T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Silindirik Kapların Derin Çekilmesinde Baskı Plakası Kuvvetlerinin Cidar İncelmesine Etkilerinin Karşılaştırmalı Analizi

Mak. Müh. Aysun TONKA

Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Tahir ALTINBALIK
EDİRNE-2009

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Silindirik Kapların Derin Çekilmesinde Baskı Plakası Kuvvetlerinin Cidar İncelmesine Etkilerinin Karşılaştırmalı Analizi

Mak. Müh. Aysun TONKA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Tahir ALTINBALIK

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Silindirik Kapların Derin Çekilmesinde Baskı Plakası Kuvvetlerinin Cidar İncelmesine Etkilerinin Karşılaştırmalı Analizi

Mak. Müh. Aysun TONKA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez …./…./…… tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yılmaz ÇAN
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Yılmaz KILIÇASLAN
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Tahir ALTINBALIK

Jüri Üyesi-Tez Danışmanı

GİRİŞ

Bu tez çalışmasının amacı, tek etkili preste, çift etkili pres mantığı yaratılarak, farklı stroklarda aynı pot baskı kuvveti kullanarak, farklı pot kuvvetlerinde silindirik parça elde etmek ve parçada çıkan incelme değerleri ile daha önceden bilgisayar ortamında yapılan simülasyon sonucunda ortaya çıkan incelme değerlerini karşılaştırmaktır. Derin çekme işlemi üretim yöntemlerinden plastik şekil vermenin konusu olduğundan öncelikle plastik şekil verme konusu incelenmiş daha sonra sırası ile derin çekme, çekme kalıpları, ve metalik saclarda plastik anizotropinin derin çekmeye etkisi konuları incelenmiştir. Daha sonra bir derin çekme kalıbı tasarlanarak, tasarım özellikleri verilmiş, bu kalıbın imalatı yapılmış ve kalıp hidrolik preste basılarak silindirik parçalar elde edilmiştir. Son bölümde de tasarlanan kalıpta basılan parçalar ölçülerek parça üzerindeki incelmeler ile daha önceden bilgisayar programında yapılan simülasyon sonucunda çıkan incelme değerleri karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM -1-

PLASTİK ŞEKİL VERME

1. Plastik Şekil Verme

Plastik şekil verme (PSV), 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, kuvvet ve güç seviyelerinin de bilinmesi önemlidir. Yöntemin başarısı için malzeme özellikleri ile işlem parametrelerinin birbirine uygun olarak seçimi çok önemlidir. Diğer üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında plastik şekil vermenin şu belirgin özellikleri taşıdığı görülür:

1. Plastik şekil vermede malzemenin kütle ve hacmi sabit kalır, sadece biçimi değişir.

2. Plastik şekil verme yüksek sıcaklıkta yapılırsa, birincil katılaşması sırasında oluşmuş boşluk ve gözenekler (oksitlenmemiş olmaları koşuluyla) kapanır. Bunun yanında iri ve çubuksu taneler de kırılarak, yeniden kristalleşme neticesinde kaba döküm yapısı yerini ince taneli, homojen bir iç yapıya bırakır. Bu sayede mekanik özelliklerde (akma dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, darbe dayanımı, kırılma tokluğu, süneklik, darbe dayanımı vs.) önemli iyileşmeler görülür.

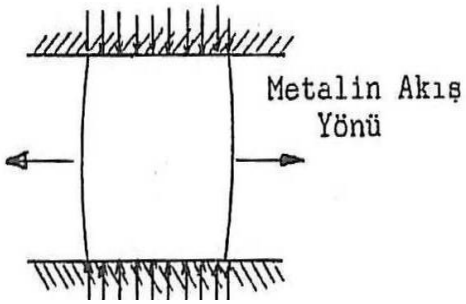
3. Plastik şekillendirme soğuk olarak yapılırsa oluşan pekleşmeden yararlanarak malzemenin dayanımı arttırılabilir.

4. Plastik şekil verme yöntemleriyle dar toleranslara sahip parçalar üretilebilir, özellikle soğuk şekil vermeyle çok kaliteli yüzeyler elde edilebilmektedir.

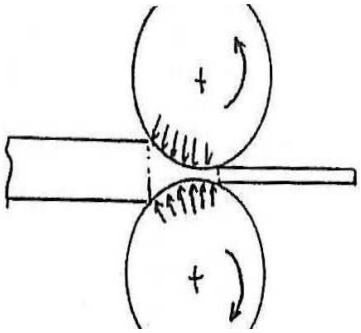
5. Plastik şekillendirmede kullanılan tezgah ve takımlar (pres, hadde, şahmerdan, kalıplar, vs.) pahalı olduğundan, yöntem genellikle seri üretimler için ekonomiktir.

1.1. Doğrudan Basma Yöntemleri

Bu yöntemlerle şekillendirme için gerekli basma yükü veya akma gerilmesi parçanın yüzeyine doğrudan uygulanmaktadır. Metalin akma yönü ise basma gerilmesinin yönüne diktir. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de gösterilen dövme ve haddeleme işlemleri bu yöntemlere örnek olarak gösterilebilir.



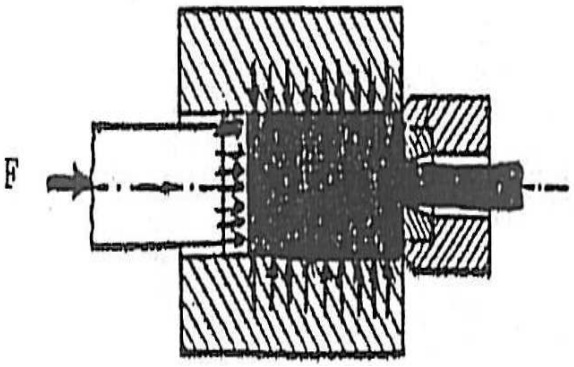
Şekil 1.1. Dövme



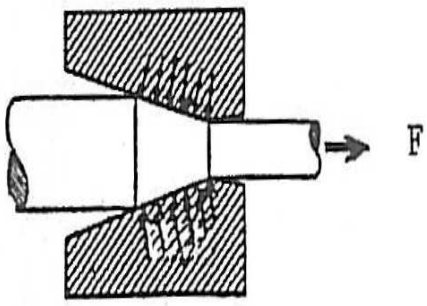
Şekil 1.2. Haddeleme

1.2. Dolaylı Basma Yöntemleri

Burada deformasyonu sağlayan basma gerilmeleri, kalıp geometrisine ve yöntemin özelliklerine bağlı olarak uygulanan dış kuvvetler yardımıyla dolaylı olarak oluşturulur. Bu tür şekillendirmelere örnek olarak Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'de gösterilen tel çekme, ekstrüzyon gibi işlemler örnek gösterilebilir. Örnek olarak verilen tel çekmede matris içinde deformasyonu sağlayan basma gerilmeleri, ürünün çıkış tarafından uygulanan çekme kuvvetleri ile sağlanmaktadır. (Çapan L. Metallere plastik şekil verme)



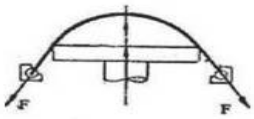
Şekil 1.3. Ekstrüzyon



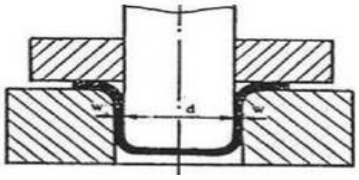
Şekil 1.4. Tel Çekme

1.3. Çekme Yöntemleri

Genellikle sac ve levha şeklindeki metallere uygulanan bu tür yöntemlerde malzeme çekme veya basma gerilmeleri altında şekillendirilmektedir. Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da gösterilen derin çekme ve germe bu tür işlemlere örnektir.



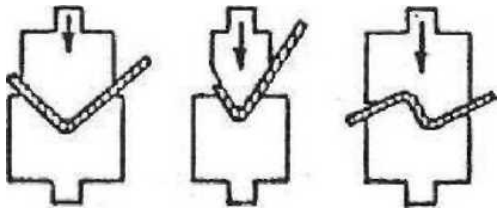
Şekil 1.5. Germe



Şekil 1.6. Derin çekme

1.4 Eğme Yöntemleri

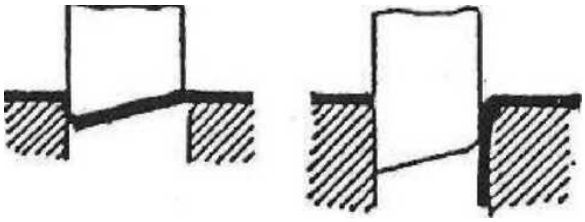
Uygulanan eğme momenti parçanın şekillenmesini sağlar. Şekil1.7'de gösterilen bükme işlemi bu tür işlemlere örnektir.



Şekil 1.7. Bükme

1.5 Kesme Yöntemleri

Metalin ayrılmasını sağlayacak seviyelerde kesme kuvvetleri uygulanarak yapılan şekillendirme işlemleridir. Şekil1.8'de gösterilen kesme ve dilme bu tür işlemlere örnek olarak verilebilir.



Şekil 1.8. Kesme

BÖLÜM -2-

ÇEKME-DERİN ÇEKME

2.1. Derin Çekme

Madeni düz pulların veya plakaların çekme kalıbı dediğimiz düzenlerle pres altında çökertilerek belirli derinlik ve profillerde kap şekline sokulması işlemine presçilikte "çekme" ismi verilmektedir.

Derinliği fazla olan kaplar birkaç çekme işlemi ile elde edilebilirler. Birkaç işlemle yapılan çekme "derin çekme" olarak isimlendirilir. Çekilecek parçalar silindirik, konik, küresel ve benzeri biçimlerde olabileceği gibi herhangi bir biçimde de olabilir.

So kalınlığında ve D çapında bir pulun çekilerek h yüksekliğinde ve d çapında bir kap biçimine sokulması Şekil 2.1 'de görülmektedir. Bu tür çekme işlemi silindirik çekme olarak isimlendirilir.

Çekme esnasında sac kalınlığında çekmenin durumuna göre bir miktar şekil değişimi olmakta ise de bu bölümde ele alınacak çekme işleminde sac kalınlığının çekme esnasında teorik olarak değişmediği kabul edilecektir. (Güneş, T., Pres işleri tekniği Makine Mühendisleri odası)

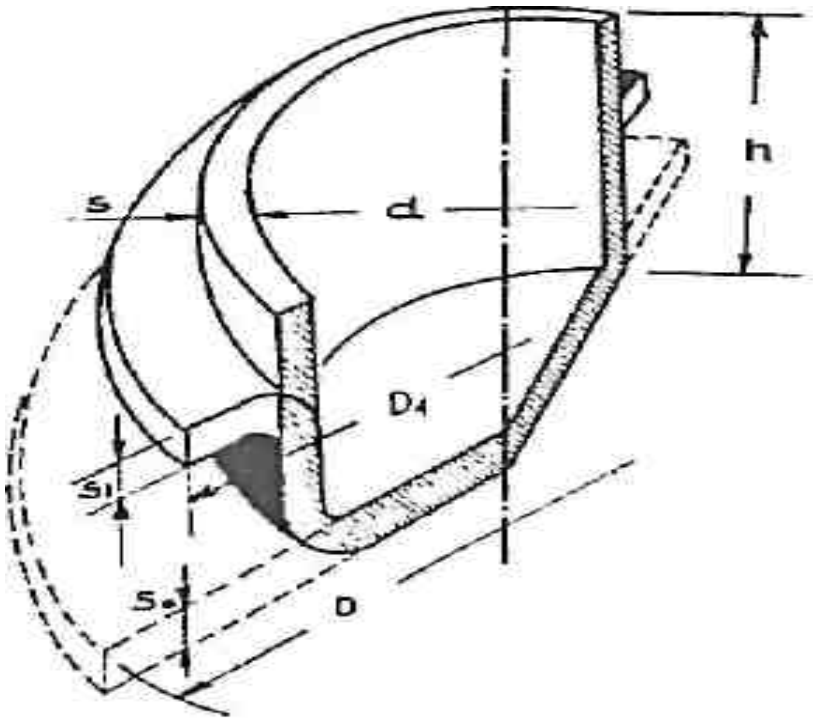
İşin sekline, ölçülerine ve malzemeye bağlı olarak çeşitli çekme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemleri başlangıçta,

A. Baskı plakalı çekme

B. Baskı plakasız çekme

C. Çevirme çekme

olarak 3 ana gruba ayırabiliriz.



Şekil 2.1. Silindirik çekme

Burada; $S_1 = S_0\sqrt{\frac{D}{D_1}}$

$$S = S_0\sqrt{\frac{D}{d}}$$

2.1.1. Baskı Plakalı Çekme

Bu tür çekme düzeni baskı plakası, çekme kalıbı ve çekme zımbasından oluşmuştur. Çekmenin başlangıcında D çaplı ilkel pulun üzerine baskı plakası tarafından belirli bir kuvvet uygulanarak çekilecek sac, kalıpla baskı plakası arasına yerleştirilir. Bu baskının amacı sacın çekme esnasında kırışmasına engel olmaktır.

İkinci kademede presin baskı plakası hareket ünitesinden bağımsız şekilde hareket eden ve ana baskı devresine bağlı çekme zımbası devreye girerek ilkel pulu kalıp içerisine iteler. Böylece flanş, çapı D, iç çapı d olan bir kap elde edilir. Eğer istenirse zımba daha da aşağı indirilerek flanşa çekilmiş parça h yüksekliğinde bir kovan sekline dönüştürülebilir.

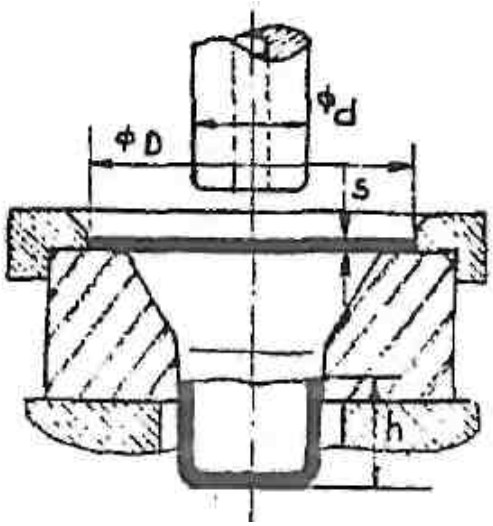
2.1.2. Baskı Plakasız Çekme

Geniş yüzeyli ve ince plakaların derinliği fazla kaplar haline dönüştürülmelerinde malzeme kırışmasına engel olmak amacıyla uygulanan baskı plakalı çekme özel yapılı pres tezgahı ve pahalı kalıp dizenleri gerektirir. Kalınlığı fazla olan saclardan yapılacak derinliği az olan parçaların çekilmelerinde kırışma olasılığı daha az olduğundan basit yapılı parçalardan oluşan baskı plakasız çekme kalıpları kullanılır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi zımba ve kalıp ikilisinden oluşan çekme düzeni basit yapılı pres tezgahlarında kullanılabilir. Pres koçuna bağlı zımba iş parçasına baskı uygulanarak onu çekme kalıbı içerinse iteler. Bu uygulamanın yapılabilmesi için aşağıdaki şartlar olmalıdır.

$$s \geq 0{,}017D \text{ ve } d_1/D \geq 0{,}55$$

Çekilmiş kabın çapının küçültülmesi amacıyla tekrar çekilmesi istendiğinde baskı plakasız çekme uygulanabilmesi için:

$s \geq 0{,}015D$ ve $d_2/d_1 \geq 0{,}78$ şartları aranmalıdır.



Şekil 2.2. Baskı plakasız çekme

Verilen eşitliklerde:

s: Çekilecek sac kalınlığı

D: İlkel pul çapı

d_1: İlk çekmede zımba çapı

d_2: İkinci çekmede zımba çapı, şeklindedir.

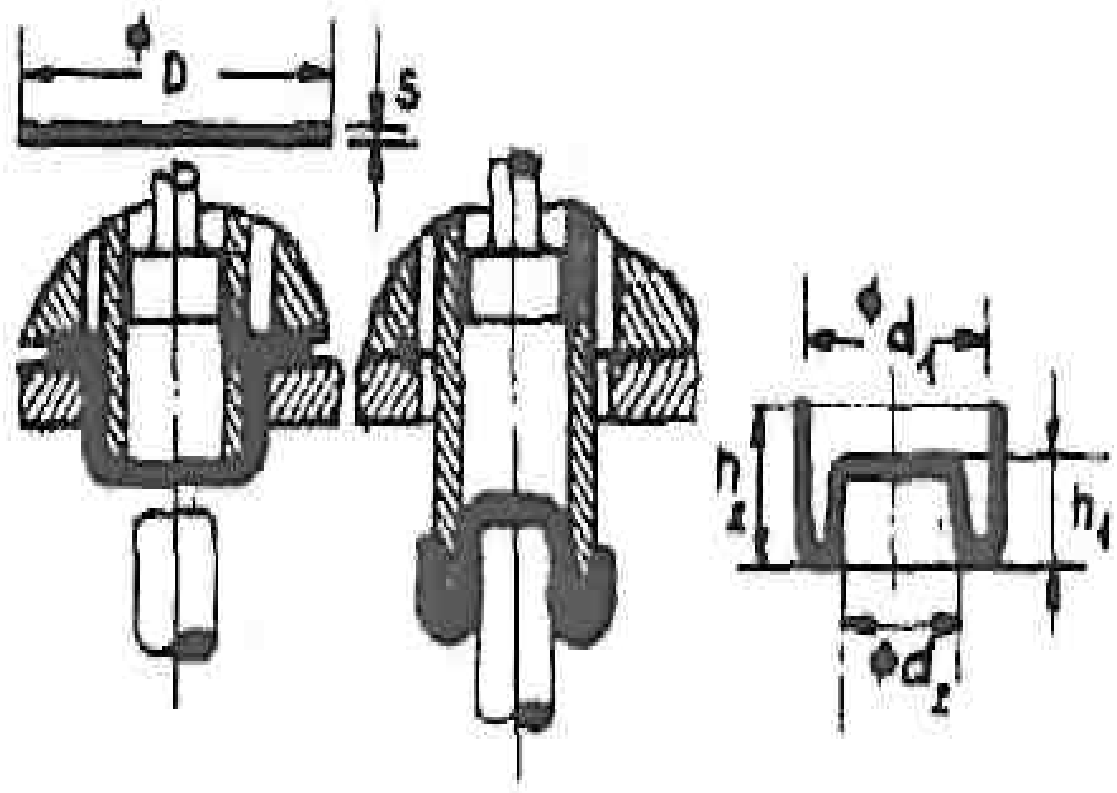
2.1.3. Çevirme Çekme

Çevirme çekme Şekil 2.3'den görülebileceği gibi bir pres kursunda iki çekme yapma şeklinde tanımlanabilir.

Bu çekme yönteminde iki çekme zımbası vardır. Parça çapını veren zımba alt tarafta ve sabittir. ilk çekme çapını verecek zımba pres koçuna bağlanmıştır ve içi parça dış çapında delinmiştir.

Üst zımba birinci çekme çapını çektikten sonra presin aşağı inmesiyle alt zımba devreye girerek parçayı ikinci kere çeker.

Presin aşağı inme konumuna bağlı olarak parça tam silindirik sekle sokulabileceği gibi çekme kursu tamamlanmayarak çift cidarlı parçalarda elde edilebilir. Kullanılacak presin kursu çekilecek parça yüksekliğinin iki katından fazla olmalıdır. s/D.100 > 0,25 şartlarında uygulanabilen bu yöntem özellikle küresel, konik, parabolik ve benzeri parçaların imali için uygundur.



Şekil 2.3. Çevirme çekme

2.2. İlkel Parça Boyutlarının Belirlenmesi

Çekmenin operasyonlandırılmasına çekme öncesi parça boyutlarının ve şeklinin belirlenmesiyle başlanır.

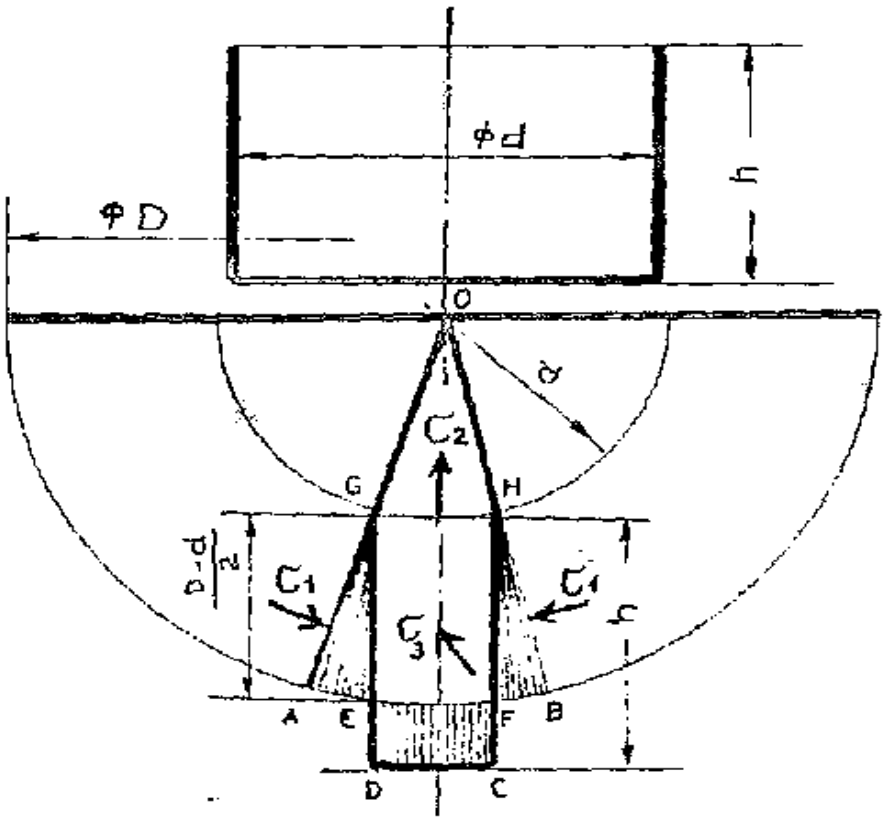
Her plastik şekil verme işleminde olduğu gibi çekme işleminde de çekme öncesi parça hacmiyle çekme sonrası parça hacmi eşittir. Bu ilkeden hareket edilerek çekme öncesi parça boyutlan çeşitli yöntemlerle belirlenebilir.

Silindirik-prizmatik ve karmaşık şekilli parçaların ilkel şekillerinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılır. Tanımlamaya açıklık kazandırmak amacıyla çekme öncesi belirlenen şekil dairesel biçimde ise bunu "ilkel pul", dairesel biçimde değilse, bunu da "ilkel plaka" olarak tanımlayacağız.

2.3. Silindirik Çekmenin Operasyonlandırılması

Çekilecek parçanın ölçülerine göre ilkel pul çapı belirlendikten sonra bu pulun hangi kademelerden geçerek istenen ölçülerdeki parçaya dönüştürüleceği kararlaştırılır. Çekilen malzemenin kalıcı sekil değişimine zorlanması malzeme üzerinde çok değişik gerilmelerin çıkmasına sebep olur. Çekmenin başarılabilmesi için malzemenin bu gerilmelere dayanması gerekir. Gerilmeler sekil değişimleri ile orantılı olduklarından her çekme operasyonunda malzemenin dayanabileceği ölçüde sekil değişimi uygulanmalıdır. Şekil değişimi de çekme ölçüleri ile alakalıdır. Şekil 2.4'de D çaplı ilkel pulun çekilerek d çapında ve h yüksekliğinde bir kap sekline dönüştürülmesi şematize edilmiştir.

İlkel puldaki (OAB) dilimi çekme sonrası (OCD) şekline dönüşmüştür. Silindirik parça tabanını oluşturan (OGH) bölgesi değişmediğinden ilkel pulun (GHBA) kısmi yanlara doğru sıkışmış ve boyuda uzayarak (GHCD) bölgesini oluşturmuştur. Kaba bir benzetimle (GAE) ve (HBF) dilimleri çekme sonunda (EFCE) kısmına dönüşmüştür.



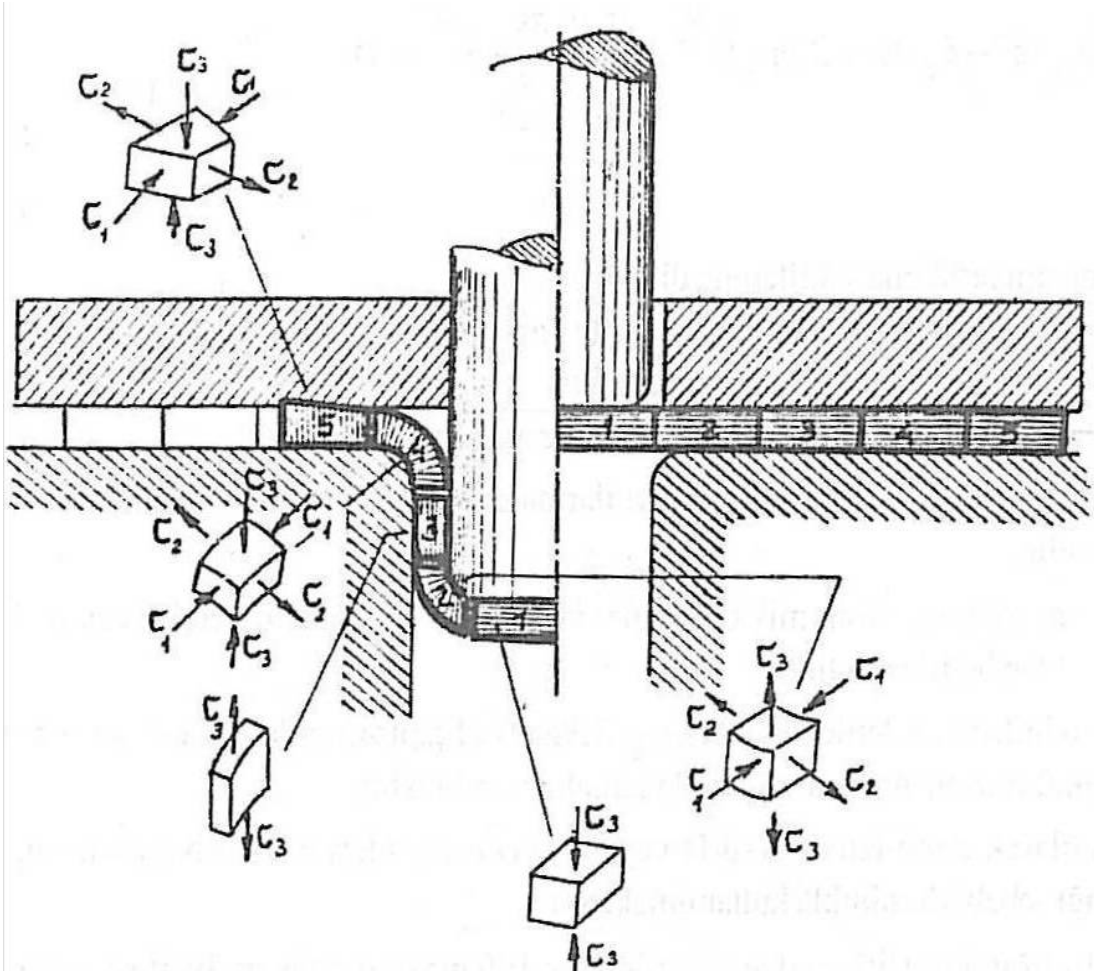
Şekil 2.4. Silindirik çekmenin oluşumu

Çok basitleştirilmiş olarak anlatılan bu sekil değişikliği malzemenin çeşitli bölgelerinde çok çeşitli gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olur. Bu gerilmelerin belirlenmesi karmaşık plastisite problemidir. Ve en basit çekme türü olan silindirik çekmede bile sağlıklı değerler veren pratik kurallar geliştirilememiştir.

Şekil 2.5'de baskı plakalı çekme ile meydana getirilen silindirik parçanın çekme esnasındaki malzeme hareketi ve çeşitli çekme bölgelerindeki gerilme dağılımları şematize edilmiştir. D çapındaki ilkel pul d çapında ve h yüksekliğinde bir kaba dönüştürülürken pul kenarındaki (5) elemanı yer değiştirerek (5') konumuna gelmiştir.

A seklinde gösterilen bu elemanın a gerilmeleri ile eni daralmış, zımba kuvvetinden doğan a gerilmeleri ile çekiye zorlanmış ve Q baskı kuvvetinin etkisiyle r gerilmesiyle sıkıştırılmıştır. (4) elemanı da (4') konumuna geçerken (5) elemanı gibi üç eksenli gerilmelerin etkisindedir. Bu eleman ayıca kalıp kösesinde bükülmeye zorlanmıştır. (3) elemanı (3') konumuna geçmeden önce kalıp kösesinde önce bükülmüş, daha sonrada tekrar doğrulmuştur. Şimdi üzerinde çekme zımbasının etkisiyle a çekme gerilmesi vardır. Parçanın bu bölgesindeki çekme kuvveti etki eden kesiti; $F=\pi.d.s$ dir. Çekme

kuvveti değeri (P), malzemenin çekme mukavemeti (σB) olduğuna göre, P > π.d.s.σB ise parça bu bölgeden kopacak ve çekme başarılamayacaktır.



Şekil 2.5. Silindirik çekmede çeşitli bölgede oluşan gerilmeler

Çekilecek parça ölçüleriyle yakından alakalı çekme kuvveti kolay yoldan belirlenebilse, bu kuvvetin dayanabileceği kesit hesabından çekme ölçüleri kolayca belirlenebilir. Ve çekmenin operasyonlandırılması sorunsuz yapılabilir. Halbuki parçayı istenen ölçülere getirebilecek çekme kuvveti çekme ölçülerine, birçok değişkenden oluşan çekme şartlanma ve malzeme özelliklerine bağımlıdır. Çekme kuvvetinin kesin değerini belirleyecek pratik kullanışa uygun formüller henüz elimizde bulunmamaktadır. Karmaşık plastisite problemi olan çekme konusu en basit sekil olan silindirik çekmeye bile henüz kullanışlı formüller geliştirememiştir. (Yurci M.E., Silindirik kapların derin çekilmesi.)

Birçok kabule dayalı, zahmetli hesaplamalarla çözülebilecek karmaşık formüller ve hesap yöntemleri kalıp uygulamacıları için pratik çözümler vermekten uzaktır.

Örnek olarak şekildeki ölçülere sahip parçanın (h) derinliğine uyan çekme kuvveti formülü şu şekildedir.

$$P_h=\left[k_m\left(d_1-d_2\right)\pi.s+2Q.\mu_1\right]e\mu\frac{\pi}{2}+\frac{\sigma_f.d_2.\pi.s^2}{4\left(r+\frac{s}{2}\right)}\left(e^{\mu\frac{\pi}{2}}+1\right)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

k_m: malzemenin ortalama şekillenme direnci

μ_1 baskı plakası ve sac arasındaki sürtünme katsayısı

μ_2 kalıp kavisi üzerindeki sürtünme katsayısı

σ_f hesaplanan çekme derinliği derinliğindeki malzeme akma mukavemeti

Formülde kullanılacak değerlerin çekme boyutlanma bağlı olarak belirlenmesi ileride görüleceği gibi çok zor ve zaman alıcıdır.

0 halde kalıp tasarımcısı ekonomik bir imalat ve sağlıklı çekme için gerekli çekme boyutlarını hangi yöntemle kolay yoldan belirleyebilir?

Bunun için silindirik çekmelerde çekilecek çap ile ilkel pul çapı arasındaki oranın sekil değişikliği hakkında ilgi vereceği düşünülmüş bu hususta çeşitli denemeler yapılmıştır.

Çekme oranı olarak tamamlanan m=d/D veya 3 = D/d ifadeleri çekme boyutlarının belirlenmesinde uygulama kolaylığı sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır.

so = I mm kalınlığında çeşitli malzemelerden d = 100mm çapında zımba ile birçok çekme deneyleri yapılmış elde edilebilen çekme oranları (β_{100}) olarak tanımlanarak tablolar düzenlenmiştir. Daha sonra özel çekme ölçüleri için elde edilmiş bu değerlerden çekmede karşılaşılacak genel uygulamalara geçiş yolları aranmıştır. Farklı kalınlıklardaki malzemeler ve farklı çaplı zımbalarla elde edilebilecek çekme oranlarını deneysel bulunmuş (β_{100}) oranına bağlı olarak bulmaya yarayan aşağıdaki formül önerilmiştir.

$$\beta=\left(\beta_{100}+e\right)-\frac{e.d}{100.s_0}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

Malzemenin çekilmelerinde erişebilecek en büyük çekme oranını;

1-Malzeme mukavemeti

2-Malzeme kalınlığı ve takım ölçüleri

3-Baskı plakası basıncı

4-Sürtünme faktörleri etkiler.

Sürtünme de; a) Yağlama durumu

b) Çekilen malzemenin yüzey kalitesi

c) Takım malzemesi – sertliği ve yüzey pürüzlülüğü faktörleri etkilidir.

