

Merkezi Delikli Taslak Malzemelerin Derin  
Çekme Özelliklerinin İncelenmesi  
Yunus Emre ALPARSLAN  
Yüksek Lisans Tezi  
Makina Eğitimi Anabilim Dalı  
Temmuz - 2008

MERKEZİ DELİKLİ TASLAK MALZEMELERİN DERİN ÇEKME  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yunus Emre ALPARSLAN

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makina Eğitimi Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Doç. Dr. Muammer GAVAS

Temmuz - 2008

## KABUL ve ONAY SAYFASI

Yunus Emre ALPARSLAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı MERKEZİ DELİKLİ TASLAK MALZEMELERİN DERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

09 / 07 / 2008

Üye : Doç. Dr. Muaammer GAVAS

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan MUMCU

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmet ÇELİK

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## MERKEZİ DELİKLİ TASLAK MALZEMELERİN DERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yunus Emre ALPARSLAN

Makine Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muammer GAVAS

### ÖZET

Sac metal şekillendirme yöntemlerinden biri olan derin çekme metodu endüstride sıkça kullanılmaktadır. Meşrubat ve parfüm kutuları, tencereler, tüpler v.b. ürünler derin çekme metoduyla üretilmektedir. Bu nedenle derin çekme metodunu geliştirmek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada merkezi delikli Al 1050 alaşımli alüminyum malzemenin artan delik çaplarındaki derin çekme davranışları, imalatta bilimsel araştırma yöntemlerinden bir tanesi olan deneysel çalışma ile araştırılmıştır. Ø5 mm' den başlayıp her deneyde 1 mm arttırılan merkezdeki deliklerin dört farklı kalınlıktaki alaşımli alüminyum Al 1050 sac parçaların silindirik derin çekilmesine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Farklı kalınlıktaki sac malzemelerin yırtılmadan çekilebildiği maksimum delik çapları tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Al 1050, Delikli Parça, Derin Çekme, Sac Şekillendirme

## **THE INVESTIGATION OF DEEP DRAWING FEATURES OF CENTRAL HOLE PREFORM MATERIALS**

Yunus Emre ALPARSLAN

Mechanical Education, M.S.Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Assoc.Prof. Muammer GAVAS

### **SUMMARY**

Deep drawing is one of the most important forming methods of sheet metal used frequently in industry. Saucepans, beverage and perfume cans, tubes etc. products have been manufactured via deep drawing method. For this reason, a lot of research are being carried out for improve the deep drawing.

In this research, deep drawing behaviors of blanks with in the central hole Al 1050 materials have been researched by using empirical method, which is one of the scientific investigation method of manufacturing. Beginning with  $\emptyset$  5 mm and increasing 1 mm for each experiment of the holes in central, aluminium Al 1050 sheet blanks that are at four different thickness, have been investigated experimentally to the effect of cylindric deep drawing. The maximum hole diameters of the sheet metal blanks, which are in different thicknesses, have been established without being failed.

**Keywords:** Al 1050, Blank With Hole, Deep Drawing, Sheet Forming

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen, üniversite eğitimime başladığım andan itibaren desteğini her zaman yanımda hissettiğim, kişiliğiyle kendime örnek aldığım çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Muammer GAVAS'a şükran duyarım. Deneylerin yapımında yardımcı olan Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi atölyesi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bütün öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi destekte bulunan aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Önceki Çalışmalar.....	2
2. KALIPÇILIK TEKNOLOJİSİ .....	3
2.1 Hacim Kalıpcılığı .....	3
2.1.1 Sıkıştırma kalıpları .....	3
2.1.2 Enjeksiyon kalıpları .....	4
2.1.3 Dövme kalıpları .....	5
2.2. Sac Metal Kalıpcılığı .....	6
2.2.1 Kesme kalıpları .....	6
2.2.2 Bükme kalıpları .....	7
3. DERİN ÇEKME .....	8
3.1 Derin Çekme .....	8
3.2 Derin Çekme Yöntemleri .....	9
3.3 Derin Çekme Mekanîği .....	9
3.4 Karakteristik Üçgen ve Fazlalık Malzemenin Etkileri .....	11
3.4.1 Karakteristik üçgenin tanımı ve fazlalık malzemenin belirlenmesi .....	12
3.4.2 Kulak oluşumu .....	14
3.5 Limit Çekme Oranı ve Anizotropi .....	17
3.5.1 Limit çekme oranı .....	17
3.5.2 Derin çekmede anizotropi .....	17

**İÇİNDEKİLER (Devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.6 Derin Çekme İşleminde İş Parçası Kalınlığının Değişimi .....	20
3.7 Kademeli Çekme .....	24
3.8 Derin Çekmede Kullanılan Saclar .....	28
3.9 Çekme Hataları ve Giderilmesi .....	29
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>32</b>
4.1 Deney Malzemesi ve Numunelerinin Hazırlanması .....	32
4.2 Kalıp Tasarımı ve İmalatı .....	34
4.3 Kalıbın Prese Bağlanması .....	38
4.4 Metal Akışını Kontrol Etme Yöntemleri .....	39
4.5 Ön Deneylerin Gerçekleştirilmesi.....	40
4.6 Deneylerin Yapılması .....	41
<b>5. DENEYSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>50</b>
<b>6. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>56</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>57</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1	Buruşma ve yırtılma sınırları arasındaki uygun çekme alanı ..... 2
2.1	Kalıpcılık çeşitleri ..... 3
2.2	Sıkıştırma kalıbı ..... 4
2.3	Enjeksiyon kalıbı ..... 5
2.4	Dövme kalıbı ..... 6
2.5	Kesme kalıbı ..... 7
2.6	Bükme kalıbı ..... 7
3.1	Derin çekme işlemi ..... 8
3.2	Derin çekmenin mekaniği ..... 10
3.3	Derin çekme esnasında parçada boylamsal kısımlarda meydana gelen gerilmeler ..... 11
3.4	Karmaşık şekilli bir levhadan yuvarlak köşeli bir kutunun çekilmesi ..... 12
3.5	Dairesel iş parçasında karakteristik üçgenin elde edilmesi ..... 13
3.6	Silindirik çekme ile elde edilen farklı özellikteki malzemelerden imal edilen kaplarda, yetersiz baskı plakası kuvveti sonucu kulak oluşumu ..... 14
3.7	Baskı plakası kullanılmadan gerçekleştirilen derin çekme işleminde flanş bölgesinde ortaya çıkacak gerilmeler ..... 15
3.8	Baskı plakasız çekme ..... 15
3.9	Baskı plakası kullanılarak yapılan çekme işleminin temel elemanları ..... 16
3.10	Silindirik iş parçasında limit çekme oranının aşılması sonucu ortaya çıkan hasar ..... 17
3.11	Sac malzemedede anizotropinin tespit edilmesi ..... 18
3.12	Üç farklı sac malzemededen derin çekilerek elde edilen iş parçalarında meydana gelen kulaklanma ..... 19
3.13	Derin çekme işleminde iş parçasına etki eden kuvvetler ..... 20

## ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.14 Çekme başlangıcında iş parçasının durumu; Sıkıştırma kalıbı (baskı plakası), Matris.....	21
3.15 Derin çekme işlemi boyunca kalınlık değişiminin seyri .....	22
3.16 Farklı geometrilere sahip zımbalarla yapılan derin çekme işleminde malzeme civarında oluşacak kalınlık değişimlerinin karşılaştırılması .....	23
3.17 Çekilerek imal edilmiş silindirik bir kaptaki cidar kalınlıklarının değişimi (Başlangıç malzeme kalınlığı $S=1$ mm, $d=12$ mm, $d_1=22$ mm, $h=21$ mm.....	23
3.18 Derin çekme esnasında meydana gelen gerilmeler.....	24
3.19 Meşrubat kutusunun imalatı.....	25
3.20 Çekme oranı büyük olan bir parçanın kademeli kalıplama ile imalatı .....	26
3.21 Çekme kademelerinin hesaplanması .....	27
3.22 Derin çekilecek parça .....	28
3.23 Çekilen kaplarda oluşan hatalar .....	31
4.1 0,5 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.....	34
4.2 1 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.....	35
4.3 1,5 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.....	35
4.4 2 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.....	36
4.5 Deneyleerde kullanılan zımbaların ölçüleri.....	37
4.6 Deneyleerin gerçekleştirildiği hidrolik pres ve deney düzeneği .....	38
4.7 Baskı plakası boşluğu .....	39
4.8 Derin çekme işleminde sac metalin kalıp boşluğuna çekilmesi esnasında flanş buruşması oluşumu.....	40
4.9 Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 10 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşım alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	42

### ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.10 Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 11 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	42
4.11 Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 12 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	43
4.12 Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 13 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	43
4.13 Dış çapı 89 mm, delik çapı 10 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	44
4.14 Dış çapı 89 mm, delik çapı 11 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	44
4.15 Dış çapı 89 mm, delik çapı 12 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	45
4.16 Dış çapı 89 mm, delik çapı 13 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	45
4.17 Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 15 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	46
4.18 Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 16 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	46
4.19 Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 17 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	47
4.20 Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 18 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	47
4.21 Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 16 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	48
4.22 Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 17 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	48
4.23 Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 18 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	49
4.24 Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 19 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 10, 11, 12, 13 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.....	50
5.2 Dış çapı 89 mm, delik çapı 10, 11, 12 ve 13 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.....	51
5.3 Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 15, 16, 17 ve 18 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.....	51
5.4 Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 16, 17, 18 ve 19 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.....	52
5.5 Merkezdeki delik çapı değişiminin derin çekmeye etkisi.....	52
5.6 Sac malzeme kalınlığına değişiminin (T) yırtılan delik çapına etkisi.....	54
5.7 Malzeme kalınlığı değişiminin yırtılmadan çekilebilecek taslak malzeme hacmine etkisi.....	54
5.8 Malzeme kalınlığı değişiminin taslak malzeme alanına etkisi.....	55
5.9 Sac malzeme kalınlığı değişiminin blank çapı/delik çapı oranına etkisi.....	55

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
4.1	0,5 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.....	32
4.2	1 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.....	32
4.3	1,5 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.....	33
4.4	2 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.....	33
5.1	Deneylerde kullanılan malzeme özellikleri ve sonuçlar.....	53

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$\beta$	Çekme oranı
R	Anizotropi katsayısı
$\epsilon_w$	Genişlik değişimi
$\epsilon_t$	Kalınlık değişimi
m	Çekme modülü
T	Sac malzeme kalınlığı, mm.
$D_{tm}$	Taslak malzeme çapı, mm.
$D_z$	Zımba çapı, mm.

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
L.D.R.	Limit Drawing Ratio
B.P.B.	Baskı Plakası Boşluğu

## 1. GİRİŞ

Derin çekme ile plastik deformasyon ince cidarlı kapların imalatı endüstride yoğun olarak kullanılması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Araştırmaların büyük çoğunluğu plastik deformasyonda derin çekme limiti olarak bilinen Limit Drawing Ratio (LDR) veya derin çekme işleminde ortaya çıkan katlanma, buruşma ve yırtılma gibi problemler üzerine yoğunlaşmışlardır.

Derin çekme, metalik saclara uygulanan bir plastik şekil verme yöntemi olup prensip olarak, bastırıcı bir piston veya ıstampa ile istenen şeklin verileceği sac taslağın bir kalıp içerisine çekilerek şekillendirilmesi olarak tanımlanır. Derin çekme işlemlerinde kullanılan çelikler düşük karbonlu çelikler olup, otomotiv, havacılık, beyaz eşya, gıda ve silah sanayinde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Bir sac malzemenin derin çekilmesi sırasında, elde edilmek istenen şekil değişiminin bir bölgeye yoğunlaşarak aşırı ölçüde artması sonucu büzülme ve yırtılma ortaya çıkar. Yani sac düzlemindeki şekil değişimlerinin kritik bir seviyeye ulaşması ile şekillendirme sınırına ulaşılmış olur. Derin çekme işlemlerinde amaç, malzemenin kritik şekil değişim sınırı altında üniform şekil değişimi elde etmektir. Eğer bu sınır aşılsa şekillendirme sırasında hasar meydana gelecektir. Sac malzemelerin şekillendirme özellikleri üç değişik yol izlenerek belirlenebilir;

- Klasik mekanik deneylerin sonuçlarından yararlanarak,
- Şekillendirme yöntemlerinin benzeşimi olan deneylerle (standart laboratuvar deneyleri),
- Şekillendirme sınır diyagramları (Forming Limit Diagrams) yardımıyla.

Yapılan bu çalışmada merkezi delikli Al 1050 malzemenin artan delik çaplarındaki derin çekme davranışları, imalatta bilimsel araştırma yöntemlerinden bir tanesi olan deneysel çalışma ile araştırılmıştır. Ø5 mm' den başlayıp her deneyde 1 mm arttırılan merkezdeki deliklerin dört farklı kalınlıktaki alaşımlı alüminyum Al 1050 sac parçaların silindirik derin çekilmesine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

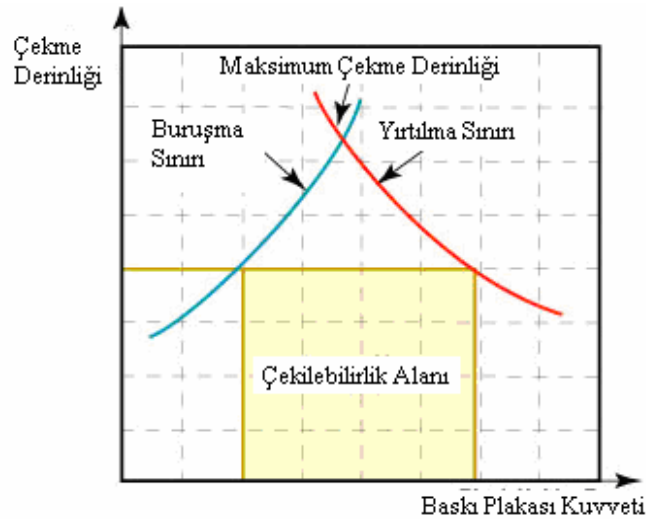
### 1.1 Önceki Çalışmalar

Literatürde derin çekme yöntemiyle şekillendirme işlemine ait birçok araştırma olmasına rağmen merkezi delikli sac parçaların derin çekilmesi ile ilgili çok az sayıda çalışma mevcuttur.

Thiruvarudchelvan, S. ve Tan, M.J. 0.5, 0.7 ve 1(mm) kalınlığında, 18, 20, 22, 25 mm iç çapında ve 95 mm dış çapında alüminyum levhaların derin çekme işlemini araştırmışlar. Çekme işlemlerinde iç çap ölçülerinin, çekme işleminin ilk evresinde şekillendiği sonucuna varılmış. Kabın derinliği ise malzemenin geçtiği evrelere göre arttığı tespit edilmiştir[1].

H. Y. Fung ve arkadaşları kare delikli olan derin çekme işleminin ANFIS uygulamasıyla önceden tahmin edilebilirliğini araştırmışlar. Deneysel yolla oluşturulan kare delikli çekilmiş kare kap ile ANFIS uygulaması ile tahmin edilen delik profillerinin birbirleriyle tam uyumlu olduğu tespit edilmiştir[2].

2001 yılında [http://www.thefabricator.com/Articles/Stamping\\_Article.cfm](http://www.thefabricator.com/Articles/Stamping_Article.cfm) adresinde yayınlanan “How to Draw Round Cups Deeper” isimli makalede derin çekme işlemi esnasında buruşma olmaksızın ve yırtılma sınırına gelmeden maksimum derinliğe sahip bir derin çekme işleminin nasıl olması gerektiği konusunda çalışma yapılmıştır ve sonuç olarak uygun çekme alanı belirlenmiştir [3]. Elde edilen sonuçlar Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



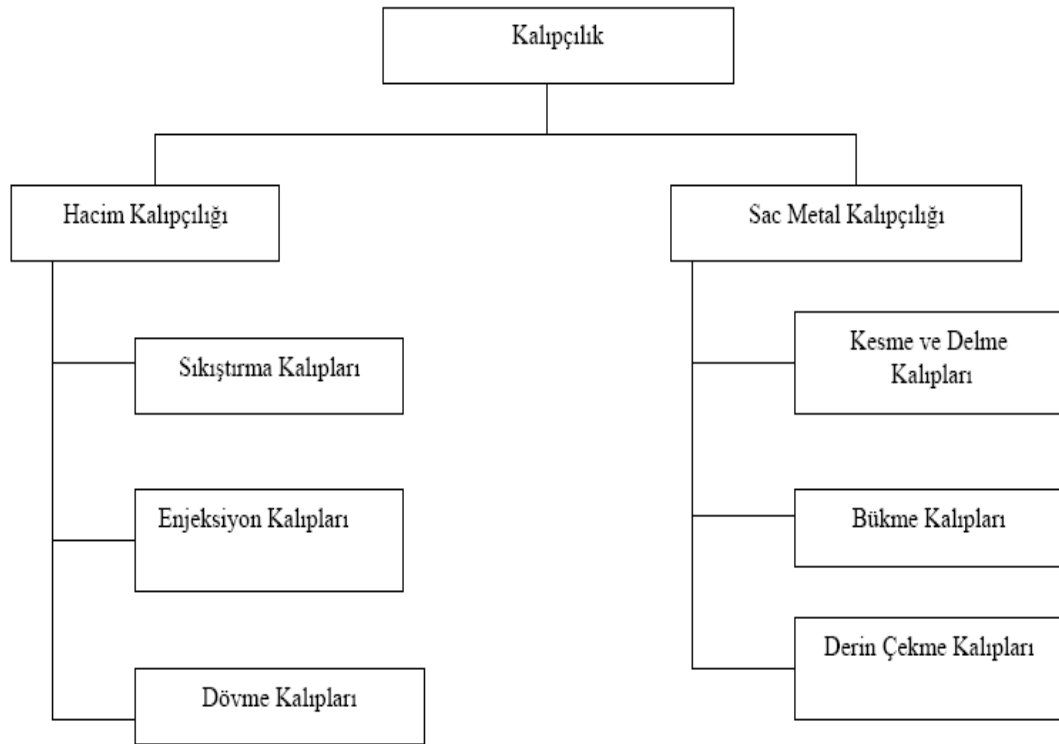
Şekil 1.1 Buruşma ve yırtılma sınırları arasındaki uygun çekme alanı [3].



## 2. KALIPÇILIK TEKNOLOJİSİ

Aynı ölçü tamlığında özdeş parçaların seri üretiminde kullanılan aparatlara kalıp denilmektedir. Kalıplama yöntemi ile üretilen parçalar otomotiv, elektronik endüstrisi, ev eşyaları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Kalıpçılık, kullanılan malzeme ve yöneme göre hacim kalıpcılığı ve sac metal kalıpcılığı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.1) [4].



Şekil 2.1 Kalıpcılık çeşitleri.

