

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AÇILI DERİN ÇEKME KALIPLARINDA MATRİS VE ZIMBA
RADYÜSÜNÜN ÇEKME ORANINA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Muhammet BAL

Tez Yöneticisi
Yrd.Doç.Dr. Cebeli ÖZEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AÇILI DERİN ÇEKME KALIPLARINDA MATRİS VE ZIMBA
RADYÜSÜNÜN ÇEKME ORANINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Muhammet BAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK**

ELAĞIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AÇILI DERİN ÇEKME KALIPLARINDA MATRİS VE ZIMBA
RADYÜSÜNÜN ÇEKME ORANINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Muhammet BAL

Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Hayatım boyunca yanımda olup beni hep destekleyen **aileme** ve yüksek lisans öğrenciliğim süresi boyunca bir çok deneyim kazanmama vesile olan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. **Cebeli ÖZEK**'e ve ayrıca öğrenciliğim süresince yardımlarını gördüğüm sayın hocam Yrd.Doç.Dr.**Vedat SAVAŐ**' a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	VI
KISALTMALAR.....	VII
ÖZET.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Literatür Araştırması.....	2
2. METALLERDE PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞİMİ.....	6
2.1. Metallerin Fiziksel Yapıları Ve Plastik Deformasyon.....	6
2.1.1. Metallerin Kristal Kafes Yapıları.....	6
2.1.2. Kristallerin Şekil Değişimi.....	7
2.2. Metallerde Meydana Gelen Yapı Hataları.....	9
2.2.1. Kristallerde Yapı Hatalarının Sınıflandırılması.....	9
2.2.2. Pekleşme.....	11
3. PLASTİSİTEDE KULLANILAN MALZEME ÇEŞİTLERİ VE MODELLERİ.....	13
4. KALIPÇILIK TEKNOLOJİSİ.....	17
4.1. Hacim Kalıpcılığı.....	17
4.1.1. Sıkıştırma Kalıpları.....	17
4.1.2. Enjeksiyon Kalıpları.....	18
4.1.3. Dövme Kalıpları.....	18
4.2. Sac Metal Kalıpcılığı.....	19
4.2.1. Kesme Kalıpları.....	19
4.2.2. Bükme Kalıpları.....	20
5. DERİN ÇEKME.....	21
5.1. Derin Çekme.....	21
5.2. Karakteristik Üçgen ve Fazlalık Malzemenin Etkileri.....	22
5.2.1. Karakteristik Üçgenin Tanımı ve Fazlalık malzemenin Belirlenmesi.....	22
5.2.2. Kulak Oluşumu.....	23

5.3.Limit Çekme Oranı Ve Anizotropi.....	25
5.3.1.Limit Çekme Oranı.....	25
5.3.2.Derin Çekmede Anizotropi.....	26
5.4. Derin Çekme İşleminde İş Parçasının Değişimi.....	28
5.5. Kademeli Çekme.....	31
5.6. Derin Çekmede Kullanılan Saclar.....	34
5.7.Matris ve Zimba Radyüslerinin Değişimi.....	34
 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI.....	36
6.1.Çalışmanın Amacı.....	36
6.2.Deney Malzemesi ve Numunelerinin Hazırlanması	36
6.3.Kalıp Tasarımı ve İmalatı.....	37
6.4.Deney Çalışmaları İçin Kullanılan İşlem Parametreleri	42
6.5. Matris ve zimba radyüsü R=10 mm için Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	45
6.6. Matris ve zimba radyüsü R= 8 mm İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	50
6.7. Matris ve zimba radyüsü R=6 mm İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	53
6.8. Matris ve zimba radyüsü R=4 mm İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	57
 7. SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....	61
 8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	66
 KAYNAKLAR.....	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1 Kristal kafes, birim kristal kafes ve kafes sabiti.	6
Şekil.2.2 Metallerde genelde rastlanan birim kafes tipleri; a. Hacim merkezli kübik. b. Yüzey merkezli kübik. c. Sıkı düzenli hekzagonal.	7
Şekil 2.3 Kristalde şekil değişimi; a. Şekil değiştirmemiş kristal. b. Kayma. c. İkizlenme.	8
Şekil 2.4 Kenar dislokasyonunun yapısı.	9
Şekil 2.5 Vida dislokasyonunun yapısı. a. Kristal içerisindeki vida dislokasyonu (EF boyunca), b. Kristal yüzeyindeki B noktasında son bulan AB vida dislokasyonu.	10
Şekil 2.6 Dislokasyon hareketleri nedeniyle kayma gerilmesine maruz bir kristalin yüzeyinde basamak oluşumu; a. Kenar dislokasyonu, b. Vida dislokasyonu.	10
Şekil 2.7. $n < 1$ İçin çizilen $\sigma = K \cdot \epsilon^n$ eğrisi. Bu eğri, elastik davranış göstermeyen ve belirgin bir akma sınırına sahip olmayan malzemeleri sembolize eder [37].	11
Şekil 2.8 Logaritmik koordinatlarda muhtelif metalik malzemeler için çizilen gerçek çekme diyagramları yardımıyla pekleşme üssü, n 'nin sayısal olarak ifade edilmesi [50].	12
Şekil 3.1 Rijit Cisim.	14
Şekil 3.2 Lineer Tam Plastik Cisim.	14
Şekil 3.3 Plastik Cisim.	14
Şekil 3.4 Elastik Cisim.	14
Şekil 3.5 Elastik, Tam Plastik Cisim.	14
Şekil 3.6 Rijit, Lineer Sertleşen Cisim.	15
Şekil 3.7 Elastik, Lineer Sertleşen Cisim.	15
Şekil 4.1 Kalıpcılık Çeşitleri.	17
Şekil 4.2 Sıkıştırma Kalıbı.	18
Şekil 4.3 Enjeksiyon Kalıbı.	18
Şekil 4.4 Dövme Kalıbı.	19
Şekil 4.5 Kesme Kalıbı.	19
Şekil 4.6 Bükme Kalıbı.	20
Şekil 5.1 Derin çekme işlemi, a. Şematik, b. Perspektif.	21
Şekil 5.2 Karmaşık şekilli bir levhadan yuvarlak köşeli bir kutunun çekilmesi.	22
Şekil 5.3 Dairesel iş parçasında karakteristik üçgenin elde edilmesi.	23
Şekil 5.4 Silindirik çekme ile elde edilen farklı özellikteki malzemelerden imal edilen kaplarda, yetersiz baskı plakası kuvveti sonucu kulak oluşumu.	23
Şekil 5.5 Baskı plakası kullanılmadan gerçekleştirilen derin çekme işleminde flanş bölgesinde ortaya çıkacak gerilmeler, [45].	24
Şekil 5.6 Baskı plakasız çekme [59].	24

Şekil 5.7 Baskı plakası kullanılarak yapılan çekme işleminin temel elemanları.	25
Şekil 5.8 Silindirik iş parçasında limit çekme oranının aşılması sonucu ortaya çıkan hasar	26
Şekil 5.9 Sac malzemede anizotropinin tespit edilmesi	26
Şekil 5.10 Üç Farklı sac malzemeden derin çekilerek elde edilen iş parçalarında meydana gelen kulaklanma.	27
Şekil 5.11 Derin çekme işleminde iş parçasına etki eden kuvvetler.....	28
Şekil 5.12 Çekme başlangıcında iş parçasının durumu; Sıkıştırma kalıbı (baskı plakası), Matris.	28
Şekil 5.13 Derin çekme işlemi boyunca kalınlık değişiminin seyri	29
Şekil 5.14 Farklı geometrilere sahip zımbalarla yapılan derin çekme işleminde malzeme cidarında oluşacak kalınlık değişimlerinin karşılaştırılması	30
Şekil 5.15 Çekilerek imal edilmiş silindirik bir kaptaki cidar kalınlıklarının değişimi (Başlangıç malzeme kalınlığı $S=1(\text{mm})$, $d=12(\text{mm})$, $d_1=22(\text{mm})$, $h=21(\text{mm})$)	30
Şekil 5.16 Derin çekme esnasında meydana gelen gerilmeler	31
Şekil 5.17 Meşrubat kutusunun imalatı.	32
Şekil 5.18 Çekme oranı büyük olan bir parçanın kademeli kalıplama ile imalatı	33
Şekil 5.19 Çekme kademelerinin hesaplanması.....	33
Şekil 5.20 Derin çekilecek parça.	34
Şekil 5.21 Açısı 15° ve yarıçapı 10.....	36
Şekil 6.1 Deneylerde Kullanılan Kalıp Matrisleri (Dişi Kalıplar).....	37
Şekil 6.2 Matris ve zımba yarıçapı $R=10 \text{ mm}$ için, a). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ b) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2,5^\circ$, c). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$ d). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^\circ$, e). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$...	38
Şekil 6.3 Matris ve zımba yarıçapı $R=8 \text{ mm}$ için, a). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ b). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2,5^\circ$, c). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$ d). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^\circ$, e). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$...	39
Şekil 6.4 Matris ve zımba yarıçapı $R=6 \text{ mm}$ için, a). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ b). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2,5^\circ$, c). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$ d). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^\circ$, e). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$...	40
Şekil 6.5 Matris ve zımba yarıçapı $R=4 \text{ mm}$ için, a). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ b). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2,5^\circ$, c). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$ d). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^\circ$, e). Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$...	41
Şekil 6.6 Deneylerde kullanılan kalıp ölçüleri.....	42
Şekil 6.7 Deneylerin yapıldığı deney seti ve sistemi.....	44
Şekil 6.8 Deneylerin yapıldığı deney seti ve sisteminin şematik gösterimi.....	44

Şekil 6.9 Limit çekme oranının (L.Ç.O) ifadesi.....	45
Şekil 6.10 Çekme oranının büyük olmasından dolayı parçada meydana gelen yırtılma.....	45
Şekil 6.11 Baskı plakası kuvvetinin fazla olduğu durumlarda meydana gelen kopma ve kırılmalar.....	46
Şekil 6.12 Matris ve zımba radyüsü R=10 mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$ c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$ de elde edilen optimum deney numunesi.....	47
Şekil 6.13 Kalıp ve zımba radyüsü R=10 mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.....	48
Şekil 6.14 Kalıp ve zımba radyüsü R=10 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi.....	48
Şekil 6.15 Kalıp ve zımba radyüsü R=10 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.....	49
Şekil 6.16 Matris ve zımba radyüsü R=10 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak doğruluğu.....	49
Şekil 6.17 Matris ve zımba radyüsü R=8 mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$ c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$ de elde edilen optimum deney numunesi.[60].....	50
Şekil 6.18 Kalıp ve zımba radyüsü R=8 mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.[60].....	51
Şekil 6.19 Kalıp ve zımba radyüsü R=8mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 6.20 Kalıp ve zımba radyüsü R=8 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 6.21 Matris ve zımba radyüsü R=8 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak hata ve geçerliliği.....	53
Şekil 6.22 Matris ve zımba radyüsü R=6 mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$ c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$ de elde edilen optimum deney numunesi.....	54
Şekil 6.23 Kalıp ve zımba radyüsü R=6 mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.....	55
Şekil 6.24 Kalıp ve zımba radyüsü R=6 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme	

oranı üzerindeki etkisi.....	55
Şekil 6.25 Kalıp ve zımba radyüsü R=6 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.....	56
Şekil 6.26 Matris ve zımba radyüsü R=6 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak hata ve geçerliliği.....	56
Şekil 6.27 Matris ve zımba radyüsü R=4 mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$ c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$ de elde edilen optimum deney numunesi.....	57
Şekil 6.28 Matris ve zımba radyüsü R=4 mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.....	58
Şekil 6.29 Kalıp ve zımba radyüsü R=4 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi.....	59
Şekil 6.30 Kalıp ve zımba radyüsü R=4 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.....	59
Şekil 6.31 Matris ve zımba radyüsü R=4 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak hata doğruluğu.....	60
Şekil 7.1 Açılı derin çekme kalıplarında matris ve zımba radyüsüne bağlı olarak matris ve baskı plakası açısının çekme oranı üzerindeki etkisi.....	61
Şekil 7.2 Zımba kuvvetinin çekme oranı üzerindeki etkisi.....	63
Şekil 7.3 Matris ve zımba radyüsüne bağlı olarak matris ve baskı plakası açısının zımba kuvveti üzerine etkisi.....	65

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 6.1 Deney numunelerinin kimyasal spektral analizi.....	36
Tablo 6.2 Çekme oranı (β)'ya bağlı olarak deney numune çapları.....	37
Tablo 6.3 Matris ve baskı plakası açısı (α) değerleri.....	37
Tablo 6.4 Deneyler esnasında kullanılan baskı plakası kuvvetleri.....	42
Tablo 6.5 Derin çekme deneylerinde kullanılan deney numuneleri ve işlem parametreleri.....	43
Tablo 8.1 Matris ve zımba radyüsü, matris ve baskı plakası açısı, baskı plakası kuvveti ve zımba kuvvetine bağlı olarak tespit edilen en yüksek ve en düşük çekme oranları...	66

KISALTMALAR

BPK : Baskı plakası kuvveti (N)

L.Ç.O. : Limit çekme oranı

R : Anizotropi katsayısı

ε_w : Genişlik değişimi

ε_t : Kalınlık değişimi

α : Kalıp açısı (°)

β : Çekme oranı

m : Çekme modülü

ÖZET
(Yüksek Lisans Tezi)

**AÇILI DERİN ÇEKME KALIPLARINDA MATRİS VE ZIMBA
RADYÜSÜNÜN ÇEKME ORANINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Muhammet BAL

**Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
2007, Sayfa : 81**

Derin çekme, en önemli sac metal şekillendirme yöntemlerinden biridir. Meşrubat ve parfüm kutuları, tencereler, tüp vb. ürünler derin çekme kalıpları yardımıyla üretilmektedir. Derin çekme kalıpları birçok ülkede yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu kalıplarda matris ve baskı plakası ile matris ve zımbanın geometrik şekli önemlidir. Bunun için, zımba ve matris ağızlarına $R=10$, $R=8$, $R=6$, $R=4$ mm'lik radyüsler, baskı plakası ve matris yüzeylerine de $\alpha=0^\circ$, $\alpha=2.5^\circ$, $\alpha=7.5^\circ$, $\alpha=12.5^\circ$, $\alpha=15^\circ$ 'lik açılar verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, DKP 37 sacının derin çekilmesinde matris ve baskı plakasına belli açılar, matris ve zımbaya da belli radyüsler verilerek açı ve radyüslerin değişiminin ve baskı plakası kuvveti ile zımba kuvvetinin çekme oranı üzerindeki etkisini araştırmaktır. Matris ve zımba radyüsü ile matris ve baskı plakası için en yüksek ve en düşük çekme oranları tespit edilmiştir. En büyük çekme oranı matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm' de matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ de $\beta=2.3$, en küçük limit çekme oranı ise baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ de $\beta=1.8$ olarak elde edilmiştir. Matris ve zımba radyüsü, matris ve baskı plakası açısı, matris ve zımba kuvveti arttıkça çekme oranının arttığı görülmüştür. Maksimum zımba kuvvetinin matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ de elde edildiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, matris ve zımba radyüsü, matris ve baskı plakası açısı, matris ve zımba kuvveti arttıkça çekme oranının arttığı görülmüştür. Maksimum zımba kuvvetinin matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ ve matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm' de elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Derin çekme, Limit çekme oranı, Baskı plakası kuvveti , Matris

ABSTRACT
(Master Thesis)

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE ON THE DRAWING RATIO OF
RADIUS OF THE DIE BLANK HOLDER AND PUNCH WITH ANGULAR
DEEP DRAWING DIES**

Muhammet BAL

**Institute Of Science And Technology
Mechanical Education Department
2007, Page: 81**

Deep drawing is one of the most important methods which formed sheet metals. Saucepans, perfume cans and tubes etc. products have been manufactured with deep drawing dies.

In most country, deep drawing dies are mostly used in the industry. The profile blank holder and radius of punch and die is important for deep drawing dies. For this reason, die and blank holder surface have angles of $\alpha=0^\circ$, $\alpha=2.5^\circ$, $\alpha=7.5^\circ$, $\alpha=12.5^\circ$, $\alpha=15^\circ$ and die and punch surface have radiuses of $R=10$, $R=8$, $R=6$, $R=4$ mm respectively. The aim of this study is to determine the effect of various angles of die-blank holder and various radiuses and die-punch surface on the drawing ratio using DKP 37 sheet metal and the influence on the drawing ratio of die and punch forces, die blank holder force had been investigated. The highest and the lowest drawing ratio being carried out for the die and punch die and blank holder. The highest drawing ratio was obtained radius of die and punch of $R=10$ mm and die and blank holder of $\alpha=12.5^\circ$ of $\beta=2.3$. The lowest drawing ratio was obtained die and blank holder of $\alpha=12.5^\circ$ of $\beta=1.8$. Drawing ratio has increased according to radius of die and punch, die and blank holder angle; blank holder force. When die and blank holder angle was $\alpha=12.5^\circ$ force of punch is the highest and α angle has increased, deep drawing ratio has increased.

As a result, drawing ratio has increased according to radius of die and punch, die and blank holder angle; blank holder force. When die and blank holder angle was $\alpha=12.5^\circ$ and radius of die and punch of $R=10$ mm, force of punch is the highest and α angle has increased, deep drawing ratio has increased.

Key Words: Deep Drawing, Limit Drawing Ratio, Blank Holder Force, Die.

1. GİRİŞ

Saç metal kalıpcılığı tekniğinde parçalar kesilmekte veya biçimlendirilmekte veya aynı işlemde biçimlendirilip, kesilmektedir. Şekillendirmelerin endüstride en yaygın kullanımı çekme ile şekillendirmedir. Genellikle çekme işlemi ile şekillendirmelerde, düz levha durumundaki malzemelerden, içi boş dikişsiz kap veya farklı geometrik şekle sahip boş kutular elde edilmektedir. Çekilen kabın yüksekliği dikkate alınarak çekme işlemleri, sıg ve derin çekme olarak iki grupta yapılmaktadır. Sıg çekmede tek bir çekme işlemi ile iş parçası elde edilebilmekte iken, derin çekme işleminde birden fazla çekme işlemi ile kaplar elde edilebilmektedir. Bu nedenle çekme işlemi kalıplama tekniğinde en yaygın metotların başında gelmektedir.

İki boyutlu, düzlemsel geometriye sahip iş parçalarının 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. Bir sacın bir kalıpta bir defa da çekilebileceği en büyük çapın zımba çapına oranına limit çekme oranı denir. Çekme yardımıyla elde edilmesi öngörülen derin kaplar birden fazla operasyon ile de oluşturabilirler. Bu, birbirini takip eden çok sayıda çekme işleminde oluşan imal usulü ise derin çekme adını almaktadır.

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi, araştırmacıları dar ve sınırlı olan malzeme kaynaklarının daha verimli ve optimum bir biçimde kullanılması ve değerlendirilmesi konusunda yoğun araştırmalara sevk etmektedir. Mevcut malzemelerden daha bilinçli bir şekilde yararlanmamız gerektiğinden, günümüz teknolojisiyle birçok yeni ilginç malzemeler geliştirilmektedir.

Sac şekillendirme, günümüzde pek çok uygulama alanı bulduğu için büyük önem arz etmektedir. Saclar çok hassas malzemeler olduğu için şekillendireceğimiz sacların şekil alabilirliğini iyi tanıyarak, buna göre malzeme seçimi yapmamız gerekir.

Derin çekmede şekillendirilen parçaların kalitesi, kalıp boşluğu içine çekilen metalin miktarı ile etkilenmektedir. Aşırı metal çekildiğinde parça üzerinde kırışıklıklar, az metal çekildiğinde ise parça üzerinde çatlaklıklar meydana gelmektedir. Burada önemli olan malzemenin kalıp içerisine akma miktarının kalıplama baskı kuvveti ile kontrol edebilmektir.

Ayrıca çekilen parçaların çatlamalarını veya kırışıklıklarını önlemek için çekme kalıplarının büyük bir kısmı hidromekanik olarak yapılmaktadır. Bunun amacı ise baskı kuvvetini dengeleyerek çekilen parça üzerindeki gerilmeleri ters bir hidrolik kuvvet ile azaltmaktır. Fakat bu yöntemler maliyeti arttırmaktadır. Derin çekme işlemlerinde baskı kuvvetinin yanında, zımba radyüsleri, matris radyüsleri, zımba kuvveti, çekilecek malzemenin

ilkel şekli ve hadde yönü gibi de birçok faktörde vardır. Literatürler incelendiğinde bu faktörlerin birçoğu sonlu elemanlar ile analiz edilerek bir optimumu geliştirilmiştir.

Bir malzemenin derin çekilebilir olup olmadığının tespit edilebilmesi, ya da bu özelliğe sahip olduğu bilinen malzemelerle yapılacak imalatın mümkün mertebe firesiz biçimde gerçekleştirilebilmesi için, kullanılacak malzemenin kimyasal bileşiminin iyi bilinmesi, temel mekanik özelliklerin imalat öncesinde ve sonrasında tespit edilmesi, gerekiyorsa ısıl işlem gibi bazı ilave uygulamalarla imalata uygun şekilde optimize edilmesi gerekir. Ayrıca bu optimizasyon, uygun şekilde seçilecek çekme takımı geometrisi, basınç kuvveti, kademe sayısı gibi muhtelif faktörlerle desteklenmelidir.

Ancak çekme işlemini etkileyen en önemli faktörlerin başında gelen, malzemenin matris içine akışının kontrol edilmesi halen geliştirilmektedir. Bu nedenle malzeme akış kontrolünün ve akış şeklinin araştırılması önemli bir yer tutmaktadır.

1.1. Literatür Araştırması

Gotoh, M. ve arkadaşları [1] 0.2mm~1mm kalınlığındaki alüminyum, bakır, pirinç, yumuşak çelik, paslanmaz çelik gibi çeşitli sacların derin çekilmesinde kalıp radyüsünün etkisini araştırmışlardır. Sonuçta matris radyüsünün küçüldükçe çekme derinliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Zımba ve matris radyüsleri, zımba hızı, baskı plakası kuvveti ve sürtünme katsayısı gibi çeşitli parametrelerin derin çekmeye etkilerini araştırmak için Colgan, M. ve Monaghan, J. [2] çeşitli deneyler ve sonlu eleman analizleri yapmışlardır. Yapılan deney ve analiz sonuçlarına göre derin çekmede zımba ve matris radyüslerinin baskı plakası kuvveti ve sürtünmeden daha etkili olduğu görülmüştür. Kalıp radyüsü küçüldükçe sacı deformasyona uğratmak için gerekli olan zımba kuvvetinin de küçüldüğü tespit edilmiştir.

Derin çekme oranını artırabilmek için Dejmál, I. [3] ve arkadaşları en düşük çekme kuvvetini gerektiren optimum kalıp radyüsünü araştırmışlardır. Bu çalışmada derin çekme işlemi beş bölgeye ayrılıp her bölge için özel denklemler çıkarılmıştır. Bu bölgeler şöyledir;

1. Bölge= Baskı plakası ve matris arasında kalan bölge
2. Bölge= Matris radyüsüyle temas eden bölge
3. Bölge= Zımba kenarı ile temas eden bölge
4. Bölge= Zımba radyüsü ile temas eden bölge
5. Bölge= Zımba tabanı ile temas eden bölge

Yapılan çalışmalar sonucunda en optimum kalıp radyüsünün 6.5(mm) ve 8(mm) olduğu tespit edilmiştir.

Park, D.H. [4] ve arkadaşları ilk sac şeklinin derin çekmeye etkisini ve derin çekme esnasında zımba kuvveti değişimini araştırmışlardır. Yapılan araştırma sonucunda çekme derinliğinin %80'ine ulaşıldığında zımba kuvvetinin maksimum olduğu tespit edilmiştir.

Kampu, Z. ve Balic, J. [5] lazer ve MIG kaynaklı sacların baskı plakası kullanılmadan derin çekilebilirliğini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda MIG kaynaklı sacların lazer kaynaklı saclardan daha iyi çekilebildiği belirlenip çekme oranı 2,5'e kadar olan saclar başarı ile çekilmiştir.

Kim, S.H. ve arkadaşları [6] üretilmek istenen parçanın son şeklinden yola çıkarak sacın optimum ilk şeklinin tespiti için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır.

Knockaert, R. ve arkadaşları [7] derin çekme esnasında meydana gelen değişiklikleri belirleyip deformasyon yolunu tespit etmek için bir çalışma yapmışlardır. Deneylerden önce ve sonra malzeme yapıları belirlenip bu yapılar karşılaştırılmıştır.

Mamalis, A. G. ve arkadaşları [8] galvenize kaplı sacların dikdörtgen olarak çekilmesinin DYNA 3D programıyla sonlu eleman simülasyonunun yapılışını göstermişlerdir.

Mamalis, A. G. ve arkadaşları [9] yapmış oldukları bir başka çalışmada ise silindirik parçaların sonlu eleman simülasyonunu yapmışlardır.

Paslanmaz çeliklerin derin çekilebilirliğini artırmak için Marumo, Y. ve arkadaşları [10] sacın alt ve üstüne alüminyum plakalar koymuşlardır. Deneylerde yastıklama için yumuşak ve sert alüminyum kullanılıp sert alüminyumun çekme oranını artırdığı görülmüştür.

Sato, E. ve arkadaşları [11] eksenel simetrik olmayan parçaların çekilmesinde çok eksenli yüklemenin çekme oranına etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde dört parçalı zımba kullanılmıştır. Sonuçta çok eksenli yükleme ile çekme oranının %55 arttığı görülmüştür.

Çok derin parçaların çekilmesinde kademeli çekme yöntemi kullanılmaktadır. Tekrar çekme sayısını azaltmak için Thiruvarduchelvan, S ve Travis. F.W. [12] derin çekme işleminde hidrolik basınç kullanmışlardır. Sonuçta hidrolik basınç kullanımının derin çekilebilirliği artırdığı görülmüştür.

Zang, S.H. ve arkadaşları [13] yumuşak çeliklerin hidromekanik derin çekilmesini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Ayrıca parçaların şekil ve kalınlık değişimleri belirlenip anizotropinin etkisi incelenmiştir. Hidrolik basınç kullanılarak yumuşak çeliklerin çekme oranı 2,5'a kadar çıkarılmıştır.

Zang, X. M. ve Li, S.Y. [14] derin çekme işleminde yapı değişimini göz önünde tutarak kulaklanma oluşumunu incelemişlerdir.

Derin çekmede metal akışı ve gerilme alanının karmaşıklığından dolayı bazı araştırmacılar derin çekme işlemini çeşitli bölgelere ayırmışlardır. Derin çekme işlemi Kaftanoğlu [15] tarafından dört bölgeye ayrılmıştır.

Hessenberg'in yaklaşımını kullanan Johnson [16] ise derin çekme işlemini üç bölgeye ayırmıştır.

Chang ve Swift'in başarılı ve karşılaştırmalı bir analiz yaptıkları iyi bilinmektedir [17, 18, 19]. Derin çekme problemleri Woo tarafından detaylı bir şekilde araştırılmıştır [20, 21]. Woo'nun analizleri kuvvetlerin dengesi, plastisite teorisi ve eksenel simetriye göre yer değiştirme bağıntılarına dayanmaktadır.

Wifi tarafından baskı plakası, kalıp, kalıp profili ve zimba ucundaki temas hesaba katılarak derin çekme ve gererek şekillendirmenin çözümü yapılmıştır.

Dairesel olmayan kapların çekilmesini kapsayan Swift testine göre Hsu ve Lee [22] sacın çekilebilirliğini genelleştirmiştir.

Silindirik olmayan birkaç derin çekme işleminin metal akışı, kırılma mekaniği ve şekillendirme limiti Yamada [23] tarafından deneysel olarak analiz edilmiştir. Şekillendirilen yüzeyin karmaşıklığı ve şekillendirilmemiş kısmında olmasından dolayı metal akışının süresizliğinin çekilen parçanın duvarı etrafında kayma tipinde kırılmalarla sonuçlanacağı elde edilmiştir.

Deneysel çalışmalardan [24] düzlemsel gerilme altındaki kısmi şekillendirilmiş kabın duvarında ya da eksenel olmayan gerilme altındaki flanş olmak üzere iki kritik bölgenin olduğu sonucuna varılmıştır. Kalıp ve zimba arasındaki boşluk sınırlandırıldığında ütüleme şartları da oluşturulmaktadır.

Crane'nin analizinde [25] üç farklı çaptaki sac çekilmiştir. Çekme işleminde önce 15° açılı iki düz doğru çizildi. Daha sonra dağılmayan iki doru kabuğunun alt kısmı elde edildi. Duvarın içinde sıkıştırma gerilmesinden dolayı paralel flanşta sac çekildikçe çizgiler birbirlerine yaklaşmıştır.

