

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DKP SAC ÇELİĞİNİN DİRİN ÇEKİLMESİNDE MATRİS
YÜZEY AÇI DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ömer SEÇGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DKP SAC ÇELİĞİNİN DERİN ÇEKİLMESİNDE MATRİS YÜZEY AÇI DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer SEÇGİN

Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, 08/07/2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Vedat SAVAŞ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Niyazi ÖZDEMİR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Cabel ÖZEK

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15/07/2005 tarih ve 2005/22-2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Dünyaya geldiğim andan itibaren bu güne kadar beni hiç bir zaman yalnız bırakmayan **aileme** ve yüksek lisans öğrenciliğim süresi boyunca bir çok deneyim kazanmama vesile olan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. **Vedat SAVAŞ**'a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	VI
KISALTMALAR	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
2. METALLERDE PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞİMİ	6
2.1. Giriş	6
2.2. Metallerin Fiziksel Yapıları Ve Plastik Deformasyon	6
2.2.1. Metallerin Kristal Kafes Yapıları	6
2.2.2. Kristallerin Şekil Değişimi	8
2.3. Kristallerde Meydana Gelen Yapı Hataları	10
2.3.1. Kristallerde Yapı Hatalarının Sınıflandırılması	10
2.3.2. Pekleşme	13
3. PLASTİSİTEDE KULLANILAN MALZEME ÇEŞİTLERİ VE MODELLERİ	15
4. KALIPÇILIK TEKNOLOJİSİ	19
4.1. Hacim Kalıpçılığı	19
4.1.1. Sıkıştırma Kalıpları	19
4.1.2. Enjeksiyon Kalıpları	20
4.1.3. Dövme Kalıpları	21
4.2. Sac Metal Kalıpçılığı	21
4.2.1. Kesme Kalıpları	21
4.2.2. Bükme Kalıpları	22
5. DERİN ÇEKME	23
5.1. Derin Çekme	23
5.2. Karakteristik Üçgen ve Fazlalık Malzemenin Etkileri	24
5.2.1. Karakteristik Üçgenin Tanımı ve Fazlalık Malzemenin Belirlenmesi	24
5.2.2. Kulak Oluşumu	26
5.3. Limit Çekme Oranı ve Anizotropi	28
5.3.1. Limit Çekme Oranı	28
5.3.2. Derin Çekmede Anizotropi	29
5.4. Derin Çekme İşleminde İş Parçası Kalınlığının Değişimi	31
5.5. Kademeli Çekme	35
5.6. Derin Çekmede Kullanılan Saclar	39
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
6.1. Çalışmanın Amacı	41
6.2. Deney Malzemesi	41
6.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	41
6.4. Kalıp Tasarımı ve İmalatı	42
6.5. Deneylerin Yapılışı	46

6.6. Kalınlık Değişiminin Belirlenmesi.....	50
7. DENEY SONUÇLARI.....	52
7.1. Matris Yüzey Açısı Değişiminin Limit Çekme Oranı Üzerine Etkisi	52
7.2. Matris ve Baskı Plakası Yüzey Açısı Değişiminin Kalıp Sayısına Etkisi	57
7.3. Baskı Plakası Kuvveti Değişiminin Derin Çekilebilirliğe Etkileri.....	57
7.4. Et Kalınlığı Değişiminin Belirlenmesi	59
7.4.1. Kalıp Açısı Değişiminin Et Kalınlığına Etkilerinin Belirlenmesi	60
7.4.2. Baskı Plakası Kuvveti Değişiminin Et Kalınlığı Değişimi Üzerine Etkisi ..	65
7.4.3. Çekme Oranı Değişiminin Et Kalınlığına Etkisi	70
8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1	Kristal kafes, birim kristal kafes ve kafes sabiti.	7
Şekil.2.2	Metallerde genelde rastlanan birim kafes tipleri; a.Hacim merkezli kübik. b.Yüzey merkezli kübik. c. Sıkı düzenli hekzagonal.	8
Şekil 2.3	Kristalde şekil değişimi; a. Şekil değiştirmemiş kristal. b. Kayma. c. İkizlenme.	9
Şekil 2.4	Kenar dislokasyonunun yapısı. a. Kenar dislokasyonunun atom düzlemleri ile gösterimi. b. Kenar dislokasyonu modeli; kuvvet etkisi altında kristalin kayan üst bölgesinde ortaya çıkan fazladan atom tabakası	11
Şekil 2.5	Vida dislokasyonunun yapısı. a. Kristal içerisindeki vida dislokasyonu (EF boyunca), b. Kristal yüzeyindeki B noktasında son bulan AB vida dislokasyonu.	11
Şekil 2.6	Elektron mikroskobu yardımıyla görüntülenen dislokasyon hatları. (Resimdeki malzeme paslanmaz çeliktir.)	12
Şekil 2.7	Dislokasyon hareketleri nedeniyle kayma gerilmesine maruz bir kristalin yüzeyinde basamak oluşumu; a. Kenar dislokasyonu, b. Vida dislokasyonu.	13
Şekil 2.8	$n < 1$ için çizilen $\sigma = K \cdot \epsilon^n$ eğrisi. Bu eğri, elastik davranış göstermeyen ve belirgin bir akma sınırına sahip olmayan malzemeleri sembolize eder [37].	14
Şekil 2.9	Logaritmik koordinatlarda muhtelif metalik malzemeler için çizilen gerçek çekme diyagramları yardımıyla pekleşme üssü, n 'nin sayısal olarak ifade edilmesi [50].	14
Şekil 3.1	Rijit Cisim.	16
Şekil 3.2	Lineer Tam Plastik Cisim.	16
Şekil 3.3	Plastik Cisim.	16
Şekil 3.4	Elastik Cisim.	16
Şekil 3.5	Elastik, Tam Plastik Cisim.	17
Şekil 3.6	Rijit, Lineer Sertleşen Cisim.	17
Şekil 3.7	Elastik, Lineer Sertleşen Cisim.	17
Şekil 4.1	Kalıpçılık Çeşitleri.	19
Şekil 4.2	Sıkıştırma Kalıbı.	20
Şekil 4.3	Enjeksiyon Kalıbı.	20
Şekil 4.4	Dövme Kalıbı.	21
Şekil 4.5	Kesme Kalıbı.	22
Şekil 4.6	Bükme Kalıbı.	22
Şekil 5.1	Derin çekme işlemi, a. Şematik, b. Perspektif.	23
Şekil 5.2	Karmaşık şekilli bir levhadan yuvarlak köşeli bir kutunun çekilmesi.	24
Şekil 5.3	Dairesel iş parçasında karakteristik üçgenin elde edilmesi.	25
Şekil 5.4	Silindirik çekme ile elde edilen farklı özellikteki malzemelerden imal edilen kaplarda, yetersiz baskı plakası kuvveti sonucu kulak oluşumu.	26
Şekil 5.5	Baskı plakası kullanılmadan gerçekleştirilen derin çekme işleminde flanş bölgesinde ortaya çıkacak gerilmeler, [45].	27
Şekil 5.6	Baskı plakasız çekme [59].	27
Şekil 5.7	Baskı plakası kullanılarak yapılan çekme işleminin temel elemanları.	28
Şekil 5.8	Silindirik iş parçasında limit çekme oranının aşılması sonucu ortaya çıkan hasar [45].	29
Şekil 5.9	Sac malzemede anizotropinin tespit edilmesi; a. Metalik sac levhada anizotropinin oluşumu. b. Belirli bir referans eksenine göre ölçülen mekanik özelliklerin haddeleme yönüne göre değişimi. c. Anizotropinin malzeme özelliklerine olan etkisinin çekme deneyi numunesinde ortaya çıkacak boyutsal	

değişimler yardımıyla belirlenmesi. d. Ortalama anizotropi değerinin hesaplanmasında kullanılan muhtelif doğrultular [49].	30
Şekil 5.10 Üç Farklı sac malzemeden derin çekilerek elde edilen iş parçalarında meydana gelen kulaklanma.	31
Şekil 5.11 Derin çekme işleminde iş parçasına etki eden kuvvetler.	32
Şekil 5.12 Çekme başlangıcında iş parçasının durumu; Sıkıştırma kalıbı (baskı plakası), Matris.	32
Şekil 5.13 Derin çekme işlemi boyunca kalınlık değişiminin seyri [55].	33
Şekil 5.14 Farklı geometrilere sahip zımbalarla yapılan derin çekme işleminde malzeme cidarında oluşacak kalınlık değişimlerinin karşılaştırılması [55].	34
Şekil 5.15 Çekilerek imal edilmiş silindirik bir 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].	34
Şekil 5.16 Derin çekme esnasında meydana gelen gerilmeler [58].	35
Şekil 5.17 Meşrubat kutusunun imalatı.	36
Şekil 5.18 Çekme oranı büyük olan bir parçanın kademeli kalıplama ile imalatı [58].	37
Şekil 5.19 Çekme kademelerinin hesaplanması.	38
Şekil 5.20 Derin çekilecek parça.	39
Şekil 6.1 0° yüzey açılı kalıp.	43
Şekil 6.2 2.5° yüzey açılı kalıp.	43
Şekil 6.3 5° yüzey açılı kalıp.	44
Şekil 6.4 10° yüzey açılı kalıp.	44
Şekil 6.5 15° yüzey açılı kalıp.	45
Şekil 6.6 Kalıp ölçüleri.	45
Şekil 6.7 Deneylerin yapıldığı hidrolik pres ve deney seti.	49
Şekil 6.8 Hidrolik pres ve kalıp setinin şematik gösterimi.	50
Şekil 6.9 Sac kalınlığının ölçüldüğü bölgeler.	51
Şekil 6.10 Sac kalınlığının ölçülmesi.	51
Şekil 7.1 Çekme oranının büyük olmasından dolayı parçada meydana gelen yırtılma.	52
Şekil 7.2 $2,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.	53
Şekil 7.3 5° 'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.	54
Şekil 7.4 10° 'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.	54
Şekil 7.5 15° 'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.	55
Şekil 7.6 15° 'lik kalıpta $\beta=2,2$ alınarak imal edilen deney numunesi.	56
Şekil 7.7 Kalıp açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.	56
Şekil 7.8 Kalıp açısı değişiminin çekme oranına etkisi.	56
Şekil 7.9 Kalıp açısı (α) değişiminin, baskı plakası kuvvetine etkisi ($\beta=1.75$ için).	58
Şekil 7.10 Çekme oranı ve baskı plakası kuvveti değişiminin kalıp açısına etkisi.	59
Şekil 7.11 1036,2(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.	61
Şekil 7.12 3108,6(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.	62
Şekil 7.13 4144,8(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.	63
Şekil 7.14 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.	64
Şekil 7.15 0° 'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.	65

Şekil 7.16 2,5°'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.	66
Şekil 7.17 5°'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.	67
Şekil 7.18 10°'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.	68
Şekil 7.19 15°'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.	69
Şekil 7.20 Açılı kalıplamada, optimum çekme oranlarında et kalınlığı değişimi.	71



TABLolar LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 6.1 Deney numunelerinin kimyasal spektral analizi.....	41
Tablo 6.2 Çekme oranı (β)'ya bağlı olarak sac çapları.....	42
Tablo 6.3 Kalıp açısı (α) değerleri.....	42
Tablo 6.4 Deneyler esnasında kullanılan baskı plakası kuvvetleri.....	46
Tablo 6.5 Derin çekme deneylerinde kullanılan deney numuneleri ve işlem parametreleri.....	46
Tablo 7.1 1036,2(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	60
Tablo 7.2 3108,6(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	61
Tablo 7.3 4144,8(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	62
Tablo 7.4 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	63
Tablo 7.5 $\alpha=0^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	65
Tablo 7.6 $\alpha=2,5^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	66
Tablo 7.7 $\alpha=5^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	67
Tablo 7.8 $\alpha=10^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	68
Tablo 7.9 $\alpha=15^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).....	69
Tablo 7.10 Kalıp açısı değişimi ile elde edilen optimum çekme numunelerinin kalınlık değişimi.....	70

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

DKP SAC ÇELİĞİNİN DERİN ÇEKİLMESİNDE MATRİS YÜZEY AÇI DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer SEÇGİN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

2005, Sayfa : 77

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

Bu çalışmada geleneksel derin çekme metoduna farklı bir yaklaşım getirilerek matris ve baskı plakası yüzeylerine açı verilmiştir. Bu çalışmanın asıl amacı kalıp açısı değişiminin, ülkemiz sanayisinde yoğun bir şekilde kullanılan DKP 37 sacının derin çekilebilirliğine etkilerini araştırmaktır. Saca dört farklı baskı plakası kuvveti uygulanarak baskı plakası kuvveti değişiminin derin çekilebilirliğe etkileri de incelenmiştir.

Derin çekme plastik şekil verme yöntemlerinden biri olduğundan dolayı, bu tezin ilk bölümlerinde, plastik şekil değişimi üzerinde durulmuştur. Ayrıca kalıpcık hakkında kısa bir bilgi verilip derin çekme işlemi açıklanmıştır.

Sonuç olarak, matris ve baskı plakası yüzeylerine açı verilerek limit çekme oranının artırılabilirdiği görülmüştür. Ayrıca derin çekme esnasında ondülasyon meydana gelmeden sacın akışını kontrol edebilecek baskı plakası kuvvetinin de büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir.

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

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF DIE SURFACE ANGLE VARIATION AT THE DEEP DRAWING OF DKP SHEET STEEL

Ömer SEÇGİN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

2005, Page : 77

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

In this study, we gave various angles on the die and blank holder surfaces. The main objective of this study, determine of affects of die-blank holder angle variations on the DKP 37 sheet which using intensively at our country's industry. Four different blank holder forces applied on the sheet and affects of blank holder force variation on the deep drawability of DKP 37 sheet investigated.

Because of deep drawing is one of the plastic deformation methods, at the first stage of thesis, plastic deformation was explained. In addition, some information was given about molding. Later deep drawing method was explained.

Consequently, with giving some angle on the die-blank holder surfaces, limit drawing ratio can be increased and blank holder force which get under control of sheet flow, have been decreased on a large scale.

Keywords: Deep drawing, Limit drawing ratio, Die, Blank holder force

1. GİRİŞ

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.

Saç 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.

Saç 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 dikışsiz 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.

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 çatlamlarını 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.

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.

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 ısıtılma işlemi 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.

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 DeJmal, 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 zimba kullanılmıştır. Sonuçta çok eksenli yükleme ile çekme oranının %55 arttığı görülmüştür.

Çok derin parçaların çekilmesinde kademeli çekme yöntemi kullanılmaktadır. Tekrar çekme sayısını azaltmak için Thiruvardhulan, 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 zımba 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 mekaniğı ve şekillendirme limiti Yamada [23] tarafından deneysel olarak analiz edilmiştir. Şekillendirilen yüzeyin karmaşıklığı ve şekillendirilmemiş kısmında olmasından dolayı metal akışının süreksizliğinin 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 zımba 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 işlemleri 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 zımba 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 etkilendiğı 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

2.1. Giriş

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.

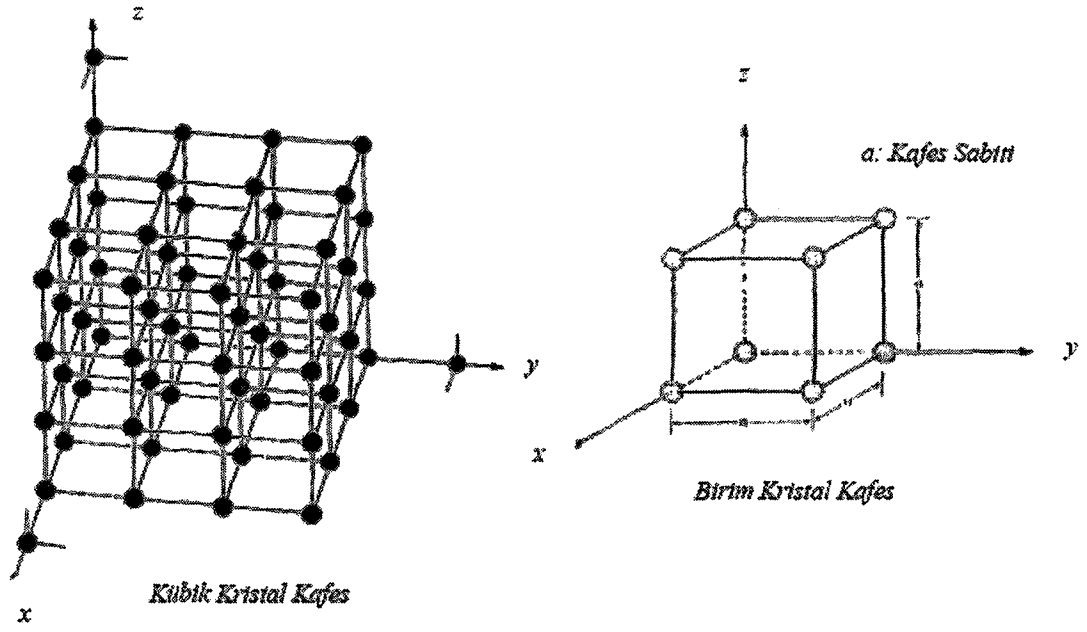
Derin çekme işlemi de, temel prensibi malzemenin plastik şekillendirilmesine dayanan bir yöntemdir. Dolayısıyla, bu işlemin tam olarak anlaşılabilmesi için öncelikle metallerdeki kalıcı şekil değişimini meydana getiren mekanizmalar yeterince tanınmalıdır. Bu nedenle bu bölümde, metallere plastik şekillendirilebilirlik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

2.2. Metallerin Fiziksel Yapıları Ve Plastik Deformasyon

2.2.1. 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].

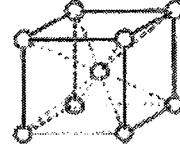
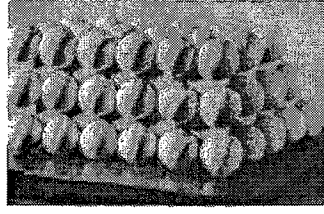
Kristal kafesler, tamamen aynı biçimsel özelliklere sahip basit geometriye pek çok alt atom grubunun üç boyutlu olarak dizilmesinden oluşur [39]. Bundan dolayı kafeslerin sınıflandırılması, daha temel bir kavram olan ve birim kafes olarak adlandırılan bu alt gruplara göre yapılmaktadır (Şekil 2.1, [40]).



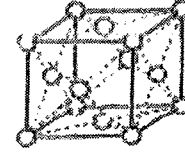
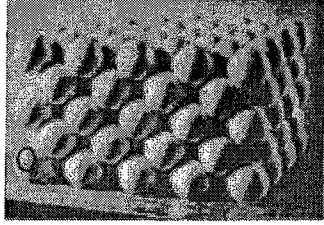
Şekil 2.1 Kristal kafes, birim kristal kafes ve kafes sabiti.

Metallerin yapısında genel olarak üç farklı birim kafes tipine rastlanır. Bunlar;

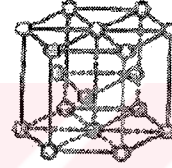
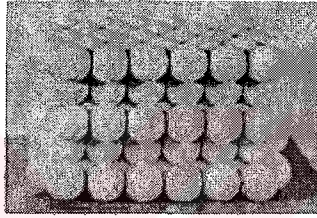
- Hacim Merkezli Kübik (HMK),
- Yüzey Merkezli Kübik (YMK) ve
- Sıkı Düzenli (Paketli) Hekzagonal (SDH), olarak adlandırılmaktadırlar [39].



a.



b.



c.

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].

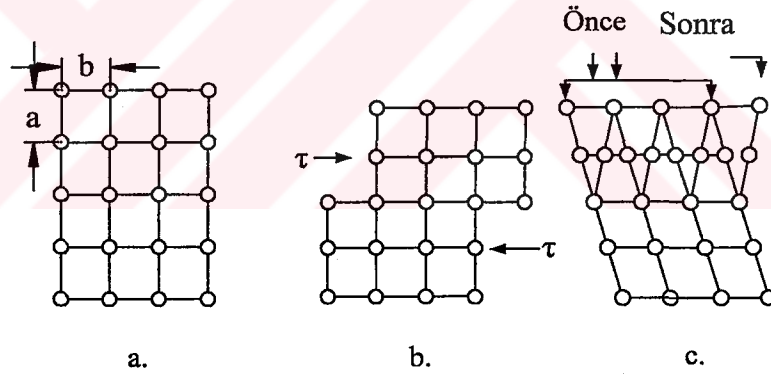
2.2.2. Kristallerin Şekil Değişimi

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve esaslı, 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 [37].

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.