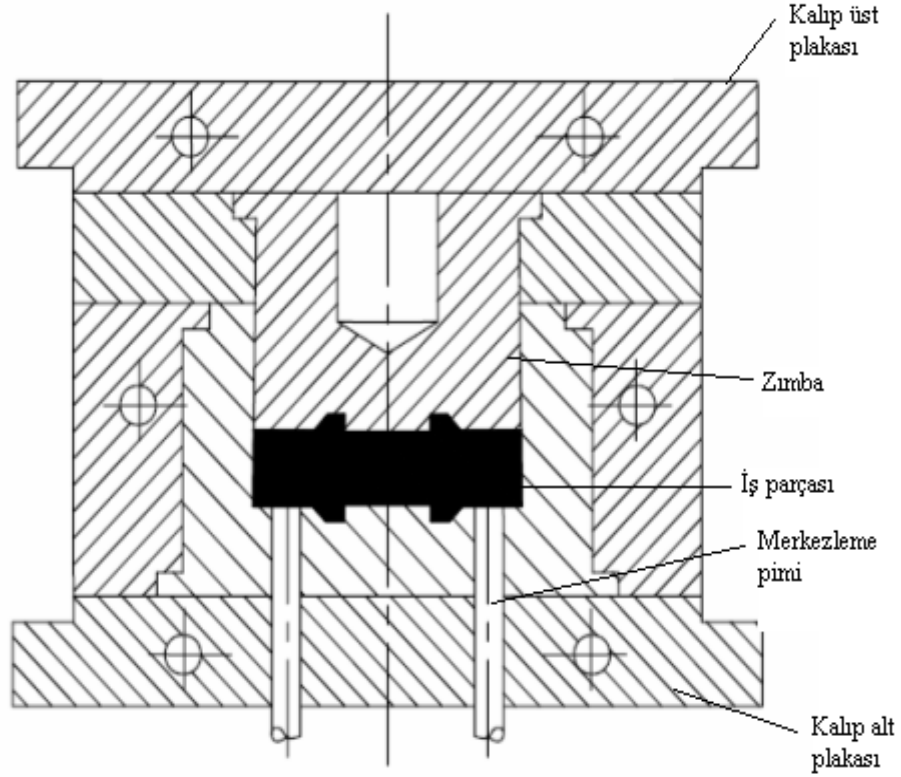
### 2.1 Hacim Kalıpcılığı

Hacim kalıpcılığı; sıkıştırma kalıpları, metal enjeksiyon kalıpları ve dövme kalıpları olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

#### 2.1.1 Sıkıştırma kalıpları

Termosert malzemelerin kalıplanmasında sıkıştırmalı kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Toz halindeki plastik hammadde kalıp boşluğuna doldurulduktan sonra

120°C~360°C arasında, yaklaşık 2(Bar) basınç altında sıkıştırılarak istenilen şekle getirilmektedir (Şekil 2.2) [4].



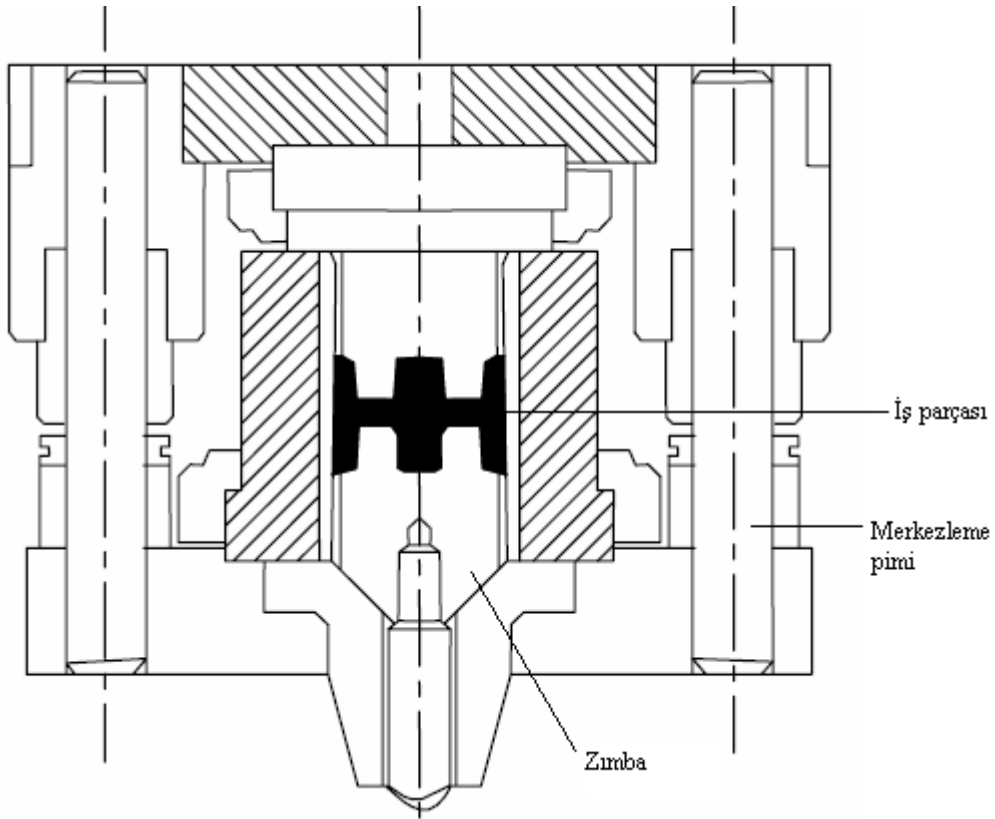
Şekil 2.2 Sıkıştırma kalıbı.

### 2.1.2 Enjeksiyon kalıpları

Termoplastiklerin şekillendirilmesinde enjeksiyonla şekillendirme yöntemi kullanılmaktadır.

Toz veya küçük taneler halindeki termoplastikler bir huni yardımıyla pres içerisine gönderilir. Isıtıcılar tarafından ısıtılan, silindirin sıcaklığı malzeme cinsine göre ayarlanır. Silindir içerisinde eritilen plastik madde hidrolik piston vasıtasıyla kalıp içine itilir. Kalıbın şeklini alan plastik malzeme kalıbın soğutulup açılmasıyla kalıptan çıkartılır (Şekil 2.3) [4].





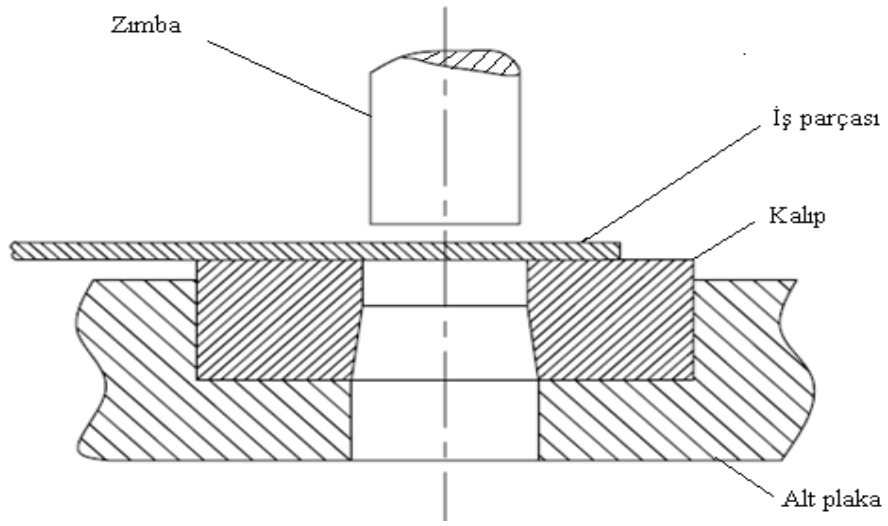
Şekil 2.4 Dövme kalıbı.

## 2.2 Sac Metal Kalıpcılığı

Sac metal kalıpcılığında bir pres yardımıyla saclar plastik deformasyona uğratılmaktadır. Sac metal kalıpları; kesme ve delme kalıpları, bükme kalıpları ve derin çekme kalıpları olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır.

### 2.2.1 Kesme kalıpları

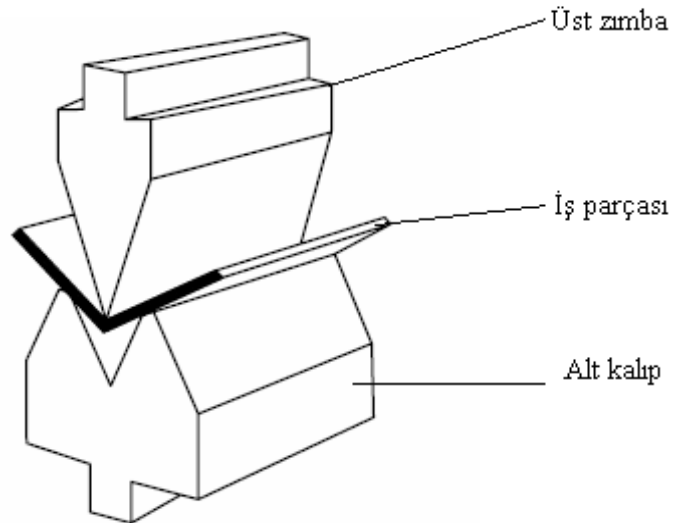
Üretilcek parçayı bir defada metal şeritten kesen kalıplara kesme kalıpları denilmektedir. Bu metotta istenilen şekil ve ölçüde özdeş parçalar elde edilmektedir (Şekil 2.5) [4].



Şekil 2.5 Kesme Kalıbı.

### 2.2.2 Bükme kalıpları

Bükme, malzemenin sıcak veya soğuk olarak, talaş kaldırmadan, tarafsız eksen etrafında kuvvet etkisiyle yüzey doğrultularının yön değiştirmesidir [4]. Şekil 2.6'da bükme kalıbı gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Bükme Kalıbı.

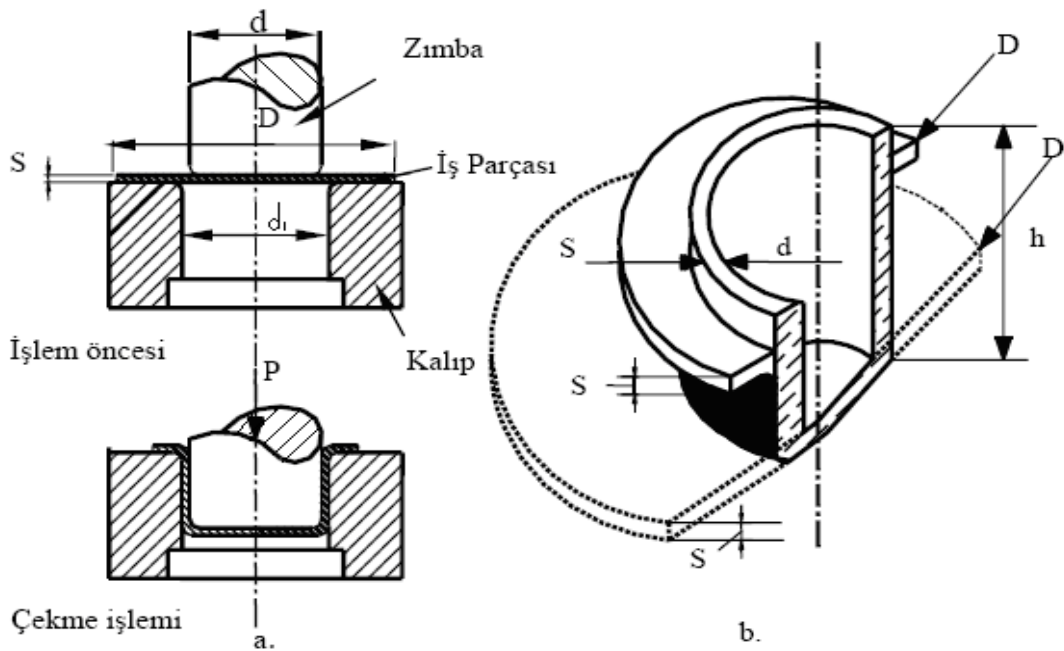
### 3. DERİN ÇEKME

Sac metal kalıpcılığı tekniğinde parçalar ya kesilmekte ya da biçimlendirilmekte veya aynı işlemde biçimlendirilip, kesilmektedir. Şekillendirmelerin endüstride en yaygın kullanımı çekme ile şekillendirilmedir. Genellikle çekme işlemi ile şekillendirmelerde, düz levha durumundaki malzemelerden, içi boş dikişsiz kap veya farklı geometrik şekle sahip boş kutular elde edilmektedir. Bu nedenle çekme işlemi kalıplama tekniğinde en yaygın metotların başında gelmektedir.

#### 3.1 Derin Çekme

İki boyutlu, düzlemsel geometriye sahip iş parçasının çekme kalıbı denilen elemanlar yardımıyla ve bir zımba vasıtasıyla preste çökertilmesi ya da bir başka deyişle, iş parçasının çekme kalıbı içine sıvanması sonucunda belirli derinlik ve profillere sahip üç boyutlu parçalar elde edilmesi işlemine pres tekniğinde çekme adı verilir. Çekme yardımıyla elde edilmesi öngörülen derin kaplar birden fazla operasyon ile de oluşturulabilirler. Bu, birbirini takip eden çok sayıda çekme işleminden oluşan imal usulü ise derin çekme adını almaktadır [5].

Şekil 3.1’de, çekme sacı olarak adlandırılan dairesel iş parçasından  $d$  çapına sahip silindirik bir kabın çekme işlemiyle elde edilmesi şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.1 Derin çekme işlemi, a. Şematik, b. Perspektif.

Şekilden de görülebileceği gibi, başlangıçta S Kalınlığı ve D başlangıç çapına sahip düzlemsel, metalik ve şekillenebilir bir levha, d çapındaki bir zımba yardımıyla kalıp (matris) içine çekilmek suretiyle, altı düz, silindirik bir parça haline getirilmektedir [6].

### 3.2 Derin Çekme Yöntemleri

Günümüzde derin çekme işlemlerinin çoğu preslerde yapılmaktadır. Bu safhaya gelinceye kadar el çekici ile başlayan şekillendirme işlemi daha sonra buhar enerjisinden faydalanılarak, buhar güçlü çekiçlerle devam etmiş, elektrik enerjisinin bulunması ile mekanik ve hidrolik preslerle günümüze kadar ulaşmıştır. Burada dikkat çekici olan nokta bütün bu işlemlerin düşük hızda yapılmasıdır. 1898 yılından sonra yüksek hızda işlem yapan patlama, elektromanyetik şekillendirme, elektro-hidrolik şekillendirme ve gaz detonasyonu ile şekillenme yöntemleri bu prosese aşama aşama katılmışlardır [7].

Derin çekme işlemini kullanılan enerji çeşidine göre üç bölüme ayırabiliriz;

- 1- Pres, kalıp, zımba ve baskı plakası kullanılarak yapılan derin çekme işlemi
- 2- Basınç ortamı veya içi dolu plastik bir torba kullanılarak yapılan derin çekme işlemi: Bu metotta pres, hidrolik pompa veya patlayıcılar kullanılır.
- 3- Enerji aktivasyonu ile derin çekme. Manyetik enerji kullanılarak is parçası şekillendirilir.

Bu durumda günümüzde kullanılan derin çekme çeşitlerini su şekilde sınıflandırabiliriz[7].

- 1- Konvensiyonel Metotla Derin çekme (Presle)
- 2- Yüksek Hızda Derin Çekme

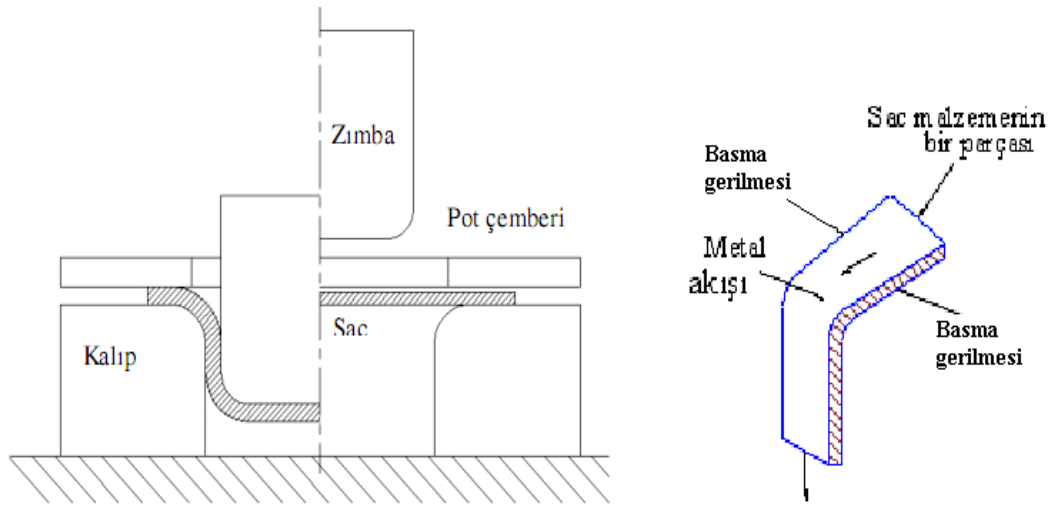
Yüksek hızda derin çekme kendi arasında dört gruba ayrılır. Bunlar;

- 1- Patlama ile Derin Çekme
- 2- Elektromanyetik Metotla Derin Çekme
- 3- Elektrohidrolik Metotla Derin Çekme
- 4- Detonasyonla Derin Çekme

### 3.3 Derin Çekme Mekanikliği

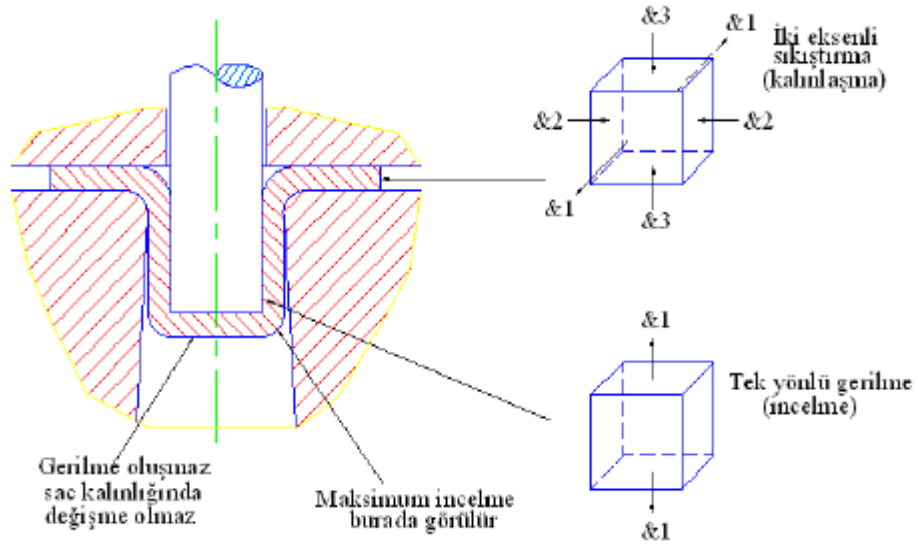
Çekme olayında zımbanın sac levhaya baskı yapması ile sac levha kalıp kenarlarındaki radüsler (kalıp kavis yarıçapı) üzerine doğru eğilerek kalıp boşluğuna girmeye başlar. Zımbanın ileri hareketi ile sac levha zımba ile kalıp arasında halka şeklinde bulunan çekme aralığından

kalıp içine doğru hareket ederek düz düşey duvar oluşturur. Son aşamada sac levhanın kalan kısmı radyal olarak akarak kalıp boşluğuna oturur, fakat sac levhanın kalıp üstünde yani baskı plakasının altında kalan kısmı sürtünme kuvveti oluşturarak bu olayı engellemeye çalışır. Bunlar başlangıçta statik sürtünme kuvvetleridir ve sac levha hareket etmeye başladığında kuvvetler azalır. Şekil 3.2’de ki gibi çekilmekte olan bir sac parçasını ele aldığımızda, sac levha radyal olarak akmaya başladığında kalınlığı azalmaya başlar ve geniş olan dış çevresi küçük olan kalıp deliğinin iç çapına göre şekillenmeye başlayarak düşey duvarlar oluşturur. Bu olay levha yüzeyinde dairesel basma gerilmesine sebep olur. Zımbanın daha aşağı hareketi ile sac levhanın büyük bir kısmı kalıp deliğinde küçük dairesel flanş oluşturur Şekil 3.3’den de anlaşıldığı gibi düşey duvarlarda kalıp dibine doğru gittikçe büyüyen tek eksenli gerilmeler oluşturur.