Kondo [26] tarafından da alüminyum alaşımları ile çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Nominal gerilmeler malzemenin çekme geriliminde eşit olduğunda parça duvarında olan kararsızlığın tahmin edilen sonuçları ile deneysel sonuçlar benzer çıkmıştır.

Önceden yapılan araştırmalar basınç değişen baskı plakası kullanılarak yapılan derin çekme işlemi ile ilgili idi. Bununla birlikte sabit baskı plakası ile baskı plakası ile temas halinde olan flanş bölgesindeki malzeme düzenli bir kalınlığa sahip olmalı. O nedenle baskı plakası kuvveti bu bölge üzerine dağılmalı. Woo'nun analizinde [21], baskı plakasının flanş bölgesine baskı uyguladığı varsayıldı. Woo tarafından yapılan bu çalışmada bu bölgedeki baskı plakası kuvveti dağılımı belirlendi. Normal çekme işleminde baskı plakası kuvveti küçük olduğundan dolayı flanşta gerilme yığılması olmaktadır. Bu nedenle baskı plakası kuvveti ve sürtünmenin zimba üzerine küçük etkileri tahmin edilebilir.

Sac kalıp profilinden daha çok çekildiğinde eğilme oluşur. Bu eğilme, matris radyüsünün sac kalınlığına oranına bağlıdır. Mellor ve Sebai [27] maksimum zımba yükü matris radyüsü pratik limitler arasında kullanıldığında maksimum zımba yükünün pek fazla etkilenmediği Mellor ve Sebai tarafından gösterilmiştir. Kalıp profil sürtünmesinin etkisi ile ilgili olarak zımba kuvvetinden dolayı yüksek sürtünme artışının birim radyal kuvveti artırdığı görülebilir.

Sac kalınlığının zımba veya matris radyüsünden çok küçük olduğundan dolayı gerilme dağılımı analizinde eğme gerilmelerinin etkileri ihmal edilmektedir. Bununla birlikte Wilson ve Hsu [28] tarafından yapılan analizde eğilmenin yağlama üzerinde önemli bir etkisi olduğu ifade etmişlerdir.

Endüstride geliştirilen yeni malzemelerin şekillendirme özelliklerini değiştirmek ya da geliştirmek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Woodhams ve Pede [29] tarafından termoplastik analiz yapılmıştır. Düşük karbonlu ve çok düşük karbonlu çeliklerin yapı analizi detaylı deneysel çalışmalarla Daniel ve arkadaşları tarafından [30] yapılmıştır. Yaygın alüminyum saclar, çekilen parça çevresindeki kulaklanma özellikleri ile ilgili teorik ve deneysel bir araştırma yapılmıştır [31].

Bilgisayar tekniklerindeki gelişmelerden dolayı derin çekme analizinde bilgisayarlar da kullanılmaktadır. Sonlu farklar metodu kullanılarak iaresel sacın derin çekilmesinin analitik ve sayısal çözümü Kaftanoğlu [15] tarafından yapılmıştır.

Sac metal şekillendirme işlemlerinin analizinde çeşitli sonlu elemanlar modelleri kullanılmaktadır. Sonlu eleman modellerinin ilklerinde Wang ve Budionsky [32,33] tarafından sürekli elemanlar [22], zor modeller ve sabit zorlanma elemanları kullanılmıştır.

1990'da Darendeliler ve Kaftanoğlu [34] bir analiz yapmışlardır. Deformasyon işlemi için sonlu elemanlar programı geliştirilmiştir.

Sonlu elemanlar metodunun derin çekme de kullanılmasının en önemli dezavantajı çözümün çok zaman olmasıdır. Levy ve arkadaşları [35], Majessi ve Lee [36] hesaplama hızını önemli bir şekilde artıran alternatif analizler öne sürüp geliştirmişlerdir.

2. METALLERDE PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞİMİ

Katı fazdaki bir cismin biçiminin dış kuvvetler etkisi ile, cismi oluşturan malzemede herhangi bir kütleli ya da bileşimsel farklılaşmaya yol açmaksızın ve kalıcı olarak değişmesi olayına plastik şekil değişimi adı verilmektedir [37].

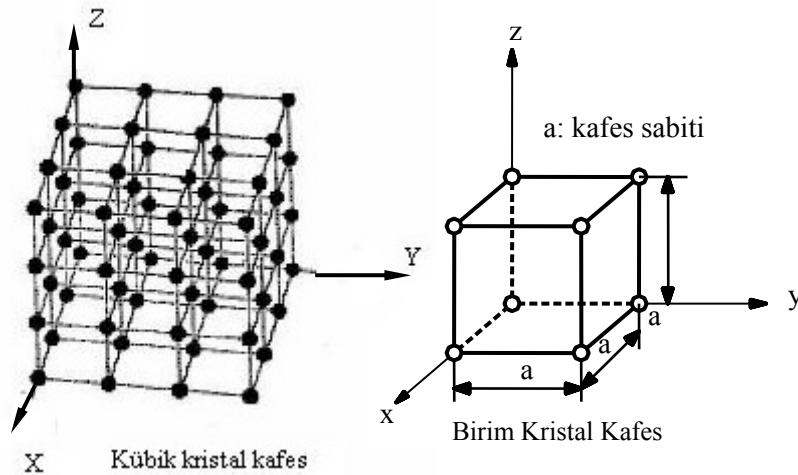
Demir esaslı malzemelerin yanı sıra bakır, çinko, alüminyum gibi demir dışı metaller ile bunların alaşımlarını plastik deformasyon yöntemlerini kullanarak şekillendirmek de mümkündür.

Derin çekme işlemi de, temel prensibi malzemenin plastik şekillendirilmesine dayanan bir yöntemdir. Dolayısıyla, bu işlemin tam olarak anlaşılabilmesi için öncelikle metallerdeki kalıcı şekil değişimini meydana getiren mekanizmalar yeterince tanınmalıdır. Bu nedenle bu bölümde, metallere plastik şekillendirilebilirlik özelliği kazandıran temel fiziksel iç yapı özellikleri üzerinde durulacaktır.

2.1 Metallerin Fiziksel Yapıları Ve Plastik Deformasyon

2.1.1 Metallerin Kristal Kafes Yapıları

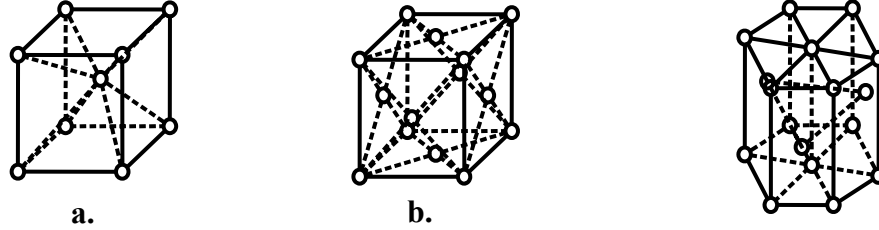
Metalik özellikteki malzemeler atomik düzeyde incelenecek olduğunda, bunları oluşturan atomların üç boyutlu uzayda belirli bir düzene göre yerleştikleri görülür. Metalin katılaşması esnasında ortaya çıkan ve malzeme açısından karakteristik özelliğe sahip böylesi yapılara kristal kafes, kafes geometrisini teşkil eden atomlar arası uzaklığa ise kafes sabiti adı verilmektedir. Kristal kafesi meydana getiren bütün atomlar arasında, kafesin biçimini korumaya olanak sağlayacak şekilde dengede bulunan itme ve çekme kuvvetleri mevcuttur. Atomlar arasında söz konusu olabilecek maksimum uzaklık ise, boyut açısından kafes sabiti düzeyindedir [38].



Şekil 2.1 Kristal kafes, birim kristal kafes ve kafes sabiti.

Kristal kafesler, tamamen aynı biçimsel özelliklere sahip basit geometrilere pek çok alt atom grubunun üç boyutlu olarak dizilmesinden oluşur [39]. Bundan dolayı kafeslerin sınıflandırılması, daha temel bir kavram olan ve birim kafes olarak adlandırılan bu alt gruplara göre yapılmaktadır. (Şekil 2.1, [40]).

Metallerin yapısında genel olarak üç farklı birim kafes tipine rastlanır. Bunlar; Hacim Merkezli Kübik (HMK), Yüzey Merkezli Kübik (YMK) ve Sıkı Düzenli (Paketli) Hekzagonal (SDH), olarak adlandırılmaktadırlar [39].



Şekil.2.2 Metallerde genelde rastlanan birim kafes tipleri; **a.**Hacim merkezli kübik. **b.**Yüzey merkezli kübik. **c.** Sıkı düzenli hekzagonal.

Hacim merkezli kafes, birim kübik hücrenin köşelerinde ve merkezinde yer alan birer atomdan meydana gelmektedir. Küp köşelerinde ve yüzeylerinde birer atom bulunması halinde, yüzey merkezli kübik kafes sistemi ortaya çıkar. Sıkı düzenli hekzagonal kafeste ise, hücrenin altıgen geometriye sahip alt ve üst yüzlerinde yedişer, iç bölgesinde ise üç adet atom bulunur (Şekil 2.2) [41].

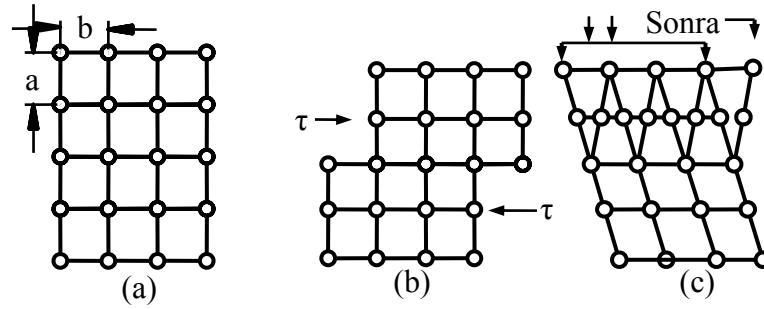
2.1.2. Kristallerin Şekil Değişimi

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve esası, malzemenin kalıcı olarak şekillendirilmesine dayanan imal usullerinin uygulamalarında olduğu gibi, metalik yapıdaki bir iş parçasının biçimini, malzemenin maddesel sürekliliğini bozmaksızın değiştirmek mümkündür. Ancak şekil verme işlemi sırasında bu sürekliliği koruyabilmek için, malzemeyi meydana getiren atomlar arasındaki atomik bağ süreklilik göstermelidir. Bu bağ ise atomlar arası uzaklığın bir fonksiyonudur. Zira, şekil değişimini gerçekleştirmek üzere cisme uygulanan kuvvet, bu uzaklığı maksimum kafes sabitinin yarısından daha fazla arttıracak olursa, atomik bağı oluşturan çekme kuvvetinde ani ve şiddetli bir düşüş ortaya çıkarak malzeme sürekliliği ortadan kalkar; iş parçasında çatlak oluşur. Bu nedenle şekil değiştirme sırasında atomların birbirlerinden ayrılmaması, kristal kafesin de bozulmaması gerekir [38].

Metal malzemelerde şekil değişimi, kayma düzlemi adı verilen bir kristal düzleminin diğeri üzerinde belirli bir kayma doğrultusunda ötelenmesi sonucu ortaya çıkar. Bir başka deyişle, şekil değişimini meydana getiren unsur, kristal kafeslerin birbirine göre hareket etmesidir [42]. Kayma adı verilen bu olaya bağlı olarak meydana gelen deformasyon kararlı

karakteristiğe sahiptir. Zira, kaymayı oluşturan gerilme ortadan kaldırıldığında kristal artık eski şeklini alamaz. Kayma olayında, kayma doğrultusundaki ötelemenin miktarı atomlar arası uzaklığın tam katı olarak verilir [43].

Kayma haricinde, kristal yapılarda şekil değişimi oluşturan ve temeli yine kristal hareketlerine dayanan ikinci bir mekanizma daha mevcuttur. İkizlenme adı verilen bu olay, darbeli yükleme veya buna benzer nedenlerle, kaymanın zorlaştığı durumlarda ortaya çıkar. İkizlenme, şekil değişiminden sonra kristalin iki bölgesinin, ikizlenme düzlemi denilen bir kristal düzlemine göre simetri göstermesi şeklinde tanımlanır [44].



Şekil 2.3.Kristalde şekil değişimi; **a.** Şekil değiştirmemiş kristal. **b.** Kayma. **c.** İkizlenme.

Kristal yapısında kaymayı meydana getiren temel unsur kayma gerilmesidir. Kayma gerilmesinin kayma olayını başlatabilmesi için, kristale etkiyen dış kuvvetin kayma düzleminde ve kayma doğrultusunda oluşturacağı gerilme belirli bir sınır değerden büyük olmalıdır. Bu değer ise, Şekil 2.3’de a ve b ile sembolize edilen kafes parametreleri arasındaki orana bağlıdır .

Burada verilen modelde kayma düzlemlerinin yatayda olduğu kabul edilecek olursa iki komşu atom düzlemi arasındaki uzaklığı temsil ederken b değeri de bu düzlemlerdeki atom yoğunluğu ile ters orantılı sabit bir sayıya tekabül eder. Kural olarak b/a değeri ne kadar küçük olursa, kafesi yatay yönde (şekle göre) deforme etmek için, ya da bir başka deyişle kaymayı meydana getirebilmek için gereken gerilme değeri de o derece az olacaktır. Sonuç olarak kayma, b uzaklığının küçük yani atom yoğunluğunun, dolayısıyla kayma olasılığının yüksek olduğu, kayma düzlemi adı verilen düzlemlerde ortaya çıkar. Düzlem üzerinde kaymanın gerçekleşebileceği doğrultuların ise, yukarıdakine benzer bir mantıkla atomca en zengin doğrultular olduğunu söylemek mümkündür. Bu doğrultular kayma doğrultusu olarak adlandırılır [45]. Bir kayma düzlemi ve bu düzlem üzerinde yer alan bir kayma doğrultusundan oluşan takım, kayma sistemi adını almaktadır.

Metalik malzemeler genellikle çok taneli, yani çok kristalli bir yapıda olup, bu yapıyı oluşturan her bir tane eksen farklı doğrultudadır. Kayma esnasında ise bu özellik sebebiyle her tane farklı yöne doğru harekete geçerek birbirlerinin hareketini engellemeye çalışacaktır. Sonuçta, en yüksek şekil alabilirlik özelliği, kristal yapısında en çok kayma olasılığını ihtiva eden kafes tarafından gösterilecektir.

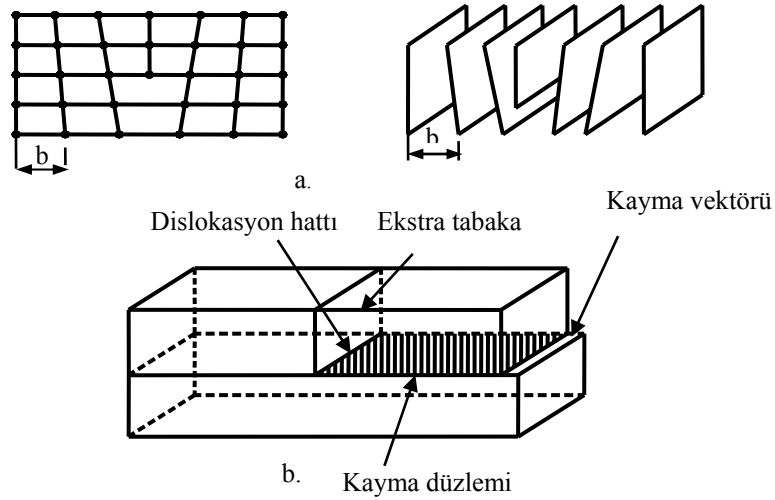
2.2. Kristallerde Meydana Gelen Yapı Hataları

2.2.1. Kristallerde Yapı Hatalarının Sınıflandırılması

Şimdiye kadar, malzemelerin hatasız bir kristal yapıya sahip olduğu varsayıldı. Oysa bir malzemeyi meydana getiren kristaller gerçekte, Şekil 2.2’de verilen modellerde olduğu gibi kusursuz ve eksiksiz değildir. Bunun temel nedeni, metalin katılaşma hızı olarak gösterilmektedir [38]. Zira metal oldukça kısa bir zaman dilimi içerisinde katılaştığından, eriyiği meydana getiren sınırsız sayıdaki atomun ideal kafes içerisinde kendilerine bir yer bulmaları güçleşir. Bunun sonucunda da atomlar kristal kafeslerini kusursuz olarak dolduramazlar; sistem içerisinde ideal kafes yapısından sapmalar meydana gelir. Bu sapmalar, kristal hatası adını almaktadır. Gerçek malzemelerin hemen hemen hepsinde iç yapı hataları bulunur. Bu hatalar;

- Noktasal (Sıfır boyutlu; kafes boşlukları),
- Çizgisel (Tek boyutlu; dislokasyonlar),
- Yüzeysel (İki boyutlu; tane sınırları),
- Hacimsel (Üç boyutlu; boşluklar ve kalıntılar)

olmak üzere dört ayrı grup halinde sınıflandırılırlar.

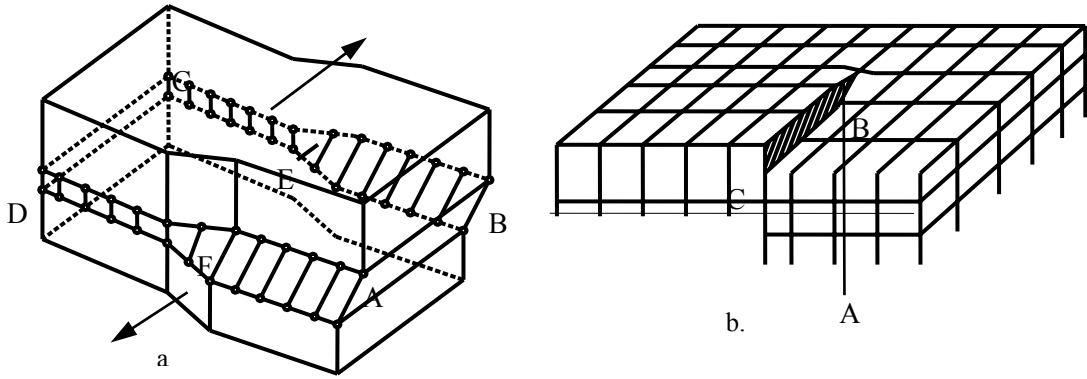


Şekil 2.4 Kenar dislokasyonunun yapısı

Burada kenar dislokasyonunun atom düzlemleri ile gösterimi (a), Kenar dislokasyonu modeli; kuvvet etkisi altında kristalin kayan üst bölgesinde ortaya çıkan fazladan atom tabakası (b)’dir.

Dislokasyonlar temelde iki farklı şekilde ortaya çıkarlar. Bunlardan kenar dislokasyonu olarak adlandırılan birinci tip, görüntü olarak kristal içinde sona eren bir kafes düzleminin kenarı gibi düşünülebilir [46].

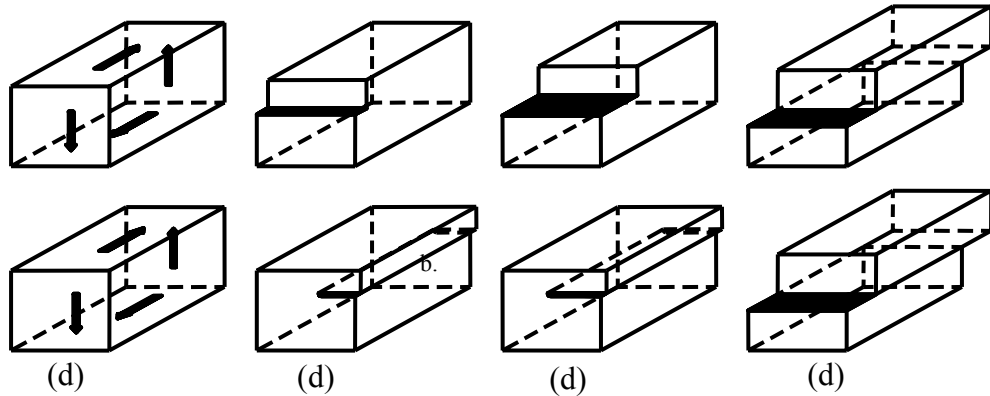
Vida dislokasyonu adı verilen ikinci tipte ise kafes düzlemi, bu düzleme dik olan dislokasyon hattı çevresinde spirale benzer bir şekil alır (Şekil 2.5.b), [47].



Şekil 2.5 Vida dislokasyonunun yapısı. **a.** Kristal içerisindeki vida dislokasyonu (EF boyunca), **b.** Kristal yüzeyindeki B noktasında son bulan AB vida dislokasyonu.

Malzeme içerisindeki çizgisel hata sıklığı, dislokasyon yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır. Bu değer birim hacme düşen dislokasyon çizgisi uzunluğu şeklinde de tanımlanmaktadır.

Kayma düzlemi ile birbirinden ayrılmış iki kristal parçasından birinin diğeri üzerinde ve bu kayma düzlemi boyunca atomlar arası uzaklık mertebesinde hareket edebilmesi için, düzlemde bulunan tüm atomlar arası bağların kopması gerekir. Bununla beraber, böyle bir kayma hareketini sağlayabilmek için hesaplanan gerekli iş ve kuvvet ihtiyacının deneysel olarak elde edilen değerlerden çok daha yüksek olduğu görülür. Günümüzde genel olarak kabul gören düşünce, bu farkın temel sebebinin dislokasyonlar olduğu yönündedir. Zira, dislokasyon içeren bir kafes sisteminin bir düzleminde kaymayı gerçekleştirebilmek için, yalnızca düzlemdeki birkaç atomun bağını koparabilecek değerdeki bir kuvveti uygulamak yeterli olabilmektedir [42]. Buraya kadar açıklananların ışığında, dislokasyonların plastik şekil değişiminin esas nedeni olduğunu söylemek mümkündür [37]. Zira, metallerdeki plastik şekil değişimi büyük ölçüde dislokasyon hareketleri yardımıyla gerçekleşmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.6 Dislokasyon hareketleri nedeniyle kayma gerilmesine maruz bir kristalin yüzeyinde basamak oluşumu; **a.** Kenar dislokasyonu, **b.** Vida dislokasyonu.

2.2.2. Pekleşme

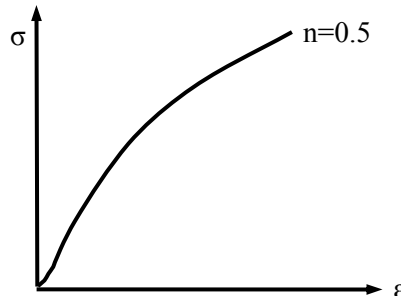
Metallerin rekristalizasyon sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde kalıcı olarak şekillendirilmeleri olayına soğuk şekillendirme adı verilir [48]. Malzemelere uygulanan soğuk şekil değiştirme işlemi sırasında, etkiyen dış kuvvetler nedeniyle kristal kafes yapısında kayma, ikizlenme veya bu her iki olay da aynı anda meydana gelebilir. Şekil değiştirme miktarı artırıldıkça malzeme mukavemetinin ve sertliğinin de önemli ölçüde arttığı görülür [49]. Buna karşın süneklik azalır ve plastik şekil alabilirlik yeteneği giderek ortadan kalkmaya başlar. Eğer şekil değişimine daha da fazla devam edilecek olursa malzemede hasar meydana gelir. Bir malzemenin soğuk şekil değiştirme sonunda sertleşmesi, şekil değiştirme sertleşmesi ya da pekleşme olarak adlandırılmaktadır. Şekillenme sonucu ortaya çıkan sertleşmenin derecesi, şekil değişimi miktarının yanı sıra malzeme bileşimine de bağlıdır. Zira alaşımlı malzemeler, sahip oldukları yüksek akma sınırı nedeniyle alaşımsız malzemelere nazaran daha fazla sertleşirler [41].

Muhtelif malzemelere ait pekleşme davranışının sayısal olarak tespit edilmesinde en çok kullanılan yöntem çekme deneyidir. Bunun dışında, basma, burma, çökertme gibi deneysel uygulamaların da benzer amaçla kullanılabilir olması karşın, basitliği nedeniyle çekme deneyi, bunlar arasında en fazla tercih edilen konumundadır [48]. Pekleşme davranışının tanımlanması amacıyla, deneysel olarak elde edilen gerilme-uzama eğrilerine karakteristik açısından oldukça yakın bir takım denklemlerden yararlanılmaktadır.

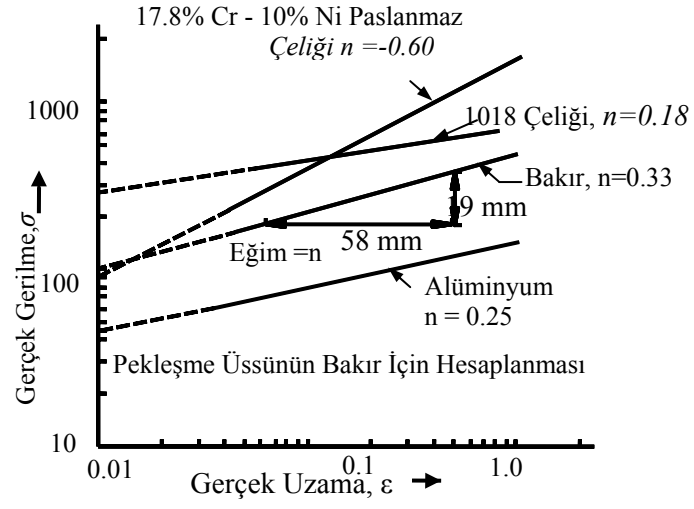
Ludwik tarafından sabit sıcaklık ve sabit şekil değiştirme hızı koşulları için teklif edilen;

$$\sigma = \sigma_0 + K\varepsilon^n \quad (1)$$

bağıntısı bu denklemlerin en sık kullanılanlarındandır. Denklemden verilen σ_0 malzemenin akma sınırını sembolize etmektedir. K ve n ise malzemeyi karakterize eden sabitler olup, K mukavemet katsayısı, n ise pekleşme üssü olarak adlandırılmaktadır [37].



Şekil 2.7 $n < 1$ için çizilen $\sigma = K\varepsilon^n$ eğrisi. Bu eğri, elastik davranış göstermeyen ve belirgin bir akma sınırına sahip olmayan malzemeleri sembolize eder [37].



Şekil 2.8 Logaritmik koordinatlarda muhtelif metalik malzemeler için çizilen gerçek çekme diyagramları yardımıyla pekleşme üssü, n 'nin sayısal olarak ifade edilmesi [50].

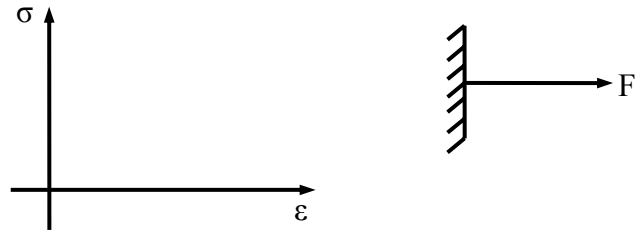
3. PLASTİSİTEDE KULLANILAN MALZEME ÇEŞİTLERİ VE MODELLERİ

Mukavemette malzemenin, bilmemiz gereken, mekanik özelliklerine ait en önemli bilgileri çekme deneyinin sonucu olan gerilme-şekil değiştirme diyagramından elde ederiz. Farklı malzemeler için gerilme-şekil değiştirme diyagramları birbirlerinden çok farklıdırlar. Ayrıca, herhangi bir malzemeye ait diyagramın tümünü kapsayacak basit bir matematik denklem vermek olanağı da mevcut değildir. Diğer taraftan mukavemette yapılan analizin matematik bölümü için fiziksel gerçeklere uyan ve bu arada imkan oranında basit olan bir bağıntıya ihtiyacımız vardır.

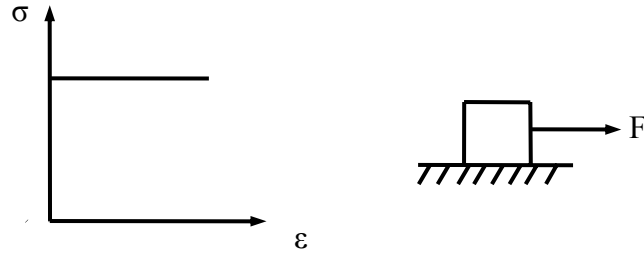
İşte bu gereksinme, deney sonuçlarını amaca göre idealleştirerek basit denklemlerle ifade edilebilir hale getirmek gereğini ortaya çıkarmıştır. Böyle bir idealleştirmenin uygunluğu, incelenecek olan pratik problemin türüne göre söz konusu olacak şekil değiştirmenin büyüklüğüne bağlı olacaktır. Ne çeşit bir idealleştirmenin kullanılacağı hakkında karar vermek için bu idealleştirmenin kullanılacağı mekanik problemlerine bakmak gerekir.