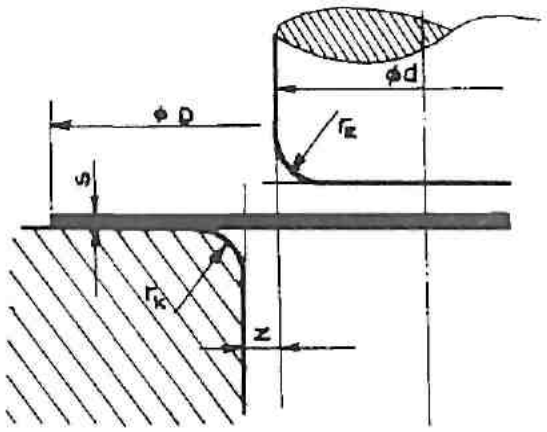
(2) no'lu formüldeki (e) değeri yalnızca malzemenin şekillenebilme kabiliyetine bağlı olmayıp üst yüzey pürüzlülüğüne ve yağlama durumuna da bağlıdır. Bu değer e = 0,005 ile 0,15 arasında olabilir. Küçük (e) değerleri iyi şekillenebilir, üst yüzeyi düzgün malzemeler için kullanılır. Büyük değerleri ise daha az şekillenebilir ve üst yüzeyi daha pürüzlü malzemeler içindir.

$d/s_0 = 300$ değerine kadar geçerli olan (2) eşitliği yaklaşık bir denklemdir. Formülün kullanılması için zımba çapının başlangıçta bilinme zorunluluğu kullanışlılığını büyük ölçüde sınırlamaktadır.

2.4. Çekme Kavisleri ve Çekme Boşluğu

Çekilen sacın ilk çekmede bir kere bükülüp bir kere doğrultulduğu, yeniden çekmelerde ise iki kere bükülüp iki kere doğrultulduğu göz önüne alındığında çekme işlemini kolaylaştırmak için çekme kavislerinin mümkün olduğunca büyük tutulması gerektiği düşünülebilir. Fakat büyük tutulmuş takim kavislerinde baskı plakası etki yüzeyi küçüleceğinden sacın takımla temasta olmayan yüzeyi büyüyecektir. Bu durumda malzeme teğetsel gerilmeler etkisiyle kıvrılabilir.

Aksine çekme kavisleri gereğinden küçük tutulduğunda ise takim kesme kalıbı gibi çalışacağından malzemenin yırtılması kolaylaşır.



Şekil 2.6. Çekme kavisleri ve çekme boşluğu

Uygun değerde çekme oranı veren, kıvrılma etkisini azaltan, taban kavisi bölgesindeki malzeme zayıflamasını en küçük değerde tutan ve düşük kuvvetle çekmeyi sağlayan takim kavisi ne olabilir?

Bu konuda gerek araştırmacılar, gerekse uygulamacılar arasında tam bir fikir uyuşumu olduğu söylenemez.

Çoğunlukla kalıp kavisi için çekme şartlarına bağlı olarak (4 ila 30) s değerleri arasında kavisler önerilmektedir. Çok geniş, seçim aralığı olan bu öneri takim tasarımcısı için kullanışlı değildir. Kalıp kavisleri için önerilen değerler Tablo 2.1'dedir.

Tablo 2.1.Kalıp kavisleri

Çekmenin tipi		s/d(%)	
Silindirik çekme	(5-8)s	(8-10)s	(10-15)s
Flanşlı çekme	(10-15)s	(15-20)s	(20-30)s
Çekme eşikli çekme	(4-6)s	(6-8)s	(8-10)s

Tablo değerleri normal çekme oranları içindir. Parçalar küçük derinliklerde çekileceği zaman çekme kavisleri bir miktar küçültülür. $s/D.100 \leq 0,3$ oranlarında büyük kavis, kalın malzemelerde ise küçük kavis oranları kullanılır.

İlave çekmelerde kalıp kavisleri $r_n = (0,6\text{-}0,8)r_{n-1}$ bağıntısına göre küçültülür. Kalıp kavisleri ile ilgili diğer öneriler de aşağıdaki tablolarda görülmektedir.

Tablo 2.2 Kalıp kavisleri

Malzeme Kalınlığı (mm)	Kalıp Kavisli (mm)		Malzeme Kalınlğı (mm)	Kalıp Kavisli (mm)	
	Min.	Max.		Min.	Max.
1,5	6	9	0,7	5	7
1,4	6	9	0,6	5	7
1,3	6	9	0,5	4	7
1	5	8	0,4	4	6,5
0,8	5	8	1,6	6,5	10

Tablo 2.3 . Kalıp kavisleri

Malzeme Kalınlığı (mm)	Kalıp Kavisli (mm)
0,4	1,6
0,8	3,2
1,2	4,8
1,6	6,4
2	9,5
2,4	11
3,2	14

Kalıp kavisleri için aşağıdaki formülün kullanılması önerilebilir.

$r = 0{,}035\ [50 + (D-d)].\sqrt{s}$ ……3

D Pul çapı…….....mm

s malzeme kalınlığı……...mm

d Çekme çapı…….mm

İlave çekmelerde (D-d) yerine (d_{n-1}-d_n) kullanılır.0,035 katsayısı 0,08 değerine kadar büyültülebilir. Genellikle çelik malzemeler için önerilen formül $r_k = 0{,}8\sqrt{(D-d)s}$ şeklindedir. Bu formüldeki 0.8 katsayısı Al ve Ms gibi daha düşük mukavemetteki malzemelerde 0.9 alınmalıdır.

Görüldüğü gibi önerilerde oldukça fazla farklılaşma vardır. Kalıp kavislerinin mutlaka bir form dayalı belirlenmesi istenirse tecrübe sonrası büyütme imkânı sağlayacağından (3) no'lu formül önerilir.

2.5. Zımba Kavisleri

Çekmenin oluşumunda büyük önemi olan zımba kavisleri içinde kesin kurallar konmamıştır. Küçük zımba kavisleri cidar zayıflatması etkisi gösterir. Bu cidar zayıflaması sonucu parça ileriki çekmelerde ortaya çıkan çekme kuvvetine dayanmayabilir. En azından parça çevresinde teğetsel kuvvetler etkisiyle giderilmeyecek izler belirir. Birçok araştırmacı zımba kavislerinin kalıp kavislerinden daha küçük yapılmaması gerektiği konusunda birleşmektedirler. Genel olarak zımba kavisleri için ry (3–10)s bağıntısı kullanılabilir. Bundan başka baskı plakalı ilk çekme için kalıp ve zımba kavisleri arasında aşağıdaki bağıntıların olması sağlık verilebilir.

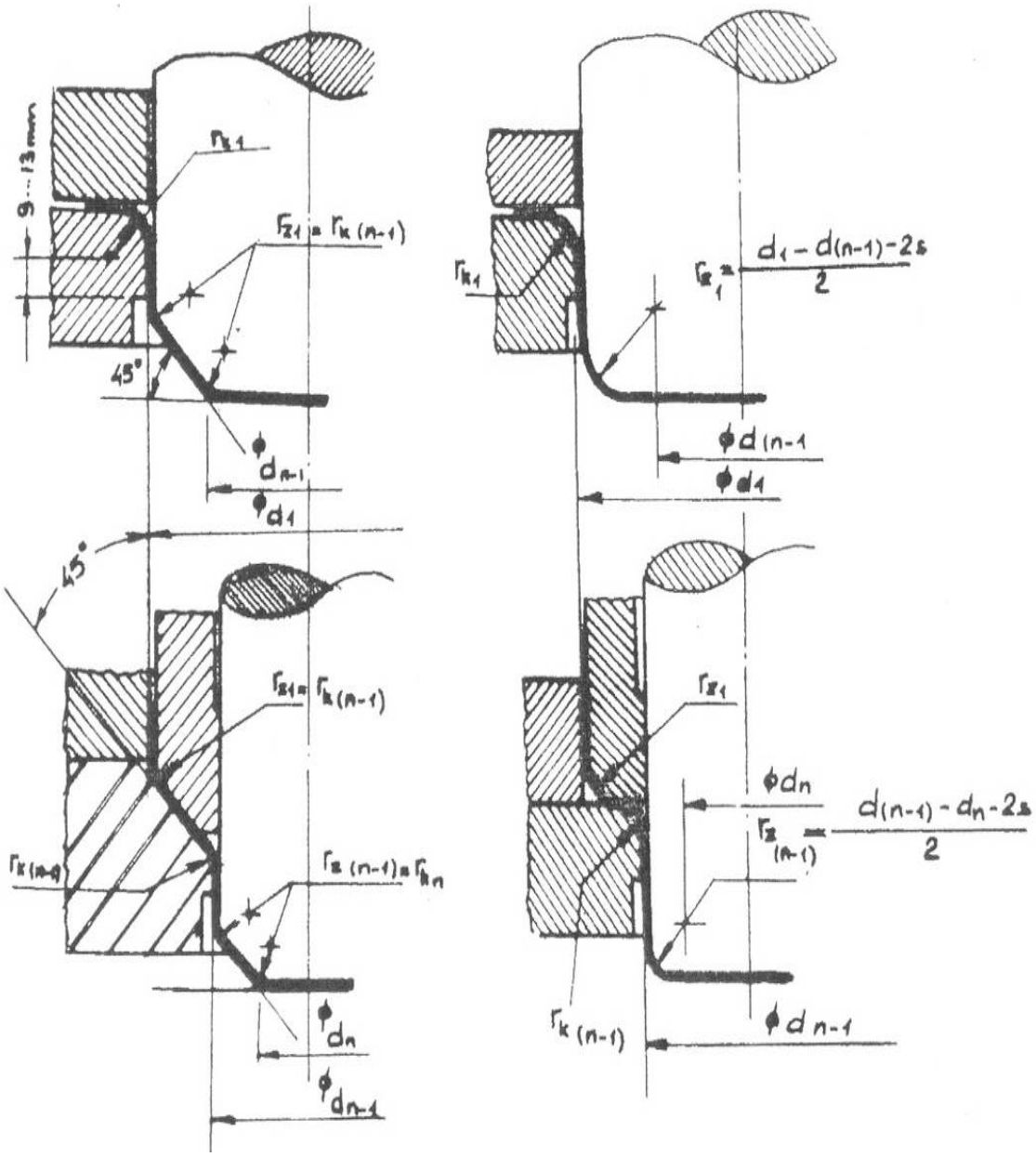
İlk çekmede kullanılacak kavis oranları;

s/D. 100 > 0,6 durumunda $r_z = r_k$

s/D. 100 = 0,6-0,3 durumunda $r_z = 1,5\ r_k$

s/D. 100 < 0,3 durumunda $r_z = 2\ r_k$

Ara çekmelerde parça tabanı konik veya silindirik biçimde seçilebileceğinden ara çekmelerdeki zımba kavisinin değeri seçilen parça tabanı sekline bağlıdır. Şekil.2.7'de konik ve silindirik tabanlı ara çekmeler için takim ölçüleri ilişkisi görülmektedir. Silindirik tabanlı ara çekmelerde zımba kavisi çap küçülmesinin yarısına eşit alınmıştır.



Şekil 2.7. Zımba kavisleri

Ara tabanlı taslakları tabanı kavisli yapılacaksa son, iki çekmede parça taban kavislerinin aynı eksen üzerinde olması iyi bir uygulama sayılır. Tabanı kavisli ara çekme uygulamalarından kalıp kavisi merkezi çekilecek parça dış çapından 3.2mm uzaklıktadır. Zımba uç kavisinin merkezi bir sonraki operasyonda çekilecek parçanın iç kısmında bulunmaktadır. Bu uygulama ile sac kalınlığında mümkün olduğu kadar kalınlık azalmasının meydana gelmemesi amaçlanmıştır. Son çekmede zımba kavisi parça taban kavisine eşit yapılır. Çekilen parçanın taban kavisinin sac kalınlığının 2 katından daha küçük yapılmaması önerilir. Küçük taban kavisli parçaların taban kavisini elde edebilmek için ilave operasyonlarla çaplanması gerekir.

2.6. Çekme Boşluğu

Çekme kalıbı ve zımbası arasındaki mesafeye "çekme boşluğu" ismi verilmektedir. Şekil 2.6'da bu boşluk (z) harfi ile gösterilmiştir.

Çekme boşluğunun belirlenmesinde parça üst kenarındaki malzeme kalınlaşmasıyla sac kalınlık toleransı dikkate alınır. Bu boşluk gereğinden az olursa çekme işlemi normal çekme prosesinden çıkarak cidar inceltme çekmesine dönüşür. İncelen parça cidarının çekme kuvvetine dayanmayarak parça tabanının yırtılmasına sebep olur. Aksine boşluk gereğinden fazla bırakılırsa çekilen parça ölçüleri istenen ölçüde olmaz, ince malzemelerde kırışıklara sebep olabilir.

Çekme boşluğunu çekmenin metoduna ve takim yapısına bağlı olarak değerlendirmek gerekir. Çekilecek malzemenin kalınlık değişiminin belirli sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Bu sebepten çekme kalıplarında kullanılacak sacların hassas kalınlık toleransına sahip olması iyi sonuçlar verir. Çeşitli malzemeler için uygulanacak çekme boşlukları için aşağıdaki formüller kullanılabilir.

Çelik saclar için $z = s + 0{,}07\sqrt{10s}$

Alüminyum için $z = s + 0{,}02\sqrt{10s}$

Demir olmayan metaller $z = s + 0{,}04\sqrt{10s}$

Çekme boşluğu için kullanılabilecek diğer bir formülde aşağıdadır.

$z = s[1 + 0.035\ (\beta\text{-}1)^3]$ şeklindedir.

Yukarıda verilen formüller malzeme mukavemetine bağlı olarak birleştirilirse aşağıdaki genel formül elde edilir:

$z = s\,(1+0.01\,\sigma_B(\beta\text{-}1)^3]$

Pratik olarak çekme boşlukları Tablo 2.4'de verilen formüllere göre belirlenir.

Tablo 2.4. Silindirik çekmede çekme boşluğu

Çekme kademesi	Hassas kaliteli parçalar	Orta kaliteli parçalar
İlk çekme	z = s + X + a	z = s + X + (l,5-2)a
Ara çekme	z = s + X + 2a	z = s + X + (2,5-3)a
Son çekme	z = s + X	z = s + X +2a

z tek taraflı çekme boşluğu…….mm

s sac nominal kalınlığı……mm

X kalınlık toleransı üst sınırı……...mm

a ilave katsayı……..(Tablo 2.5)

Tablo 2.5. Çekme boşluğu için (a) katsayılar

Malzeme Kalınlığı	0,2	0,5	0,8	1	1,2	1,8	2	2,5	3	4	5
İlave (katsayı(katsayı (a)	0,05	0,1	0,12	0,17	0,19	0,21	0,22	0,25	0,3	0,35	0,4

Tablo 2.6. Çekme boşluğu değerleri

Malzeme Kalınlığı	İlk çekme	Ara çekmeler	Son Çekme
<0,4	(1,07- l,09)s	(1.08- l,10)s	(1,04- l,05)s
0,4- 1,3	(l,08-l,10)s	(1,09- 1,12)8	(1,05- 1.06)s
1.3-3,2	(1,10- 1,12)8	(1,12- l,14)s	(1,07- l,09)a
>3,2	(1.12- 1.14)s	(l,15-1.20)s	(1,08- 1,10)s

Çekme boşluğunun belirlenmesinde pratikte olarak tablo 2.6'daki değerlerden faydalanılır. Derinliği az olan parçaların çekilmelerinde baskı plakasına çok az yüzey kalacağından formül (3) göre bulunan kalıp kavisleri büyük değerler verecektir.

$\beta \leq 1,2$ durumunda kalıp kavisleri küçültülebilir. Fakat kalıp kavisleri r = 0,6s değerinden küçük yapılmamalıdır.

Baskı plakasız çekme kalıpları kavisleri duruma göre dairesel, konik ve parabolik profillerde yapılmaktadır. Çekme oranları da yukarıdaki profil sıralamasını takip ederek artar.

2.7. Baskı Plakasız Çekme

Genellikle kalın saclara çekilmelerinde kullanılan baskı plakasız çekme basit takim yapısı ve tek etkili pres tezgahlan gerektirdiğinden baskı plakalı çekmeye oranla çok daha ucuz ve basittir.

Çekilecek sacın s/D oranı ne kadar büyükse sac o kadar stabil olur. Çekim esnasında sacın teğetsel gerilmelere etkisiyle kırışma tehlikesi o nispette azalır. Bu sebepten kalınlık oranı yüksek saplar baskı plakasız çekme için elverişlidir.

Malzeme ölçülerine ve takim yapısına bağlı olarak baskı plakasız çekmede de kıvrılma tehlikesinin yanı sıra taban yırtılma tehlikesinin de dikkate alınması gerekir.

Taban yırtılması çekme kuvvetinin tehlikeli kesit dayanım sınırını astığı zaman ortaya çıkar. Baskı plakasız çekmede çekme kuvveti baskı plakalı çekmeye göre daha düşük olduğundan taban yırtılması daha büyük çekme oranlarında ortaya çıkar.

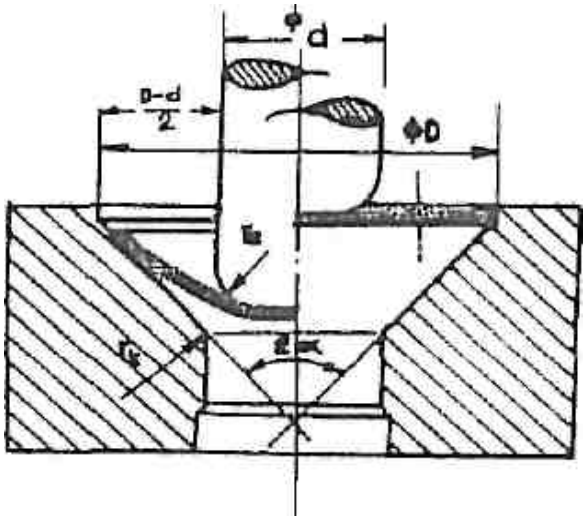
Şimdiye kadar yapılan araştırmalara göre kırışma tehlikesiyle taban yırtılma olayı d/s ~ 30 oranları ani değişim göstermektedir. Konik profilli çekme kalıplarında baskı plakasız çekme aşağıdaki kriterle göre değerlendirilmelidir.

1. d/s > 30 oranlarındaki ince saclarda kırılma tehlikesi ön planda dikkate alınmalıdır.
2. d/s < 30 oranlarındaki kalın saclarda taban yırtılması tehlikesi ön plandadır.

Baskı plakasız çekmede yukarıda sıralanan tehlikelerin yanı sıra taban kenarında bombeleşme ve kırışma ile kalın saçlarda bükülme yırtılmalar olabilir.

Baskı plakasız çekmede β= D/d çekme oranı yalnızca malzemeye bağlı olmayıp büyük oranda (d kalınlık oranına, kalıp profiline ve takim ölçülerine bağlıdır.

Baskı plakasız çekme kalıpları kavisleri duruma göre dairesel, konik ve parabolik profiller yapılmaktadır. Çekme oranları da yukarıdaki profil sıralamasını takip ederek artar.



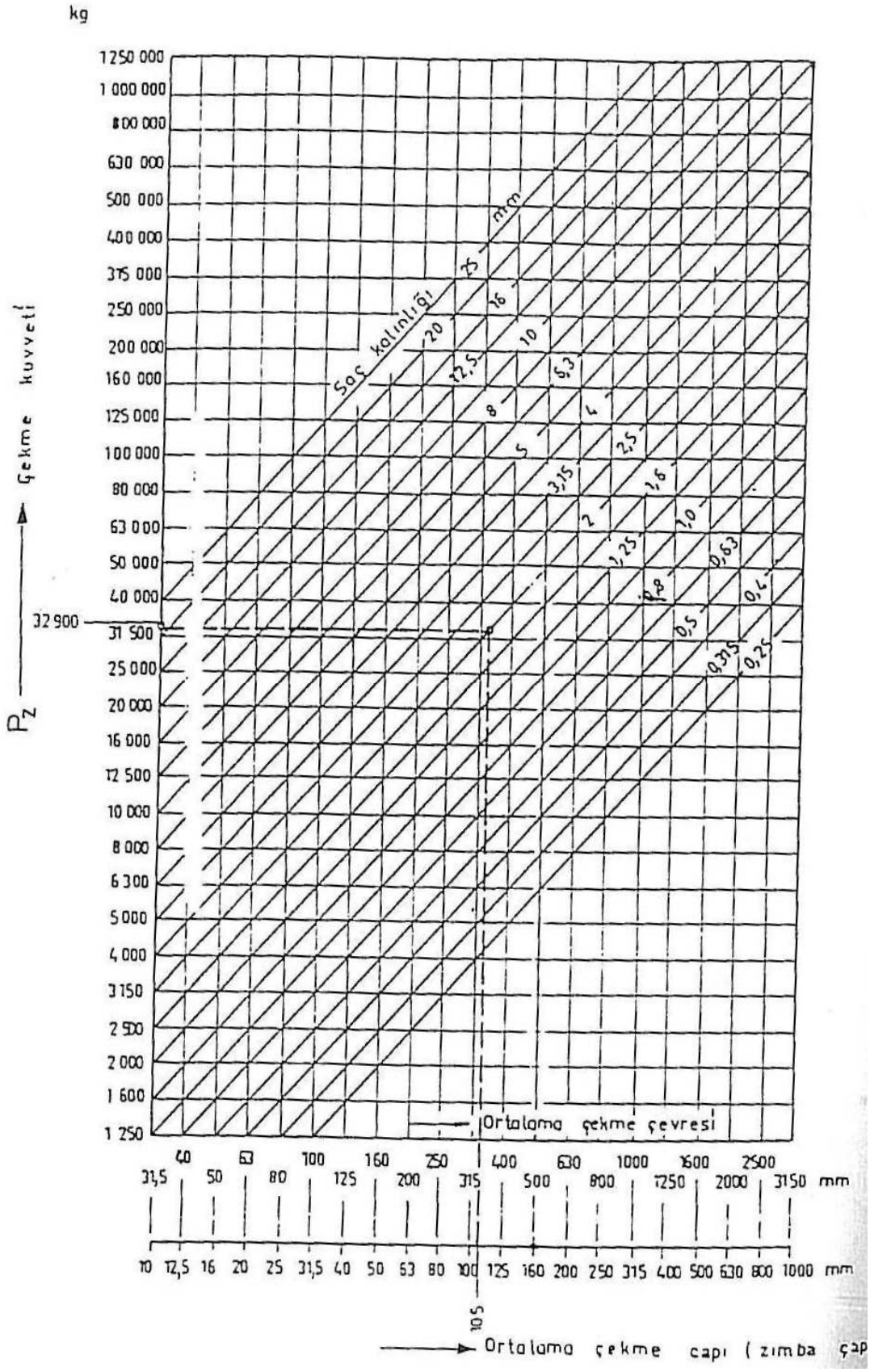
Şekil 2.8. Baskı plakasız çekme

2.8. Çekme Kuvvetinin Belirlenmesi

Çekme devamınca zımba yoluna bağlı olarak görüldüğü gibi değişen, malzeme özelliklerinin, çekme oranının, takım kavislerinin, çekme boşluğu değerinin baskı kuvvetinin, yağlama durumunun etkilediği çekme kuvvetinin değerini teorik hesaplamalarla belirlemek uzun, zahmetli ve komplike plastisite problemidir. Silindirik çekme kuvvetinin çeşitli faktörlere bağlı olan değişimleri tecrübelere göre çizilmiş aşağıdaki Şekil 2.9 grafiğinde görülmektedir.

Bu grafik karakteri çeşitli malzemelerde benzer şekilde seyretmektedir. Malzeme kalınlığında hissedilir değişiklik olmadan meydana gelen çekme yaklaşık (1,38 s)değerindeki çekme boşluğu uygulamasında karşımıza çıkmaktadır. Çekme boşluğu değerinde küçültme yaptıkça çekme kuvveti artmakta ve yüksek değerde seyir alanı büyümektedir. (Ataşimşek S., Sac kalıpçılığı.)

Çekme kuvvetinin teorik yoldan belirlenmesi çekme kuvveti diyagramını çekme yoluna bağlı olarak nokta-nokta bulmayı amaçlar. Kalıp tasarımcısı için çekme kuvvetinin diyagram halinde belirlenmesinden çok en büyük değerinin bilinmesi yetişir. Bu değerin pratik yollardan yaklaşık hebası daha kullanışlıdır. Çünkü belirlenecek kuvvet pres seçimini amaçlıyor ise kullanılacak preslerin tonaj aralıkları çoğu zaman yaklaşık kuvvet hesabından yapılan yaklaşımları karşılayabilecek kadar geniştir.



Şekil 2.9. Çekme Kuvveti Grafiği

Ayrıca teorik hesaplamalarında her zaman için kesin değerler vereceği söyleyemez. Ve ortaya konulan teorik çözümler pratikte karşılanabilecek tüm çekme şekillerini kapsamayıp yalnızca silindirik çekme üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla beraber konu ile uğraşanları teorik çözümler konusunda aydınlatma amacıyla silindirik çekme kuvvetini hesaplama yöntemi şu şekildedir.

$P_z=\pi.d.s.\sigma_b.k$ şeklindeki formülde;

d: Zımba çapı…….mm

s: sac kalınlığı…….mm

σ_b: çekme dayanımı……..kg/mm^2

K: çekme oranı…….....m=d/D 'ye bağlı olarak korreksiyon faktörü (tablo 2.7'den)

Tablo 2.7. korreksiyon faktörü

Ölçme Oranı	0,55	0,57	0,6	0,62	0,66	0,7	0,72	0,75	0,78	0,8	0,82	0,85	0,87	0,9	0,92	0,95
k faktörü	1	0,93	0,96	0,79	0,72	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1

Bu tezin konusu; silindirik kapların derin çekilmesi olduğundan çekme kuvvetini şu şekilde bulabiliriz.

d: 57,5 mm (uygulama kalıbında sac açınımı 115 mm olarak alındı. Bu durumda β:2 oranına göre zımba çapı:57,5 olarak alındı. Bu durumda k:1 olarak seçildi.

s: 1 mm (kalıpta kullanılan sac kalınlığı)

σ_b: 29 kg/mm^2 (kalıpta kullanılan Erdemir 7116 kalite derin çekme sacının çekme dayanımı) olmak üzere;

Çekme kuvveti P_z: 5235,95 kg bulundu.

İleriki bölümlerde anlatılacak olan farklı pot kuvvetlerindeki derin çekme işlemi için bulunan bu çekme kuvveti değeri simülasyon çalışmalarında başlangıç noktası olacaktır.

2.9. Çekme Hızı

Çekme hızının çekme olayına etkisi üzerindeki çalışmalar henüz kesin kurallara bağlanmamıştır. Soğuk olarak şekil değiştirmede malzeme şekil değiştirme mukavemetinin değişimine şekillenme hızının etkisi olmamaktadır. Bununla beraber malzeme şekillenme için gerekli zamanın bırakılması uygun olur. Özellikle karmaşık şekilli parçaların çekilmelerinde kritik bölgelerdeki malzeme zayıflamasını arttıracak ve yırtılmalara sebep olacak yüksek hızlardan kaçınılması gerektiği hatırlanmalıdır. Çekme hızı olarak zımbanın malzemeye temas ettiği andaki hız anlaşılmalıdır.

Kranklı preslerde koç hızı kurs boyunca değişkendir. Hidrolik preslerde koç kuvveti ve hızı kurs boyunca sabit tutulabilir.

Kranklı preslerde koçun herhangi bir konumundaki hızı aşağıdaki formülle bulunabilir.

c=0,105, w.n

Formülde;

w:Pres koçunun alt ölü noktaya uzaklığı…..m/m

n:Krank mili devir sayısı……..dev/dk

h:Pres kursu……...m/m

Çekmede krank milinin max. Devir sayısı aşağıdaki formül kullanabilir.

2.10. Çekme İşi

Çekme kuvveti esnasında sabit değerlerde olmayıp çekme yoluna bağlı olarak değişmektedir. Bunlardan başka aynı çekme ölçülerine sahip aynı malzemeden çekmelerde bile çekmede uygulanan şartlara bağlı olarak değişik değerlerde seyretmektedir. Çift etkili presler için çekme işinin değerini bulmaya yarayan formül şu şekildedir.

$A=P_m.H=\int_0^h P_h.d.h = x.P_{max}.H$ ……kg.mm

Bu formüle tek etkili preslerde baskı kuvvetinin ilavesiyle aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$A=(x.P_{max}+Q).H$…….kg.mm

Formülde;

P: Çekme kuvveti…….kg

Q: Baskı kuvveti…….kg

H: Parça yüksekliği…….mm

Formüllerde ortalama çekme kuvvetini bulmakta kullanılan (x) katsayısı ön planda malzeme cinsine ve çekme oranına bağlıdır.(x) değeri 0,5 ile 0,8 arasında alınabilir. Normal çekmeler için çekmeye uygun malzemelerde (x) değeri x=0,65 ile 0,75 arasında alınabilir.

Çekme işinin hesaplanması kullanılacak presin belirlenmesi açısından önemlidir. Seçilerek pres kuvvet ve kapasite olarak çekme için hesaplanan kuvvet kapasiteden büyük olmalıdır.

Kesme ve damgalama işlerinde kullanılacak preslerde ise kursun çok küçük bir bölümde büyük kuvvet kullanımı vardır. Bu tür preslerin direk hareket iletimli olması yeterlidir. Halbuki çekme ve benzeri işleri de kuvvet pres kursunun büyük bir bölümünde yüksek değerlerde seyreder. Çekmede kullanılacak presler yüksek değerdeki kuvveti uzun süre etkilemek zorundadır. Pres seçiminde bu husus göz önünde bulundurulmalıdır. Çekme işlerinde dişli çark hareket iletimli mekanik presler direk hareket iletimli preslere tercih edilmelidir. Ayrıca hidrolik preslerde pres kuvveti kurs boyunca yaklaşık sabit değerde olduğundan derin çekme işlerinde hidrolik presler mekanik preslere tercih edilmelidir.

BÖLÜM -3-

ÇEKME KALIPLARI

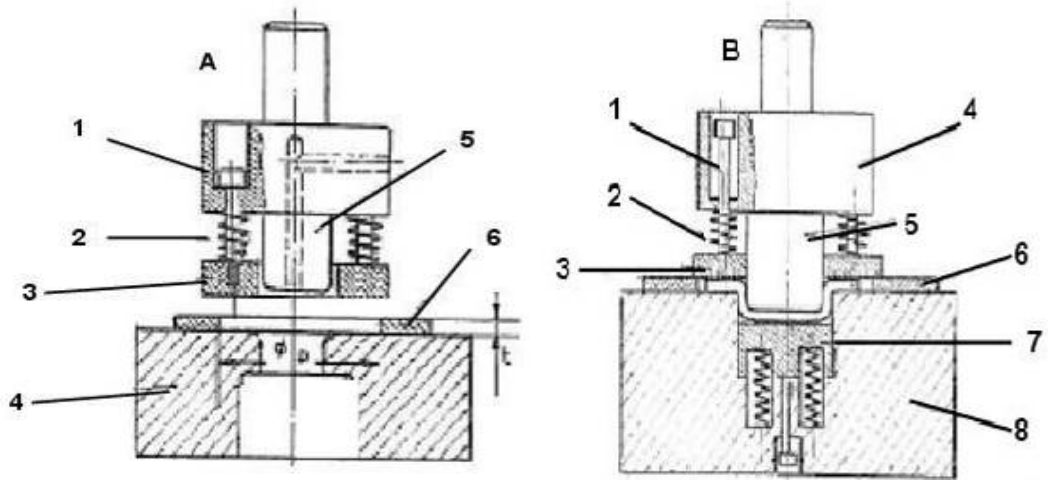
3.1 Çekme Kalıpları

Çekilecek parçanın durumuna, kullanılacak presin özelliğine bağlı olarak çeşitli tiplerde çekme kalıpları yapılmaktadır. Büyük(s/D) oranlarında ve derinliği az olan parçalarda kullanılan zımba ve kalıp ikilisinden oluşan baskı plakasız kalıplar daha önceki bölümde incelenmişti. Baskı plakasız çekme kalıplarının yapımları basittir. Çekme zımbası pres koçuna çekme kalıbı da pres tablasına bağlanır. Bu tür kalıplarda çekilmiş parçanın zımbadan sıyrılması için çeşitli çıkarma düzenleri uygulanır. Sıklıkla kullanılan çözüm kalıp alt köşesinin keskin yapılmasıdır. Çekme zımbası çekme sonrası yukarı çıkarken ağzı genişleyen parça kalıp keskin köşesine takılarak zımbadan sıyrılır. Şekil 3.1'de görülen yay baskılı kalıpta bu çıkarma yöntemi uygulanmıştır. Bazı tür kalıplarda çıkarma için kalıp merkezine doğru yay baskı ile hareket eden çıkarma tırnakları kullanılır.

Bilindiği gibi D/s ve D/d oranlarında malzemedeki kırışıklığa engel olmak için baskı plakalı çekme kullanılır. Tek etkili presler için düşünülmüş ve baskı plakası yaylarda tahrik edilen kalıplara ait resim Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu tür kalıplarla ya parça tamamen çekilerek Şekil 3.1'de görüldüğü gibi kalıp boşluğunda aşağıya düşürülür veya parçada flanş bulunması istenirse Şekil 3.1'de görüldüğü gibi (7) no'lu alt çıkarıcı konur. Bu alt çıkarıcıdan tabanı profilli parçaların çekimlerinde de faydalanılır.