Şekil 3.2 Derin çekmenin mekanik mekanizması [8].

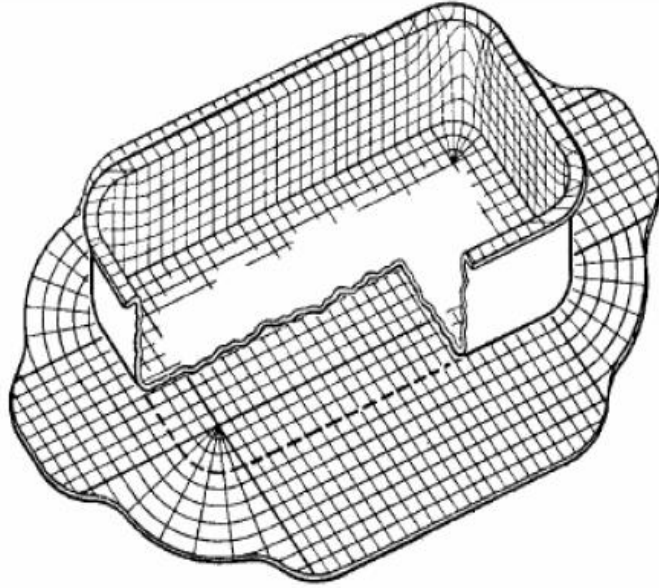




Şekil 3.3 Derin çekme esnasında parçada meydana gelen gerilmeler [8].

### 3.4 Karakteristik Üçgen ve Fazlalık Malzemenin Etkileri

Bir iş parçasının derin çekilmesi, düzlemsel geometriye sahip bir cismin kendi düzlemine dik doğrultuda akmaya zorlanmasıdır. Parça geometrisi göz önüne alındığında, bu işlem sırasında kullanılan malzemenin normalde olması gerekenden daha fazla olduğu görülür [9] (Şekil 3.4). Gerekli önlemler alınmadığında bu gereksiz malzeme işlemin hatasız olarak gerçekleştirilebilirliğini tehlikeye sokar.

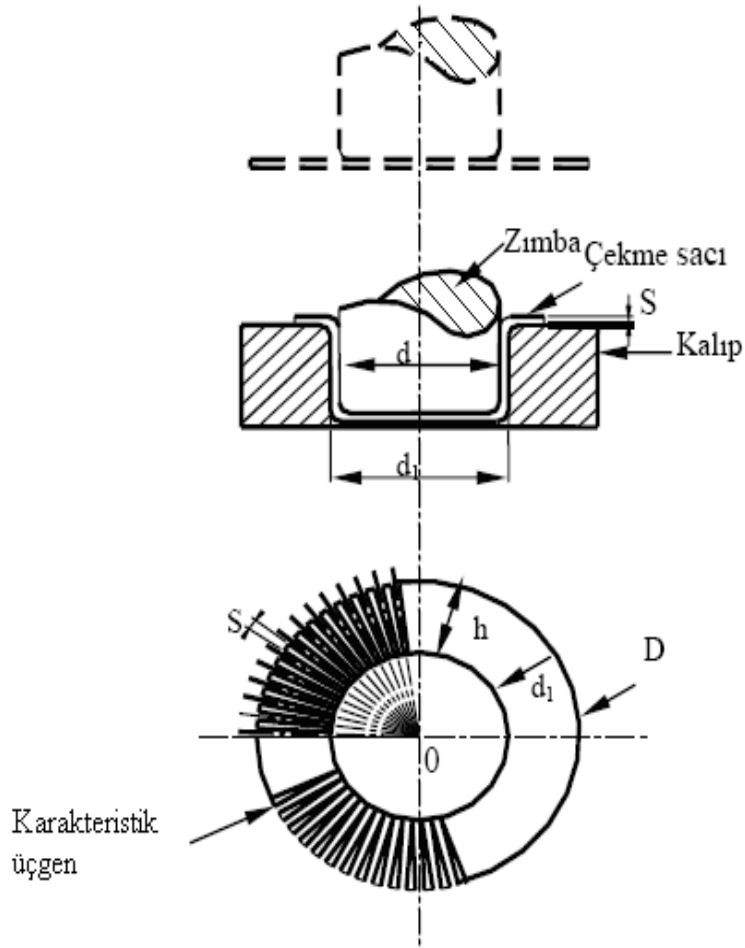


**Şekil 3.4** Karmaşık şekilli bir levhadan yuvarlak köşeli bir kutunun çekilmesi [10].

İş parçasındaki malzeme fazlalığı karakteristik üçgen adı verilen geometrik bir özellik sayesinde gözle görünür hale gelir.

#### **3.4.1 Karakteristik üçgenin tanımı ve fazlalık malzemenin belirlenmesi**

Karakteristik üçgen kavramını daha iyi anlatabilmek için  $D$  çapında ve  $S$  kalınlığında dairesel sac bir levhanın çekilmesi işlemini ele alalım (Şekil 3.5).  $d$  Çaplı daire üzerinde, aralarındaki daire yayı uzunluğu iş parçası kalınlığına eşit yaylar alınarak, bunların her iki tarafındaki yarıçap çizgileri daire merkezine birleştirildiği takdirde,  $d$  çapına sahip daire üzerinde  $S$  aralıklı yarıçap çizgileri elde edilir.



**Şekil 3.5** Dairesel iş parçasında karakteristik üçgenin elde edilmesi.

Elde edilen bu çizgiler  $D$  çapındaki ana dairenin çevresine kadar uzatılarak  $D$  ve  $d$  çaplı dairelerin kesişim noktaları üzerinde  $h = \frac{D-d}{2}$  olmak üzere,  $S$  genişliğinde ve  $h$  yüksekliğindeki dikdörtgenler belirlendiğinde levha üzerinde bu dörtgenler dışında kalan bölgenin eşit alanlı üçgenlerden oluştuğu rahatlıkla görülebilir. Karakteristik üçgen olarak adlandırılan bu parçalar, iş parçası geometrik boyutlarının bir fonksiyonu olup, çekme işleminde herhangi bir işlevi olmayan gereksiz malzemeyi karakterize eder [11]. Zira çekme işlemi kabaca, az önce elde ettiğimiz dikdörtgenlerin  $d_1$  çapındaki daire çevresinde ve aynı yöne doğru  $\pi/2$  kadar kıvrılmasından ibarettir. Yani üçgen biçimli parçaların burada rolü bulunmamaktadır.

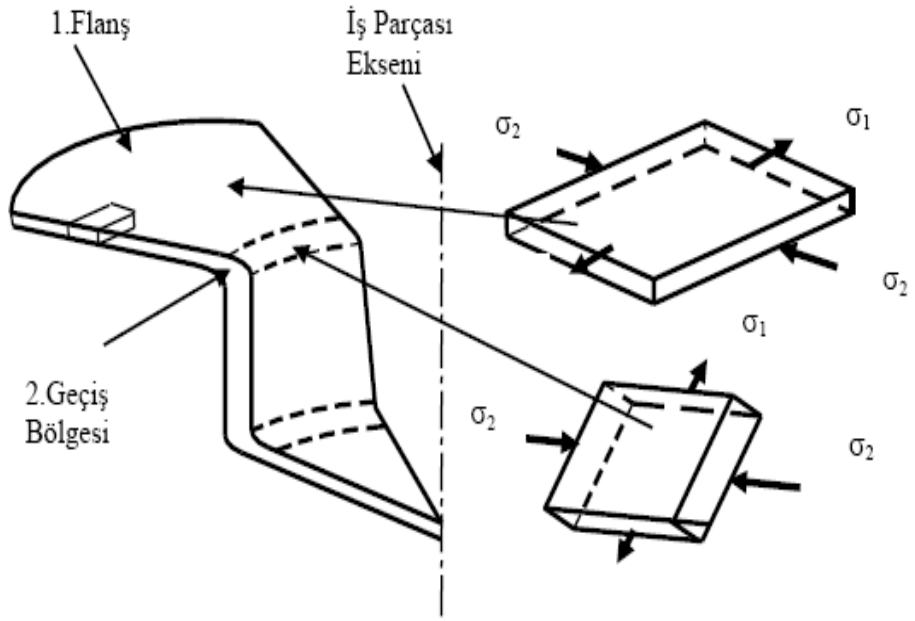
Karakteristik üçgene tekabül eden malzeme çekme işleminde bir fonksiyona sahip olmadığı gibi, özellikle belirli çap-kalınlık oranlarında, iş parçasında kulak adı verilen kırışmalara yol açabilmektedir [6]. Silindirik bir deney parçasının flanş bölgesinde meydana gelen bu türde kırışıklıklar Şekil 3.6'da görülmektedir.



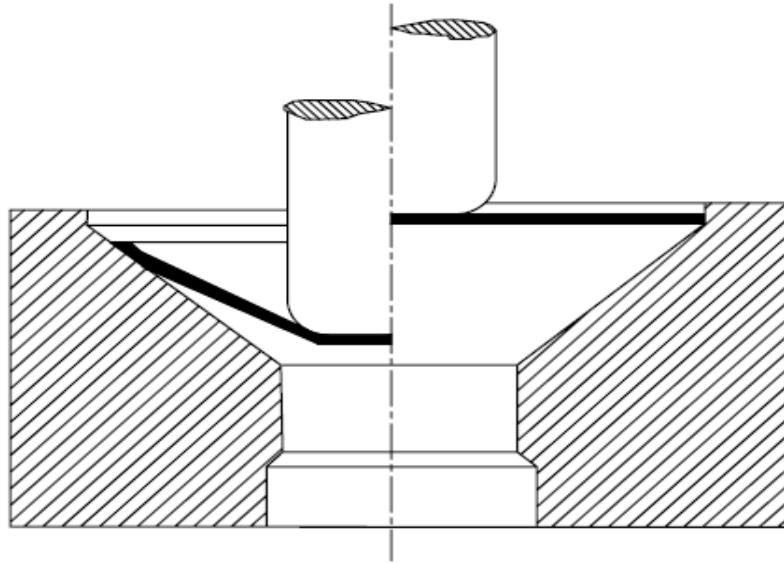
**Şekil 3.6** Silindirik çekme ile elde edilen farklı özellikteki malzemelerden imal edilen kaplarda, yetersiz baskı plakası kuvveti sonucu kulak oluşumu.

### 3.4.2 Kulak oluşumu

Derin çekilen dairesel iş parçasında kulak oluşumunun iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için parçanın henüz matris içerisine çekilmemiş kısmında (flanş bölgesi) ortaya çıkacak gerilmelerin incelenmesi gerekir. Sürtünmenin ihmal edilmesi durumunda, bu bölgedeki bir hacim elemanı, Şekil 3.7’de de görülebileceği gibi, radyal çekme ve teğetsel basınç gerilmelerinin etkisi altında kalır [11]. Bu gerilmelerin ortaya çıkardığı yüksek yığılma basıncının malzeme için öngörülen belirli bir limit değeri aşması durumunda iş parçasında kırışmalar ortaya çıkar. Böyle bir olumsuzluğun ortaya çıkma ihtimali düşük olduğundan, kalınlığı nispeten fazla olan düşük derinlikli parçalar herhangi bir önleme gerek duyulmaksızın basit yapılı tek etkili pres tezgahlarında üretilebilirler [9]. Bu işlem uygulamada baskı plakasız çekme ya da serbest çekme adlarıyla da bilinmektedir (Şekil 3.8).

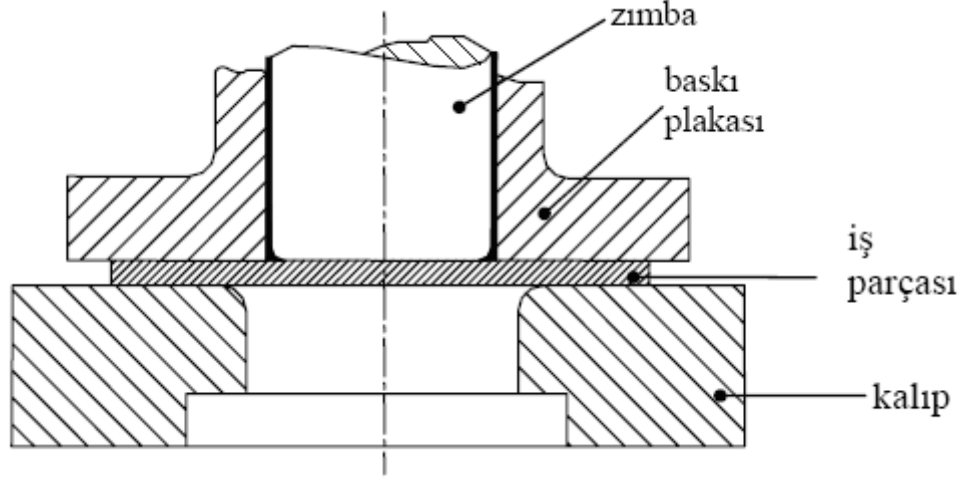


**Şekil 3.7** Baskı plakası kullanılmadan gerçekleştirilen derin çekme işleminde flanş bölgesinde ortaya çıkacak gerilmeler [12].



**Şekil 3.8** Baskı plakasız çekme [9].

İnce sacların derin çekilmesi esnasında ilave bazı elemanların kullanımı zorunlu hale gelir. Baskı plakası ya da sıkıştırma kalıbı (pot çemberi; baskı plakası) adı verilen bu parçalar yardımıyla yapılan bir derin çekme işleminin temel elemanları şematik olarak Şekil 3.9'da görülmektedir.



**Şekil 3.9** Baskı plakası kullanılarak yapılan çekme işleminin temel elemanları.

Baskı plakasının (pot çemberi) esas fonksiyonu, operasyon esnasında dairesel iş parçasının zımba ve matris etkisi dışında kalan serbest bölgesine, öngörülen bir baskı kuvveti yardımıyla basınç uygulamaktır. Böylelikle iş parçası malzemesi radyal yönde akmaya zorlanarak, yığılma basıncı tesiriyle ortaya çıkabilecek buruşma engellenmiş olur. Pratikte baskı plakası kullanımı için,

$$\frac{D}{d} > \frac{21}{20} \text{ ya da,} \quad (1)$$

$$S_0 > 0.2 (D-d), \quad (2)$$

sınır koşulları verilmektedir. Bu koşulların dışına çıkılması halinde karakteristik üçgenlerin sınırladığı malzeme fazlalığı sac yüzeyine dik hareket eder ve sonuçta iş parçası hasara uğrar.

### 3.5 Limit Çekme Oranı ve Anizotropi

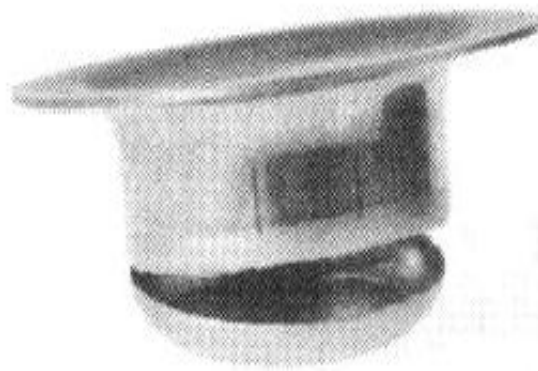
#### 3.5.1 Limit çekme oranı

Derin çekme oranının özel bir halidir. Tanım olarak, yırtılmadan ideal şekilde çekilebilecek en büyük dairesel iş parçası çapının, bu işlemi gerçekleştirebilmesi öngörülen zımba çapına oranı, şeklinde tarif edilir [13]. Limit çekme oranının sembolik gösterimi ise;

$$\beta = \frac{D_{\max}}{d} \quad (3)$$

şeklindedir [14],

Silindirik derin çekme işleminde kullanılan dairesel iş parçası çapının, bu işlemde kullanılacak zımbanın çapına tekabül eden limit çekme oranını aşacak değerler alması durumunda parça yırtılarak hasara uğrar. Zira iş parçasının başlangıç çapı büyüdükçe çekme işlemini gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan zımba kuvveti de artmaktadır. Şekil 3.10'da da bir örneği görülmekte olan bu türdeki bir hasar genellikle kabın yan duvar veya cidar kısmında ve zımba yuvarlatma yarıçapının başlangıç bölgesinde ortaya çıkmaktadır [6].



**Şekil 3.10** Silindirik iş parçasında limit çekme oranının aşılması sonucu ortaya çıkan hasar [11].

#### 3.5.2 Derin çekmede anizotropi

Kristallerde atomların merkezlerini birleştiren doğrular uzatılacak olursa uzayda kafes görünümünde bir yapı elde edilir, bundan dolayı buna kafes yapı denir. Değişik doğrultularda ve değişik düzlemlerde farklı atomsal diziliş görülür. Bu nedenle özellikler düzlemlere ve doğrultulara göre değişir, buna anizotropi denir [22].

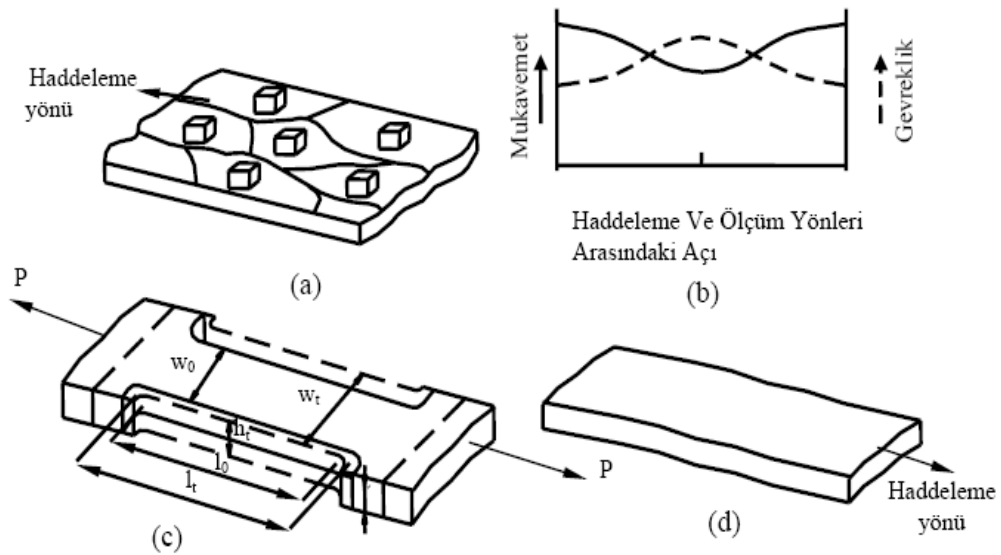
Bir sac levhanın derin çekilebilirliği büyük oranda malzemenin sahip olduğu plastik anizotropi (R) ile orantılıdır. Bu kavram ise, sac levhadan belirli bir doğrultuda alınacak bir çekme numunesine (Şekil 3.11) uygulanacak çekme deneyi sonucunda ortaya çıkacak kalınlık ve genişlik değişimleri yardımıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} \quad (4)$$

$$\varepsilon_w = 1n \left( \frac{W_{son}}{W_{ilk}} \right) \quad (5)$$

$$\varepsilon_t = 1n \left( \frac{t_{son}}{t_{ilk}} \right) \quad (6)$$

Bu bağıntıda  $\varepsilon_w$ , deney parçasındaki genişlik değişimini,  $\varepsilon_t$  ise kalınlıktaki değişimi sembolize etmektedir.