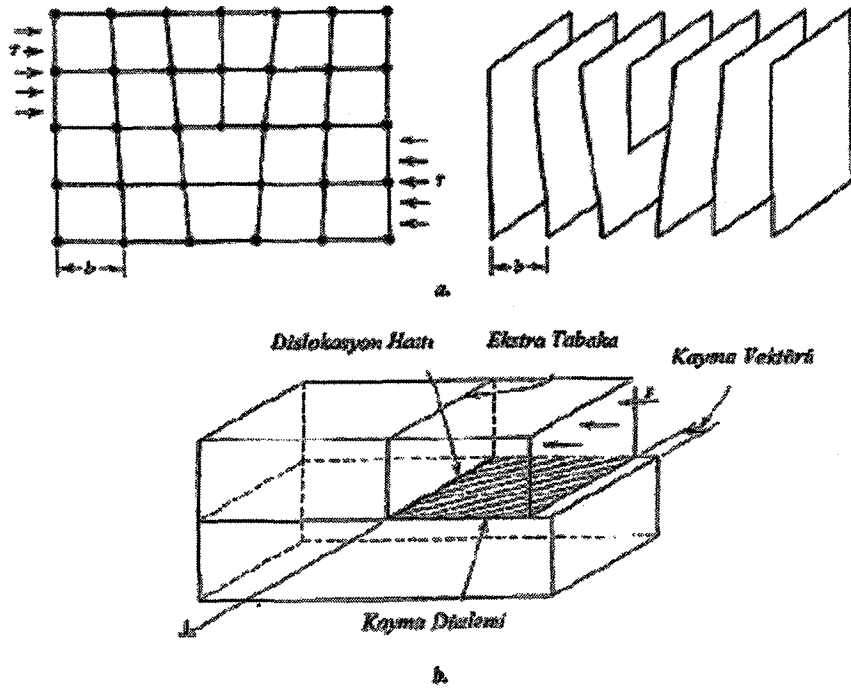
Metalik malzemeler genellikle çok taneli, yani çok kristalli bir yapıda olup, bu yapıyı oluşturan her bir tane eksen farklı doğrultudadır. Kayma esnasında ise bu özellik sebebiyle her tane farklı yöne doğru harekete geçerek birbirlerinin hareketini engellemeye çalışacaktır. Sonuçta, en yüksek şekil alabilirlik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

2.3. Kristallerde Meydana Gelen Yapı Hataları

2.3.1. 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 katılma 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;

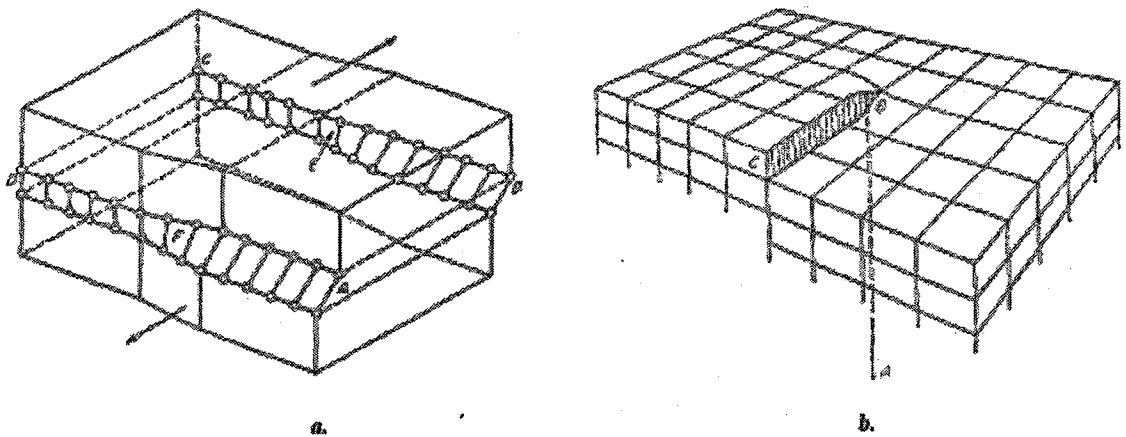
- Noktasal (Sıfır boyutlu; kafes boşlukları),
 - Çizgisel (Tek boyutlu; dislokasyonlar),
 - Yüzeysel (İki boyutlu; tane sınırları),
 - Hacimsel (Üç boyutlu; boşluklar ve kalıntılar)
- olmak üzere dört ayrı grup halinde sınıflandırılırlar.



Şekil 2.4 Kenar dislokasyonunun yapısı. a. Kenar dislokasyonunun atom düzlemleri ile gösterimi. b. Kenar dislokasyonu modeli; kuvvet etkisi altında kristalin kayan üst bölgesinde ortaya çıkan fazladan atom tabakası

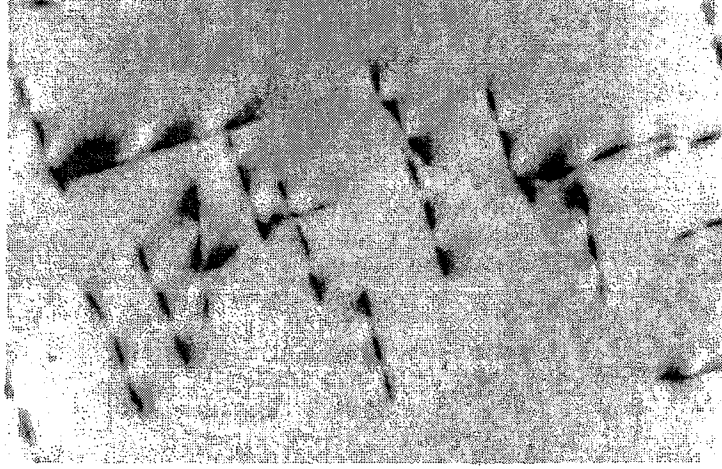
Dislokasyonlar temelde iki farklı şekilde ortaya çıkarlar. Bunlardan kenar dislokasyonu olarak adlandırılan birinci tip, görüntü olarak kristal içinde sona eren bir kafes düzleminin kenarı gibi düşünülebilir [46].

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].



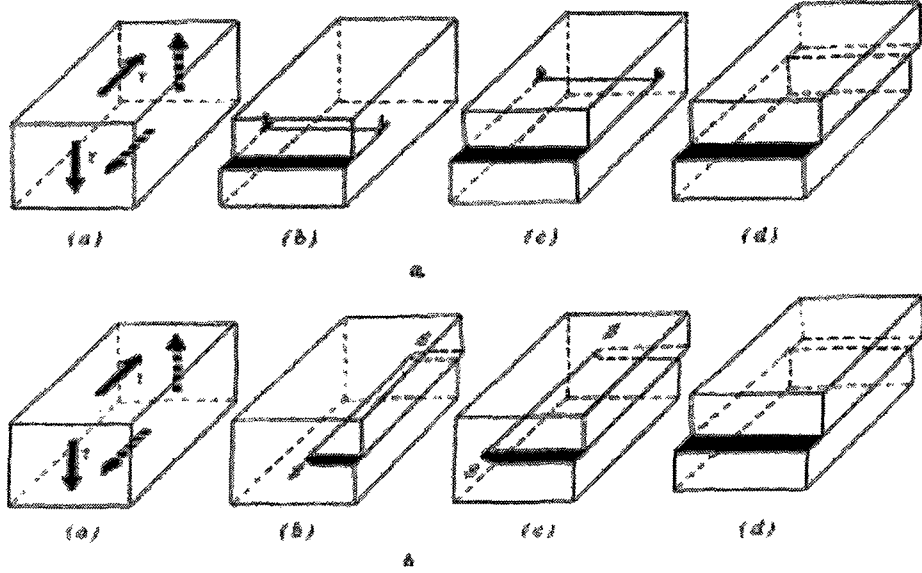
Şekil 2.5 Vida dislokasyonunun yapısı. a. Kristal içerisindeki vida dislokasyonu (EF boyunca), b. Kristal yüzeyindeki B noktasında son bulan AB vida dislokasyonu.

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



Şekil 2.6 Elektron mikroskobu yardımıyla görüntülenen dislokasyon hatları. (Resimdeki malzeme paslanmaz çeliktir.)

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

2.3.2. Pekleşme

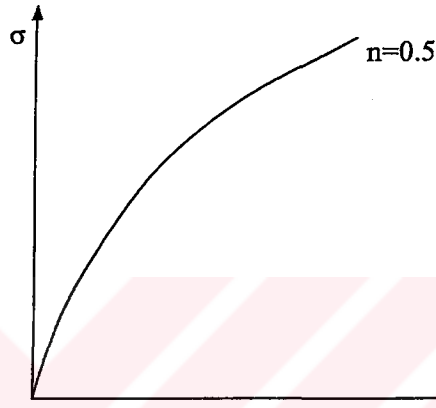
Metallerin rekristalizasyon sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde kalıcı olarak şekillendirilmeleri olayına soğuk şekillendirme adı verilir [48]. Malzemelere uygulanan soğuk şekil değiştirme işlemi sırasında, etkiyen dış kuvvetler nedeniyle kristal kafes yapısında kayma, ikizlenme veya bu her 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 malzemedede 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 kullanılabilmesi olmasına 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.

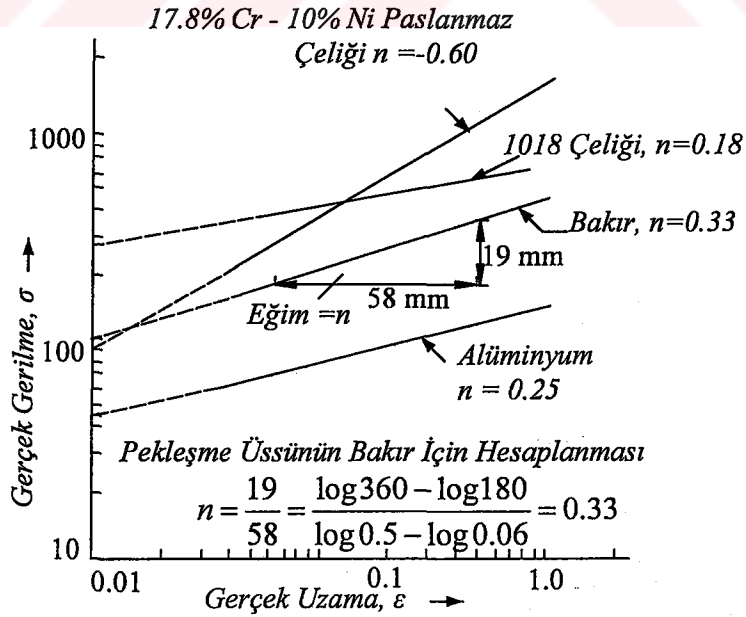
Ludwik tarafından sabit sıcaklık ve sabit şekil değiştirme hızı koşulları için teklif edilen;

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

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 2.8 $n < 1$ için çizilen $\sigma = K\varepsilon^n$ eğrisi. Bu eğri, elastik davranış göstermeyen ve belirgin bir akma sınırına sahip olmayan malzemeleri sembolize eder [37].



Şekil 2.9 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

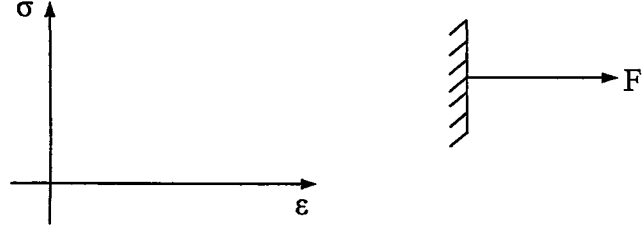
Mukavemette malzemenin, bilmemiz gereken, mekanik özelliklerine ait en önemli bilgileri çekme deneyinin sonucu olan gerilme-şekil değiştirme diyagramından elde ederiz. Farklı malzemeler için gerilme-şekil değiştirme diyagramları birbirlerinden çok farklıdır. Ayrıca, herhangi bir malzemeye ait diyagramın 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.

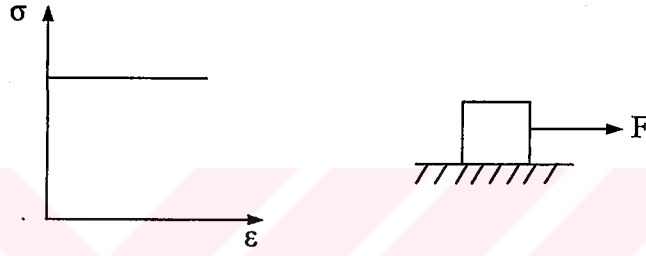
Plastik şekil değiştirme yeteneğine sahip bir malzemenin, uygulanan soğuk şekillendirme miktarına ya da ısıtma işlem programına göre sahip olduğu iç yapıya bağlı olarak, uygulanan yüke verdiği reaksiyonu yorumlayabilmek amacıyla, malzeme özelliklerini idealize edilmiş biçimde tanımlayan bazı modellere 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 sınırlandırmalıdır. 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

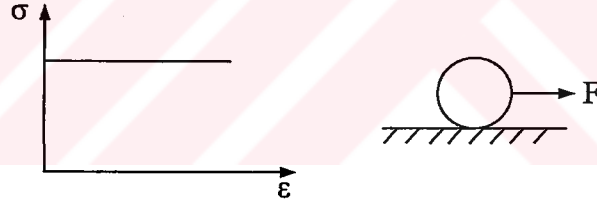
verilmeyecek büyük şekil değiştirmeler doğurabilir. Böyle durumlardaki elemanların dizaynında lineer elastik bağıntının yeterli olacağı açıktır.



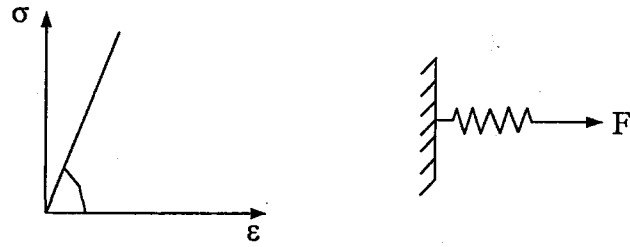
Şekil 3.1 Rijit Cisim.



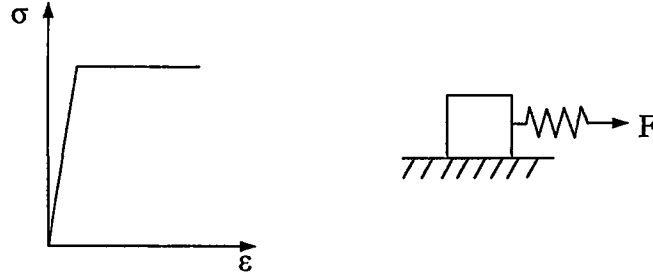
Şekil 3.2 Lineer Tam Plastik Cisim.



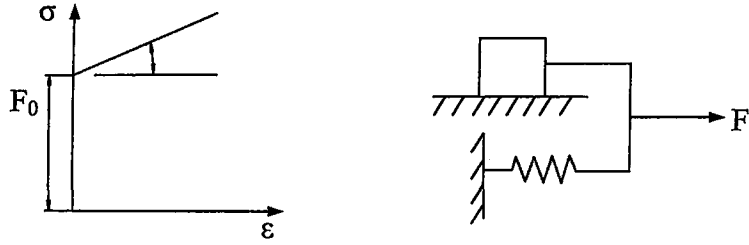
Şekil 3.3 Plastik Cisim.



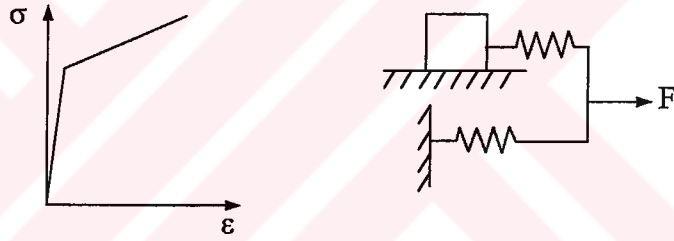
Şekil 3.4 Elastik Cisim.



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. $F=k \cdot x$; $F < F_0$ ifadeleri matematik olarak cisimi tarif eder. Bu bölge için malzeme elastiktir. $F < F_0$ da ise blok kaymaya başlamıştır. Yaydaki 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].

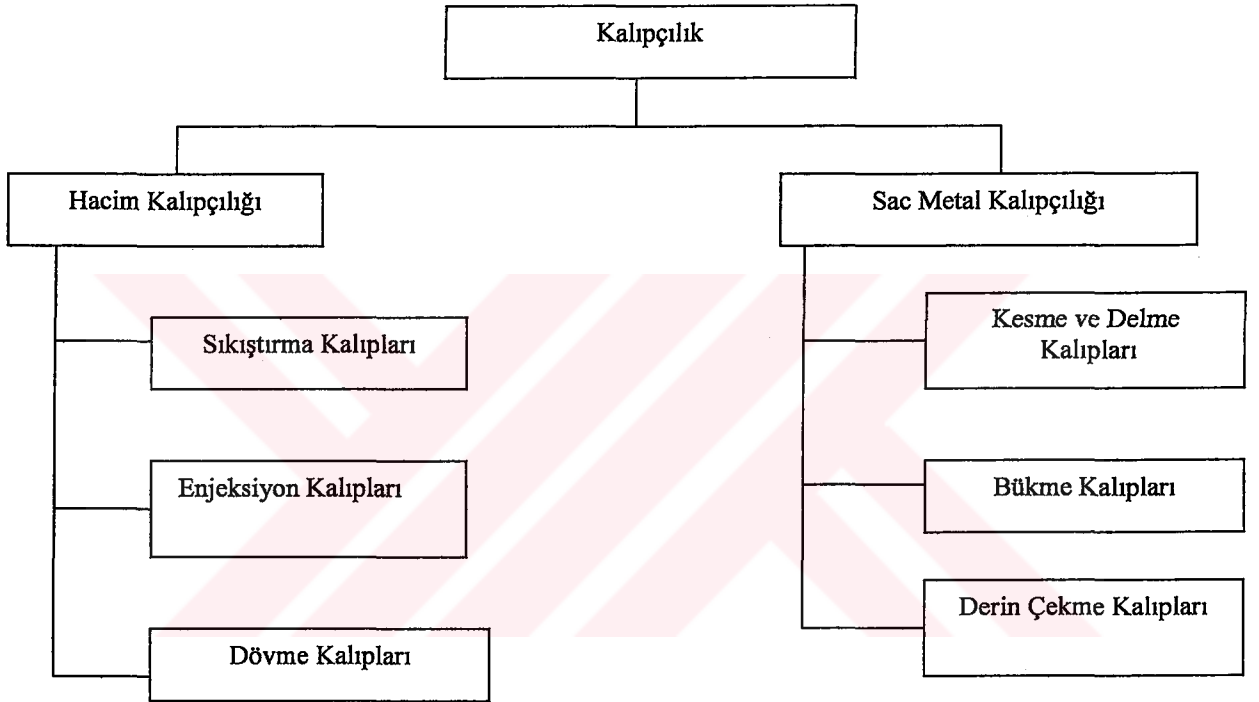
Şekil 3.7'de gösterilen ve pekleşen elastoplastik adını da alan malzemede ise akma noktasından sonra şekil değiştirmenin devam edebilmesi için, çok küçük de olsa, yine gerilme artışı gerekli olur. Bu pekleşen malzemelerde diyagramın pekleşme kısmının sapması da mümkündür.

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 aperlara kalıp denilmektedir. Kalıplama yöntemi ile üretilen parçalar otomotiv, elektronik endüstrisi, ev eşyaları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Kalıpçılık, kullanılan malzeme ve yönteme göre hacim kalıpcılığı ve sac metal kalıpcılığı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.



Şekil 4.1 Kalıpcılık  eşitleri.

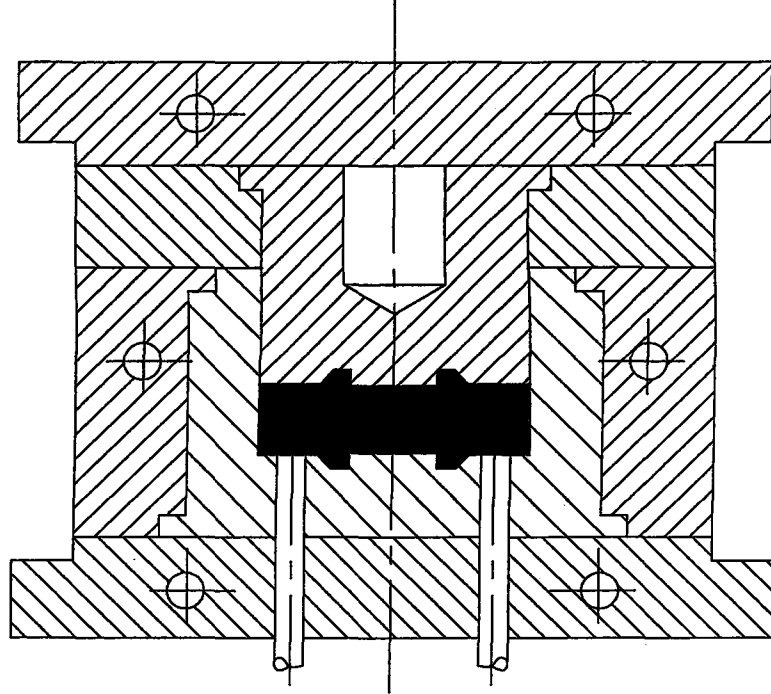
4.1. Hacim Kalıpcılığı

Hacim kalıpcılığı; 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 hammadd  kalıp boşluğına doldurulduktan sonra 120 C~360 C arasında, yaklaşık 2(Bar) basınç altında sıkıştırılarak istenilen  ekle getirilmektedir.

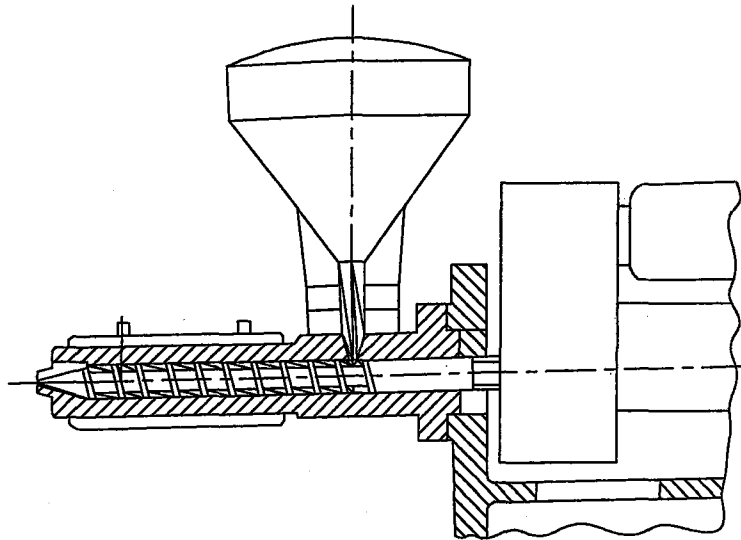


Şekil 4.2 Sıkıştırma Kalıbı.

4.1.2. Enjeksiyon Kalıpları

Termoplastiklerin şekillendirilmesinde enjeksiyonla şekillendirme yöntemi kullanılmaktadır.