Plastik şekil değiştirme yeteneğine sahip bir malzemenin, uygulanan soğuk şekillendirme miktarına ya da ısıtılma işlem programına göre sahip olduğu iç yapıya bağlı olarak, uygulanan yüke verdiği reaksiyonu yorumlayabilmek amacıyla, malzeme özelliklerini idealize edilmiş biçimde tanımlayan bazı modellere ihtiyaç duyulur. Aşağıdaki şekillerde farklı özellikteki malzemelerin yükleme karşısında gösterdikleri davranışları incelemek amacıyla oluşturulan böyle dinamik modeller ve bunlara tekabül eden idealize edilmiş gerilme-uzama diyagramları verilmektedir [38].

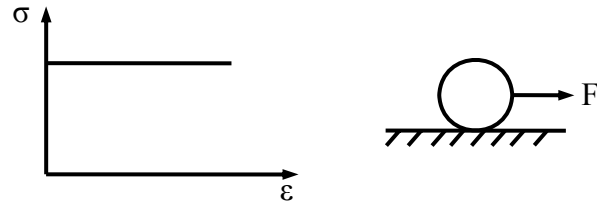
Bazen, arzuladığımız şekilde, şekil değiştiren elemanlar imal etmemiz gerekebilir. Mesela yay ve yay türü elemanlar imal ediyorsak bu elemanlar tekrarlanan yükler altında daima lineer karakterde olan şekil değiştirmeleri yapabilmelidirler. Şu halde bu elemanların yapıldığı malzeme, orantı sınırının altında çalışan elastik karakterli malzeme olmalıdır. Otomobil tamponları gibi elemanlar ise normal şartlar altında kalıcı şekil değiştirmelere uğramamalı fakat kaza v.s. gibi olağan dışı hallerde plastik şekil değiştirme diye adlandırılan kalıcı şekil değiştirmeler yaparak hız azalma ivmesini sınırlandırmalıdırlar. Bu çeşit hallerde de hem elastik hem de plastik bölgede geçerli yaklaşımlara ihtiyacımız vardır. Güvenlik pimi ve bunun gibi görev yapan elemanların dizaynında da tam kırılma önemli rol oynayacak ve elastik şekil değiştirmenin ise hiçbir önemi olmayacaktır. Şekil değiştiren cisimler mekaniği, belki de en fazla, kırılmanın hatta büyük şekil değiştirmelerin meydana gelmesine izin verilmeyecek elemanların dizaynında kullanılacaktır. Bu şartlar altında uzun ve ince elemanların dizaynında, plastik şekil değiştirmeler bir tarafa, hatta küçük elastik birim uzmanlar dahi tüm elemanda izin verilmeyecek büyük şekil değiştirmeler doğurabilir. Böyle durumlardaki elemanların dizaynında lineer elastik bağıntının yeterli olacağı açıktır.



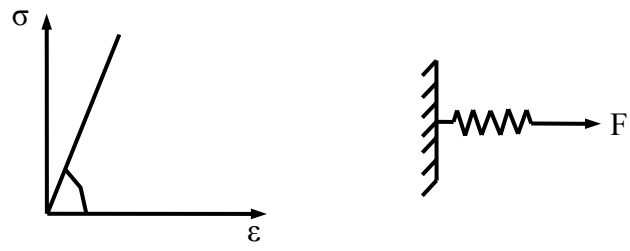
Şekil 3.1 Rijit Cisim.



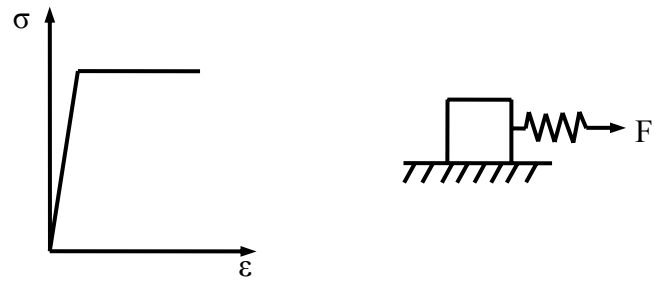
Şekil 3.2 Lineer Tam Plastik Cisim.



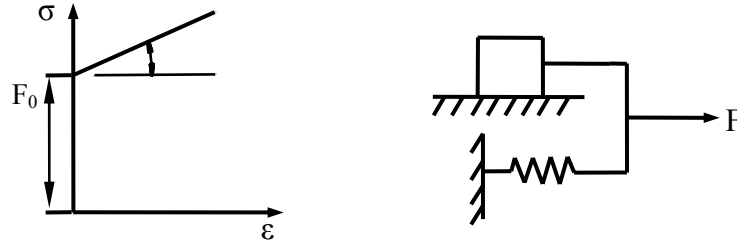
Şekil 3.3 Plastik Cisim.



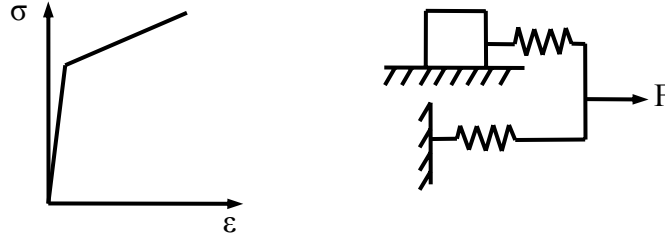
Şekil 3.4 Elastik Cisim.



Şekil 3.5 Elastik, Tam Plastik Cisim.



Şekil 3.6 Rijit, Lineer Sertleşen Cisim.



Şekil 3.7 Elastik, Lineer Sertleşen Cisim.

Rijit cisim kuvvet uygulamasında hiç deplasman vermeyen bir cisim olduğundan bu model şematik olarak $x=0$ şeklindedir (Şekil 3.1).

Şekil 3.2’de ise lineer, tam plastik özellikte ve sonsuz büyüklükte bir elastisite modülüne sahip ideal cisim tanımlanmaktadır. Bu tip malzemeler, gerilme akma sınırına ulaşıncaya dek hemen hiçbir elastik şekil değişimi göstermez. Akma sınırına ulaşıldığı anda ise plastik şekil değişimi başlar ve bu değişim sabit gerilme altında devam eder. Bu da malzemenin pekleşmediği anlamına gelmektedir. Bu modelde, deformasyonun elastik bileşeni, plastik bileşen yanında ihmal edilmektedir.

Şekil 3.3’de plastik cisim temsil edilmektedir. Malzeme tam plastik bir cisim ise; malzeme üzerine bir kuvvet uygulandığında akma sürekli olacaktır.

Elastik cisimler, üzerlerine tatbik edilen kuvvetler ile kendilerinde doğan şekil değiştirmelerin, kuvvetlerin kaldırılmasıyla ortadan kaybolan cisimlerdir. Şekil 3.4, tam elastik özelliğe sahip ideal bir malzemeyi karakterize etmektedir. Gevrek özellik gösteren böylesi malzemelerde kopma uzaması %1.2 gibi oldukça düşük mertebede olup, elastisite sınırı çekme dayanımına oldukça yakındır. Bu tür malzemelerden oluşturulan parçalar basit çekmeye maruz kaldıklarında, elastisite sınırının aşılmasına müteakip büzülme göstermeksizin kopma eğilimi gösterir. Bunun yanında, gevrek malzemelerin çekme diyagramlarında kopma noktasındaki gerilme değeri ile çekme dayanımı çakışır [37]. Gevrek malzemeler olan seramik, cam ve dökme demirlerin bazıları bu sınıfa girmektedir.

Elastik, tam plastik cisim (Elastoplasik) cisim bir blok ve buna bağlanmış bir yay ile temsil edilebilir. Şekil 3.5’de bloğun kaymaya başlayacağı F_0 kuvvetine kadar yayda deplasman vardır; fakat blok hareket edememektedir. $F=k*x$; $F<F_0$ ifadeleri matematik olarak cismi tarif

eder. Bu bölge için malzeme elastiktir. $F < F_0$ da ise blok kaymaya başlamıştır. Yayıdaki deplasman ile bloktaki deplasman aynıdır. Bu bölgede cisim plastik olarak akmaktadır.

Rijit elastik cisim bir blok ve yayın paralel bağlanması ile temsil edilebilir. F kuvveti F_0 gibi bir değere çıkmadan deplasman görünmez. Şekil 3.6'daki cisim rijittir. Birinci bölgede $F < F_0$, $x=0$ matematik ifadeleridir. 2. bölge $F > F_0$ ile tanımlanır. F kuvveti F_0 dan büyük olduğundan blok ile yay aynı deplasmana sahip olurlar ve yay elastik karakter taşıdığından cisim bu bölgede elastik özellik gösterir [38].

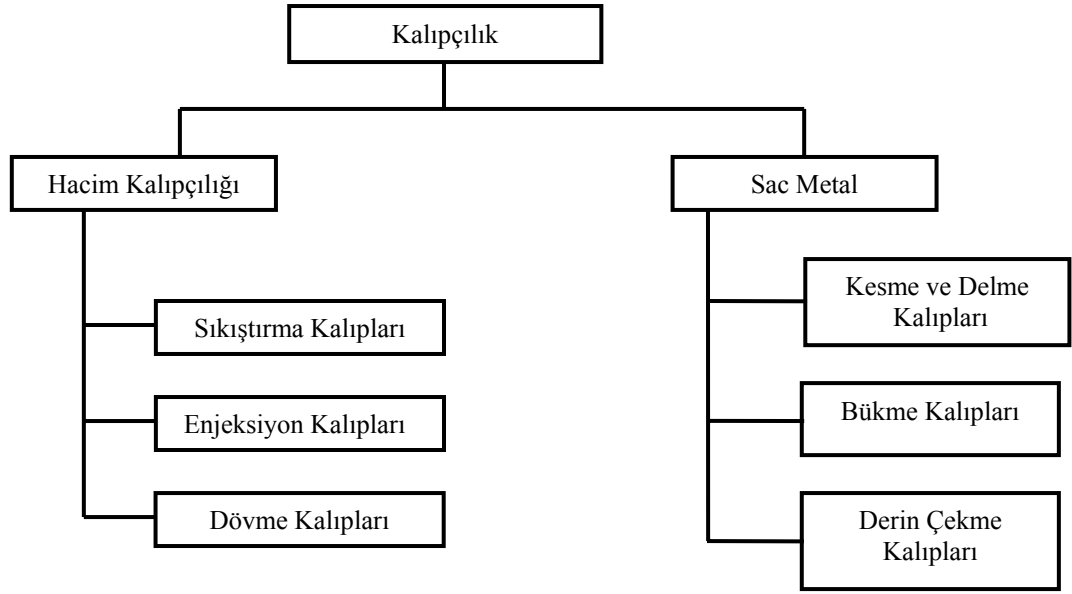
Şekil 3.7'de gösterilen ve pekleşen elastoplastik adını da alan malzemede ise akma noktasından sonra şekil değiştirmenin devam edebilmesi için, çok küçük de olsa, yine gerilme artışı gerekli olur. Bu pekleşen malzemelerde diyagramın pekleşme kısmının sapması da mümkündür.

Bu modellerin dışında başka tür modeller üretmek de mümkündür; özellikleri zamana da bağımlı olabilen çeşitli modellerin elementer olmayan çeşitli problemlerde kullanış alanları da mevcuttur.

4. 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 kalıpçılığı ve sac metal kalıpçılığı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.



Şekil 4.1 Kalıpçılık Çeşitleri.

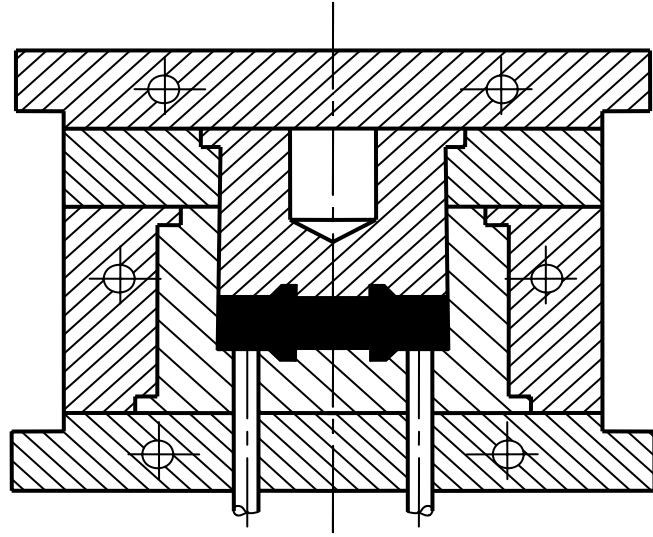
4.1. Hacim Kalıpçılığı

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

4.1.1. Sıkıştırma Kalıpları

Termoset 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.

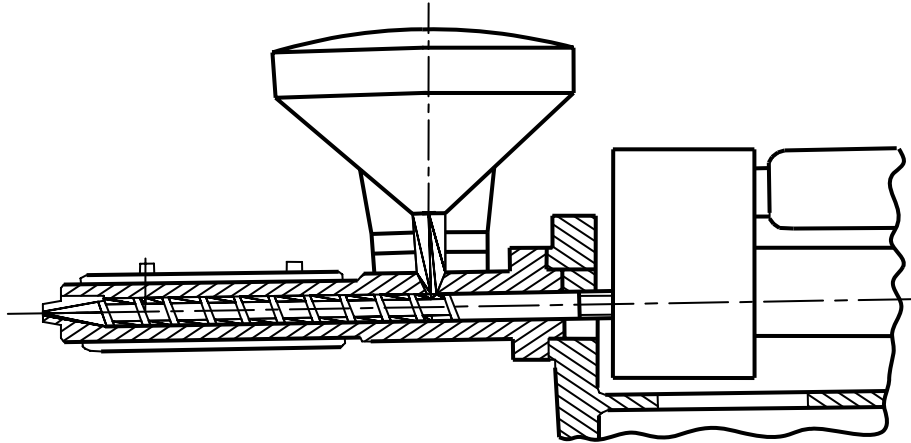


Şekil 4.2 Sıkıştırma Kalıbı.

4.1.2. Enjeksiyon Kalıpları

Termoplastiklerin şekillendirilmesinde enjeksiyonla şekillendirme yöntemi kullanılmaktadır.

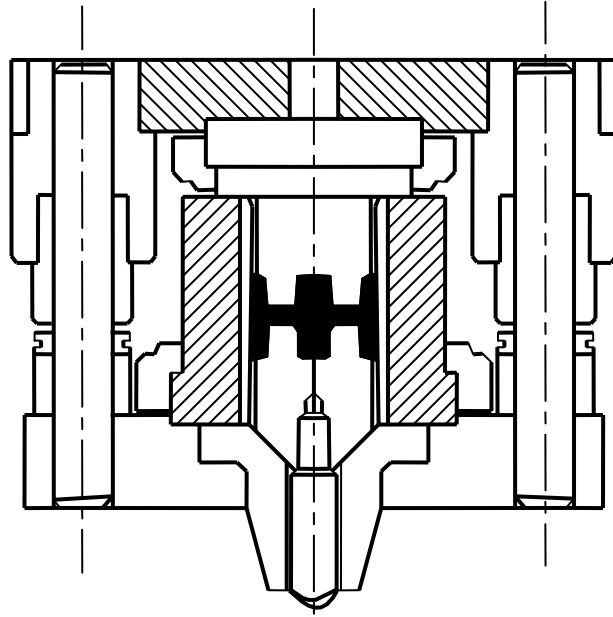
Toz veya küçük taneler halindeki termoplastikler bir huni yardımıyla pres içerisine gönderilir. Isıtıcılar tarafından ısıtılan, silindirin sıcaklığı malzeme cinsine göre ayarlanır. Silindir içerisinde eriten plastik madde hidrolik piston vasıtasıyla kalıp içine itilir. Kalıbın şeklini alan plastik malzeme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



Şekil 4.3 Enjeksiyon Kalıbı.

4.1.3. Dövme Kalıpları

Dövereş şekillendirme esnasında malzemenin kristal yapısında değişimler meydana gelmektedir. Kristal kafesleri meydana getiren atomlar birbirlerine yaklaşılarak aralarındaki elektromanyetik bağ daha da kuvvetlenir. Dolayısıyla dövme kalıplarında imal edilen malzemeler daha mukavemetli olmaktadır.



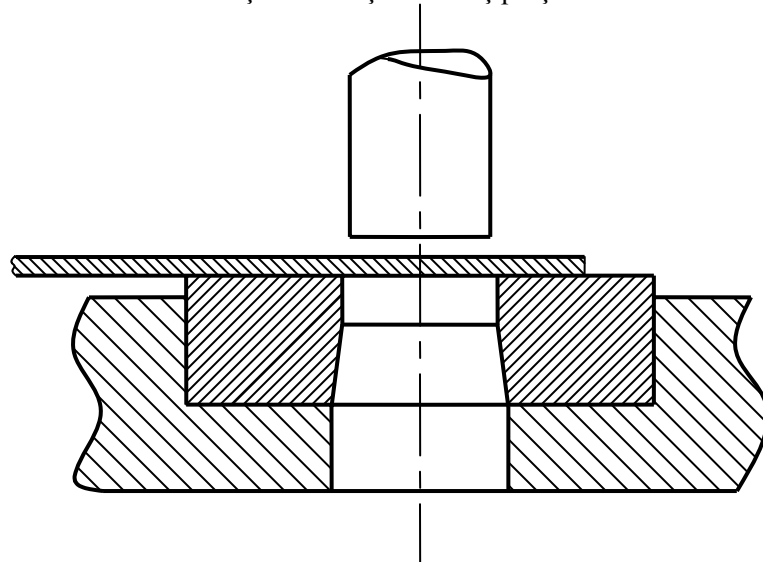
Şekil 4.4 Dövme Kalıbı.

4.2. 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.

4.2.1. Kesme Kalıpları

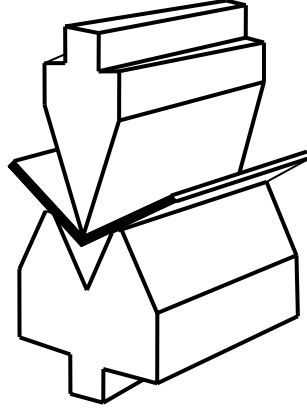
Üretilcek parçayı bir defada metal şeritten kesen kalıplara kesme kalıpları denilmektedir. Bu metotta istenilen şekil ve ölçüde özdeş parçalar elde edilmektedir.



Şekil 4.5 Kesme Kalıbı

4.2.2. Bükme Kalıpları

Bükme, malzemenin sıcak veya soğuk olarak, talaş kaldırmadan, tarafsız eksen etrafında kuvvet etkisiyle yüzey doğrultularının yön değiştirmesidir.



şekil 4.6 Bükme Kalıbı

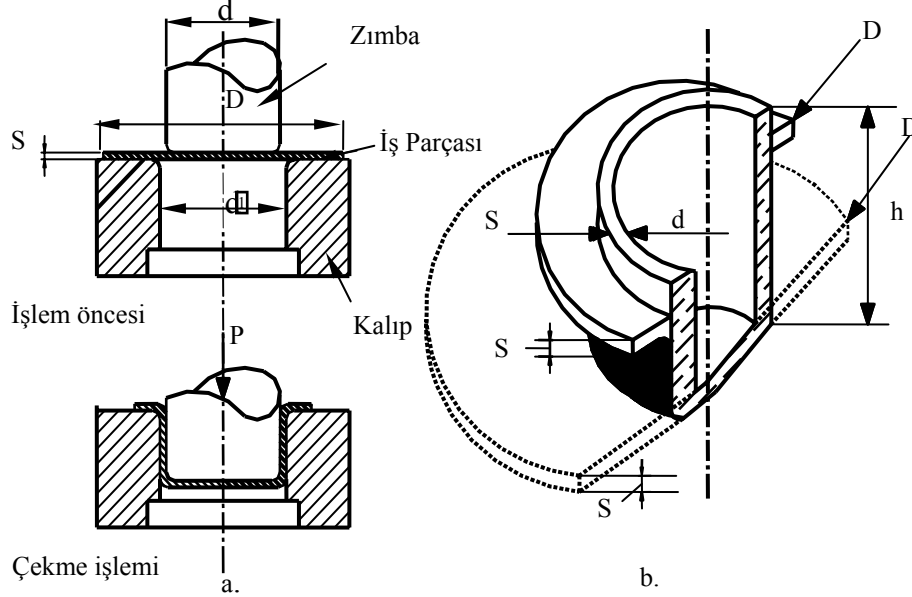
5. DERİN ÇEKME

Sac metal kalıpcılığı tekniğinde parçalar ya kesilmekte ya da biçimlendirilmekte veya aynı işlemde biçimlendirilip, kesilmektedir. Şekillendirmelerin endüstride en yaygın kullanımı çekme ile şekillendirmedir. 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.

5.1. 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 [51].

Şekil 5.1’de, çekme sacı olarak adlandırılan dairesel iş parçasından d çapına sahip silindirik bir kabın çekme işlemiyle elde edilmesi şematik olarak verilmektedir.

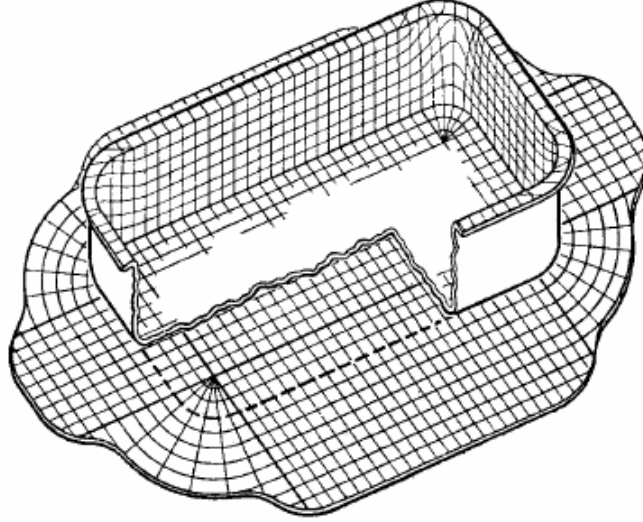


Şekil 5.1 Derin çekme işlemi, a. Şematik, b. Perspektif.

Şekilden de görülebileceği gibi, başlangıçta S_0 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 [41].

5.2. 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 [52] (Şekil 5.2 [53]). Gerekli önlemler alınmadığında bu gereksiz malzeme işlemin hatasız olarak gerçekleştirilebilirliğini tehlikeye sokar.



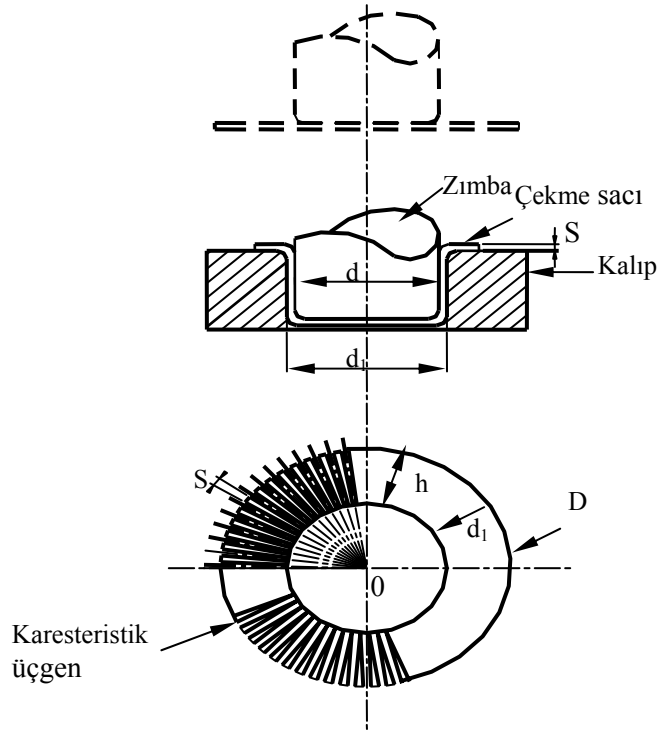
Şekil 5.2 Karmaşık şekilli bir levhadan yuvarlak köşeli bir kutunun çekilmesi.

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

5.2.1. 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 5.3). 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. 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 [45]. 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.



Şekil 5.3 Dairesel iş parçasında karakteristik üçgenin elde edilmesi.

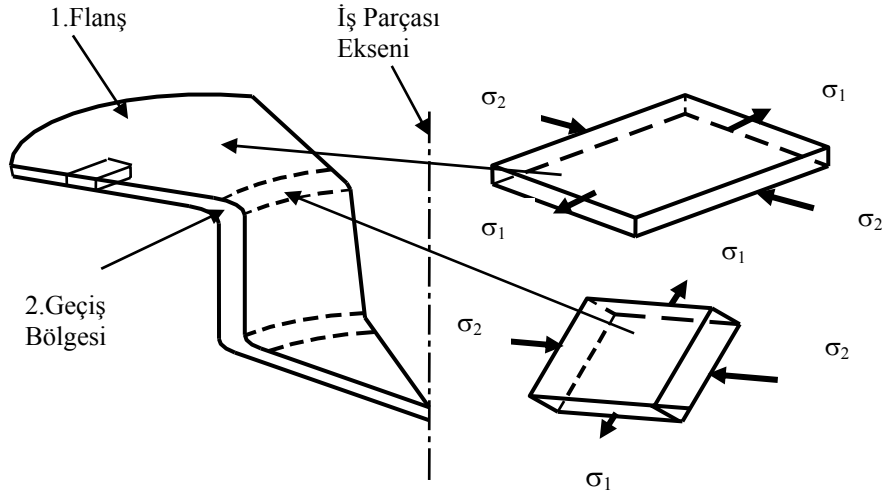
Karakteristik üçgene tekabül eden malzeme çekme işleminde bir fonksiyona sahip olmadığı gibi, özellikle belirli çap-kalınlık oranlarında, iş parçasında kulak adı verilen kırışmalara yol açabilmektedir [41]. Silindirik bir deney parçasının flanş bölgesinde meydana gelen bu türde kırışıklıklar Şekil 5.4’te görülmektedir.



Şekil 5.4 Silindirik çekme ile elde edilen farklı özellikteki malzemelerden imal edilen kaplarda, yetersiz baskı plakası kuvveti sonucu kulak oluşumu.

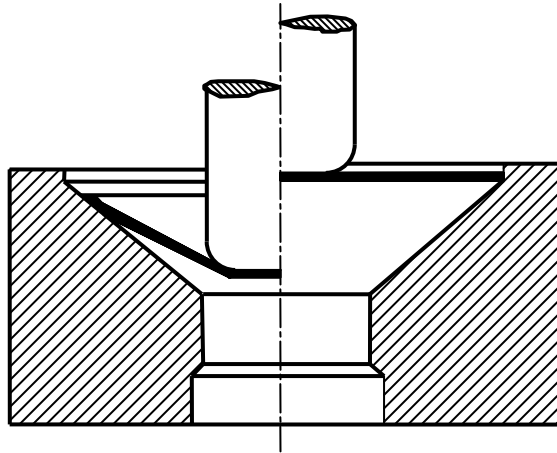
5.2.2. Kulak Oluşumu

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 5.5’de de görülebileceği gibi, radyal çekme ve teğetsel basınç gerilmelerinin etkisi altında kalır [45]. 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 [51].



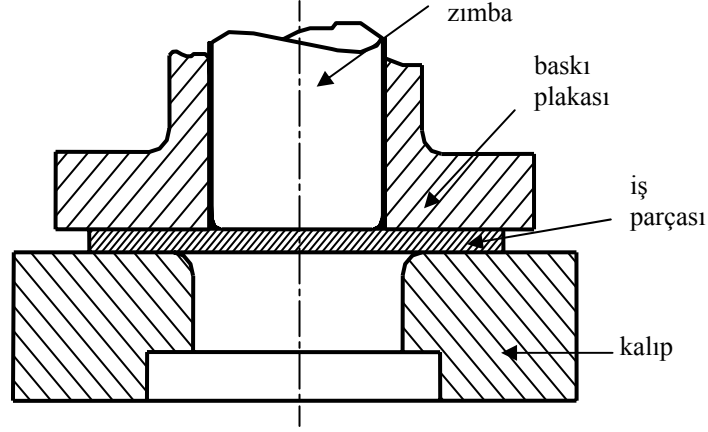
Şekil 5.5 Baskı plakası kullanılmadan gerçekleştirilen derin çekme işleminde flanş bölgesinde ortaya çıkacak gerilmeler, [45].