Şekil 3.11 Sac malzemedeki anizotropinin tespit edilmesi

Şekil 3.11’de bir sac malzemedeki anizotropinin tespit edilmesi gösterilmiştir. Burada a ile belirtilen şekilde metalik sac levhada anizotropinin oluşumu, b de belirli bir referans eksenine göre ölçülen mekanik özelliklerin haddelenme yönüne göre değişimi, c ile belirtilen şekilde anizotropinin malzeme özelliklerine olan etkisinin çekme deneyi numunesinde ortaya



çıkacak boyutsal değişimler yardımıyla belirlenmesinden ve  $d$  de ise ortalama anizotropi değerinin hesaplanmasında kullanılan muhtelif doğrultular belirtilmiştir [13].

Soğuk haddelenmiş çeliklerde genellikle düzlemsel bir anizotropiden söz edilir. Söz konusu bu özellik ise malzemenin hadde yönünün bir fonksiyonudur, yani iş parçasının ana malzemedan kesilme pozisyonunun haddeleme doğrultuna göre yaptığı açı ile değişir. Bu nedenle uygulamalarda bir ortalama plastik anizotropi değerinin tanımlanması gerekir.  $R_{ort}$  ile sembolize edilen bu kavram aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır [12];

$$R_{ort} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (7)$$

Bağıntıdaki, 0, 45 ve 90 indisleri, plastik anizotropi değeri hesaplanmak üzere sac levhadan alınan numunelerin haddeleme yönüyle yapmış olduğu açıları göstermektedir.

Çekilerek elde edilmiş kap biçimli parçaların tepe kenarları genellikle düz olmaz. Kulaklanma olarak da bilinen bu durum esasen iş parçasının sahip olduğu düzlemsel anizotropinin en belirgin göstergesi olarak kabul edilir (Şekil 3.12). Literatürde genellikle  $\Delta R$  ile sembolize edilen düzlemsel anizotropi, malzeme için farklı yönlerde hesaplanan plastik anizotropi değerleri yardımıyla aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [12];

$$\Delta R = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{2} \quad (8)$$



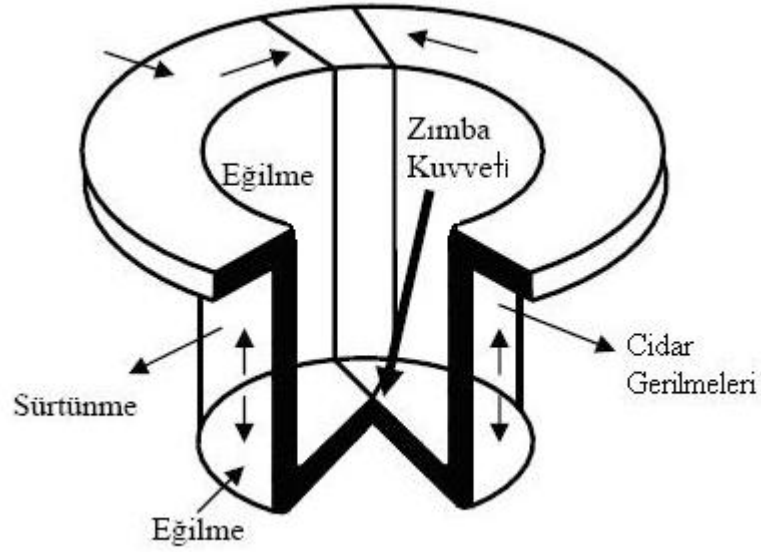
**Şekil 3.12.** Üç Farklı sac malzemenin derin çekilerek elde edilen iş parçalarında meydana gelen kulaklanma.

$\Delta R$ 'nin sıfır olması durumunda iş parçasında kulaklanma oluşmaz. Çekme sonucu iş parçasında ortaya çıkacak kulakların yüksekliği  $\Delta R$  ile doğru orantılıdır. Çekme işlemi sonunda iş parçasında ortaya çıkan kulakların adedi genellikle dört olmakta ancak, farklı anizotropik durumlarda bu sayı iki, altı ve sekiz değerlerini de alabilmektedir [14].

Çekme işlemi tamamlandıktan sonra, ortaya çıkan kulaklar iş parçasının çevresi boyunca kesilerek ayrılırlar. Malzeme kaybının yüksek olmaması için kulaklanma miktarı en aza indirgenmelidir.

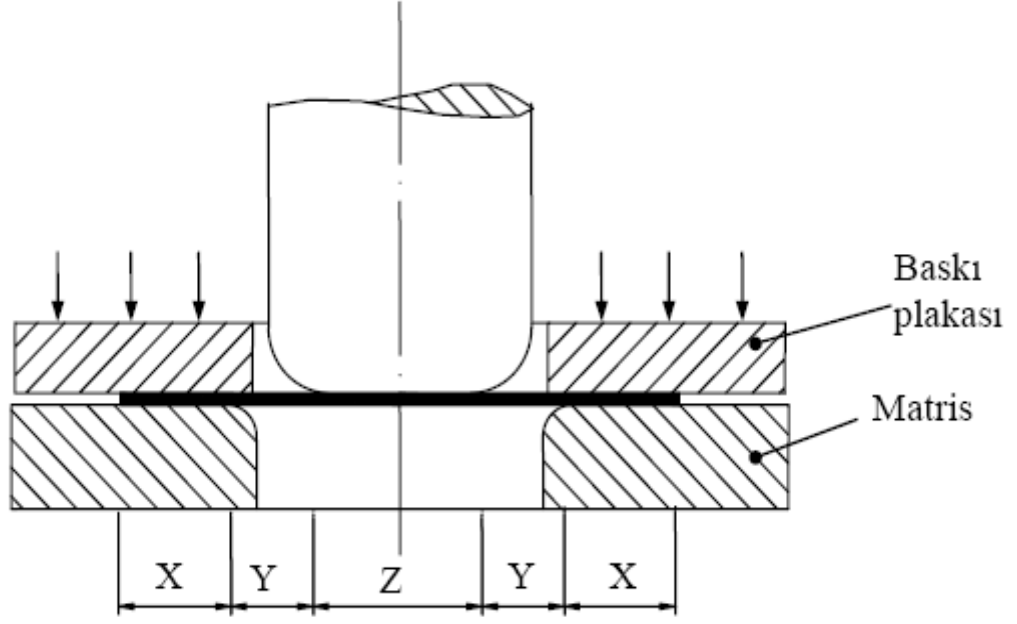
### 3.6 Derin Çekme İşleminde İş Parçası Kalınlığının Değişimi

Çekme etkisinden dolayı sac bünyesinde ortaya çıkacak kuvvetler, malzemenin kalınlığının da değişimlere neden olmaktadır. Önceki bölümlerde, meydana gelen bu iç kuvvetlerin bazılarının iş parçası üzerindeki olumsuz etkilerine değinilmişti. Şekil 3.13’de ise silindirik bir parçanın sac çekme yöntemiyle üretimi esnasında, parça iç yapısında ortaya çıkan kuvvet ve gerilmeler genel olarak görülmektedir [15].



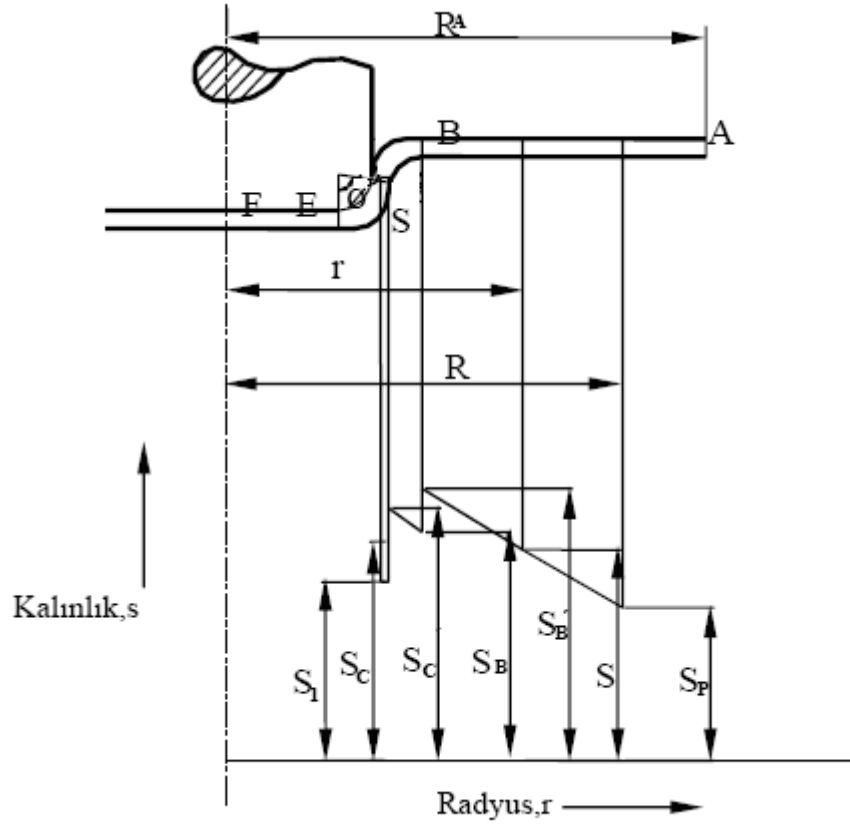
Şekil 3.13 Derin çekme işleminde iş parçasına etki eden kuvvetler.

Çekme işleminde kullanılan elemanlarla temas halinde olduğu bölgelerine göre, dairesel bir sac levha, üç ana kısımda incelenebilir. Bu bölgeler X, Y ve Z diye adlandırarak gösterilebilir (Şekil 3.14 [16, 17]).



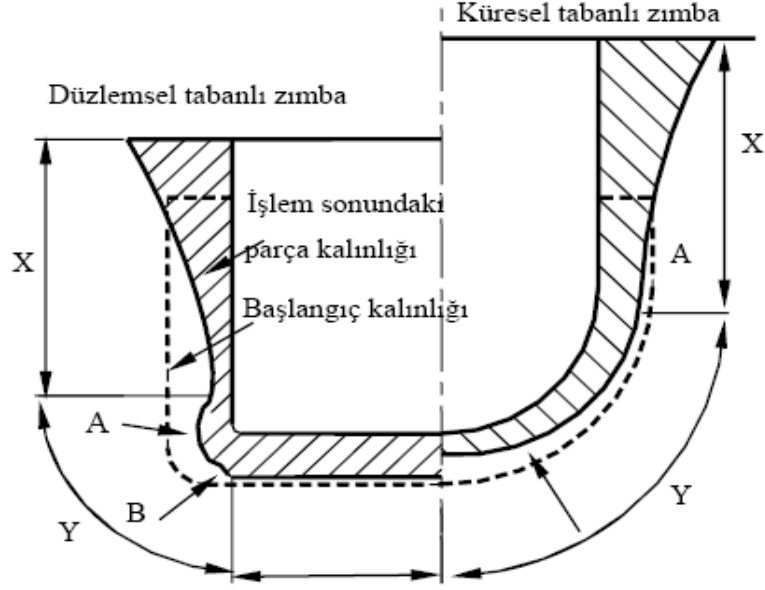
**Şekil 3.14** Çekme başlangıcında iş parçasının durumu; Sıkıştırma kalıbı (baskı plakası), Matris.

Yukarıdaki şekilde X olarak adlandırılan halka biçimli bölge matrisle, Z bölgesi zımba alt yüzeyi ile temas halindedir. Y bölgesi işlem başlangıcında zımbaya da, kalıba da temas etmemektedir. Çekme esnasında X bölgesini meydana getiren malzeme, zımba kuvvetinin neden olduğu radyal çekme gerilmesi vasıtasıyla kalıp boşluğuna doğru çekilir (Şekil 3.14, [15]). Malzemenin, içinden geçmeye zorlandığı kalıp boşluğu çapı, halkanın başlangıç çapından küçük olduğu için bu bölgede teğetsel basınç gerilmeleri ve buna bağlı malzeme yığılması ortaya çıkar. Bir başka anlatımla, ilkel dairesel iş parçası üzerinde ve daire merkezinden R kadar uzakta bulunan bir referans parçası, radyal çekme sonucunda merkeze yaklaştıkça kalınlaşır (Şekil 3.15, [16]). X bölgesindeki bu kalınlaşma, derin çekilmiş parçaların daha ziyade dış kısımlarında kendini göstermekte, bu bölgenin son bulunduğu noktada et kalınlığı yeniden artmaktadır (Şekil 3.16, [16]). Bir başka deyişle, X bölgesinin bitiminde iş parçasında boyun oluşumu (Şekil 3.16'da (A)) meydana gelmektedir.



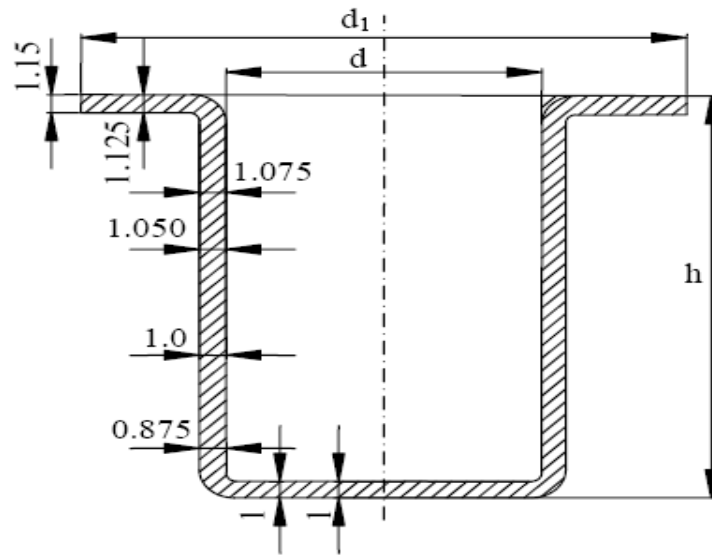
**Şekil 3.15** Derin çekme işlemi boyunca kalınlık değişiminin seyri [16].

Y bölgesinde iş parçası malzemesi zımba radyüsü ve kalıp çekme kenarı boyunca kayma ve eğilmeye, kalıp ile zımba arasında ise uzamaya çalışmaktadır. Bu da, eğilmenin meydana geldiği noktada, Şekil 3.15’de görülen ani incelmeye Şekil 3.16’da, B ile gösterilen ikincil bir boyunlaşmaya yol açmaktadır.



**Şekil 3.16** Farklı geometrilere sahip zımbalarla yapılan derin çekme işleminde malzeme cidarında oluşacak kalınlık değişimlerinin karşılaştırılması [16].

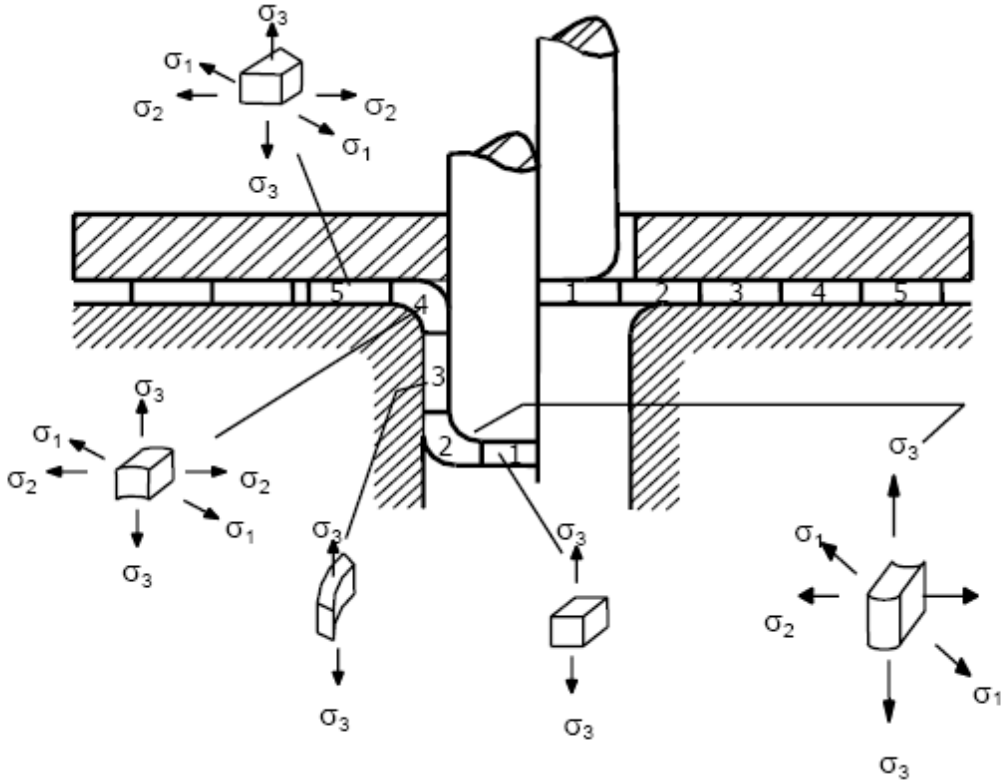
Z bölgesinde ise iş parçasının zımba alın yüzeyine temas eden kısımları uzama ve kaymaya yani radyal yönde gerilmeye çalışır. Gerilme durumu diğer bölgelere göre nispeten daha homojen olduğundan (Şekil 3.17) çekilmiş iş parçasının taban kısmında et kalınlığı yaklaşık olarak sabit kalır. Burada ortaya çıkacak gerilmeler ise, mevcut sürtünme katsayısı ve zımba biçiminin fonksiyonudur [16], [14].



**Şekil 3.17** Çekilerek imal edilmiş silindirik bir kaptaki cidar kalınlıklarının değişimi (Başlangıç malzeme kalınlığı  $S=1$  mm,  $d=12$  mm,  $d_1=22$  mm,  $h=21$  mm) [15].

### 3.7 Kademeli Çekme

Derin çekme esnasında malzemenin plastik deformasyona zorlanması malzeme üzerinde birçok gerilmenin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu gerilmeler Şekil 3.18’de verilmektedir. Derin çekme işleminin başarılı olabilmesi için malzeme bu gerilmelere dayanım gösterebilmelidir.

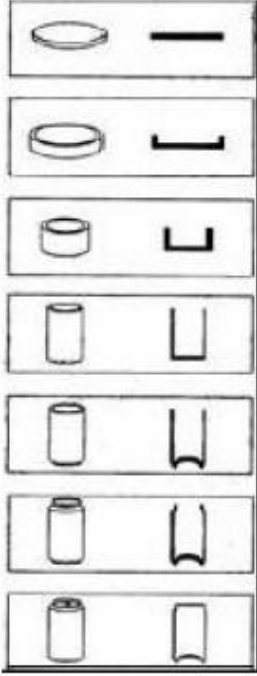


Şekil 3.18 Derin çekme esnasında meydana gelen gerilmeler [5].

Sacın ilk çapı ile zımba çapı arasındaki oran büyüdükçe sacı plastik deformasyona uğratabilecek zımba kuvveti büyümektedir. Zımba kuvvetinin artması derin çekme esnasında oluşan gerilmelerin büyümesine yol açmaktadır. Bu nedenle derin çekme esnasında oluşan bu büyük gerilmelere mukavemet gösteremeyen iş parçasında yırtılmalar meydana gelmekte ve derin çekme işlemi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır.

Gerilmeler şekil değişimleri ile orantılı olduklarından her çekme operasyonunda malzemenin dayanabileceği şekil değişimi uygulanmalıdır [5].