Bu tip kalıplarda parçanın zımbadan sıyrılması için ya kalıp altı şekilde görüldüğü gibi keskin köşeli yapılır veya yayla zımba üzerine basan çıkarma tırnakları kullanılır. Şekil 3.3'de görülen kalıpta (6) no'lu parça yay baskılı çıkarma tırnaklarıdır. Parça çekilirken veya zımbadan sıyrılırken arada kalacak havanın sıkışarak zararlı etki göstermesi için çekme zımbasına hava tahliye delikleri açılır. Bu deliklerin çapı, zımba çapına göre belirlenir. Tablo 3.1'de hava tahliye deliklerine ait değerler verilmiştir.

Yay baskılı kalıplarda baskı basıncı yay boyunun kısalmasıyla orantılı olarak yükselir. Baskı kuvvetinin değişken olması, basıncın ani yükselmesi ve basıncın ayarlanmasının



Şekil 3.1 Yay etkili baskı plakalı kalıplarda derin çekme işlemi

güçlüğü sebebiyle yay baskılı kalıplar ancak derinliği az parçaların çekilmesinde kullanılabilir. Yay etkili baskı plakalı kalıplarda baskı plakasının çekilen sacın üzerine doğrudan basması yerine sacı belirli bir aralıktan çekilmesi ve baskının bu aralığın üzerine basması çoğu zaman tercih edilir. Şekil 3.1'de (t) ile gösterilen bu aralık sacın en büyük kalınlığından 0,02 ile 0,04 mm fazla olmalıdır.

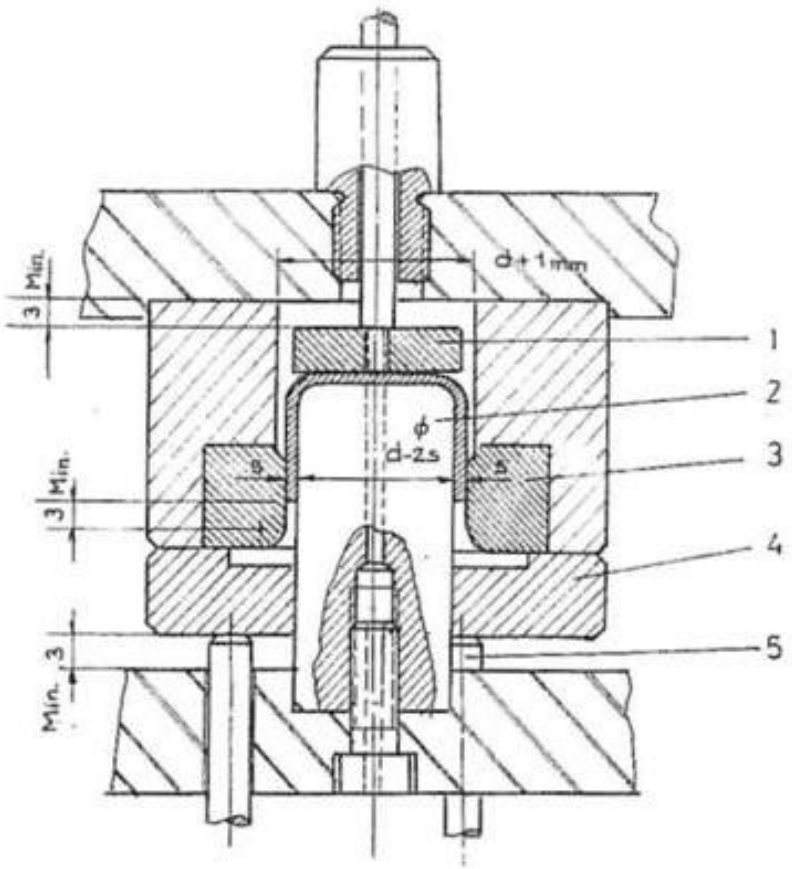
Tablo 3.1. Hava deliği ölçüleri.

Zımba çapı (mm)	Hava Deliği çapı (mm)
50	5
50-100	6,6
100-200	8
200	9,5

Derinliği oldukça fazla olan parçaların tek etkili preslerde çekilmelerinde kullanılan kalıp düzeni Şekil 3.2'de görülmektedir.4 no'lu baskı plakasını yukarı doğru bastıran 5 no'lu itici pimler pres tablasına bağlanan yaylı havalı veya hidrolik baskı düzenleriyle hareket ettirilir. Çoğu kez bu tür kalıplara zımba kesici parçalar eklenerek ilkel pulunda yani kalıpta kesilmesi sağlanır.

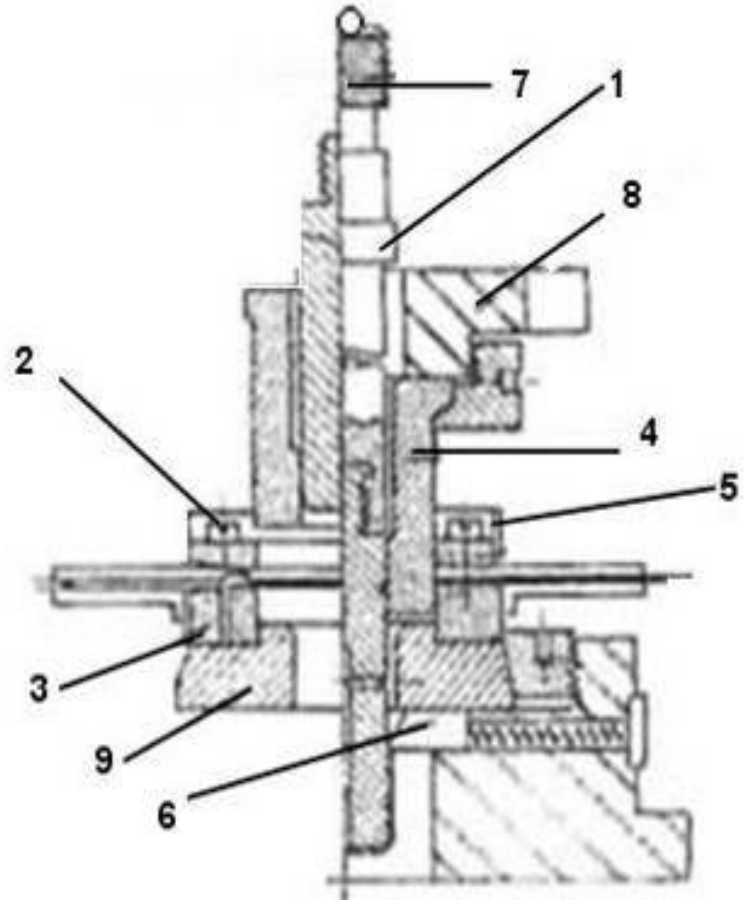
1 no'lu parça çekilmiş parçayı kalıp deliğinden dışarıya çıkarmaya yarar. Bu parça yay etkili olabileceği gibi presteki vurucu tarafından da tahrik edilebilir. Parçanın çekim sonrası vurucu çubukla dışarı itilmesi çalışma açısından daha uygun şartlar sağlar.

Baskı plakalı çekmeler için çoğu zaman iki ayrı basma özelliği olan çift etkili preslerden yararlanılır. Çift etkili preslerin çoğunda baskı plakasının ve çekme zımbasının bağlandığı iki ayrı koç düzeni vardır. Şekil 3.3'de çift etkili prese bağlanabilen baskı plakalı çekme kalıbı görülmektedir.(4) no'lu baskı plakası presin 8 no'lu baskı koçuna ve 1 no'lu çekme zımbası da presin çekme koçuna bağlanmıştır. Kalıpta baskı plakası aynı zamanda ilkel pulda kesecek şekilde düzenlenmiştir.

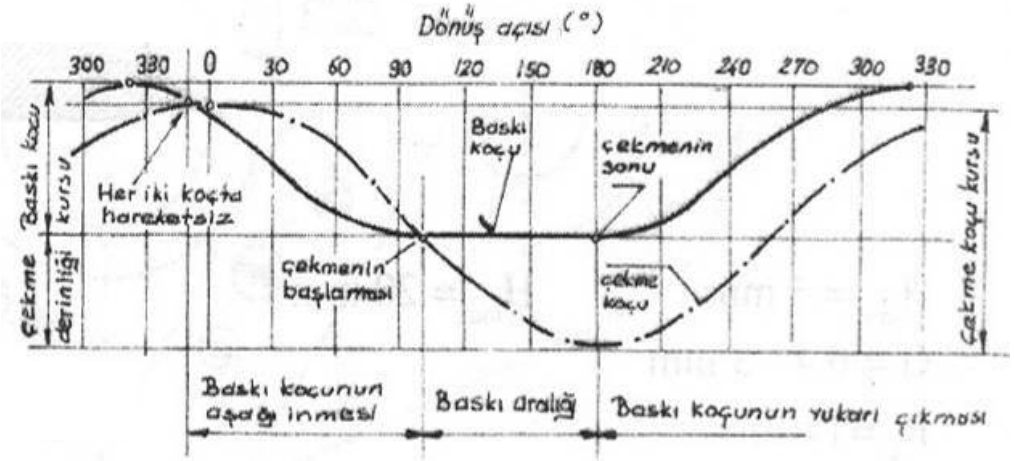


Şekil 3.2. Tek etkili presler için baskı plakalı çekme kalıbı

Aşağıdaki şekildeki hareket diyagramından görüleceği gibi çekme işlemi başlamadan önce baskı koçu aşağıya inerek ilkel pulu keser ve çekilecek sacı baskı altından tutar. Bundan sonra çekme koçu devreye girerek baskı altındaki pulu (9) no'lu kalıp içine çeker. Çekim sonrası her iki koçta aşağıya doğru hareket eder.(6) no'lu yay baskılı tırnaklar çekilmiş işi zımbadan sıyırarak işin kalıptan aşağı düşmesini sağlar.



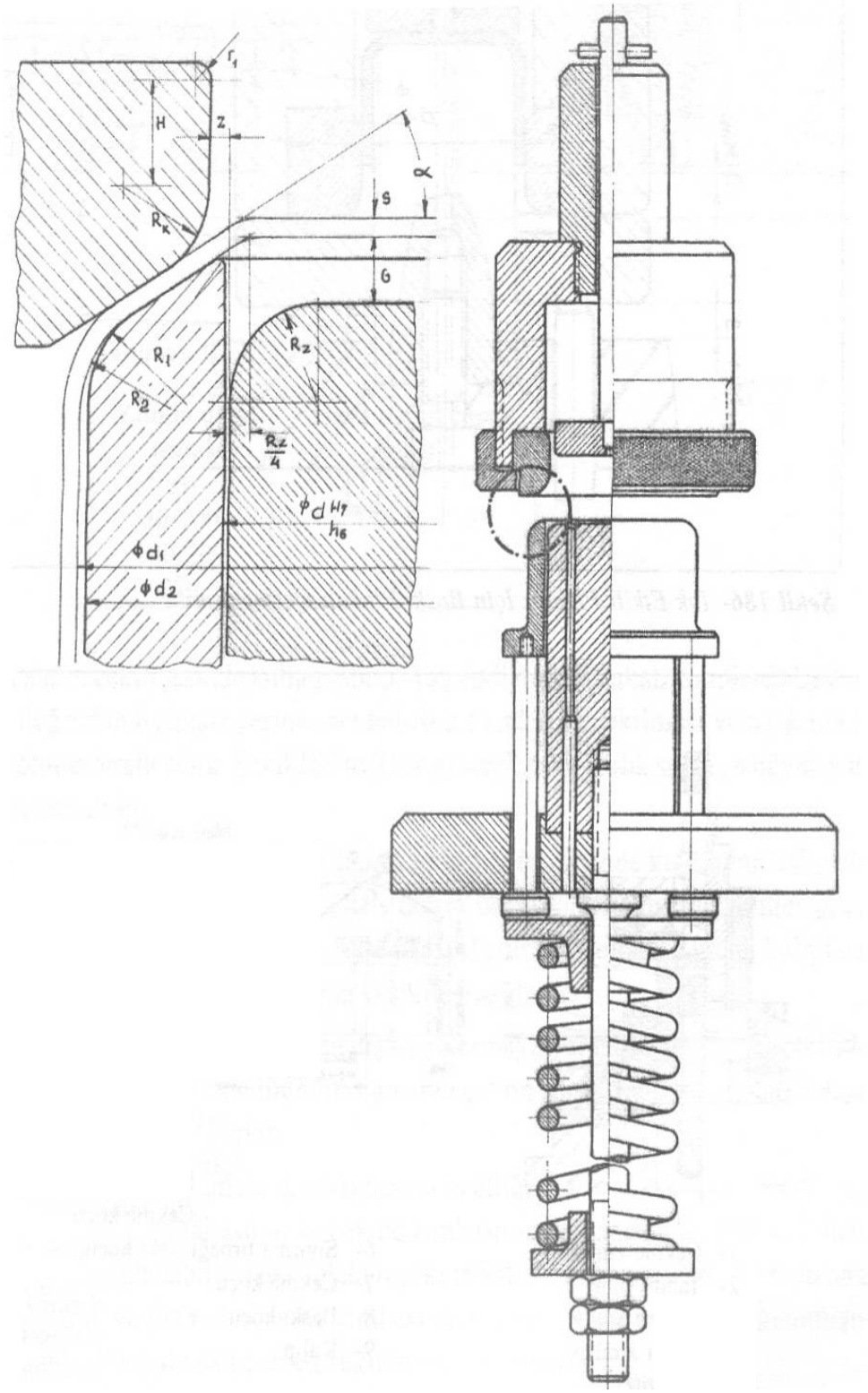
Şekil 3.3. Çift etkili presler için çekme kalıbı



Şekil 3.4. Çift etkili presin hareket diyagramı

Birçok preslerde çekim sonrası iş parçasını yukarı kaldıran çıkarma düzenekleri bulunur. Çift etkili preslerde baskı plakasını hareket ettiren sistem üste bulunabileceği gibi. Çekme kalıbı tarafından da bulanabilir.

İlk çekmeden sonra parçadaki çap küçülmesi yeniden çekme kalıpları dediğimiz düzenlerle yapılır. Şekil 3.5'de tek etkili presler için düşünülmüş baskı plakalı yeniden çekme kalıbı görülmektedir.



Şekil 3.5. Tek etkili presler için düzenlenmiş çekme kalıbı

Bir önceki çekme çapına uygun yapılmış kılavuz parçayı baskı altında tutmak için şekilde görüldüğü gibi uygun ebatlı helisel yay kullanılabilmekle beraber baskının sabit kuvvette olması için havalı veya hidrolik düzenler kullanılması tercih edilmelidir.

3.2. Çekme Kalıplarının Diğer Kalıplarla İlişkisi

Tek etkili presler için düşünülmüş, ilkel pul kesme işlemi yay baskısına bağlı 0,3 mm kalınlığı kadar kullanılabilen kesme ve çekme kalıbına ilişkin bir örnek Şekil 3.6'da görülmektedir.

(13) no'lu ilkel pul kesme kalıbı pres tablasındaki yay baskısı ile (15) no'lu pimler tarafından yukarı kaldırılmaktadır. (10) no'lu yay baskılı parça şeridi kesim anında baskı altında tutmaktadır. Aşağı iniş anında yüksek yay baskısından kurtulmak için (h) aralığı mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Bu aralık sac kalınlığının yaklaşık 4 katı kadardır.

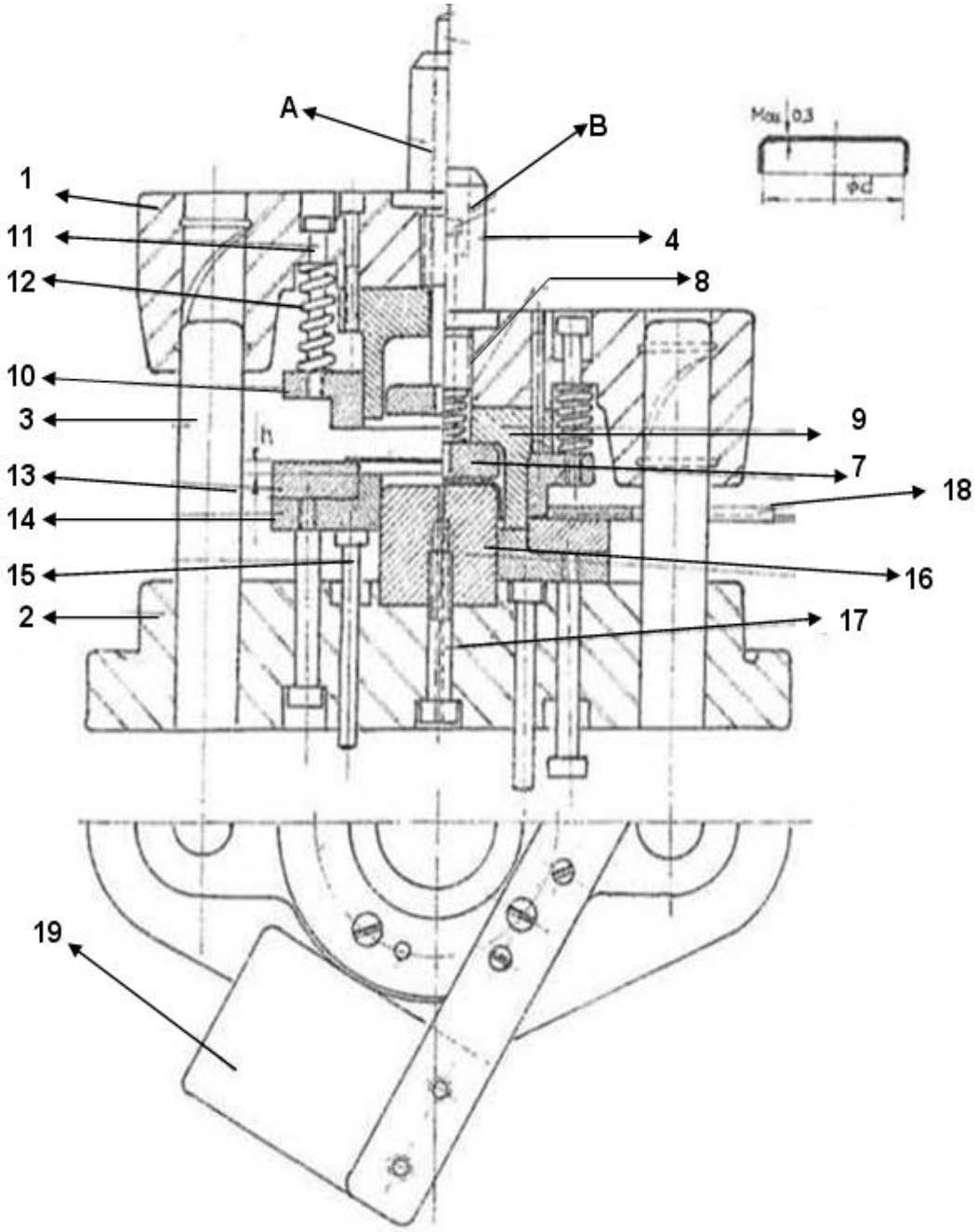
Yukarıda da değinildiği gibi kesme işlemi yay baskısına bağlı olduğundan bu tür kesme ve çekme kalıpları en fazla 0,3 mm kalınlığındaki malzemeler için düşünülebilir. Uzun kesici ömrü için kalıbın kılavuz milli hamillere monte edilmiş olması tercih edilmelidir.

Bu tür kalıplarda çekilmiş parçanın üst kalıplan çıkarılması için şekilde (A) ve (B) uygulamalarıyla gösterilen iki tip çıkarma düzeni kullanılabilir. Aynı uygulama bileşik kesme kalıplarında da vardır.

Pres koçunda vurucu çubuğu bulunmayan preslerde kullanılan yaylı çıkarma düzeni (B) uygulamasında görülmektedir.

Bu uygulamada (8) nolu yay çekim sonrası parçası (9) no'lu kalıptan dışarı iter. Bu yay parçayı kalıptan çıkarabilecek güçten daha kuvvetli yapılmamalıdır. Yay hesapları için parçanın kalıp içinde tutulma basıncı yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak 2 ile 10 kg/cm2 alınabilir.

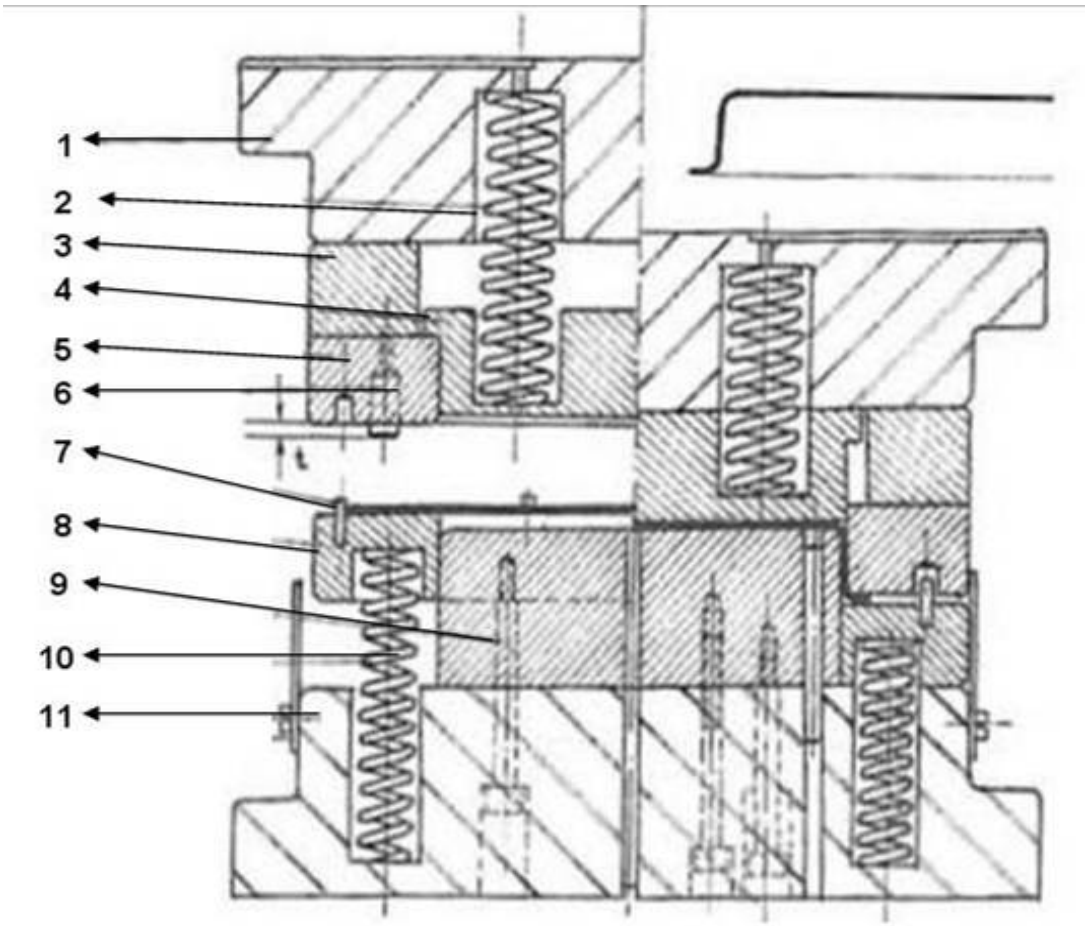
Çıkarma yayı gereğinden daha güçlü yapılabilecek olursa çekilmiş parça kalıbın açılması esnasında (14) no'lu baskı parçası ile (7) no'lu yay baskısı arasında sıkışarak kolayca bozulabilir.



Şekil 3.6. Tek etkili presler için kesme ve çekme kalıbı

Kalıbın yukarı çıkışında (14) no'lu baskı parçayı çekme zımbasından, (8) no'lu yayda parçayı kalıptan dışarı iteler. Pres koçu yukarı konuma gelince çekilmiş parça şerit ortasında ve (14) no'lu parça üzerinde kalır. Yeni bir çekim için şeridi ilerletmek için çekilmiş parçanın kalıptan uzaklaştırılmış olması gerekir. Bunun için çoğu zaman basınçlı hava kullanılır. Veya şeridin çekilirken parçayı dışarı taşıması sağlanır. Her iki durumda da tam bir çalışma emniyeti sağlanması güçtür.

(A) uygulamasında itici çubuklu çıkarma düzeni kullanılmıştır. Çekilmiş parça (9) no'lu kalıbın içinde yukarı çıkar. Koç üst konuma yaklaşırken koçta bulunan vurucu çubuğu (5) no'lu parçayı vurarak kalıp içindeki parçayı dışarı düşürür. Aşağı düşmekte olan parçaya basınçlı hava üflenerek kolayca kalıptan uzaklaştırılması sağlanır. Veya presi geriye eğerek çekilmiş parçanın kalptan dışarı düşmesi sağlanır. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi çıkarma düzenlerinde (A) uygulaması (B) uygulamasına tercih edilmelidir.



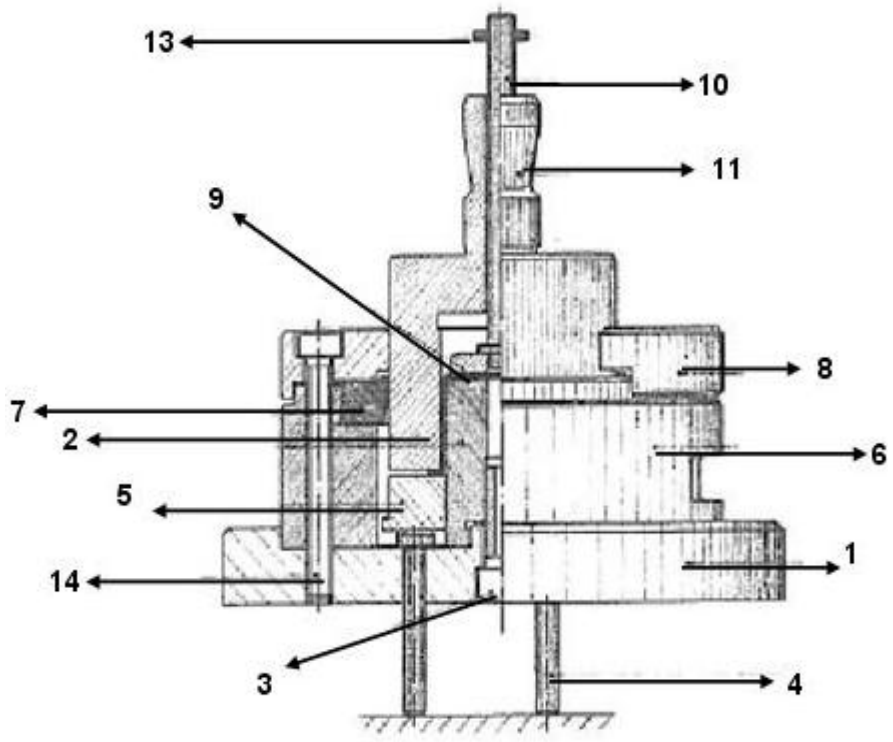
Şekil 3.7. Tek etkili pres için prizmatik çekme kalıbı

Geniş yüzeyli ve derinliği az olan (H=30 mm) prizmatik parçanın alt baskı düzeneği bulunmayan tek etkili pres çekiminde kullanılan kalıp düzeneği Şekil 3.7'de görülmektedir.

Kalıpta baskı kuvvetini karşılayacak güçte boyutlandırılmış 8 adet yay bulunmaktadır. (10) no'lu bu yaylar (8) no'lu baskı tablasını yukarı doğru bastırmaktadır. Tablanın yukarı çıkış miktarı (9) no'lu cıvatalar tarafından sınırlandırılmaktadır.

Yay baskılı kalıplarda baskı kuvveti yayın boyunun çekme esnasında kısalmasıyla orantılı olarak artar. Bu durum baskı kuvvetinin değişmesine çekme kuvvetinin artarak parçanın çekmede yırtılmasına sebep olabilir. Bu sebepten yay baskılı kalıp düzenlerinde baskı plakası sac üzerine doğrudan bastırılamaz. Bu tür kalıplarda sac belirlenen bir aralıktan çekilir. Bu tür aralığı temin için (6) no'lu pimler kullanılmıştır. Bu pimler (8) no'lu baskı plakası üzerine basarak (5) no'lu kalıpla (8) no'lu baskı plakası arasında (t) aralığının kalmasını temin eder. (t) aralığının değeri max. sac kalınlığından 0,02 ile 0,04 mm daha fazla olması gerektiğini yapılan tecrübeler doğrulamaktadır. (7) no'lu pimler ilkel plakanın baskı plakası üzerinde arzulanan pozisyonda durmasını temin eder.

Çekilen parçanın üst kalıptan çıkarılmasını temin için (2) no'lu yayların itelediği (4) no'lu çıkarıcı parça kullanılmıştır. Bu yayların daha önce değinildiği gibi ancak çıkarma kuvvetini yenecek güçte olması gerekmektedir.



Şekil 3.8. Kesme ve çekme kalıbı

Tablasında yaylı veya pnömatik baskı düzeneği bulunan tek etkili presler için düzenlenmiş ilkel pul kesme ve çekme kalıbı da Şekil 3.8'de görülmektedir. Basit yapılı kalıbın tüm parçaları tornada yapılabilecek şekilde düzenlenmiştir. (11) no'lu kesme ve çekme zımbası ile kalıp sacı tek parça olarak düşünülmüştür. Sapın vidalı olarak birleştirilmesi yerine bu yöntem daha ucuz bulunmuştur.

İlkel pul kesme kalıbı görevini yapacak (7) no'lu sertleştirilmiş ring (6) no'lu gövdeye kaygan geçer şekilde yerleştirilmiştir. (8) no'lu kılavuz parça ve (6) no'lu gövde (1) no'lu alt tablaya 4 adet cıvata ile bağlanmıştır.

5) no'lu baskı ve çıkarıcı parçayı pres tablasındaki yaylar tarafından itelenen (4) no'lu pimler aracılığı ile yukarı bastırılmaktadır. (11) no'lu kalıp içerisinde kalan çekilmiş parçayı çıkarmak için yapılmış (9 ve 10) no'lu parçalar pres koçunun yukarı konumunda koçta bulunan vurucu çubuk tarafından aşağı itelenir.

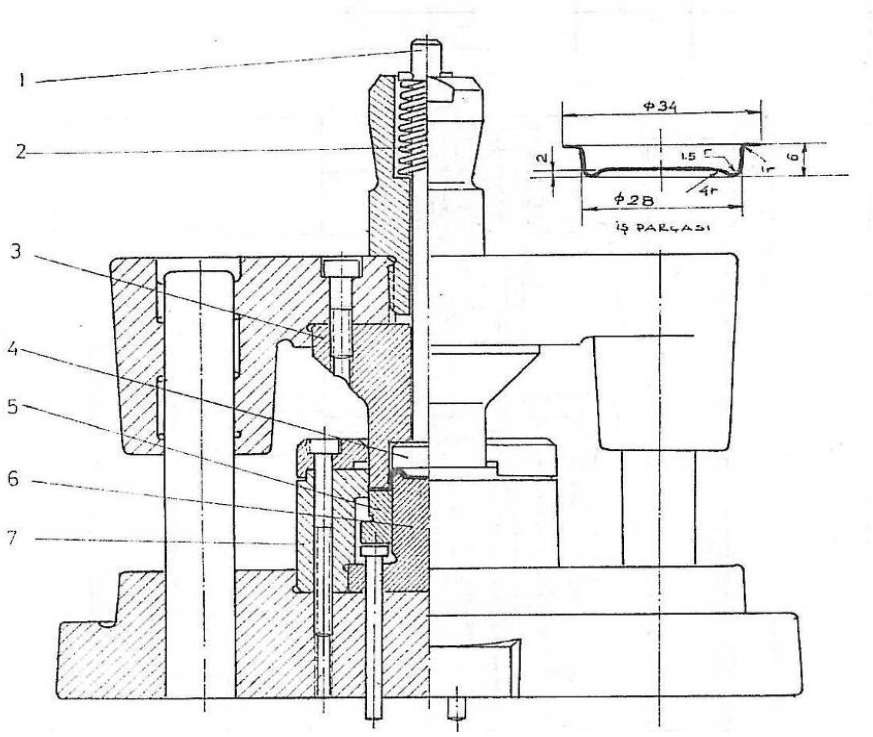
Çekme zımbasını alt tablaya bağlayan cıvatanın ortası delinerek zımbanın havalandırılması sağlanmıştır.

(7) no'lu kesme ringi (2)no'lu çekme zımbası eş merkezli olmalıdır. Bunun için (1) no'lu alt tablaya eş merkezli bir fatura ile merkezli bir meme yapılmıştır.(6) no'lu gövde faturaya, (2) no'lu zımbadan memeye oturtturulmuştur.(2) no'lu zımba alt tablayı fazla kalın yapmamak için fatura yerine meme üzerine geçirilmiştir.

İlkel pul kesme işlemi daha önceki bölümlerde incelenen kılavuz plakalı kalıplar prensibine göre çalışır. (7) no'lu kesme ringi ile (8) no'lu kılavuz parça eş merkezlidir. Kılavuz plaka deliği (11) no'lu zımbaya kaygan geçer biçimde yapılmıştır. Zımba ile kesme ringi arasında eşit kesme boşluğu (8) no'lu kılavuz parça tarafından sağlanmıştır. Kılavuz parça aynı zamanda şerit sıyırma görevini de yerine getirir. Kalıbın bağlanacağı presin kursu, çekilecek parça yüksekliğinin yaklaşık 2,5 katı olmalıdır.