Bu işlem uygulamada baskı plakasız çekme ya da serbest çekme adlarıyla da bilinmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Baskı plakasız çekme [59].

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 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7 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,

$$\frac{D}{d} > \frac{21}{20} \text{ ya da,} \quad (2)$$

$$S_0 > 0.2 (D-d), \quad (3)$$

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

5.3. Limit Çekme Oranı ve Anizotropi

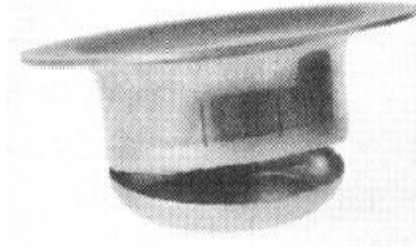
5.3.1. Limit Çekme Oranı

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 [49]. Limit çekme oranının sembolik gösterimi ise;

$$\beta = \frac{D_{\max}}{d} \quad (4)$$

şeklindedir [41].

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 5.8.'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 [41].



Şekil 5.8 Silindirik iş parçasında limit çekme oranının aşılması sonucu ortaya çıkan hasar [45].

5.3.2. Derin Çekmede Anizotropi

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 5.9) uygulanacak çekme deneyi sonucunda ortaya çıkacak kalınlık ve genişlik değişimleri yardımıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} \quad (5)$$

$$\varepsilon_w = \ln \left(\frac{w_{son}}{w_{ilk}} \right) \quad (6)$$

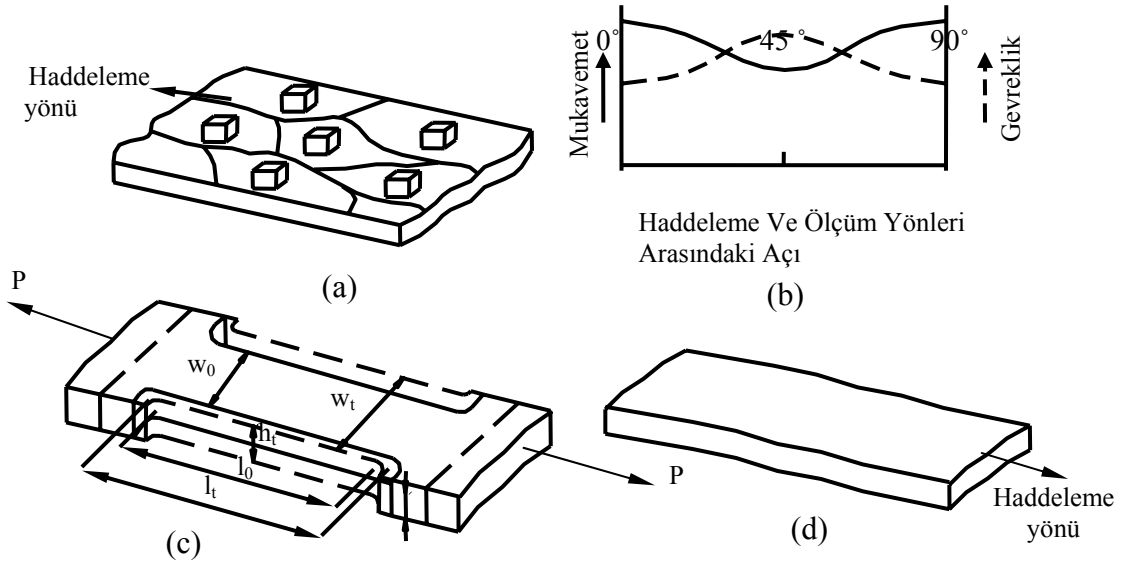
$$\varepsilon_t = \ln \left(\frac{t_{son}}{t_{ilk}} \right) \quad (7)$$

Bu bağıntıda ε_w , deney parçasındaki genişlik değişimini, ε_t ise kalınlıktaki değişimi sembolize etmektedir.

Aşağıdaki şekilde, metalik sac levhada anizotropinin oluşumunu (a), belirli bir referans eksenine göre ölçülen mekanik özelliklerin haddeme yönüne göre değişimini (b), anizotropinin malzeme özelliklerine olan etkisinin çekme deneyi numunesinde ortaya çıkacak boyutsal değişimler yardımıyla belirlenmesini (c), Ortalama anizotropi değerinin hesaplanmasında kullanılan muhtelif doğrultular (d) ile gösterilmiştir. [49].

Soğuk haddelenmiş çeliklerde genellikle düzlemsel bir anizotropiden söz edilir. Söz konusu bu özellik ise malzemenin hadde yönünün bir fonksiyonudur, yani iş parçasının ana malzemeden kesilme pozisyonunun haddeleme doğrultuna göre yaptığı açı ile değişir. Bu

nedenle uygulamalarda bir ortalama plastik anizotropi değerin tanımlanması gerekir. R_{ort} ile sembolize edilen bu kavram aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır [54];



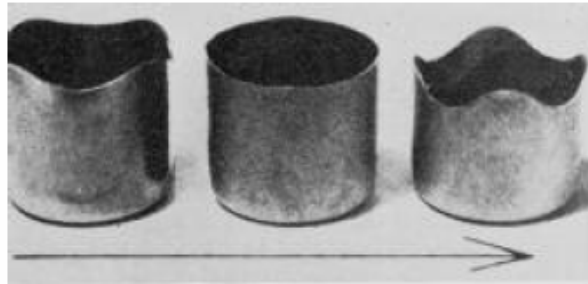
Şekil 5.9 Sac malzemede anizotropinin tespit edilmesi.

$$R_{ort} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (8)$$

Bağıntıdaki, 0, 45 ve 90 indisleri, plastik anizotropi değeri hesaplanmak üzere sac levhadan alınan numunelerin haddeme 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 5.10). Literatürde genellikle ΔR ile sembolize edilen düzlemsel anizotropi, malzeme için farklı yönlerde hesaplanan plastik anizotropi değerleri yardımıyla aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [54];

$$\Delta R = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{2} \quad (9)$$



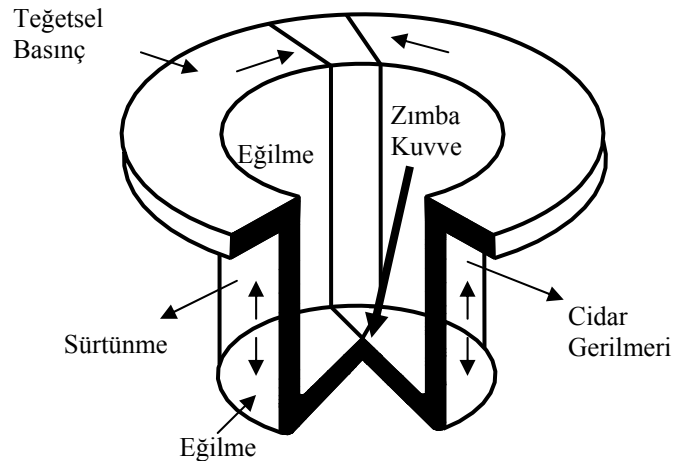
Şekil 5.10 Üç Farklı sac malzemedan derin çekilerek elde edilen iş parçalarında meydana gelen kulaklanma.

ΔR 'nin sıfır olması durumunda iş parçasında kulaklanma oluşmaz. Çekme sonucu iş parçasında ortaya çıkacak kulakların yüksekliği ΔR 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 [50].

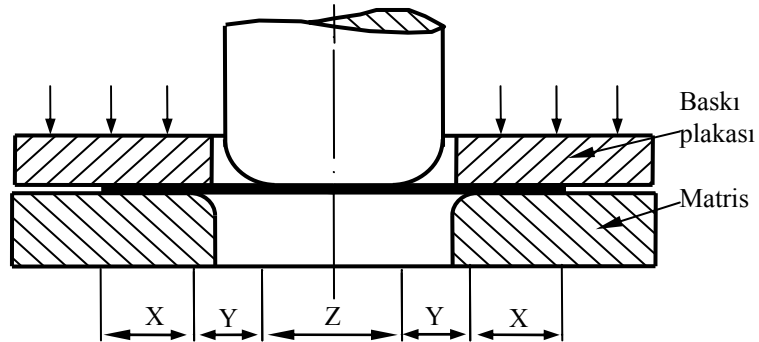
Çekme işlemi tamamlandıktan sonra, ortaya çıkan kulaklar iş parçasının çevresi boyunca kesilerek ayrılırlar. Malzeme kaybının yüksek olmaması için kulaklanma miktarı en aza indirgenmelidir.

5.4. Derin Çekme İşleminde İş Parçası Kalınlığının Değişimi

Çekme etkisinden dolayı sac bünyesinde ortaya çıkacak kuvvetler, malzemenin kalınlığında değişmelere neden olmaktadır. Önceki bölümlerde, meydana gelen bu iç kuvvetlerin bazılarının iş parçası üzerindeki olumsuz etkilerine değinilmişti. Şekil 5.11'de ise silindirik bir parçanın sac çekme yöntemiyle üretimi esnasında, parça iç yapısında ortaya çıkan kuvvet ve gerilmeler genel olarak görülmektedir [43].



Şekil 5.11 Derin çekme işleminde iş parçasına etki eden kuvvetler.

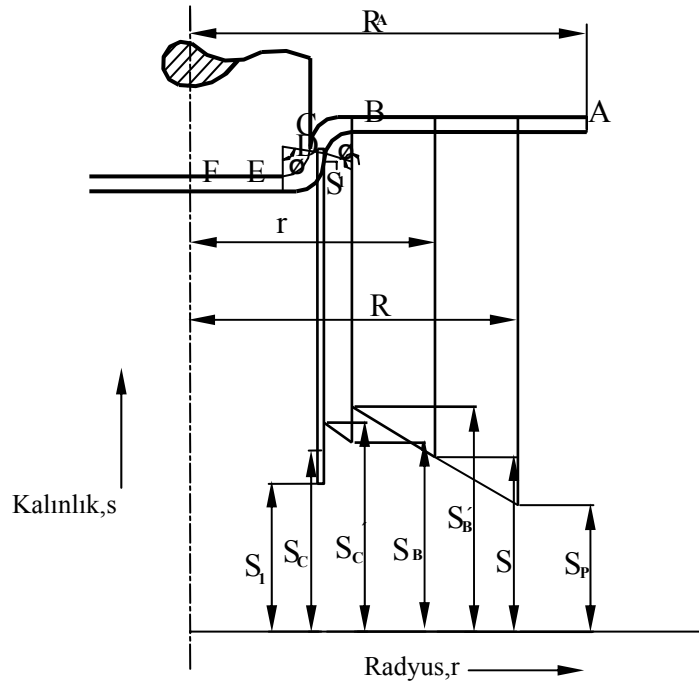


Şekil 5.12 Çekme başlangıcında iş parçasının durumu; Sıkıştırma kalıbı (baskı plakası), Matris.

Çekme işleminde kullanılan elemanlarla temas halinde olduğu bölgelerine göre, dairesel bir sac levha, üç ana kısımda incelenebilir.

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 5.12, [43]).

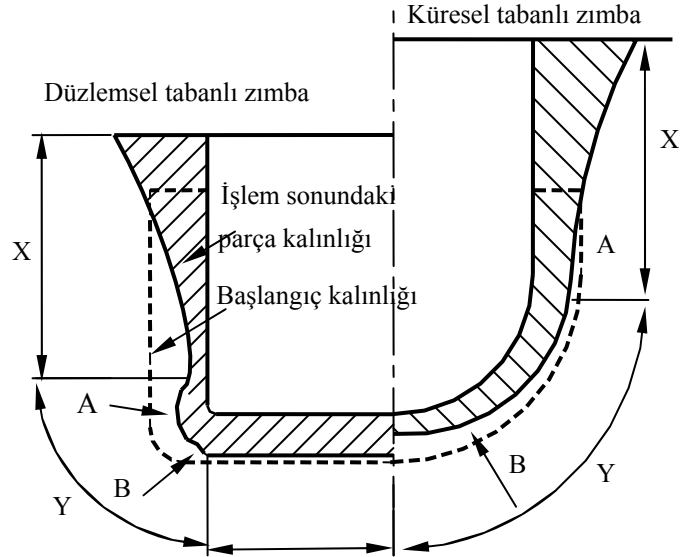
Malzemenin, içinden geçmeye zorlandığı kalıp boşluğu çapı, halkanın başlangıç çapından küçük olduğu için bu bölgede teğetsel basınç gerilmeleri ve buna bağlı malzeme yığılması ortaya çıkar. Bir başka anlatımla, ilkel dairesel iş parçası üzerinde ve daire merkezinden R kadar uzakta bulunan bir referans parçası, radyal çekme sonucunda merkeze yaklaştıkça kalınlaşır (Şekil 5.13, [55]). X bölgesindeki bu kalınlaşma, derin çekilmiş parçaların daha ziyade dış kısımlarında kendini göstermekte, bu bölgenin son bulduğu noktada et kalınlığı yeniden artmaktadır (Şekil 5.14, [55]). Bir başka deyişle, X bölgesinin bitiminde iş parçasında boyun oluşumu (Şekil 5.14'te, (A)) meydana gelmektedir.



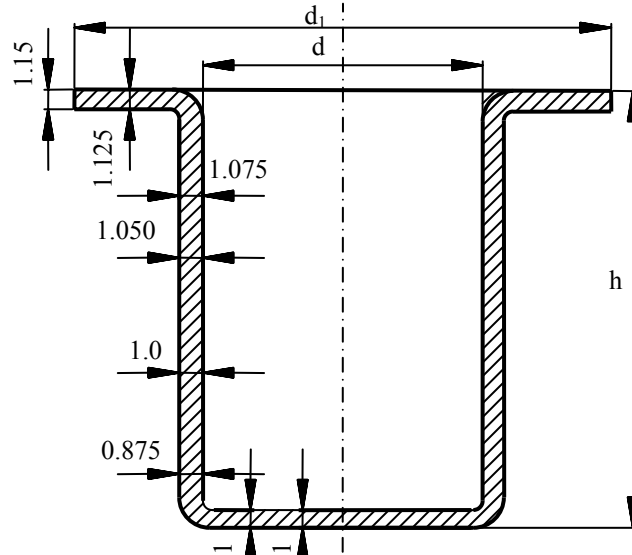
Şekil 5.13 Derin çekme işlemi boyunca kalınlık değişiminin seyrini [55].

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 5.13'te görülen ani incelmeye Şekil 5.14'te, B ile gösterilen ikincil bir boyunlaşmaya yol açmaktadır.

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 5.15) çekilmiş iş parçasının taban kısmında et kalınlığı yaklaşık olarak sabit kalır. Burada ortaya çıkacak gerilmeler ise, mevcut sürtünme katsayısı ve zımba biçiminin fonksiyonudur [55], [50].



Şekil 5.14 Farklı geometrilere sahip zımbalarla yapılan derin çekme işleminde malzeme cidarında oluşacak kalınlık değişimlerinin karşılaştırılması [55].



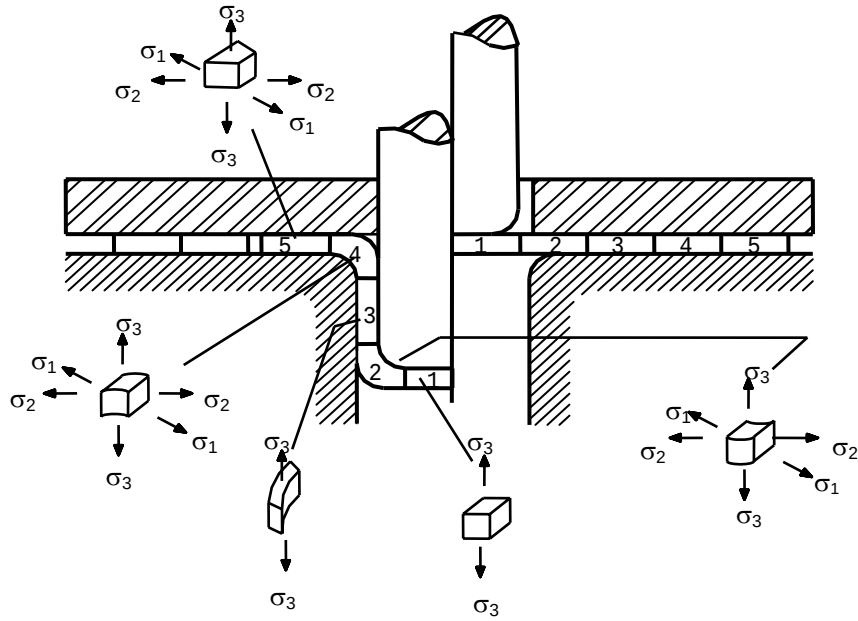
Şekil 5.15 Çekilerek imal edilmiş silindirik bıç kapta cidar kalınlıklarının değişimi (Başlangıç malzeme kalınlığı $S=1(\text{mm})$, $d=12(\text{mm})$, $d_1=22(\text{mm})$, $h=21(\text{mm})$) [43].

5.5. Kademeli Çekme

Derin çekme esnasında malzemenin plastik deformasyona zorlanması malzeme üzerinde birçok gerilmenin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu gerilmeler Şekil 5.16'da

verilmektedir. Derin çekme işleminin başarılı olabilmesi için malzeme bu gerilmelere dayanım gösterebilmelidir.

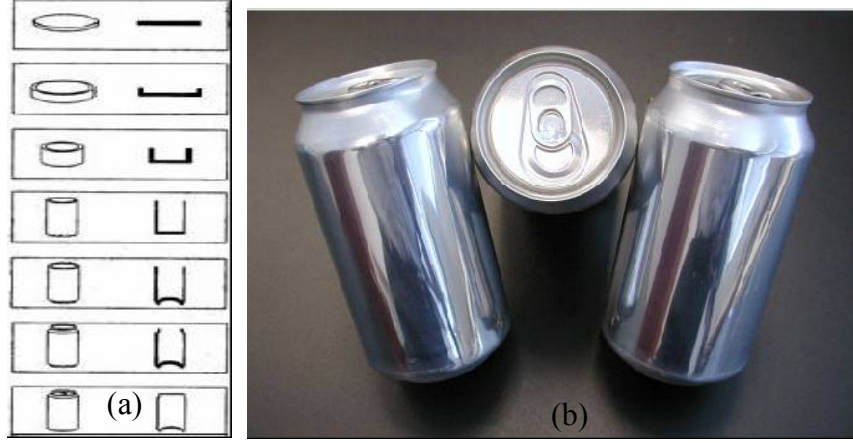
Sacın ilk çapı ile zımba çapı arasındaki oran büyüdükçe sacı plastik deformasyona uğratabilecek zımba kuvveti büyümektedir. Zımba kuvvetinin artması derin çekme esnasında oluşan gerilmelerin büyümesine yol açmaktadır. Bu nedenle derin çekme esnasında oluşan bu büyük gerilmelere mukavemet gösteremeyen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



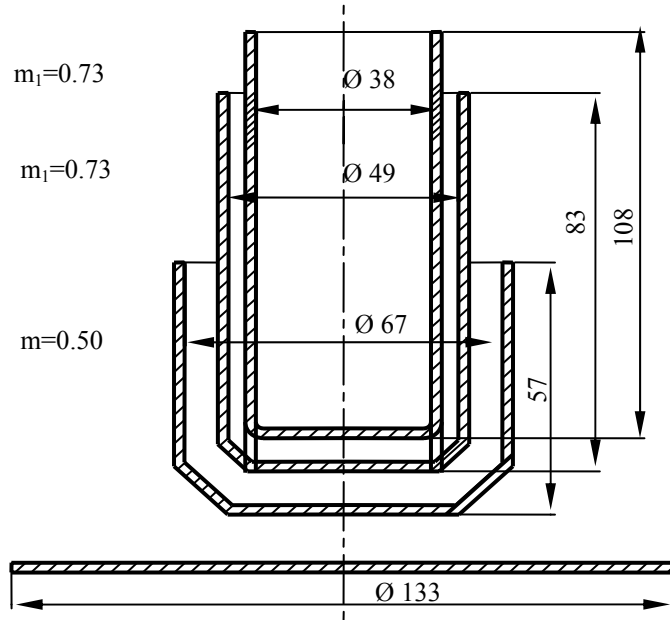
Şekil 5.16 Derin çekme esnasında meydana gelen gerilmeler [58].

Gerilmeler şekil değişimleri ile orantılı olduklarından her çekme operasyonunda malzemenin dayanabileceği şekil değişimi uygulanmalıdır [58]. 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 uğratarak, yırtılma oluşmadan parça istenilen şekle getirilmektedir. Şekil 5.17’de kademeli çekme işlemine örnek olarak, meşrubat kutusunun imalatı gösterilmektedir.

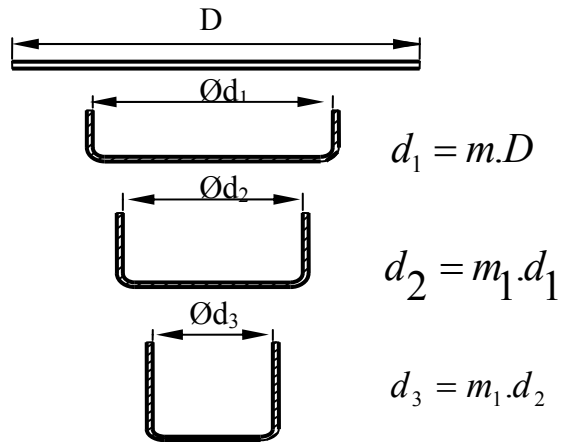
Şekil 5.18’de gösterilen 0,8(mm) kalınlığındaki sacdan 30(mm) yüksekliğinde 24,8(mm) iç çapında bir parça üretebilmek için kaç kalıp gerektiği gösterilmektedir. Yapılan hesaplara göre sacın ilkel çapının 60(mm) olması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre çekme oranı $\beta = \frac{D}{d} = \frac{60}{24} = 2,419$ 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 5.17 Meşrubat kutusunun imalatı.



Şekil 5.18 Çekme oranı büyük olan bir parçanın kademeli kalıplama ile imalatı [58].



Şekil 5.19 Çekme kademelerinin hesaplanması.

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

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

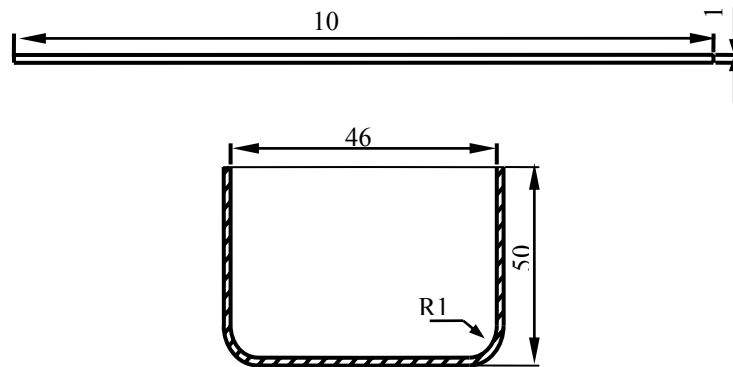
$$m = \frac{d_1}{D} = \frac{1}{\beta} \quad (10)$$

$$m_1 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_3}{d_2} = \frac{d_4}{d_3} = \dots = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (11)$$

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 5.20 Derin çekilecek parça.

Verilenler:

$d=46(\text{mm})$, $D=100(\text{mm})$, $h=50(\text{mm})$, $t=1(\text{mm})$, $\beta=1.75$, $m_1=0,8$

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

$$d_1 = m.D = 0,57.100 = 57(\text{mm}), \quad d_2 = m_1.d_1 = 0,8.57 = 45,6(\text{mm})$$

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.

5.6. Derin Çekmede Kullanılan Saclar

Kesme, bükme, çekme v.b. talaşsız şekillendirme işlemleri için seçilecek çelik 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.

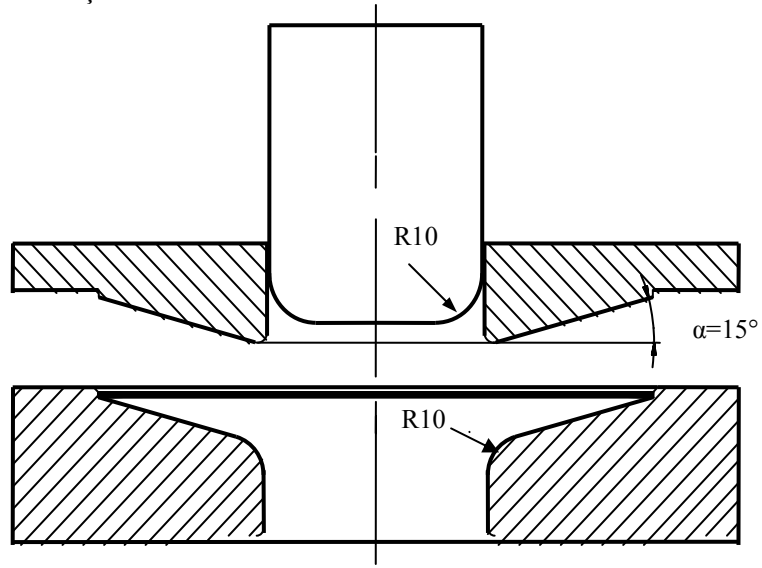
Preslik saclar yumuşak alaşımsız çeliklerden kullanım amaçlarına göre sıcak veya soğuk haddelendirme yöntemi ile imal edilmektedir. Pres işlerinde kullanılan 2(mm)'nin altındaki saclar soğuk haddelendirme yöntemi ile imal edilmişlerdir. Sıcak haddelenmiş saclarda işlem sonrası yüzeyde oluşan tufallar asitle giderildikten sonra piyasaya verilir. Bunlara “DKP” edilmiş sıcak hadde saclar denir. Sıcak veya soğuk haddelenmiş saclar arasında yapılacak seçim bir kalite tercihindendir 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 [58].

5.7. Matris ve Zımba Radyüslerinin Değişimi

Derin çekme işlemi, kalıplama tekniğinde, sac-metal şekillendirmede uygulama alanı yaygın olan önemli yöntemlerden biridir. Bu nedenle derin çekme işleminin optimize edilmesi sanayi açısından oldukça önemlidir. Geleneksel derin çekme metodunda, kalıp yüzeylerine hiçbir radyüs verilmemektedir. Bu çalışmada, DKP çelik sac kullanılarak derin çekme kalıplarında

matris düzlüğüne radyüsler verilerek (R2,R4,R6,R8,R10),kalıp boşluğu içine malzeme akış kontrolünün kolaylaştırılması,bu radyüs değişimlerinin çekme yüksekliklerinin değişimine,kalıplanan bütün çekme işlemlerinde oluşan kenar bozukluklarına ve ondülasyonları azaltıp azaltmadığı ayrıca çekme hızlarının değişimlerinin de çekme yüksekliğine ve ondülasyonlara olan etkisi ve kalıp baskı plakası kuvvetinin değişiminin etkilerinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

Sonuç olarak matris ve baskı plakasına radyüsler vermek suretiyle derin çekme işleminde limit çekme oranının nasıl değiştiğini ve gerekli baskı plaka kuvvetinin çekme oranı üzerindeki değişimi araştırılacaktır.



Şekil 6.1 Açı 15° ve Radyüs 10

Şekil 6.1’de açı 15° ve radyüs 10mm’dir. Farklı radyüs ve açılarda yapacağımız deneylerde limit çekme oranı incelenecektir. Kullanılması düşünülen açılar: 0° , 2.5° , 5° , 7.5° , 10° , 12.5° , 15° dir.Kullanılması düşünülen radyüsler: 2, 4, 6, 8, 10 mm’dir.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

6.1. Çalışmanın Amacı

Derin çekme işlemi, sac-metal şekillendirmede uygulama alanı yaygın olan önemli yöntemlerden biridir. Bu nedenle derin çekme işleminin optimize edilmesi, sanayi açısından oldukça önemlidir.

Geleneksel derin çekme metodunda, matris ve baskı plakası yüzeylerine hiçbir açı verilmemektedir. Bu çalışmada, derin çekme kalıplarında matris ve baskı plakası yüzeylerine belli açılar, matris ve zımbaya da belli radyüsler verilerek, matris ve zımba radyüs değişimi ile matris ve baskı plakası açılarının değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi ve baskı plakası kuvveti ile zımba kuvvetinin radyüse bağlı değişimleri araştırılmıştır. Sonuç olarak matris ve zımba yüzeylerine uygulanan farklı radyüs ve farklı baskı plakası açıları için optimum bir değer tespit edilmiştir.

6.2. Deney Malzemesi ve Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada derin çekme uygulamalarında ülkemizde sıkça kullanılan DKP 37 sacı kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal spektral analiz sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Deney numunelerinin kimyasal analizi.