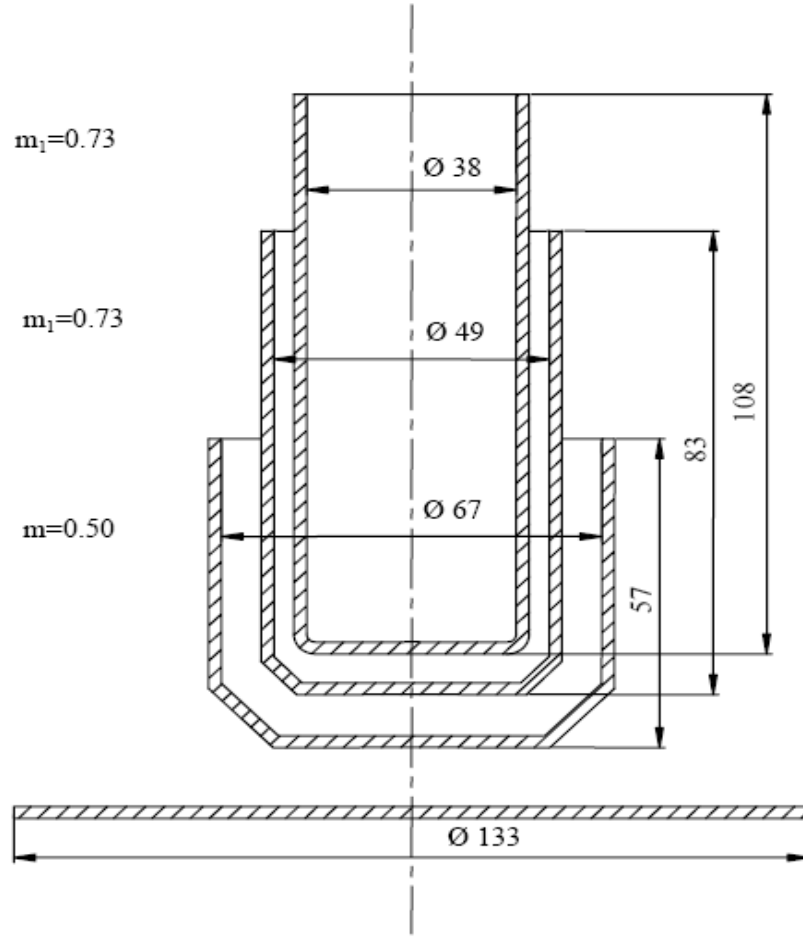
Büyük çekme oranına sahip parçaların imalatında oluşabilecek büyük gerilmeleri engellemek için kademeli kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde imal edilecek iş parçası, kademe kademe plastik deformasyona uğrattılıp, yırtılma oluşmadan parça istenilen şekle getirilmektedir. Şekil 3.19’da kademeli çekme işlemine örnek olarak, meşrubat kutusunun imalatı gösterilmektedir.



**Şekil 3.19** Meşrubat kutusunun imalatı.

Şekil 3.20’de gösterilen 0,8 mm kalınlığındaki sacdan 30 mm yüksekliğinde 24,8 mm iç çapında bir parça üretebilmek için kaç kalıp gerektiği gösterilmektedir. Yapılan hesaplara göre sacın ilkel çapının 60 mm olması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre çekme oranı

$$\beta = \frac{D}{d} = \frac{60}{24} = 2,419 \text{ olur. Çekme oranının büyük olmasından bu parçanın tek kalıpta imal edilemeyeceği anlaşılmaktadır. Yapılan hesaplar neticesinde bu parçanın ancak 4 farklı operasyonla imal edilebileceği tespit edilmiştir.}$$

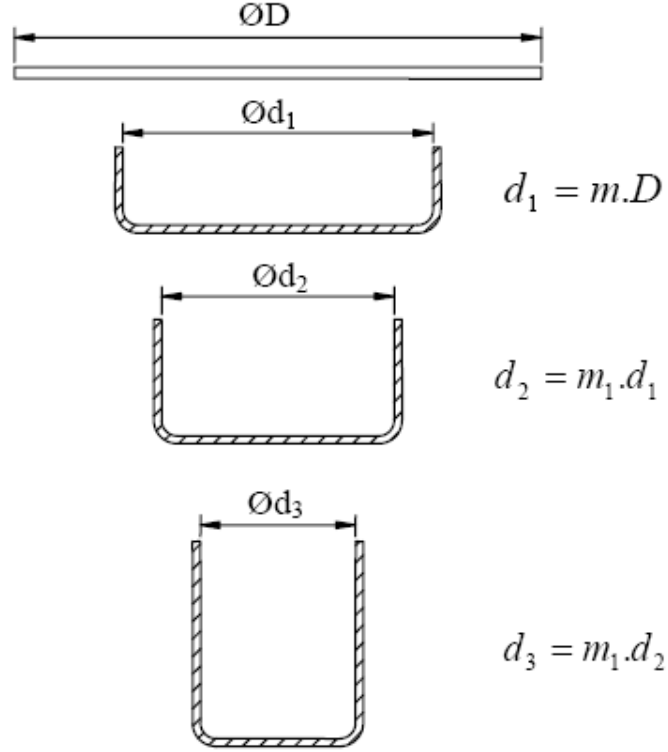


**Şekil 3.20** Çekme oranı büyük olan bir parçanın kademeli kalıplama ile imalatı [18].

Derin çekme operasyonlarındaki bütün şekil değişimlerini belirleyip buna göre çekme kademesi boyutlarını veren teorik bir çözüm yolu bulunmamaktadır.

Pratikte kademe sayısının hesaplanmasında çekme oranı ( $\beta$ ) yada çekme modülü ( $m = \frac{1}{\beta}$ ) kullanılmaktadır. Bu hesaplama yöntemi aşağıda anlatılmaktadır.





Şekil 3.21 Çekme kademelerinin hesaplanması.

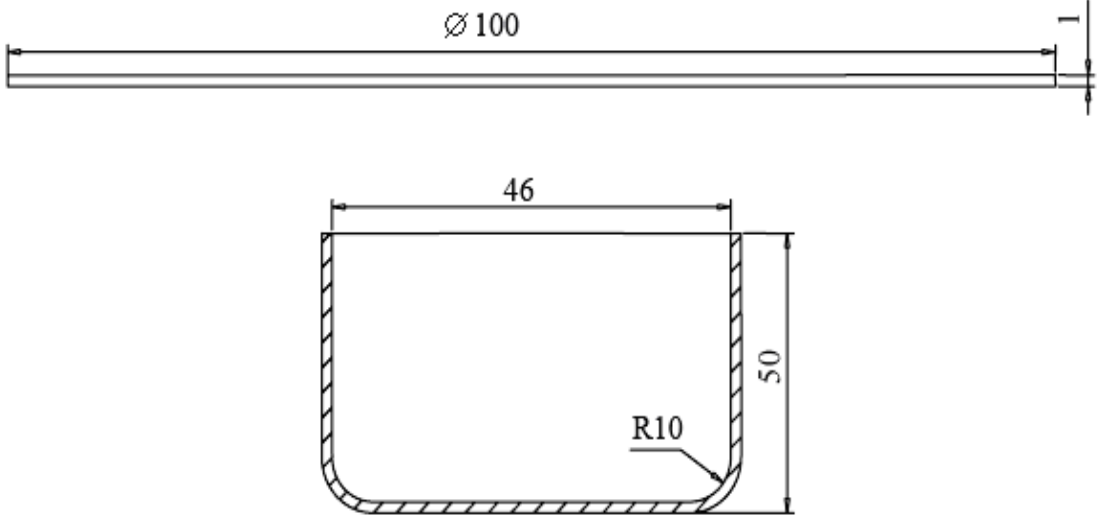
$$m = \frac{d_1}{D} = \frac{1}{\beta} \quad (9)$$

$$m_1 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_3}{d_2} = \frac{d_4}{d_3} = \dots = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (10)$$

Yukarıdaki oranlardan da anlaşılacağı gibi ilk çekme için kademesi oranı ( $m$ ), diğer kademelerde kullanılan oranlardan ( $m_1$ ) farklıdır. Bunun nedeni ilk çekme esnasında parçada pekleşme olmasıdır. İlk çekmeden sonra parça sertleştiği için diğer kademelerde çekme biraz daha zorlaşmaktadır. İşte bu yüzden ikinci ve daha sonraki çekmelerde çekme kademesi oranı yükseltilmektedir.

Şimdi pratikte kullanılan kademe sayısının hesaplanmasına örnek verelim.

1 mm kalınlığındaki DKP 37 sacından iç çapı 46 mm, yüksekliği 50 mm olan bir parça geleneksel derin çekme metoduyla imal edilmek isteniyor yapılan hesaplama göre sacın ilkel çapının 100 mm olması gerektiği tespit edilmiştir.  $\beta=1,75$  ve  $m_1=0,8$  kabul ederek kademe sayısını hesaplayalım.



Şekil 3.22 Derin çekilecek parça.

Verilenler:

$$d=46 \text{ mm}$$

$$D=100 \text{ mm}$$

$$h=50 \text{ mm}$$

$$t=1 \text{ mm}$$

$$\beta=1,75$$

$$m_1=0,8$$

$$m = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{1,75} = 0,57 \text{ bulunur.}$$

$$d_1 = m.D = 0,57.100 = 57 \text{ mm}$$

$$d_2 = m_1.D_1 = 0,8.57 = 45,6 \text{ mm}$$

Ø46 mm'ye ancak ikinci safhada ulaşılabilir. Dolayısıyla bu parça 2 kalıpta imal edilebilmektedir. Bu parça bir kalıp kullanılarak imal edilmeye kalkılırsa parça derin çekme esnasında meydana gelen gerilmelere dayanım gösteremeyip yırtılacaktır.

### 3.8 Derin Çekmede Kullanılan Saclar

Kesme, bükme, çekme v.b. talaşsız şekillendirme işlemleri için seçilecek saclarda aranacak ilk şart ön görülen presleme işlemine uygunluk olmalıdır. Seçilen malzemede presleme esnasında çatlama, yırtılma, kopma gibi istenmeyen durumlar meydana gelmemelidir.

Ayrıca pres işlemleri için düşünülen parçaların şekilleri de seçilen presleme yöntemine uygun biçimde belirlenmelidir.

Preslemede “kesme” yöntemi ile imal edilecek parçalar için seçilecek çelik sacın türünün fazla önemi yoktur. Bu malzemelerin imalat sonrası yapılacak yüzey işlemlerine uygun üst yapıda olması gerekir.

Bükme-Çekme-Sıvama gibi yöntemlerle üretilecek parçalar için seçilecek sacın önemi büyüktür. Çünkü bu imal yöntemine şekil değişikliği söz konusu olduğundan malzeme ön görülen biçime uygun operasyon şekli seçilmiş ise çatlama, yırtılma, kopma olmadan girebilmelidir.

Preslik saclar yumuşak alaşımsız çeliklerden kullanım amaçlarına göre sıcak veya soğuk haddelene yöntemi ile imal edilmektedir. Pres işlerinde kullanılan 2(mm)'nin altındaki saclar soğuk haddelene yöntemi ile imal edilmişlerdir. Sıcak haddelenmiş saclarda işlem sonrası yüzeyde oluşan tufallar asitle giderildikten sonra piyasaya verilir. Sıcak veya soğuk haddelenmiş saclar arasında yapılacak seçim bir kalite tercihinden çok, arzulanan kalınlıktaki malzemeyi temin edebilme sorunudur. Kalın sacları soğuk, ince sacları da sıcak haddelenmiş olarak temin güçtür. Orta kalınlıktaki saclarda ise üretilecek parçadaki üst yüzey durumu tercihi belirleyen bir faktör olacaktır, yüzey durumu önemli değilse sıcak hadde saclar daha ucuz olacağından tercih edilebilir. Boyut toleranslarındaki hassasiyet açısından soğuk haddelenmiş saclar sıcak haddelenmiş saclardan üstündür [18].

### 3.9 Çekme Hataları ve Giderilmesi

Buruşma, yırtılma ve benzeri hatalar, çekme kalıplarında üretilen parçalarda hiçbir zaman kabul edilmez. En çok rastlanan çekme hataları ve sebepleri aşağıda açıklanmıştır.

Çekilen kabın et kalınlığı; çekme işlemine tabi tutulan parça eğilme, basılma ve çekilme gerilimlerine uğramaktadır. Eğilme, basılma ve çekilme bölgelerindeki bu değişme tam anlamıyla açıklanamamaktadır. Ancak çekilen biçim kabın et kalınlığındaki değişme, kap malzemesinin cinsine, çekme derinliğine, çekme hızına, baskı plakası kuvvetine, kalıpla çekilen kap arasındaki sürtünme katsayısına (yağlama sistemine) ve tek taraflı kalıp boşluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Portakal kabuğu biçimi (pütürlenme); çekilen kap yüzeyinde malzeme yuvarlanması meydana gelebileceğinden kaliteli yüzey elde edilemez. Böylece, çekilen yüzeyde matlaşma meydana gelmektedir. Bu şekilde matlaşmış kaba yüzeye (yüzeyde meydana gelen irili ufaklı yumrulara), portakal kabuğu biçimi veya portakal kabuğu görünümlü yüzey denilmektedir. Bu

şekilde meydana gelen hatanın giderilmesi için kalıplanan parça keçelerle parlatılır veya yüzey kromla kaplanır. Bu işlem kalıplanan parçanın maliyetini arttıracığından bunun yerine parça temperlenir veya normalleştirme tavına tabi tutulmaktadır. Ancak bu işlemde çekilen kabın yırtılmamasına dikkat edilmelidir.

Kulaklanma (çıkıntı); flanşlı çekme işleminin dışındaki kaplarda sık sık rastlanan hatalardan biridir. Çekme anında çekilen biçim kabın hadde yönünde uzama meydana gelmektedir. Çünkü, hadde yönünde malzeme yuvarlanması daha fazladır ve silindirik parçalar için çevrede kulaklanma sayısı malzeme yuvarlanmasına göre değişkendir. Bu hatanın giderilebilmesi, ilkel çapın veya boyutların fazla alınması ve çekme işleminden sonra kap ağzının düzeltilmesiyle sağlanır.

Çizilme, zedelenme ve çentiklenme; çekme anında sac malzeme, kalıp yüzeyine sürtünür. Sürtünmeden dolayı kap yüzeyinde çizilme, zedelenme veya giderilmesi güç çentiklenme meydana gelmektedir. Bu tip hataların giderilebilmesi için kalıbın uygun şekilde yağlanması, temiz tutulması ve çekme anında meydana gelebilecek ısının yok edilmesi gerekmektedir.

Germe çizgileri (lekeleri); çekme işleminden sonra kap yüzeyinde yama şeklinde çizikler (lekeler) meydana gelmektedir. Bu tip lekeler germe çizgileri adı verilmektedir. Çaprazvari lekeler, çekilen kap yüzeyinde meydana gelen gerilim dağılımının homojenliğini önler. Ancak bu tip çekme hatası genelde az olmaktadır.

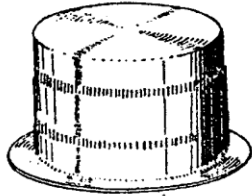
Renk değişimi (yanma); yüksek parlatma çekme işlemlerinde bu tip hatalar sık sık meydana gelmektedir. Bu ve benzeri hataların giderilebilmesi için tek taraflı kalıp boşluğu artırılır.

Buruşma; çekilen kap malzemenin flanş veya gövde kısımların da buruşmalar meydana gelebilir. Bu buruşmalara malzeme yığılması adı verilmekte ve çekilen kabın yırtılmasına sebep olmaktadır. Buruşmayı önlemek için tek taraflı kalıp boşluğunu ve baskı plakası kuvvetini iyi ayarlamak gerekmektedir. Ayrıca, kalıp ağzı ve zımba ucu kavisi, buruşmayı önleyecek biçimde yapılmalıdır.

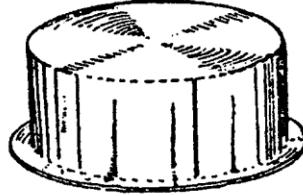
Geri esneme; çekme kalıbından çıkan kap, geri esneme sonucu açılmaktadır. Bu açılmayı önlemek için, kalıp ağızdan itibaren bir miktar içe doğru konikleştirilir.

Bunların dışında da pek çok çekme hataları meydana gelmektedir. Simetrik çekme işleminin yapılamayışı, flanşlı kaplarda ağız ve tabanda yırtılma bölgelerinin oluşması,

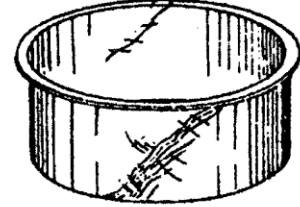
dikdörtgen veya kare çekmelerde köşe yırtılması bunlara örneklerdir [19]. Şekil 3.23’de çekme hataları ile ilgili örnekler verilmiştir.



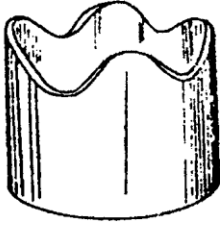
a. Bileziklenme.



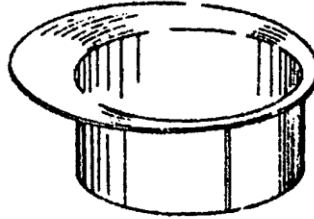
b. Çizik.



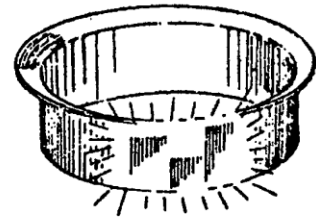
c. Germe çizgileri.



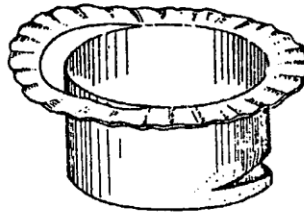
d. Kulaklanma.



e. Simetri olmayan.



f. Yanma.



g. Yırtılma.

Şekil 3.23 Çekilen kaplarda oluşan hatalar [19].

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sac metal kalıpcılığı, kesici çelik teknolojisinin hızla ilerlemesi ve elektro erozyon tezgâhlarının yaygınlaşması sonucu ülkemizde büyük bir aşama kaydetmiştir. Özdeş parça üretiminin en ekonomik yolu olan sac metal kalıpları ile kesme, bükme ve derin çekme işlemleri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada merkezi delikli Al 1050 alaşımlı alüminyum malzemeden hazırlanan deney numunelerinin derin çekilerek şekillendirilebilirliği incelenmiştir.

##### 4.1 Deney Malzemesi ve Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada derin çekme uygulamalarında sıkça kullanılan Al 1050 alaşımlı alüminyum malzemesinin 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm kalınlıklarındaki levhalarından hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemelerin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** 0,5 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.

KİMYASAL BİLEŞİM / CHEMICAL COMPOSITION											MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES			
%							ppm				%	Çekme D. (mpa)	Akma D. (mpa)	A50 Uzama (%)
Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Zn	Mg	Cr	Pb	Cd	Hg	al			
0,10	0,22	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	10	15	0	0	99,59	120	116	2,90

**Çizelge 4.2** 1 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.

KİMYASAL BİLEŞİM / CHEMICAL COMPOSITION											MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES			
%							ppm				%	Çekme D. (mpa)	Akma D. (mpa)	A50 Uzama (%)
Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Zn	Mg	Cr	Pb	Cd	Hg	al			
0,12	0,24	0	0,01	0,02	0,01	0	10	10	0	0	99,57	115	109	8

**Çizelge 4.3** 1,5 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.

KİMYASAL BİLEŞİM / CHEMICAL COMPOSITION											MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES			
%							ppm				%	Çekme D. (mpa)	Akma D. (mpa)	A50 Uzama (%)
Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Zn	Mg	Cr	Pb	Cd	Hg	al			
0,11	0,26	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	15	10	0	0	99,56	105	85	3,00

**Çizelge 4.4** 2 mm kalınlıktaki Al 1050 sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.

KİMYASAL BİLEŞİM / CHEMICAL COMPOSITION											MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES			
%							ppm				%	Çekme D. (mpa)	Akma D. (mpa)	A50 Uzama (%)
Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Zn	Mg	Cr	Pb	Cd	Hg	al			
0,12	0,26	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	10	10	0	0	99,56	115	106	14,80

Sac malzemenin şekil bozukluğu ve çapaklı oluşu, malzeme akışını olumsuz olarak etkiler [20]. Bunu önlemek için bütün kalınlıklardaki parçalar önce 92 mm çaptan büyük kare levhalar halinde giyotin makasta kesildi, kesilen kare levhaların merkezleri bulunarak işaretlendi. Radyal matkapta belirlenen merkezlere 5 mm çapında delikler delindi. Delinen bu delikler vasıtası ile bir mile geçirilerek torna tezgâhının aynasına bağlandı.

