyleri serigrafi yöntemiyle 2×2 mm.'lik karelerden oluşan ağlarla kaplanacaktır. Değişik yığma oranlarında yapılan deneyler sonucunda, literatürde belirtilen $\epsilon_r = \epsilon_\theta = 2 \epsilon_z$ eşitliğinin Rastegaev test parçalarında lokal ve global olarak sağlanıp sağlanmadığı incelenecektir. Bu deneylerdeki şekil değiştirme ile ilgili ölçümlere ek olarak yığma kuvvetleri de ölçülerek gerilme değerleri hesaplanacaktır. Yan yüzde başlangıçta oluşturulan ağ kareleri boyutlarında yığma sonucunda oluşan düşey değişimler ölçülerek her bir karedeki ϵ_z değerleri hesaplanacak ve düşey doğrultudaki değişimleri grafik olarak elde edilecektir.

Normal numunelerle deneylere geçmeden önce çeşitli malzemelerden 6:3:2 oranlarında halka yığma numuneleri hazırlanarak, kullanılan kalıplarda değişik malzemelere göre m ve μ değerlerinin elde edilmesi sağlanarak sürtünme katsayısının malzemeye göre değişimi incelenecektir.

Normal silindirik numunelerle de değişik yığma oranlarında deneyler yapılarak, öncelikle malzeme üzerindeki kare geometrili ağlardan faydalanarak genleme dağılımı incelenecektir. Burada amaç en yüksek genlemelerin malzemenin hangi bölgesinde olduğunu bulmaktır. Ayrıca bu çalışmayla katlanmaların hangi yığma oranında başladığı da belirlenmeye çalışılacaktır.

Normal numunelerle $\Delta h-r$ (Yığıma miktarı - Fıçı yarıçapı) ve $\Delta h-\Delta A$ (Yığıma miktarı – Yüzey alanı farkı) değişimleri de incelenmiştir. Sonuçta bu değişimlerin malzemelere göre önemli farklılıklar gösterip göstermediği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak, üniform ve üniform olmayan hal için yüzey alanlarının nasıl değiştiği konusunda analitik yaklaşımlar yapılarak her iki hal için toplam yüzey alanı değişimleri denklem olarak verilecektir.

Bu bölümde, sürtünmeli durumla ilgili çalışmada oluşan fıçılaştırılmış yanal yüzey, yüzey profilini oluşturan çember parçasının parça eksenine etrafında 2π döndürülmesiyle oluşan dış yüzey alanı olarak hesaplanacaktır. Her iki durum içinde yığıma oranının artmasıyla birlikte (numune yüksekliğinin azalmasıyla), yüzey alanlarının nasıl değiştiği formüle edilecektir.

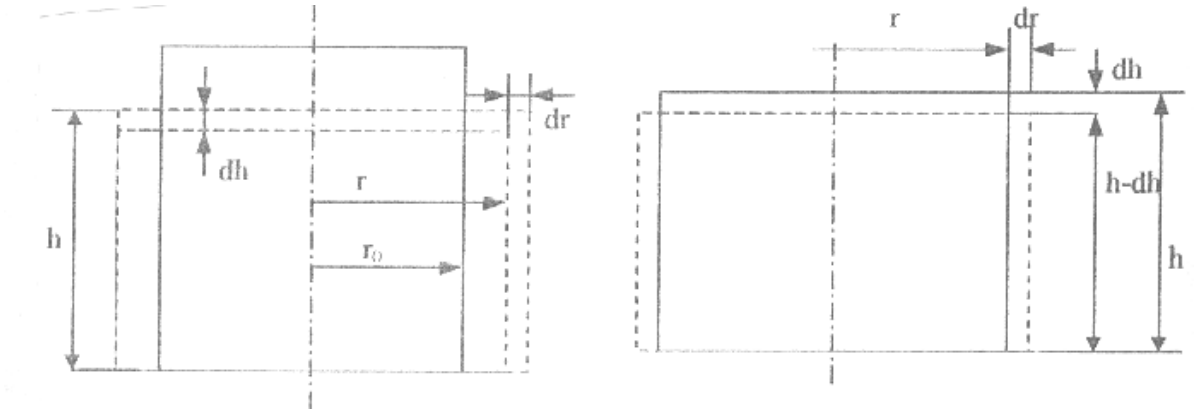
Son olarak 5. bölümde deneylerin yapılışı ve deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilecek, 6. bölümde ise deneysel sonuçlar verilerek ilgili yorumlamalar yapılacaktır.