C	Mn	P	Cr	S	Ni
0.0962	0.414	0.0174	0.00751	0.0187	0.00916
Al	Nb	Ti	Sn	Sn	Fe
0.0148	0.00204	0.00028	0.00251	0.00251	99.42

Deneylerde 1,00 mm kalınlığındaki DKP 37 sacı kullanılmıştır. Deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla MOHR-FEDERHAFF-LOSENHAUSEN çekme test cihazında, 20 tonluk çekme yükü kullanılarak 2 mm/s hızla çekme testi uygulandı. Çekme test sonuçlarından sacın akma gerilmesinin 276,5 (MPa); çekme gerilmesinin de 365,7 (MPa) olduğu tespit edildi.

Ayrıca TOGOSHI SEIKI Rockwell sertlik ölçüm cihazıyla, yapılan sertlik testi sonuçlarından malzeme sertliğinin 42,375 HRA olduğu tespit edildi.

Deney numuneleri önce (55x55, 58x58, 64x64, 67x67, 70x70, 72x72) ölçülerinde kare şeklinde kesildi. Daha sonra tornalanarak hassas ölçüsüne getirildi. Deney malzemesi olan DKP 37 sacının limit çekme oranını açısız ve açılı olarak belirlemek için çekme oranları, $\beta=1,8$; $\beta=1,9$; $\beta=2,1$; $\beta=2,2$; $\beta=2,3$; $\beta=2,35$ alınarak bir dizi derin çekme deneyi yapıldı. Bu derin çekme oranlarına karşılık gelen deney numunelerinin çapları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6.2 Çekme oranı (β)'ya bağlı olarak deney numune çapları.

Sac çapı (mm)	Çekme oranı (β)
54	1,8
57	1,9
63	2,1
66	2,2
69	2,3
70,5	2,35

6.3. Kalıp Tasarımı ve İmalatı

Kalıbın temel ölçüleri belirlenirken Saniee, F. F. ve Montazeran, M. H.'nin [59] çalışması referans alındı. Kalıp parçalarının tümü Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü atölyesinde, Ç1040 kalıp malzemesi kullanılarak CNC tezgâhlarında işlenerek imal edildi.

Deneylerde 0° , 2.5° , 7.5° , 12.5° , 15° 'lik matris ve baskı plakası açıları ve radyüs olarak ta $R=10$ mm; $R=8$ mm; $R=6$ mm; $R=4$ mm kullanılmıştır. Matris yüzeyine verilen radyüs aynı zamanda zımba yüzeyine de verilmiştir. Kalıp aç değeri Tablo 6.3'de, matris ve baskı plakası şekilleri de Şekil 6.1'de verilmiştir.

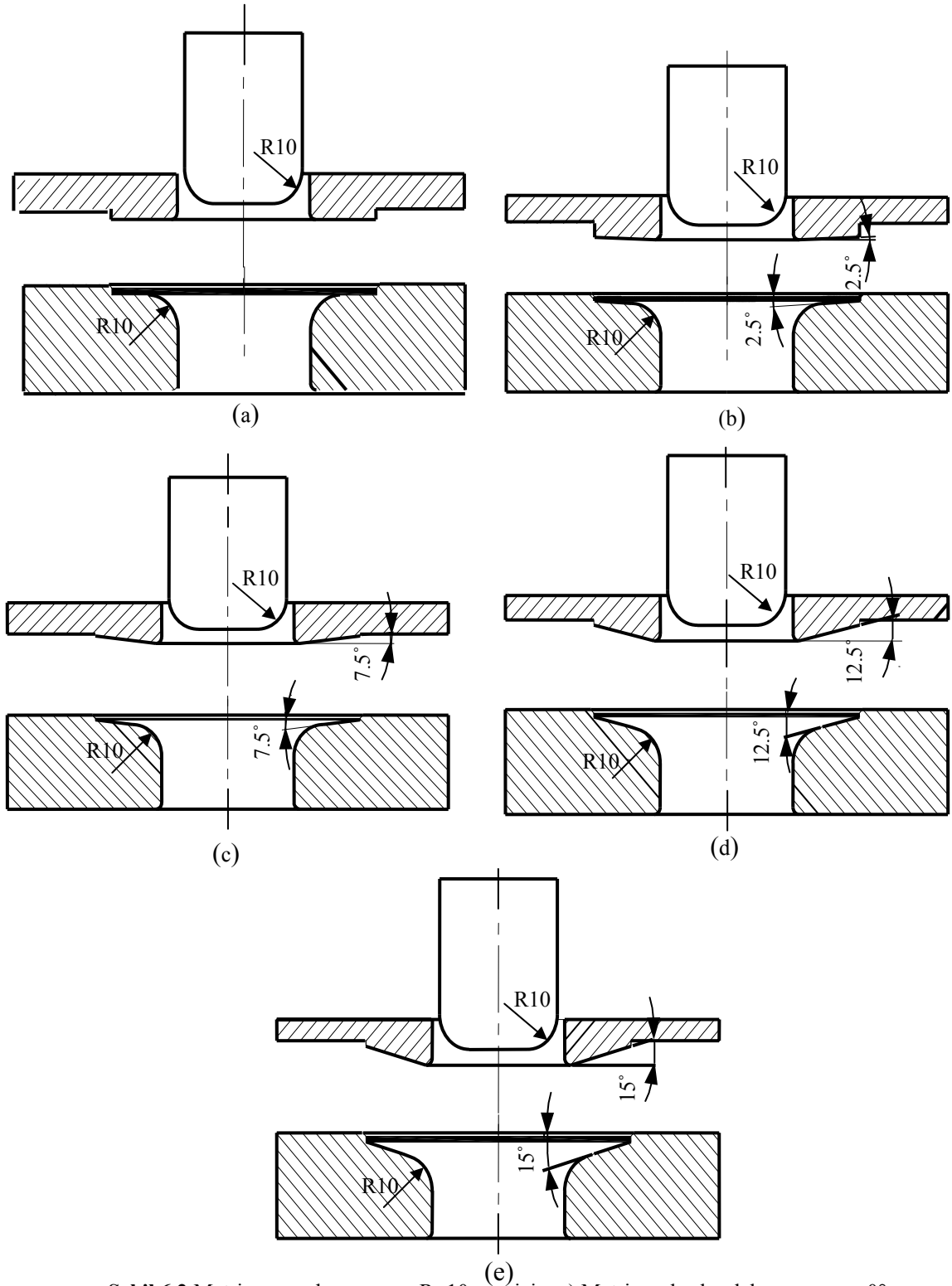
Tablo 6.3 Matris ve baskı plakası aç (α) değeri.

α°	0	2.5	7.5	12,5	15
----------------	---	-----	-----	------	----

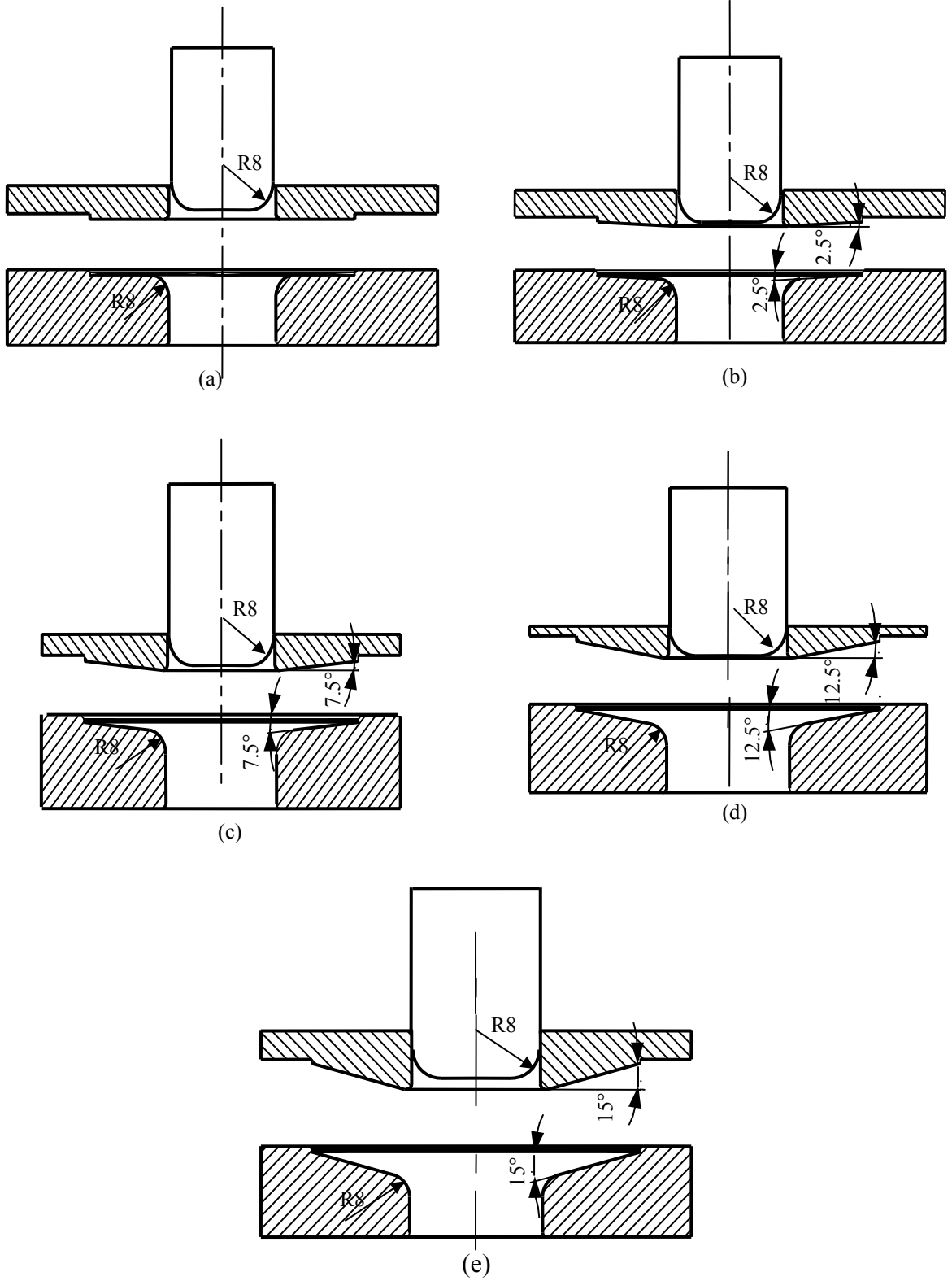


Şekil 6.1 Deneylerde Kullanılan Kalıp Matrisleri (Dişi Kalıplar).

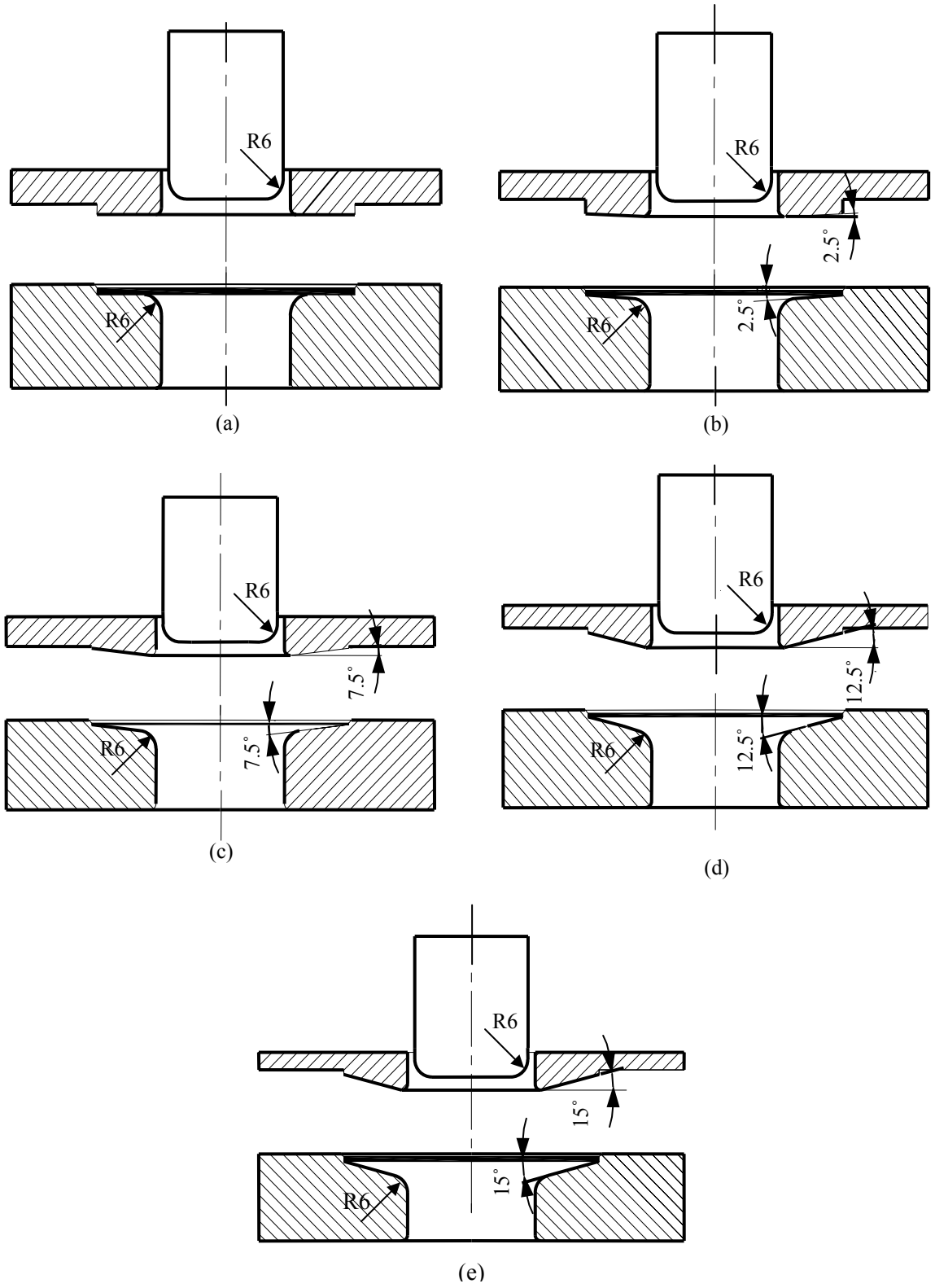
Deneylerde kullanılan kalıp şekilleri ($R=10\text{ mm}$, $R=8\text{ mm}$, $R=6\text{ mm}$, $R=4\text{ mm}$) aşağıda verilmiştir.



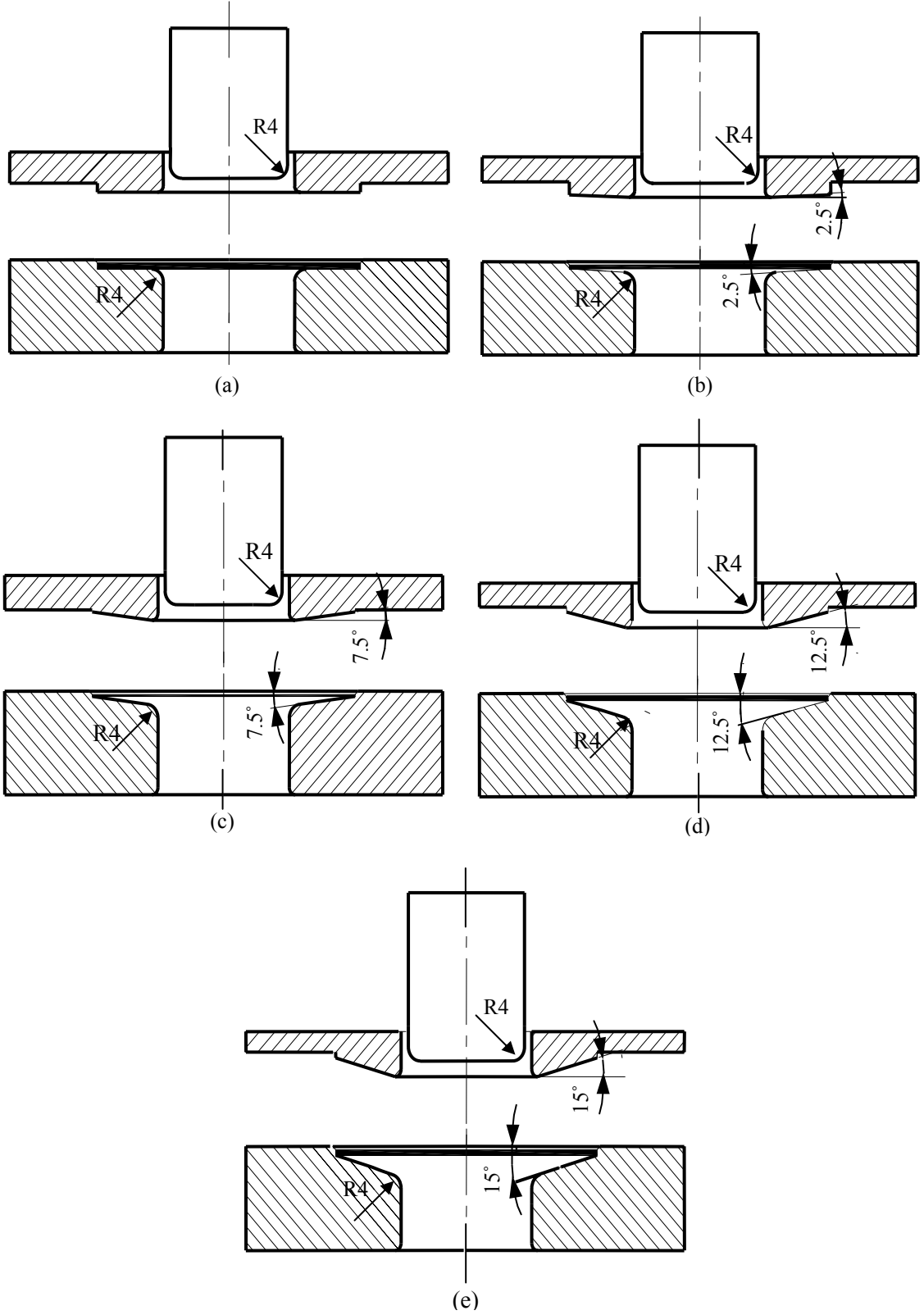
Şekil 6.2 Matris ve zımba yarıçapı $R=10\text{ mm}$ için, a) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$
b) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$, c) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$
d) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$, e) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$.



Şekil 6.3 Matris ve zımba yarıçapı $R=8$ mm için, a) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$
 b) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2,5^\circ$, c) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$
 d) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^\circ$, e) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$.



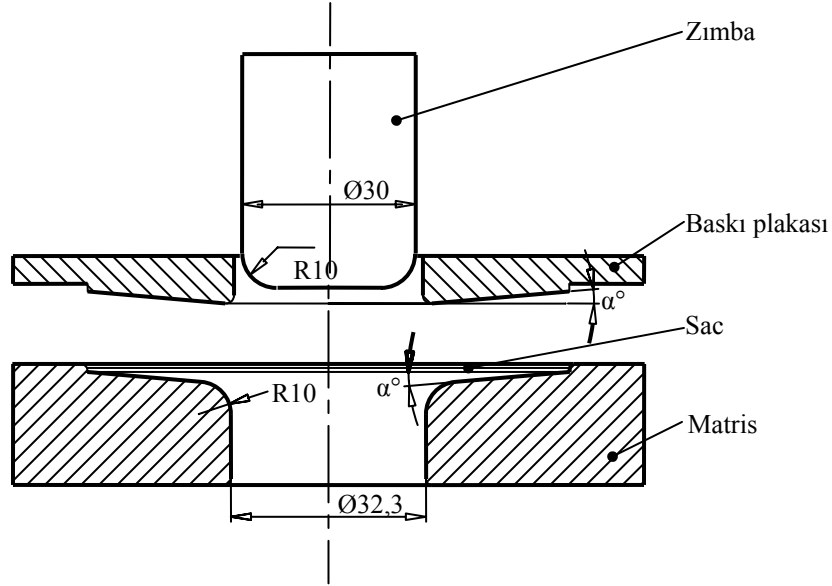
Şekil 6.4 Matris ve zımba yarıçapı $R = 6 \text{ mm}$ için, a) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 0^\circ$
 b) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$, c) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$
 d) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$, e) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$.



Şekil 6.5 Matris ve zımba yarıçapı $R = 4 \text{ mm}$ için, a) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 0^\circ$
 b) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$, c) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$
 d) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$, e) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$.

Bütün matris ve baskı plakası yüzey açıları, matris ve zımba radyüsleri haricindeki ölçüler (zımba çapı, matris çapı v.b.) aynı tutulmuştur.

Kullanılan kalıbın başlıca ölçüleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 6.6 Deneylerde kullanılan kalıp ölçüleri.

6.4. Deney Çalışmaları İçin Kullanılan İşlem Parametreleri

Deneylerde kullanılan deney numuneleri Tablo 6.2’de belirtilen ölçülere getirilerek gruplara ayrıldı. Daha sonra Tablo 6,3’de verilen her bir kalıp açısında deney numuneleri derin çekme işlemine tabii tutuldu. Tespit edilen limit çekme oranlarının güvenilir olduğunu kanıtlamak için her bir deney üç defa tekrarlandı.

Baskı plakası kuvveti (B.P.K.) değişiminin derin çekmeye etkisini araştırmak için deney setine baskı plakasını tahrik eden üç adet hidrolik silindir eklendi. Baskı plakası kuvveti her bir deney için sabit olarak dört farklı değer alındı (Tablo6.4).

Tablo 6.4 Deneyler esnasında kullanılan baskı plakası kuvvetleri.

B.P.K.	1036,2 (N)	2072,4 (N)	3108,6 (N)	4144.8 (N)
--------	------------	------------	------------	------------

Tablo 6,5’de derin çekme deneylerinde kullanılan numunelerin işlem parametreleri verilmiştir. Tablodan da açıkça görüldüğü gibi, deneylerde dört ana parametre kullanılmıştır. Bunlar matris ve zımba radyüsü, kalıp açısı, baskı plakası kuvveti ve çekme oranıdır.

Zımba kuvvetinin değişiminin derin çekmeye etkisini araştırmak için deney setine bir bilgisayar ile CAS marka 20 ton kapasiteli Load Cell (Yük yükleme hücresi) eklendi.

Tablo 6.5 Derin çekme deneylerinde kullanılan deney numuneleri ve işlem parametreleri.

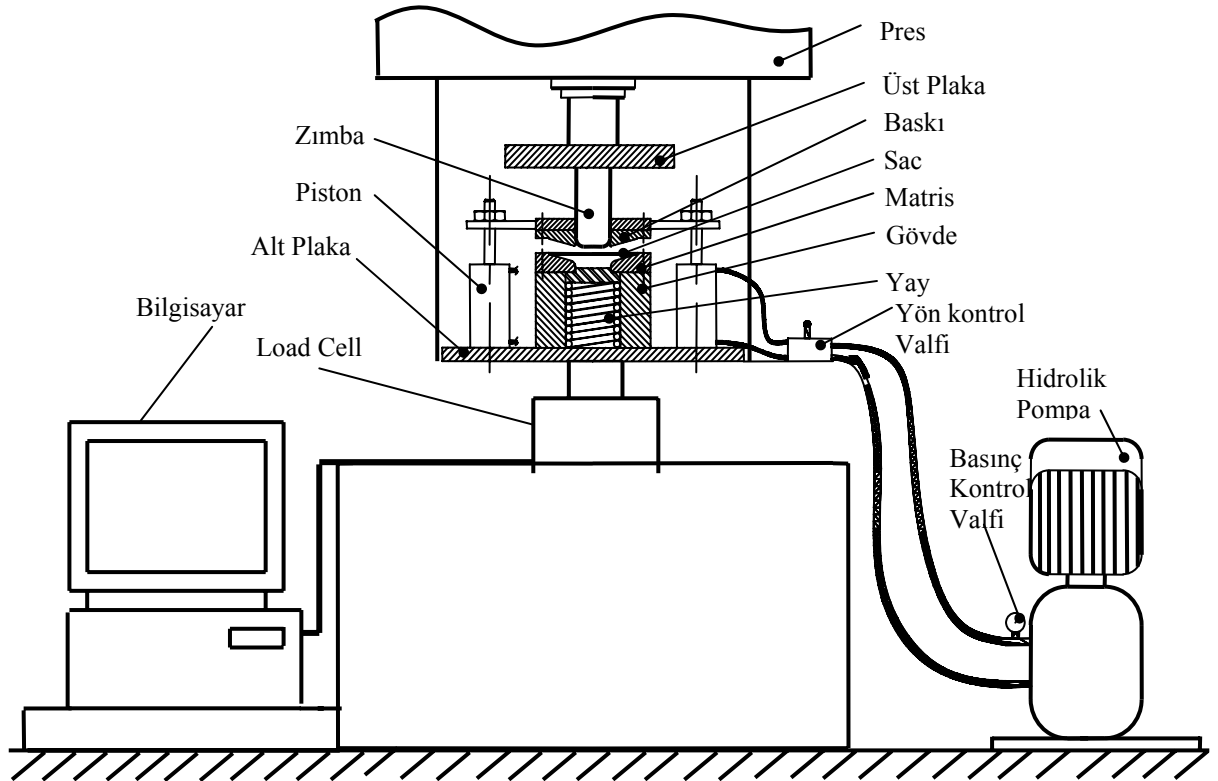
Numune No	Kalıp Radyüsü (R)	Kalıp Açısı (α)	Baskı plakası kuvveti (N)	Çekme Oranı (β)
D1	10	0°	0	1,8
D2	10	0°	1036,2	1,8
D3	10	0°	2072,4	1,8
D4	10	0°	3108,6	1,8
D5	10	0°	4144,8	1,8
D6	10	2,5°	0	1,8
D7	10	2,5°	1036,2	1,9
D8	10	2,5°	2072,4	1,9
D9	10	2,5°	3108,6	2,1
D10	10	2,5°	4144,8	2,1
D11	10	7,5°	0	1,8
D12	10	7,5°	1036,2	1,8
D13	10	7,5°	2072,4	1,9
D14	10	7,5°	3108,6	2,1
D15	10	7,5°	4144,8	2,2
D16	10	12,5°	0	1,8
D17	10	12,5°	1036,2	1,8
D18	10	12,5°	2072,4	2,2
D19	10	12,5°	3108,6	2,3
D20	10	12,5°	4144,8	2,2
D21	10	15°	0	1,8
D22	10	15°	1036,2	1,8
D23	10	15°	2072,4	2,1
D24	10	15°	3108,6	2,2
D25	10	15°	4144,8	2,2
D26	8	0°	0	1,8
D27	8	0°	1036,2	1,8
D28	8	0°	2072,4	1,8
D29	8	0°	3108,6	1,8
D30	8	0°	4144,8	1,8
D31	8	2,5°	0	1,8
D32	8	2,5°	1036,2	1,8
D33	8	2,5°	2072,4	1,9
D34	8	2,5°	3108,6	1,9
D35	8	2,5°	4144,8	1,8
D36	8	7,5°	0	1,8
D37	8	7,5°	1036,2	1,9
D38	8	7,5°	2072,4	2,125
D39	8	7,5°	3108,6	2,125
D40	8	7,5°	4144,8	1,9
D41	8	12,5°	0	1,8
D42	8	12,5°	1036,2	1,9
D43	8	12,5°	2072,4	2,175
D44	8	12,5°	3108,6	2,175
D45	8	12,5°	4144,8	2,125
D46	8	15°	0	1,8
D47	8	15°	1036,2	1,9
D48	8	15°	2072,4	2,125
D49	8	15°	3108,6	2,125
D50	8	15°	4144,8	2,125

Numune No	Kalıp Radyüsü R	Kalıp Açısı (α)	Baskı Plk. Kuv (N)	Çekme Oranı (β)
D51	6	0°	0	1,8
D52	6	0°	1036,2	1,8
D53	6	0°	2072,4	1,8
D54	6	0°	3108,6	1,8
D55	6	0°	4144,8	1,8
D56	6	2,5°	0	1,8
D57	6	2,5°	1036,2	1,9
D58	6	2,5°	2072,4	1,9
D59	6	2,5°	3108,6	1,9
D60	6	2,5°	4144,8	1,9
D61	6	7,5°	0	1,8
D62	6	7,5°	1036,2	1,9
D63	6	7,5°	2072,4	1,9
D64	6	7,5°	3108,6	2,1
D65	6	7,5°	4144,8	1,9
D66	6	12,5°	0	1,8
D67	6	12,5°	1036,2	1,9
D68	6	12,5°	2072,4	2,1
D69	6	12,5°	3108,6	2,1
D70	6	12,5°	4144,8	2,1
D71	6	15°	0	1,8
D72	6	15°	1036,2	1,9
D73	6	15°	2072,4	2,1
D74	6	15°	3108,6	2,1
D75	6	15°	4144,8	2,1
D76	4	0°	0	1,8
D77	4	0°	1036,2	1,8
D78	4	0°	2072,4	1,8
D79	4	0°	3108,6	1,8
D80	4	0°	4144,8	1,8
D81	4	2,5°	0	1,8
D82	4	2,5°	1036,2	1,9
D83	4	2,5°	2072,4	1,9
D84	4	2,5°	3108,6	1,9
D85	4	2,5°	4144,8	1,9
D86	4	7,5°	0	1,8
D87	4	7,5°	1036,2	1,8
D88	4	7,5°	2072,4	1,9
D89	4	7,5°	3108,6	1,9
D90	4	7,5°	4144,8	1,9
D91	4	12,5°	0	1,8
D92	4	12,5°	1036,2	1,8
D93	4	12,5°	2072,4	1,9
D94	4	12,5°	3108,6	1,9
D95	4	12,5°	4144,8	1,9
D96	4	15°	0	1,8
D97	4	15°	1036,2	1,8
D98	4	15°	2072,4	1,9
D99	4	15°	3108,6	1,9
D100	4	15°	4144,8	1,9

Derin çekme deneyleri, ŞAHİNLER HCP50 model bir hidrolik pres kullanılarak yapıldı. Presin standart hızı oldukça yüksek olduğu için pres üzerine hız düşürücü bir düzenek eklendi. Deneyler 4 (mm/sn)'lik çekme hızında yapıldı.