Bu durumda çekme zımbası presin yukarı konumunda (8) no'lu kılavuz parçadan dışarı çıkar. Sonuçta kılavuz parça zımbayı kılavuzlama görevini tam olarak yerine getiremez. Bu bakımdan kullanılacak presin yataklaması düzgün olmalıdır. Kesicilerin konumlanmaları presin ve kılavuz parçanın yataklama imkanlarına bağlı olduğundan bu tür kalıpların kesici ömürleri kılavuz milli kalıplara göre oldukça düşüktür.

Yapılan kalıp örneğinde çekilen parça (11) no'lu kalıp içinde kalır. Koçun yukarı konumunda vurucu çubuk devreye girer ve (10) no'lu itici parçayı kalıptan dışarı iter. Presin arkaya yatık konuma getirilmesi kalıptan kurtulan parçanın kolayca presten uzaklaştırılmasına yardımcı olur.



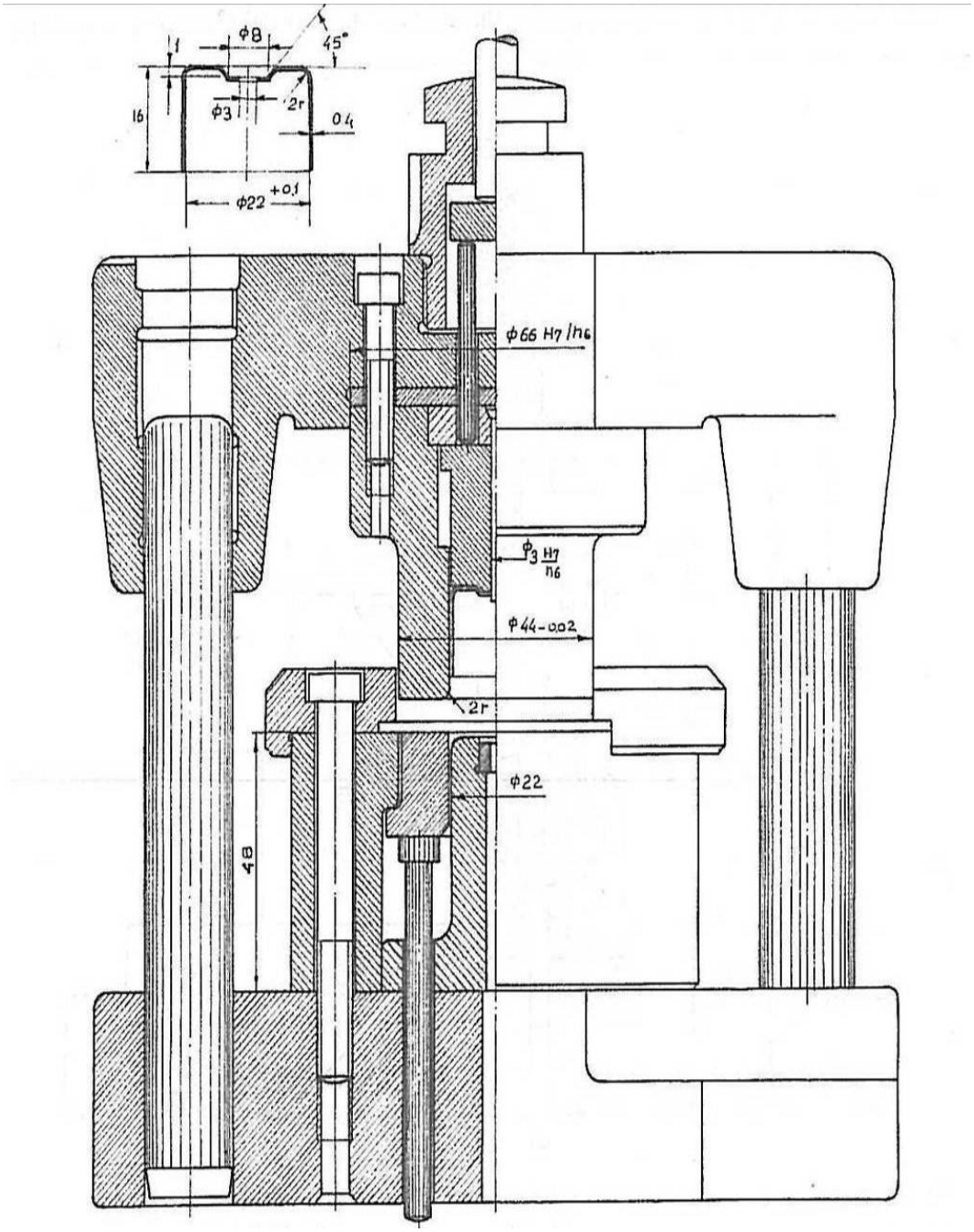
Şekil 3.9. Kesme ve çekme kalıbı

Tek etkili pres için ilkel pul kesme ve çekme kalıbı Şekil 3.9'da verilmiştir. Bu kalıp düzeni ile Şekil 3.6'da verilen kalıptan daha kalın malzemeler kesilip çekilebilir. İlkel pul (3) ve (7) no'lu zımba grubu tarafından kesilmektedir. Zımbalar kılavuz milli hamilere montaj edildiğinden kesici ömürleri Şekil 3.8'deki kalıba oranla daha fazla olur. Daha önceki kalıplarda olduğu gibi bu kalıpta da (5) no'lu baskı ve çıkarıcı parça pres tablasındaki yay tarafından (8) no'lu pimler aracılığı ile yukarı bastırılır.

Çekilmiş parçanın kalıptan çıkarılması için "vurucu" tipi çıkarma sistemi kullanılmıştır. (4) no'lu çıkarıcı aynı zamanda çekilmiş parçanın taban profilini verecek şekilde yapılmıştır. Presin yukarı konumunda vurucu tarafından aşağı düşürülen parçaya basınçla hava üflenerek kolayca kalıptan uzaklaştırılabilir Presin arkaya yatırılması da faydalıdır.

Şekil 3.10'da pul kesme-çekme ve delme kalıbına ait bir örnek görülmektedir. Yapılacak işte s/D=0,4/44=%1 ve m=22/44=0,5 oranları vardır. Malzemenin iyi çekilebilirlik özelliği de dikkate alınarak çekme tek işlemli düşünülmüştür. Kalıptan çekme işleminin tamamlanmasından hemen sonra delme zımbası devreye girerek tabandaki deliği açar. Üst çıkarıcı ise parça tabanındaki çökertmeyi meydana getirir. Kalıpta vurucu tipi çıkarıcı sistemi kullanılmıştır. Çekme sonrası basınçlı hava üflenerek çekilmiş parça kalıptan uzaklaştırılır.

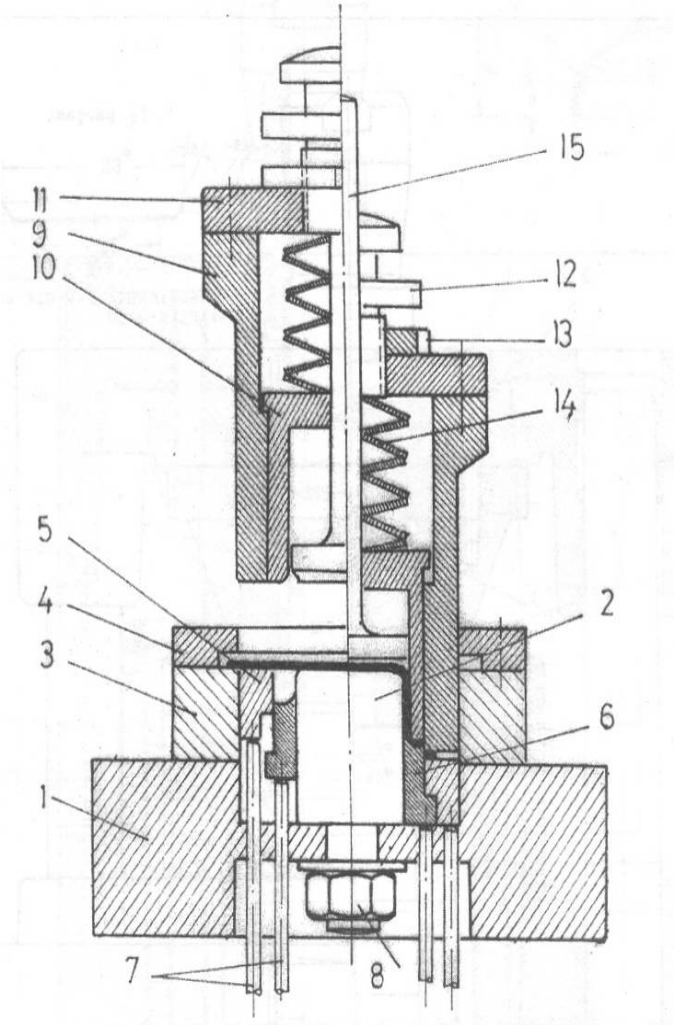
Kalıptaki alt çıkarıcı pimleri pres tablasındaki yay baskısına oturmaktadır. Delinen pulların dökülmesi için yay baskısının ortası elik olmalıdır.



Şekil 3.10. Kesme – çekme ve delme kalıbı

Çekme sonrası çoğu kez parça ağzının veya flanş çevresinin arzulanan ölçüde kesilmesi gerekir. Flanş çevresinin kesilmesi basit yapılı kesme kalıpları gerekirse bile ilave bir işlemdir. Şekil 3.8'de tek etkili pres için düzenlenmiş ilkel pul kesme-çekme ve flanş çevresi kesme işleminde kullanılan bir kalıp görülmektedir. İmal edilen parça konserve kutusu gibi kenarı sıvanarak kullanılacaktır.

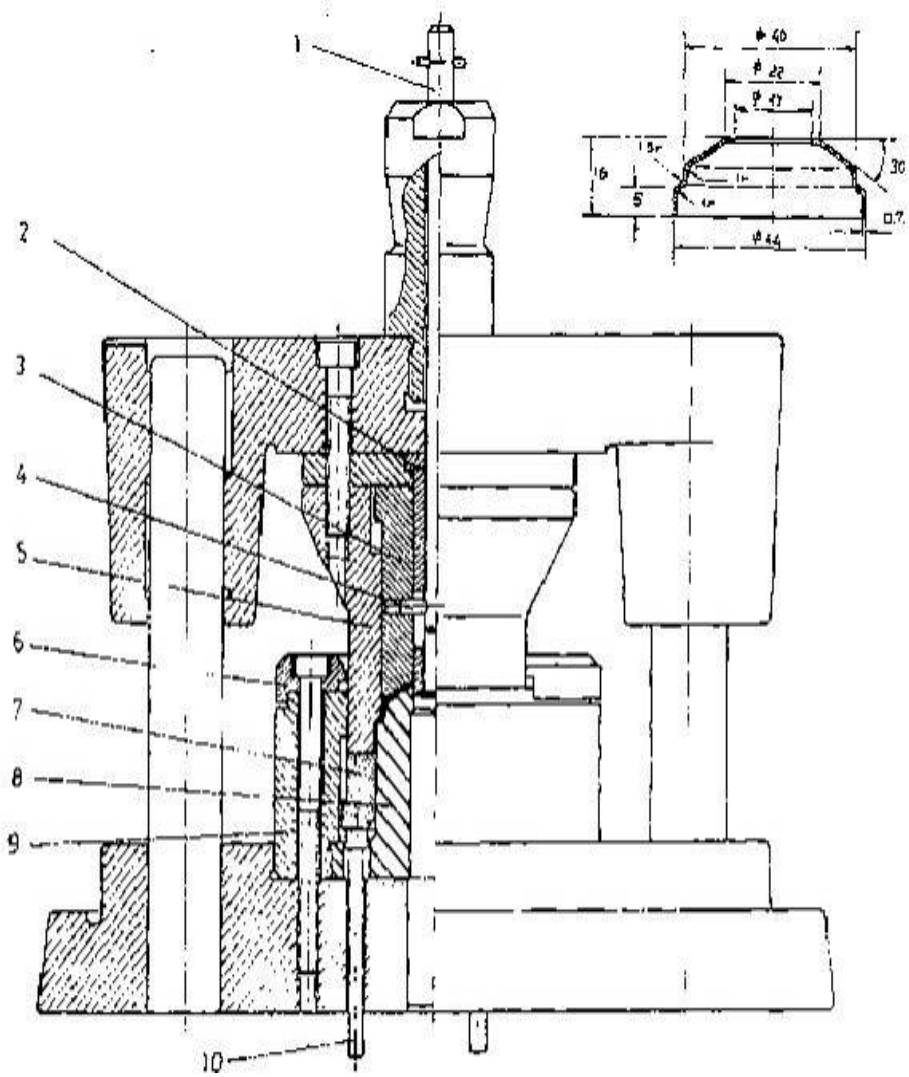
İlkel pul (9) no'lu zımba tarafından kesilmektedir.(10) no'lu çekme zımbası pul kesme zımbasının içine yerleştirilmiştir.(14) no'lu çanak yaylar çekme zımbasını çekme kuvvetini yenecek biçimde aşağı doğru bastırmaktadırlar. Yay kuvveti aynı zamanda (7) no'lu pimlerin baskı kuvvetini de karşılamaktadır. İlkel pul (9) no'lu zımba tarafından kesildikten sonra parça (10) no'lu kalıpla (2) no'lu zımba üzerine çekilmektedir. Çekim sonrası (6) no'lu baskı alt tablaya basmakta ve (10) no'lu zımba yay kuvvetini yenip yukarı çıkarken (9) no'lu zımbanın iç kenarı flanş çevresini kesmektedir. Kalıbın yukarı kalkmasından çekilen para (10) no'lu zımba içinde kalmakta ve (15) no'lu itici ile aşağı düşürülmektedir. (14) no'lu çanak yayların ön gerilme kuvvetinin ayarlanmasını temin etmek için kalıp sapı vidalı yapılmıştır.



Şekil 3.11. Kademeli parçada kesme, çekme ve delme kalıp

St37 malzemeden kademeli parçanın ilkel pul kesme-çekme ve delme işleminde kullanılan kalıp Şekil 3.11'de verilmiştir. Parça kademe çapları arasındaki fark küçük, kademe geçiş kavisleri de oldukça büyük olduğundan çekme tek işlemde yapılmıştır.

Kalıba çekme işleminin tamamlanmasına çok az bir mesafe kala devreye giren bir delme zımbasının ilave ile parçadaki delikte aynı kalıpta açılmıştır.



Şekil 3.12. Kademeli parça için kesme-çekme ve delme kalıbı

(1) no'lu çıkarıcı milden (3) no'lu çıkarıcı parçaya hareket iletebilmek için delme zımbasının orta kısma yarılmış, düşürme hareketi (4) no'lu pimle (3) no'lu parçaya aktarılmıştır.

Delme zımbasının (3) no'lu parçadan fazla uzun yapılması delmenin çekmenin başlangıcında devreye girmesine neden olur. Bu durumda açılan delik çapı çekme sonu bir miktar genişleyerek arzulanan ölçü elde edilmesini zorlaştırır. Buna engel olmak için delik zımbasının (3) no'lu parçadan yaklaşık sac kalın kadar dışarı çıkması yetişir. Tabandaki deliği fazla büyük olan parçalarda bu önlem yararlıdır.(9) no'lu pul kesme kalıbı alt hamile açılmış yuva içine yerleştirilmiş, (8) no'lu çekme zımbasının parça ile

eş merkezli olması için zımba altı faturalı yapılarak (9) no'lu kalıba takılmıştır. (10) no'lu pin baskı kuvvetini (7) no'lu çıkarıcıya iletmektedir. Bu pimler pres tablasındaki yay baskısına oturmakta (7) no'lu parça hem baskı hem de çıkarıcı görevi yapmaktadır. İşlem sonrası parça zımbadan (7) no'lu parça tarafından sıyrılmaktadır.

Çekme sonrası parça üst kalıpla birlikte yukarı çıkar. Pres koçundaki vurucu (1) no'lu parçayı aşağı iteleyerek iş parçasının aşağı düşmesine sebep olur. Parçanın aşağı düşme anında basınçlı hava üflen kalıptan uzaklaştırılması sağlanır.

Bütün ilkel pul kesme ve çekme kalıplarında olduğu gibi burada da çekmenin kesmeden sonra başlan için (8) no'lu zımba kesme kalıbı üst yüzeyinde sac kalınlığı kadar aşağıda yapılmalıdır.

Oldukça büyük boyutlu bir parçanın çekilmesi ve delinmesi için kullanılan kesme-çekme ve de kalıbı Şekil 3.13'de görülmektedir. Kalıbın kullanılacağı preste kesilen pulun aşağı düşecek büyüklükte deliği olan ve çıkarma pimleri oturma alanı kadar geniş tabla çapı bulunan yay baskısı temin edilememiştir. Ayrıca bu yay baskısını bağlayacak pres tablası deliği bulunamamıştır. Bu sebepten kalıpta baskı çıkarıcı parça (10) basınçlı havaya bağlanmıştır. (12) no'lu rekordan basınçlı hava (10) no'lu parça altı yaklaşık 600 kg.lık bir baskı kuvveti meydana getirmektedir.

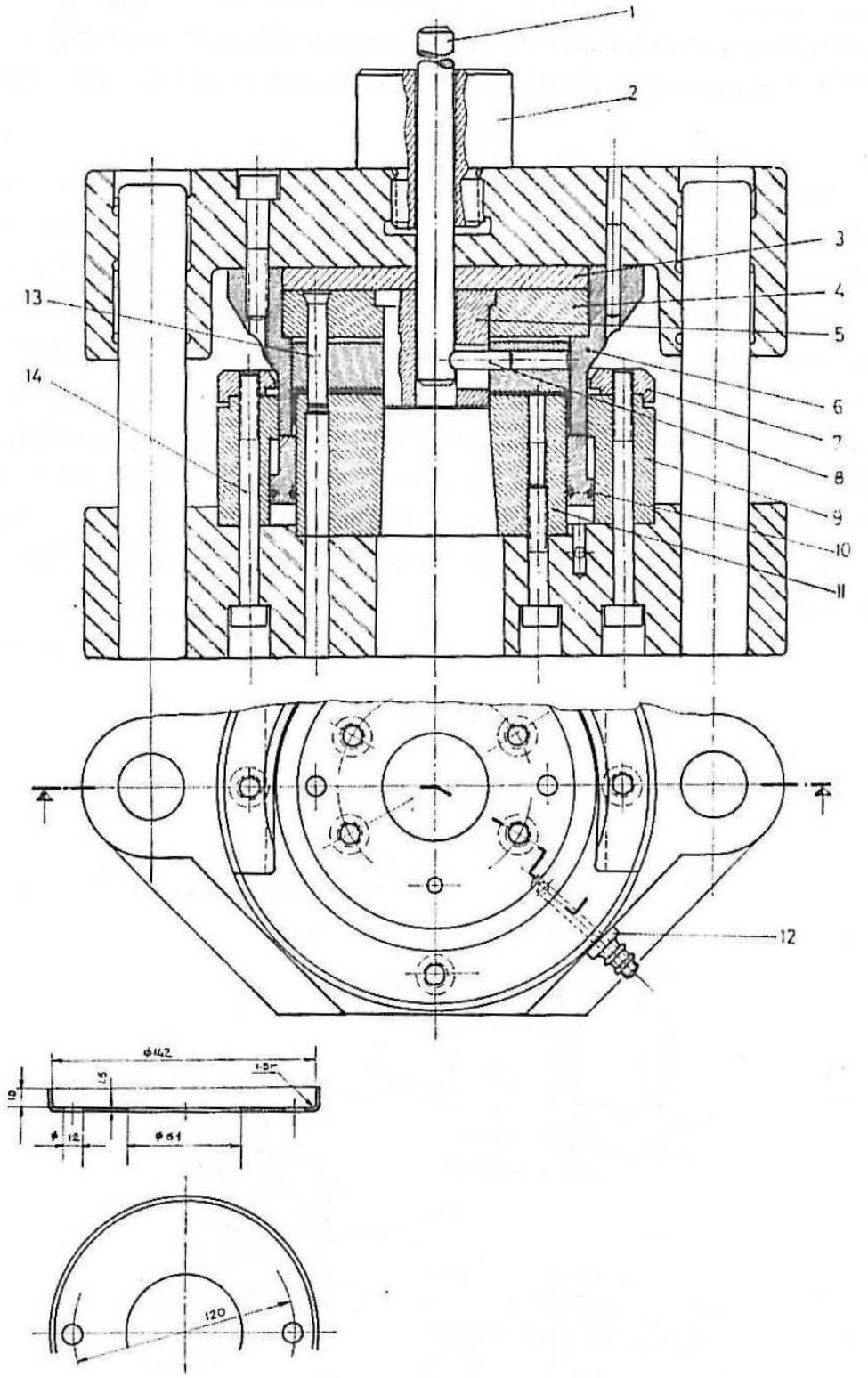
Üst çıkarıcı parçanın da çapı büyük olduğundan çıkarma için itici pimler kullanılamamıştır. Bu yerine (5) no'lu delik zımbasının orta kısmı yarılarak (8) no'lu pim aracılığı ile mildeki hareket çıkarıcı parçaya iletilmiştir.

Parçada merkeze açılacak büyük çaplı delikten başka çevrede iki adet küçük çaplı delik vardır, delikler (13) no'lu zımbalara açılmaktadır. Pres tablasına yay baskısı kullanılsa idi bu deliklerin pullar aşağı dökülmesinin temini çok güç başarılabilir.

Kalıp elemanlarının kılavuz mili hamillere montaj edilmiş olması kesicilerin ömürlerinin uzun olma temin eder.

Çekmenin ilkel pul kesmeden sonra başlaması için (11) no'lu zımba (9) no'lu alt kesiciden 2mm ki aşağıda yapılmıştır. Kesicilerin bilenmeleri sonrasında bu durum dikkate alınmalıdır.

Çekme sonrası kalıp yukarı kalkarken (10) no'lu parça altındaki basınç parçayı zımbadan sıyırır. Çekilmiş parça (6) no'lu zımbanın içerisinde kalarak yukarı çıkar. Üst konumda pres koçundaki vurucu (1) no'lu çubuğu aşağı iteleyerek parçanın kalıptan düşürülmesi sağlanır.

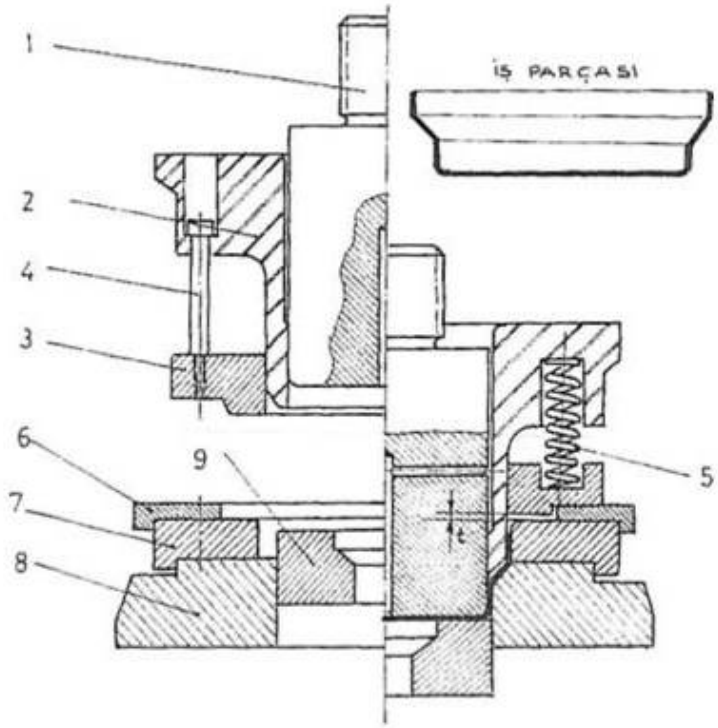


Şekil 3.13. Kesme–çekme ve delme kalıbı

Kademeli parçaların şekilleri elverdiği ölçüde tek işlemde yapılmasının birçok yararı vardır. Kademeli parçaların çekimi için çift etkili prese göre düzenlenmiş kalıp Şekil 3.14'de görülmektedir. Dış kademenin çekim zımbası (2) presteki baskı koçuna

bağlanmıştır. (3) no'lu baskı plakasının baskı kuvveti (5) no'lu yaylar tarafından sağlanmaktadır. Kalıp yüzeyi ile baskı plakası arasındaki boşlu (t) ile işaretlenmiştir. t=smax+(0,02 ile 0,04) mm değerindedir. Orta zımba (1) presteki çekme koçuna bağlıdır. Çekilecek pul (6) no'lu kılavuz ringi tarafından merkezlenmektedir.

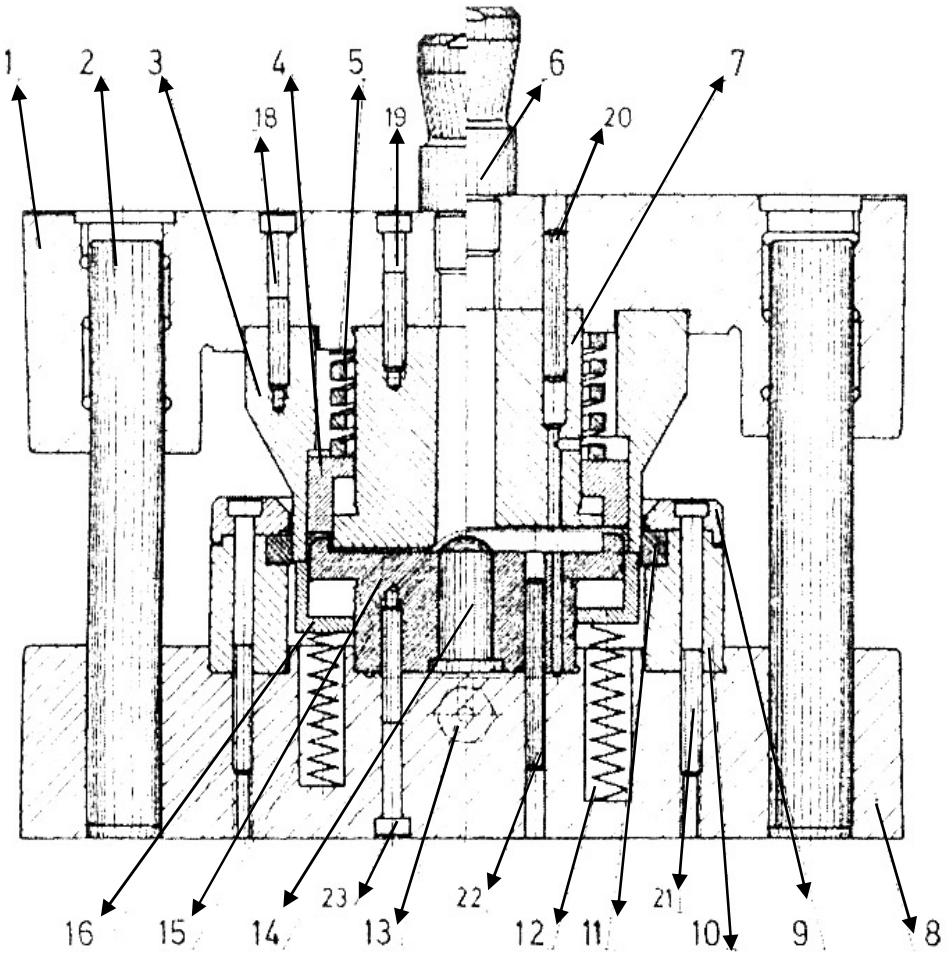
Çekme işlemi için önce (2) no'lu dış zımbanın bağlandığı baskı ünitesi aşağı iner. İlk kademe çekimi tamamlandıktan sonra (1) no'lu orta zımba düzeni devreye girer ve çekmeyi tamamlar. İkinci kademe çekmesi baskı plakalı çekmedir. Çekme sonrası iş parçası (9) no'lu parçanın pres tarafından yukarı kaldırılmasıyla kalıptan çıkarılır.

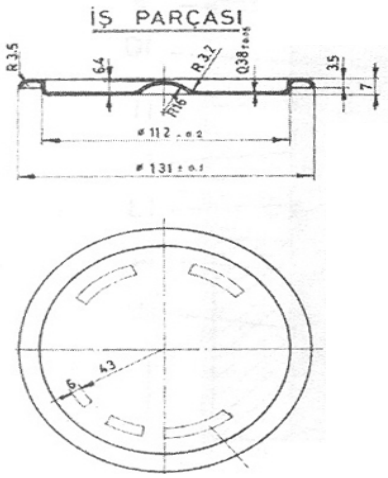


Şekil 3.14. Çift pres için kademeli parça çekme kalıbı

Kutu kapağının ilkel pul kesme çekme ve damgalama işleminde kullanılan bir kalıp örneği Şekil 3.15'de verilmiştir. İmalat basit çevirme çekme yöntemine göre gerçekleşmektedir. (3) no'lu zımba ilkel pul çevresini kesmektedir. İlk çekmenin kesmeden sonra başlaması için (15) no'lu çekme zımbası kesme kalıbından en az sac kalınlığı kadar kısa yapılmıştır. Kalıp elemanlarının kılavuz milli hamillere montaj edilmiş olması kesici ömürlerinin büyük oranda artmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum kalıbın ambarlamasını ve kullanımını daha kolaylaştırmaktadır. İlkel pul kesildikten sonra presin aşağı inişiyle (3) no'lu zımba malzemeyi (15) no'lu zımba üzerine çeker. (7) no'lu iç zımba (3) no'lu çekme zımbasından daha kısa yapılmıştır. Parça dış çapının çekmesi tamamlandıktan sonra (7) no'lu zımba devreye girerek

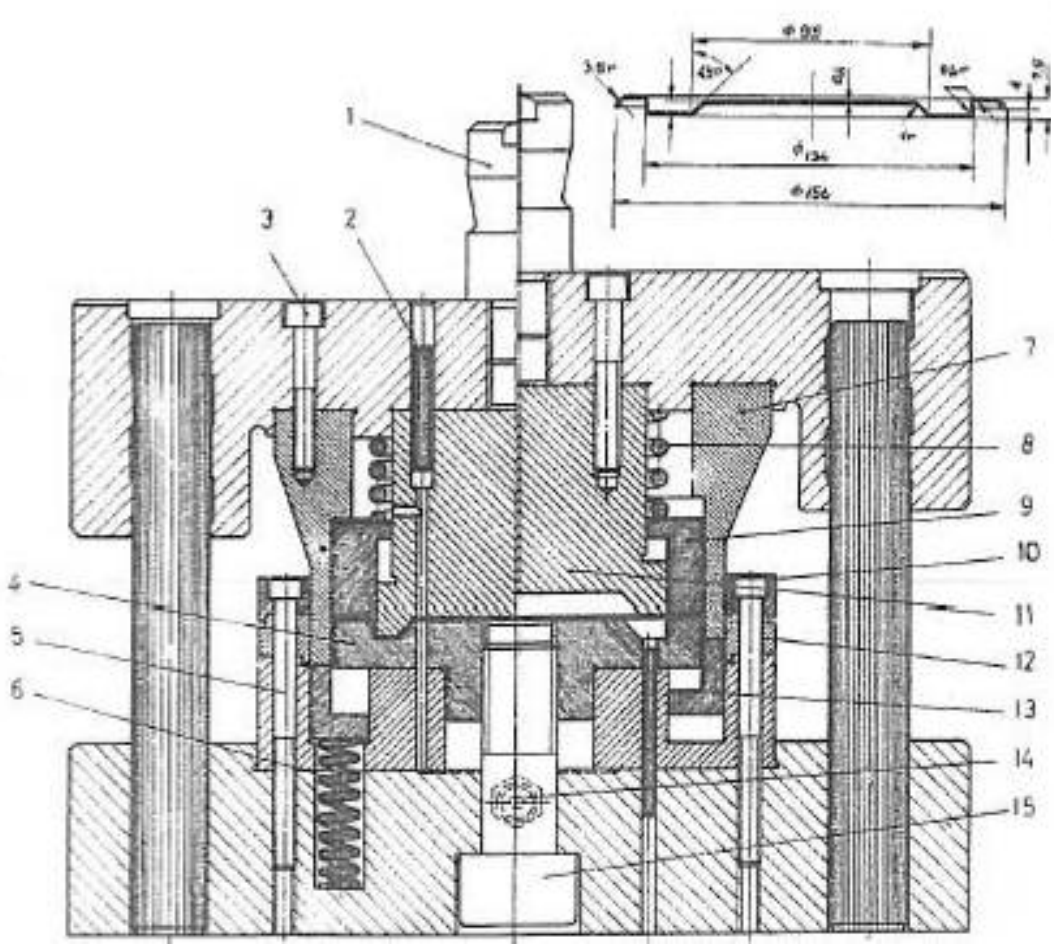
çevirme çekme yöntemine göre parçanın iç çapını (15) no'lu çekme alt zımbası içine çeker. Aynı zamanda (14) no'lu zımbada parça göbeğindeki çökertmeyi yapar. (15) ve (7) no'lu zımbalar üzerine parçadaki yazılar damgalanmıştır. Parça iç kısmı çekilirken çekme sonunda bu yazılar iş parçası üzerine preslenir.