BÖLÜM 4

YÜZEY ALANI DEĞİŞİMLERİ İÇİN ANALİTİK YAKLAŞIMLAR

4.1. SÜRTÜNMESİZ (ÜNİFORM HAL) İÇİN YÜZEY ALANININ BULUNMASI

Sürtünmesiz durumda, parça geometrisi ilk ve son hallerde silindir şeklindedir. Sürtünme olmadığı için malzeme üniform şekil değiştirmektedir. Bu sonuca ulaşmak için literatürde belirtilen Rastegaev Test parçaları kullanılarak sürtünme olabildiğince azaltılmıştır.



Şekil 4.1. Üniform basma sırasında deforme olmuş bir silindir geometrisi

İlk aşamada fiçilaşmanın olmadığı sürtünmesiz durum için deformasyon öncesi ve sonrası yüzey alanlarının değişimi analitik olarak araştırılmıştır (Şekil 4.1.). Buradan hareketle parça yüzey alanının, yığmanın ilerlemesiyle birlikte büyüdüğü gösterilmiştir. Yüzey alanının, parçanın başlangıç ve herhangi bir andaki yüksekliğine bağlı olarak

$$A = 2 \pi r_0 \left(\sqrt{h_0} \sqrt{h} + r_0 \frac{h_0}{h} \right) \quad (4.1)$$

şeklinde değiştiği bilinmektedir. Bu denkleme göre, üniform basma sırasında yüksekliğe bağlı olarak alanın değişimi grafiği Şekil 4.2’de görülmektedir

Ayrıca, yine fiçilaşmasız halin diferansiyel formda incelenmesi sonucu (Şekil 4.1.), hacim sabitliğinden

$$-\pi r^2 dh = 2 \pi r (h dr) \quad (4.2.)$$

yazılabilir. Bu ifadeden hareketle

$$\frac{dh}{h} = -2 \frac{dr}{r} \quad (4.3.)$$

$$\ln h \Big|_{h_0}^h = -\ln r \Big|_{r_0}^r \quad (4.4.)$$

$$\ln h - \ln h_0 = -(\ln r^2 - \ln r_0^2) \quad (4.5.)$$

$$\ln \frac{h}{h_0} = \ln r_0^2 - \ln r^2 = \ln \frac{r_0^2}{r^2} \quad (4.6)$$

$$\frac{h}{h_0} = \frac{r_0^2}{r^2} \quad (4.7)$$

$$\frac{h_0}{h} = \frac{r^2}{r_0^2} \quad (4.8)$$

elde edilmiştir ve

$$A = 2 \pi r^2 + 2 \pi r h \quad (4.9)$$

şeklinde belirtilen yüzey alanı artış gösterdiğinde

$$A + dA = 2 \pi (r + dr)^2 + 2 \pi (r + dr) (h - dh) \quad (4.10)$$

halini alır ve denklem (4.7) ve (4.2)'den yararlanarak

$$dA = -(2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left(r_0 \frac{\sqrt{h_0}}{h^2} + \frac{1}{\sqrt{h}} + \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{h}} \right) dh \quad (4.11)$$

olduğu gösterilmiştir. Bu ifadeyi integre edersek

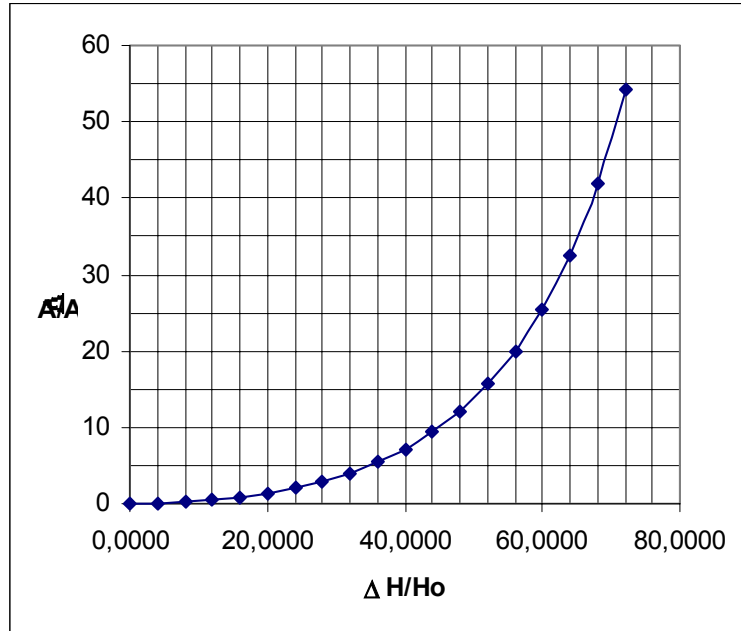
$$\int_{A_0}^A dA = \int_{h_0}^h -(2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left(r_0 \frac{\sqrt{h_0}}{h^2} + \frac{1}{\sqrt{h}} + \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{h}} \right) dh \quad (4.12)$$

$$= (2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left[r_0 \sqrt{h_0} \left(-\frac{1}{h} \right) + 2\sqrt{h} + \sqrt{h} \right]_{h_0}^h \quad (4.13)$$

elde edilir ve buradan da

$$\Delta A = (2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left[r_0 \sqrt{h_0} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_0} \right) + 2(\sqrt{h_0} - \sqrt{h}) + (\sqrt{h_0} - \sqrt{h}) \right] \quad (4.14)$$

olur.