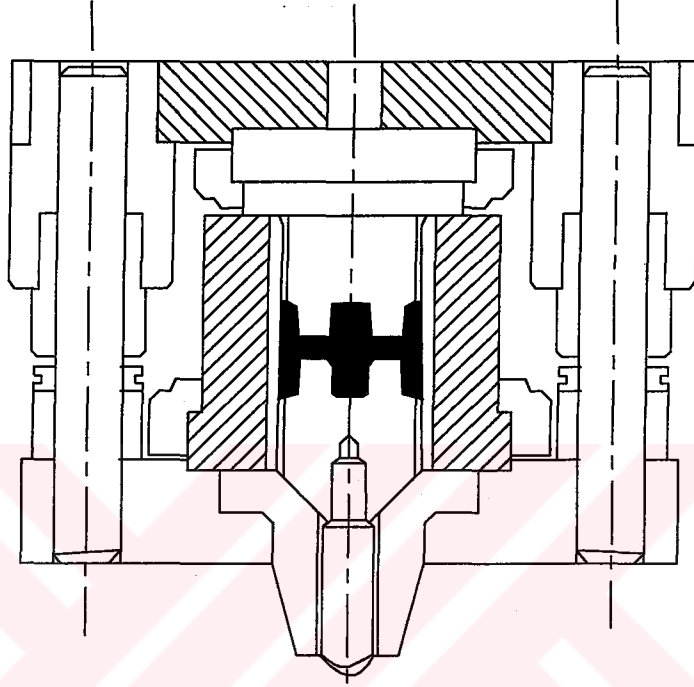
Toz veya küçük taneler halindeki termoplastikler bir huni yardımıyla pres içerisine gönderilir. Isıtıcılar tarafından ısıtılan, silindirin sıcaklığı malzeme cinsine göre ayarlanır. Silindir içerisinde eritilen plastik madde hidrolik piston vasıtasıyla kalıp içine itilir. Kalıbın şeklini alan plastik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



Şekil 4.3 Enjeksiyon Kalıbı.

4.1.3. Dövmek Kalıpları

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



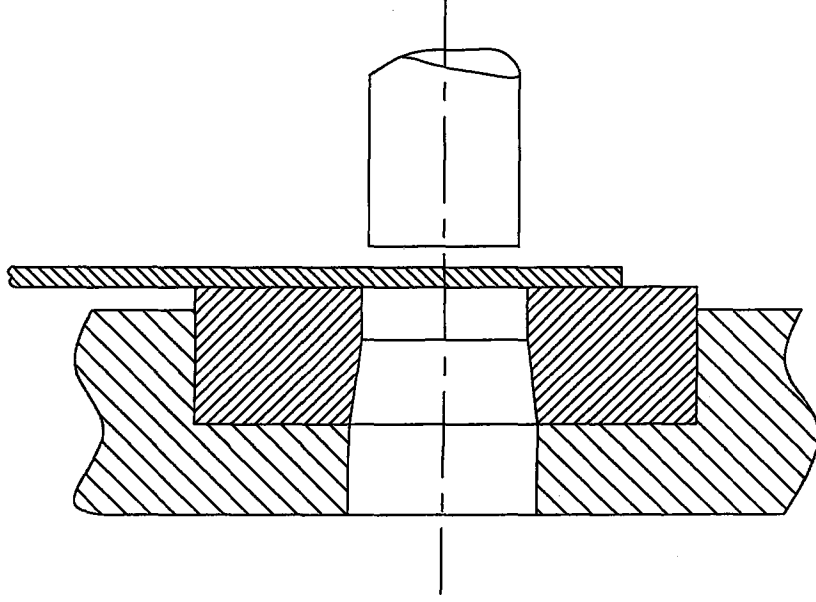
Şekil 4.4 Dövmek Kalıbı.

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

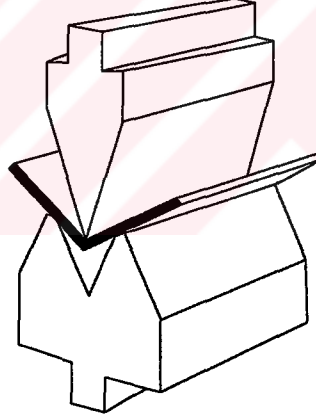
Üretilcek parçayı bir defada metal şeritten kesen kalıplara kesme kalıpları denilmektedir. Bu metotta istenilen şekil ve ölçüde özdeş parçalar elde edilmektedir.



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.

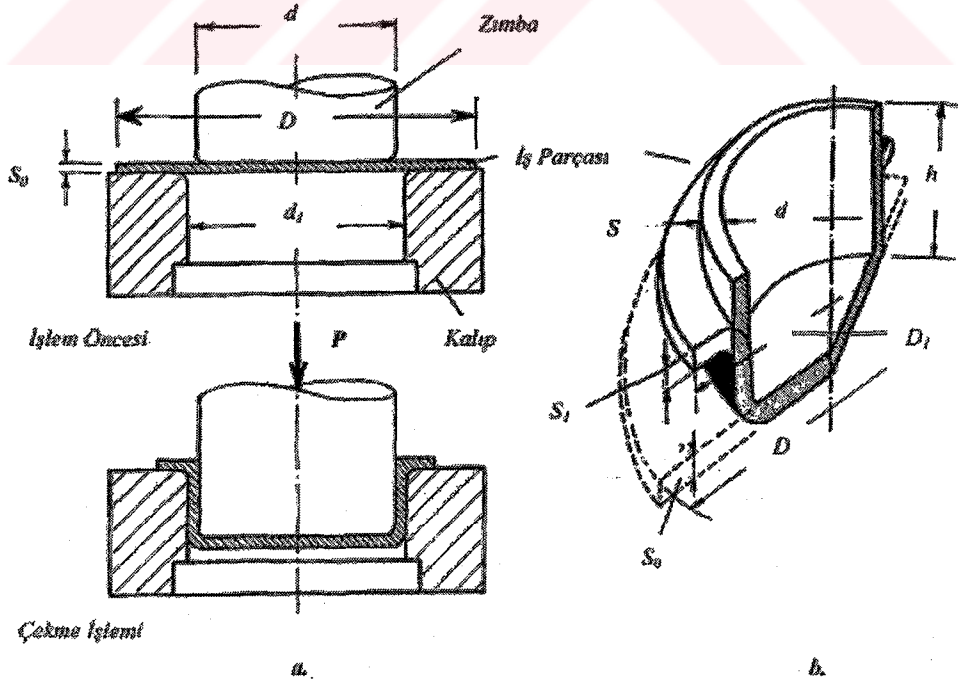
5. DERİN ÇEKME

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.

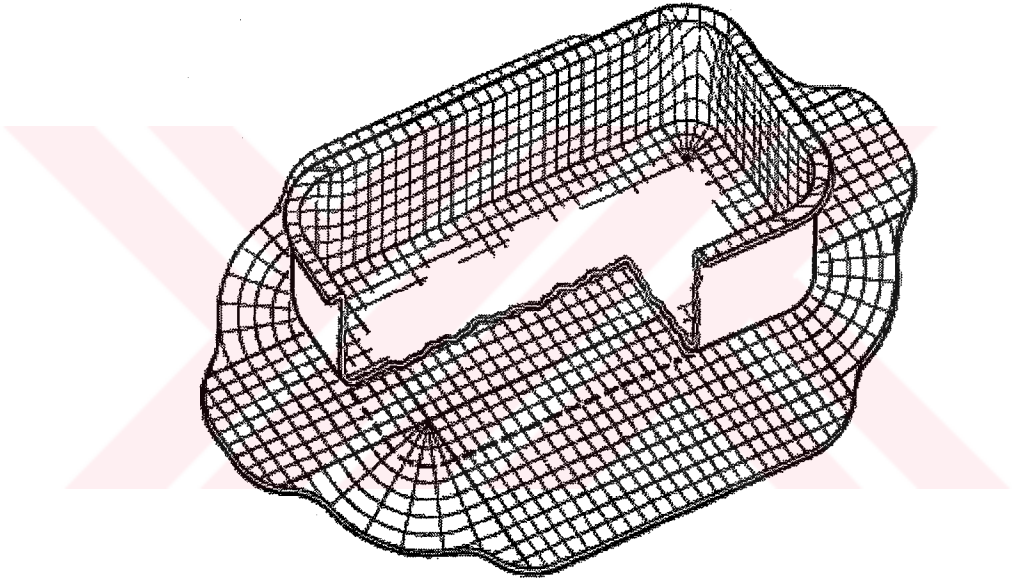


Şekil 5.1 Derin çekme işlemi, a. Şematik, b. Perspektif.

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.



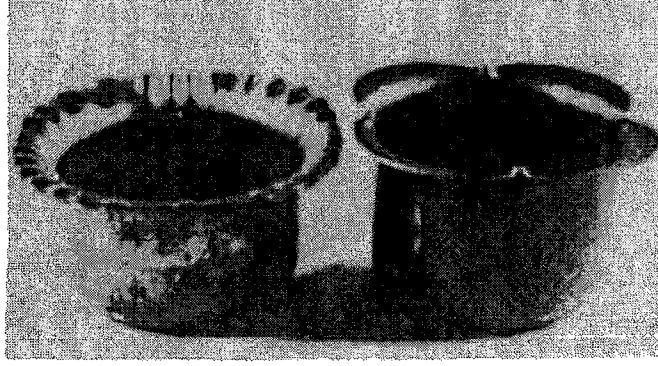
Şekil 5.2 Karmaşık şekilli bir levhadan yuvarlak köşeli bir kutunun çekilmesi.

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

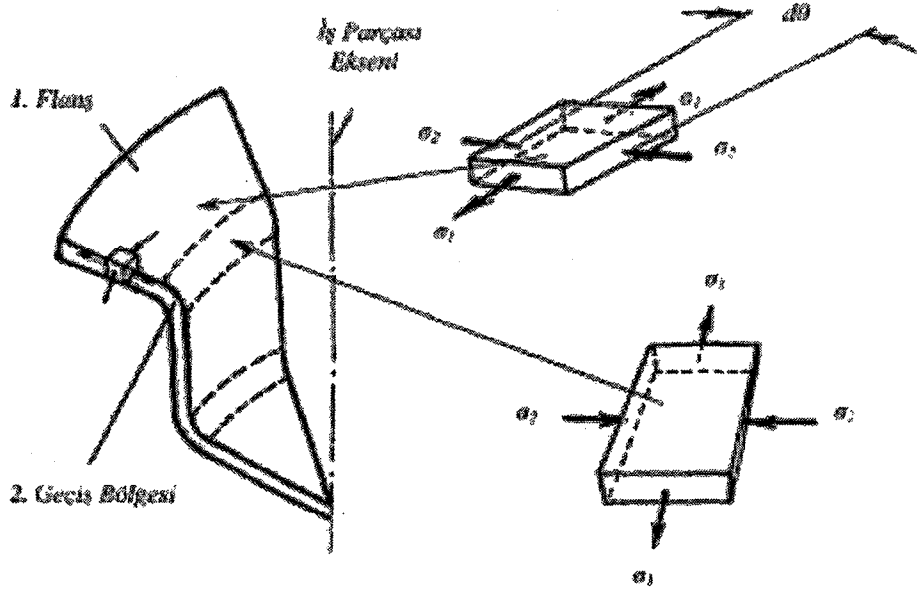
kırışmalara yol açabilmektedir [41]. Silindirik bir deney parçasının flanş bölgesinde meydana gelen bu türde kırışıklıklar **Şekil 5.4**'te görülmektedir.



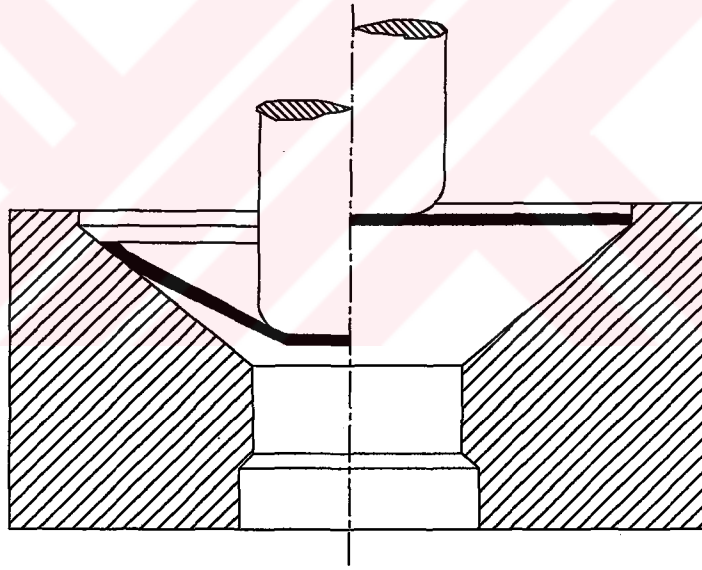
Şekil 5.4 Silindirik çekme ile elde edilen farklı özellikteki malzemelerden imal edilen kaplarda, yetersiz baskı plakası kuvveti sonucu kulak oluşumu.

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

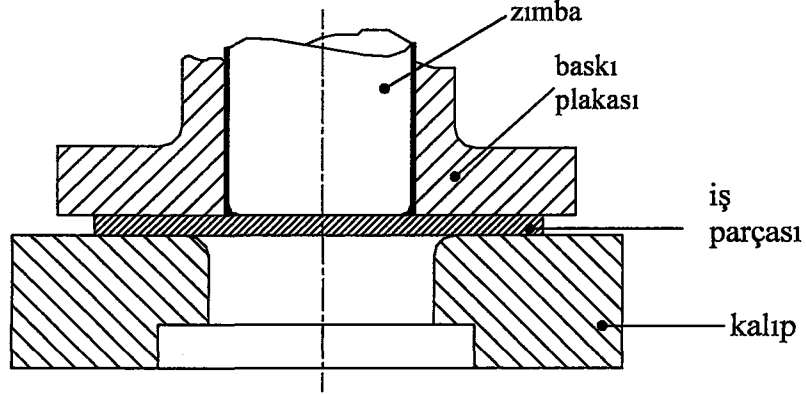


Şekil 5.5 Baskı plakası kullanılmadan gerçekleştirilen derin çekme işleminde flanş bölgesinde ortaya çıkacak gerilmeler, [45].



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

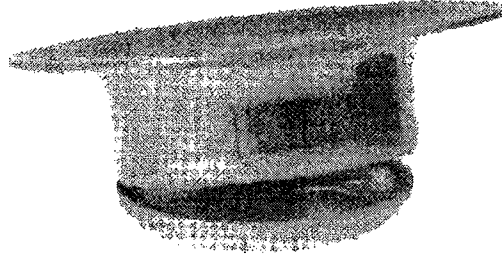
Derin çekme oranının özel bir halidir. Tanım olarak, yırtılmadan ideal şekilde çekilebilecek en büyük dairesel iş parçası çapının, bu işlemi gerçekleştirebilmesi öngörülen zımba çapına oranı, şeklinde tarif edilir [49]. Limit çekme oranının sembolik gösterimi ise;

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

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

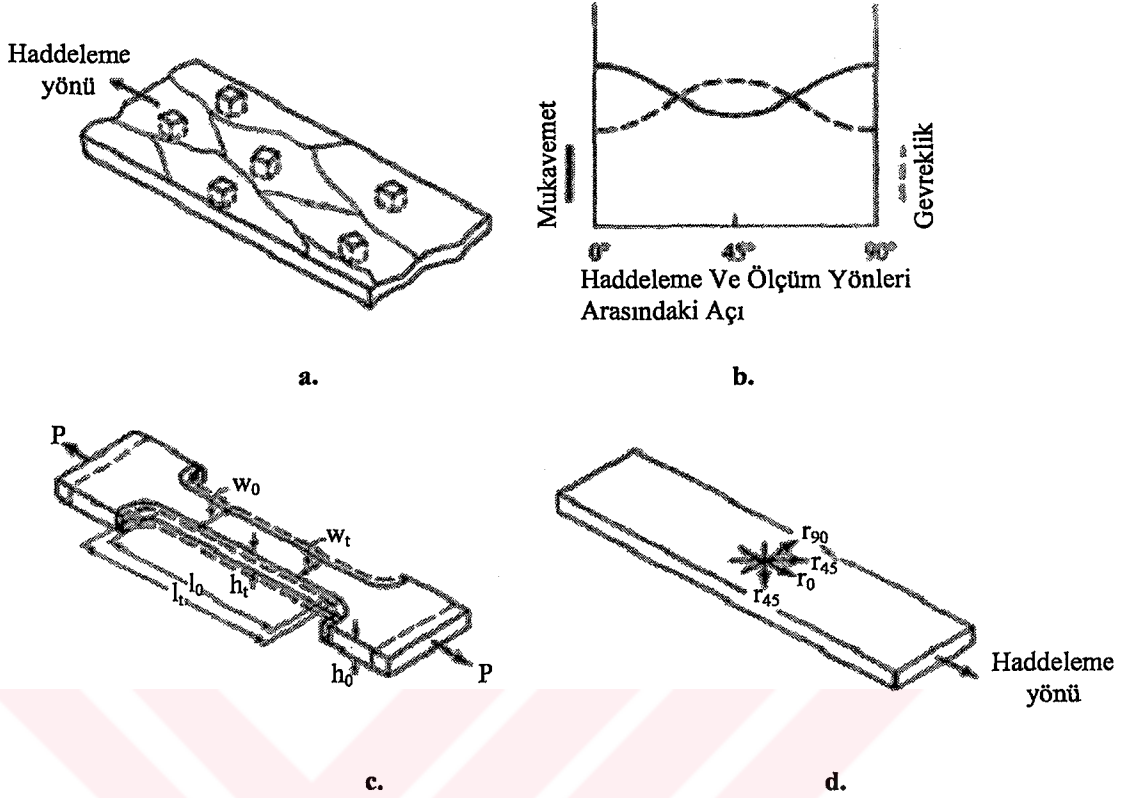
Bir sac levhanın derin çekilebilirliği büyük oranda malzemenin sahip olduğu plastik anizotropi (R) ile orantılıdır. Bu kavram ise, sac levhadan belirli bir doğrultuda alınacak bir çekme numunesine (**Şekil 5.9**) uygulanacak çekme deneyi sonucunda ortaya çıkacak kalınlık ve genişlik değişimleri yardımıyla 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.



Şekil 5.9 Sac malzemede anizotropinin tespit edilmesi; **a.** Metalik sac levhada anizotropinin oluşumu. **b.** Belirli bir referans eksenine göre ölçülen mekanik özelliklerin haddelenme yönüne göre değişimi. **c.** Anizotropinin malzeme özelliklerine olan etkisinin çekme deneyi numunesinde ortaya çıkacak boyutsal değişimler yardımıyla belirlenmesi. **d.** Ortalama anizotropi değerinin hesaplanmasında kullanılan muhtelif doğrultular [49].

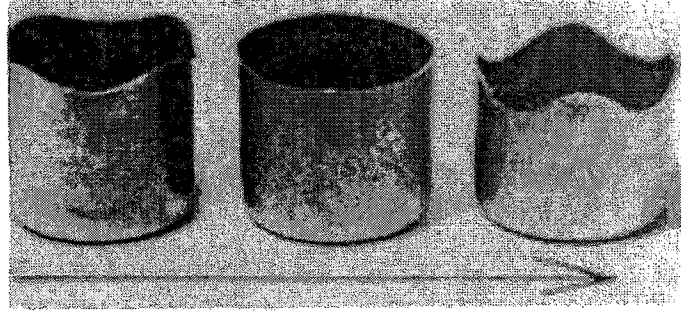
Soğuk haddelenmiş çeliklerde genellikle düzlemsel bir anizotropiden söz edilir. Söz konusu bu özellik ise malzemenin hadde yönünün bir fonksiyonudur, yani iş parçasının ana malzemeden kesilme pozisyonunun haddeleme doğrultuna göre yaptığı açı ile değişir. Bu nedenle uygulamalarda bir ortalama plastik anizotropi değerinin tanımlanması gerekir. R_{ort} ile sembolize edilen bu kavram aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır [54];

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

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

Çekilerek elde edilmiş kap biçimli parçaların tepe kenarları genellikle düz olmaz. kulaklanma olarak da bilinen bu durum esasen iş parçasının sahip olduğu düzlemsel anizotropinin en belirgin göstergesi olarak kabul edilir (Şekil 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 malzemeden derin çekilerek elde edilen iş parçalarında meydana gelen kulaklanma.

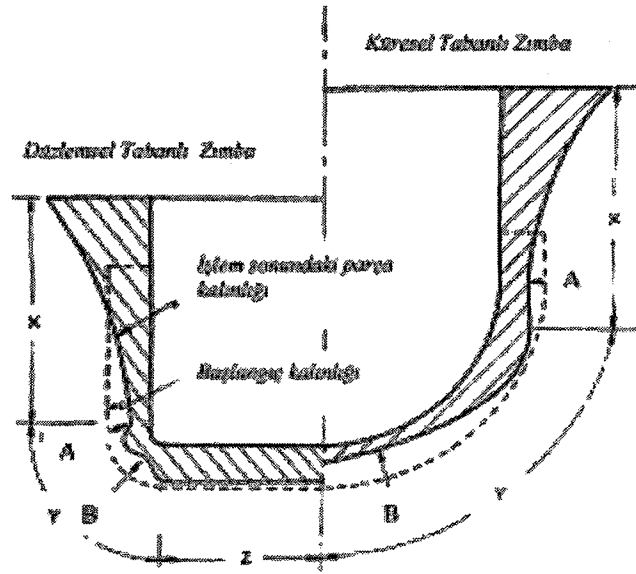
ΔR 'nin sıfır olması durumunda iş parçasında kulaklanma oluşmaz. Çekme sonucu iş parçasında ortaya çıkacak kulakların yüksekliği ΔR ile doğru orantılıdır. Çekme işlemi sonunda iş parçasında ortaya çıkan kulakların adedi genellikle dört olmakta ancak, farklı anizotropik durumlarda bu sayı iki, altı ve 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

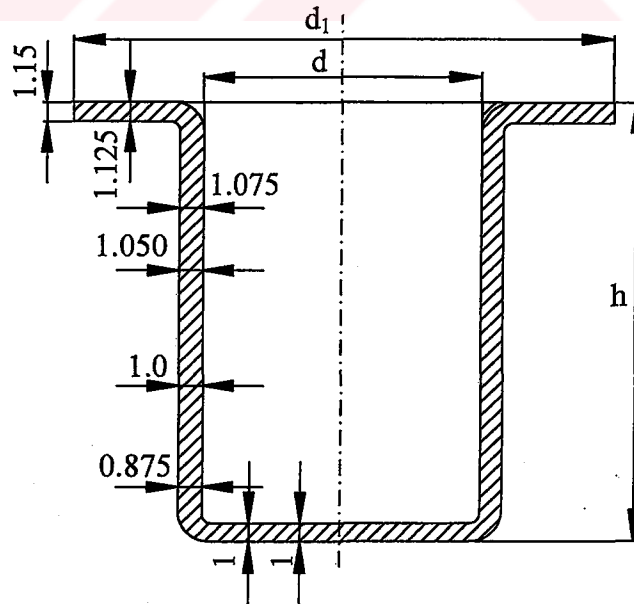
Çekme etkisinden dolayı sac bünyesinde ortaya çıkacak kuvvetler, malzemenin kalınlığında değişmelere neden olmaktadır. Önceki bölümlerde, meydana gelen bu iç kuvvetlerin bazılarının iş parçası üzerindeki olumsuz etkilerine değinilmişti. **Şekil 5.11**'de ise silindirik bir parçanın sac çekme yöntemiyle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

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



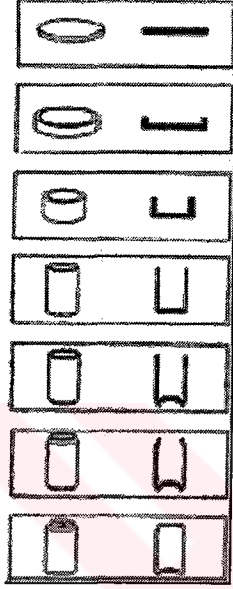
Şekil 5.14 Farklı geometrilere sahip zımbalarla yapılan derin çekme işleminde malzeme cidarında oluşacak kalınlık değişimlerinin karşılaştırılması [55].