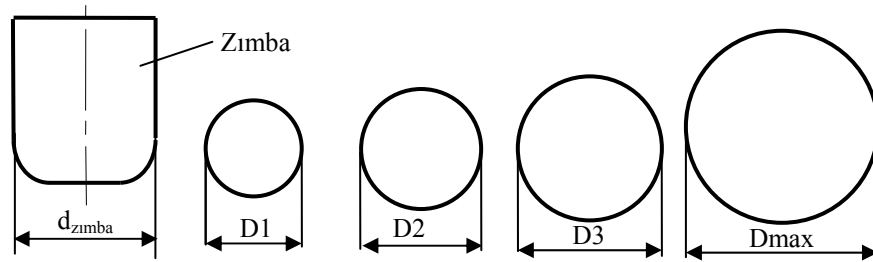
Şekil 6.7 Deneylerin yapıldığı deney seti ve sistemi.



Şekil 6.8 Deneylerin yapıldığı deney seti ve sisteminin şematik gösterimi.

6.5. Matris ve Zimba Radyüsü R=10 mm için Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Derin çekme kalıplarının tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden biri limit çekme oranıdır. Üretilcek olan parçanın kaç kalıpta imal edilebileceği sacın çekme oranıyla yakından ilişkilidir. Limit çekme oranı (L. Ç. O.) tanım olarak, yırtılma meydana gelmeden en ideal şekilde çekilebilen en büyük sac çapının zimba çapına oranıdır.(Şekil 6.9)



Şekil 6.9 Limit çekme oranının (L.Ç.O) ifadesi.

$$L.Ç.O. = \frac{D_{\max}}{d_{\text{zimba}}} \quad (12)$$

olarak ifade edilebilir.

İlkel parça çapı limit çekme oranını aşarsa bu parça ancak iki veya daha fazla kalıpta üretilir. Çünkü sacın ilkel çapı büyüdükçe sacı deformasyona uğratmak için gerekli zimba kuvveti de büyüyecektir. Zimba kuvvetinin büyük olması derin çekme esnasında oluşan gerilmeleri büyüteğinden parçada yırtılmalar olacaktır. (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 Çekme oranının büyük olmasından dolayı parçada meydana gelen yırtılma.

Baskı plakası kuvvetinin fazla olduğu durumlarda parçada daha değişik kopma ve yırtılmalar meydana gelir. (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 Baskı plakası kuvvetinin fazla olduğu durumlarda meydana gelen kopma ve kırılmalar.

Derin çekme işlemi ile ilgili yapılan araştırmaların temel amacı sacın çekilebilirliğini, yani çekme derinliğini arttırabilmektir. Çekme derinliği, sacın ilkel çapı ve zımba çapı ile ilgilidir. Bu nedenle limit çekme oranının arttırılması bir defada üretilebilecek maksimum çekme derinliğini de arttırmaktadır.

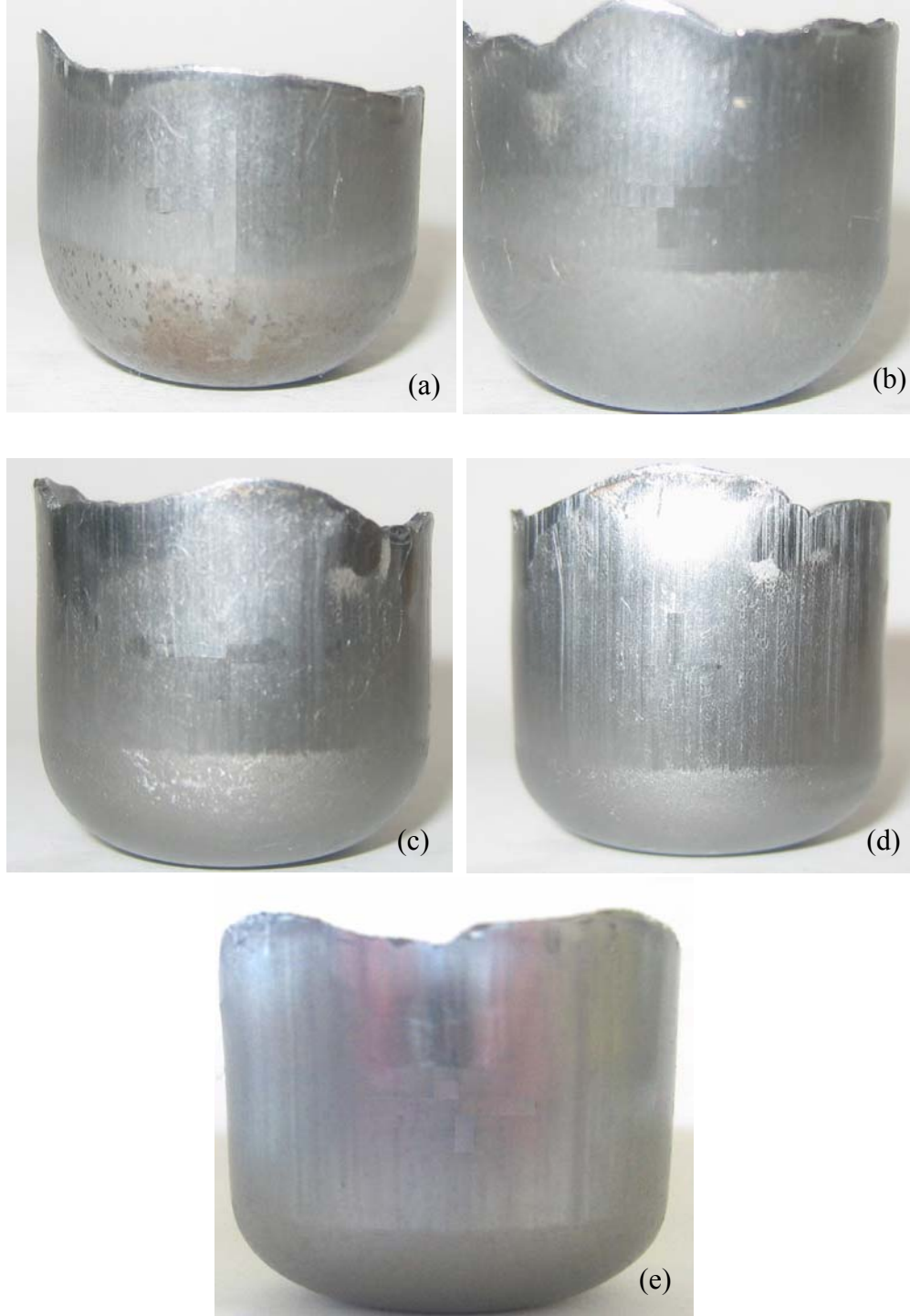
Yapılan deneylerde, matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm için, matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ de baskı plakası kullanılmadan DKP37 sacının limit çekme oranının 1,8, zımba kuvvetinin de 21582 (N) olduğu tespit edildi.

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $2,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 2,1'e yükselmiştir. Gerekli olan baskı plakası kuvveti 3108,6 (N) ve zımba kuvveti de 35767,26 (N) olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.12 b'de $\alpha=2,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $7,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 2,2'e yükselmiştir (Şekil 6.12c). Bu orandaki baskı plakası kuvveti 3108,6 (N) olarak ve ayrıca zımba kuvveti de 37280 (N) olarak tespit edildi. Zımba kuvvetinde meydana gelen artışın sebebi çekme oranının artmasından kaynaklanmaktadır.

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $12,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 2,3'e yükselmiştir (Şekil 6.12d). Gerekli olan baskı plakası

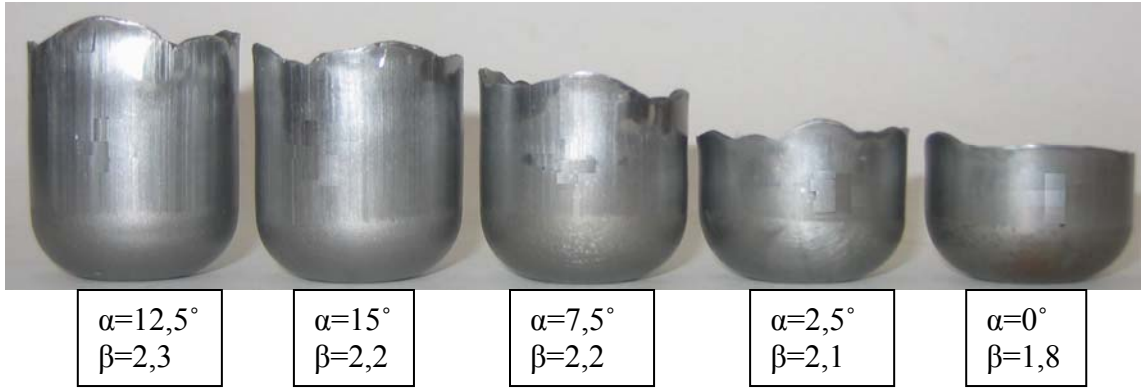
kuvveti 3108,6 (N) ve zımba kuvveti de 41850 (N) olarak tespit edildi. $R=10$ mm kalıbında elde edilen en yüksek çekme oranı $\alpha=12,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilmiştir. Şekil 6.12d'de $\alpha=12,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.



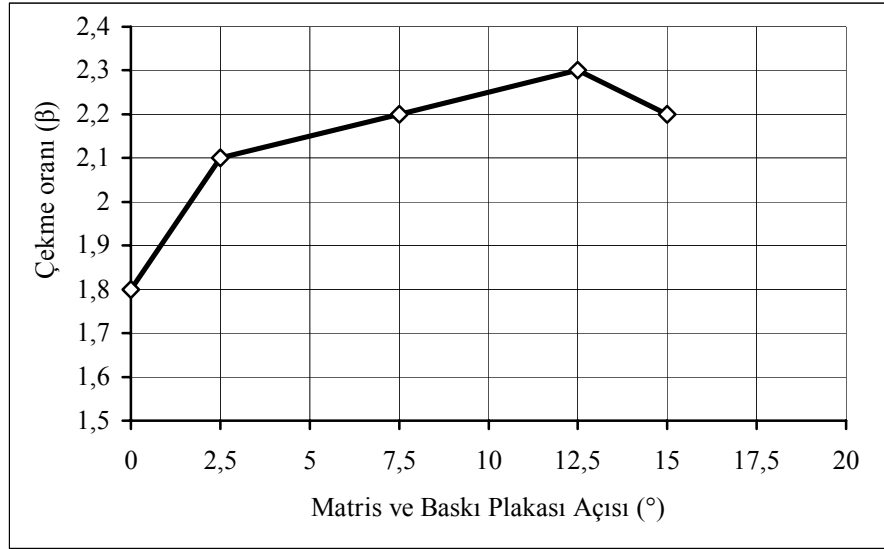
Şekil 6.12 Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2,5^\circ$, c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$ 'de elde edilen optimum deney numunesi.

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm ve matris ve baskı plakası açısını 15° olarak verildiğinde limit çekme oranımız 2,2'e düşmüştür. (Şekil 6.12e). Bu da $12,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen çekme oranının $R=10$ mm kalıbındaki en yüksek çekme oranı olduğunu göstermektedir. Gerekli olan baskı plakası kuvveti 3108,6 (N) ve zımba kuvveti de 37280 (N) olarak tespit edildi. Zımba kuvvetinin düşmesi çekme oranının düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 6.12e'de $\alpha=15^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Şekil 6.13'te matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm kalıp için, kalıp açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm'de limit çekme oranı $\alpha=12,5^\circ$ 'lik kalıp için $\beta=2,3$ olarak elde edilmiştir.



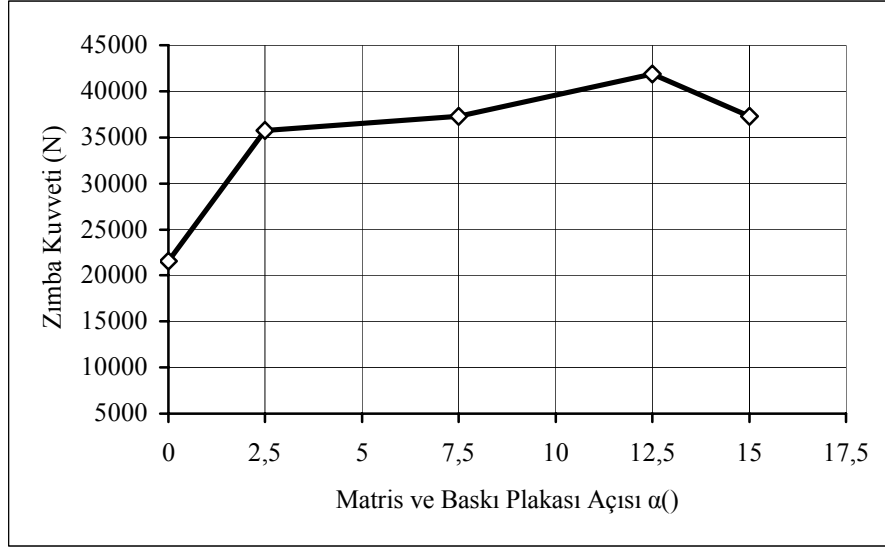
Şekil 6.13 Kalıp ve zımba radyüsü $R=10$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.



Şekil 6.14 Kalıp ve zımba radyüsü $R=10$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi.

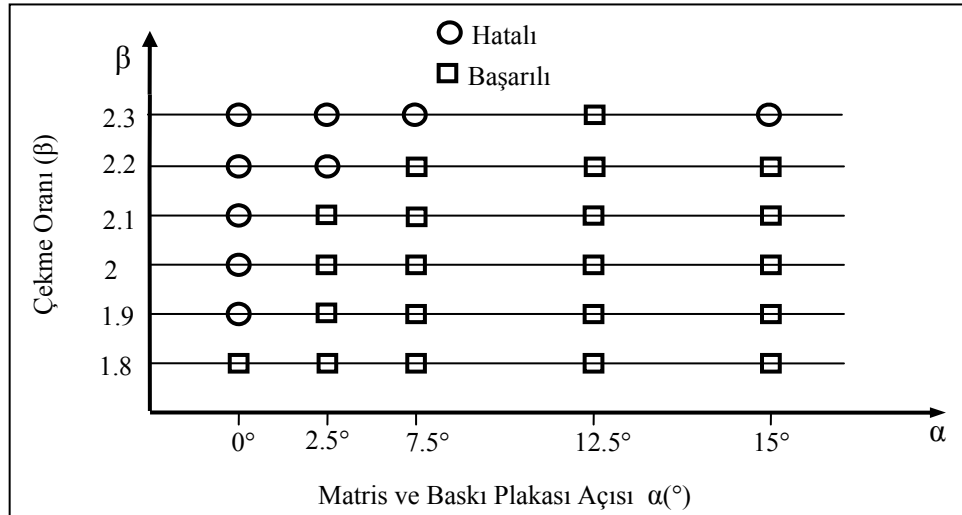
Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi baskı plakası açısı arttıkça çekme oranının arttığı görülmektedir. En yüksek çekme oranı $12,5^\circ$ 'lik kalıpta $\beta=2,3$ olarak elde edildi. Şekil 6.15'deki grafikte zımba kuvveti değişiminin çekme oranının üzerindeki değişimi gösterilmiştir.

Matris ve baskı plakası açısı arttıkça zımba kuvvetinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de, bu açılarda elde edilen çekme oranlarının artmasıdır. En büyük zımba kuvveti, $\alpha=12,5^\circ$ 'de 41850 (N) olarak tespit edildi. Çekme oranı ne kadar büyük olursa oluşan zımba kuvveti de o kadar büyük olmaktadır (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 Kalıp ve zımba radyüsü R=10 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.

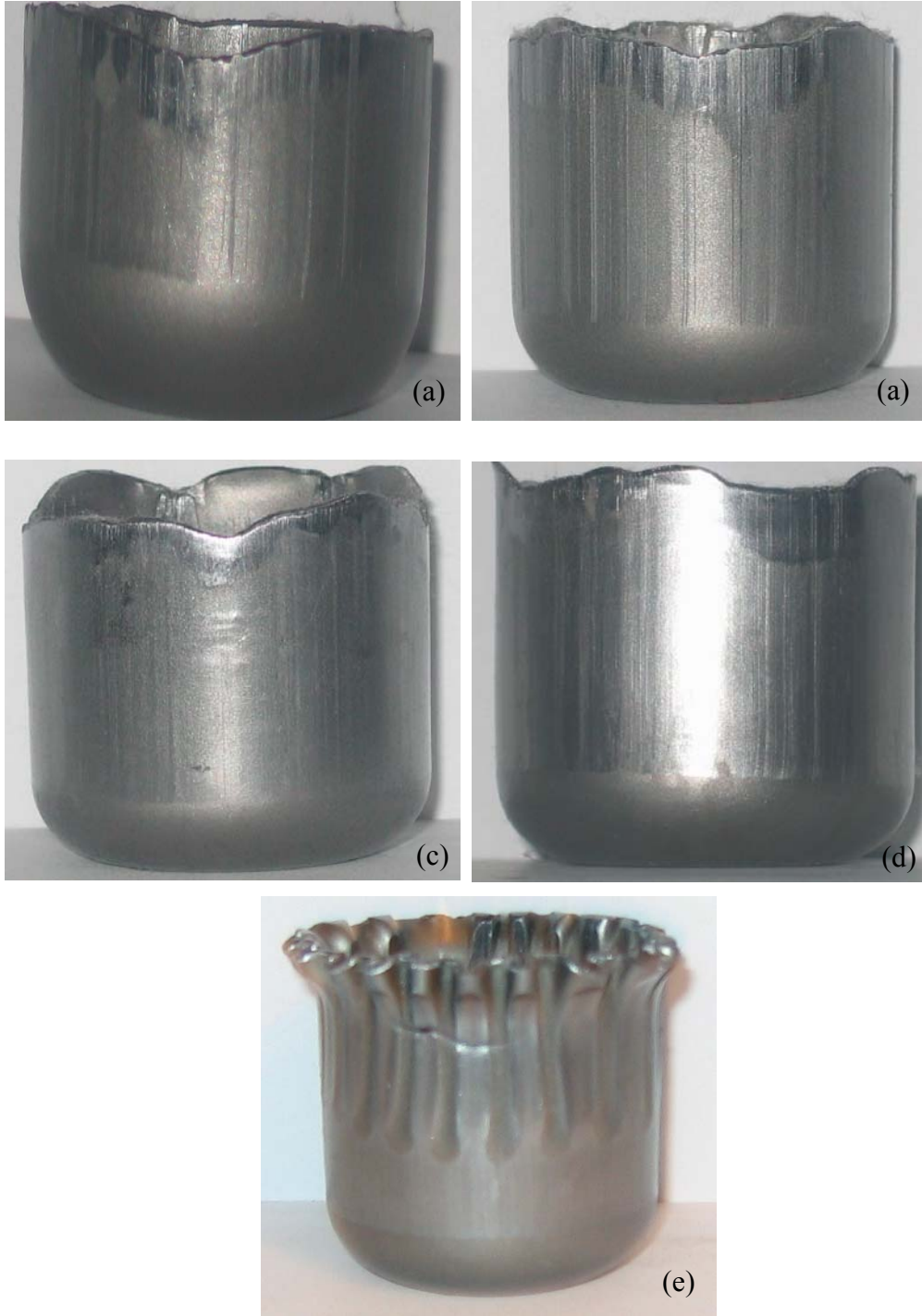
Matris ve zımba radyüsü R=10 mm için matris ve baskı plakası açısına bağlı olarak en ideal çekme oranı $\alpha=12,5^\circ$ de elde edildi (Şekil 6.16) .



Şekil 6.16 Matris ve zımba radyüsü R=10 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak doğruluğu.

Baskı plakası kuvveti deneylerde sabit uygulandığından, grafiksel olarak gösterilmesine gerek duyulmamıştır. R=10 mm kalıbı için bütün açılarda tespit edilen baskı plakası kuvveti 3108,6(N) dur. Bu değer R=10 mm kalıp için optimum değer kabul edilebilir.

6.6. Matris ve Zimba Radyüsü R= 8 mm İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 6.17 Matris ve zimba radyüsü R=8 mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$, c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$ ’de elde edilen optimum deney numunesi.

Matris ve zimba radyüsü R= 8 mm için açısız kalıpta ($\alpha=0^\circ$), baskı plakası kullanılmadan DKP 37 sacının limit çekme oranının 1.8 olduğu tespit edildi. Yapılan

deneylerde zımba kuvveti de 23260 (N) olarak ve gerekli olan baskı plakası kuvveti de 10362 (N) olarak tespit edilmiştir.

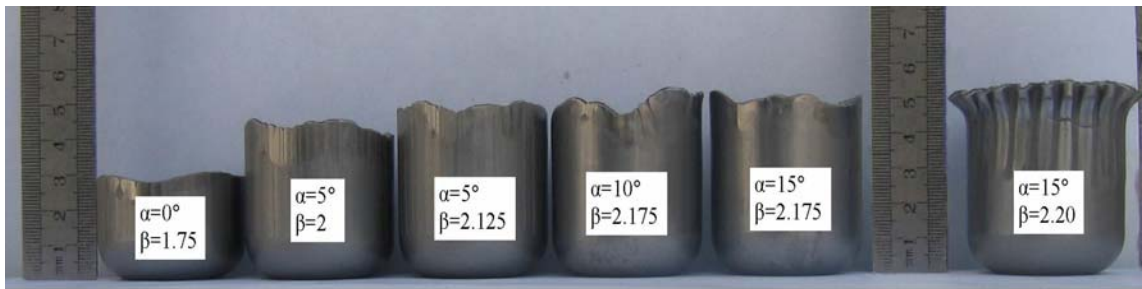
Matris ve zımba radyüsü $R= 8$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $2,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 1,9'a yükselmiştir. Gerekli olan baskı plakası kuvveti 3108,6 (N) ve zımba kuvveti de 32680 (N) olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.17b'de $\alpha=2,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R= 8$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $7,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 2.125'e yükselmiştir. Gerekli olan baskı plakası kuvveti 2072,4 (N) ve zımba kuvveti de 36120 (N) olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.17c'de $7,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R= 8$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $12,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 2.175'e yükselmiştir. Gerekli olan baskı plakası kuvveti 4144,8 (N) ve zımba kuvveti de 36890 (N) olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.17d'de 10° 'lik kalıpta elde edilebilen optimum deney numunesi gösterilmektedir.

Matris ve zımba radyüsü $R= 8$ mm ve matris ve baskı plakası açısını 15° olarak verildiğinde limit çekme oranı değişmeyip yine 2.175 olarak kalmıştır. Gerekli olan baskı plakası kuvveti 3108,6 (N) ve zımba kuvveti de 36920 (N) olarak tespit edilmiştir. Fakat $12,5^\circ$ 'lik kalıpta optimum baskı plakası kuvveti 4144,8 (N) iken 15° 'lik kalıpta optimum baskı plakası kuvveti 3108,6 (N)'a düşmektedir. Bu da $12,5^\circ$ 'lik kalıpta yapılan aynı işlemi 15° 'lik kalıpta daha az enerji harcayarak yapılabileceğini göstermektedir. 15° lik kalıpta çekme oranını 2,2'ye çıkardığında ise iş parçasında ondülasyonlar meydana gelmekte ve daha sonra iş parçası yırtılmaktadır. Bu değerın üstüne çıkılamamaktadır. Şekil 6.17e'de 15° 'lik kalıpta elde edilebilen optimum deney numunesi gösterilmiştir.

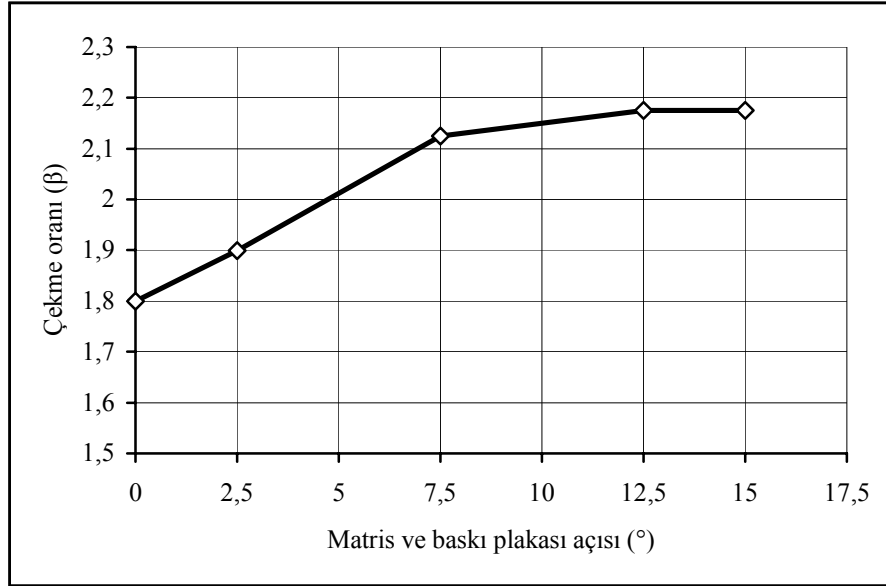
Şekil 6.18'de Matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm kalıp için, kalıp açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 6.18 Kalıp ve zımba radyüsü $R=8$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.

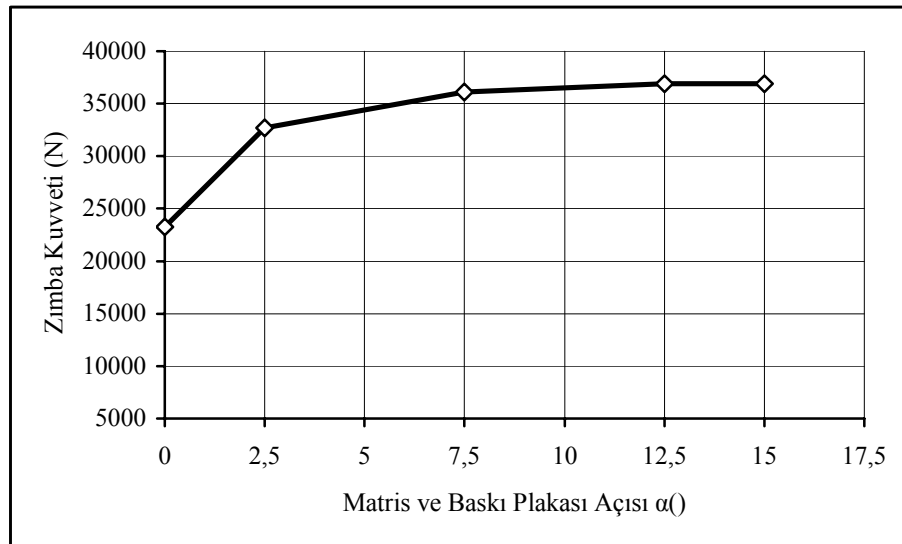
Şekil 6.18'de açıkça görüldüğü gibi kalıp açısının değiştirilmesi ile limit çekme oranında büyük bir artış meydana gelmiştir. $\beta=2,175$ 'e ulaşıldığında optimum sonuç alınmış fakat $\beta=2,175$ 'in üzerine çıkıldığında ise ondülasyon meydana gelip parça yırtılmıştır.