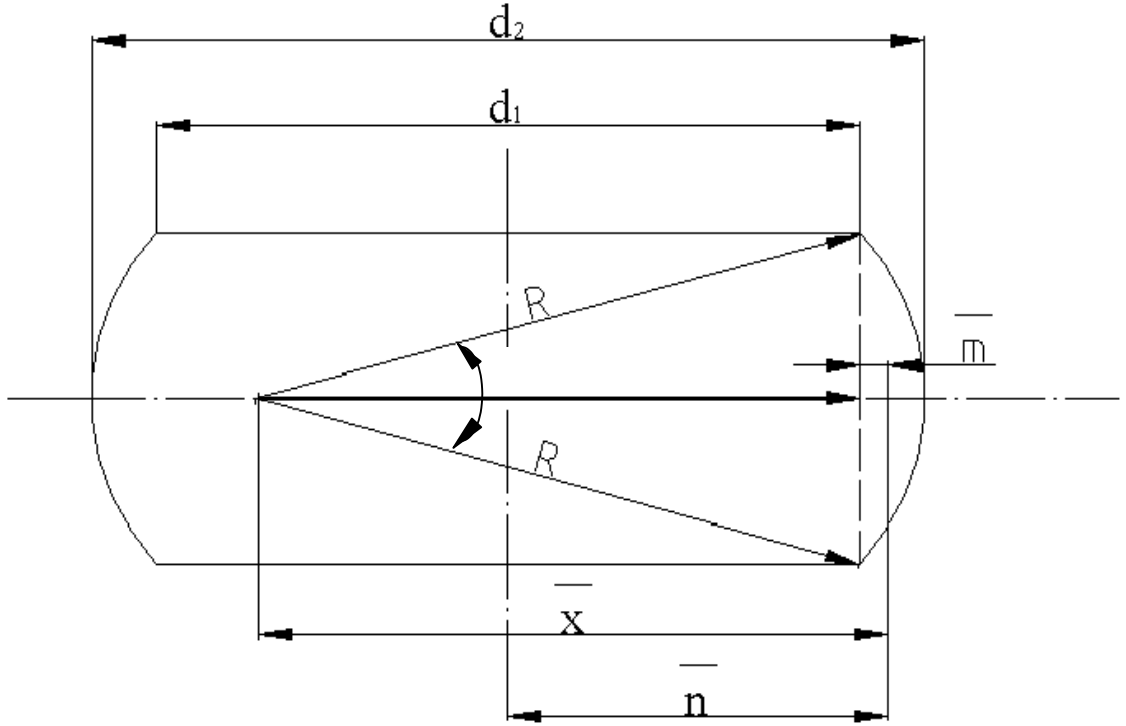


Şekil 4.2. Üniform basma sırasında yüksekliğe bağlı olarak alanın değişimi ($h_0/d_0=1$)

4.2. SÜRTÜNMELİ (ÜNİFORM OLMAYAN) HAL İÇİN YÜZEY ALANININ BULUNMASI

Üniform olmayan halde (sürtüneli halde), sürtünme nedeniyle parçanın yanıl yüzeylerinde fıçılafma görölmektedir (Şekil 4.3.). Bu durumdaki parçada yüzey alanını saptayabilmek için, deforme olmuş parçanın yanıl yüzey alanını (torr alanı) ve alt-üst yüzeylerin alanını ayrı ayrı bularak toplam yüzey alanı bulunabilir.