Şekil 3.15.Kesme ve markalama kalıbı

(4) no'lu parça, (5) no'lu yayın etkisiyle hem üst baskı hem de çekme sonrası çıkarma görevini üstlenmiştir. Aynı şekilde (16) no'lu parçada (12) no'lu yayın etkisiyle hem alt baskı hem de çıkarıcı görevini yapmaktadır. Çekme sonrası kalıp yukarı çıkarken (16) no'lu parça iş parçasını (15) no'lu zımbadan, (4) no'lu parçada (3) ve (7) no'lu zımbalardan sıyırır. (15) no'lu zımba üzerinde kalan iş parçası (13) no'lu rekordan üflenen basınçlı hava ile yukarı kaldırılır. Örnek kalıpta yapılan işlem incelendiğinde parçanın çekilirken malzemenin büyük uzama gerilmelerinin altında olduğu görülmektedir. Malzeme hiçbir önlem alınmadan aynı anda birkaç yerden bükülmeye zorlandığında çekme kenarlarındaki frenlemeler sonucunda yırtılmalar görülmektedir.



Şekil 3.16. Kesme ve çekme kalıbı

Çekme kenarlarında frenlenen malzeme diğer bölgelerden uzamaya zorlanması sonucunda yırtılmaması için (15) ve (7) no'lu zımbaların çekme kavisleri fazla küçük olmamalıdır. Aynı zamanda dış çekmenin çekme boşluğu dar yapılmamalıdır. Aynı zamanda dış çekme tamamlandıktan sonra devreye girmelidir.

Bu tür çekmelere ne kadar iyi önlemler alınırsa alınsın malzemenin uzamadan şekillenmesini sağlamak güçtür. Bu bakımdan ilkel pul çaplarının hesabında alan eşitliğine göre bulunan değerden daha küçük çaplı pullar ön görülmelidir. Malzemenin uzamalar karşısında yırtılmadan şekillenebilmesi için derin çekme kalite malzeme kullanılmalıdır.

Şekil 3.15 'tekine benzer parça için kullanılan kalıp Şekil 3.16'da verilmiştir. Her iki kalıbın da yapılarının incelendiğinde birbirine çok benzediği görülecektir. Buradaki parça (11) no'lu zımbanın ucunun malzeme akışına fazlasıyla engel olması sebebiyle bir önceki parçaya göre daha zor şekillenebilir durumdadır. Bu sebepten zımbanın uç kavisleri gerektiğinden küçük yapılmamalıdır.

BÖLÜM -4-

PLASTİK ANİZOTROPİ

4.1. Metalik Saclarda Plastik Anizotropinin Derin Çekme İşlemindeki Önemi

Derin çekmede sıkça karşılaşılan problemlerden biride kulaklanmadır. Kulaklanma, malzemenin iç yapısından kaynaklanan anizotropik özelliğin bir sonucudur.

Çok kristalli malzemelerde, plastik deformasyon veya tavlama ile oluşan kristallografik anizotropi mekanik özelliklerin yöne bağlı olarak farklı değerlere sahip olmasına neden olmaktadır. Kristallografik tekstür, malzemenin elastisite modülünün, akma ve çekme dayanımlarının ve sünekliğin ölçüldüğü yere bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Kristallografik tekstür levha yüzeyinde mekanik özelliklerin anizotropik olmasına sebep olabilmektedir. Derin çekilen kabın ağız kısmının girinti ve çıkıntılardan oluşan dayalı bölge, kulaklanma olarak tanımlanmaktadır. Kulak adı verilen çıkıntılar malzemenin üretim kademelerinde oluşan tekstürlü iç yapıdan kaynaklanan anizotropik özelliğin sonucudur. Anizotropi, malzemelerin mekanik özelliklerinin yöne bağlı olarak değişmesine neden olmaktadır.

Malzemenin derin çekilmesi sonucunda anizotropik özellik nedeniyle kabın ağız kısmının belli yönlerde daha kolay deforme olarak uzaması sonucu oluşan kulaklanma parçada aşırı kenar kesimini gerektirmekte veya kulaklar arasındaki çukur bölgeler, istenilen kap yüksekliğine ulaşamayacağından, parçanın hurdaya ayrılmasına dolayısıyla da üretim veriminin düşmesine ve maliyetin yükselmesine sebep olmaktadır.

4.2. Dikey Anizotropi Katsayısı

Yassı metalik malzemelerde, kristallografik anizotropinin karakteristiği dikey anizotropi katsayısı, (R) ile tanımlanır ve çekme deneyinde, belirli bir uzamada

(örneğin%20) genişlikteki birim şekil değiştirmenin (ε_v), kalınlıktaki birim şekil değiştirmeye (ε_t) oranı olarak şu formül ile hesaplanır. $R=\varepsilon_v / \varepsilon_t$

Yassı metalik malzemeler için tanımlanan dikey anizotropi katsayısı (R) veya ortalama dikey anizotropi katsayısının R, 1'den büyük olması istenir. Başka bir deyimle metlik sacın kalınlık yönündeki plastik şekil değiştirme direncinin sac düzlemi içindeki plstik şekil değiştirme direncinden fazla olması istenmektedir. Böylece malzemenin kalınlığında fazla incelme olmadan, plastik şekil değiştirme büyük oranda metalik sac düzleminde oluşacak biçimlendirme başarıyla sonuçlanacaktır.

Yüzey merkezli küp (Y.M.K) sistemine sahip metaller izotrop davranış gösterirler, yani dikey anizotropi katsayısı yaklaşık olarak 1'dir.Bu durumda derin çekme sınırı D.Ç.O.S=2.0-2.1-olup elde edilen kabın derinliği yaklaşık olarak 0.9 d_z'dir. Titanyum gibi dikey anizotropi katsayısı büyük olan malzemelerde D.Ç.O.S büyük olduğundan bir tek işlemde daha derin kaplar elde etmek mümkündür. Bunun tersine çinko gibi dikey anizotropi katsayısı<1 olan malzemelerde, plastik şekil değiştirme daha çok kalınlık yönünde oluşur. Kalınlığın bu durumda hızla azalması hasarında erken olmasına yol açar.Dikey anizotropi katsayısı, deformasyonun yönüne göre değişebilmektedir. Bu nedenle levha yüzeyinde farklı yönlerde ölçülen R değerlerinin ortalaması alınır. Dikey anizotropi katsayılarının ortalaması R, (2) formülü ile ve dikey anizotropi katsayısının levha düzlemindeki, düzlemsel anizotropi özelliğinin değişmiş ΔR, (3) formülü ile hesaplanmaktadır.

$R=(R_0+2R_{45}+R_{90})/4$

$\Delta R=(R_0-2R_{45}+R_{90})/2$

R_0:Haddeleme yönünde,

R_{45}:Haddelemeye 45^0,

R_{90}:Haddelemeye dik yöndeki dikey anizotropi katsayılarıdır.

R veΔR bir malzeme özelliği olup, levhanın cinsine ve üretim yöntemindeki gördüğü işlemlere bağlıdır. Düzlemsel anizotropiye sahip levhalar yöne bağlı olarak farklı şekil değiştirme özelliği gösterirler. Bu levhalarda $R_0 \neq R_{45} \neq R_{90}$ olup, kulaklanma oluşur.

Dikey anizotropi katsayısının (R) ve ortalama dikey anizotropi katsayısının ($\bar{R}$) değerinin 1'den büyük olması, ΔR'nin ise 0'a yakın olması istenir. Dikey anizotropi (R)

katsayısı $\bar{R}<1$ ise plastik şekil değiştirme daha çok kalınlık yönünde oluşmaktadır.

Kalınlığın bu durumda hızla azalması hasarın daha erken olmasına yol açar. Derin çekme işlemlerinde anizotrpi özelliği istenmesine rağmen, düzlemsel anizotropi özelliği istenmez.$\Delta R=0$ ise kulaklanma olayı görülmez, kap düzgün kenarlıdır. $\Delta R \neq R$ ise kulaklanma olur. $\Delta R<0$ ise 45^0'lik yönde, $\Delta R>0$ ise 0^0 ve 90^0'lik yönlerde kulak oluşumu görülür.

Derin çekilebilir birçok levha malzemede ortalama dikey anizotropi katsayısı 0,8 ile 2,40 değerleri arasındadır. Çok iyi derin çekilebilirlik için $\bar{R}>1{,}80$ olmalıdır. Alüminyum alaşımlarında ortalama dikey anizotropi katsayının 0,6 ile 0,8 arasında olması halinde derin çekilebilirliğin iyi olduğu açıklamaktadır.

Yumuşak alüminyum 1100-0 malzeme için 0.74, yarı sert alüminyum malzeme 1104-H4 için 0,50 bulunmuştur. $\bar{R}$ değerinin 0,85'in üzerinde olması halinde çekilebilirliğin iyi, 0,60'ın altında olması halinde kötü olduğu söylenebilir. Yüksek $\bar{R}$ değeri, düşük ΔR değerinin kombinasyonu optimum derin çekilebilirliği vermektedir.

Malzemelerin homojen deformasyona uğraması ve boyun vermeye karşı direnç göstermesi, deformasyon sertleşmesi üssünün (n) yüksek değeri ile sağlanır. Bu değer, malzemenin biçimlendirebilme özelliğinin bir ölçüsüdür. Malzemelerin boyun verme esnasında lokal birim şekil değişimine karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olan n değerinin, iyi biçimlendirilebilme özelliği için büyük olması istenir.

Derin çekilebilen kabın kulak bölgelerinin yükseklik ortalaması ($H_{1ort.}$) ve kulaklar arası çukur bölgelerin yükseklik ortalaması ($H_{0ort.}$) alındıktan sonra aşağıdaki formül ile %. Kulaklanma değeri hesaplanır.

% Kulaklanma = $(H_{1ort}-H_{0ort}).100/H_{1or}$

% Kulaklanma değeri küçüldükçe, kulak oluşumu azalmaktadır. Dolayısı ile kenar kesimi daha az olacağı için malzeme kaybı da azalacaktır.

Levha malzemelerin derin çekilebilirlikleri hakkında bilgi veren diğer bir deney de, Erichsen çökertme deneyidir. Derin çekilebilirlik iyileştikçe Erichsen derinliği de artmaktadır. (KAYALI, E.S., 1997)

BÖLÜM -5-

DERİN ÇEKME İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

5. Derin Çekme İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Çeşitli araştırmacılar derin çekme ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmış olup, ulaştıkları sonuçlar şu şekildedir.

5.1. Özek (2008)

Bu çalışma, DKP 37 sacı kullanılarak kalıp ve zımbanın radyüs değişimlerinin, limit çekme oranının, baskı plakası ve kalıp açılarının et kalınlığı üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılmıştır. Kalıp boşluğu içine malzeme akışının kolaylaşması için baskı plakası yüzeylerine $\alpha=2,5^0$, $\alpha=7,5^0$, $\alpha=12,5^0$, $\alpha=15^0$ açılar, matris ve zımba köşelerine R=10, R=8, R=6, R=4 mm radyüsler verilmiştir. Zımba çapı=30, matris çapı=32,3ve kalıp boşluğu 1,15 mm'dir. Deney malzemesi olarak 1.00 mm kalınlığında DKP sac kullanılmıştır. Kalıp ve parça arasındaki sürtünmeyi azaltmak için Shell Tellus 68 yağ kullanılmıştır. Et kalınlığının ölçümü kap üzerinde 6 farklı bölgeden yapılmıştır. Kalıp ve zımba radyüsü ile kalıp açısı arttıkça çekme oranı artmaktadır. DKP 37 sacının çekme oranı 1.8'den 2.3'e çıkarılmıştır. Çalışmada limit çekme oranı (β), baskı plakası açısı(α), kalıp ve zımba radyüsünün (R) artması ile et kalınlığının azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni, çekme oranının artmasıyla sacın deformasyona uğratacak zımba kuvvetinin de artmış olmasıdır. Zımba kuvvetinin artmasıyla deney parçasında daha büyük gerilmeler oluşmaktadır. Bu da deney parçası et kalınlığının büyük oranda incelmesine yol açmıştır.

5.2. Karaağaç (2009)

Karaağaç bu çalışmasında çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmakta olan AISI304 kalite paslanmaz sac malzemenin dairesel ve karesel geometrili ürünler için klasik ve SBŞ yöntemi ile derin çekilebilirlikleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sanal ortamda incelenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar; gerilim dağılımı, kalınlık değişimi, şekillendirilebilirlik, yırtılma ve kırışıklık oluşumu gibi ölçütler açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, sıvı basıncı ile yapılan çekme işlemi analizlerinde, klasik derin çekme yöntemiyle yapılan analizlere göre daha iyi çekme oranı elde edilmiş ve sac incelmesi daha az olmuştur. Çekme hızının artmasının yine iki yöntemde de çekme oranını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Yine aynı şekilde baskı yastığı basıncının artmasının sacda meydana gelen buruşuklukları azalttığı buna karşın sacın akmasına engel olmasından dolayı daha çabuk yırtılma meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Çekme hızının her iki yöntem ile şekillendirme prosesinde artması çekme oranını olumsuz etkilemiştir.

5.3. Gotoh (1997)

Gotoh ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, 0,2~1 mm kalınlığındaki alüminyum, bakır, pirinç, yumuşak çelik, paslanmaz çelik gibi çeşitli sacların derin çekilmesinde kalıp radyüsünün etkisini araştırmışlardır. Matris radyüsü küçüldükçe çekme derinliğinin arttığını tespit etmişlerdir.

5.4. Colgan-Monaghan (2003)

Zımba ve kalıp radyüsü, zımba hızı, baskı plakası kuvveti ve çekilen malzemenin sürtünme katsayısı gibi çeşitli parametrelerin derin çekmeye etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada derin çekmede zımba ve kalıp radyüsünün baskı plakası kuvvetinden daha etkili olduğu, kalıp radyüsü küçüldükçe sacı deformasyona uğratmak için gerekli olan zımba kuvvetinin de azaldığı tesbit edilmiştir.

5.5. Savaş ve Seçkin (2007)

Savaş ve Seçkin yapmış oldukları çalışmada, matris ve baskı plakası açısının çekme oranı üzerindeki etkilerini araştırmışlar, matris ve baskı plakası açısı arttıkça çekme oranının da arttığını göstermişlerdir.

5.6.Zhang (2003)

Zhang ve arkadaşları, yumuşak çeliklerin hidromekanik derin çekilmesini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlar, kapların şekil ve kalınlık değişimleri belirlenip anizotropinin etkisini incelemişlerdir. Hidrolik basınç kullanılarak yumuşak çeliklerin çekme oranı 2.5'a çıkarılmıştır.

5.7.Zhang ve Li (1997)

Zhang ve Li, derin çekme işleminde matris radyüsü ve sac kalınlığının kulaklanma oluşumu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kulaklanmanın matris radyüsü ve sac kalınlığı arasındaki orana bağlı olduğu bu oran arttıkça kulaklanmanın da arttığı tesbit edilmiştir.

5.8.Woo (1964)

Woo tarafından yapılan çalışmada baskı plakası kuvveti dağılımının normal çekme işleminde gerilme yığılmasına neden olduğu, bundan dolayı baskı plaka kuvveti ve sürtünmenin zımba kuvveti üzerinde etkisinin az olduğunu göstermiştir.

5.9. Wilson (1994)

Wilson, alüminyum sacların derin çekilmesinde çekilen parça çevresinde kulaklanma özellikleri ile ilgili teorik ve deneysel araştırmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalardan yağlamanın derin çekme işlemi üzerinde önemli bir etkisi olduğunun göstermişlerdir.

5.10. Gavas (2007)

Bu çalışmada, anizotropik alüminyum sactan beş değişik taslak malzeme biçimi kare şeklinde derin çekilerek incelenmiştir. Kare derin çekmede genel olarak köşelerde bir miktar kulaklanmayı netice veren dairesel taslak malzeme kullanılmaktadır. Optimum biçimli taslak malzemeler en az kulaklanma ve üst kenar dalgalanması oluşturması, hurda malzeme miktarını azaltarak maliyetleri düşürmesi ve şekillendirilebilirliği artırması gibi nedenlerden dolayı tercih edilir. Buna karşın yüzey kalitesi çok iyi değildir. Ayrıca; optimum taslak malzeme biçiminin elde edilmesi için bilgisayar yardımıyla yapılan simülasyonlara ve simülasyonlarda kullanılmak üzere deneysel olarak elde edilen malzemenin karakteristik özelliklerinin bilinmesine, özellikle kompleks şekilli kapların taslak malzemelerinin hazırlanması için maliyeti oldukça yüksek olan kesme kalıplarına ihtiyaç vardır. Bu ise, zaman alıcı ve maliyet artırıcı niteliktedir. Kulaklanmanın/dalgalanmanın daha fazla olduğu diğer şekillerde ise yüzey kalitesi özellikle köşelerde daha iyi, buna karşın hurda malzeme miktarı fazladır. Taslak malzemenin optimum şekilde belirlenip hassas olarak hazırlanmasına rağmen, yerleştirme hataları ve diğer hataların sonucu olarak, elde edilen kabın üst kenarları tam düzgün değildir ve tıraşlama /düzeltme işlemine tabi tutulması gerekir. Ayrıca; bütün bu şartlar değerlendirilirken üretim miktarı da önemli bir etken olarak dikkate alınmalı, taslak malzeme şekline bu değerlendirmeler sonunda karar verilmelidir.

BÖLÜM -6-

DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1 Kalıp tasarımında kullanılan veriler

Çekme kuvveti: Daha önce bölüm 2'de silindirik kapların derin çekilmesinde kullanılan yöntemle çekme kuvveti 5,235 olarak bulunmuştur. Bu durumda presten gelmesi gereken kuvvet minimum kuvvet 6 ton'dur.

Sac kalınlığı:1 mm

Malzeme kalitesi: Erdemir 7116 - DIN EN 10130-99 (IF) - derin çekme işlemine yönelik kaliteli sac olup, sacın özellikleri Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmiştir.

Pul açınımı:115 mm , Zımba çapı:57,5 mm

Çekme derinliği (en yüksek):40 mm

$D = \sqrt{d^2 + 4.d.h}$ eşitliğinden;

$D = 111{,}8$ mm bulunup, pul açınımı 115mm olarak seçilip kesilmiştir.

Bu durumda; Çekme oranı; $\beta_{max} = \frac{D}{d} = 2$ olarak bulunur.

Simülasyon programı: Autoform

Kalıp tasarımının yapıldığı program: Catia V5

Kalıp kavisi:12 mm; Bölüm 2'de belirtilen, r = 0,035 [50 +(D-d)]. $\sqrt{s}$ formüle göre $r \cong 4$ olarak bulunmuş olup Autoform simülasyonunda bu radyüs değeri yırtılmaya yol açtığından, kalıp radyüsü 12 mm olarak seçilmiştir.

6.2. Simülasyon Programı 'Autoform'

Uygulama tecrübesine, endüstriyel bilgiye ve saç metal şekillendirme uzmanlığına dayanan AutoForm çözümleri, prosesin her aşamasını incelemek, analiz etmek ve optimize etmek için özel fonksiyonları bulunan komple bir çözümdür.

6.2.1 Autoform'un İçeriği

Autoform, prosesin hazırlık aşamasında hareketsiz konum, kapanma konumu ve çekme konumu olmak üzere üç aşamada takım kontrol ve parametre ayarlarının tasarımcı tarafından yapılmasına imkân vermektedir. (Karaağaç İ, 2009)

Simülasyon için kalıp elemanlarının tanımı Otomotivde en fazla uygulanan saç şekillendirme yöntemi olan Derin Çekmede ilk hareket olarak saç, kalıbın pot çemberi (blankholder) ve dişi (die) elemanları arasında pot çemberi baskısı ile tutulur. Bu baskı kuvveti ile tutma, kalıcı şekillendirme sırasında saçta oluşacak kırışmaları engellemek ve saç akışını kontrol etmek için gereklidir. Daha sonra erkek kalıp (punch) sacı dişiye doğru çekerek strok sonunda istenilen şekli verir. Strok sırasında saçta kendi yüzeyi içerisinde her an değişen basma ve çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerle saç şekil alırken aynı zamanda malzeme özelliklerinin değişimi pekleşme (stress hardening) ve kalınlık değişimleri oluşur. Sığ parçalarda, bükülme/burkulma dayanımını arttıran pekleşmeyi verecek uzamalar oluşabilmesi için pot çemberi baskı kuvvetini oldukça yüksek uygulamak gerekir. Pot Çemberi üzerinde süzme kanalları ve erkek kalıp üzerinde ek olarak yapılan girinti/çıkıntı şekilleri saç akışının ve uzamalarının kontrolünde kullanılan çok önemli unsurlardır. Süzme kanallarından geçerken sacın, kanal profilinin üzerinden deforme olarak geçmesi ek bir tutma etkisi yaratır. Diğer bir parametre de kalıp ile saç arasındaki sürtünmedir.

6.2.2. Autoform'da Sayısal Çözüm

Formlama sırasında kalıp yüzeyindeki hatalardan ve/veya küçük radius formlarından dolayı saçta oluşan izler ve saçtaki portakallaşma da parçanın kalitesini etkileyen diğer noktalardır. Sacın kalıptaki akışı malzemenin anizotropiklik özelliğinden ve sürtünme koşullarından etkilenir. (Kurtuluş N., Metallere şekil verme)

Saç şekillendirmeye etkiyen tüm bu etkenler konusunda geniş bir bilgiye sahip olmadan yapılan kalıp imalatı sonrasında istenilen parçayı kaliteli olarak elde edebilmek için, oldukça uzun bir süre alan, hatta bazen kalıpların yeniden dizaynına kadar gidebilen bir deneme-yanılma süreci yaşanır. Maliyeti oldukça yüksek olan bu süreci

azaltmak/tamamen yok etmek, optimum kalıp yüzey dizaynını daha imalata geçmeden belirlemek için bilgisayarda sayısal simülasyonlar, son yıllarda başarıyla kullanılmaktadır.

Sayısal saç şekillendirme simülasyonlarının ilk yararı daha parçanın dizaynında başlar. Yeni araç tasarımında, parçanın tanımlanması aşamasında sorunsuz formlanabilirliğinin görülmesi, proses ve kalıp dizaynından önce açınım ölçüsü ve formlama kuvveti gibi değerlerin bilinmesi, imalat sırasındaki maliyetleri çok büyük oranda azaltacaktır.

6.2.3. Elde Edilen Simülasyon Sonuçlarından Bazıları

AutoForm simülasyon sonuçları, sacın operasyon(lar) sonrası durumunu inceleyebileceğimiz oldukça geniş post değerlerini kapsar. Kalınlık, % incelme, kırışma çıktıları olduğu gibi, kalıp elemanlarına gelen kuvvetleri (Punch, Die forces) almak, iz oluşma olasılığı ve bir hattın takibini yapmak mümkündür. Sacın durumunun değerlendirildiği en önemli veri Forming Limit Diyagramıdır.

Saç, formlama sırasında geometriye ve kalıp elemanlarının çalışma tarzına göre farklı yönlerde farklı miktarlarda uzar. Örneğin kalıba giren açınım olarak kesilmiş ilk saçta, çember olarak çizilen şekiller formlama sonrası elips şekiller olarak çıkacaktır. Bu elipslerin uzun ve kısa eksen doğrultuları her bir elips farklı yönleri gösterecektir.(geometri, anizotropi etkileri). Sacın yırtılma olamadan uzayabileceği limitler (% uzama) sabit bir değer olmayıp, farklı doğrultulardaki uzama durumuna (elipsin pozisyonu ve uzun/kısa eksen değerleri) bağlıdır. Kalınlık (Thickness) Dağılımı ve İncelme (Thinning) değerleri iki ayrı çıktı tipi olarak ayrı ayrı alınabilir. Thinning, %incelme değerleri olarak elde edilir, yani -0,25 değeri %25 incelmeyi ve pozitif değerler de kalınlaşmayı gösterir. Bu şekilde izin verilen incelme oranının aşılıp aşılmadığı görülür.

6.3. Kalıpta Kullanılan Sacın Özellikleri

Soğuk şekillendirmeye uygun derin çekilebilir kaliteler, otomotiv sektöründe, dayanıklı ev aletleri sektöründe, mutfak eşyaları, radyatör ve havalandırma ekipmanları imalatında, mukavemet, tokluk ve sünekliğin istendiği uygulamalarda kullanılmaktadır.

Yaşlanmaya dayanıklılık, üstün şekillenebilirlik ve iyi kaynaklanabilirlik özellikleri ile ön plana çıkan ekstra derin çekme işlemine uygun kaliteli saclar (IF) otomotiv ve beyaz eşya sektöründe özel beklentileri sağlamaya yönelik uygulamalarda kullanılmaktadır.

İyi şekillenebilirliğin yanında geliştirilmiş kaynaklanabilirliği kombine eden, düşük karbonlu ve mikro alaşımlandırma yöntemi ile üretilmiş yüksek mukavemetli-düşük alaşımlı çelik kaliteleri, otomotiv sektörü ve yan sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uygulama kalıbında, derin çekme işlemine uygun çok düşük karbonlu beyaz eşya üretimine yönelik soğuk haddelenmiş çelikler grubuna giren Erdemir 7116 kod numaralı sac kullanılmıştır. 7116 kaliteli sac, DIN EN 10130-99 (IF) Uluslararası normu ile gösterilmektedir. Ekstra derin çekme işlemlerinde kullanılan soğuk sac sınıflandırmasına giren çok kaliteli bir sac türüdür. (Erdemir ürün kataloğu,2007)

Sacın kimyasal bileşimleri ve mekanik özellileri aşağıdaki tablolarda mevcuttur.

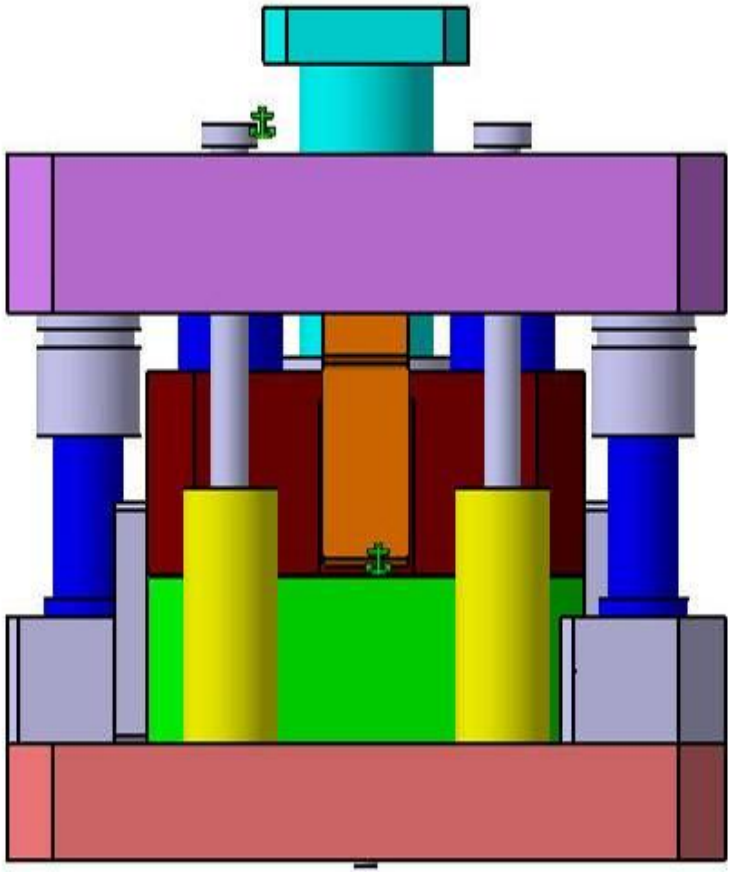
Tablo 6.1. Kimyasal bileşim

Kimyasal Sınırlar	C_{max}	P_{max}	S_{max}	Mn_{max}	Ti_{max}
Standart	0,02	0,02	0,02	0,25	0,3
Erdemir	0,04	0,012	0,009	0,2	0,1

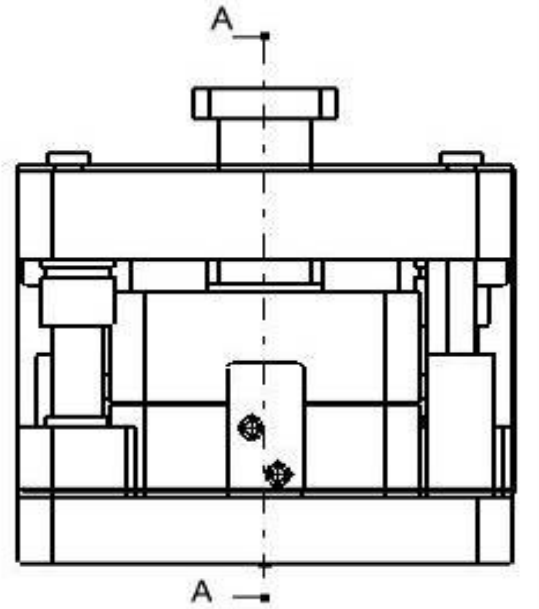
Tablo 6.2. Mekanik özellikler

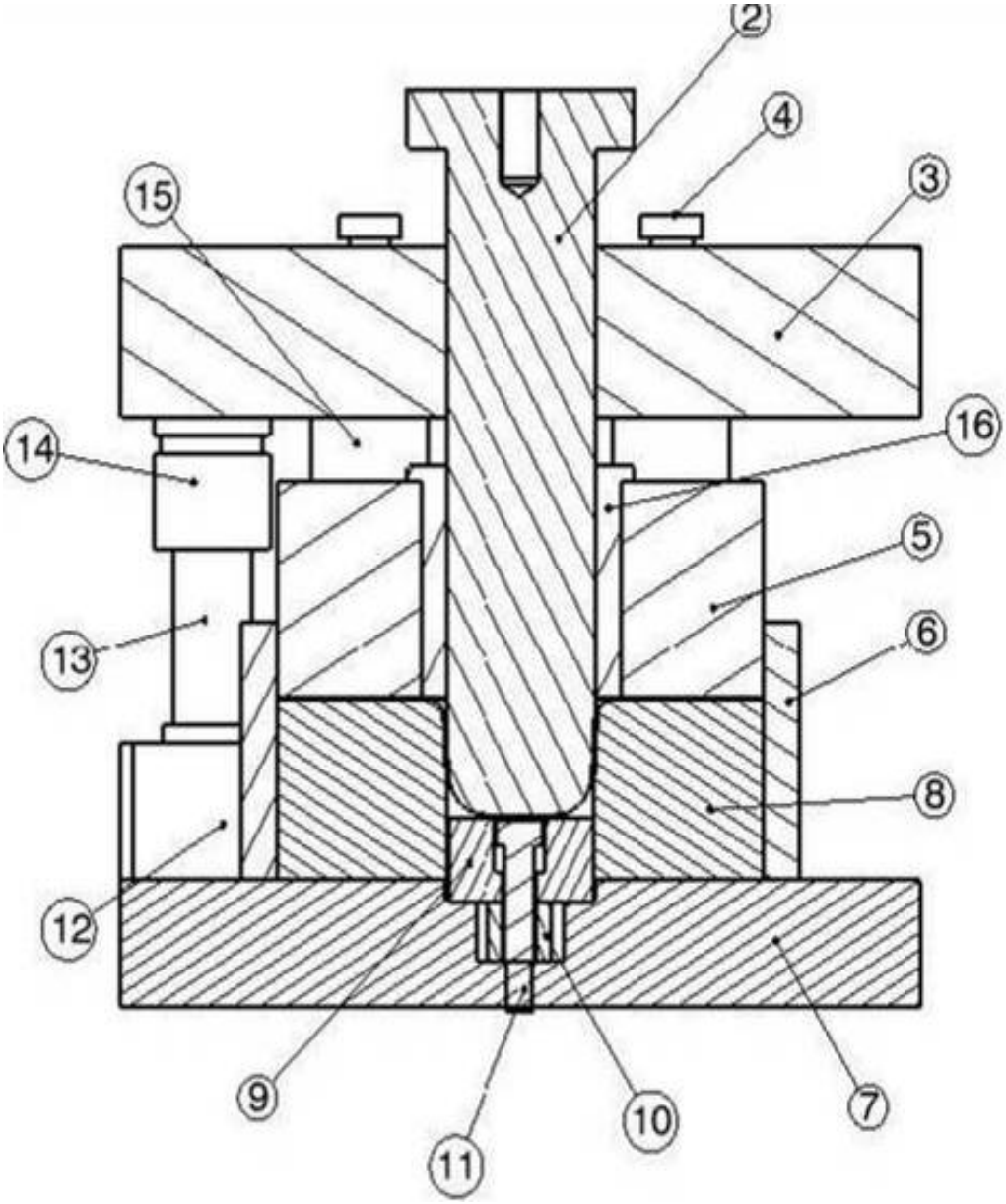
Standart karşılığı		Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Yüzde Kopma
Standart	Kalite	kg/mm²	kg/mm²	Uzaması
DIN EN 10130	DC06	16,4	29	44

6.4. Uygulama Kalıbının Tasarımı



Şekil 6.1. Uygulama kalıbı

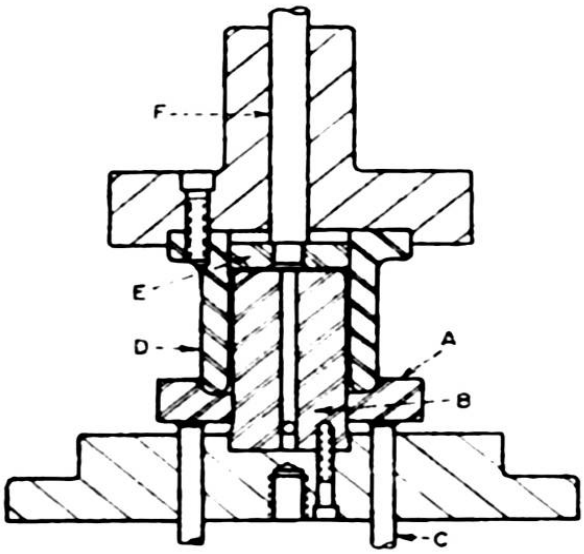




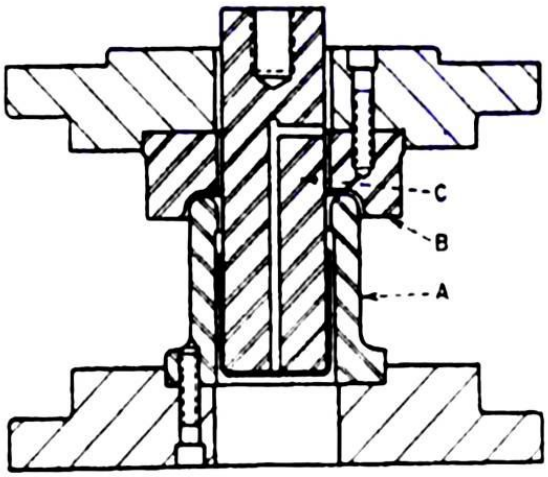
Şekil 6.2. Uygulama kalıbının A-A kesit görüntüsü

02: Erkek parça (Zımba)
03: Üst tabla
04: Yay ayar civatası
05: Pot çemberi
06: Dayama
07: Alt tabla
08: Dişi parça (Matris)
09: Çıkarıcı
10: Çıkarıcı yay
11: Yay ayar civatası
12: Kolon yükseltme
13: Kolon
14: Burç
15: Gazlı yay

Uygulama kalıbı tek etkili pres ile basılmıştır. Tek etkili preslerde düşey yönde sadece bir hareket vardır. Çift etkili preslerde ise iki ayrı hareketi vardır. Dışta hareket eden kısma dış koç tablası, içtekine de iç koç tablası adı verilir. Dış koç tablasına kalıbın sacı tutan kısmı yani pot çemberi bağlanır. Esas şekil verecek olan erkek parça ise iç koç tablasına bağlanır. Önce pot çemberi aşağıya iner ve sacı gergin bir şekilde tutar, daha sonra erkek parça aşağıya iner ve çekme işlemi yapar. Çift etkili preslerde, pot çemberi aşağıya inip saca temas ettiğinde, sacı belirli bir kuvvet ile sıkıştırır ve daha sonra işlemin sonuna kadar bu kuvvet sabit kalır. Tek etkili preslerde ise pot çemberi hareketi koç tablasına bağlı olduğundan çekme işleminin sonuna kadar kuvveti artarak değişir.