Kalınlıklar farklı olduğundan çekme oranı limitleri değişmektedir bu sebeple her malzeme için deliksiz blank ile çekme oranı limitleri bulunmuş taslak malzemeler buna göre hazırlanmıştır. Yapılan ön deneylerde  $LDR_{max}$  1,86 olarak belirlendiğinden deney numuneleri hazırlanırken LDR sabit olarak 1,86 alındı ve kullanılan zımba çaplarına göre taslak malzeme çapları hesaplandı. 48,80 mm çapındaki zımba için 0,5 mm kalınlığındaki taslak malzeme çapı;

$$LDR = \frac{D_m}{d_z} \Rightarrow 1,86 = \frac{D_m}{48,80} \Rightarrow D_m = 90,76 \text{ mm,}$$

47,80(mm) çapındaki zımba için 1 mm kalınlığındaki malzeme çapı;

$$LDR = \frac{D_m}{d_z} \Rightarrow 1,86 = \frac{D_m}{47,80} \Rightarrow D_m = 88,90 \text{ mm,}$$

46,80(mm) çapındaki zımba için 1,5 mm kalınlığındaki malzeme çapı;

$$LDR = \frac{D_m}{d_z} \Rightarrow 1,86 = \frac{D_m}{46,80} \Rightarrow D_m = 87,04 \text{ mm,}$$

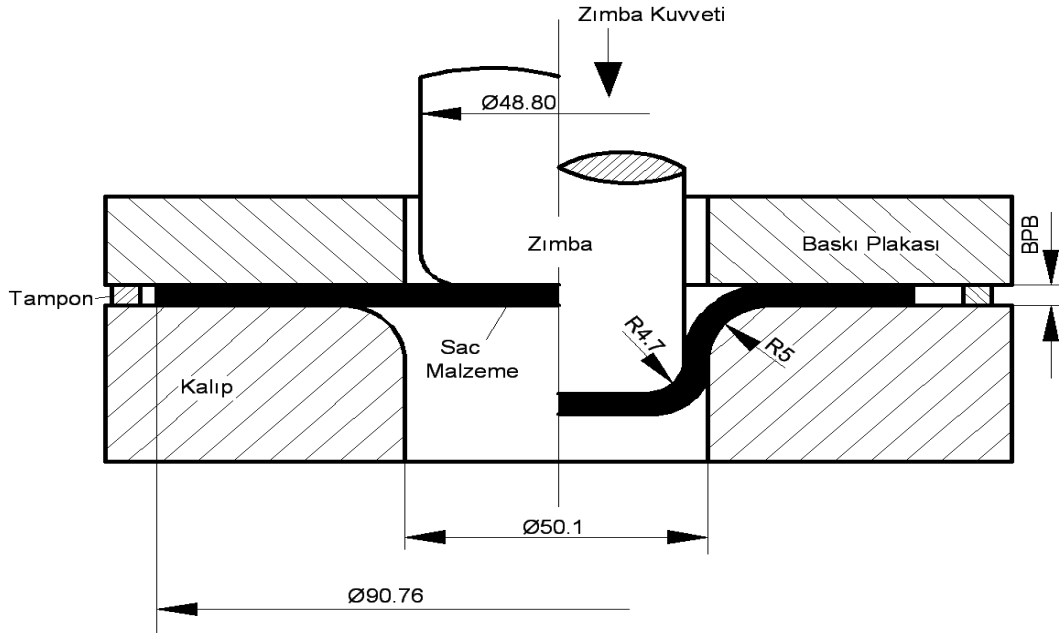
45,80(mm) çapındaki zımba için 2 mm kalınlığındaki malzeme çapı;

$$LDR = \frac{D_m}{d_z} \Rightarrow 1,86 = \frac{D_m}{45,80} \Rightarrow D_m = 85,18 \text{ mm olarak bulundu.}$$

Taslak malzemeler bulunan bu malzeme çaplarına göre torna tezgâhında hassas bir şekilde tornalanarak dairesel forma getirildi. Taslak malzemelerin merkezlerindeki delikler 5 mm çaptan başlayıp daha sonraki her bir numune için 1 mm artacak şekilde tornada hassas biçimde işlendi, bu işlem bütün kalınlıklardaki malzemeler için tekrarlandı. Tornalama işlemi biten numunelerin çapakları tek sıralı üçgen eğe ile alındı. Daha sonra yatay ve düşey eksenleri çizildi.

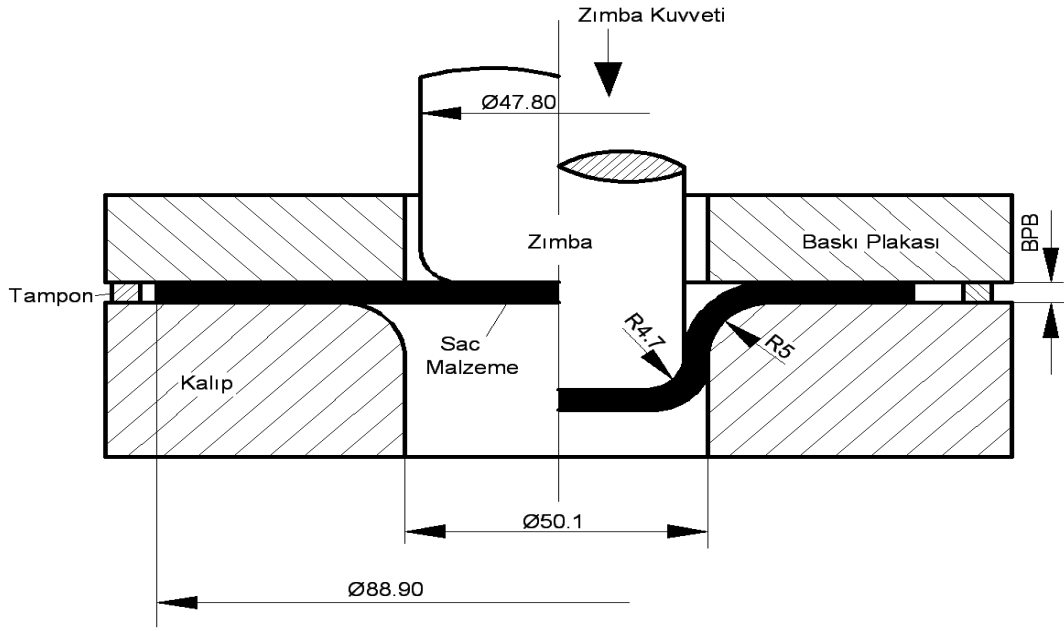
#### 4.2 Kalıp Tasarımı ve İmalatı

Kalıp malzemesi olarak K100 Böhler çeliği kullanılmış, kalıp elemanları sertleştirildikten ve taşlandıktan sonra malzeme akış yönüne paralel olarak son yüzey işlemine tabi tutulmuştur. Kalıp elemanlarının sertliği 58 RC olarak ölçülmüştür. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de deneylerde kullanılan takım geometrileri gösterilmiştir.

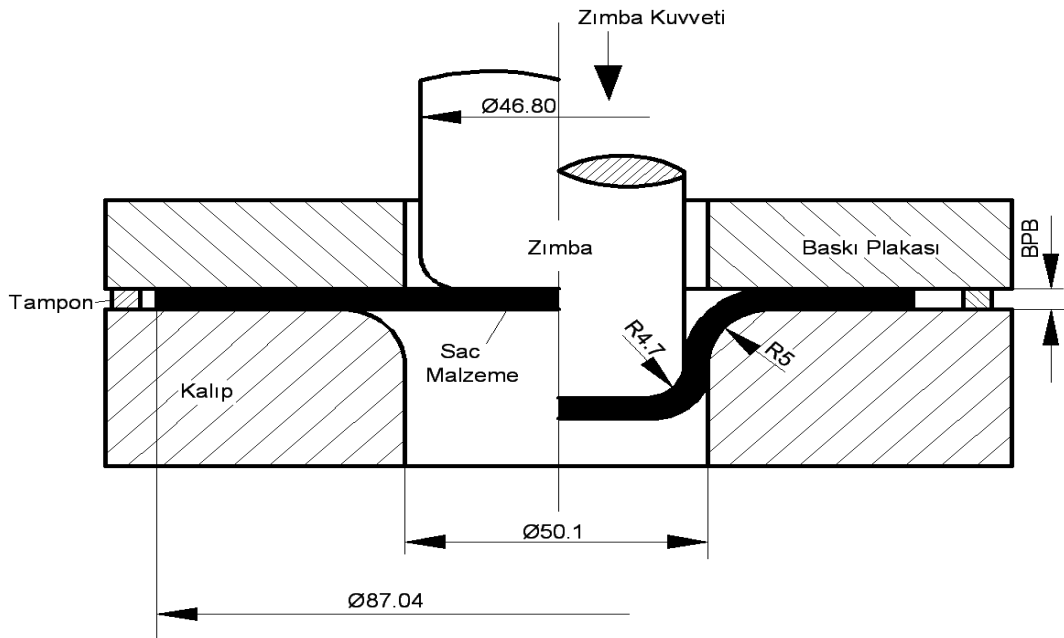


Şekil 4.1 0,5 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.

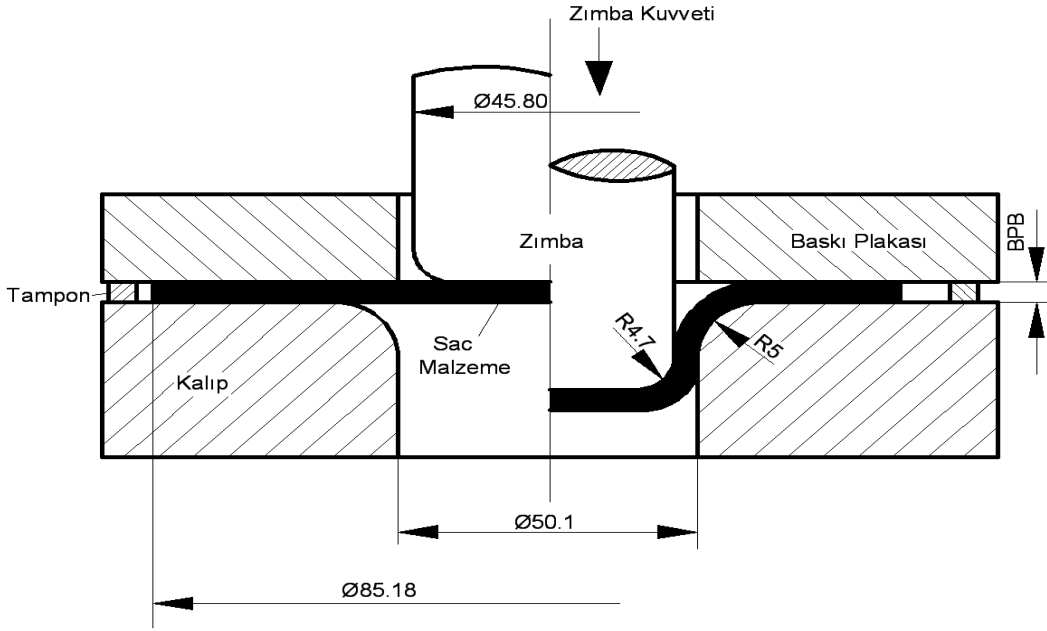




Şekil 4.2 1 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.

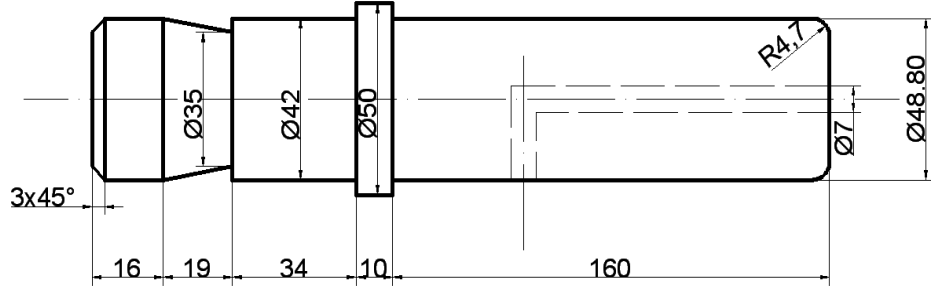


Şekil 4.3 1.5 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.

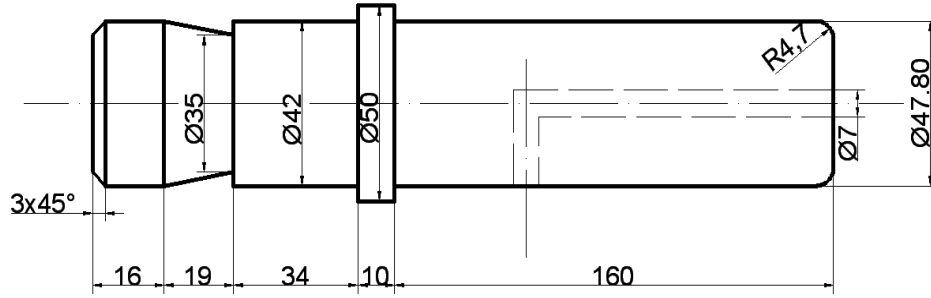


**Şekil 4.4** 2 mm kalınlıktaki taslak malzemelerin derin çekme işlemlerinde kullanılan takım ve kalıp geometrisi.

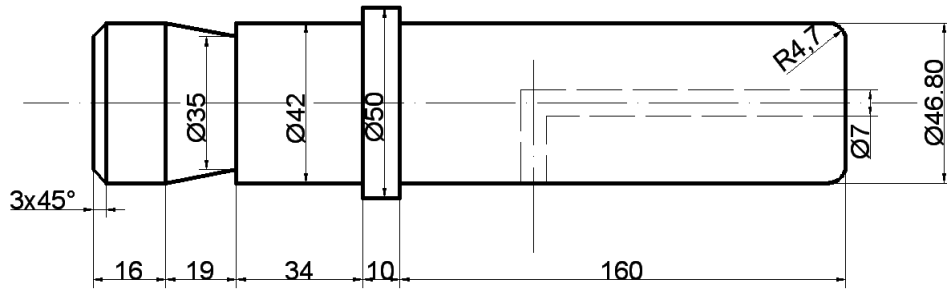
Deneyleerde zımba ölçüleri hariç kalıp elemanlarının bütün ölçüleri (kalıp ölçüleri, baskı plakası ölçüleri v.b.) aynı tutulmuştur. Farklı kalınlıklardaki sac levhalar için dört adet zımba imal edilmiştir.  $t = 0,5$  mm kalınlığındaki numuneler için  $\text{Ø}48,80$  mm,  $t = 1$  mm kalınlığındaki numuneler için  $\text{Ø}47,80$  mm,  $t = 1,5$  mm kalınlığındaki levhalar için  $\text{Ø}46,80$  mm ve  $t = 2$  mm olan numuneler için de  $\text{Ø}45,80$  mm ölçüsünde zımba imal edildi. İmal edilen zımbaların ölçüleri şekil 4.5' de verilmiştir.



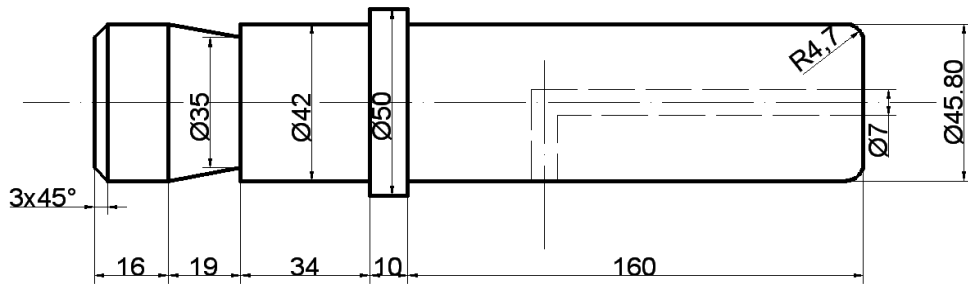
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 4.5** Deneylerde kullanılan zımbaların ölçüleri.

- 0,5 mm kalınlıktaki malzemeler için kullanılan zımba.
- 1 mm kalınlıktaki malzemeler için kullanılan zımba.
- 1,5 mm kalınlıktaki malzemeler için kullanılan zımba.
- 2 mm kalınlıktaki malzemeler için kullanılan zımba.

### 4.3 Kalıbın Prese Bağlanması

Deneyleer 80 tonluk hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Öncelikle imal edilen kalıbın, alt bölümü yani dişi kalıp kısmı pres tezgahının tablasına deney gerçekleştirilirken hareket etmeyecek ve hassasiyeti bozulmayacak bir biçimde sağlam olarak monte edildi. Zımbanın pres tezgahına sağlam bir biçimde montajı gerçekleştirildikten sonra, pres tezgahının tablasına bağlanmış olan dişi kalıbın eksen ayarları ve kalıbın çalışabilmesi için gerekli olan boşluklar hassas bir biçimde gerçekleştirildi. Şekil 4.6'da deneyleerin gerçekleştirildiği hidrolik pres ve deney düzeneği gösterilmiştir.



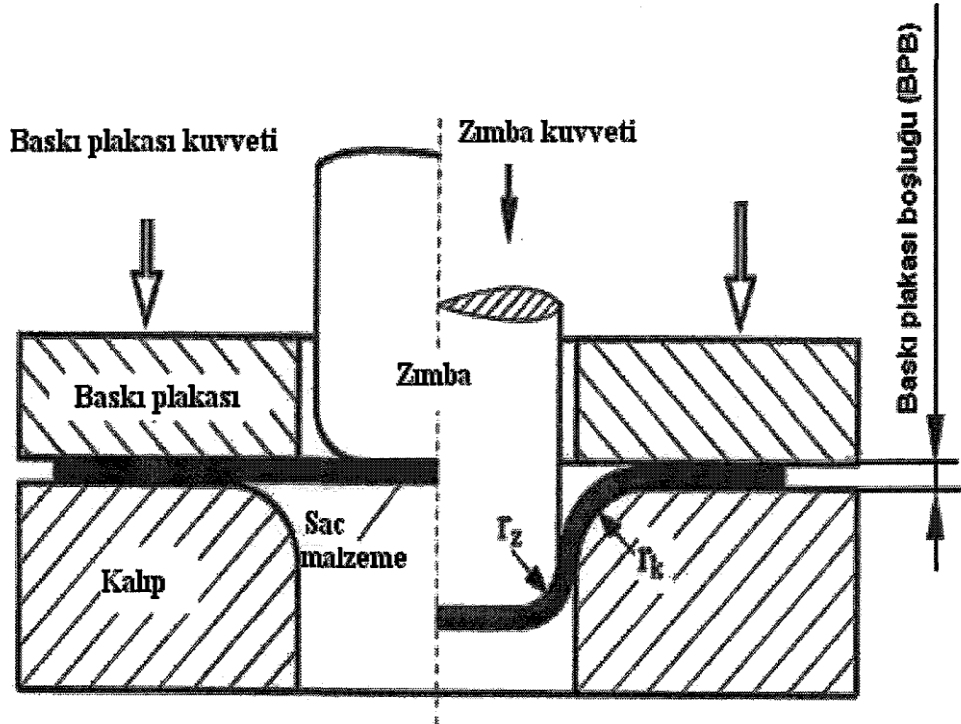
Şekil 4.6 Deneyleerin gerçekleştirildiği hidrolik pres ve deney düzeneği.