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].

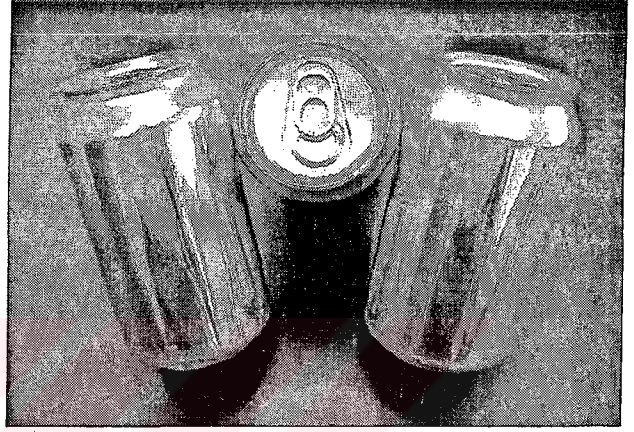


Şekil 5.15 Çekilerek imal edilmiş silindirik bir kaptaki cidar kalınlıklarının değişimi (Başlangıç malzeme kalınlığı $S=1(\text{mm})$, $d=12(\text{mm})$, $d_1=22(\text{mm})$, $h=21(\text{mm})$ [43].

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 uğrattırılıp, yırtılma oluşmadan parça istenilen şekle getirilmektedir. Şekil 5.17’de kademeli çekme işlemine örnek olarak, meşrubat kutusunun imalatı gösterilmektedir.



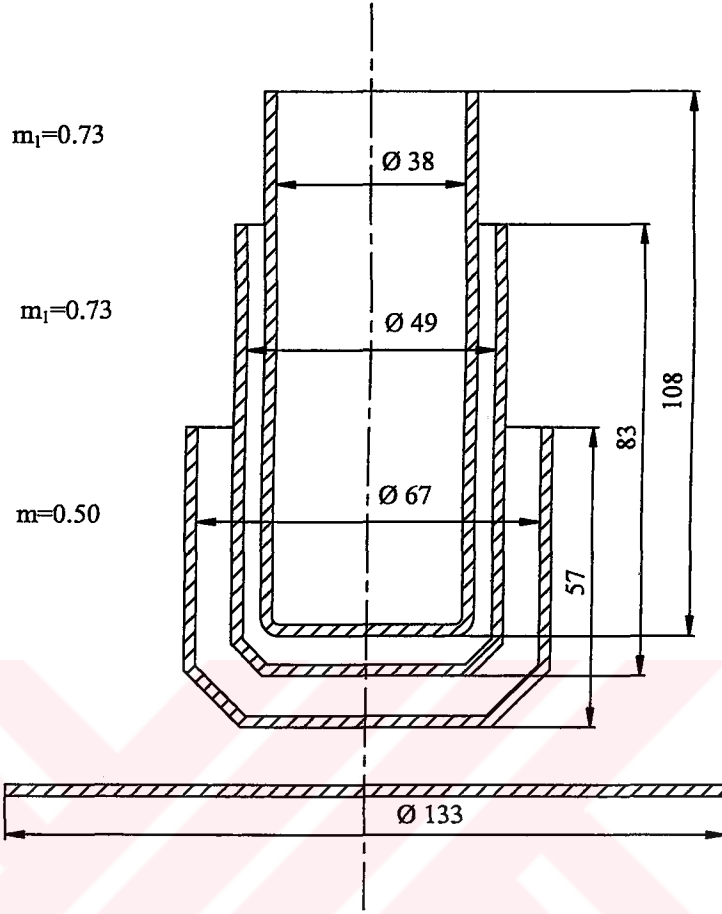
(a)



(b)

Şekil 5.17 Meşrubat kutusunun imalatı.

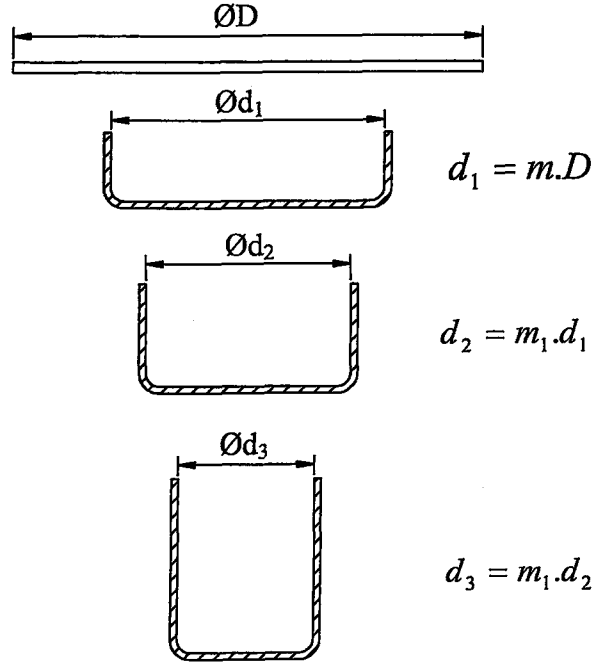
Şekil 5.18’de gösterilen 0,8(mm) kalınlığındaki sacdan 30(mm) yüksekliğinde 24,8(mm) iç çapında bir parça üretebilmek için kaç kalıp gerektiği gösterilmektedir. Yapılan hesaplara göre sacın ilkel çapının 60(mm) olması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre çekme oranı $\beta = \frac{D}{d} = \frac{60}{24} = 2,419$ 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 5.18 Çekme oranı büyük olan bir parçanın kademeli kalıplama ile imalatı [58].

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.



Şekil 5.19 Çekme kademelerinin hesaplanması.

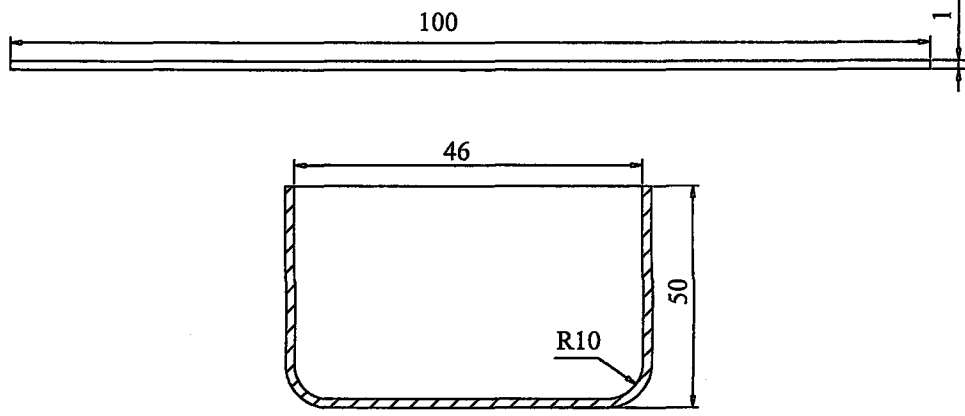
$$m = \frac{d_1}{D} = \frac{1}{\beta} \quad (10)$$

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

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:

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

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

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

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

$$\beta=1,75$$

$$m_1=0,8$$

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

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

$$d_2 = m_1.d_1 = 0,8.57 = 45,6(\text{mm})$$

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 üretilen 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 sacları denir. Sıcak veya soğuk haddelenmiş saclar arasında yapılacak seçim bir kalite tercihindir çok, arzulanan kalınlıktaki malzemeyi temin edebilme sorunudur. Kalın sacları soğuk, ince sacları da sıcak haddelenmiş olarak temin güçtür. Orta kalınlıktaki saclarda ise üretilen parçadaki üst yüzey durumu tercihi belirleyen bir faktör olacaktır, yüzey durumu önemli değilse sıcak hadde sacları daha ucuz olacağından tercih edilebilir. Boyut toleranslarındaki hassasiyet açısından soğuk haddelenmiş saclar sıcak haddelenmiş saclardan üstündür [58].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

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, kalıp yüzeylerine hiçbir açı verilmemektedir. Bu çalışmada derin çekme kalıplarının yüzeylerine açı verilerek bu açının derin çekmeye etkileri araştırılmıştır. Ayrıca kalıp açısı değişiminin yanı sıra, baskı plakası kuvveti değişiminin etkileri de araştırılmıştır. Sonuç olarak matris ve baskı plakasına açı vermek suretiyle derin çekme işleminde limit çekme oranının artırılabilirdiği ve gerekli baskı plaka kuvvetinin azaltılabildiği tespit edilmiştir.

6.2. Deney Malzemesi

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 spektral 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 1,05(mm) kalınlığındaki DKP 37 sacı kullanılmıştır. Deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla MOHR-FEDERHAFF-LOSENHAUSEN çekme test cihazında, 20 tonluk çekme yükü kullanarak 2mm/s hızla mekanik çekme deneyi yapıldı. Sonuçta sacın akma gerilmesinin 276,5(MPa); çekme gerilmesinin de 365,7(MPa) olduğu belirlendi.

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

6.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Derin çekme işleminde, sacın ilk çapının zumba çapına oranına çekme oranı (β) denilmektedir. Çekme oranı derin çekmeye etki eden en önemli faktörlerden biridir.

Bir sacın bir kalıpta bir defada çekilebileceği en büyük çapın zımba çapına oranına limit çekme oranı denir. Limit çekme oranı sacın yapısal özellikleri ile ilgilidir. Bu nedenle her sacın limit çekme oranı farklıdır. Deney malzemesi olan DKP 37 sacının limit çekme oranını açısız ve açılı olarak belirlemek için, $\beta=1,5$; $\beta=1,75$; $\beta=2$; $\beta=2,125$; $\beta=2,175$; $\beta=2,2$; $\beta=2,6$ alınarak bir dizi çekme derin çekme deneyi yapıldı. Bu derin çekme oranlarına karşılık gelen sac çapları **Tablo 6.2**'de verilmektedir.

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

Çekme oranı (β)	Sac çapı(mm)
1,5	69
1,75	80,5
2	92
2,125	97,75
2,175	100
2,25	103,5
2,6	120

6.4. Kalıp Tasarımı ve İmalatı

Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada matris yüzey açısı değişiminin derin çekmeye etkileri araştırılmıştır. Matris yüzeyine verilen açı aynı zamanda baskı plakası yüzeyine de verilmiştir.

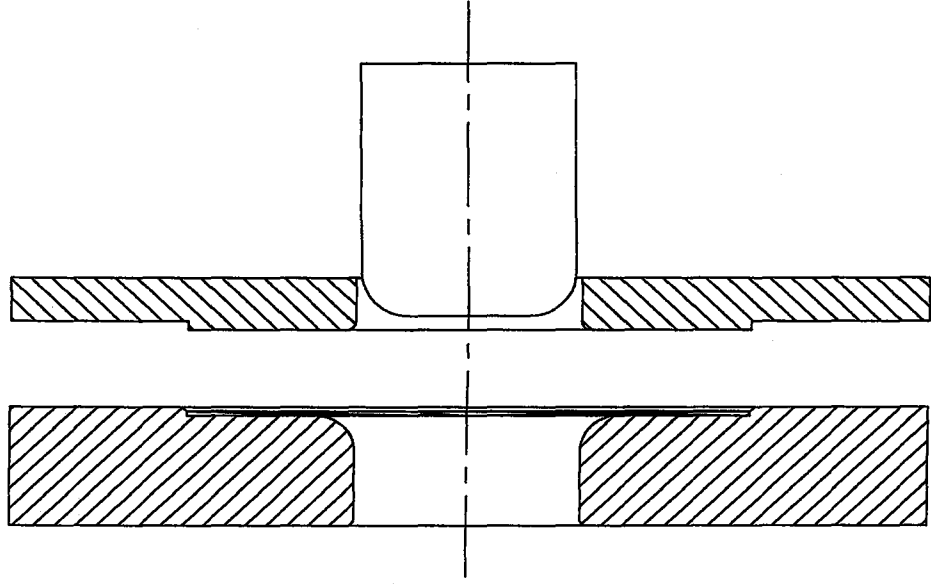
Kalıbın temel ölçüleri belirlenirken Sanice, F. F. ve Montazeran, M. H.'nin [59] çalışması referans alındı. Kalıp parçalarının tümü Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü atelyesinde, CNC tezgahlarda işlenerek imal edildi.

Deneylerde 0° ; $2,5^\circ$; 5° ; 10° ; 15° 'lik kalıp açıları kullanılmıştır. Kalıp açısı değerleri **Tablo 6.3**'de verilmektedir.

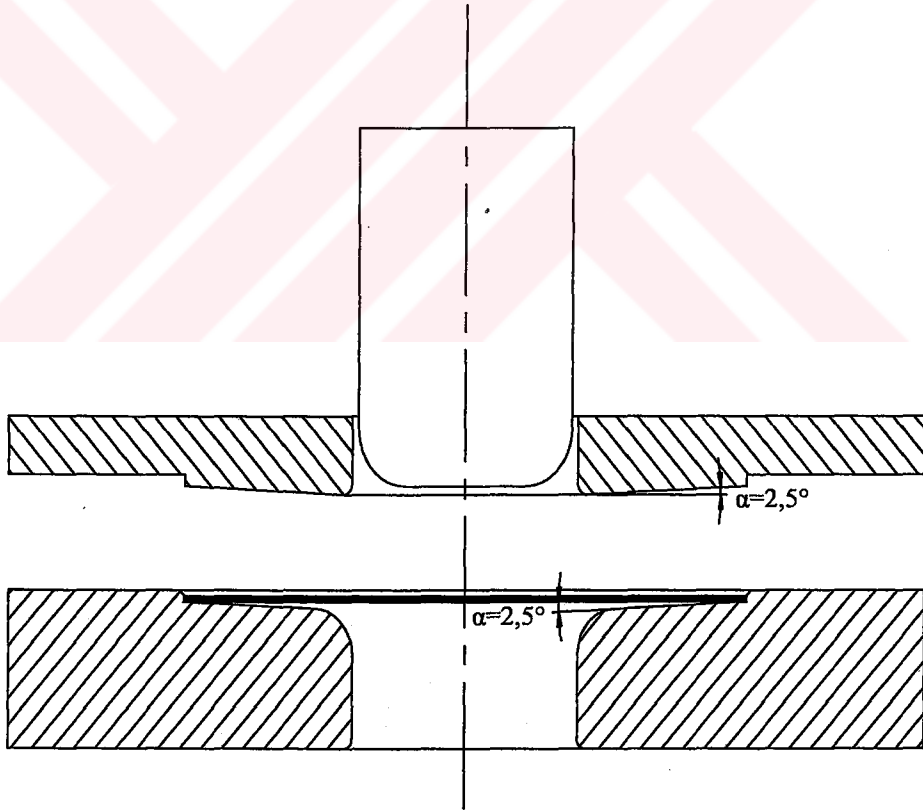
Tablo 6.3 Kalıp açısı (α) değerleri.

α°	0	2.5	5	10	15
----------------	---	-----	---	----	----

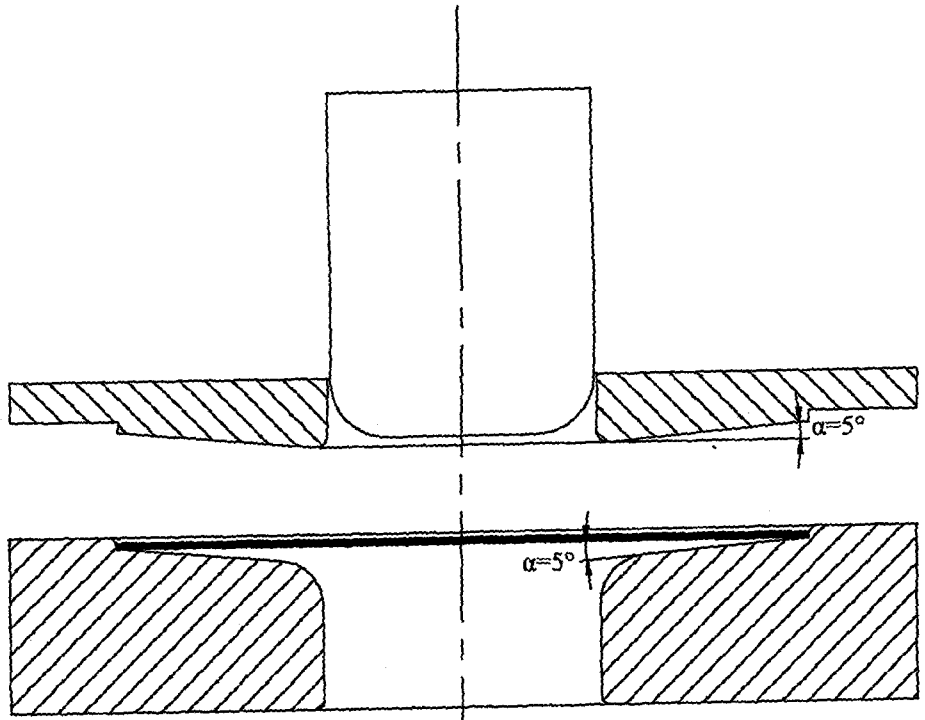
Bu kalıplar aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



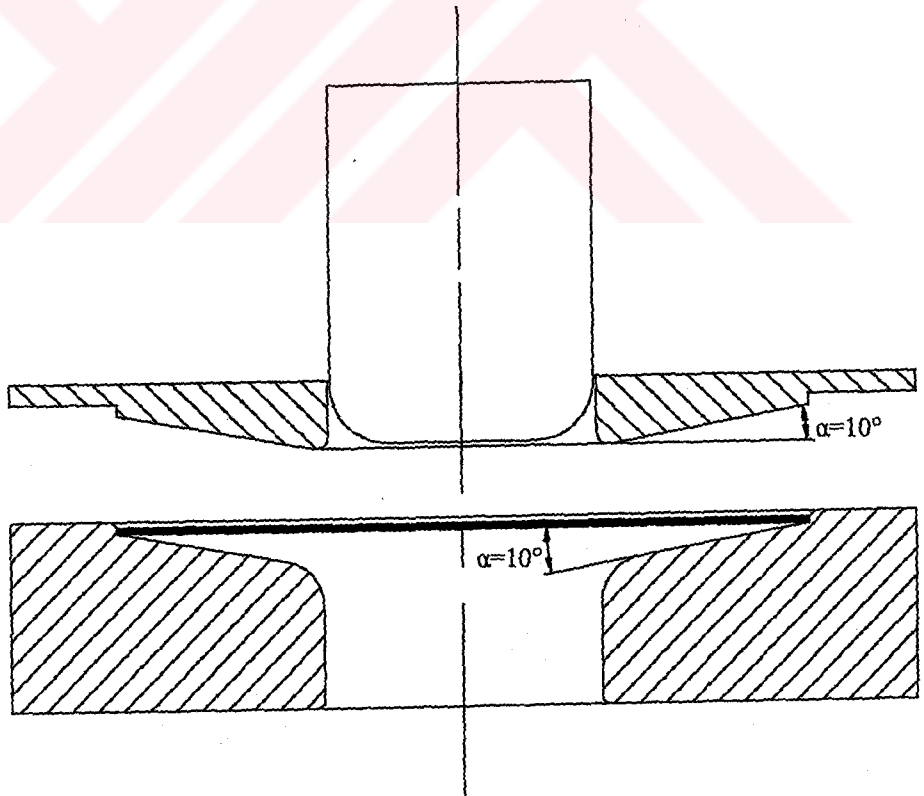
Şekil 6.1 0° yüzey açılı kalıp.