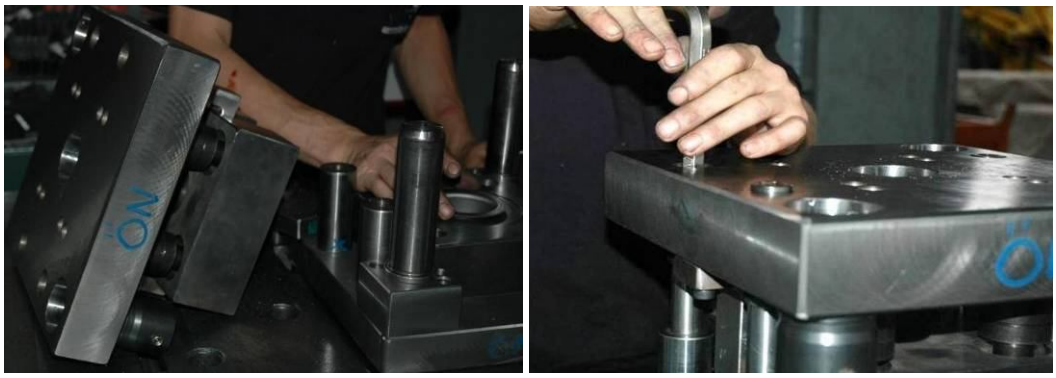
Şekil 6.3. Tek etkili preste derin çekme işlemi



Şekil 6.4. Çift etkili preste derin çekme işlemi

Bu tezin konusu aynı pot kuvvetinde farklı stroklarda parçalar elde etmek olduğundan çift etkili pres kullanılması gerekmektedir. Ancak çift etkili pres imkanı olmadığından kalıp tek etkili pres ile basılmış ve tek etkili preste çift etkili pres mantığı yaratılmıştır.

Uygulama kalıbında, sadece erkek parça presin koç tablasına bağlanmış olup, üst grup pres koçundan tamamen bağımsızdır. Pot çemberinin bağlı olduğu üst tabla, dişi parçanın bağlı olduğu ve prese bağlı olan alt tablaya civatalarla bağlanır.





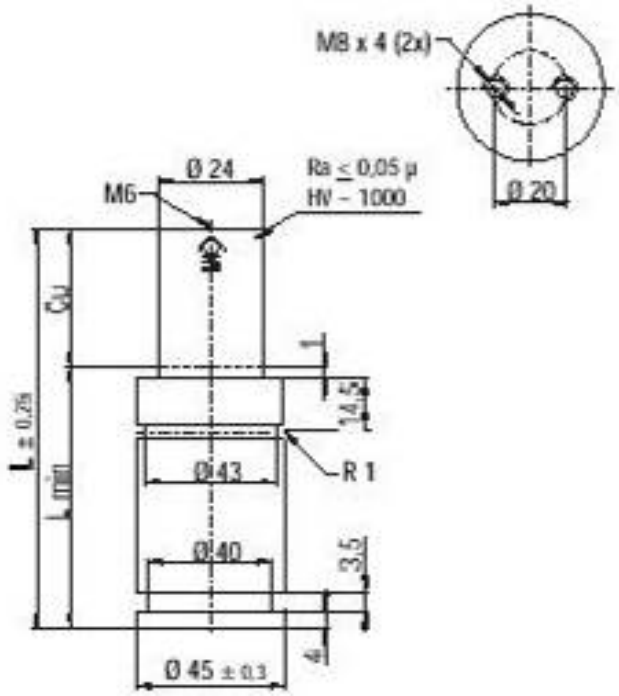
Şekil 6.5. Tek etkili preste, çift etkili pres uygulaması yaratılması işlemi

6.5 Gazlı Yaylar

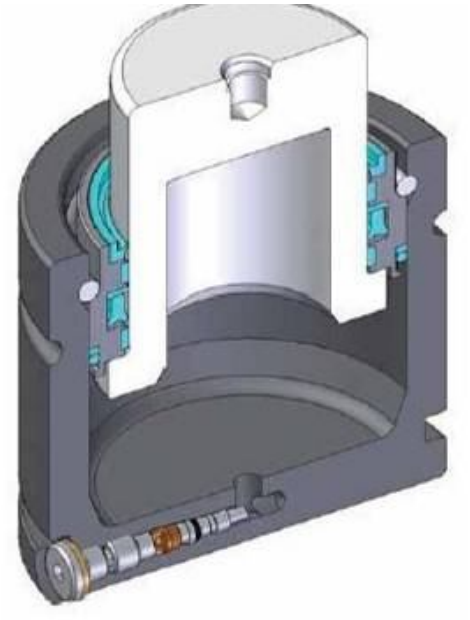
Uygulama kalıbında pot çemberinin sacı belirli strokta belirli kuvvetle sıkıştırabilmesi gazlı yaylar ile sağlanır.

Azot (nitrojen-N2) gazı, ~150 bar basınca erişinceye kadar silindir içine verilir. Gaz basıncı piston mili üzerinde etki yapar ve meydana çıkan kuvvet, piston milini başlangıç kuvvetine eşit oluncaya kadar dışarıya iter. (daN cinsinden ölçülen güç, azot gazının piston miline uyguladığı basınçtır.) Piston mili silindir içerisine itildiğinde haznede bulunan gazı sıkıştırarak ve hacmini azaltarak kuvveti artırır. Azot silindirler tıpkı sıradan mekanik yaylar gibi davranırlar, fakat buna karşılık ön yüklemeye gerek duymazlar. Silindirler, sızdırmaz olarak tasarlandıklarından, çalışma sırasında montajda doldurulan özel yağı muhafaza ederler. Hareketli kılavuzların özellikleri ve kullanılan contaların karakteristikleri nedeniyle silindirler haricen yağlanmaksızın her durumda çalışabilirler.

Uygulama kalıbında 3 farklı strok için deneme yapıldı. Gazlı yaylardan farklı stroklarda farklı kuvvetler elde edilir. Uygulama kalıbında HR700-63 kod numaralı gazlı yay kullanılmaktadır. Bu gazlı yayın özellikleri aşağıdaki resimlerde belirtilmiştir.



Şekil 6.6. Kullanılan gazlı yayın ölçüleri



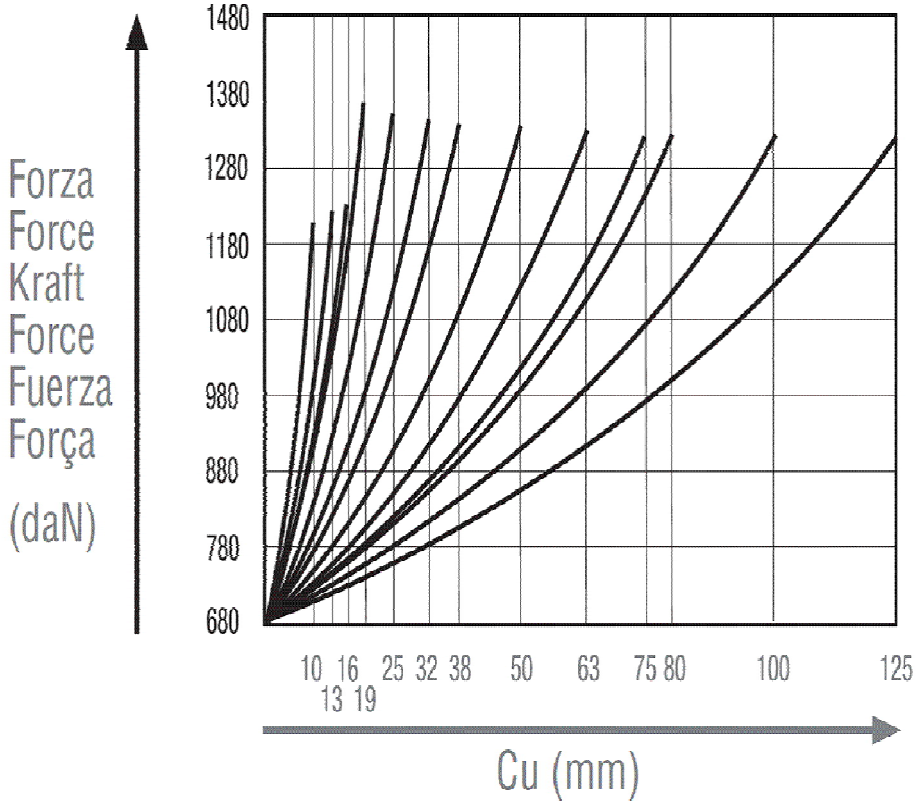
Şekil 6.7. Gazlı yay

Tablo 6.3. Değişik stroklardaki gazlı yayların teknik özellikleri.

Code	Cu mm	L mm	Lmin mm	Fo at 150 bar/+20 °C daN (±5%)	Vo cm^3		Kg
HR 700 - 010 - A	10	52	42	680	-	-	~0,39
HR 700 - 013 - A	13	58	45	680	-	-	~0,42
HR 700 - 016 - A	16	64	48	680	-	-	~0,45
HR 700 - 019 - A	19	70	51	680	-	-	~0,48
HR 700 - 025 - A	25	82	57	680	-	-	~0,53
HR 700 - 032 - A	32	96	64	680	-	-	~0,58
HR 700 - 038 - A	38	108	70	680	-	-	~0,62
HR 700 - 050 - A	50	132	82	680	-	-	~0,71
HR 700 - 063 - A	63	158	95	680	-	-	~0,81
HR 700 - 075 - A	75	182	107	680	-	-	~0,85
HR 700 - 080 - A	80	192	112	680	-	-	~0,93
HR 700 - 100 - A	100	232	132	680	-	-	~1,04
HR 700 - 125 - A	125	282	157	680	-	-	~1,28

Fo kısmında belirtilen, 150bar ve 20^0C şartlarındaki kuvvet değerleri gazlı yayın serbest haldeki, yani sıkışmaya başlamadan önce, başlangıç seviyesinde iken gazlı yaylardan elde edilebilecek kuvvetlerdir.(Special Siprings,2007)

Gazlı yaylar farklı stroklarda sıkışmaya başladıkça elde edilen kuvvet artar. Kalıpta kullanılan gazlı yayın stroğa bağlı olarak kuvvet değişimini gösteren grafik Şekil.6.8'de gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Gazlı yayın stroğa bağlı kuvvet değişimi

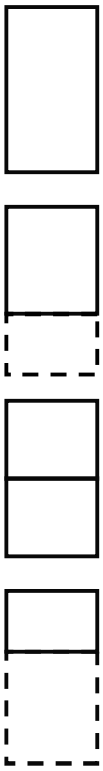
Kalıpta pot çemberinin gazlı yaylardan elde ettiği sacı sıkıştırma kuvvetini bulmak için Boyle-Mariotle kanununun 'kapalı kaplardaki gazların basıncı' ilkesinden yararlanılmıştır.

Bu ilkeye göre; basınç altında saklanan gazlar kullanılırken, depo edilen kaptan ihtiyaca göre kontrollü alınır. Kapalı kaplardaki gazların basıncı, gazın hacmini azaltarak ya da arttırarak değiştirilebilir. Gazlı yaylar hareketli pistonla kapatılmış hava dolu silindir şeklinde bir kap olarak düşünülebilir. Piston itildiğinde silindir içindeki silindir şeklindeki hava moleküllerinin sayısı değişmez; ama moleküller daha küçük bir hacme sıkıştırılır. Moleküller kabın iç yüzeylerine daha seyrek çarpar ve yaptıkları basınç azalır. Kapalı bir kap şeklindeki gazlı yayın basıncı ısıtılarak veya soğutularak değiştirilebilir.

P:V=n.R.T eşitliğine göre kapalı kaptaki gazların sıcaklıkları sabit tutulmak şartı ile her durum için hacimleri ile basınçlarının çarpımı eşittir.

$P_1.V_1= P_1.V_1= P_1.V_1=.....= P_1.V_1$

Kapalı kaptaki gazların sıcaklıkları sabit kalmak şartıyla hacimleriyle basınçları ters orantılıdır.



Gazlı yay ile uygulama kalıbında 3 farklı kuvvet elde etmede kullanılan değerler aşağıdaki gibidir:

Gazlı yay serbest halde iken, yani gazlı yayın piston ucu sıkışmamış durumda iken, gazın silindir içinde kapladığı hacim;

$V=\pi.r^2.h+\pi.r^2.h$

$V=\pi.17^2.73+\pi.7^2.75$

$V=77823\ mm^{3'}$ tür.

Kalıptaki gazlı yaylar 60 bar basınçta çalıştırılmıştır. Yani gazlı yaylar çalışmaya başlamadan önce 60bar basınca ve 77823 mm^3 hacme sahiptirler. Gazlı yaydan elde edilecek 3 farklı kuvvet değerleri için de, çalışmaya başlamadan önceki bu basınç ve hacim değerleri aynıdır.

1.durumda; 63mm strok verebilen gazlı yaylar, %20 emniyet payı da göz önünde bulundurularak 45mm strok ile çalıştırılmıştır. Yani gaz silindir içinde 45 mm sıkışmıştır. Gazın silindir içinde kapladığı hacim;

$V_1=\pi.r^2.h+\pi.r^2.h$

$V_1=\pi.17^2.28+\pi.7^2.75$

$V_1=36953\ mm^{3'}$tür.

Kapalı kaptaki gazların basıncı sıcaklıkları sabit kalmak şartıyla P.V ters orantılı olduğundan;

$P_0.V_0=P_1.V_1$

$60bar.77823mm^3=P.36953mm^3$

P=126bar olur.

$P=\frac{F}{A}$ eşitliğinden A(alan) aynı olduğundan P.F eşitliği ortaya çıkar.

Bu durumda $\frac{F_0}{P_0}=\frac{F_1}{P_1}=\frac{F_2}{P_2}$ olur.

Grafik2 gazlı yayın 150bar basınç altındaki çalışma şartlarına göre düzenlenmiştir. 150 bar basınç altında gazlı yayın sıkışmaya başlamadan önceki kuvveti garfik2'ye göre 680 kg'dır. Yine orantı sabitliğinden,

$$\frac{150}{680}=\frac{126}{F_1}$$

$F_{1=}571$ kg olur.

4 adet gazlı yayın 45mm sıkışma sonucunda pot çemberine vereceği kuvvet 4x571=2284 kg olur.

2.durumda; Aynı gazlı yaylar, 30mm strok ile çalıştırılmıştır. Yani gaz silindir içinde 30 mm sıkışmıştır. Gaz hacmi ilk duruma göre 15mm daha fazla yer kaplar. Gazın silindir içinde kapladığı hacim;

$V_1=\pi.r^2.h+\pi.r^2.h$

$V_1=\pi.17^2.43+\pi.7^2.75$

$V_1=50565\ mm^{3'}$tür.

Kapalı kaptaki gazların basıncı sıcaklıkları sabit kalmak şartıyla P.V ters orantılı olduğundan;

$P_0.V_0=P_1.V_1$

$60bar.77823mm^3=P.50565mm^3$

P=92 bar olur.

$\frac{F_0}{P_0}=\frac{F_1}{P_1}=\frac{F_2}{P_2}$ eşitliğinden

$\frac{150}{680}=\frac{92}{F_1}$

F_1=417 kg olur.

4 adet gazlı yayın 30mm sıkışma sonucunda pot çemberine vereceği kuvvet 4x417=1668 kg olur.

3.durumda; Aynı gazlı yaylar, 10mm strok ile çalıştırılmıştır. Yani gaz silindir içinde 30 mm sıkışmıştır. Gaz hacmi ilk duruma göre 35mm daha fazla yer kaplar. Gazın silindir içinde kapladığı hacim;

$V_1=\pi.r^2.h+\pi.r^2.h$

$V_1=\pi.17^2.63+\pi.7^2.75$

$V_1=68715\ mm^{3'}$tür.

Kapalı kaptaki gazların basıncı sıcaklıkları sabit kalmak şartıyla P.V ters orantılı olduğundan;

$P_0.V_0=P_1.V_1$

$60bar.77823mm^3=P.68715mm^3$

P=68 bar olur.

$\frac{F_0}{P_0}=\frac{F_1}{P_1}=\frac{F_2}{P_2}$ eşitliğinden

$\frac{150}{680}=\frac{68}{F_1}$

F_1= 308kg olur.

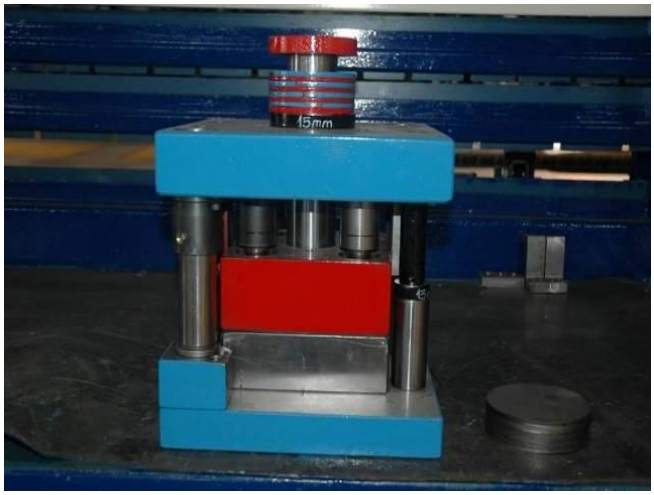
4 adet gazlı yayın 10mm sıkışma sonucunda pot çemberine vereceği kuvvet 4x308=1232 kg olur.

6.6. Uygulama Kalıbı

Uygulama kalıbı aşağıda fotoğrafı gösterilen 125Ton'luk hidrolik pres ile basılmıştır.



Şekil 6.9. 125 Ton HP

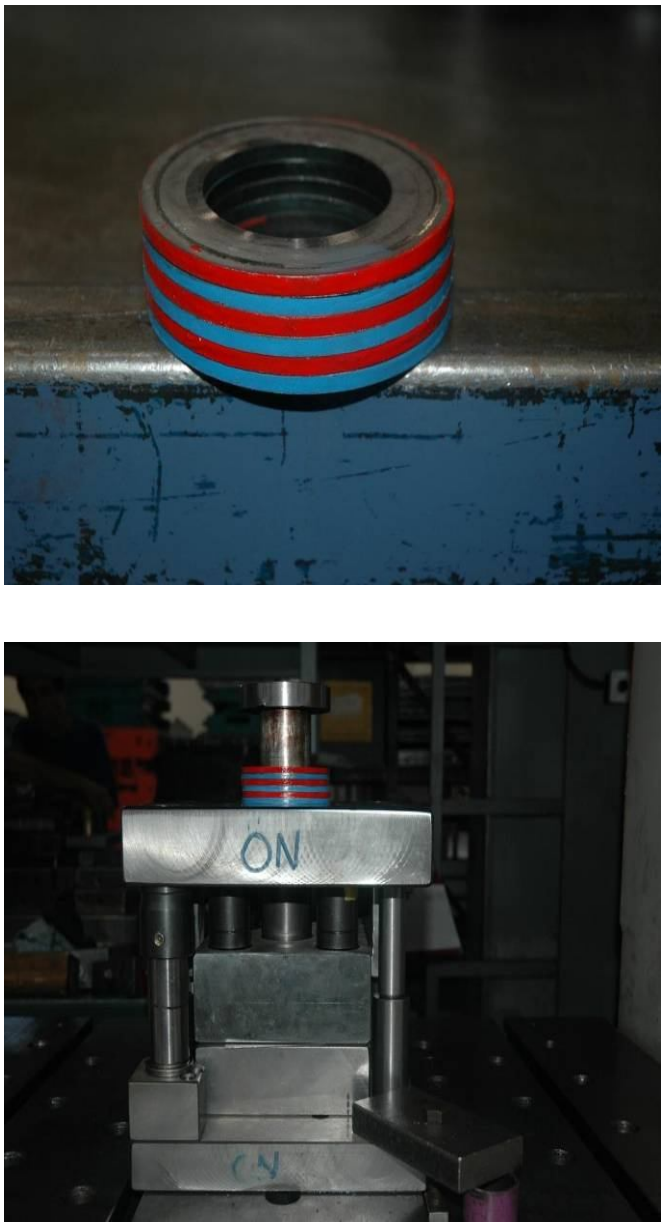


Şekil 6.10. Uygulama kalıbı

Daha az bir çekme kuvveti gerekli olmasına rağmen, mevcut olarak en küçük tonajdaki pres bu olduğundan 125 ton HP pres kullanılmıştır. Uygulamada kalıpta şekillendirme için gereken kuvvet daha az bile olsa, bazı durumlarda kalıp ebadının büyük olmasından dolayı da daha büyük tablaya sahip, dolayısı ile de daha büyük

tonajlı bir pres kullanılabilir.

Uygulama kalıbının basıldığı preste otomatik bir strok ayarlama ünitesi bulunmadığından, kalıp ile 5,10,15,20,25,30,35 ve 40mm'lik farklı derinliklerde parça basılabilmesi için aşağıda fotoğrafı gösterilen 5mm kalınlığında, 7 adet mesafe pulu kullanılmıştır.



Şekil 6.11. Uygulama kalıbında kullanılan mesafe pulları

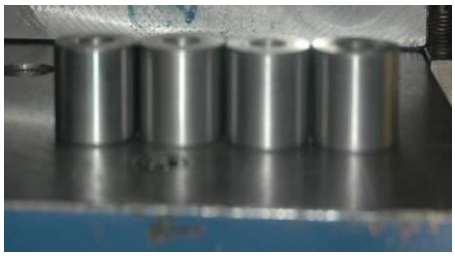
Kalıpta kullanılan 15mm'lik stoperlerin fotoğrafı aşağıdadır. Bu stoperler ile gazlı yay stroğu değiştirilmiş ve 1600 kg pot kuvveti elde edilmiştir.

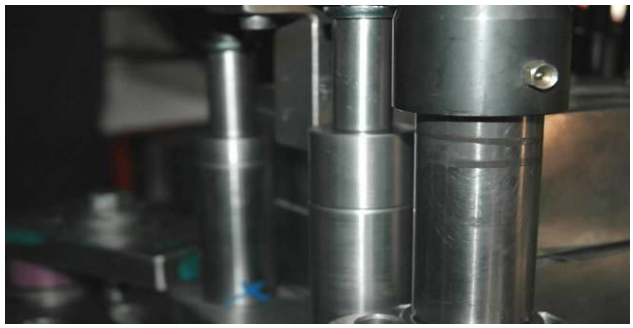




Şekil 6.12. 15mm'lik stoperler

Kalıpta kullanılan 35mm'lik stoperlerin fotoğrafı ise aşağıdadır. Bu stoperler ile gazlı yay stroğu değiştirilmiş ve 1300 kg pot kuvveti elde edilmiştir.





Şekil 6.13. 35 mm'lik stoperler

2284 kg'lık kuvvet eldesi için ise gazlı yay 45mm strokta çalıştırılmıştır. Kalıp tasarımında gazlı yayların yuvaları 45mm stroğa dolayısı ile max. kuvvet eldesine göre yapıldığından stoper kullanılmamıştır.

Kalıpta gazlı yay yuvası gazlı yayın 45mm strokta çalışırken ki durumuna göre açıldığından, gazlı yayın stroğu değiştiğinde pot çemberi ile dişiyi parçayı sıkan civataların altına, aynı mesafeyi koruyabilmesi için, stroğun değiştiği miktarda stoperler konulmuştur. Örneğin gazlı yayın stroğu 45 mm'den 30 mm'ye düştüğünde gazlı yay 15 mm daha az sıkışmış ki bu da gazlı yayın sağlayacağı kuvvetin 1668 kg'a karşılık gelmesi demektir. Bu durumda yay ayar civatalarını üst tablada aynı yuvaya oturtulduğunda diş boyu aşağıda 15mm daha az olacaktır. O nedenle yay ayar cıvatasının aşağıda oturduğu yuvaya da, ara mesafeyi koruması için 15mm kalınlığında pul konulmuştur.

Kalıbın çalışması sırasında önce 1232 kg'lık kuvveti elde etmek için gazlı yayları 10mm strokta çalıştırılmıştır. Yani 45mm strok verebilen gazlı yay 10mm strokta çalışacak, bu durumda 35 mm'lik kısmı boşta kalacaktır.

Kalıp tasarımı en yüksek kuvvet olan 2284 kg'ı elde edecek şekilde tasarlandığından yay ayar civatalarının altına 35mm pul konulacaktır. Dişi ve pot çemberi civatalarla birbirine sıkıldığından, presin farklı stroklardaki hareketlerinin pot çemberi hareketine bir etkisi olmayacaktır. Böylece gazlı yaylardan 1232 kg'lık kuvvet elde edilecek ve presten gelen hareketle erkeğin 5-40mm arasındaki stroklarında parça basılacaktır.

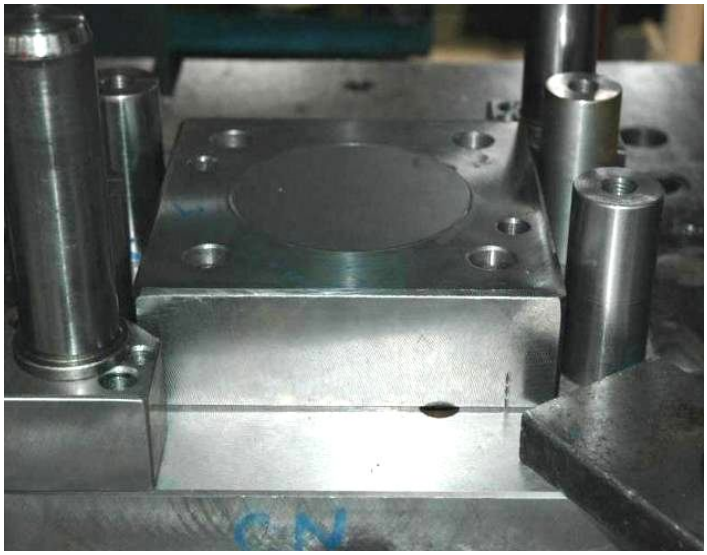
Aynı şekilde, aynı gazlı yaylar kullanılarak bu kez de 1668 kg'lık kuvvetin eldesi için yay ayar civatalarının altına 15 mm stoper konulacak ve aynı şekilde dişi ve pot çemberi birbirine civatayla bağlanacaktır. Bu durumda gazlı yay 30mm strok ile çalışmaktadır.

6.7. Uygulama Kalıbın Kullanımı

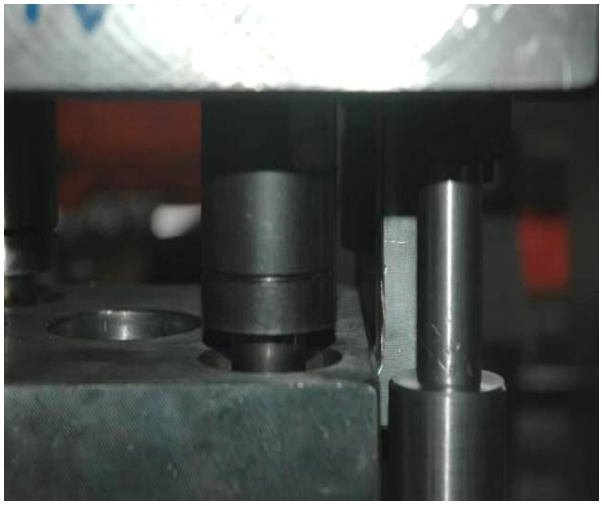
Kalıbın pres altında kullanımı, montaj ve demontajı ve kullanımı aşağıda fotoğraflarla gösterilmiştir. 2 Ton pot kuvveti ve 40mm derinlikli parça elde ettiğimiz durum örnek olarak anlatılmıştır.



Şekil 6.14. Kalıp içerisine 115mm çapında açınımlar konulmuştur. (Açınımlar 115mm çaplı olarak lazer tezgahında kesilmiştir.)



Şekil 6.15. Prese bağlı konumda olan dişi parçanın üzerine açınım sacı konulmuştur.



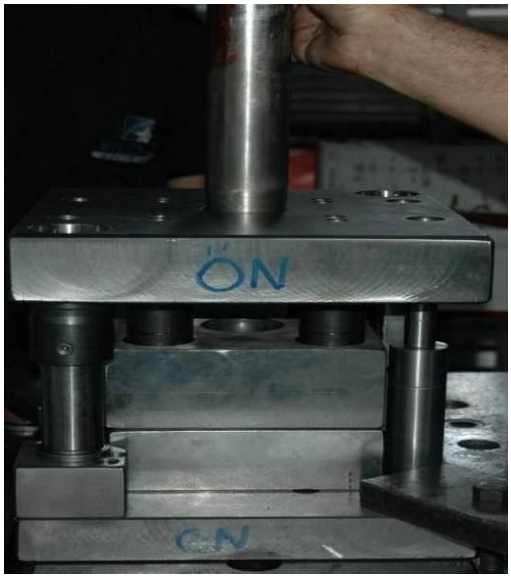
Şekil6.16.Civatalar henüz sıkılmadığından, gazlı yaylar henüz sıkışmaya başlamamıştır.



Şekil 6.17. Pot çemberinin bağlı olduğu üst grup, preste bağlı olan dişi parçanın da bağlı olduğu alt gruba, civatalarla birleştirilmiştir.



Şekil 6.18 Civatalar sıkıldıktan sonra gazlı yaylar sıkışmış durumdadır.



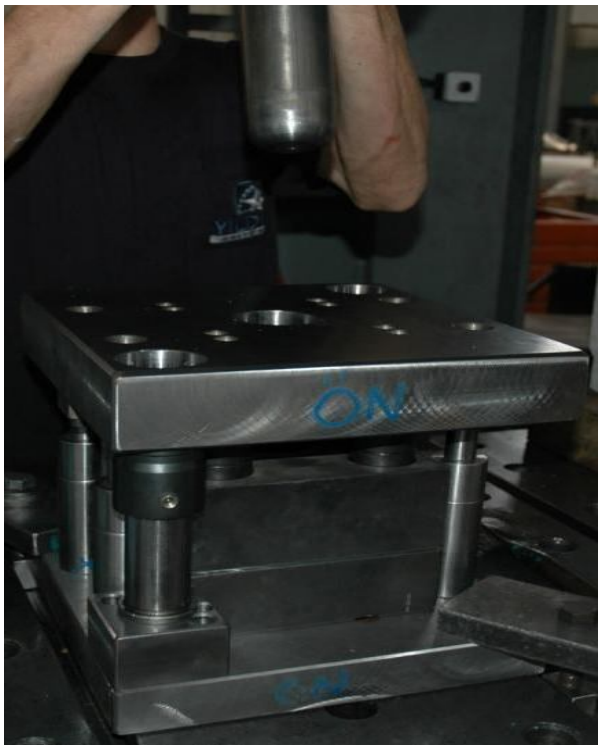
Şekil 6.19. Erkek parça, pot çemberi ve dişi parçadan geçirilmiştir. (Tasarım 40 mm derinlikte parçaya göre yapıldığından, erkek parça ile üst tabla arasında mesafe pulu kullanmaya gerek yoktur.)