Burada fıçıl konturu bir çember parçası olarak ele alınmaktadır. Daha sonra Pappus- Guldenus Teoremi yardımıyla, eğri parçasının ağırlık merkezinin parça orta eksenine olan uzaklığı saptanır. Eğri parçası bu uzunlukta merkez etrafında döndürölerek yanıl alan bulunabilir



Şekil 4.3. Üniform olmayan basma sırasında deforme olmuş bir silindir geometrisi

4.2.1. Yanal Alanın Bulunması

Eğri parçasının ağırlık merkezi (\bar{x}), aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Beer).

$$\bar{x} = R \cdot \sin\theta / \theta \quad (4.15)$$

Bu şekilde, eğri parçasının ağırlık merkezinin orta eksene uzaklığı \bar{n} ile belirtilmiştir. Eğri uzunluğu S ile belirtilmiştir (Ettouney, 1990).

$$\bar{m} = \bar{x} - R \cdot \cos\theta \quad (4.16)$$

$$\bar{n} = \frac{d_1}{2} + \bar{m} \quad (4.17)$$

$$S = 2 R \theta \quad (4.18)$$

S, tanımlandıktan sonra yanal alanı (Y. A) bulabilmek için Pappus- Guldenus teoreminden yararlanılmıştır .

Yanal alan için Pappus-Guldenus Teoremi (Beer) :

$$Y. A = 2 \cdot \pi \cdot \bar{n} \cdot S \quad (4.19)$$

$$= 2 \pi \left(\frac{d_1}{2} + \bar{x} - R \cdot \cos\theta \right) \cdot S = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_1}{2} + \frac{R \sin\theta}{\theta} - R \cdot \cos\theta \right) \cdot S \quad (4.20)$$

$$= 4 \pi R \cdot \theta \left(\frac{d_1}{2} + \frac{R \sin\theta}{\theta} - R \cdot \cos\theta \right) \quad (4.21)$$

4.2.2. Toplam Yüzey Alanının Değişimi

Burada deformasyon sonrasında alt ve üst yüzeyler daire olarak büyümekte, fiçilaşmış deney parçasının yanal yüzeyi ise, bir çember parçasının parça ekseni etrafında döndürülmesiyle tanımlanabilmektedir(Torr'un dış yüzeyi). Oluşan yanal yüzey, bir torr'un dış yüzeyine benzediğinden, hesaplamalarda yanal yüzey "torr yüzey alanı" olarak anılacaktır.

Buna göre ilk hal için alt ve üst yüzeyler ile yanal yüzeyin toplamı :

$$\int_0^{A_0} dA = 2.2 \pi \int_0^{r_0} r dr + \int_0^{h_0} 2 \pi r_0 dh \quad (4.22)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Torr oluştuktan sonraki hal ise yine aynı şekilde:

$$\int_0^A dA = 2.2 \pi \int_0^{r_1} r dr + dA_{\text{Torr}} \quad (4.23)$$

şeklinde ifade edilebilir. Yanal alan

$$dA_{\text{Torr}} = \bar{n} S \int_0^{2\pi} d\Phi \quad (4.24)$$

olarak tanımlanıp, deklemler 4.23' de yerine konulursa, torr oluştuktan sonraki hal:

$$\int_0^A dA = 2.2 \pi \int_0^{r_1} r dr + \int_0^{2\pi} \bar{n} S d\Phi = 4\pi \int_0^{r_1} r dr + \int_0^{2\pi} 2R\theta \left(\frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) d\Phi \quad (4.25)$$

$$\int_0^A dA = 4\pi \int_0^{r_1} r dr + 2R\theta \left(\frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) \int_0^{2\pi} d\Phi \quad \Phi = 0 - 360^\circ \quad (4.26)$$

şeklinde yazılır. Sürtünmeli durumda ilk hal ve son hal yüzey alanlarının farkı, denklem 4.27 ile saptanabilir;

$$\Delta dA = \int_0^A dA - \int_0^{A_0} dA \quad (4.27)$$

$$\Delta dA = \int_{A_0}^A dA = 4\pi \int_{r_0}^{r_1} r dr + 2R\theta \left(\frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) \int_0^{2\pi} d\Phi - \int_0^{h_0} 2\pi r_0 dh \quad (4.28)$$

$\theta = \theta (r, h)$ $R = R (r, h)$ $\phi =$ Torun çevresini tarayan açı.

$$\Delta A = 2\pi (r_1^2 - r_0^2) + 4\pi R\theta \left(\frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) - 2\pi r_0 h_0 \quad (4.29)$$

$$A - A_0 = 4\pi \left[\left(\frac{r_1^2}{2} - \frac{r_0^2}{2} \right) + R\theta \left(\frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) \right] - 2\pi r_0 h_0 \quad (4.30)$$

Denklem 4.30 kullanılarak deney parçasında yüzey alanı değişiminin belirlenmesi için; başlangıç boyutları (D_0, H_0) ile son büyüklüklerinin (D_1, H, D_2) ölçülerek, bu büyüklüklerin denklem 3.1 veya 3.2'de yerine konulmasıyla hesaplanan R değerinin kullanılması gerekecektir. Bu sonuçlar Bölüm 6'da verilecektir.