#### 4.4 Metal Akışını Kontrol Etme Yöntemleri

Derin çekme işleminin en önemli kısımlarından bir tanesi metal akışının kontrol edilmesidir. Metal akışı üç şekilde kontrol edilmektedir;

1. Baskı plakası kuvveti ile,
2. Baskı plakası boşluğu ile,
3. Çekme yatağı ile,

Yapılan deneylerde metal akışını kontrol etmek için kalıp ile baskı plakası arasındaki sabit mesafe olarak tanımlanan baskı plakası boşluğu sistemi kullanılmıştır. Şekil 4.7’de bu durum gösterilmiştir.

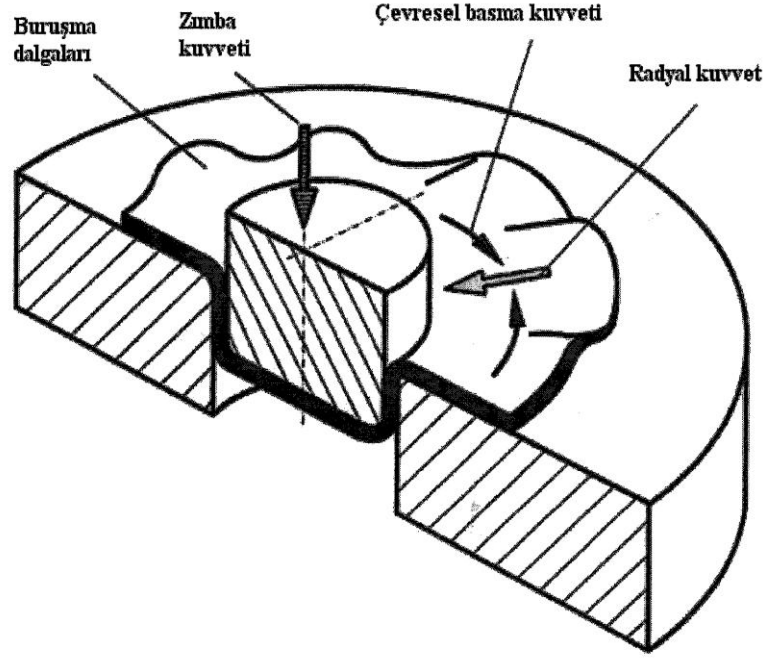


Şekil 4.7 Baskı plakası boşluğu [21].

Baskı plakası boşluğu tek operasyonlu çekme işlemlerinde parça kalınlığının %100’ü ile %130’u kadar alındığında olumlu sonuçlar vermektedir [21].

Derin çekme işleminin başlangıcında en önemli olay metal akışının başlaması, yönlendirilmesi ve kontrol edilmesidir. Metal akışının başlamaması halinde taslak malzeme zımba köşelerinden hemen kopar. Derin çekmede metal akışını kontrol etme yöntemlerinden biri olan baskı plakası boşluğu sistemi derin çekme işlemine uygulandığında, baskı plakası

kuvveti zımba kursuna bağılı olarak değişir. Bir başka deyişle, oluşan baskı plakası kuvveti buruşma ile orantılıdır. Çekme işleminin başlangıcında baskı plakası kuvveti küçüktür ki bu durum, malzemenin kalıp boşluğuna doğru akması için elverişlidir. Zımba kuvvetinin artması ile çevresel basma kuvveti de artar.



**Şekil 4.8** Derin ekme işleminde sac metalin kalıp boşluğuna çekilmesi esnasında flanş buruşması oluşumu [21].

Şekil 4.8'de çevresel basma kuvveti, malzemenin buruşmaya karşı olan direncini aştığında buruşma meydana gelir ve bu durum baskı plakası kuvvetini arttırır. Maksimum buruşma yüksekliği baskı plakası boşluğu ile belirlenir. Çekme işleminin sonuna doğru kalıp-iş parçası-baskı plakası temas yüzeyi azalacağından baskı plakası kuvveti azalır. Bu durum kopmaların önlenmesi için elverişlidir [21].

#### 4.5 n Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Deney setine bağlanmış olan kalıbın kontrolünü gerçekleştirmek için, önceden belirlenmiş olan ideal malzeme formunu kullanmadan önce daire biçiminde bir n deney numunesi hazırlandı.

İlk olarak bu deney numunesinin, pres tezgahının tablasına bağlanmış olan dişi kalıp üzerine yerleştirme işlemi yapılmadan önce dişi kalıbın üstü derin çekmeyi kolaylaştırmak amacıyla yağlandı. Yağlama maddesi olarak Shell Tellus 27 numara makine yağı kullanıldı, parçanın her iki yüzeyi ile baskı plakasının alt yüzeyi yağlandı. Yağlama işlemi tamamlandıktan sonra hazırlanan ön deney numunesi dişi kalıp üzerine, kalıbın ekseni ile malzemenin ekseni çakışacak biçimde yerleştirildi.

Malzemenin yerleştirilmesi ve yağlanması işlemleri gerçekleştirildikten sonra malzemenin akışını kontrol etmek için dişi kalıpla deney malzemesi üzerine hazırlanan baskı plakası yerleştirildi. Baskı plakası yerleştirilmeden önce dişi kalıp ve baskı plakası arasında boşluk bırakmak amacıyla sac kalınlığının 0,2 mm fazlası kalınlığında tamponlar kullanıldı. Yerleştirilen baskı plakası dengeli bir biçimde sıkıldı.

Baskı plakasının bağlanma işlemi bitince deney seti, deneyin gerçekleştirilebilmesi için hazır konuma gelmiş oldu. Hidrolik pres çalıştırıldı ve ön deneyler gerçekleştirildi.

#### **4.6 Deneylerin Yapılması**

Hazırlanan deney düzeneğinde yapılan ön deneylerden yola çıkarak uygunluğu tespit edilen deney numunelerinin derin çekme işlemi için belirli sayıda deneyler yapılmıştır. Dört farklı kalınlıktaki sac malzemelerin, merkezindeki delik ölçüsü Ø5 mm den başlayıp Ø40 mm ye kadar her bir deney numunesi için 1 mm artacak şekilde hazırlanan taslak malzemeler için deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde meydana gelen durumlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

İlk olarak 0.5 mm kalınlıktaki levhaların derin çekme işlemleri gerçekleştirildi.  $d = 5$  mm çaptan başlayıp 1'er mm artacak şekilde sırayla yapılan deneylerde  $d = 11$  mm ye kadar delikli kapların çekilmesi mümkün olduğu halde  $d=12$  mm çaptaki deliğin olduğu sacdan itibaren yırtılmalar başlamıştır. Elde edilen bulgularda bir tesadüf olup olmadığını anlamak için deneyler 11 mm ve 12 mm civarlarında defalarca tekrarlandı. Şekil 4.9 ve şekil 4,10'da kapların hasara uğramadan derin çekilmiş halleri gösterilmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de ise kapların belirli çaptan sonra çekilmeye müsaade etmediği ve yırtıldığı gösterilmiştir.



**Şekil 4.9** Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 10 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın hasara uğramadan derin çekilmiş hali.

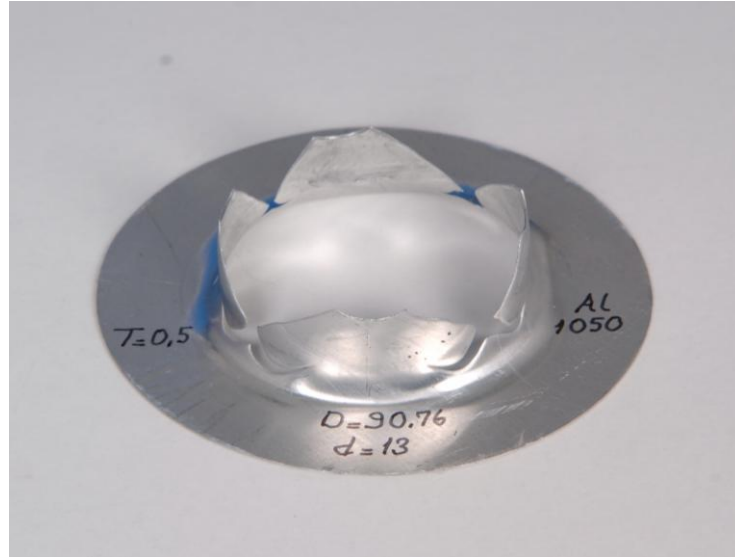


**Şekil 4.10** Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 11 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.





**Şekil 4.11** Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 12 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekme esnasında yırtılmış hali.



**Şekil 4.12** Dış çapı 90,76 mm, delik çapı 13 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.

0,5 mm kalınlıktaki sacın çekilebileceği maksimum delik çapı tespit edildikten sonra, 1 mm kalınlıktaki sacların çekme deneylerine geçildi. Tekrarlanan deneylerden sonra 1 mm kalınlıktaki levhalarında  $d=11$  mm delik çapına kadar derin çekmeye elverişli olduğu tespit edildi. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de 1 mm kalınlıktaki silindirik kapların hasara uğramadan

çekildiği gösterilmiştir. 12 mm çapta ki ve sonraki çaplardaki delik çaplarında derin çekmeye müsaade etmeyen 1 mm kalınlıktaki kapların yırtılmış halleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.13** Dış çapı 89 mm, delik çapı 10 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın hasara uğramadan derin çekilmiş hali.



**Şekil 4.14** Dış çapı 89 mm, delik çapı 11 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.



**Şekil 4.15** Dış çapı 89 mm, delik çapı 12 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilme esnasında yırtılmış hali.



**Şekil 4.16** Dış çapı 89 mm, delik çapı 13 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.

1 mm kalınlıktaki sacın çekilebileceği maksimum delik çapı tespit edildikten sonra, 1,5 mm kalınlıktaki sacların çekme deneylerine geçildi. Tekrarlanan deneylerden sonra 1,5 mm kalınlıktaki levhaların  $d=16$  mm delik çapına kadar derin çekmeye elverişli olduğu tespit edildi.  $d = 17$  mm den itibaren ise yırtılmalar gözlemlendi. 1,5 mm sacların derin çekme esnasında başarılı

olarak çekilmiş ve yırtılmış halleri Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 15 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.



Şekil 4.18 Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 16 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın hasara uğramadan derin çekilmiş hali.



**Şekil 4.19** Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 17 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.



**Şekil 4.20** Dış çapı 87,04 mm, delik çapı 18 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekme esnasında yırtılmış hali.

1,5 mm kalınlıktaki sacın çekilebileceği maksimum delik çapı tespit edildikten sonra, son olarak 2 mm kalınlıktaki sacların çekme deneylerine geçildi. Tekrarlanan deneylerden sonra 2 mm kalınlıktaki levhaların  $d=17$  mm delik çapına kadar derin çekmeye elverişli olduğu tespit

edildi (Şekil 4.21, Şekil 4.22).  $d = 18$  mm den itibaren ise yırtılmalar gözlemlendi. Silindirik kapların yırtılmış halleri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.21** Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 16 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.



**Şekil 4.22** Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 17 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.



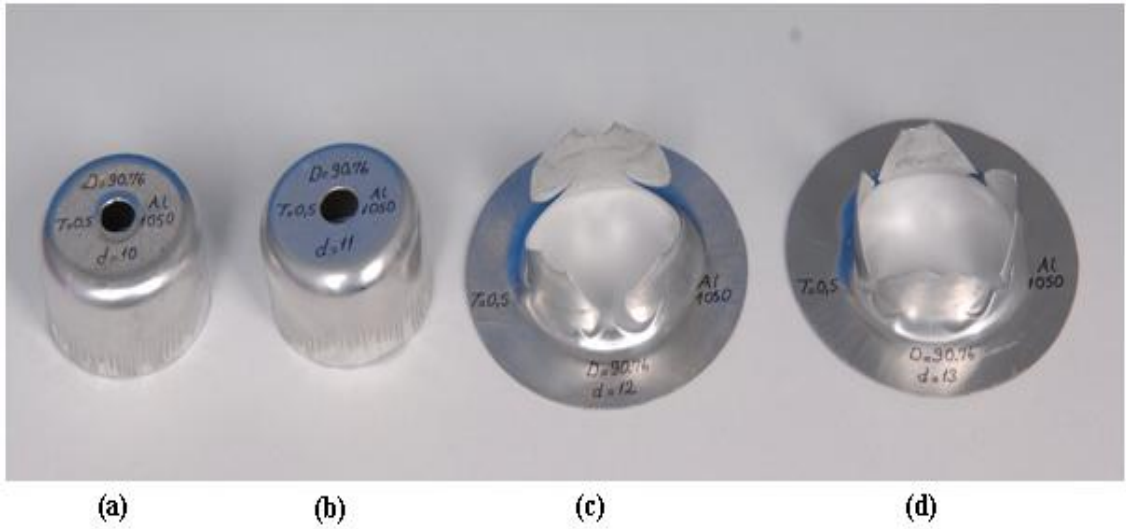
**Şekil 4.23** Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 18 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.



**Şekil 4.24** Dış çapı 85,18 mm, delik çapı 19 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacın derin çekilmiş hali.

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

Merkezi delikli parçaların derin çekilmesine ilişkin yapılan deneylerin sonucunda farklı kalınlıktaki Al 1050 levhaların sabit LDR değerine göre derin çekme deneyleri yapıldı ve farklı çaplardaki delik çaplarında derin çekmeye elverişli olduğu tespit edildi. 0,5 mm kalınlıktaki levhaların derin çekmeye elverişli olan ve derin çekmeye müsaade etmeyen delik çaplarında ortaya çıkan durumlar Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

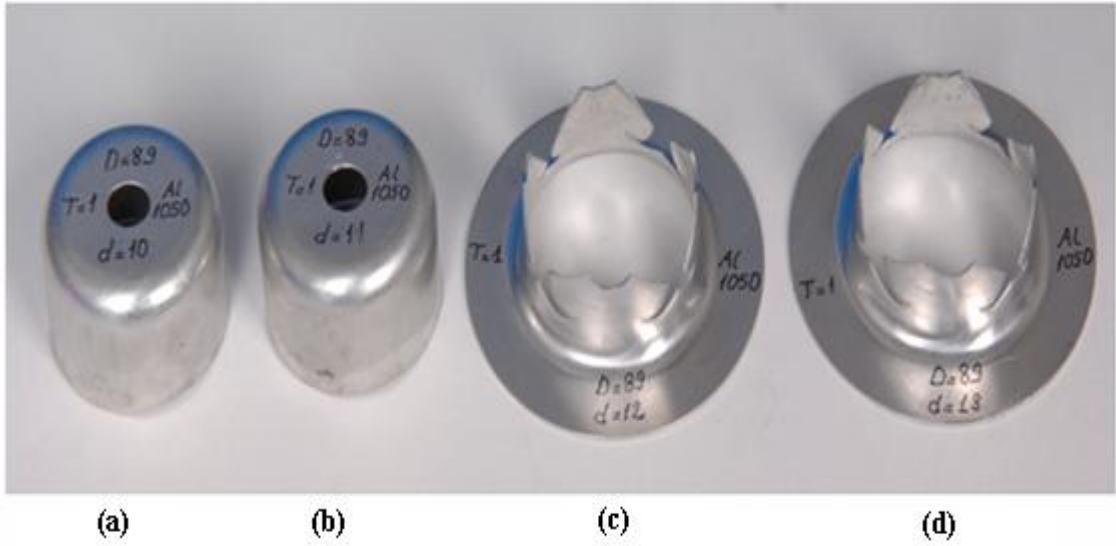


**Şekil 5.1** Dış çapı 90,76 mm, kalınlığı 0,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.

a) Delik çapı 10 mm. b) Delik çapı 11 mm. c) Delik çapı 12 mm. d) Delik çapı 13 mm.

1 mm kalınlıktaki levhaların derin çekmeye elverişli olan ve derin çekmeye müsaade etmeyen delik çaplarında ortaya çıkan durumlar Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

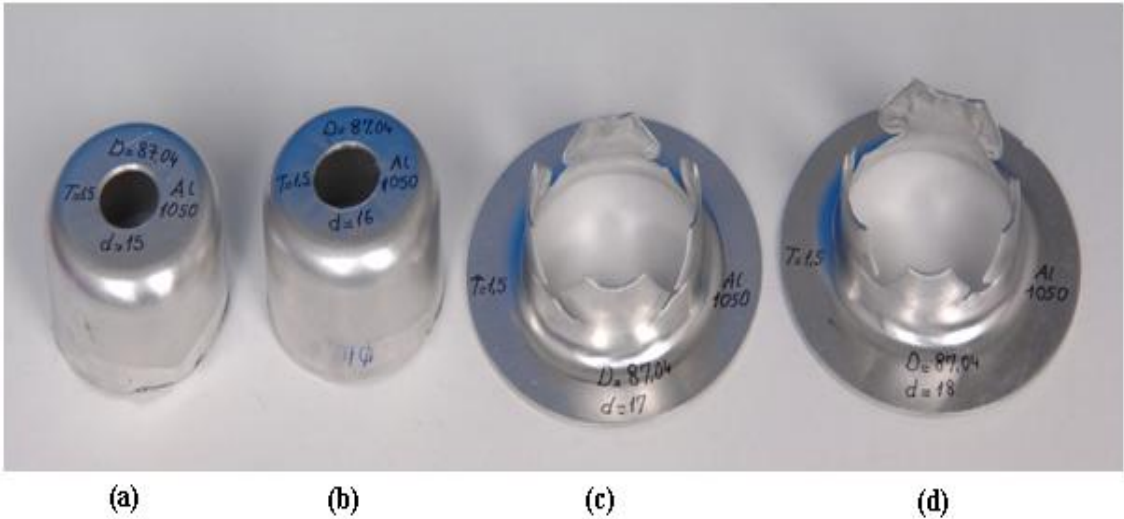




**Şekil 5.2** Dış çapı 89 mm, kalınlığı 1 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.

a) Delik çapı 10 mm. b) Delik çapı 11 mm. c) Delik çapı 12 mm. d) Delik çapı 13 mm.

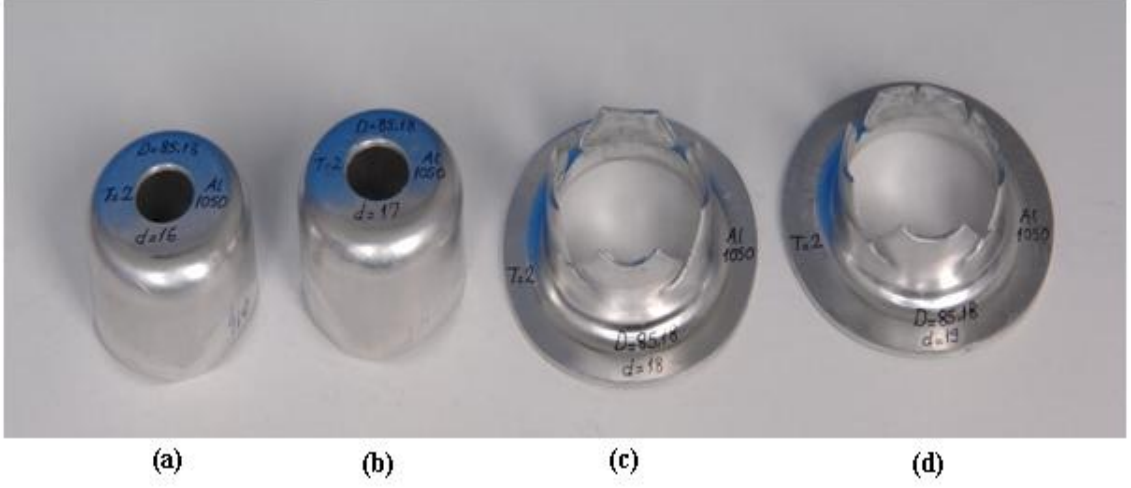
1,5 mm kalınlıktaki levhaların derin çekmeye elverişli olan ve derin çekmeye müsaade etmeyen delik çaplarında ortaya çıkan durumlar Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.3** Dış çapı 90,76 mm, kalınlığı 1,5 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.

a) Delik çapı 15 mm. b) Delik çapı 16 mm. c) Delik çapı 17 mm. d) Delik çapı 18 mm.