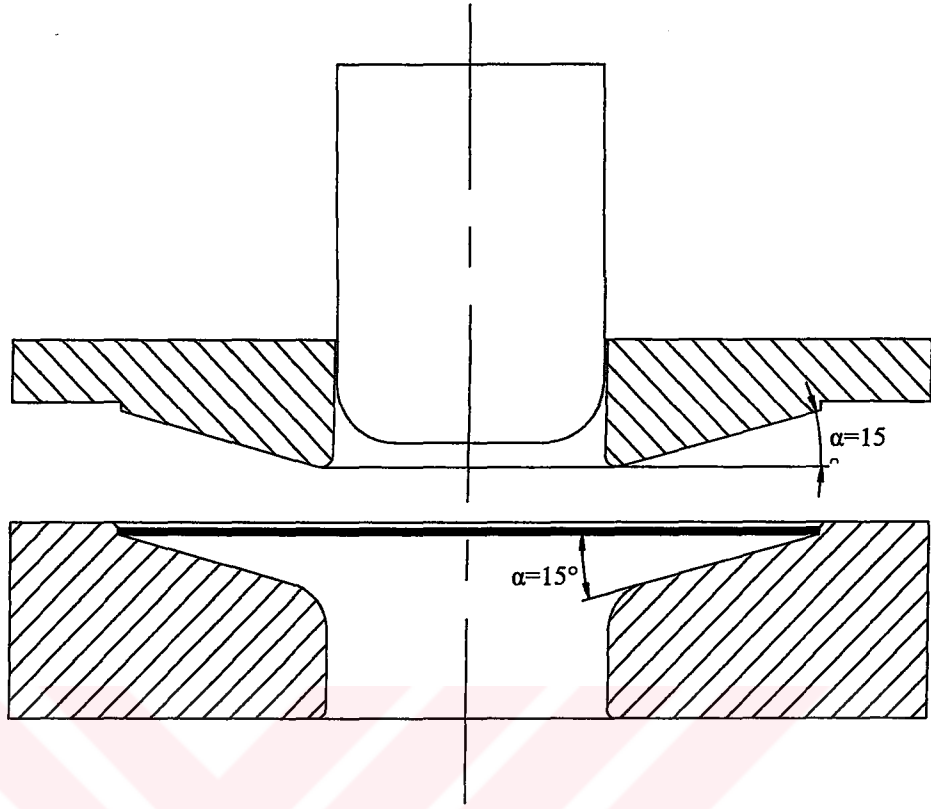
Şekil 6.2 2.5° yüzey açılı kalıp.



Şekil 6.3 5° yüzey açılı kalıp.



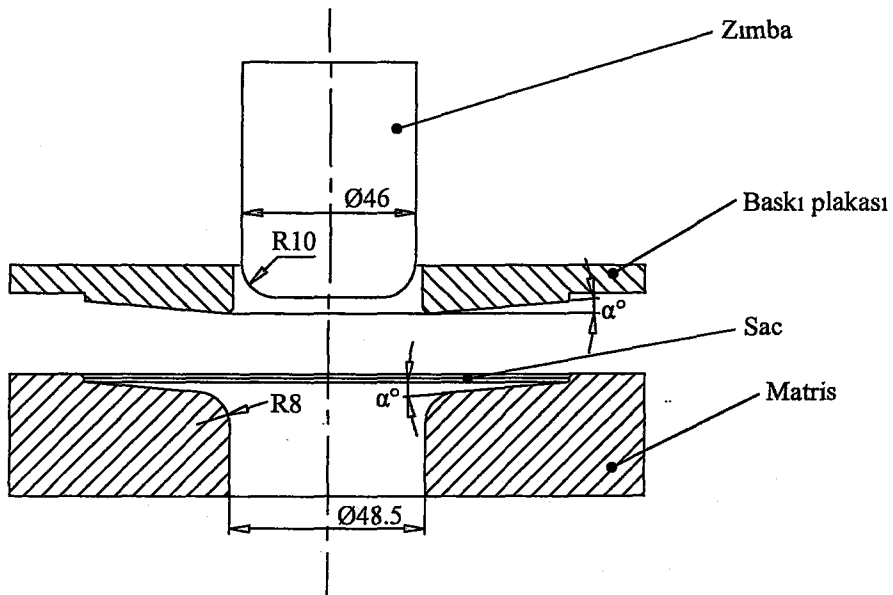
Şekil 6.4 10° yüzey açılı kalıp.



Şekil 6.5 15° yüzey açılı kalıp.

Bütün kalıpların yüzey açıları haricindeki bütün ölçüleri (zımba çapı, matris çapı v.b.) aynı tutulmuştur.

Kalıpların başlıca ölçüleri Şekil 6.6'da verilmektedir.



Şekil 6.6 Kalıp ölçüleri.

6.5. Deneylerin Yapılışı

Deneylerde kullanılacak saclar **Tablo 6.2'**deki ölçülere getirilerek gruplara ayrıldı. Daha sonra **Tablo 6.3'**de verilen her bir kalıp açısında bu saclar derin çekme deneyine tabii tutuldu.

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 olarak dört farklı değer alındı; bunlar **Tablo 6.4'**de verilmiştir.

Tablo 6.4 Deneyler esnasında kullanılan baskı plakası kuvvetleri.

B.P.K.	1036,2 (N)	3108,6 (N)	4144,8 (N)	10362 (N)
--------	------------	------------	------------	-----------

Tablo 6.5'de derin çekme deneylerinde kullanılan numunelerinin işlem parametreleri verilmektedir. Tablodan da açıkça görüldüğü gibi deneylerde üç ana parametre kullanılmıştır. Bunlar çekme oranı, kalıp açısı ve baskı plakası kuvvetidir.

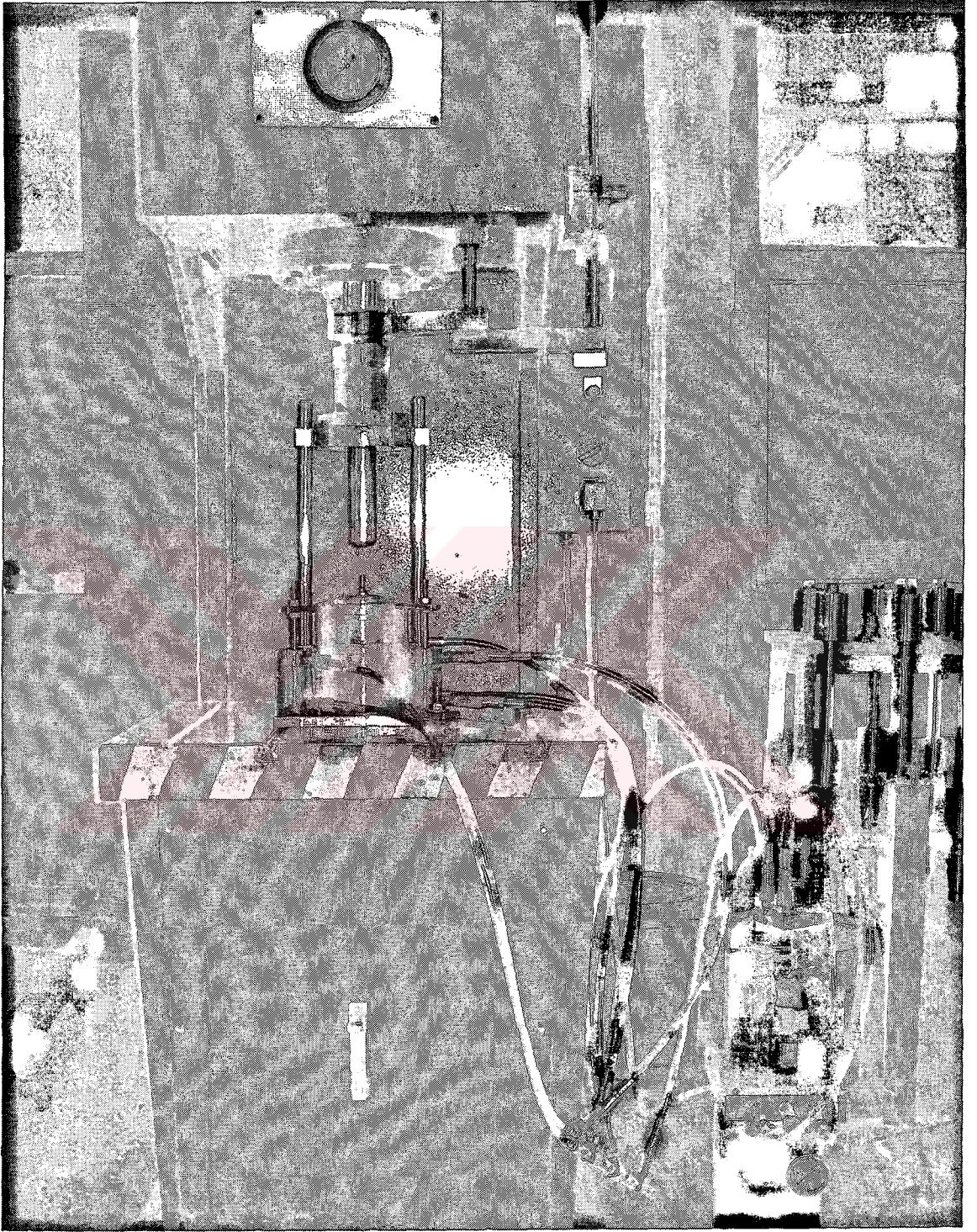
Tablo 6.5 Derin çekme deneylerinde kullanılan deney numuneleri ve işlem parametreleri.

Numune No	Çekme Oranı (β)	Kalıp Açısı (α)	Baskı Plakası Kuvveti (N)
D 1	1,75	0°	1036,2
D 2	1,75	0°	3108,6
D 3	1,75	0°	4144,8
D 4	1,75	0°	10362
D 5	1,75	2,5°	1036,2
D 6	1,75	2,5°	3108,6
D 7	1,75	2,5°	4144,8
D 8	1,75	2,5°	10362
D 9	1,75	5°	1036,2
D 10	1,75	5°	3108,6
D 11	1,75	5°	4144,8
D 12	1,75	5°	10362
D 13	1,75	10°	1036,2
D 14	1,75	10°	3108,6
D 15	1,75	10°	4144,8
D 16	1,75	10°	10362
D 17	1,75	15°	1036,2
D 18	1,75	15°	3108,6
D 19	1,75	15°	4144,8
D 20	1,75	15°	10362
D 21	2	0°	1036,2
D 22	2	0°	3108,6
D 23	2	0°	4144,8
D 24	2	0°	10362
D 25	2	2,5°	1036,2
D 26	2	2,5°	3108,6

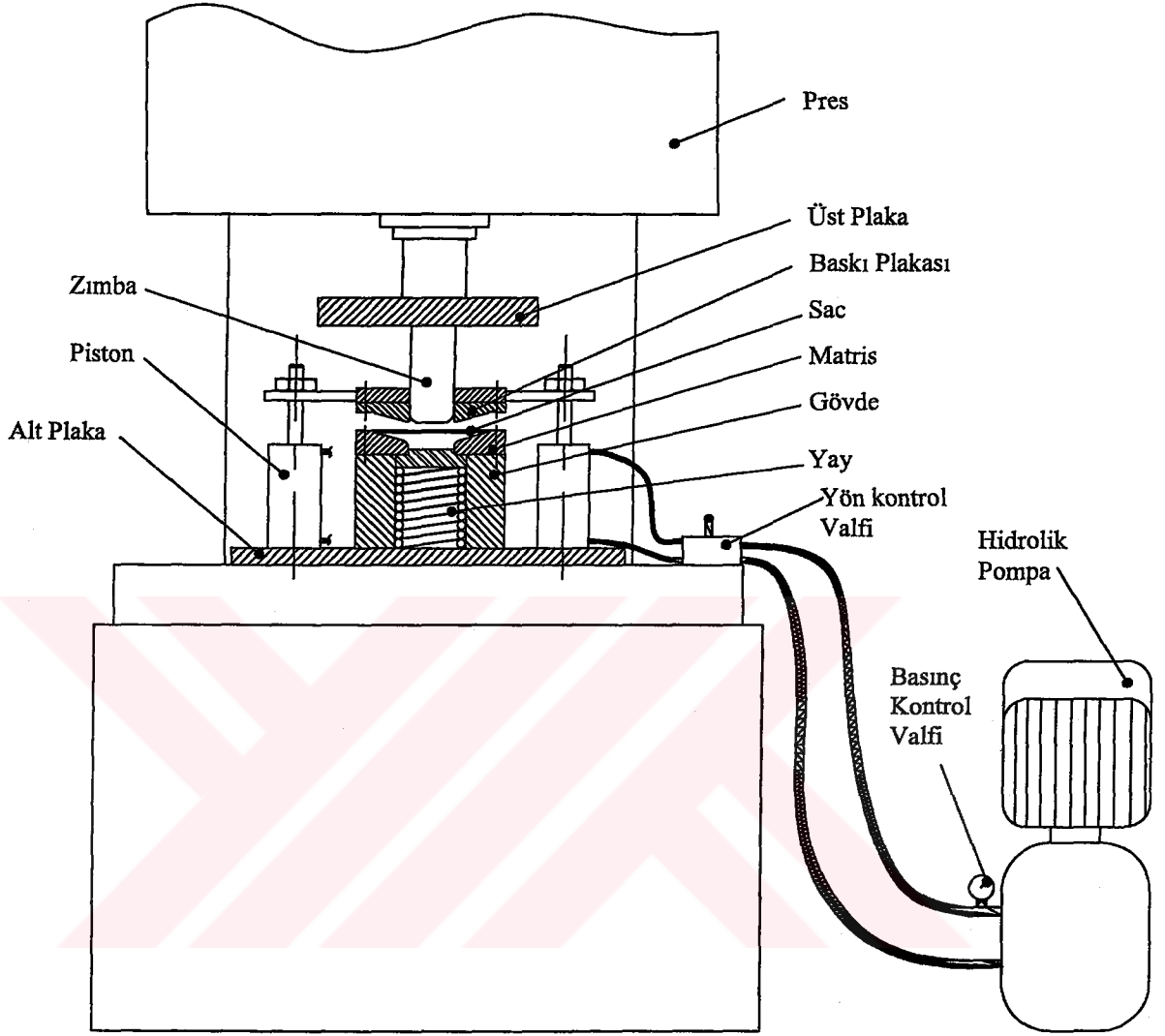
D 27	2	2,5°	4144,8
D 28	2	2,5°	10362
D 29	2	5°	1036,2
D 30	2	5°	3108,6
D 31	2	5°	4144,8
D 32	2	5°	10362
D 33	2	10°	1036,2
D 34	2	10°	3108,6
D 35	2	10°	4144,8
D 36	2	10°	10362
D 37	2	15°	1036,2
D 38	2	15°	3108,6
D 39	2	15°	4144,8
D 40	2	15°	10362
D 41	2,125	0°	1036,2
D 42	2,125	0°	3108,6
D 43	2,125	0°	4144,8
D 44	2,125	0°	10362
D 45	2,125	2,5°	1036,2
D 46	2,125	2,5°	3108,6
D 47	2,125	2,5°	4144,8
D 48	2,125	2,5°	10362
D 49	2,125	5°	1036,2
D 50	2,125	5°	3108,6
D 51	2,125	5°	4144,8
D 52	2,125	5°	10362
D 53	2,125	10°	1036,2
D 54	2,125	10°	3108,6
D 55	2,125	10°	4144,8
D 56	2,125	10°	10362
D 57	2,125	15°	1036,2
D 58	2,125	15°	3108,6
D 59	2,125	15°	4144,8
D 60	2,125	15°	10362
D 61	2,175	0°	1036,2
D 62	2,175	0°	3108,6
D 63	2,175	0°	4144,8
D 64	2,175	0°	10362
D 65	2,175	2,5°	1036,2
D 66	2,175	2,5°	3108,6
D 67	2,175	2,5°	4144,8
D 68	2,175	2,5°	10362
D 69	2,175	5°	1036,2
D 70	2,175	5°	3108,6
D 71	2,175	5°	4144,8
D 72	2,175	5°	10362
D 73	2,175	10°	1036,2
D 74	2,175	10°	3108,6
D 75	2,175	10°	4144,8
D 76	2,175	10°	10362

D 77	2,175	15°	1036,2
D 78	2,175	15°	3108,6
D 79	2,175	15°	4144,8
D 80	2,175	15°	10362
D 81	2,2	0°	1036,2
D 82	2,2	0°	3108,6
D 83	2,2	0°	4144,8
D 84	2,2	0°	10362
D 85	2,2	2,5°	1036,2
D 86	2,2	2,5°	3108,6
D 87	2,2	2,5°	4144,8
D 88	2,2	2,5°	10362
D 89	2,2	5°	1036,2
D 90	2,2	5°	3108,6
D 91	2,2	5°	4144,8
D 92	2,2	5°	10362
D 93	2,2	10°	1036,2
D 94	2,2	10°	3108,6
D 95	2,2	10°	4144,8
D 96	2,2	10°	10362
D 97	2,2	15°	1036,2
D 98	2,2	15°	3108,6
D 99	2,2	15°	4144,8
D 100	2,2	15°	10362

Derin çekme deneyleri, ŞAHİNLER HCP 50 model hidrolik preste yapıldı. Presin standart hızı oldukça yüksek olduğu için pres üzerine hız düşürücü bir düzenek eklendi. Deneyler 4(mm/sn)'lik çekme hızıyla yapıldı.



Şekil 6.7 Deneylerin yapıldığı hidrolik pres ve deney seti.



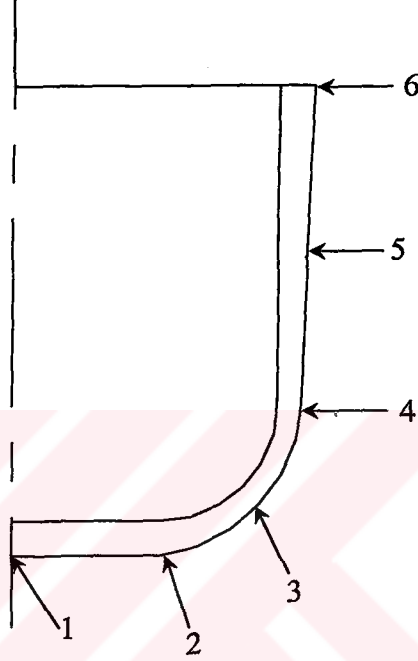
Şekil 6.8 Hidrolik pres ve kalıp setinin şematik gösterimi.

6.6. Kalınlık Değişiminin Belirlenmesi

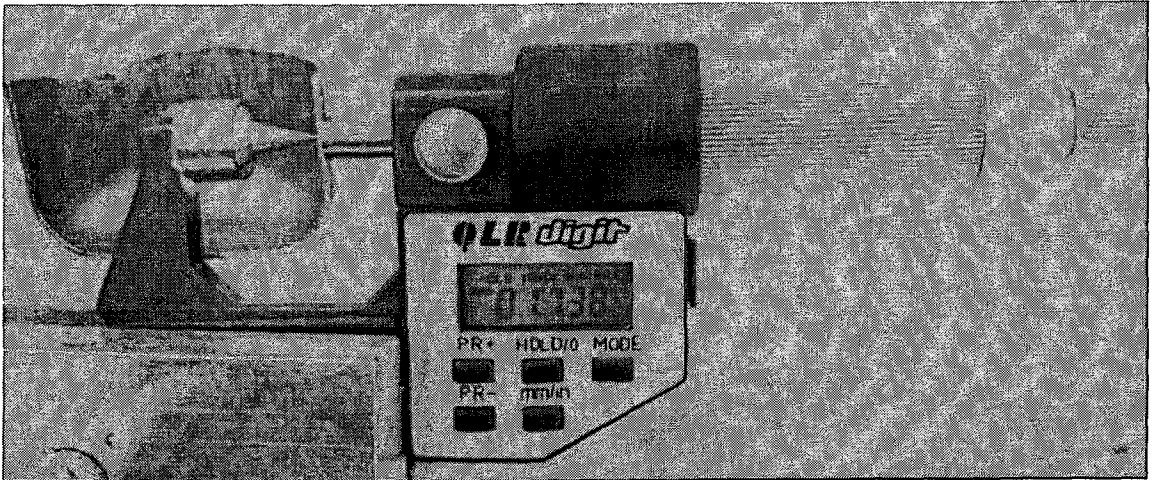
Derin çekme esnasında çeşitli gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler malzeme akışını etkilemekte dolayısıyla derin çekme esnasında iş parçası kalınlığının değişmesine neden olmaktadır.

Matris açısı değişiminin ve baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası kalınlığına etkilerini araştırmak amacıyla bütün deney numuneleri el testeresi ile ortadan ikiye kesildi. Kesme esnasında oluşan çapaklar temizlendikten sonra her numunenin altı farklı bölgesindeki (Şekil 6.9) et kalınlıkları ölçüldü. Burada 1. bölge sac tabanının merkezidir; 2. bölge sac tabanı

ile parça radyüsünün kesişim noktasıdır; 3. bölge parça radyüsünün orta noktasıdır; 4. bölge parça duvarı ile parça radyüsünün kesişim noktasıdır; 5. bölge parça duvarının ortasıdır; 6. bölge ise parçanın tepe noktasıdır. Kalınlık ölçümleri QLR DİĞİT marka 0,0001mm hassasiyetli dijital mikrometre ile yapılmıştır (Şekil 6.10).



Şekil 6.9 Sac kalınlığının ölçüldüğü bölgeler.



Şekil 6.10 Sac kalınlığının ölçülmesi.

7. DENEY SONUÇLARI

7.1. Matris Yüzey Açı Değişiminin Limit Çekme Oranı Üzerine Etkisi

Derin çekme kalıplarının tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden biri limit çekme oranıdır. Üretilecek 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 zımba çapına oranıdır. Yani

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

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 zımba kuvveti de büyüyecektir. Zımba kuvvetinin büyük olması derin çekme esnasında oluşan gerilmeleri büyüteceğinden dolayı parçada yırtılmalar olacaktır. Bu durum Şekil 7.1’de görülmektedir.



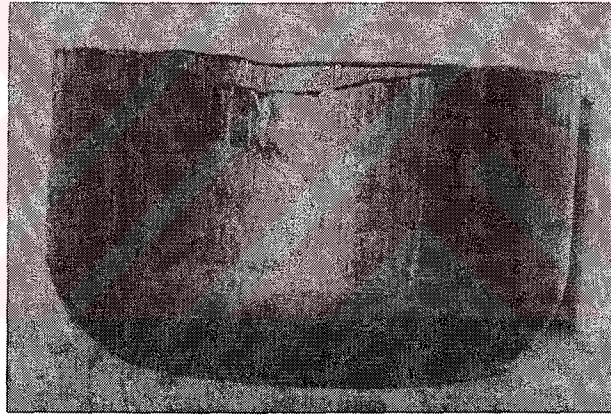
Şekil 7.1 Çekme oranının büyük olmasından dolayı parçada meydana gelen yırtılma.

Derin çekme 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 artırılması bir defada üretilebilecek maksimum çekme derinliğini de arttıracaktır.