Şekil 6.20. Pres koç tablasının hareket etmeye başlaması.



Şekil 6.21. Erkek parça presten aldığı hareket ile, pot çemberi ve dişi parça arasına sıkıştırılmış sacı, dişi parçanın içine çekerek şekillendirmektedir.



Şekil 6.22. Parça basıldıktan sonra pres yukarı yönde hareket etmesi sonucunda, koç tablası yukarı kalkmakta ve erkek parça kalıptan çıkarılmaktadır.




Şekil 6.23. Civatalar sökülüp, üst grup alt gruptan ayrılmaktadır.




Şekil 6.24. İşlem sonucunda çıkan parça

BÖLÜM -7-

DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde uygulama kalıbından çıkan parçada meydana gelen incelmeler ile 'Autoform' programında yapılan simülasyon sonucunda parçada meydana gelmesi muhtemel incelmelerin karşılaştırılması verilmiştir.

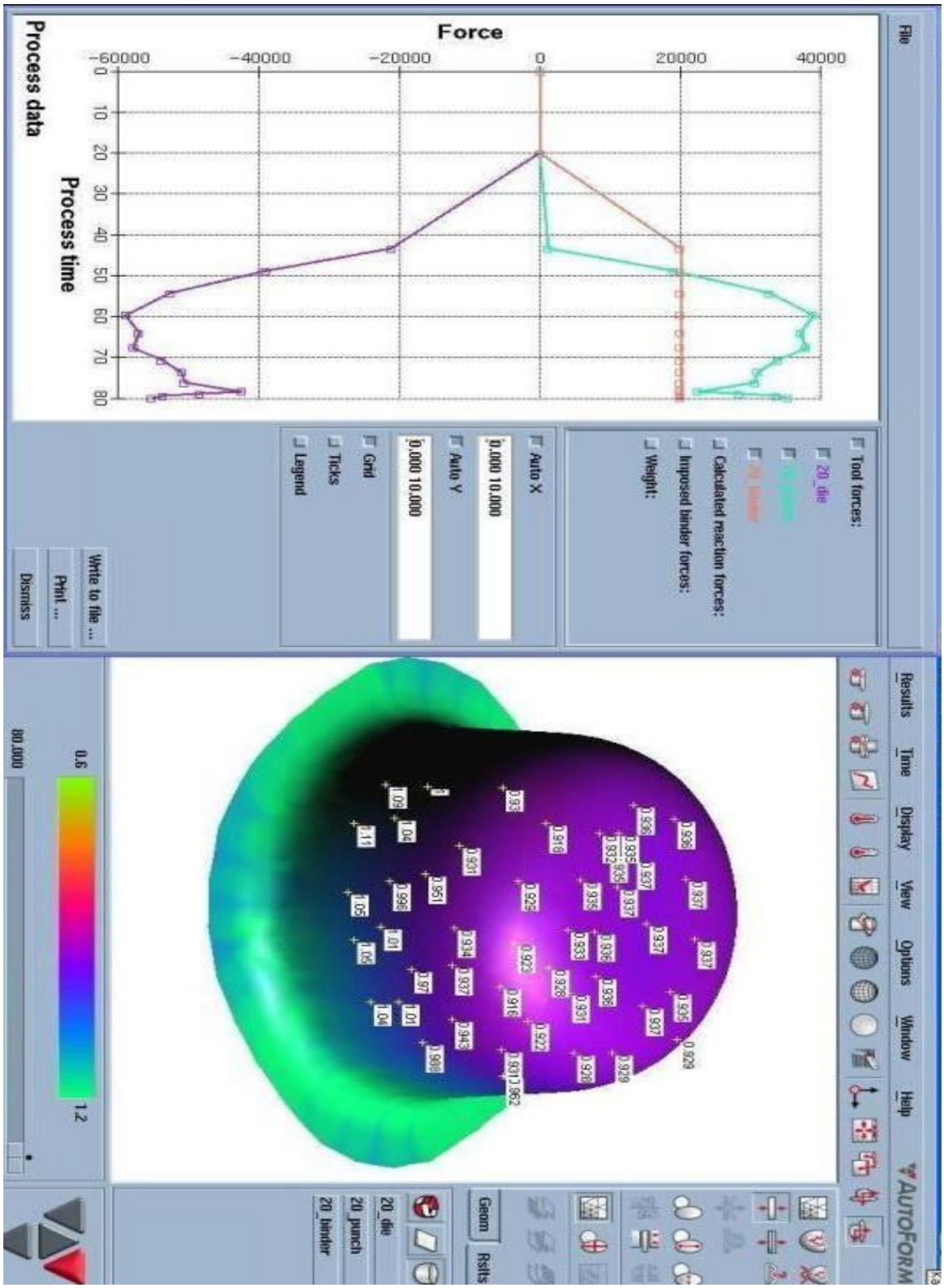
Simülasyon programı çalıştırılırken, akma Eğrisi ve FLD Saç Formlama Simülasyonunda Input olarak, parça ve/veya kalıp geometrisi, kalıbın elemanlarının (erkek, dişi, pot, kam1,2...) tanımı, pozisyon ve strokları, saç ve kalıp arasındaki sürtünme katsayısı, sonlu elemanlara özgü karakteristikler (eleman tipi, büyüklüğü, zaman adımları...) ile açınım ölçüsü/konturu ve saç malzeme karakteristikleri verilmiştir. Malzeme tanımı içerisinde elastisite modülü, poisson oranı, özgül ağırlık, anizotropi katsayıları yanında en önemlisi, malzemenin plastik alandaki davranışını gösteren akma eğrisi veya denklemi (yaklaşım) bulunmaktadır.

Bölüm 5'te anlatıldığı üzere, gazlı yaylar ile 1.durumda; 2284 kg ≅ 2,3 ton pot baskı kuvveti, 2.durumda 1668kg≅1.7 ton pot baskı kuvveti ve 3.durumda elde edilen 1232 kg≅1,25 ton pot baskı kuvvetine karşılık, autuform simülasyon programında bu değerlerin girilmesi sonucu elde edilen, parçada oluşması muhtemel incelmeler aşağıdaki gibidir. Parçanın hangi kuvvete yırtılacağının bulunması amacıyla da farklı kuvvetler denenmiş ve yırtılmanın başladığı en küçük kuvvet 20 ton olarak belirlenmiştir.20Ton'luk pot kuvveti eldesi için, o kuvveti verebilecek gazlı yayların çaplarının veya sayısının daha fazla olması gerekmektedir. Mevcut kalıptaki pot çemberi ve dişi parçanın yüzey alanları, bu gazlı yayları üzerlerinde taşıyabilmeleri için yetersiz geleceğinden bu deneme pratikte yapılamamıştır.

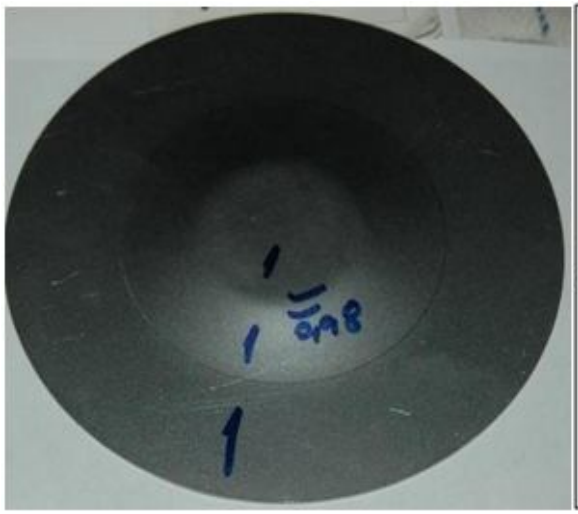
Simülasyonlarda erkeğin presin koçu ile birlikte hareket etmeye başlamasından, sacı dişinin içine son stroğa kadar çekmesi için geçen toplam süre 80 sn olarak belirlenmiştir. Simülasyon 40mm derinlikli parçanın çekilmesine göre yapılmıştır.

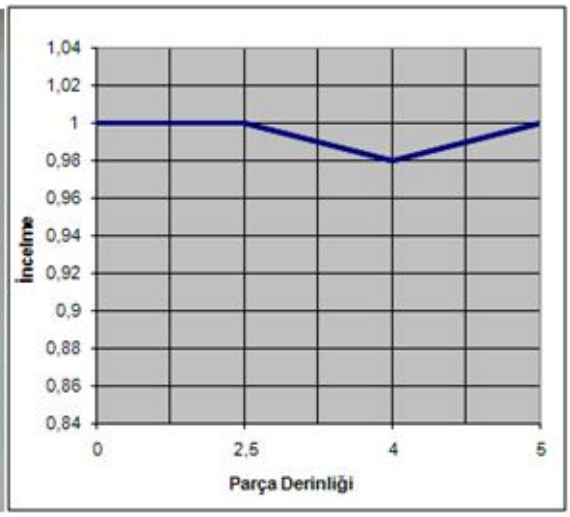
7.1. Pot Kuvveti 2,3 Ton İken Simülasyon-Çekme Parçası Kıyaslaması

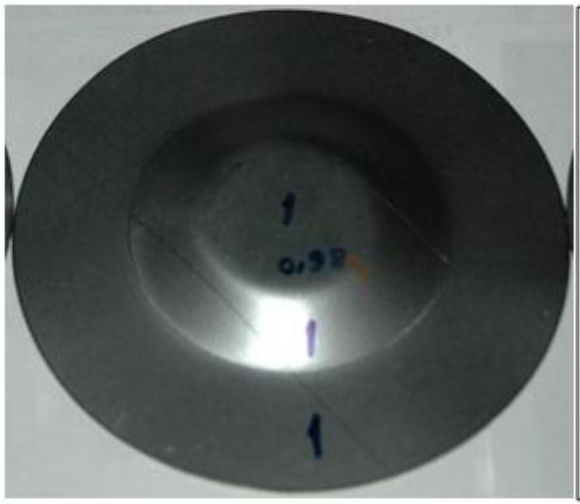
Gazlı yaylar ile 2,3 ton olarak sağlanan pot kuvveti tanımlandığında, çıkan simülasyon sonucu aşağıdadır. Çekme kuvvet yaklaşık 40000N=4ton olarak bulunmuştur.

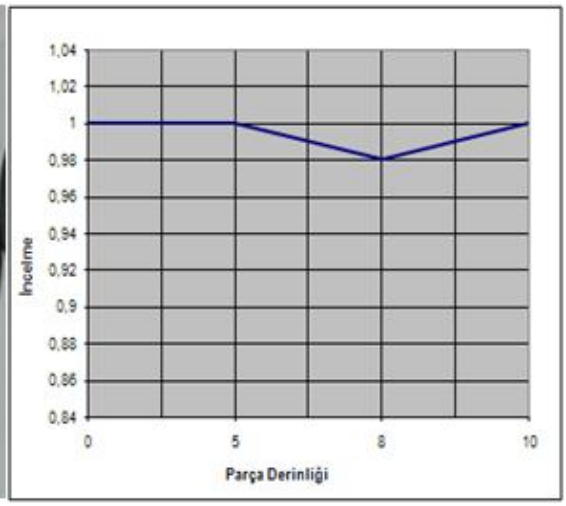


* 2,3 ton'luk pot baskı kuvveti sonucunda preste basılan parçaların incelme değerleri ise aşağıda gösterilmektedir.

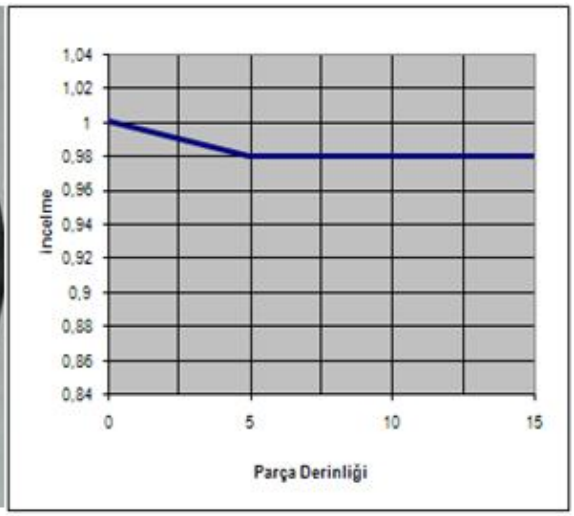




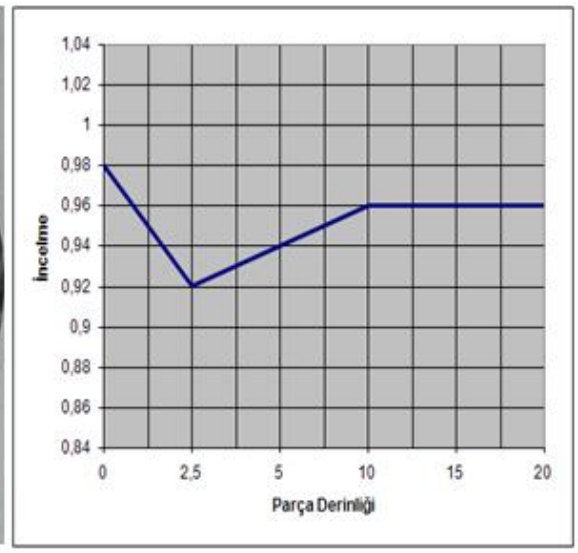




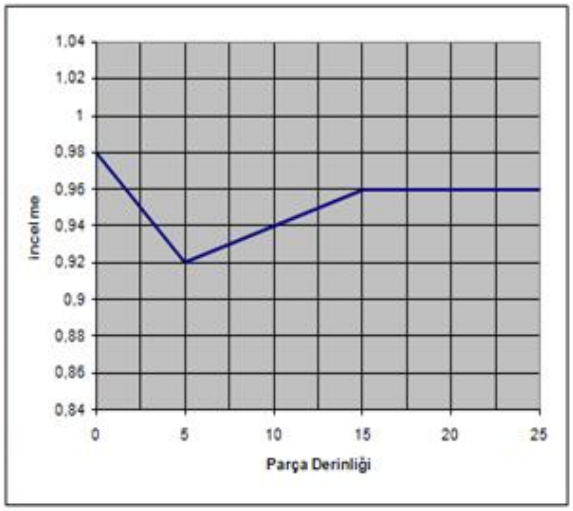




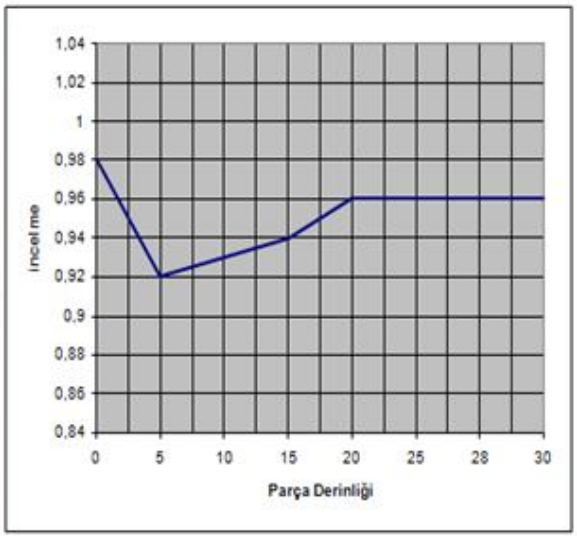

0,96
0,98
0,94-0,92
0,98


İncelme
Parça Derinliği
1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
0
2,5
5
10
15
20

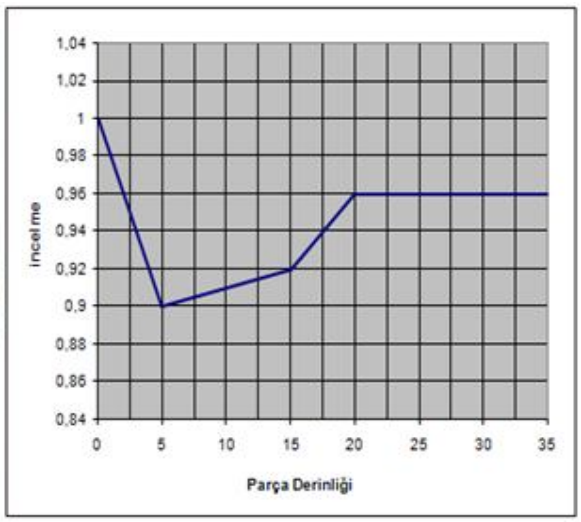

0,96
0,98
0,94-0,92
0,98
25


İncelme
Parça Derinliği
1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
0
5
10
15
20
25

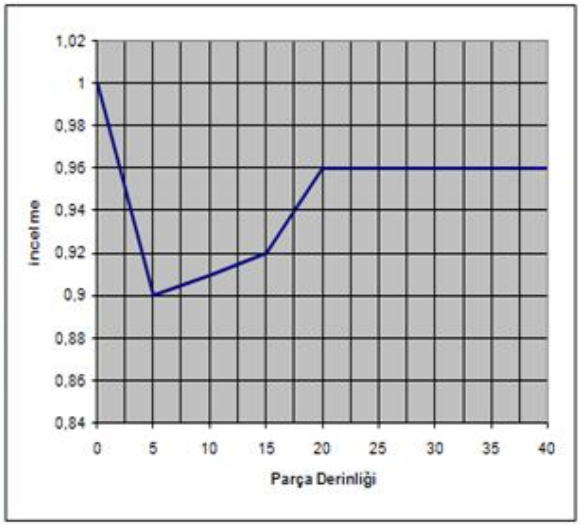

0,96
0,98


İncelme
Parça Derinliği
1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
0
5
10
15
20
25
28
30


0,96
0,92-0,90

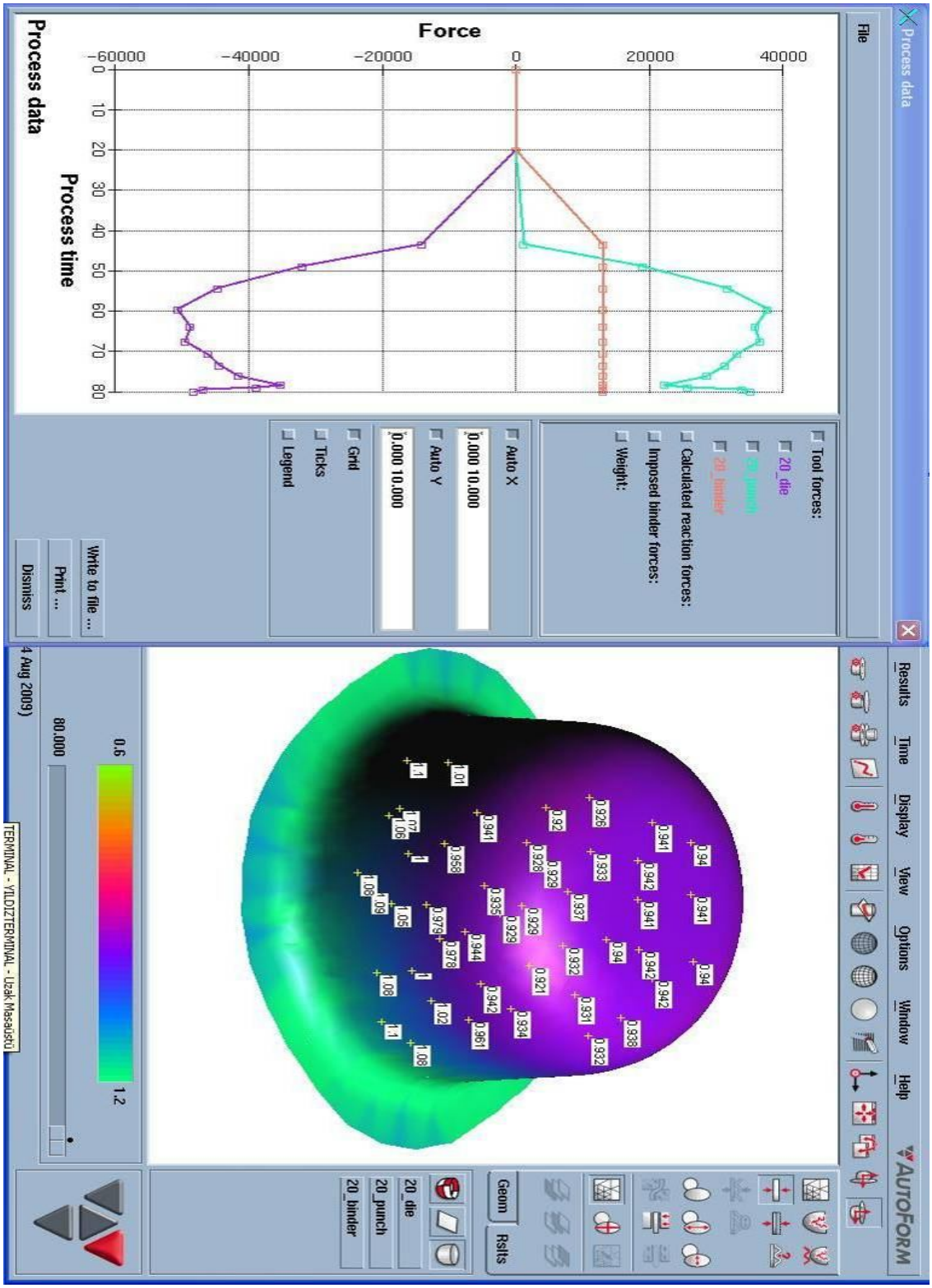

1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
incelme
0
5
10
15
20
25
30
35
Parça Derinliği


0,96
0,92-0,90

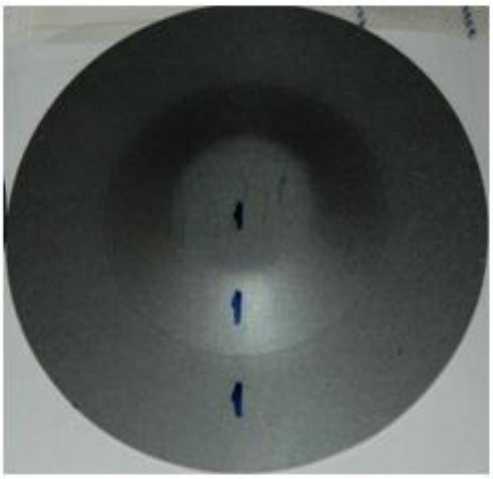

1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
incelme
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Parça Derinliği

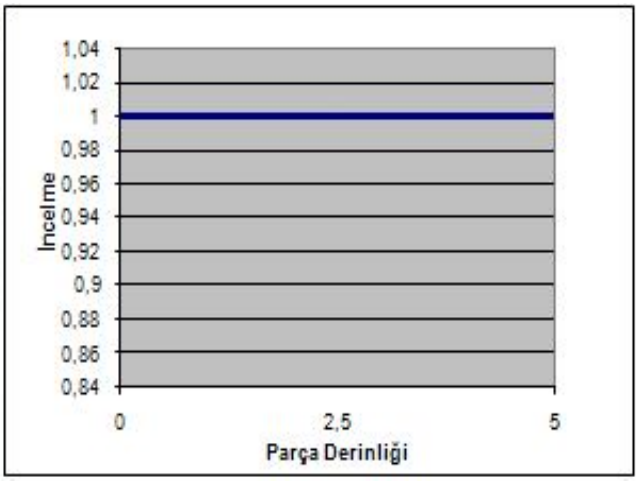
7.2. Pot Kuvveti 1,7 Ton İken Simülasyon-Çekme Parçası Kıyaslaması

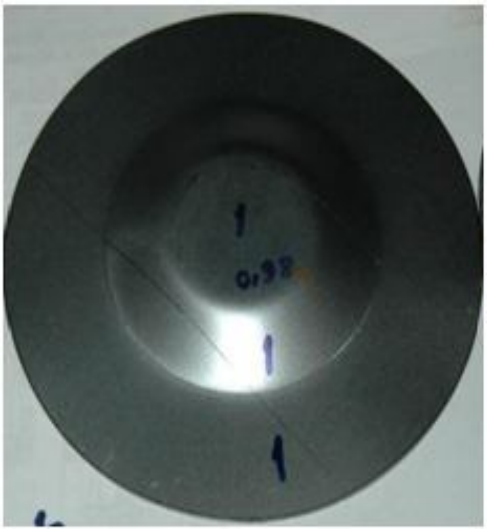
Gazlı yaylar ile 1,7 ton olarak sağlanan pot kuvveti tanımlandığında, çıkan simülasyon sonucu aşağıdadır. Çekme kuvvet yaklaşık 40000N=4ton olarak bulunmuştur.

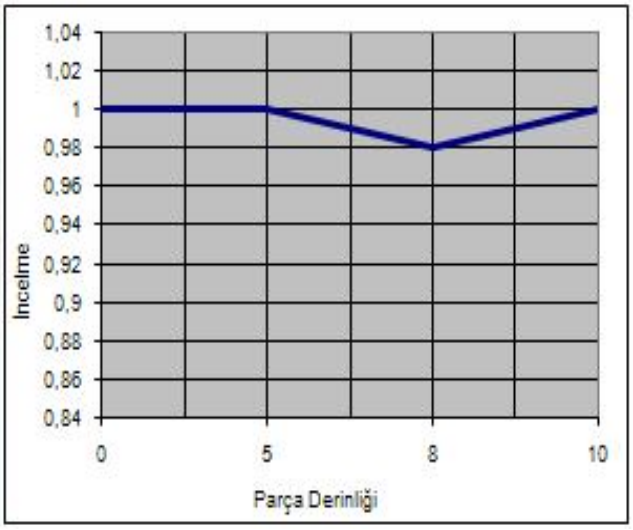


* 1,7 ton'luk pot baskı kuvveti sonucunda preste basılan parçaların incelme değerleri aşağıda gösterilmektedir.

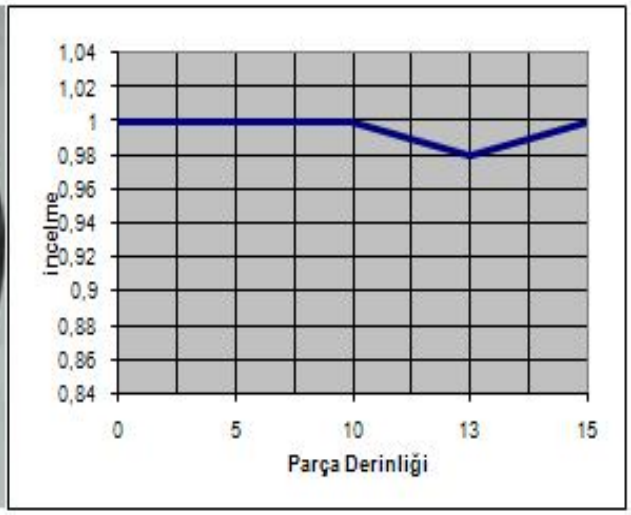




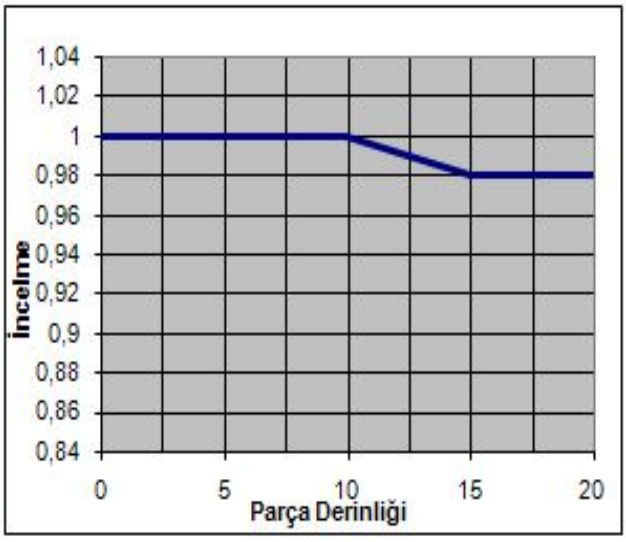




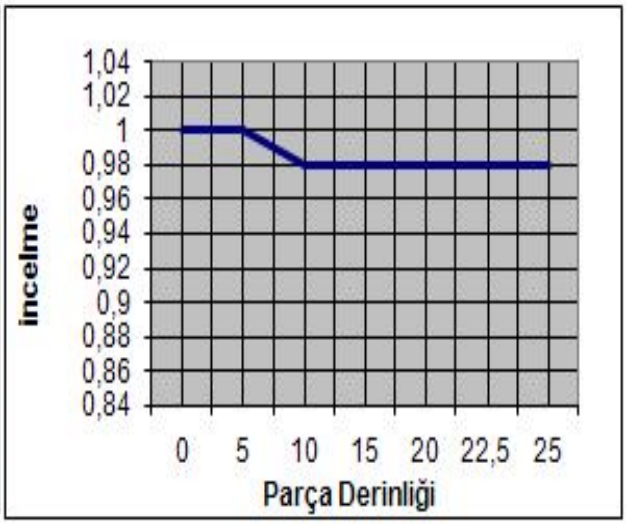




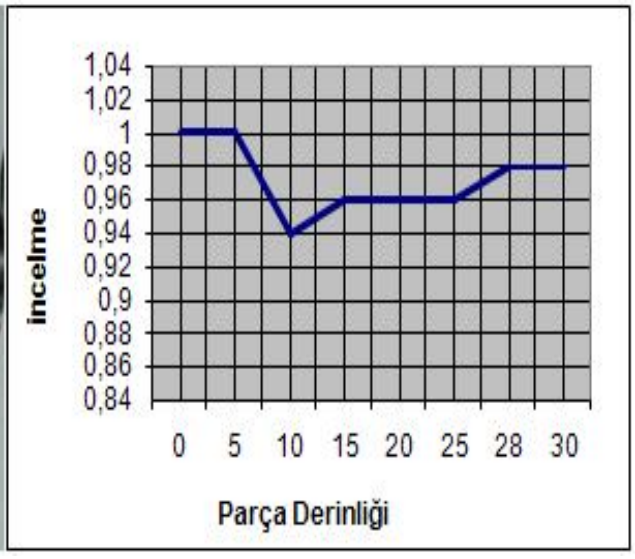



1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
İncelme
0
5
10
15
20
Parça Derinliği

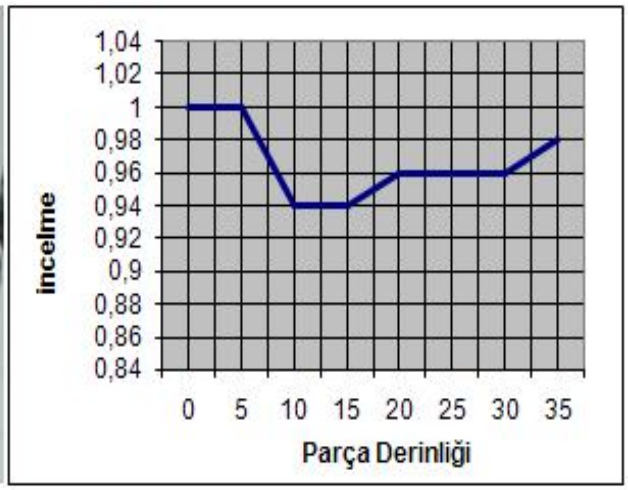



1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
İncelme
0
5
10
15
20
22,5
25
Parça Derinliği

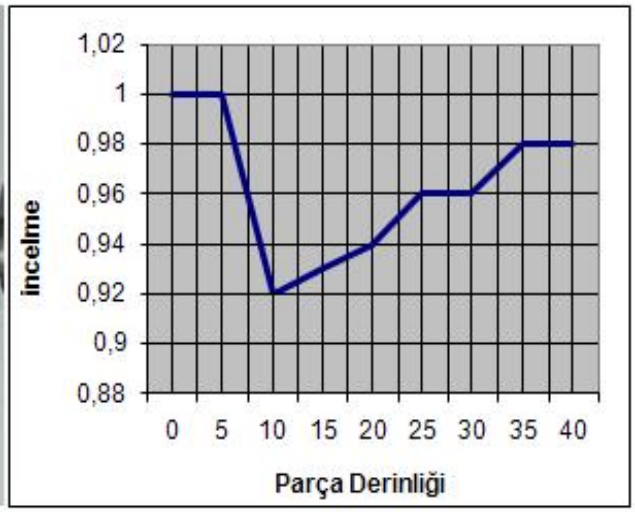



1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
İncelme
0
5
10
15
20
25
28
30
Parça Derinliği