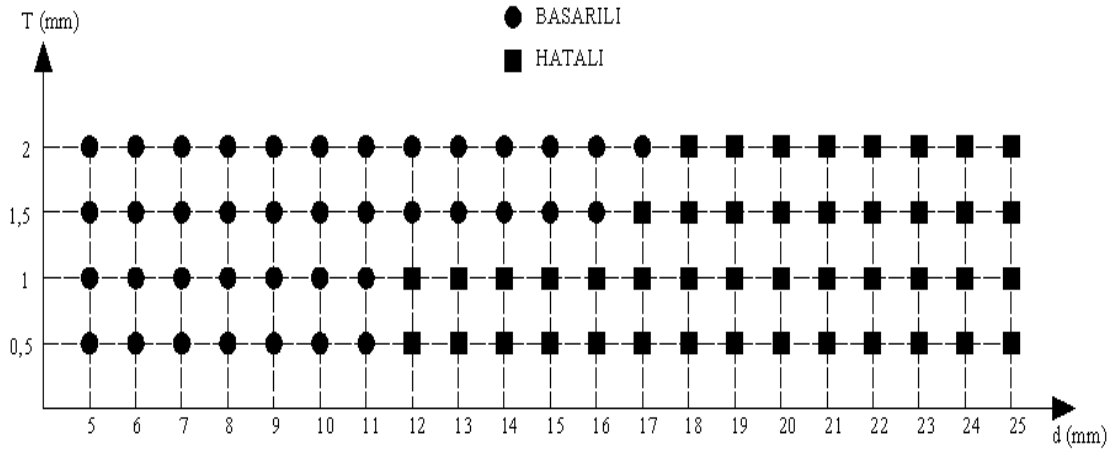
2 mm kalınlıktaki levhaların derin çekmeye elverişli olan ve derin çekmeye müsaade etmeyen delik çaplarında ortaya çıkan durumlar Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.4** Dış çapı 90,76 mm, kalınlığı 2 mm olan Al 1050 alaşımlı alüminyum sacların derin çekilmiş halleri.

a) Delik çapı 16 mm. b) Delik çapı 17 mm. c) Delik çapı 18 mm. d) Delik çapı 19 mm.

Şekil 5.5’de merkezdeki delik çapı değişiminin parça kalınlığına göre derin çekme davranışları grafiksel olarak ifade edilmektedir. Şekilde daire ile gösterilen bölgelerde başarılı sonuçlar elde edilmesine rağmen dikdörtgen ile gösterilen bölgelerde ise yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir.



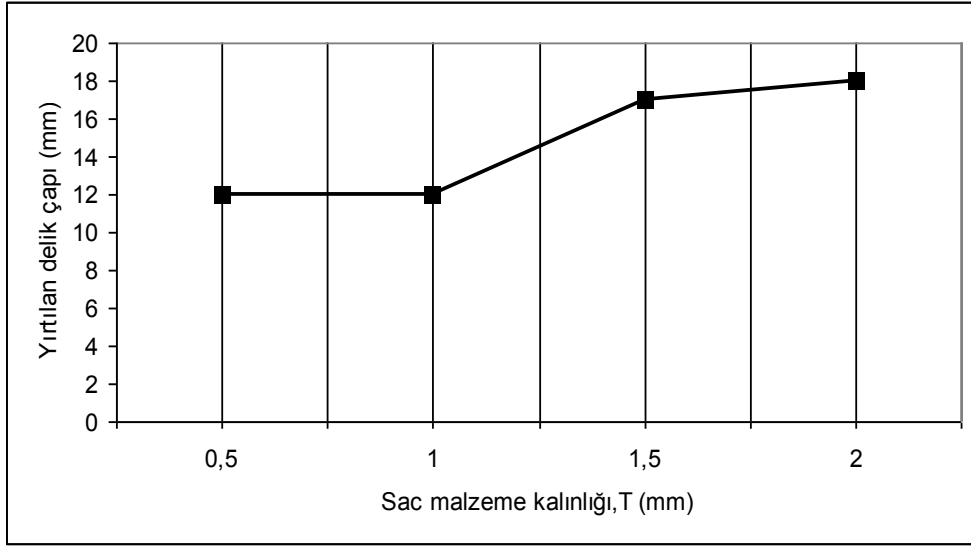
**Şekil 5.5** Merkezdeki delik çapı (d) değişiminin derin çekmeye etkisi.

Yapılan deneylerde kullanılan malzemeler ve kalıp elemanları ile deneyler sonucunda ortaya çıkan durumların değerlendirilmesi Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Deneylerde kullanılan malzeme özellikleri ve sonuçlar.

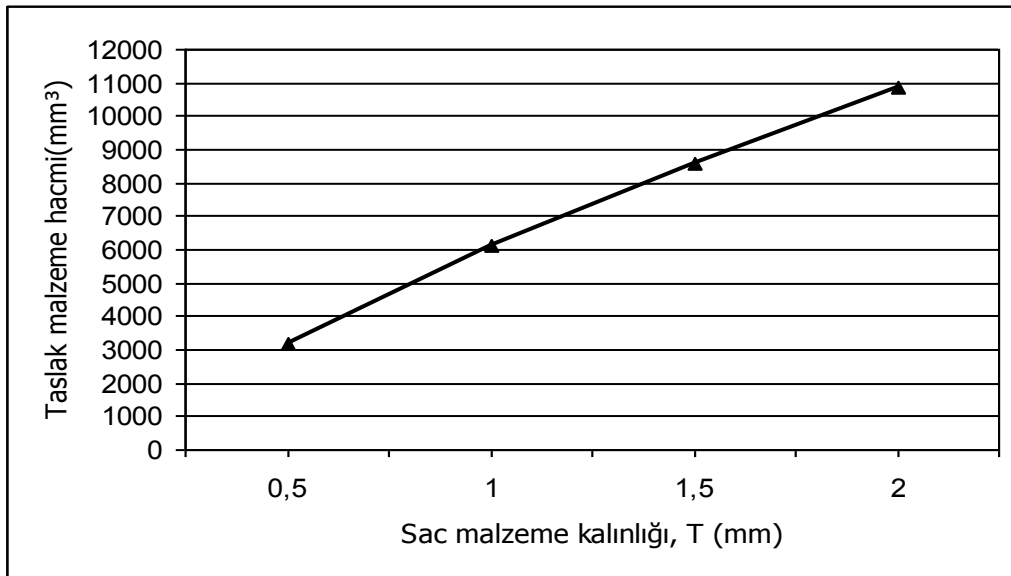
Kalınlık T (mm)	Delik çapı (mm)	Dış çap (mm)	Zimba çapı (mm)	Malzeme	Sonuç	Delik Hacmi (mm <sup>3</sup> )	Blank Hacmi (mm <sup>3</sup> )	Çekme oranı	Delik alanı (mm <sup>2</sup> )	Blank alanı (mm <sup>2</sup> )
0,5	10	90,76	48,8	Al 1050	Başarılı	39,26	3234,81	1,85	78,53	6469,62
0,5	11	90,76	48,8	Al 1050	Başarılı	47,51	3234,81	1,85	95,03	6469,62
0,5	12	90,76	48,8	Al 1050	Koptu	56,54	3234,81	1,85	113,09	6469,62
0,5	13	90,76	48,8	Al 1050	Koptu	66,36	3234,81	1,85	132,73	6469,62
1	10	88,90	47,8	Al 1050	Başarılı	78,53	6207,16	1,85	78,53	6204,01
1	11	88,90	47,8	Al 1050	Başarılı	95,03	6207,16	1,85	95,03	6204,01
1	12	88,90	47,8	Al 1050	Koptu	113,09	6207,16	1,85	113,09	6204,01
1	13	88,90	47,8	Al 1050	Koptu	132,73	6207,16	1,85	132,73	6204,01
1,5	15	87,04	46,8	Al 1050	Başarılı	265,07	8925,21	1,85	176,71	5950,14
1,5	16	87,04	46,8	Al 1050	Başarılı	301,59	8925,21	1,85	201,06	5950,14
1,5	17	87,04	46,8	Al 1050	Koptu	340,47	8925,21	1,85	226,98	5950,14
1,5	18	87,04	46,8	Al 1050	Koptu	381,70	8925,21	1,85	254,46	5950,14
2	16	85,18	45,8	Al 1050	Başarılı	402,12	11397,12	1,85	201,06	5698,56
2	17	85,18	45,8	Al 1050	Başarılı	453,96	11397,12	1,85	226,98	5698,56
2	18	85,18	45,8	Al 1050	Koptu	508,93	11397,12	1,85	254,46	5698,56
2	19	85,18	45,8	Al 1050	Koptu	567,05	11397,12	1,85	283,52	5698,56

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre Al 1050 alaşımli alüminyum sac malzemenin kalınlığı arttıkça yırtılmadan çekilebilecek maksimum delik çapıda artmaktadır (Şekil 5.6).



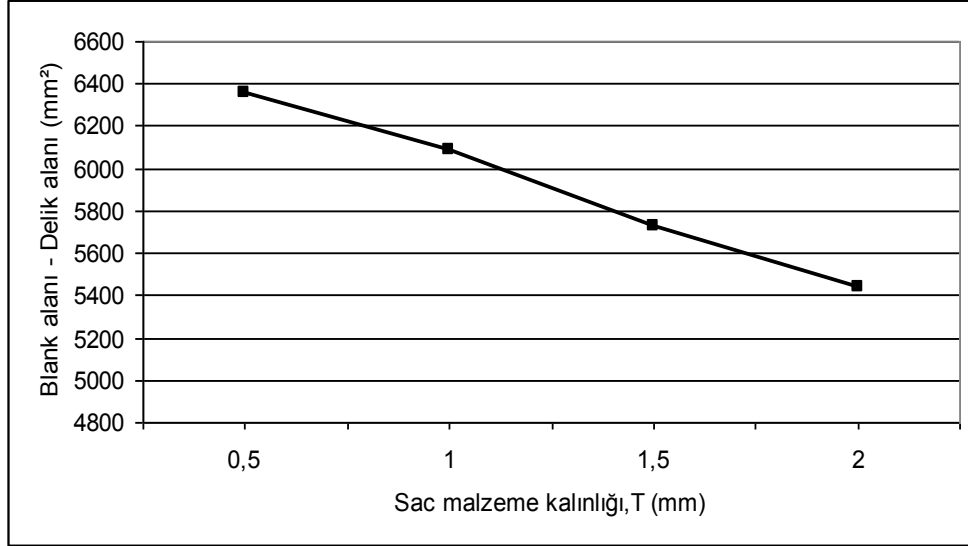
**Şekil 5.6.** Sac malzeme kalınlığına değişiminin (T) yırtılan delik çapına etkisi.

Dört farklı kalınlıktaki numunelerin yırtıldıkları delik çapındaki hacimleri ile malzeme kalınlığı arasındaki ilişkiyi incelediğimizde sac malzeme kalınlığı arttıkça yırtılmadan çekilebilecek maksimum hacmin de arttığı belirlenmiştir bu durumun grafiksel ifadesi Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



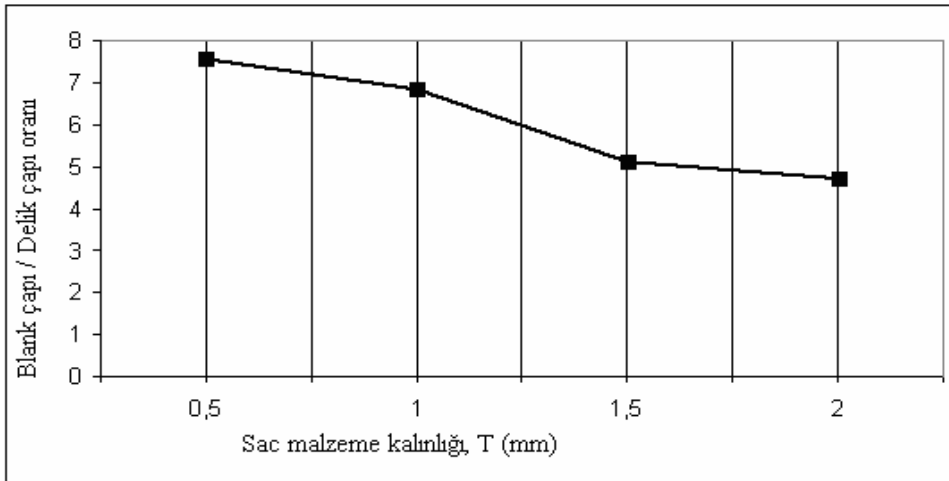
**Şekil 5.7.** Malzeme kalınlığı değişiminin yırtılmadan çekilebilecek taslak malzeme hacmine etkisi.

Derin çekme işlemi uygulanan farklı kalınlıklardaki numunelerin, yırtıldıkları delik çapındaki alanları (blank alanı – delik alanı ) incelendiğinde Al 1050 alaşımli alüminyum malzemenin sac kalınlığı arttıkça yırtıldığı çaptaki alan ölçüsünün azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 5.8’de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 5.8. Malzeme kalınlığı değişiminin taslak malzeme alanına etkisi.

Blank çapının delik çapına oranı ile malzeme kalınlığı değişimi arasında da ters bir orantı olduğu tespit edilmiştir. Al 1050 alaşımli alüminyum malzemenin kalınlığı arttıkça, yırtıldığı numunelerdeki blank çapı/delik çapı oranı azalmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Sac malzeme kalınlığı değişiminin blank çapı/delik çapı oranına etkisi.

## 6. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm kalınlığındaki merkezi delikli Al 1050 alaşımlı alüminyum malzemeden hazırlanan deney numunelerinin silindirik derin çekilerek şekillendirilebilirliği deneysel olarak incelenmiş kapların yırtılmadan çekilebileceği maksimum delik çapı tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalardan ve deneylerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. 0,5 mm kalınlığındaki Al 1050 levhaların merkezlerindeki deliğin ölçüsü 12 mm çaptaki ve sonraki çaplarda derin çekme işleminden sonra kullanıma müsait değildir.
2. 1 mm kalınlığındaki Al 1050 levhaların merkezlerindeki deliğin ölçüsü 12 mm çaptaki ve sonraki çaplarda derin çekme işleminden sonra kullanıma müsait değildir.
3. 1,5 mm kalınlığındaki Al 1050 levhaların merkezlerindeki deliğin ölçüsü 17 mm çaptaki ve sonraki çaplarda derin çekme işleminden sonra kullanıma müsait değildir.
4. 2 mm kalınlığındaki Al 1050 levhaların merkezlerindeki deliğin ölçüsü 18 mm çaptaki ve sonraki çaplarda derin çekme işleminden sonra kullanıma müsait değildir.

Yapılan bu tez çalışmasının ardından yapılması mümkün olan çalışmalar şu şekilde sıralanabilir;

- Sanayide sıklıkla kullanılan paslanmaz çelik, bakır v.b. sacların derin çekilmesinde merkezi deliklerin derin çekilebilirliğe etkisi araştırılabilir.
- Eksenel simetriye sahip olmayan parçalardaki farklı noktadaki deliklerin derin çekmeye etkisi araştırılabilir.
- Farklı takım geometrisi ölçülerindeki kalıplarda merkezi delikli malzemelerin derin çekme özellikleri incelenebilir.
- Merkezi deliklerin etkisinin bilgisayar destekli tasarım, simülasyon ve analiz programlarında analiz edilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Thiruvarudchelvan, S. and Tan, M.J., 2007, Investigations into collar drawing using urethane pads, *Journal of Materials Processing Technology*, 191, 87-91.
- [2] Fung, H.Y., Yuung, H.L., Ching, L.L. and Ming, T.W., 2006, Application of ANFIS for inverse prediction of hole profile in the square hole bore-expanding process, *Journal of Materials Processing Technology*, 173, 136-144.
- [3] Anon, 2001 How to Draw Round Cups Deeper, By the Ohio State University ERC for Net Shape Manufacturing, [http://www.thefabricator.com/Articles/Stamping\\_Article.cfm](http://www.thefabricator.com/Articles/Stamping_Article.cfm) January 15.
- [4] Aytaç, F., 2007, Matris açılı derin çekme kalıplarında alüminyumun derin çekilmesinde açı değişiminin çekme oranı üzerine etkisinin deneysel araştırılması, Yüksek lisans tezi, Fırat üniversitesi fen bilimleri enstitüsü.
- [5] Güneş, T., 1990, Pres İşleri Tekniği Bölüm II, Ankara: TMMOB-MMO Yayınları, Yayın No: 130.
- [6] Topaç, M. M., 2003, Karbonlu çeliklerde derin çekmeye etki eden faktörlerin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül üniversitesi fen bilimleri enstitüsü
- [7] Demirci, H.İ., 2002, Yüksek Hızda Şekillendirmeye Etki Eden Kalıp Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Demiray, K., 2006, Al 1050 malzemesinin derin çekme işleminde baskı plakasının etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Karaelmas üniversitesi fen bilimleri enstitüsü.
- [9] Gavas, M., 2002, Çok ince çelik sacların elastik şekillendirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 18-25
- [10] Panseri, C., 1957, *Manuale di tecnologia delle leghe leggere da lavorazione plastica*, Ulrico Hoepli Editore.
- [11] Çapan, L., 1979, Derin Çekmede Allotropi, Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik üniversitesi, Makine fakültesi.
- [12] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R., 2001, *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall, Inc.
- [13] Schey, J. A., 2000, *Introduction to Manufacturing Processes*, McGraw, Hill Companies, Inc.
- [14] Mielnik, E., M., 1991, *Metalworking Science and Engineering*, McGraw, Hill, Inc.
- [15] Çapan, L., 1977, *Plastik Şekil Verme Teori ve Uygulama*, İstanbul: Birsen Kitabevi Yayınları,
- [16] Johnson, W. and Mellor, P. B., 1978, *Engineering Plasticity*, Reinhold Company LTD, Molly Millars, Lane.
- [17] Tlusty, J., 2000, *Manufacturing Processes and Equipment*, Prentice, Hall, Inc.
- [18] Güneş, T., 2002, Pres işleri tekniği cilt II, Makine mühendisleri odası yayın no:307

**KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)**

- [19] Uzun, İ. ve Erişkin, Y., 2002, Sac metal kalıpcılığı, Erkek Teknik Öğretmen Okulu Yayınları, 1-360 s.
- [20] Gavas, M. ve Köklü, U., 2005, Al-1050 Alaşımli alüminyum sacın silindirik derin çekilmesine baskı plakası boşluğunun etkileri, Matit 2005, 327-332.
- [21] Gavas, M., 2005, Al-1050 alaşımli alüminyum sacın kare derin çekilmesinde çekme oranı limitinin belirlenmesi, Teknoloji, 8, 2, 215-221.
- [22] Onaran, K., 2003, Malzeme Bilimi, İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, 372 s.