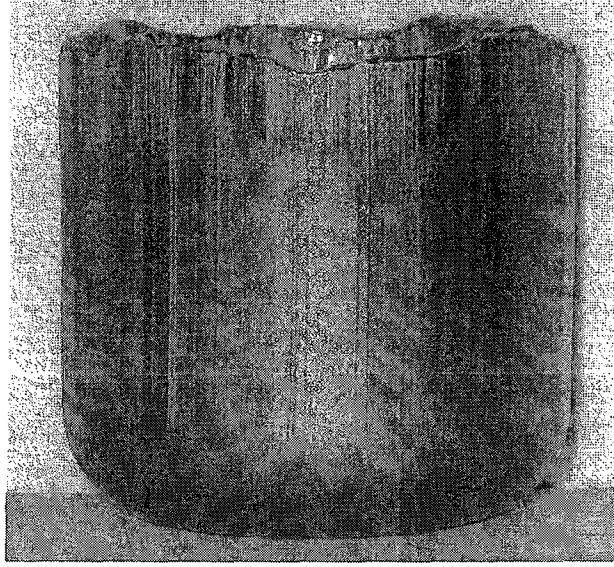
Açısız kalıpta ($\alpha=0^\circ$) DKP 37 sacının limit çekme oranının 1,75 olduğu tespit edildi. Yapılan deneylere göre açısız kalıpta ondülasyon meydana gelmeden derin çekme yapabilmek için en az 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulanması gerektiği tespit edildi.

Kalıba $2,5^\circ$ 'lik açı verildiğinde limit çekme oranı değişmemiş; fakat optimum baskı plakası kuvveti 10362(N)'dan 3108,6(N)'a düşmüştür. Bu da kalıba $2,5^\circ$ açı verildiğinde derin çekme işlemini yapabilmek için daha az baskı plaka kuvveti gerektiği anlamına gelmektedir. Bu sonuç, imalat açısından geleneksel imalatla kullanılması gereken hidrolik prestren gücü 3 kat daha az olan bir preste aynı işin yapılabilceği anlamına gelmektedir. Bundan dolayı derin çekme metoduyla üretim yapan bir seri imalatçı güçlü bir pres yerine gücü daha az olan presi daha ucuza alıp ilk yatırım maliyetini büyük oranda azaltacaktır. **Şekil 7.2**'de $2,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilebilen iş parçası verilmiştir.



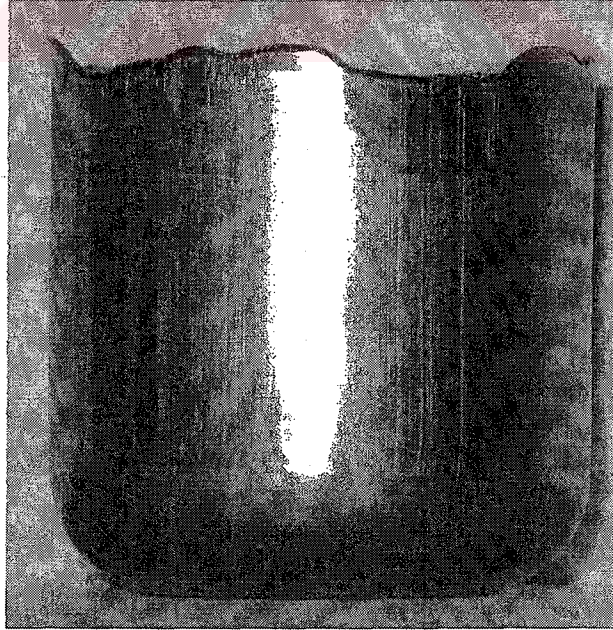
Şekil 7.2 $2,5^\circ$ 'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.

Kalıp açısı 5° 'ye çıkartıldığında limit çekme oranı da 2,125'e kadar yükselmektedir. **Şekil 7.3**'de 5° 'lik kalıpta elde edilebilen iş parçası verilmiştir.



Şekil 7.3 5°'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.

Kalıp açısını 10°'ye çıkardığımızda ise limit çekme oranı da 2,175'e çıkmaktadır. **Şekil 7.4'**de 10°'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası gösterilmektedir.

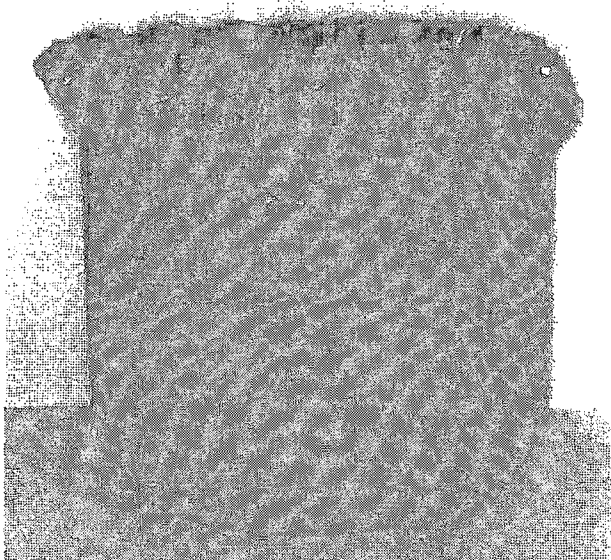


Şekil 7.4 10°'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.

Kalıp açısını 15° 'ye yükseltildiğinde çekme oranı değişmeyip yine 2,175'de kalmaktadır. Fakat 10° 'lik kalıpta optimum baskı plakası kuvveti 4144,8(N) iken 15° 'lik kalıpta optimum baskı plakası kuvveti 3108,6(N)'a düşmektedir. Bu da 10° '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. Buradan da anlaşılmaktadır ki kalıba açı vermek suretiyle limit çekme oranı 2,175'e kadar çıkartılabilmekte ve bu değer sınır niteliğinde olmaktadır. Bu değer üstüne çıkılamamaktadır. Şekil 7.5'te 15° 'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası gösterilmiştir. Şekil 7.6'da ise 15° 'lik kalıpta $\beta=2,2$ alınarak imal edilen deney numunesi gösterilmektedir.

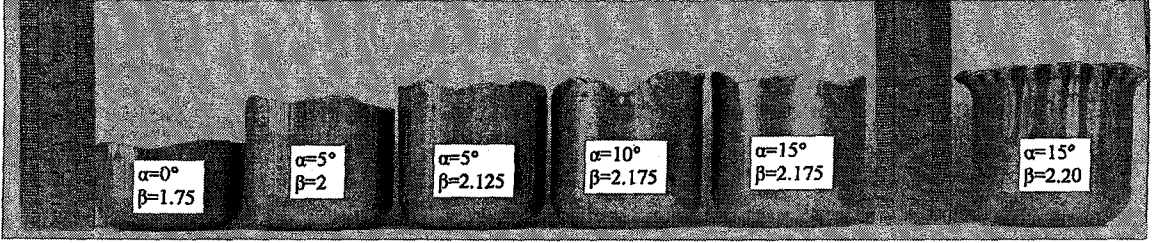


Şekil 7.5 15° 'lik kalıpta elde edilebilen optimum iş parçası.



Şekil 7.6 15°'lik kalıpta $\beta=2,2$ alınarak imal edilen deney numunesi.

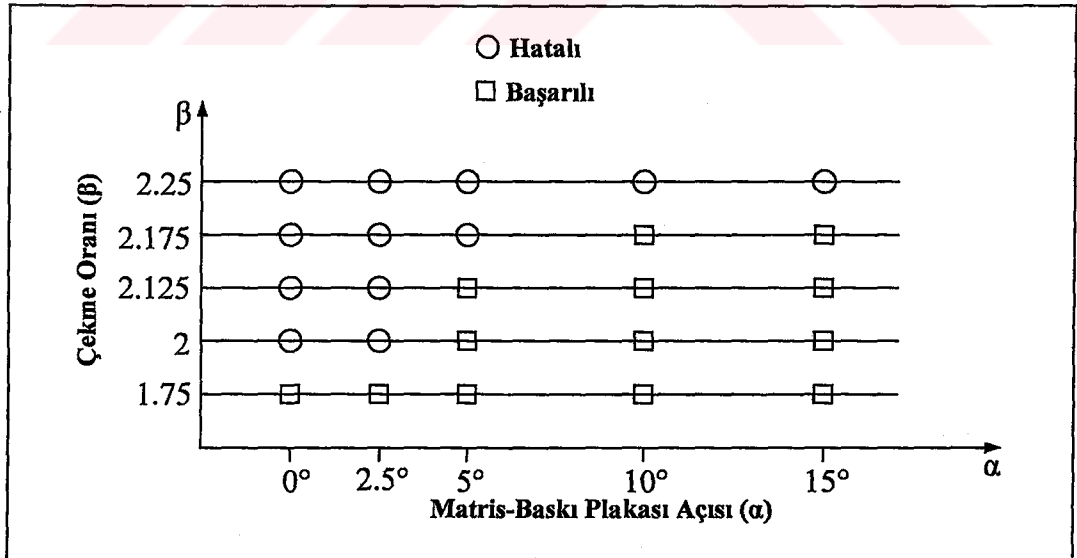
Şekil 7.7'de kalıp açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 7.7 Kalıp açısı değişimiyle elde edilen optimum deney numuneleri.

Şekil 7.7'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 7.8'de kalıp açısı değişiminin limit çekme oranına etkisi grafiksel olarak ifade edilmektedir. Şekilde dikdörtgen ile gösterilen bölgelerde başarılı sonuçlar elde edilmesine rağmen daire ile gösterilen bölgelerde ise ondülasyonlar ve yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.8 Kalıp açısı değişiminin çekme oranına etkisi.

7.2. Matris ve Baskı Plakası Yüzey Açı Değişiminin Kalıp Sayısına Etkisi

Çekme oranı büyük olan parçaların bir tek kalıp kullanılarak derin çekilmesinin mümkün olmadığı **Bölüm 5.5.**'de açıklanmıştı. Derin çekme kalıbına açı vermek suretiyle limit çekme oranı artırılabilir. Bu da kademeli kalıplamada kademe sayısının azaltılabileceği anlamına gelmektedir.

Bölüm 5.5.'de verilen örnekteki parça, geleneksel derin çekme metodu, ile üç kalıp kullanılarak üretilmektedir. Bu çalışmada araştırılan açılı kalıplama yöntemi ile kademe sayısını çekme oranı (β)=2.175 olarak yeniden hesaplanırsa;

Verilenler:

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

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

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

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

$$\beta=2,175$$

$$m_1=0,8$$

Açılı kalıplamada DKP 37 sacının derin çekme oranı 2,175 idi. Dolayısıyla

$$m = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{2,175} = 0,46 \text{ olur.}$$

$$d_1 = m.D = 0,46.100 = 46(\text{mm})$$

Ø46(mm)'ye ilk kademede ulaşılmaktadır. Dolayısıyla bu parça açılı kalıplama yöntemiyle sadece bir kalıp kullanılarak imal edilebilmektedir.

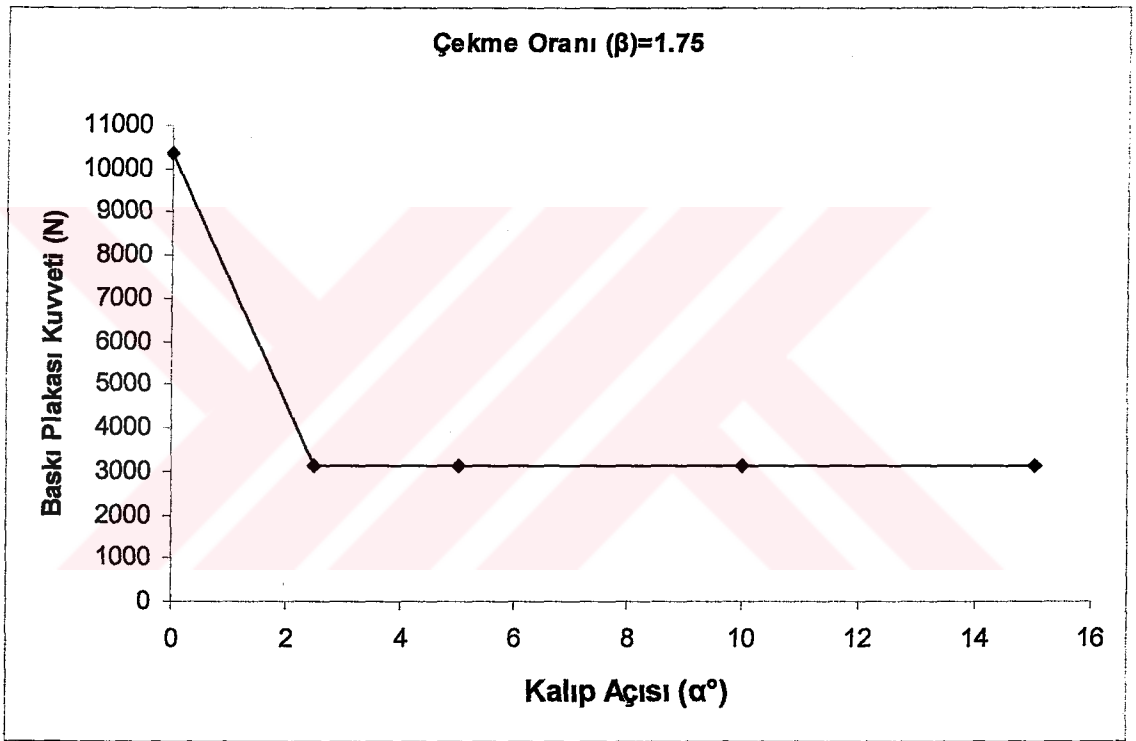
Yukarıdaki ifadelerden de anlaşılabileceği gibi açılı kalıp kullanılarak kalıp sayısı azaltılmaktadır. Bu da imalat maliyetini (işçilik, kalıp üretimi, v.b.) oldukça azaltmaktadır.

7.3. Baskı Plakası Kuvveti Değişiminin Derin Çekilebilirliğe Etkileri

Baskı plakası kuvveti derin çekmeye etki eden en önemli faktörlerden biridir. Baskı plakası kuvveti az olursa iş parçasında ondülasyonlar meydana gelir. Baskı plakası kuvveti

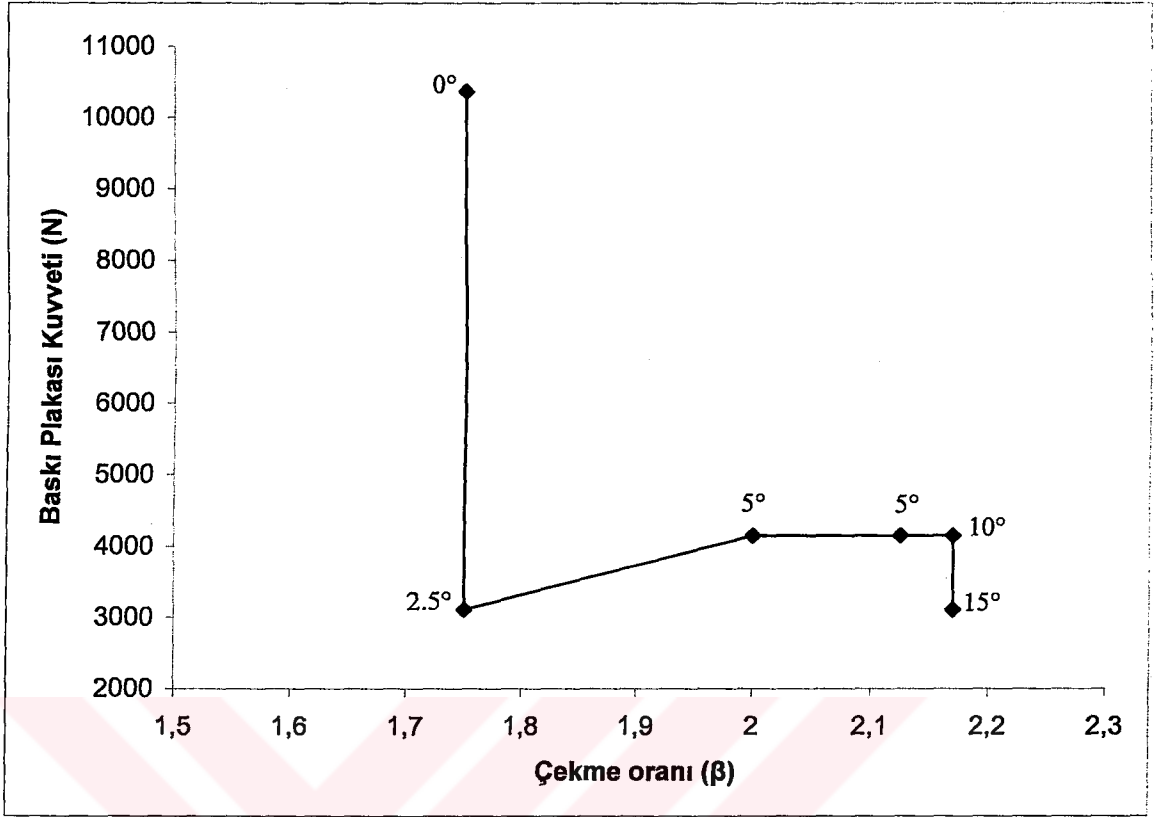
gereğinden fazla olduğunda ise iş parçasında yırtılmalar oluşur. Bu nedenle baskı plakası kuvveti belirli bir oran dahilinde olmalıdır.

Yapılan deney sonuçlarına göre açılı kalıp kullanılarak gerekli baskı plakası kuvvetinin oldukça azaldığı tespit edilmiştir. Açısız kalıpta ($\alpha=0^\circ$) çekme oranı 1,75 alınarak yapılan deneylerde en optimum sonuç 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında elde edilmiştir. Bununla birlikte kalıba açı verildiğinde gerekli baskı plakası kuvvetinin büyük oranda azaldığı görülmüştür. Bu durum Şekil 7.9'de gösterilmektedir. Şekil 7.10'da da optimum çekme oranlarının elde edildiği optimum baskı plakası kuvveti değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.9 Kalıp açısı (α) değişiminin, baskı plakası kuvvetine etkisi ($\beta=1.75$ için).

Şekil 7.9'da $\beta=1,75$ 'de kalıp açısı değişiminin baskı plakası kuvvetine etkileri verilmektedir. 0° 'de derin çekme işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmek için 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulamak gerekmektedir. Kalıp açısı artırıldığında ise gerekli baskı plakası kuvveti 3108,6(N)'a düşmektedir.



Şekil 7.10 Çekme oranı ve baskı plakası kuvveti değişiminin kalıp açısına etkisi.

Şekil 7.10'da kalıp açısı değişimi ile elde edilen optimum çekme oranların gerekli olan baskı plakası kuvveti verilmiştir. 0°'lik kalıpta $\beta=1,75$ 'de 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti gerekirken 2,5°'lik kalıpta yine $\beta=1,75$ 'de gerekli baskı plakası kuvveti 3108,6(N)'a düşmektedir. $\alpha=5^\circ, 10^\circ$ ve 15° 'de çekme oranlarının artmasına rağmen gerekli baskı plakası kuvveti 10362 (N) çıkmamıştır. Bu da açılı kalıplamada önemli bir enerji tasarrufu olduğu anlamına gelmektedir.

7.4. Et Kalınlığı Değişiminin Belirlenmesi

Bölüm 5.5.'de de açıklandığı gibi derin çekme esnasında iş parçası üzerinde birçok gerilmeler meydana gelmektedir (Şekil 5.16). Bu gerilmelerden etkilenen iş parçasının et kalınlığı değişmektedir.

Derin çekme sonunda iş parçasının taban kısmındaki et kalınlığı değişmemekte; fakat zımba radyüsü ve bu bölgeye yakın kısımlarda incelme olmaktadır. İş parçası duvarının üst kısmında ise kalınlaşma meydana gelmektedir.

Derin çekme ile imal edilmiş parçaların et kalınlıklarının eşit olması bazı durumlarda önem taşımaktadır. Et kalınlıklarının eşit olmasını sağlamak için derin çekme ile üretilen parçalara ütüleme işlemi yapılmaktadır ki bu da ayrı bir imalat maliyetine neden olmaktadır. Sonuç olarak, et kalınlığı değişiminin belli bir oran dahilinde tutulması önem taşıdığını söylenebilir.

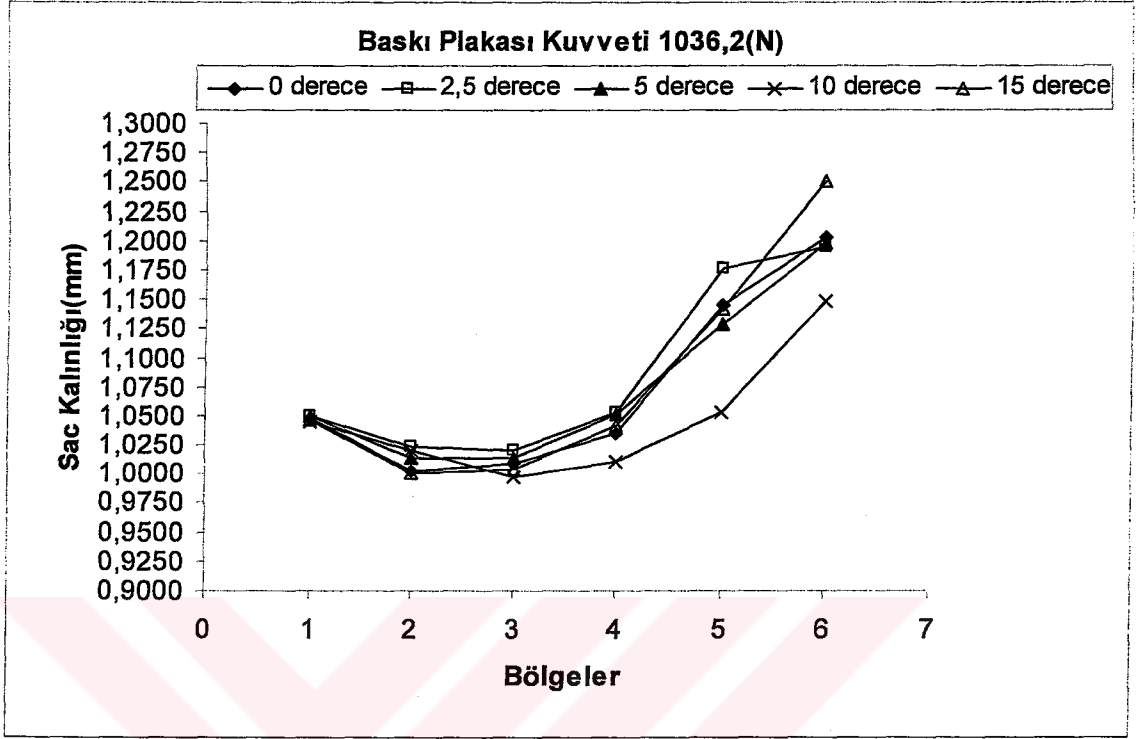
Bölüm 7.4.1. ve Bölüm 7.4.2.’de çekme oranı (β)=1,75 alınarak yapılan deney numunelerinin et kalınlığı değişimleri verilmektedir. Kalınlık ölçümleri **Bölüm 7.6.’da** açıklandığı gibi her parçanın altı farklı bölgesinden yapılmıştır (**Şekil 6.9**). Deneylerde 1,05(mm) kalınlığındaki DKP 37 sacı kullanılmıştır.