Şekil 6.19’da kalıp açısı değişiminin limit çekme oranına etkisi grafik olarak ifade edilmektedir. R=8 mm radyüsde, grafikte de gösterildiği gibi en yüksek çekme oranı $\alpha=12.5^\circ$ ’lik kalıpta elde edilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi R=10 mm radyüsünden daha küçük limit çekme oranları elde edilmiştir.



Şekil 6.19 Kalıp ve zımba radyüsü R=8mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi.

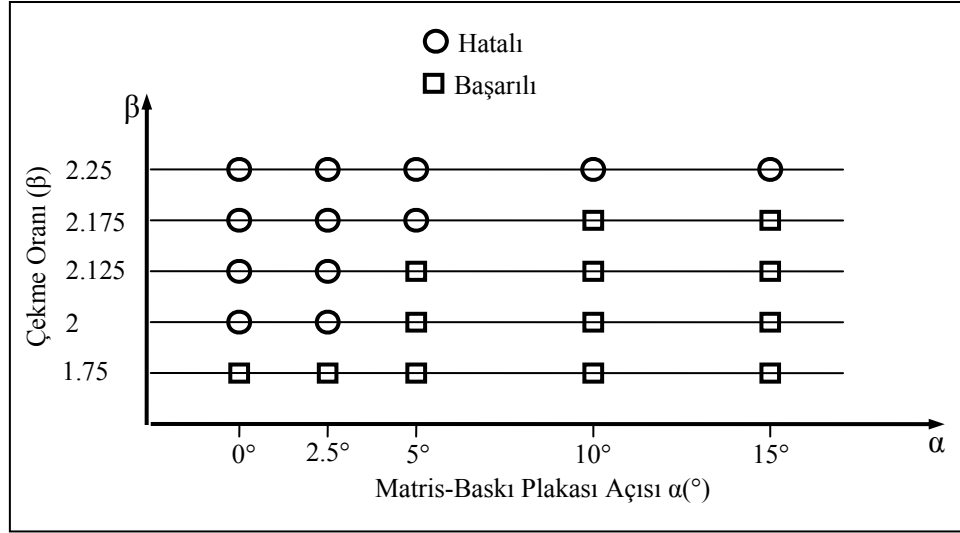
R=10 mm radyüsde en yüksek çekme oranı 2,3 iken R=8 mm kalıbında bu oran 2,175’ye düşmüştür. Bu durum radyüs’ün düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.20 Kalıp ve zımba radyüsü R=8 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi matris ve baskı plakası açısı arttıkça zımba kuvvetinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de bu açılarda elde edilen çekme oranlarının artmasıdır. Fakat $\alpha=12,5^\circ$ ile $\alpha=15^\circ$ 'de aynı çekme oranları tespit edildiğinden matris ve baskı plakasına bağlı olarak zımba kuvveti değişmemiştir. En büyük zımba kuvveti $\alpha=12,5^\circ$ ve $\alpha=15^\circ$ 'ler de tespit edildi.

Aşağıdaki grafikte de matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm için yapılan deneyleri başarılı ve hatalı olarak gösteren grafik verilmiştir.



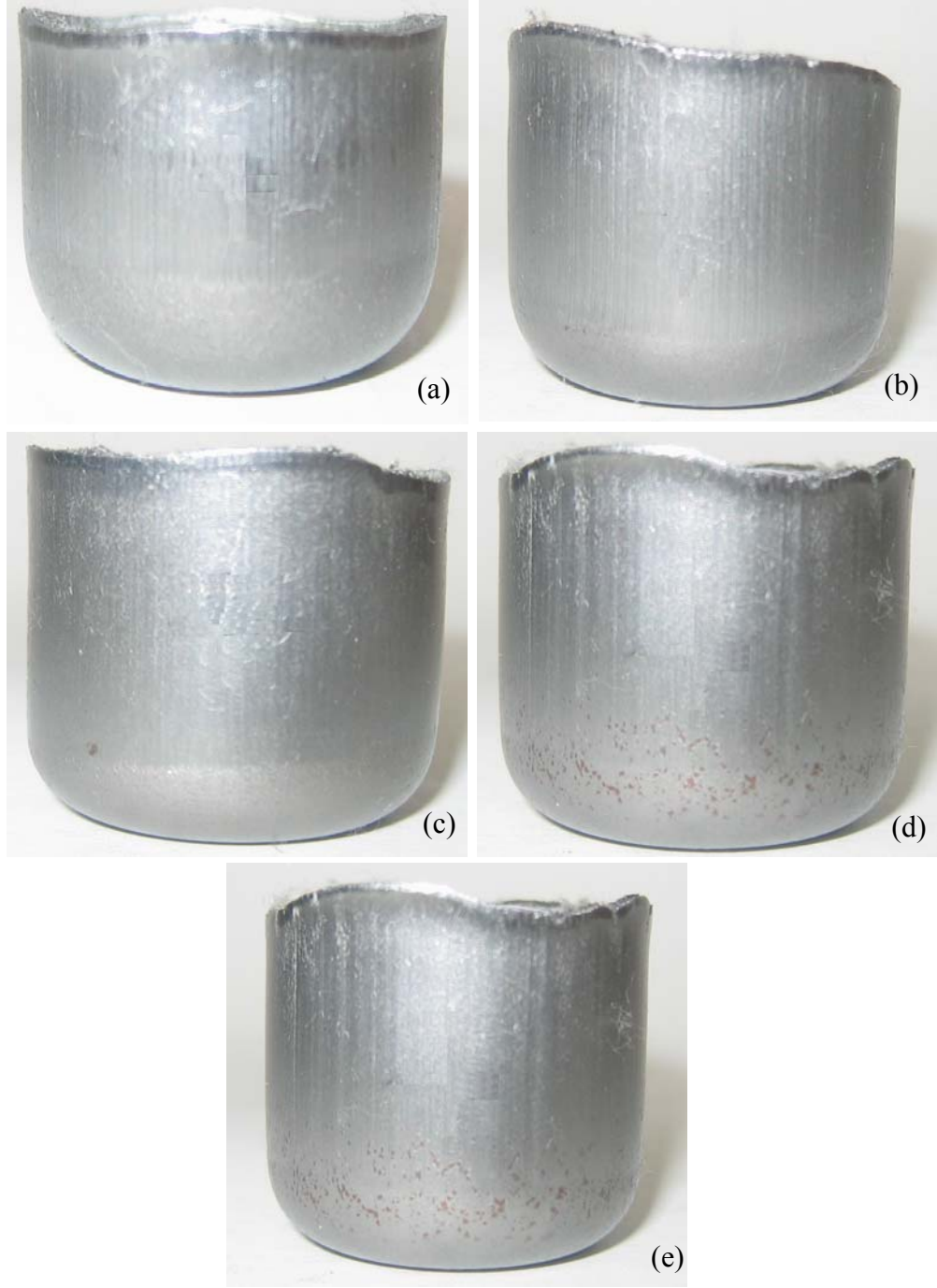
Şekil 6.21 Matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak hata ve geçerliliği.

6.7. Matris ve Zımba Radyüsü $R=6$ mm İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm için açısız kalıpta ($\alpha=0^\circ$), baskı plakası kullanılmadan DKP 37 sacının limit çekme oranının 1,8 olduğu tespit edildi. Yapılan deneylerde zımba kuvveti de 24950 (N) olarak tespit edildi. Şekil 6.22a'da $\alpha=0^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $2,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 1,9'a yükselmiştir. Tespit edilen zımba kuvveti 31352 (N) 'dur ve gerekli olan baskı plakası kuvveti 3108,6 (N)'dur. Şekil 6.22b'de $\alpha=2.5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $7,5^\circ$ olarak verildiğinde limit çekme oranı 2,1'e yükselmiştir. Tespit edilen zımba kuvveti 35590 (N)'dur ve gerekli baskı plakası kuvveti 3108,6 (N) dur. Şekil 6.22c'de $\alpha=7.5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.



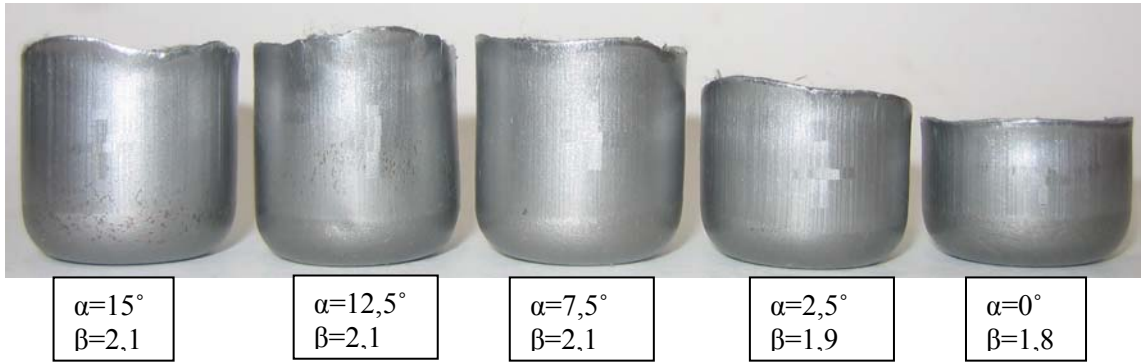
Şekil 6.22 Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$, c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$ ’de elde edilen optimum deney numunesi.

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm ve matris ve baskı plakası açısını $12,5^\circ$ olarak verildiğinde elde edilen çekme oranı değişmeyip $2,1$ ’de kalmaktadır. Tespit edilen zımba kuvveti 35610 (N)’dur. Gerekli baskı plakası kuvveti $2072,4$ (N)’a düşmüştür. Bu da $12,5^\circ$ ’lik kalıpta daha az baskı plakası kuvveti gerektiğini ortaya koymaktadır. İmalat açısından daha az

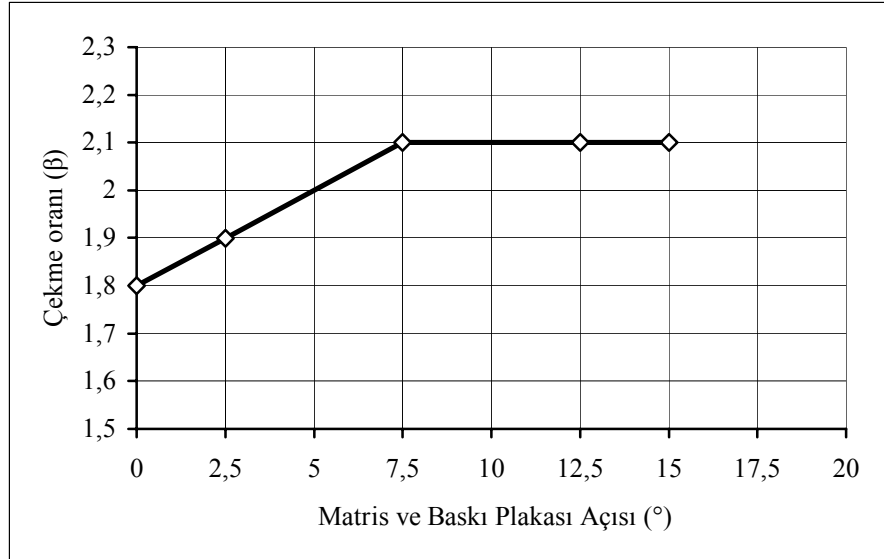
bir maliyet gerektirecektir. Şekil 6.22'de $\alpha=12,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm ve matris ve baskı plakası açısını 15° olarak verildiğinde elde edilen çekme oranı değişmeyip 2,1'de kalmaktadır. Tespit edilen zımba kuvveti 35610 (N)'dur. Gerekli baskı plakası kuvveti 2072,4 (N) olarak tespit edilmiştir. Bu durum matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm olan kalıp için limit çekme oranının $\beta=2.1$ olduğunu göstermektedir. Bu değer bir sınır değerdir ve bu değer üzerinde bir değer çekilememektedir. Şekil 6.22'e $\alpha=15^\circ$ 'lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Şekil 6.23'de matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm kalıp için, kalıp açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 6.23 Kalıp ve zımba radyüsü $R=6$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri

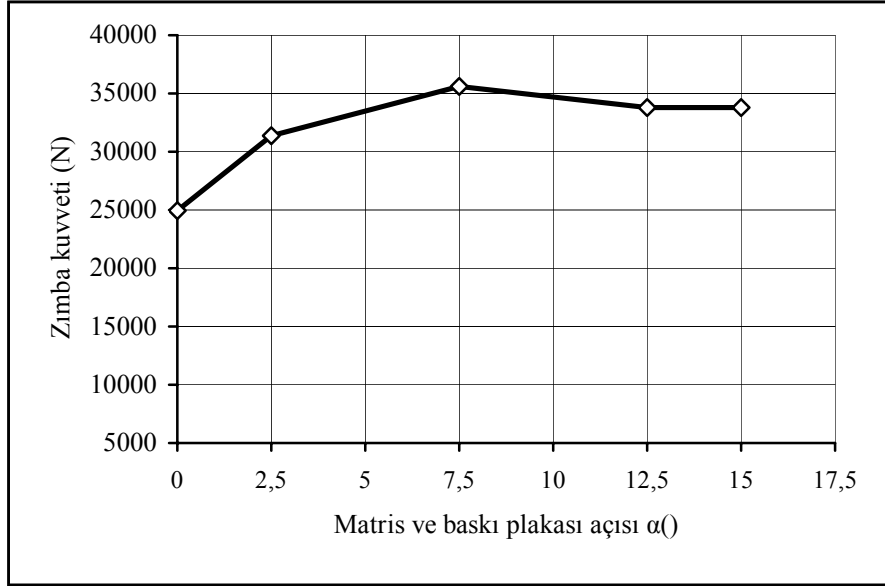


Şekil 6.24 Kalıp ve zımba radyüsü $R=6$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi.

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$ 'ye kadar arttıkça çekme oranının arttığı görülmektedir. Fakat $\alpha=7,5^\circ$ 'den sonra sabit kalmaktadır. Sonraki açısı değerinde

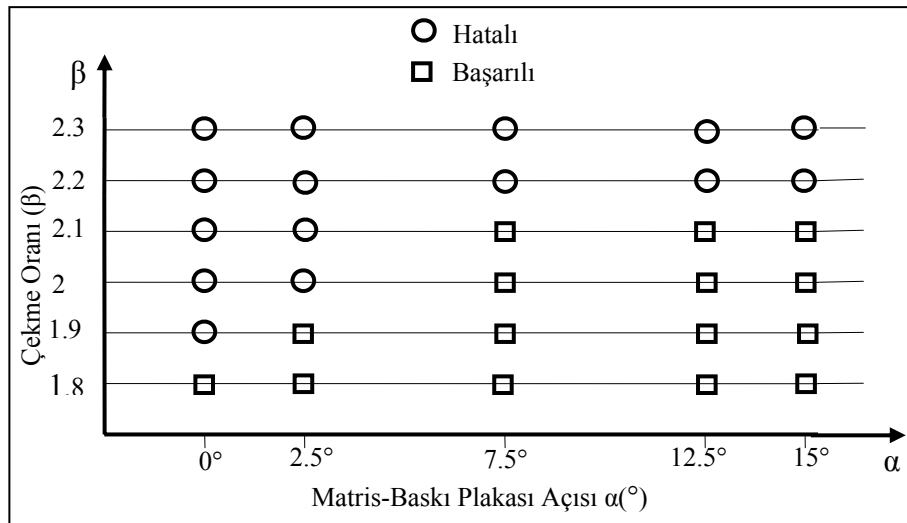
istenilen sonuç elde edilememektedir. Bu da matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm olan kalıbın limit çekme oranının 2,1 olduğunu göstermektedir.

Matris ve baskı plakası açısı arttıkça zımba kuvvetinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de bu açılarda elde edilen çekme oranlarının artmasıdır. Fakat $\alpha=7,5^\circ$ 'den sonra $\alpha=12,5^\circ$ ile $\alpha=15^\circ$ 'de zımba kuvvetinde bir düşme meydana gelmektedir. Bunun nedeninin $\alpha=7,5^\circ$ 'deki baskı plakası kuvvetinin 3108,6(N)'dan 2072,4 (N)' a düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. En büyük zımba kuvveti $\alpha=7,5^\circ$ 'de 35590 (N) olarak tespit edildi (Şekil 6.25).



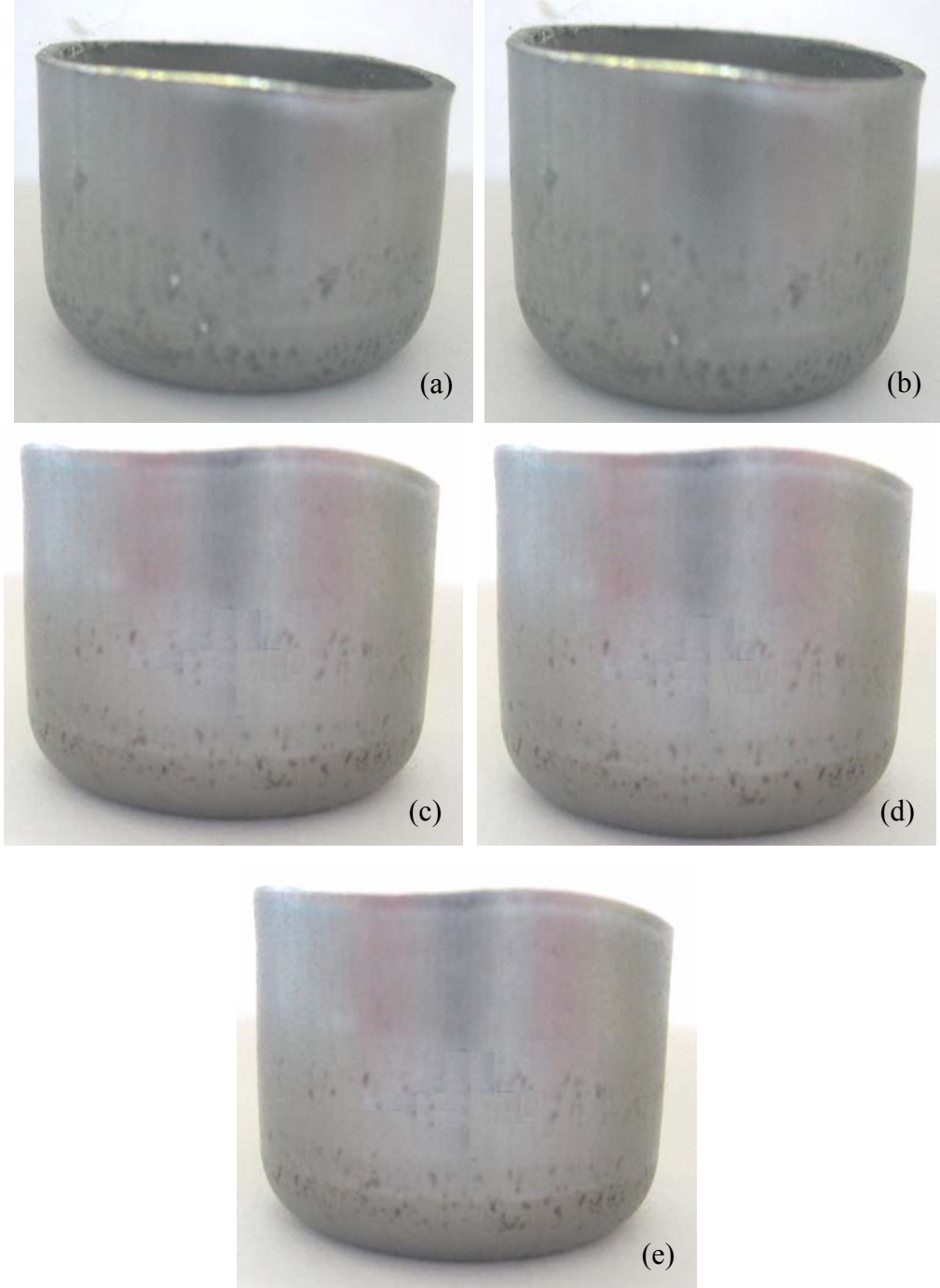
Şekil 6.25 Kalıp ve zımba radyüsü $R=6$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişimine bağlı olarak en ideal çekme oranı $\alpha=7,5^\circ$ 'de 2.1 olarak elde edildi (Şekil 6.26).



Şekil 6.26 Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak hata ve geçerliliği.

6.8. Matris ve Zimba Radyüsü R=4 mm İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 6.27 Matris ve zimba radyüsü R=4 mm için a) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$, b) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$, c) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$, d) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$, e) matris ve baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$ de elde edilen optimum deney numunesi.

Matris ve zimba radyüsü R=4 mm için açısız kalıpta ($\alpha=0^\circ$), baskı plakası kullanılmadan DKP 37 sacının limit çekme oranının 1,8 olduğu tespit edildi. Yapılan

deneylerde zımba kuvveti de 21582(N) olarak tespit edildi. Şekil 6.25a'da $\alpha = 0^\circ$ lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

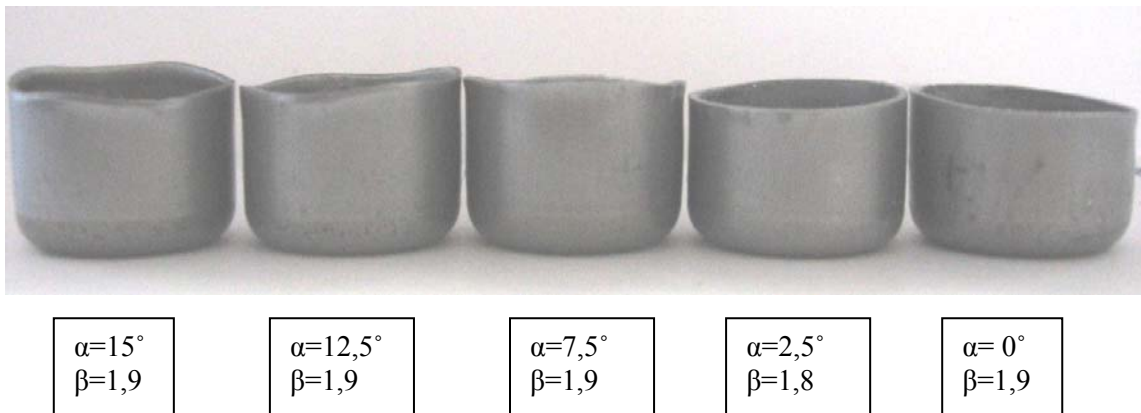
Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için matris ve baskı plakası açısını 2.5° olarak verildiğinde elde edilen çekme oranı değişmeyip 1.8'de kalmaktadır. Tespit edilen zımba kuvveti 30410 (N) 'dur ve gerekli baskı plakası kuvveti 3108,6 (N)'dur. Şekil 6.25b'de $\alpha = 2.5^\circ$ lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm, matris ve baskı plakası açısını 7.5° olarak verildiğinde limit çekme oranı 1,9'a yükselmiştir. Tespit edilen zımba kuvveti 35610 (N)'dur ve gerekli baskı plakası kuvveti 3108,6 (N) dur. Şekil 6.25c'de $\alpha = 7.5^\circ$ lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm, matris ve baskı plakası açısını 12.5° olarak verildiğinde elde edilen çekme oranı değişmeyip 1,9'da kalmaktadır. Tespit edilen zımba kuvveti 35610 (N)'dur. Gerekli baskı plakası kuvveti 2072,4 (N)'a düşmüştür. Bu da matris ve baskı plakası açısı 12.5° lik kalıpta daha az baskı plakası kuvveti gerektiğini ortaya koymaktadır. İmalat açısından daha az bir maliyet gerektirir. Şekil 6.25d'de $\alpha = 12.5^\circ$ lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

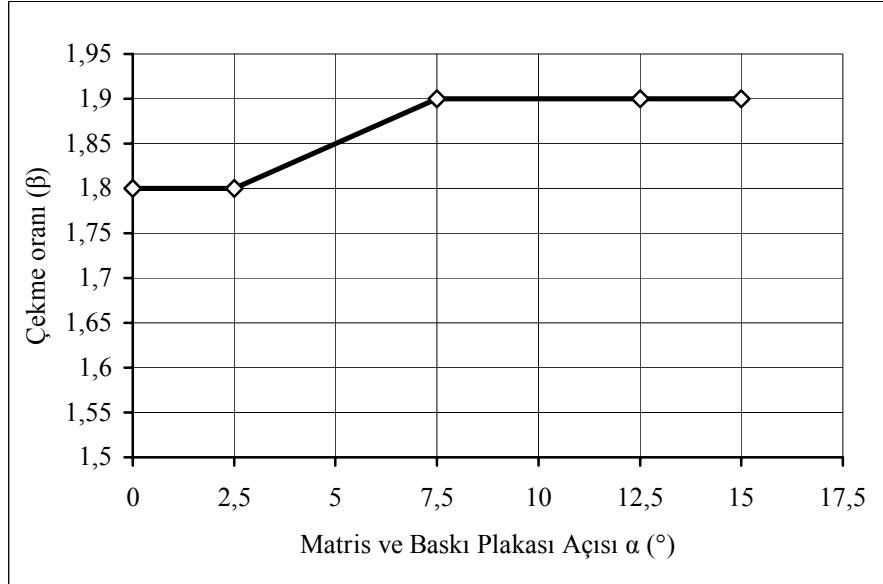
Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm, matris ve baskı plakası açısı 15° olarak verildiğinde elde edilen çekme oranı değişmeyip 1,9'da kalmaktadır Tespit edilen zımba kuvveti 35610 (N)'dur. Gerekli baskı plakası kuvveti de 2072,4 (N) olarak tespit edilmiştir. Bu durum matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için limit çekme oranının $\beta=1,9$ olduğunu göstermektedir. Bu değer sınır değerdir ve bu değer üzerinde bir değer çekilememektedir. Şekil 6.25e'de $\alpha = 15^\circ$ lik kalıpta elde edilen optimum deney numunesi verilmiştir.

Şekil 6.28'de matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm kalıp için, kalıp açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri gösterilmektedir.

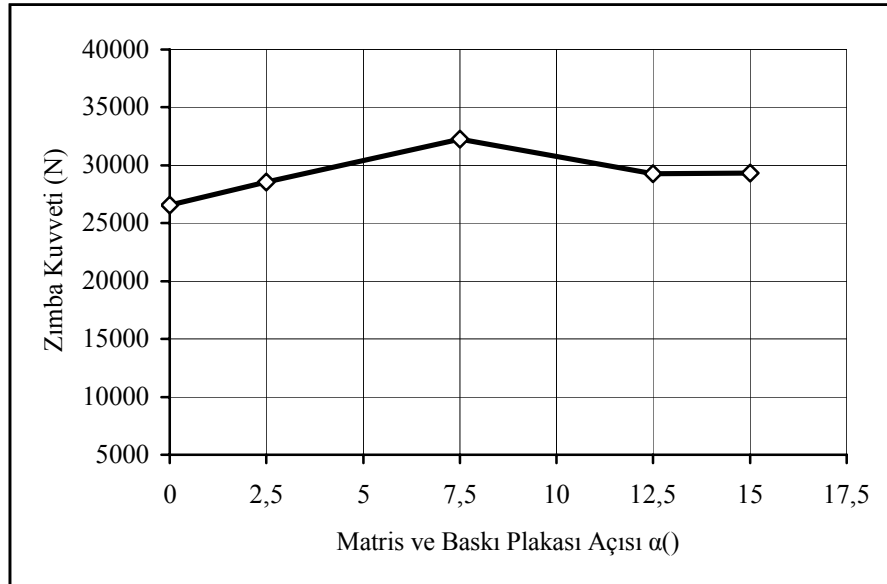


Şekil 6.28 Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.

Baskı plakası açısı 0 ve 2,5° arasında iken çekme oranı sabit kalmaktadır. Daha sonra Baskı plakası açısı 7,5°'ye kadar arttığında çekme oranının 1,9'a kadar çıktığı görülmektedir. Fakat 7,5°'den sonra çekme oranı sabit kalmaktadır. Bu da R= 4 mm'lik matris ve zımba radyüsünde limit çekme oranının $\beta = 1,9$ olduğunu göstermektedir (Şekil 6.29).



Şekil 6.29 Kalıp ve zımba radyüsü R=4 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranı üzerindeki etkisi.