0,98
0,96
0,94

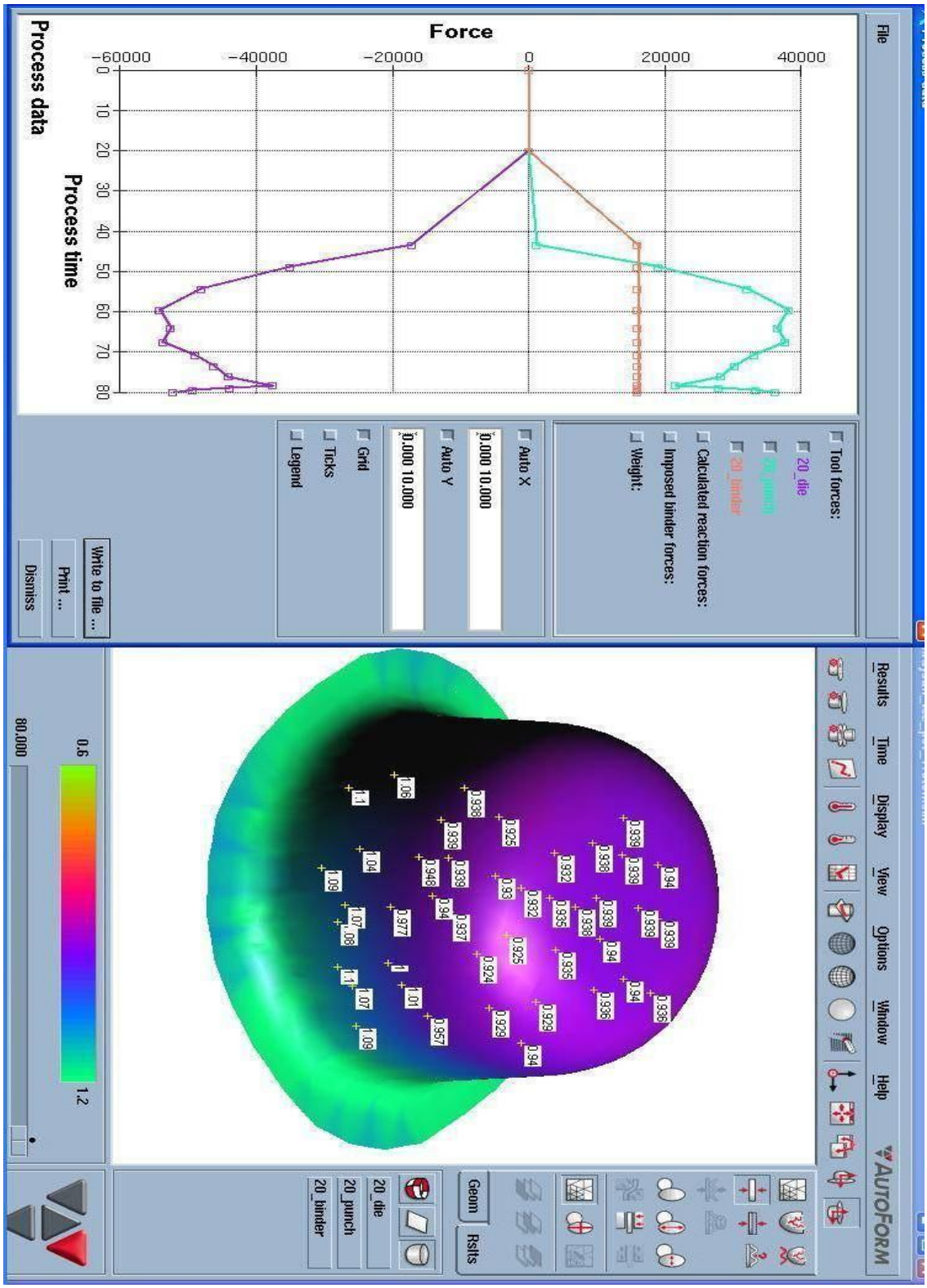

1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
incelme
0 5 10 15 20 25 30 35
Parça Derinliği


0,98
0,96
0,92-0,94

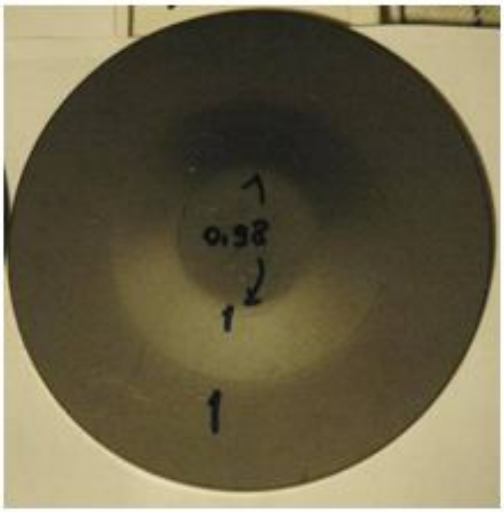

1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
incelme
0 5 10 15 20 25 30 35 40
Parça Derinliği

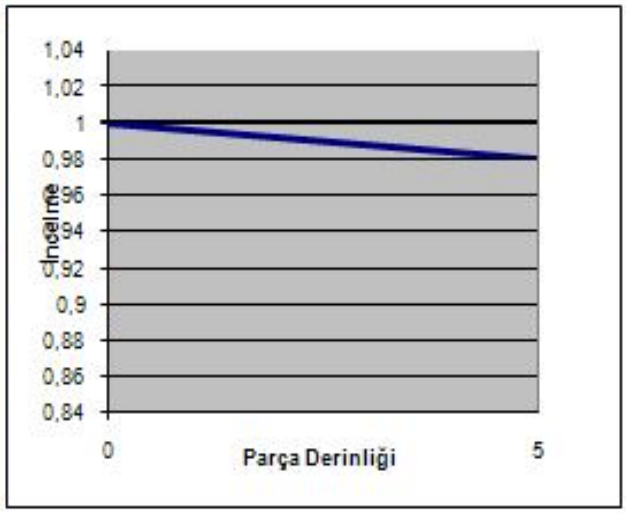
7.3. Pot Kuvveti 1,25 Ton İken Simülasyon-Çekme Parçası Kıyaslaması

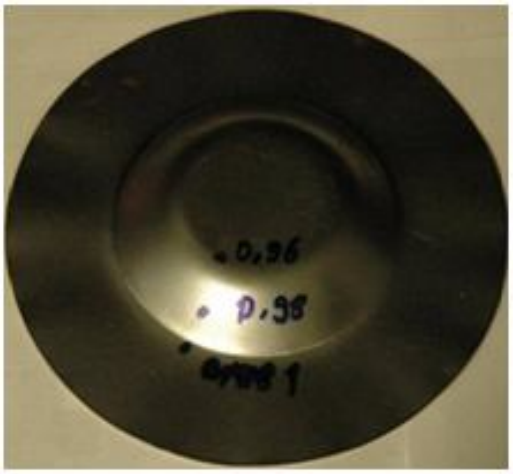
Gazlı yaylar ile 1,25 ton olarak sağlanan pot kuvveti tanımlandığında, çıkan simülasyon sonucu aşağıdadır. Çekme kuvvet yaklaşık 40000N=4ton olarak bulunmuştur.

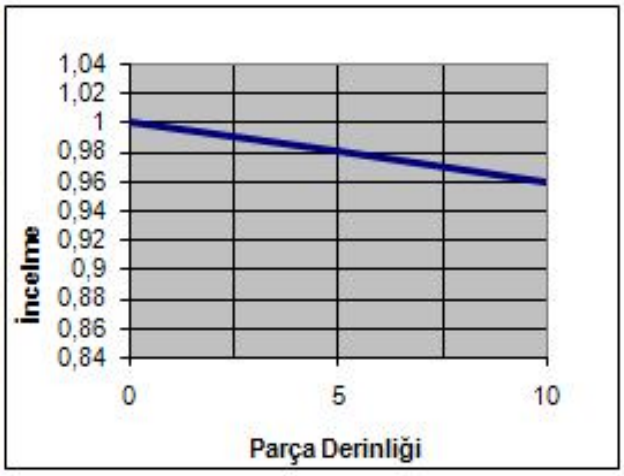


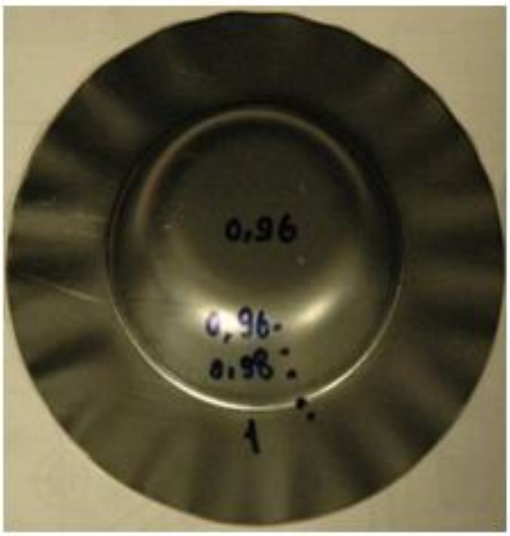
* 1,25 ton'luk pot baskı kuvveti sonucunda preste basılan parçaların incelme değerleri aşağıda gösterilmektedir.

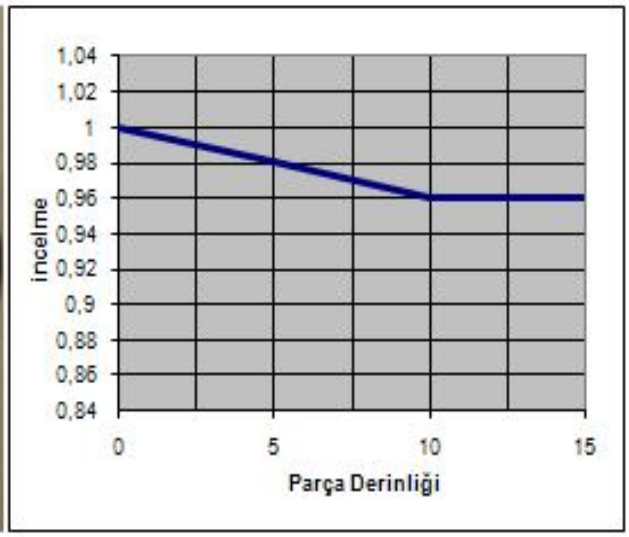


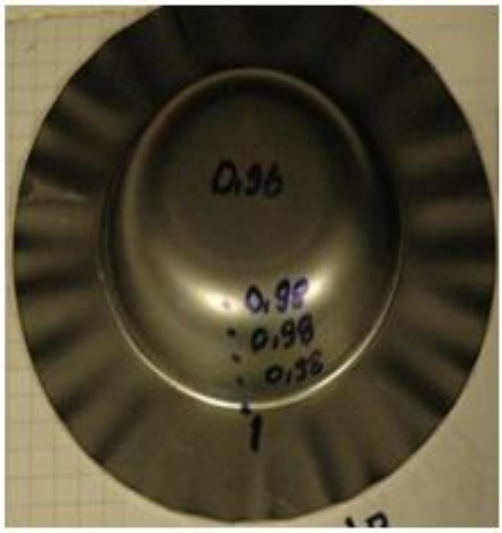


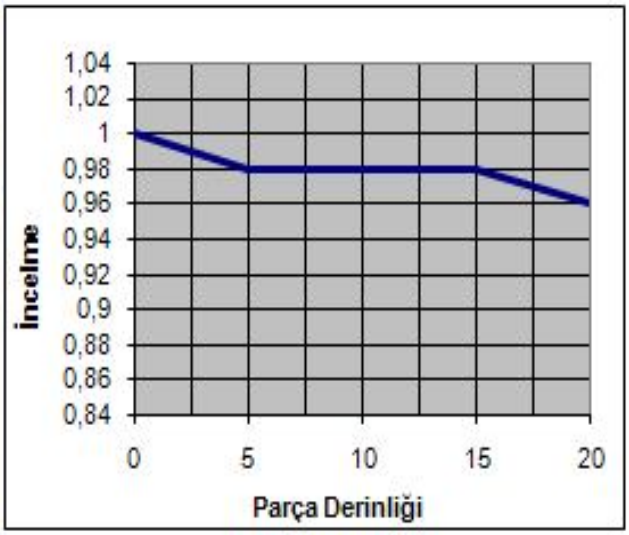




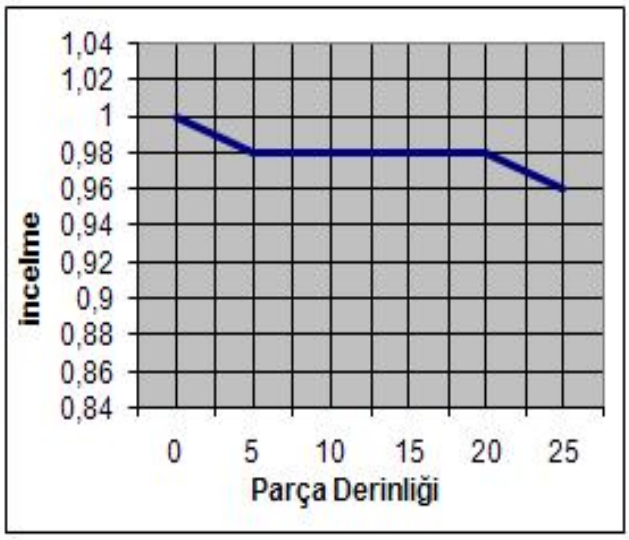




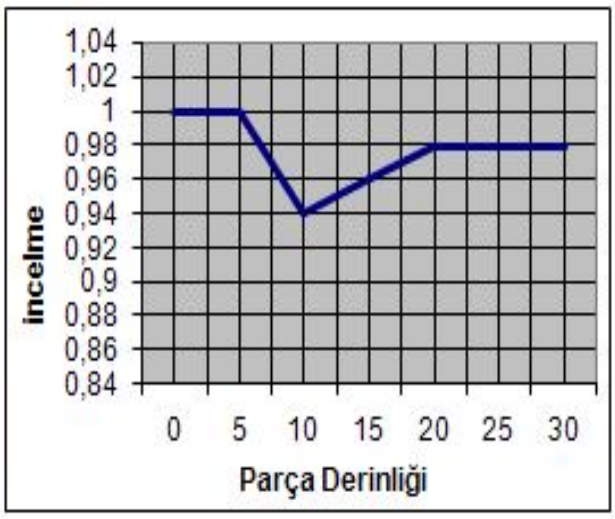



1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
İncelme
0
5
10
15
20
Parça Derinliği

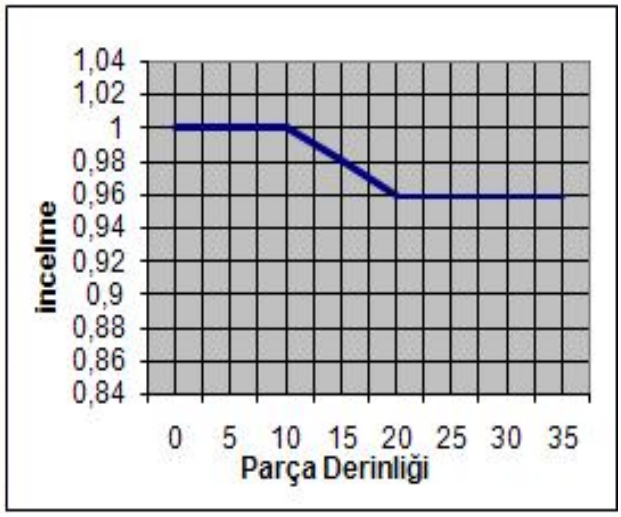



1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
İncelme
0
5
10
15
20
25
Parça Derinliği

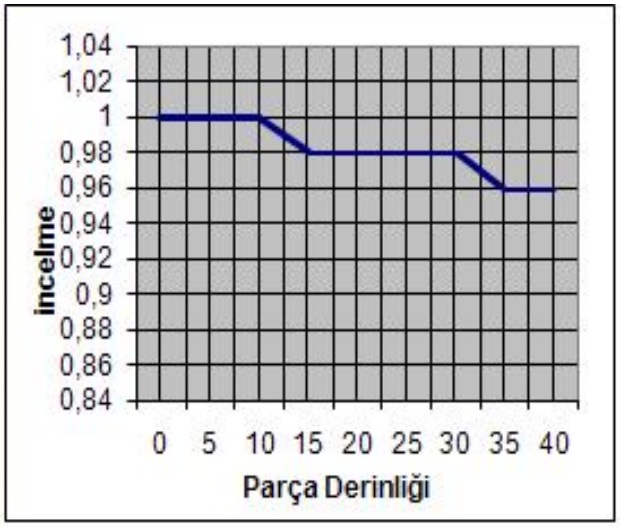



1,04
1,02
1
0,98
0,96
0,94
0,92
0,9
0,88
0,86
0,84
İncelme
0
5
10
15
20
25
30
Parça Derinliği

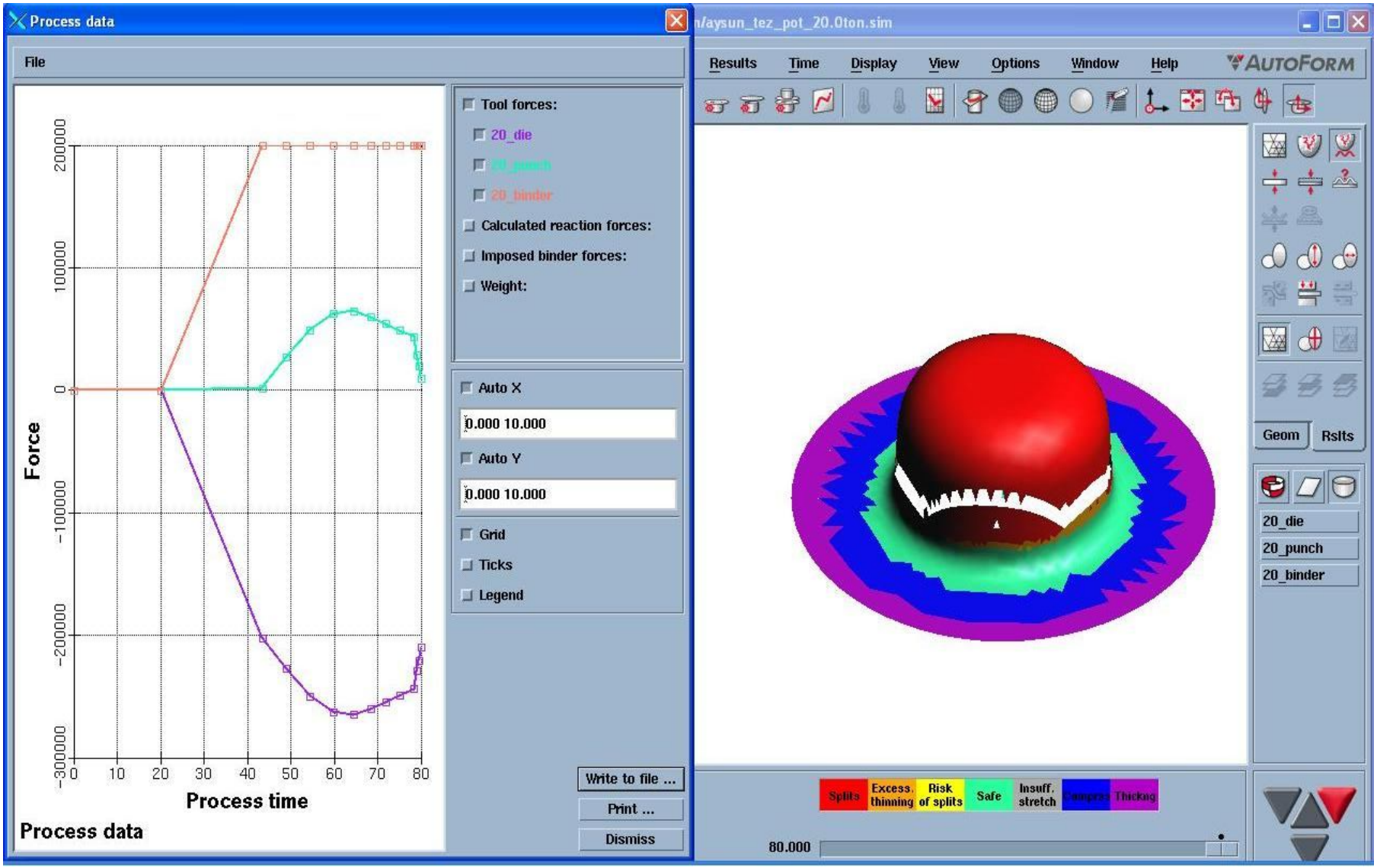




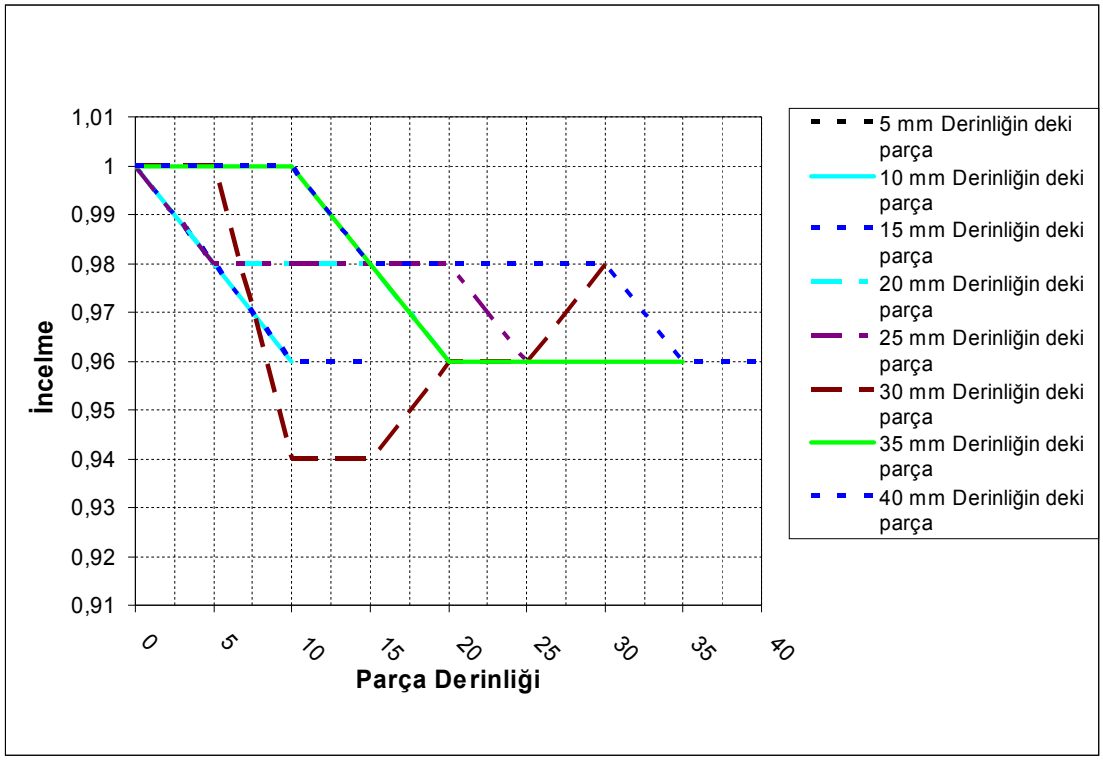




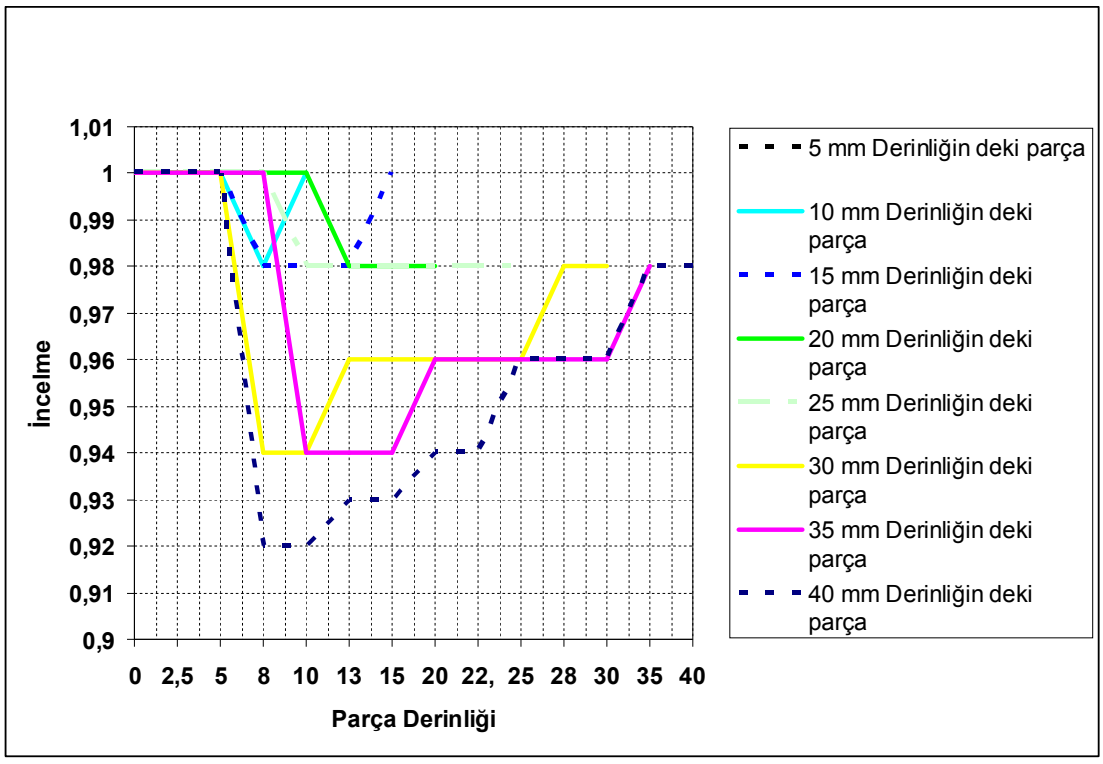
*Parçanın hangi kuvvete yırtılacağının bulunması amacıyla da farklı kuvvetler denenmiş ve yırtılmanın başladığı en küçük kuvvet 20 ton olarak belirlenmiştir. 20Ton'luk çekme kuvveti eldesi için, o kuvveti verebilecek gazlı yayların çaplarının veya sayısının daha fazla olması gerekmektedir. Mevcut kalıptaki pot çemberi ve dişi parçanın yüzey alanları, bu gazlı yayları üzerlerinde taşıyabilmeleri için yetersiz geleceğinden bu deneme pratikte yapılamamıştır. Simülasyon sonucu aşağıdaki gibidir.


Process data
File
Tool forces:
20_die
20_punch
20_binder
Calculated reaction forces:
Imposed binder forces:
Weight:
Auto X
0.000 10.000
Auto Y
0.000 10.000
Grid
Ticks
Legend
Write to file ...
Print ...
Dismiss
Force
Process time
Process data
200000
100000
0
-100000
-200000
-300000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Results
Time
Display
View
Options
Window
Help
AUTOFORM
Geom
Rslts
20_die
20_punch
20_binder
Splits
Excess. thinning
Risk of splits
Safe
Insuff. stretch
Compress
Thicking
80.000

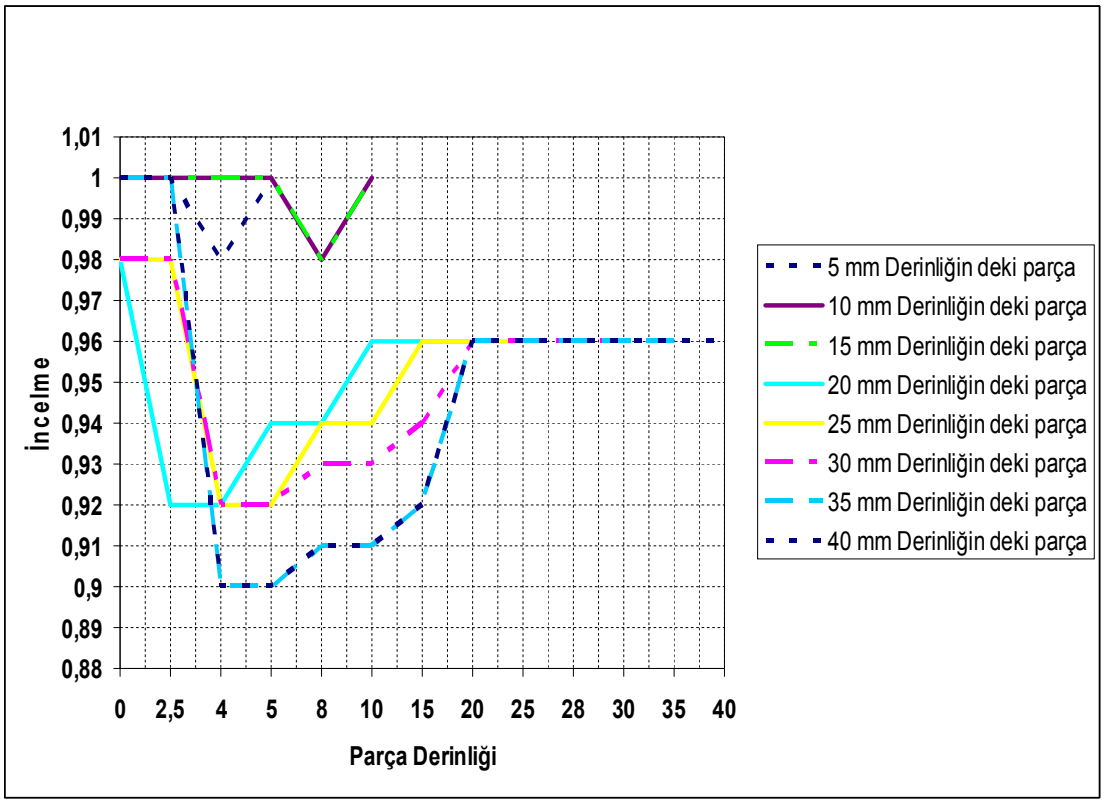
* Pres altında, 2,3 ton pot kuvvet uygulandığında 5-40 mm arası derinliklerde parça çekildiğinde ortaya çıkan incelme grafiği aşağıdadır.



* Pres altında, 1,7 ton pot kuvvet uygulandığında 5-40 mm arası derinliklerde parça çekildiğinde ortaya çıkan incelme grafiği aşağıdadır.



* Pres altında, 1,25 ton pot kuvvet uygulandığında 5-40 mm arası derinliklerde parça çekildiğinde ortaya çıkan incelme grafiği aşağıdadır.



BÖLÜM -8-

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, dairesel kesitli silindirik bir kap elde edilirken uygulama kalıbı ile farklı stroklarda aynı pot baskı kuvveti ile pres altında denemeler yapılmış ve parça basılmıştır. Kalıptaki gazlı yaylar ile sağlanan farklı pot baskı kuvvetleri sonucunda parçada meydana gelen incelmeler ile ticari programla (Autoform) yapılan simülasyon sonucunda parçada ortaya çıkan incelmeler karşılaştırılmıştır.

Bu kıyaslamada ticari programda öngörülen ile pres altında kalıptan çıkan parça arasında sadece yaklaşık 0,05 mm fark olduğu gözlenmiştir.

Böylece öngördüğü incelme değeri nedeniyle ticari program (Autoform) kalıp için gazlı yaylar ile elde edilen pot baskı kuvvetlerinin doğru kullanılması kalıbın preste reglaj ayarının iyi yapılmış olması ve kalıp yüzeylerinin iyi alıştırılması gibi etkenlerle de uygulama kalıbı başarılı bulunmuştur.s

KAYNAKLAR

1.Çapan L., Metallere plastik şekil verme. 2003

2.Ataşimşek S., Sac kalıpçılığı. 1977

3.Güneş, T., Pres işleri tekniği Makine Mühendisleri odası yayın no:307, cilt II, 2002

4.Yurci M.E.,Silindirik kapların derin çekilmesi, 1991

5.Karaağaç İ., AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemenin klasik olarak ve sıvı basıncıyla derin çekilebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırmalı analizi.5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu,2009

6.Özek., Derin Çekme Kalıplarında Matris-Zımba Radyüsü ve Çekme Oranının Et Kalınlığı Üzerindeki Etkisi, Gazi Üniv., Müh.Mim. Fak.Der.Cilt 24,No:1,33-41,2009

7.Erişkin Y., Uygulamalı Saç Metal Kalıp Konstrüksiyonu,Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, 127-159, 1986

8.Gotoh, M.Studies of stretch –drawing process of metals Journal of Material Processing Technology ,Vol.63 ,No:1-3,pp: 123-128.,1997,

9.,Colgan, M. and Monaghan,J., Deep drawing process: annlysis and experiment Journal of Material P rocessing Technology ,Vol.132 ,No:1-3,pp:35-41.,2003

10.Woo, D.M., On complete solution of the deep drawing problem Mechanical Sciences, pp.83-94., 1967

11.Savaş, V. And Seçgin, Ö., A new type of deep drawing die design and experimental results.Material and Design, Vol.28, No:4, pp:1330-1333,2007

12.Gavas, M.and İzciler, M., Effect of blank holder gap on deep drawing of square cups.Materials Design, Vol.28/,No:5,pp:1641-1646.,2007

13.Zhang,G.S.,Effect of anisotropy and prebulging on hydromechanical deep drawing of mild steel cups Journal of Material Processing Technology,Vol.142,No:2,pp:544-550.,2003

14.Zhang , X.M.,Texture evolution during deep drawing of copper sheet Scripta Material,Vol.36,no.9,pp:1023-1029.,1997

15.Wilson,R.D and Hsu,T.C.,Refined models for hydrodynamic lubrication in axisymetric stretch forming Journal of Tribology,Vol.116,pp:101-109.,1994

16.Kurtuluş N., Metallere şekil verme, Grup otomasyon Ltd., 2003

17.Erdemir ürün kataloğu, 2007

18.Special Springs ürün kataloğu, 2007

19. KAYALI E.S., ENSARİ, C. Metallere Plastik şekil Verme İlke Ve Uygulamaları İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi Ofset atölyesi, İstanbul, 1995, s387-390