7.4.1. Kalıp Açısı Değişiminin Et Kalınlığına Etkilerinin Belirlenmesi

Tablo 7.1 1036,2(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi (β =1,75 için).

Bölge No	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=2.5^\circ$	$\alpha=5^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=15^\circ$
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0487	1,0493	1,0491	1,0445	1,0460
2	1,0014	1,0236	1,0140	1,0195	1,0000
3	1,0091	1,0201	1,0135	0,9978	1,0035
4	1,0353	1,0531	1,0513	1,0108	1,0411
5	1,1458	1,1762	1,1281	1,0529	1,1427
6	1,2037	1,1948	1,1982	1,1484	1,2511

Şekil 7.11’de 1036,2(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında kalıp açısına göre et kalınlığı değişimi verilmiştir.



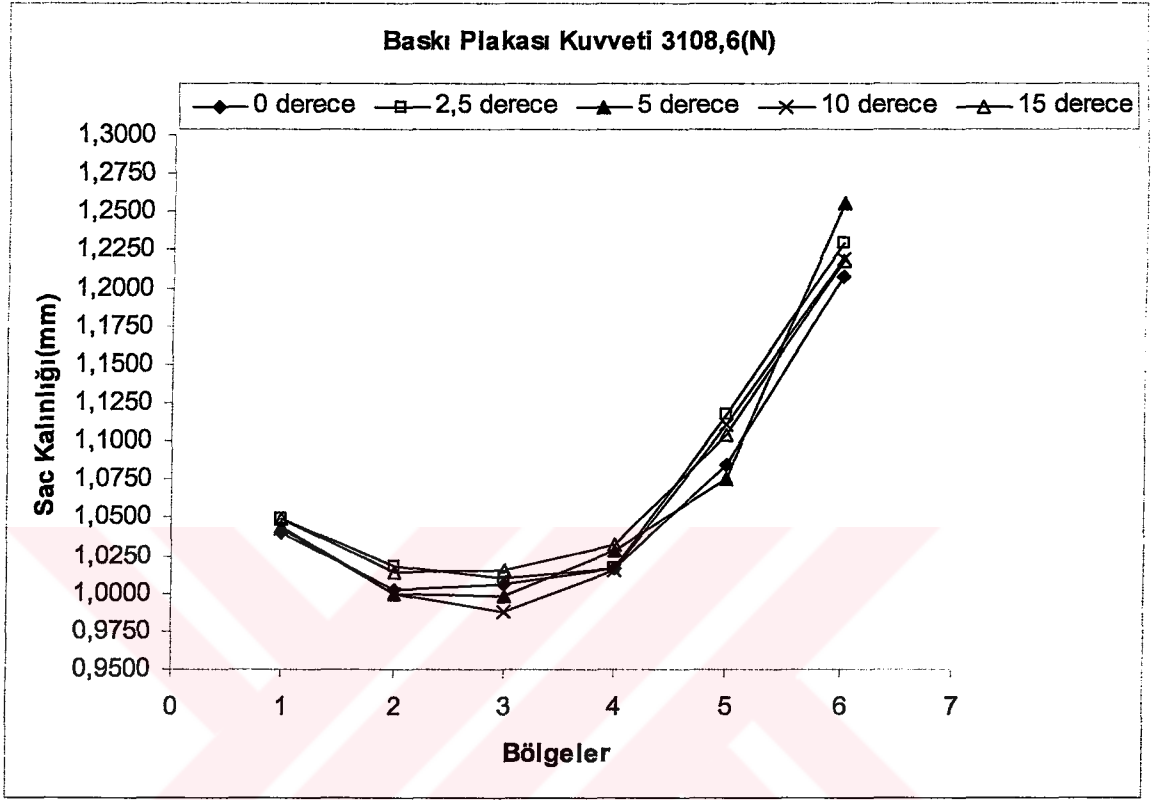
Şekil 7.11 1036,2(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.

Yukarıdaki şekilde baskı plakası kuvveti 1036,2(N) olduğunda her bir kalıp açısı için et kalınlığı değişimi verilmektedir. Şekil 7.11'den de anlaşılabileceği gibi 1. bölgede et kalınlıkları aynıdır. 2. bölgede incelmeye meydana gelmiştir. 3. bölgede de incelmeye olmuştur. Bu bölgede kalıp açısındaki artışla et kalınlığındaki incelmeye daha da fazlalaştığı görülmektedir. 4. bölgede 10°'lik kalıp haricindeki diğer kalıplarda et kalınlığı sacın ilk kalınlığına yakındır. 5. ve 6. bölgelerde ise fazlalık malzemenin etkisiyle et kalınlığında artış meydana gelmektedir.

Tablo 7.2 3108,6(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=2.5^\circ$	$\alpha=5^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=15^\circ$
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0405	1,0498	1,0442	1,0431	1,0491
2	1,0028	1,0174	0,9993	1,0000	1,0143
3	1,0059	1,0098	0,9978	0,9875	1,0148
4	1,0163	1,0162	1,0282	1,0149	1,0328
5	1,0840	1,1170	1,0751	1,1113	1,1036
6	1,2074	1,2300	1,2560	1,2191	1,2177

Şekil 7.12’de 3108,6(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında kalıp açısı değişimine göre et kalınlıkları verilmiştir.



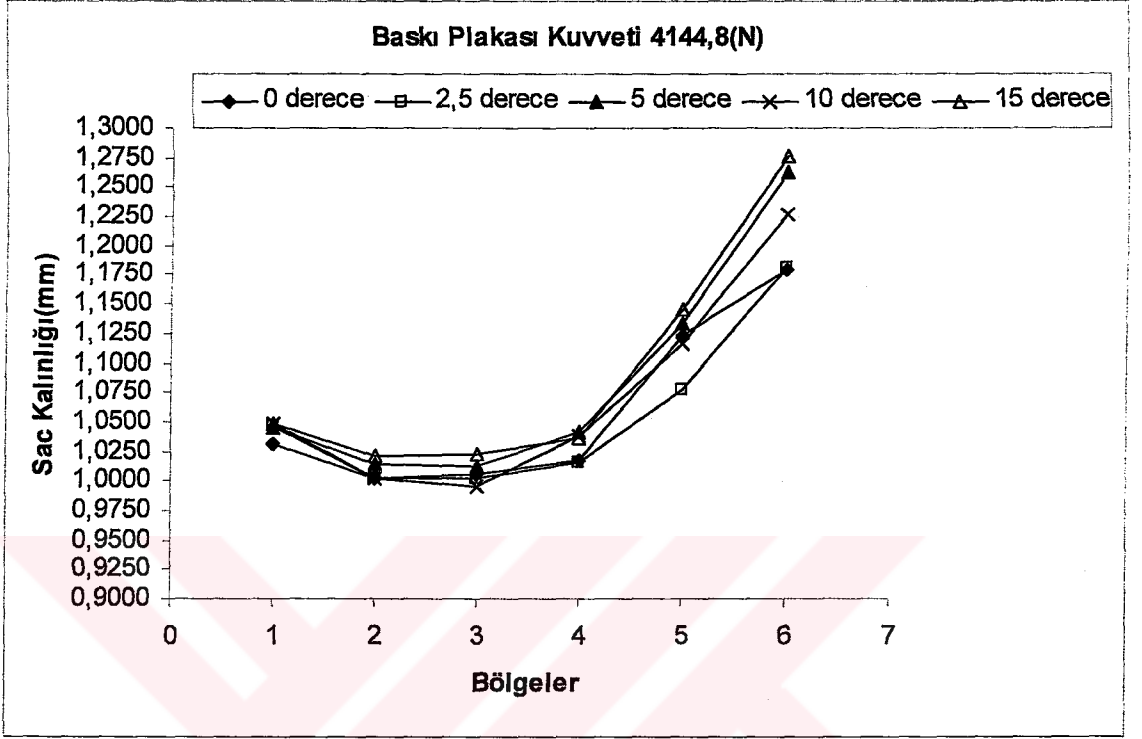
Şekil 7.12 3108,6(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.

3108,6(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçasında meydana gelen kalınlık değişimi yukarıda verilmiştir. Şekil 7.12’de görüldüğü gibi bütün açı değerleri için kalınlık değişimi birbirine yakındır.

Tablo 7.3 4144,8(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=2.5^\circ$	$\alpha=5^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=15^\circ$
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0306	1,0471	1,0439	1,0475	1,0489
2	1,0014	1,0028	1,0139	1,0030	1,0201
3	1,0061	1,0029	1,0126	0,9960	1,0228
4	1,0169	1,0154	1,0420	1,0381	1,0368
5	1,1224	1,0778	1,1338	1,1164	1,1450
6	1,1787	1,1806	1,2632	1,2268	1,2765

Şekil 7.13’de 4144,8(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında kalıp açısı değişimine göre et kalınlıkları verilmiştir.



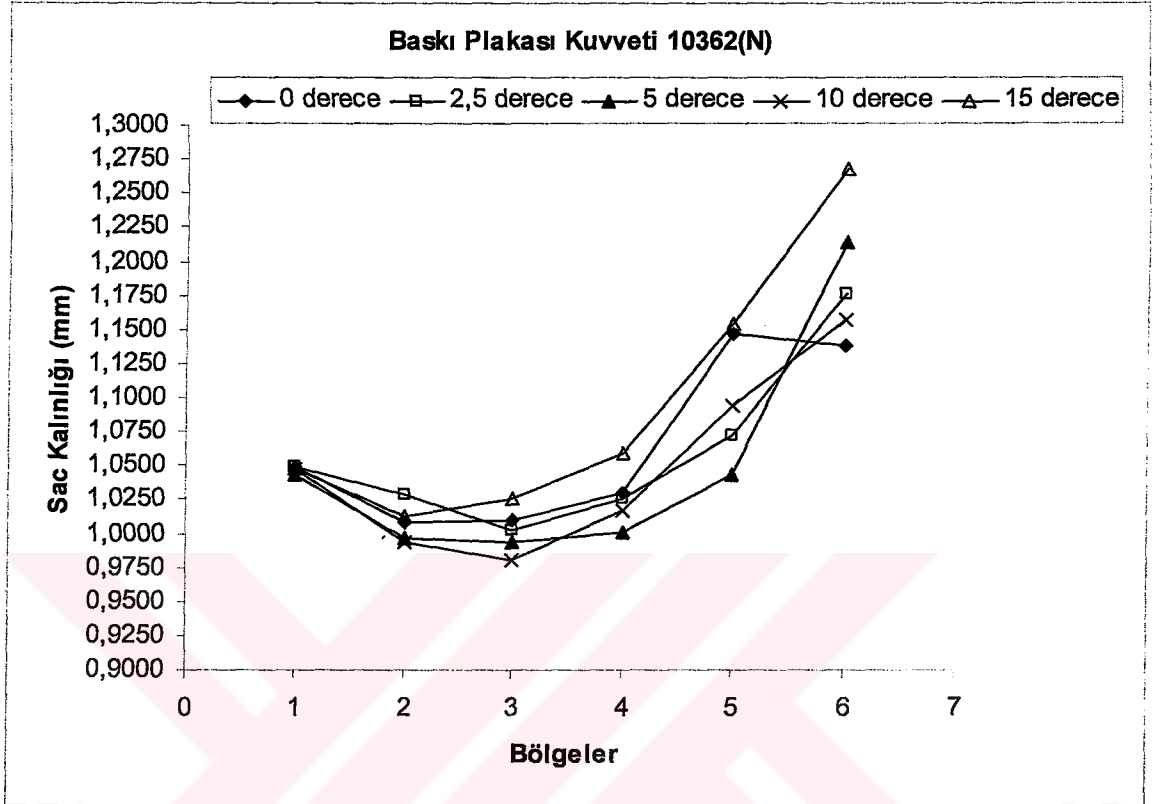
Şekil 7.13 4144,8(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.

4144,8(N)’luk baskı plakası kuvvetinde de 1., 2., 3. ve 4. bölgelerde et kalınlıkları birbirlerine yakındır; fakat 5. ve 6. bölgelerdeki et kalınlıklarında farklılaşmalar meydana gelmiştir.

Tablo 7.4 10362(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=2.5^\circ$	$\alpha=5^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=15^\circ$
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0492	1,0494	1,0424	1,0472	1,0471
2	1,0073	1,0284	0,9970	0,9932	1,0131
3	1,0095	1,0021	0,9936	0,9797	1,0250
4	1,0294	1,0254	1,0007	1,0163	1,0585
5	1,1463	1,0721	1,0436	1,0936	1,1536
6	1,1377	1,1764	1,2135	1,1576	1,2686

Şekil 7.14’de 10362(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında kalıp açısı değişimine göre et kalınlıkları verilmiştir.



Şekil 7.14 10362(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası et kalınlığı değişimi.

Baskı plakası kuvveti olarak 10362(N) uygulandığında et kalınlığı değişimi Şekil 7.14’de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi kalıp açısı değişimi ile et kalınlığı değişim oranları oldukça farklıdır. Burada baskı plakası kuvvetinin oldukça büyük olması et kalınlığı değişiminde büyük farklılıklar meydana gelmesine neden olmuştur.

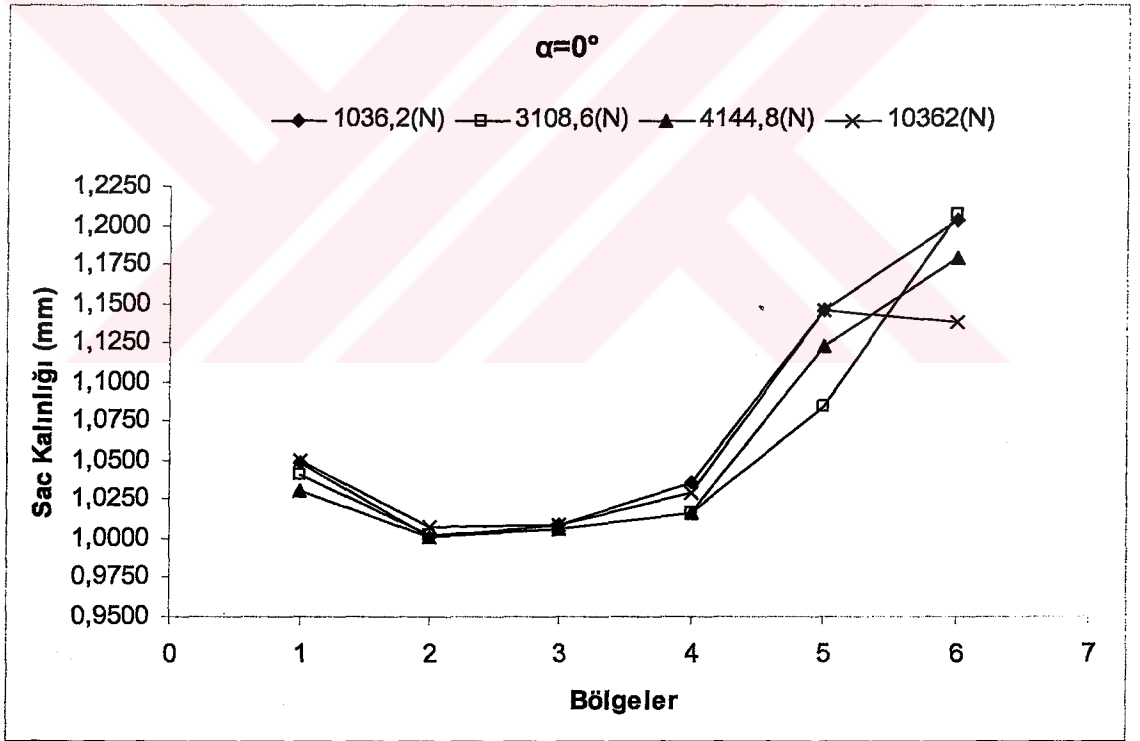
Bütün numuneler incelendiğinde et kalınlığının en ince değerinin 10°’lik kalıpta 10362(N)’luk baskı plakası kuvveti uygulandığında olduğu görülmektedir.

7.4.2. Baskı Plakası Kuvveti Değişiminin Et Kalınlığı Değişimi Üzerine Etkisi

Tablo 7.5 $\alpha=0^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	BPK=1036,2(N)	BPK=3108,6(N)	BPK=4144,8(N)	BPK=10362(N)
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0487	1,0405	1,0306	1,0492
2	1,0014	1,0028	1,0014	1,0073
3	1,0091	1,0059	1,0061	1,0095
4	1,0353	1,0163	1,0169	1,0294
5	1,1458	1,0840	1,1224	1,1463
6	1,2037	1,2074	1,1787	1,1377

Şekil 7.15'de 0° 'lik kalıpta meydana gelen et kalınlığı değişimi verilmiştir.



Şekil 7.15 0° 'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.

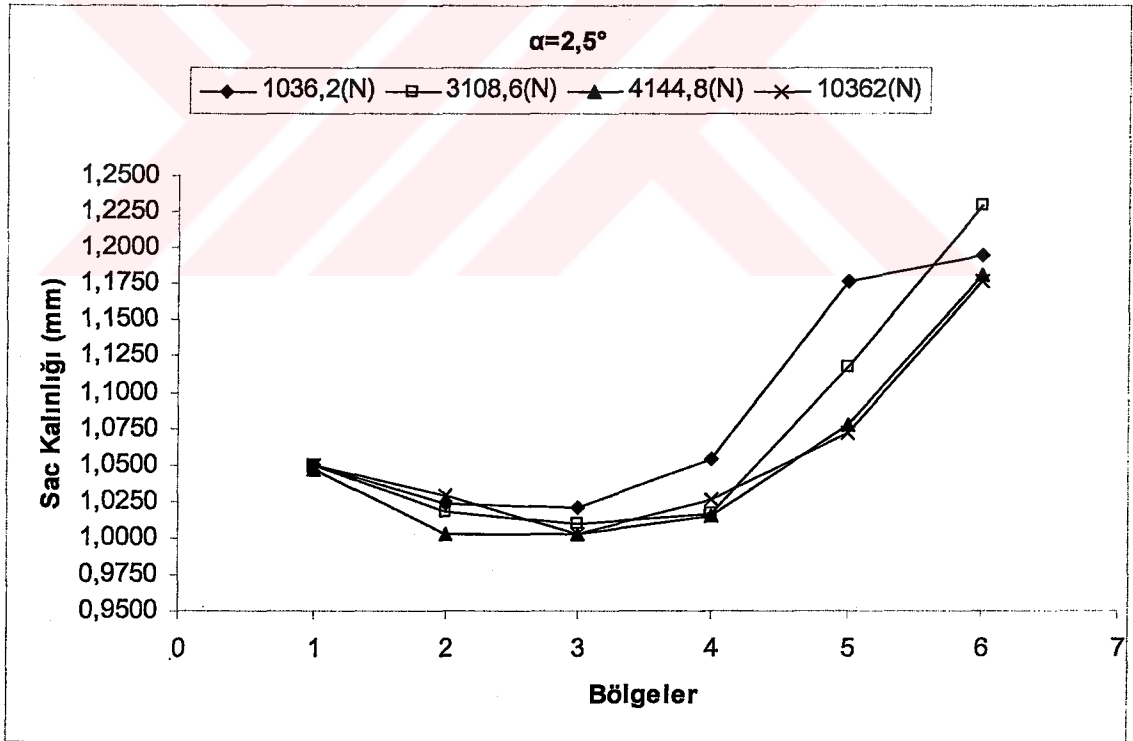
Yukarıdaki şekil ve tabloda da görüldüğü gibi parça tabanının orta noktası olan 1. bölgede et kalınlığı pek fazla değişmemektedir. Parça tabanı ile parça radyüsünün kesiştiği yer olan 2. bölgede ise et kalınlığı incelmektedir. 3. ve 4. bölgelerde 2. bölgeye nazaran kalınlık artmaktadır; fakat yine de bu bölgelerde incelme meydana gelmektedir. 5. ve 6. bölgelerde ise incelme olmamış; aksine et kalınlığı artmıştır.

Bütün baskı plakası kuvveti değerleri için ilk beş bölgede kalınlık değişimi birbirlerine yakındır. 6. bölgede ise 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti değerinde et kalınlığı fazla artmamıştır, diğer baskı plakası kuvveti değerlerinde et kalınlığı daha fazla artmıştır.

Tablo 7.6 $\alpha=2,5^\circ$ de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	BPK=1036,2(N)	BPK=3108,6(N)	BPK=4144,8(N)	BPK=10362(N)
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0493	1,0498	1,0471	1,0494
2	1,0236	1,0174	1,0028	1,0284
3	1,0201	1,0098	1,0029	1,0021
4	1,0531	1,0162	1,0154	1,0254
5	1,1762	1,1170	1,0778	1,0721
6	1,1948	1,2300	1,1806	1,1764

Şekil 7.16'da $2,5^\circ$ lik kalıpta meydana gelen et kalınlığı değişimi verilmiştir.



Şekil 7.16 $2,5^\circ$ lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.