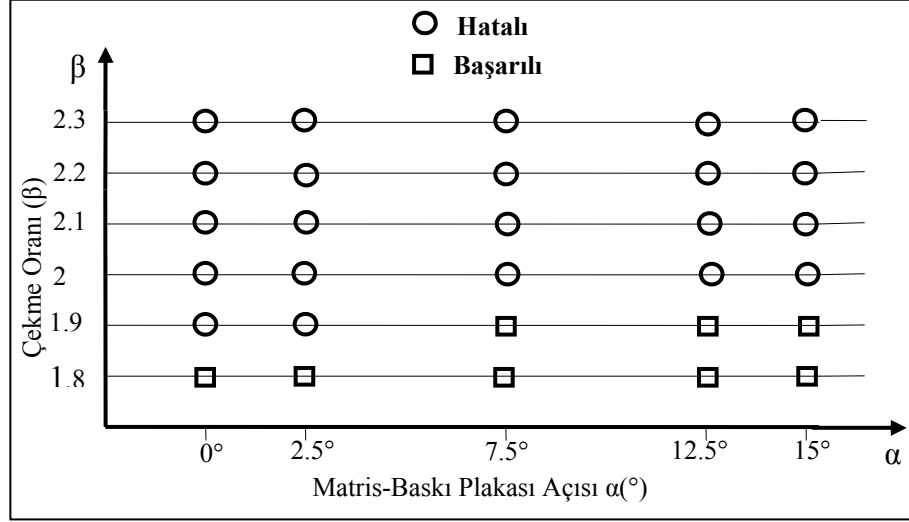


Şekil 6.30 Kalıp ve zımba radyüsü R=4 mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.

Matris ve baskı plakası açısı arttıkça zımba kuvvetinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de bu açılarda elde edilen çekme oranlarının artmasıdır. Fakat $\alpha=7,5^\circ$ 'den sonra $\alpha=12,5^\circ$

ile $\alpha=15^\circ$ 'de zımba kuvvetinde bir düşme meydana gelmektedir. Bunun nedeninin $\alpha=7,5^\circ$ 'deki baskı plakası kuvvetinin 3108,6 (N)'dan 2072,4 (N)' a düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. En büyük zımba kuvveti $\alpha=7,5^\circ$ 'de 35590 (N) olarak tespit edildi (Şekil 6.30).

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişimine bağlı olarak en ideal çekme oranı $\alpha=7,5^\circ$ 'de 1.9 olarak elde edildi (Şekil 6.31).



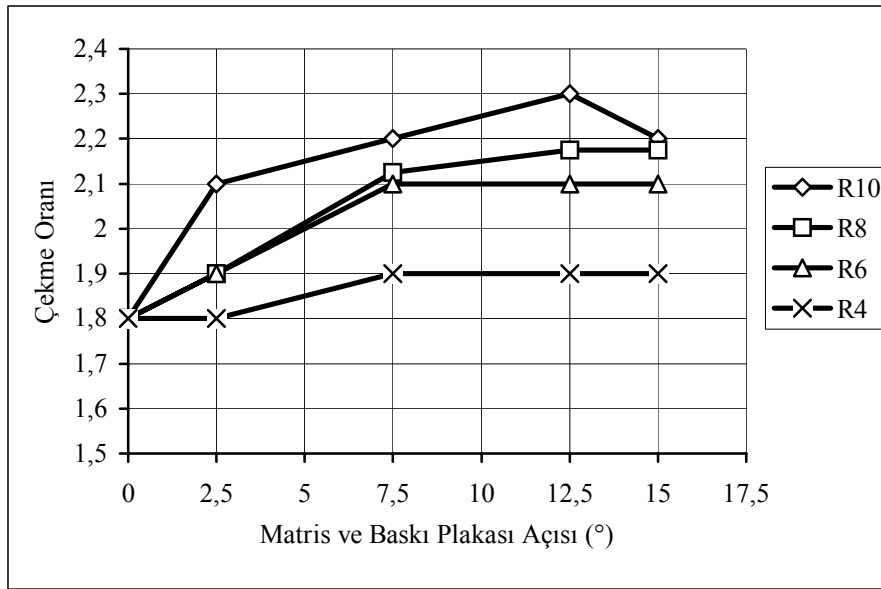
Şekil 6.31 Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için matris ve baskı plakası açısı değişiminin çekme oranına bağlı olarak hata doğruluğu.

7. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Bu çalışmada, sac metal şekillendirmede kullanılan en önemli yöntemlerden olan derin çekme işleminde açılı derin çekme kalıplarında zımba ve matris radyüsleri ile baskı plakası ve matris yüzeylerinin açılarının çekme oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla zımba ve matris ağızlarına R=10, R=8, R=6, R=4 mm'lik radyüsler, baskı plakası ve matris yüzeylerine de $\alpha=0^\circ$, $\alpha=2.5^\circ$, $\alpha=7.5^\circ$, $\alpha=12.5^\circ$, $\alpha=15^\circ$ lik açılar verilerek, DKP 37 sacının derin çekilmesinde radyüs ve açılar limit çekme oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar;

1) Matris ve zımba yarıçapı ile baskı plakası açısı artıkça çekme oranı da artmaktadır (Şekil 7.1). °



Şekil 7.1 Açılı Derin Çekme Kalıplarında Matris ve Zımba Radyüsüne Bağlı Olarak Matris ve Baskı Plakası Açısının Çekme Oranı Üzerindeki Etkisi.

a) Matris ve zımba radyüsü R=10 mm için;

Baskı plakası açısı $\alpha = 0^\circ$ iken çekme oranı $\beta=1.8$,

Baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$ ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.1$,

Baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$ ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.2$,

Baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$ ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.3$,

Baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$ ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.2$ dir.

Matris ve zimba radyüsü $R=10$ mm için en yüksek çekme oranı, matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ 'de $\beta=2.3$ olarak elde edildi. Matris ve zimba radyüsü $R=10$ mm için sınır değer $\beta=2.3$ dır.

b) Matris ve zimba radyüsü $R=8$ mm için;

Baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ iken çekme oranı $\beta=1.8$,

Baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=1.9$,

Baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.125$,

Baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.175$,

Baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.175$ dir.

Buradan görölüyorki $\alpha=12.5^\circ$ den sonra Matris ve zimba radyüsü $R=8$ mm için çekme oranı sabit kalmaktadır. Yani, matris ve zimba radyüsü $R=8$ mm için en yüksek çekme oranı baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ 'de $\beta=2.175$ olarak elde edildi. Matris ve zimba radyüsü $R=8$ mm için sınır değer $\beta=2.175$ dir.

c) Matris ve zimba radyüsü $R=6$ mm için;

Baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ iken çekme oranı $\beta=1.8$,

Baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=1.9$,

Baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.1$,

Baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.1$,

Baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.1$ 'dir.

Matris ve baskı plakası açısı, $\alpha=7.5^\circ$ den sonra Matris ve zimba radyüsü $R=6$ mm için çekme oranı sabit kalmaktadır. Yani, Matris ve zimba radyüsü $R=6$ mm için en yüksek çekme oranını baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$ 'de $\beta=2.1$ olarak elde edildi. Matris ve zimba radyüsü $R=6$ mm için sınır değer $\beta=2.1$ dir.

d) Matris ve zimba radyüsü $R=4$ mm için;

Baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ iken çekme oranı $\beta=1.8$,

Baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$ iken çekme oranı $\beta=1.8$,

Baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$ iken çekme oranı $\beta=1.9$,

Baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ iken çekme oranı $\beta=1.9$,

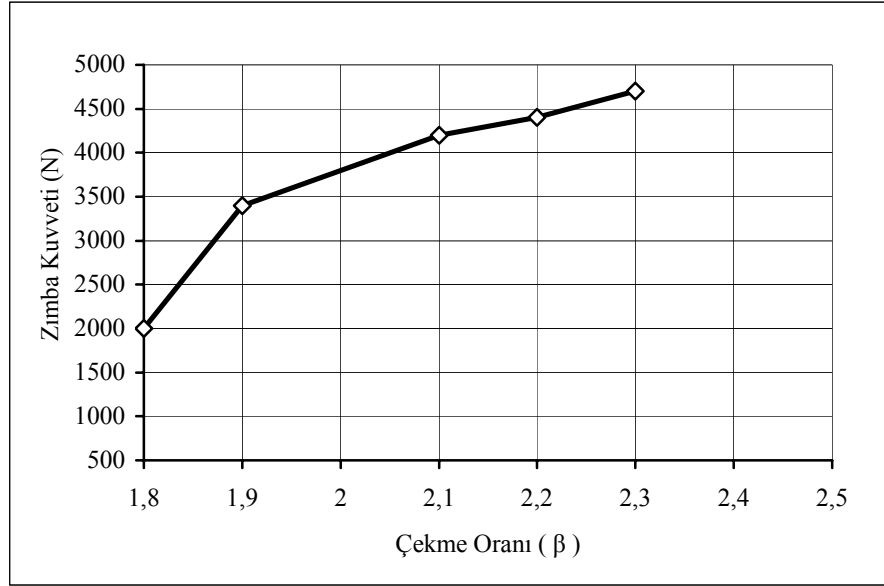
Baskı plakası açısı $\alpha=15^\circ$ 'ye çıktığında çekme oranı $\beta=1.9$ dur.

Matris ve baskı plakası açısı, $\alpha=7.5^\circ$ den sonra Matris ve zimba radyüsü $R=4$ mm için çekme oranı sabit kalmaktadır. Yani, Matris ve zimba radyüsü $R=4$ mm için en yüksek çekme

oranını baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$ 'de $\beta=1.9$ olarak elde edildi. Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için sınır değer $\beta=1.9$ dur.

DKP 37 sacının derin çekilmesinde klasik yöntemle imal edilmiş kalıplar kullanıldığında limit çekme oranı 1,75 iken [60], bu çalışmada matris ve zımbaya radyüs verilerek limit çekme oranı 2,3 olarak elde edilmiştir.

2) Çekme oranının artması ile zımba kuvvetinin arttığı görülmektedir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 Zımba kuvvetinin çekme oranı üzerindeki etkisi.

a) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ için;

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm iken çekme oranı $\beta=1.8$,

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm' ye çıktığında çekme oranı $\beta=1.8$,

Matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm' ye çıktığında çekme oranı $\beta=1.8$,

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm iken çekme oranı $\beta=1.8$.

Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ 'de Matris ve zımba radyüsü değiştiği halde çekme oranı sabit ve $\beta=1.8$ olarak elde edildi. $\alpha=0^\circ$ 'de matris ve zımba radyüsünün çekme oranı üzerinde bir etkisi yoktur.

b) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha=2.5^\circ$ için;

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm iken çekme oranı $\beta=1.9$,

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm' ye çıktığında çekme oranı $\beta=1.9$,

Matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm' ye çıktığında çekme oranı $\beta=1.9$,

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm iken çekme oranı $\beta=2.1$

Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 2.5^\circ$ 'de Matris ve zımba radyüsüne bağlı olarak en büyük çekme oranı matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm için $\beta=2.1$ olarak elde edildi. Matris ve zımba radyüsünün $\alpha = 2.5^\circ$ için sınır değeri $\beta=2.1$ dir.

c) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$ için;

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm iken çekme oranı $\beta=1.9$,

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.1$,

Matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm'ye çıktığında çekme oranı $\beta=2.125$,

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm iken çekme oranı $\beta=2.2$.

Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 7.5^\circ$ 'de Matris ve zımba radyüsüne bağlı olarak en büyük çekme oranı matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm de $\beta=2.2$ olarak elde edildi. Matris ve zımba radyüsünün $\alpha = 7.5^\circ$ için sınır değeri $\beta=2.2$ dir.

d) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$ için;

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm iken çekme oranı $\beta=1.9$,

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm iken çekme oranı $\beta=2.1$,

Matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm iken çekme oranı $\beta=2.175$,

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm iken çekme oranı $\beta=2.3$.

Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 12.5^\circ$ 'de Matris ve zımba radyüsüne bağlı olarak en büyük çekme oranı matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm de $\beta=2.3$ olarak elde edildi. Matris ve zımba radyüsünün $\alpha = 12.5^\circ$ için sınır değeri $\beta=2.3$ dir.

e) Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$ için;

Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm iken çekme oranı $\beta=1.9$,

Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm iken çekme oranı $\beta=2.1$,

Matris ve zımba radyüsü $R=8$ mm iken çekme oranı $\beta=2.125$,

Matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm iken çekme oranı $\beta=2.2$.

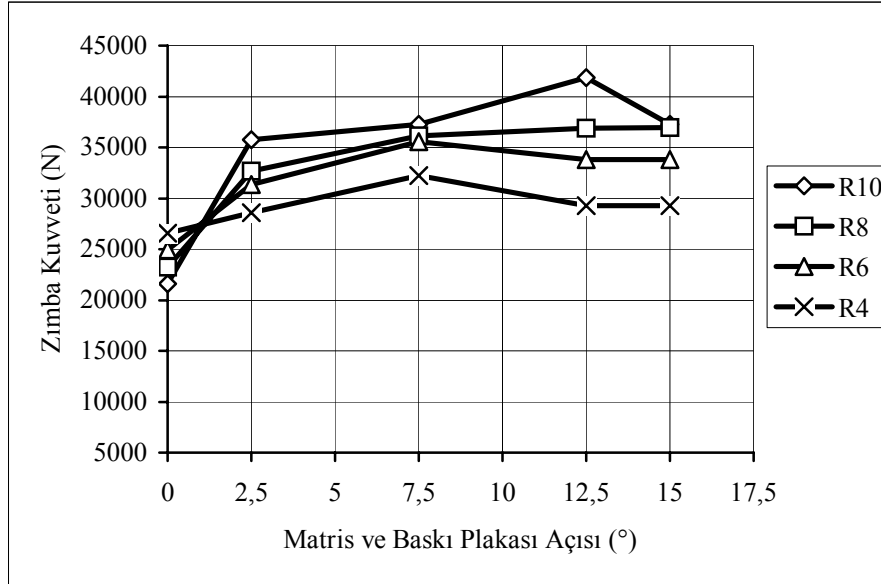
Matris ve baskı plakası açısı $\alpha = 15^\circ$ 'de Matris ve zımba radyüsüne bağlı olarak en büyük çekme oranı matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm de $\beta=2.2$ olarak elde edildi. Matris ve zımba radyüsünün $\alpha = 15^\circ$ için sınır değeri $\beta=2.2$ dir.

3) Matris ve baskı plakası açısı arttıkça zımba kuvvetinin arttığı görülmüştür(Tablo 6.3).

a) En yüksek zımba kuvveti matris ve zımba radyüsü $R=10$ için matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ 'de baskı plakası kuvveti 3108,6 (N)' da 41850 (N) tespit edildi.

b) En yüksek zımba kuvveti matris ve zımba radyüsü $R=8$ için matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12.5^\circ$ 'de baskı plakası kuvveti 3108,6 (N)' da 36890 (N) tespit edildi.

- c) En yüksek zımba kuvveti matris ve zımba radyüsü $R=6$ için matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$ de baskı plakası kuvveti 3108,6 (N)' da 35590 (N) tespit edildi.
- d) En yüksek zımba kuvveti matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7.5^\circ$ de ve baskı plakası kuvveti 3108,6 (N)' da 36890 (N) olarak tespit edildi.



Şekil 7.3 Matris ve Zımba Radyüsüne Bağlı Olarak Matris ve Baskı Plakası Açısının Zımba Kuvveti Üzerine Etkisi.

4) En büyük çekme oranı $\beta=2.3$ olarak matris ve zımba radyüsü $R=10$ mm, matris ve baskı plakası açısı $\alpha= 12.5^\circ$ de elde edilmiştir.

5) DKP 37 sacının derin çekilmesinde klasik yöntemle imal edilmiş kalıplar kullanıldığında limit çekme oranı 1,75 iken, bu çalışmada matris ve zımbaya radyüs verilerek limit çekme oranı 2,3'e kadar çıkartılmıştır.

6) Maksimum zımba kuvveti matris ve baskı plakası açısı $\alpha= 7.5^\circ$ de elde edilmiştir.

Sacın ilk çapı ile zımba çapı arasındaki oran büyüdükçe, sacı plastik deformasyona uğratabilecek zımba kuvveti de büyümektedir. Zımba kuvvetinin büyümesi derin çekme esnasında oluşan gerilmelerin büyümesine yol açmaktadır [50]. Bu nedenle derin çekme esnasında oluşan büyük gerilmelere mukavemet gösteremeyen iş parçasında yırtılmalar ve kopmalar meydana gelmekte ve derin çekme işlemi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Bunu önlemek için, çekme oranını büyütmek gerekir. Çekme oranı büyüdükçe gerilmelerde artacaktır.

Derin çekme esnasında malzemenin plastik deformasyona zorlanması malzeme üzerinde birçok gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu gerilmeler, basma gerilmesi, çekme gerilmesi, kayma gerilmesi ve iç gerilmelerdir. Derin çekme işleminin başarılı olabilmesi için malzemenin bu gerilmelere dayanabilmesi gerekmektedir.

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler sonucunda en uygun değerler, en yüksek ve en düşük çekme oranları, gerekli baskı plakası kuvvetleri ile zımba kuvvetleri değerleri Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1 Matris ve Zımba Radyüsü, Matris ve Baskı Plakası Açısı, Baskı Plakası Kuvveti ve Zımba Kuvvetine Bağlı Olarak Tespit edilen en yüksek ve en düşük çekme oranları.

Matris ve Zımba Radyüsü R(mm)	Matris ve Baskı Plakası Açısı $\alpha(^{\circ})$	Çekme Oranı (β)	Baskı Plakası Kuvveti (N)	Zımba Kuvveti (N)
10	0	1.8	0	21582
	2.5	2.1	3108.6	35767
	7.5	2.2	3108.6	37280
	12.5	2.3	3108.6	41850
	15	2.2	3108.6	37280
8	0	1.8	0	23260
	2.5	1.9	3108.6	32680
	7.5	2.125	2072.4	36120
	12.5	2.175	4144.8	36890
	15	2.175	3108.6	36920
6	0	1.8	0	24950
	2.5	1.9	3108.6	32410
	7.5	2.1	3108.6	35610
	12.5	2.1	2072.4	35610
	15	2.1	2072.4	35610
4	0	1.8	0	26582
	2.5	1.8	3108.6	29680
	7.5	1.9	3108.6	31646
	12.5	1.9	2072.4	31156
	15	1.9	2072.4	31215

Buna göre;

1) Matris ve zımba radyüsü R=10 mm için en yüksek çekme oranı matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^{\circ}$ ’de $\beta=2,3$ olarak elde edilmiştir. En küçük çekme oranı değeri matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^{\circ}$ ’de $\beta=1,8$ olarak edilmiştir.

2) Matris ve zımba radyüsü R=8 mm için en yüksek çekme oranı matris ve baskı plakası açısı $\alpha=12,5^{\circ}$ ’de $\beta=2,175$ olarak elde edilmiştir. En küçük çekme oranı değeri matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^{\circ}$ ’de $\beta=1,175$ olarak edilmiştir.

3) Matris ve zımba radyüsü $R=6$ mm için en yüksek çekme oranı matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$ 'de $\beta=2,1$ olarak elde edilmiştir. En küçük çekme oranı değeri matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ 'de $\beta=1,8$ olarak edilmiştir.

4) Matris ve zımba radyüsü $R=4$ mm için en yüksek çekme oranı matris ve baskı plakası açısı $\alpha=7,5^\circ$ 'de $\beta=1,9$ olarak elde edilmiştir. En küçük çekme oranı değeri matris ve baskı plakası açısı $\alpha=0^\circ$ 'de $\beta=1,8$ olarak edilmiştir.

5) Radyüs arttıkça çekme oranının arttığı görülmüştür.

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

Sanayide sıklıkla kullanılan paslanmaz çelik, alüminyum, bakır v.b. sacların derin çekilmesinde açılı kalıp kullanılmasının derin çekilebilirliğe etkisi araştırılabilir.

Eksenel simetriye sahip olmayan parçaların derin çekilmesinde açılı kalıp kullanılmasının derin çekilebilirliğe etkisi araştırılabilir.

Açılı kalıplamada çekme hızının derin çekmeye olan etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gotoh, M., et. al. 1997, Studies of stretch-drawing process of metals, Journal of material processing technology, 123-128
- [2] Colgan, M. Monaghan, J, 2003, Deep drawing process: analysis and experiment Journal of material processing technology, 35-41
- [3] Dejimal, I. et al, 2002, On the optimal die curvature in deep drawing processes, International Journal of mechanical sciences, 1245-1258
- [4] Dong, H.P. et al, 2002, Study on punch load non-axisymmetric deep drawing product according to blank shape, Journal of material processing technology, 89-94
- [5] Kampus, Z., Balic, J., 2003, Deep drawing of tailored blanks without a blank holder, Journal of material processing technology, 128-133
- [6] Kim, Ho. S, et al, 2001, Finite element inverse analysis for the design of intermediate dies in multi-stage deep-drawing processes with large aspect ratio, Journal of material processing technology, 779-785
- [7] Knockaert, R. et al, 2001, Experimental and numerical determination of texture evolution during deep drawing tests, Journal of material processing technology, 300-311
- [8] Mamalis, .G., et al, 1997, Simulation of sheet metal forming using explicit finite element techniques: effect of material and forming characteristics Part 2. Deep-drawing of Square cups, Journal of material processing technology, 110-116
- [9] Mamalis, .G., et al, 1997, Simulation of sheet metal forming using explicit finite element techniques: effect of material and forming characteristics Part 1. Deep-drawing of square cups, Journal of material processing technology, 48-60
- [10] Marumo, Y. et al, 2001, Effect of lap sheets on deep drawing of metallic foil cups, Journal of material processing technology, 48-51
- [11] Sato, E. et. al. 1997, Effect of multi- axial loading path on limiting drawing ratio, Journal of material processing technology, 60-65
- [12] Thiruvardhulan, S. And Travis, F. W., 1996, An exploration of the hydraulic pressure assisted redrawing of cups, Journal of material processing technology, 117-123
- [13] Zhang, G.S. et al., 2003, Effect of anisotropy and prebulging on hydromechanical deep drawing of mild steel cups, Journal of material processing technology, 544-550
- [14] Zhang, X.M. et al, 1997, Texture evolution during deep drawing of copper sheet, Scripta Material, 1023-1029
- [15] Kaftanoğlu, B., 1966, An investigation of stretch forming in relation to deep drawing and testing sheet metal, Ph.D Thesis Imperial College University of London,

- [16] Jhonson, W. And Mellor, P.B., 1966, Plasticity for mechanical engineers, D. von dootrant Mechanical Engineers,
- [17] Swift, H.W., 1947, Plastic strain in an isotropic strain hardening material, Engineering, 381
- [18] Swift, H.W., 1943, Two stage drawing of cylindrical cups, Institute of Eng. Slip in Scotland, 195-196
- [19] Chang, S.Y. And Swift, H.W., 1951, Cup drawing from a flat blank, Proc. Inc. Mechanical Engineers,
- [20] Woo, D.M., 1967, On complete solution of the deep drawing problem, International journal of mechanic science , 83-94
- [21] Woo, D.M., 1964, Analysis of the cup drawing Process, Journal of mechanical engineering science, vol. 6
- [22] Hsu, T.C., Lee, S.Y., 1977, Journal of engineering, 165
- [23] Yamada, Y., 1969, Studies on formability of sheet metals, Inst. Inds. Science univ. of Tokyo, v.11, No:5
- [24] Carlson, R.F., 1961, Metal stamping design, Practice and economical design of stamped metal parts, Prentice Hall, Inc, 178
- [25] Crane, E.V., 1954, Plastic working of metals & nonmetallic materials in presses, John Wiley & Sons, Inc, 150-212
- [26] Kondo, K. and Hiraiwa, M., 1985, On the characteristics of square cup drawing bulletin of JSME, vol.26, 2287-2294
- [27] Mellor, P.B. and El-sebai, M.G., 1972, Plastic instability conditions in deep drawing of a circular blank of sheet metal, International journal of mechanic science, 535, 558
- [28] Wilson, R.D. and Hsu, T.C., 1994, Refined models for hydrodynamic lubrication in axisymmetric stretch forming, Journal of tribology, 101-109
- [29] Woodhams, R.T., and Pede, S.D, 1990, Deep drawing of Self-reinforced thermoplastic sheet, Polymer engineering and science, 1185-1199
- [30] Daniel, D. et al, texture included by tension & deep drawing in low carbon & extra low carbon steel sheets
- [31] Inagaki, H., 1993, Earing behavior of textured of polycrystals in cup drawing, Z.metallhunde, münchen, acta metall. Material, 494-500
- [32] Wang, N.M., 1984, A rigid plastic rate sensitive finite element method for modelling sheet metal forming process in numerical analysis of forming process, John Wiley Chichester

- [33] Budansky, B. and Wang, N.M., 1978, On the swift cup test, Journal of applied mechanics,73
- [34] Darendeliler, H. and Kaftanoğlu, B., 1991, Deformation analysis of deep drawing by a finite element method, Annals of the CIRP, 281-284
- [35] Levy, S. et al, 1978, Analysis of sheet metal forming to axisymmetric shapes, ASTM, 238-260
- [36] Majessi, S.A., and Lee, S., 1987, Further development of sheet metal forming analysis method, Journal of engineering industry,330-340
- [37] Çapan, L., 1999, Metallere Plastik Şekil Verme, İstanbul: Çağlayan Kitapevi
- [38] Weissbach, W., 1977, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi(ANIK, S., ANIK, E. S., Çev.). İstanbul: Birsen Yayınevi(Özgün çalışma: 1967. Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung).
- [39] Bargel, H., J., ve Schulze, G., 1993, Malzeme Bilgisi, Cilt: 1,2 (ARAN, A, GÜLEÇ, Ş., Çev.). İstanbul: İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi. (Özgün çalışma) Werkstoffkunde, Dusseldorf: VDI Verlag GMBH
- [40] Van vlack, L., H., 1964, Elements of Materials Science, Reading, Massachusetts Addison . Wesley Publishing Co
- [41] Topaç, M. M., 2003, Karbonlu çeliklerde derin çekmeye etki eden faktörlerin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Dokuz eylül üniversitesi fen bilimleri enstitüsü
- [42] Anık, S., ve arkadaşları, 2000, İmal Usulleri, İstanbul: Birsen Yayınevi
- [43] Çapan, L., 1977, Plastik Şekil Verme Teori ve Uygulama, İstanbul: Birsen Kitabevi Yayınları,
- [44] Bickel, E., 1964, die Metallischen Werkstoffe des Maschinenbaues, Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer . Verlag
- [45] Çapan, L., 1979, Derin Çekmede Allotropi, Doçentlik Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi
- [46] Avner, S., H., 1974, Introduction to Physical Metallurgy, New York: McGraw . Hill Book Company
- [47] Cottrell, A., 1975, An Introduction to Metallurgy, Bath: Edward Arnold (Publishers) Ltd.
- [48] Hosford, W. F. ve Caddell, R. M., 1983, Metal Forming Mechanics and Metallurgy, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice . Hall International, Inc
- [49] Schey, J.,A., 2000, Introduction to Manufacturing Processes, New York: McGraw . Hill Companies, Inc.
- [50] Mielnik, E., M., 1991, Metalworking Science and Engineering, New York: McGraw. Hill, Inc.

- [51] Güneş, T., 1990, Pres İleri Tekniği Bölüm II, Ankara: TMMOB-MMO Yayınları, Yayın No: 130.
- [52] Gavas, M., 2002, Çok İnce Çelik Sacların Elastik Şekillendirilmesi. Mühendis ve Makina, 18-25
- [53] Panseri, C., 1957, Manuale Di Tecnologia delle Leghe Leggere da Lavorazione Plastica, Milano: Ulrico Hoepli Editore
- [54] Kalpakjian, S., and Schmid, S. R., 2001, Manufacturing Engineering and Technology, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [55] Johnson, W., and Mellor, P. B., 1978, Engineering Plasticity, Workingam, Beckshire: Van Nostrand . Reinhold Company LTD, Molly Millars. Lane.
- [56] Tlustý, J., 2000, Manufacturing Processes and Equipment, New Jersey: Prentice . Hall, Inc.
- [57] Alexander, J. M., and Brewer, R. C., 1963, Manufacturing Properties of Materials, London: D. Van Nostrand Company LTD.
- [58] Güneş, T., 2002, Pres işleri tekniği cilt II, Makine mühendisleri odası yayın no:307
- [59] Saniee, F. F. and Montazeran, M. H., 2003, A comparative estimation of the forming load in the deep drawing process, Journal of Materials Processing Technology, vol 140, page 555-561
- [60] Seçgin, Ö. 2005, “DKP Sac çeliğinin derin çekilmesinde matris yüzey açısı değişiminin araştırılması” Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ'ın Maden ilçesinde doğan Muhammet BAL ilk ve orta eğitimini Maden de lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 1999 yılında Gazi Anadolu Meslek Lisesinden mezun olduktan sonra 2000 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. Mezun olduktan sonra Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.