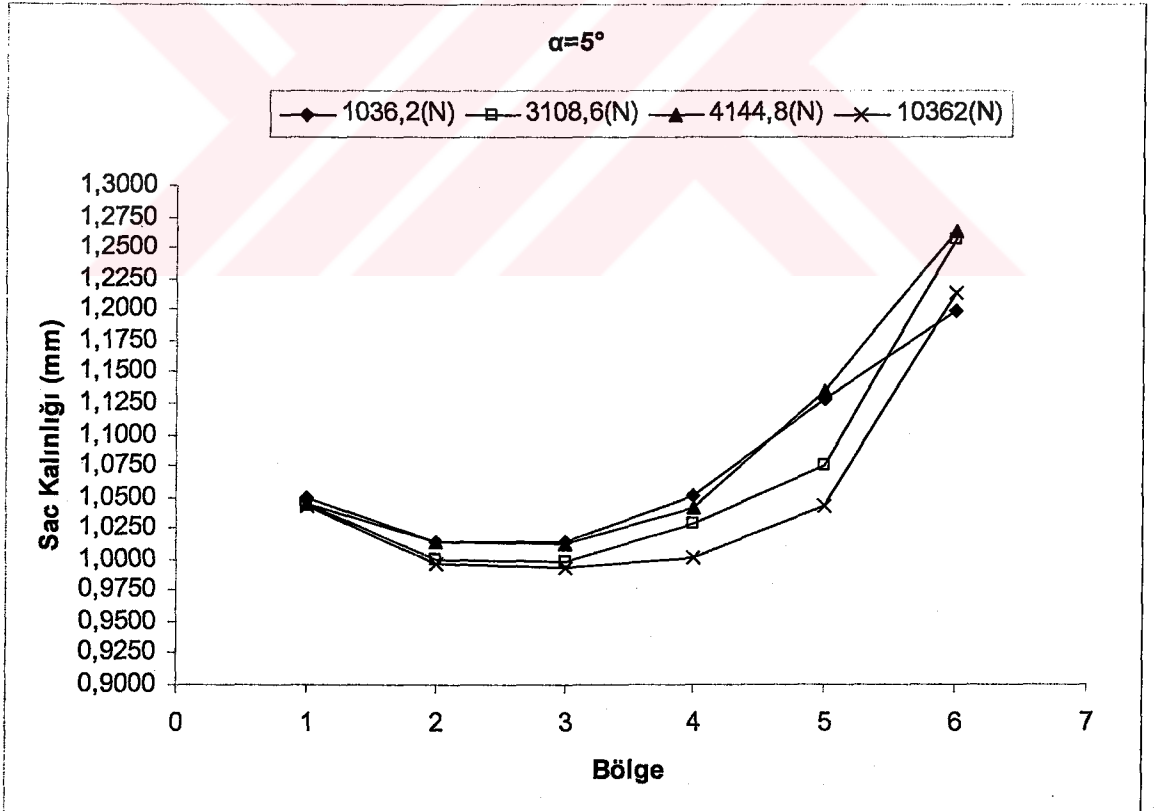
$\alpha=2,5^\circ$ de de 1. bölgede et kalınlığı pek fazla değişmemiştir. 2. bölgede de incelme olmuştur. 3. bölgede 3. bölgeden daha fazla incelme meydana gelmiştir. 4. bölgede de incelme olmuştur, fakat bu incelme 2. ve 3. bölgelerdekiler kadar değildir. 5. ve 6. bölgelerde kalınlaşma

meydana gelmiştir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi baskı plakası kuvveti arttıkça et kalınlığındaki incelme miktarı da artmıştır.

Tablo 7.7 $\alpha=5^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	BPK=1036,2(N)	BPK=3108,6(N)	BPK=4144,8(N)	BPK=10362(N)
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0491	1,0442	1,0439	1,0424
2	1,0140	0,9993	1,0139	0,9970
3	1,0135	0,9978	1,0126	0,9936
4	1,0513	1,0282	1,0420	1,0007
5	1,1281	1,0751	1,1338	1,0436
6	1,1982	1,2560	1,2632	1,2135

Şekil 7.17'de 5° 'lik kalıpta meydana gelen et kalınlığı değişimi verilmiştir.



Şekil 7.17 5° 'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.

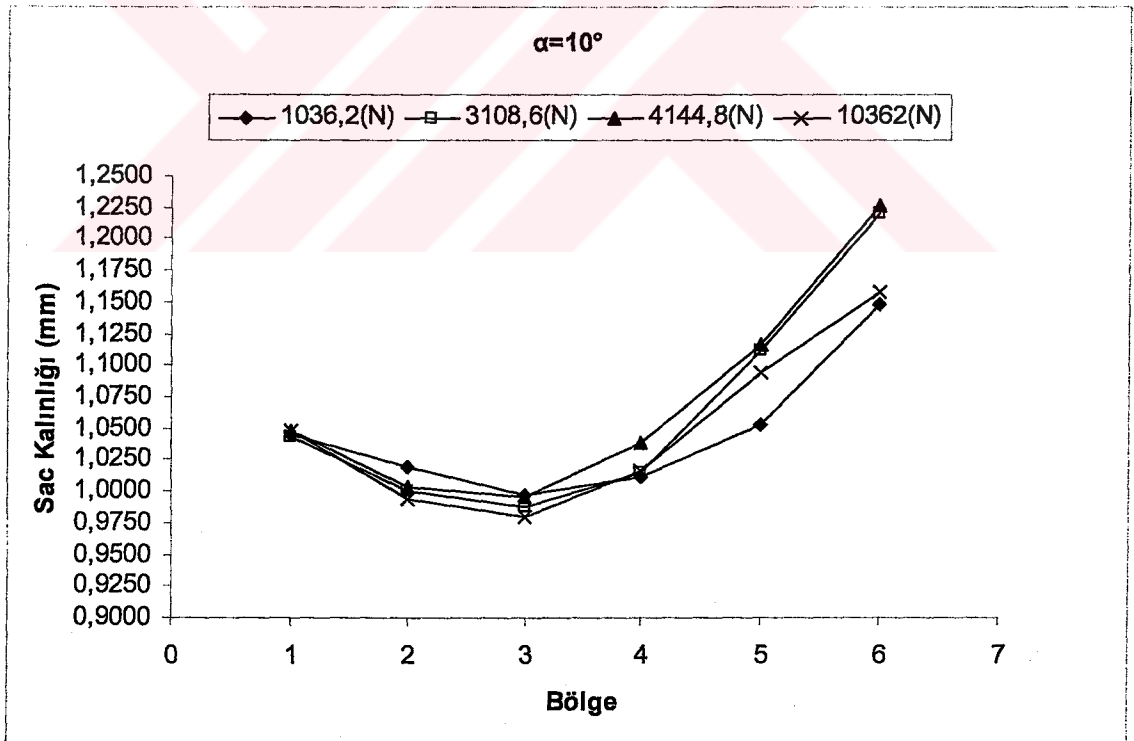
$\alpha=5^\circ$ 'lik kalıpta 1. bölgede et kalınlığı fazla değişmemiştir. 2. ve 3. bölgelerde incelme olmuş fakat 5. ve 6. bölgelerde incelme olmamıştır. Sadece 10362(N)'luk baskı plakası

kuvvetinde 5. bölgede bir miktar incelme meydana gelmiştir. Bu incelme sacın ilk kalınlığından 0,0064mm kadardır. Bu değer ihmal edilebilecek kadar küçüktür. 5°'lik kalıpta da baskı plakası kuvveti değerinin artması et kalınlığı incelme miktarını artırmıştır.

Tablo 7.8 $\alpha=10^\circ$ de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	BPK=1036,2(N)	BPK=3108,6(N)	BPK=4144,8(N)	BPK=10362(N)
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0445	1,0431	1,0475	1,0472
2	1,0195	1,0000	1,0030	0,9932
3	0,9978	0,9875	0,9960	0,9797
4	1,0108	1,0149	1,0381	1,0163
5	1,0529	1,1113	1,1164	1,0936
6	1,1484	1,2191	1,2268	1,1576

Şekil 7.18’de 10°'lik kalıpta meydana gelen et kalınlığı değişimi verilmiştir.



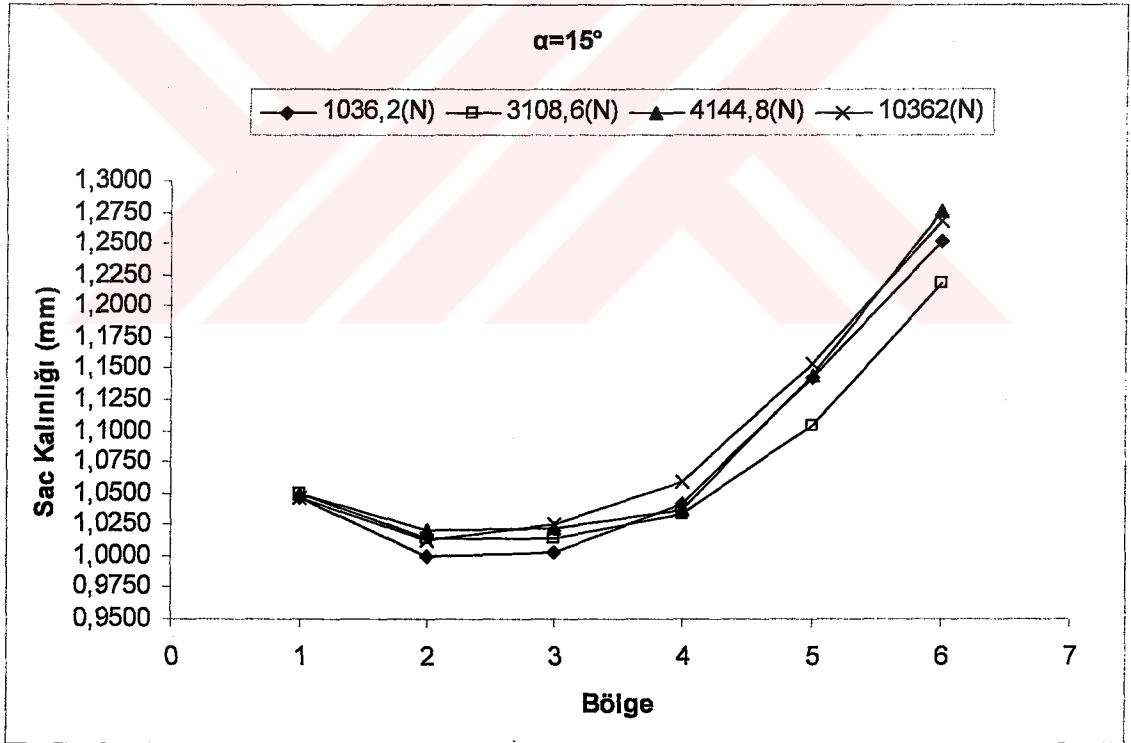
Şekil 7.18 10°'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.

$\alpha=10^\circ$ 1. bölgede et kalınlığı pek fazla değişmemiştir. 2., 3. ve 4. bölgeler incelmış; 5. ve 6. bölgeler kalınlaşmıştır. 1., 2., 3. ve 4. bölgelerdeki et kalınlıkları birbirlerine yakındır.

Tablo 7.9 $\alpha=15^\circ$ 'de et kalınlığı değişimi ($\beta=1,75$ için).

Bölge No	BPK=1036,2(N)	BPK=3108,6(N)	BPK=4144,8(N)	BPK=10362(N)
	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)	Kalınlık(mm)
1	1,0460	1,0491	1,0489	1,0471
2	1,0000	1,0143	1,0201	1,0131
3	1,0035	1,0148	1,0228	1,0250
4	1,0411	1,0328	1,0368	1,0585
5	1,1427	1,1036	1,1450	1,1536
6	1,2511	1,2177	1,2765	1,2686

Şekil 7.19'da 15° 'lik kalıpta meydana gelen et kalınlığı değişimi verilmiştir.



Şekil 7.19 15° 'lik kalıpta baskı plakası kuvveti değişiminin iş parçası et kalınlığına etkisi.

$\alpha=15^\circ$ 'de önceki grafiklerde olduğu gibi 1. bölgede et kalınlığı pek fazla değişmemiştir. 2., 3. ve 4. bölgelerde incelme olmuş; 5. ve 6. bölgelerde ise et kalınlığı artmıştır.

Bütün grafikler karşılaştırıldığında iş parçası tabanının merkezinde (1. bölge) fazla bir değişme olmadığı görülmektedir. 2. bölgede parça incelmektedir. 3. bölgedeki et kalınlıkları 2.

bölgedekine oldukça yakındır. 4. bölgede et kalınlığı 2. ve 3. bölgelere göre fazla olmakla birlikte et kalınlığı, ilk kalınlığa göre azalmıştır. 5. ve 6. bölgelerde ise et kalınlıkları artmıştır. $\alpha=10^\circ$ 'de 10362(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında maksimum incelme meydana gelmiştir. İş parçası 0.0703(mm) incelerek 4. bölgedeki et kalınlığı 0,9797(mm)'ye düşmüştür.

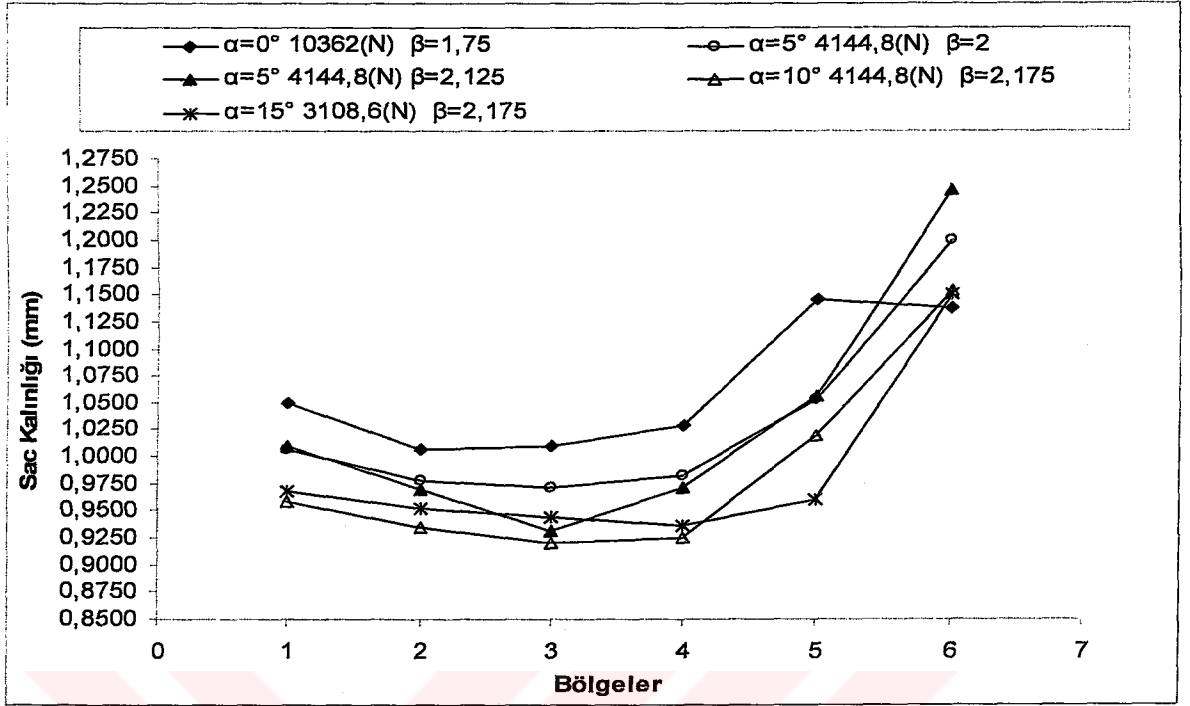
7.4.3. Çekme Oranı Değişiminin Et Kalınlığına Etkisi

Yapmış olduğumuz araştırmada incelediğimiz açılı kalıplama metoduyla DKP 37 sacının çekme oranı 1,75'den 2,175'e çıkarılmıştır. Sacın ilkel çapı ile zimba çapı arasındaki oran büyüdükçe derin çekme esnasında oluşan gerilmeler de büyümektedir. Bu nedenle kalınlık değişimi artmaktadır. Aşağıda açılı kalıplama ile elde edilen optimum çekme oranlarındaki parçaların et kalınlığı değişimi verilmektedir.

Tablo 7.10 Kalıp açısı değişimi ile elde edilen optimum çekme numunelerinin kalınlık değişimi.

Bölge No	$\alpha=0^\circ$ BPK=10362(N) $\beta=1,75$	$\alpha=5^\circ$ BPK=4144,8(N) $\beta=2$	$\alpha=5^\circ$ BPK=4144,8(N) $\beta=2,125$	$\alpha=10^\circ$ BPK=4144,8(N) $\beta=2,175$	$\alpha=15^\circ$ BPK=3108,6(N) $\beta=2,175$
	Kalınlık	Kalınlık	Kalınlık	Kalınlık	Kalınlık
1	1,0492	1,0064	1,0091	0,9589	0,9687
2	1,0073	0,9776	0,9694	0,9347	0,9527
3	1,0095	0,9711	0,9307	0,9208	0,9436
4	1,0294	0,9822	0,9716	0,9244	0,9369
5	1,1463	1,0537	1,0557	1,0199	0,9597
6	1,1377	1,1998	1,2467	1,1534	1,1509

Şekil 7.20'de optimum çekme oranlarındaki et kalınlığı değişimi verilmektedir.



Şekil 7.20 Açılı kalıplamada, optimum çekme oranlarında et kalınlığı değişimi.

Yukarıdaki tablo ve şekilde açıkça görüldüğü gibi çekme oranı arttıkça iş parçalarının et kalınlığı incelme miktarı da artmaktadır. Şekil 7.20'den açıkça görüldüğü gibi çekme oranının artmasıyla et kalınlığındaki incelme miktarı artmıştır. Bunun nedeni, çekme oranının artmasıyla sacı deformasyona uğratabilecek zımba kuvvetinin de artmış olmasıdır. Zımba kuvvetinin artmasıyla iş parçasında daha büyük gerilmeler oluşmuştur. Bu da iş parçası et kalınlığının büyük oranda incelmeye yol açmıştır.

$\alpha=10^\circ$, $\beta=2,175$ 'de 4144,8(N)'luk baskı plakası kuvveti uygulandığında iş parçası maksimum 0,12292(mm) incelerek et kalınlığı 0,9208(mm)'ye düşmüştür; fakat parçada yırtılma meydana gelmemiştir.

$\beta=2$ ve $\beta=2,125$ 'de 1. bölgede et kalınlığı 1(mm)'ye düşmüştür. $\beta=2,175$ 'de ise et kalınlığı 0,96(mm)'ye kadar düşmüştür. 2., 3. ve 4. bölgelerde 1. bölgeye göre et kalınlığı daha da azalmıştır. $\beta=2$ ve $\beta=2,125$ için 5. bölgede et kalınlığı sacın ilk kalınlığına yakındır. $\beta=2,175$ 'de 5. bölgede ise kalıp açısına bağlı olarak et kalınlığı azalmıştır. Bütün kalıplarda 6. bölgede ise et kalınlığı artmıştır.

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırmada metal şekillendirmede kullanılan en önemli yöntemlerden biri olan derin çekme işlemine yeni bir yaklaşım getirilip matris ve baskı plakası yüzeyine açıl verilmiştir. Bu kalıp açısının DKP 37 sacının derin çekilebilirliğine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca baskı plakası kuvveti değiştirilerek açılı kalıplamada baskı plakası kuvvet değişiminin etkileri de incelenmiştir. Bu araştırma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- DKP 37 sacının derin çekilmesinde klasik yöntemle imal edilmiş kalıplar kullanıldığında limit çekme oranı 1,75 iken, yapılan çalışmada derin çekme kalıbına açıl verilerek limit çekme oranı 2,175'e kadar çıkartılmıştır.
- Sacın ilk çapı ile zımba çapı arasındaki oran limit çekme oranından büyük olduğu durumlarda iş parçası bir tek kalıpta üretilememektedir. İş parçası ancak iki veya daha fazla kalıp kullanılarak üretilebilmektedir. Bu da iş parçasının imalat maliyetini arttırmaktadır. **Bölüm 8.2.**'de de açıklandığı gibi derin matris ve baskı plakası yüzeylerine açıl vermek suretiyle gerekli olan kalıp sayısı azaltılmaktadır. Böylece imalat maliyetleri azaltılmaktadır.
- Matris ve baskı plakası yüzeylerine açıl verilerek derin çekme esnasında gerekli olan baskı plakası kuvveti de büyük oranda azalmaktadır.
- Çekme oranı sabit tutulduğunda açılı kalıplarda üretilen parçaların et kalınlıklarının çok fazla değişmeyip, birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

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

- Sanayide sıklıkla kullanılan paslanmaz çelik, alüminyum v.b. sacların derin çekilmesinde açılı kalıp kullanılmasının derin çekilebilirliğe etkilerinin araştırılması.
- Eksenel simetriye sahip olmayan parçaların derin çekilmesinde açılı kalıp kullanılmasının derin çekilebilirliğe etkilerinin araştırılması.
- Çekme hızının açılı kalıplamada derin çekilebilirliğe etkilerinin araştırılması.
- Kalıp radyüsü değişiminin, açılı kalıplamada derin çekilebilirliğe etkilerinin araştırılması.
- Bu çalışmanın çift etkili kalıplama sistemi ile yapılması durumunda daha iyi sonuçlar alınacağı düşünülmektedir.

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. Thiruvarduchelvan, 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. Johnson, W. And Mellor, P.B., 1966, Plasticity for mechanical engineers, D. van Nostrand 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. Sci. in Scotland, 195-196
19. Chang, S.Y. And Swift, H.W., 1951, Cup drawing from a flat blank, Proc. Inst. Mechanical Engineers,
20. Woo, D.M., 1967, On complete solution of the deep drawing problem, International journal of mechanical 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 mechanical 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 polycrystals in cup drawing, Z. metallkunde, 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 Willey 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, Metallerde Plastik Şekil Verme, İstanbul: Çağlayan Kitabevi
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. Panserı, 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. Tlusty, 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

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Bursa'da doğan Ömer SEÇGİN ilk, orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamladı. 1997 yılında Bursa Tophane Endüstri Meslek Lisesinden mezun olduktan sonra, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2002 yılında lisans eğitimini bölüm birincisi olarak tamamlayıp, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

