

ÇOK NOKTALI DERİN ÇEKME

Zeki KORKMAZ

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

Danışman : Yrd.Doç.Dr.Muammer GAVAS

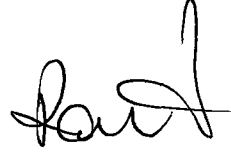
Haziran-2005

KABUL VE ONAY SAYFASI

Zeki KORKMAZ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı ÇOK NOKTALI DERİN ÇEKME başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

15 / 07 / 2005

Üye : Doç.Dr. Rasim İPEK



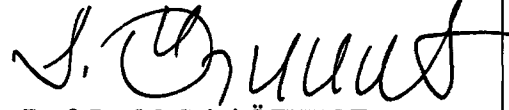
Üye : Yrd.Doç.Dr. Muammer GAVAS



Üye : Yrd.Doç.Dr. Dinçer BURAN



Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Yönetim Kurulu'nun 09./07./05 gün ve ...12.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÇOK NOKTALI DERİN ÇEKME

Zeki Korkmaz

Makine Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2005

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muammer Gavas

ÖZET

Bilim ve teknolojide son yıllarda meydana gelen hızlı gelişmeler endüstride de hızlı gelişmelere neden olmaktadır. Bugün imalat endüstrisinde sac metal kalıpcılığı ve özellikle sac metallerin derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesi önemli bir yer teşkil etmekte ve bunun önemi her geçen gün giderek artmaktadır.

Küreselleşmekte olan dünyada rekabet şartları da giderek artmaktadır. İmalat endüstrisinde artan rekabet şartlarına rağmen üretimdeki birim maliyetlerin azaltılması oldukça zordur. Sac metal kalıpcılığı için imalat maliyetlerinin azaltılması kalıp maliyetinin azaltılması ile mümkün olabilmektedir.

Çok noktalı biçimlendirme metodu kalıbın imalat maliyetlerini azaltmakta ve esnek kullanım alanı sağlamaktadır. Çok noktalı biçimlendirmede, konvansiyonel kalıplarda kullanılan tek zımba yerine yükseklikleri ve çapları ayarlanıp değiştirilebilen birden fazla zımbalar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, çok noktalı biçimlendirme teknolojisinden faydalanılarak çok noktalı derin çekme işlemi için deney seti hazırlanmış Erdemir 7114 kalitesindeki derin çekmeye elverişli sacdan çok noktalı zımba kullanılarak verilen takım geometrisi ve çekme hızı ile kademeli dikdörtgen kabın derin çekme özellikleri incelenmiş, kabın yırtılmadan çekilebileceği taslak malzeme şekli tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Çok Noktalı Biçimlendirme, Çok Noktalı Kalıp, Derin Çekme, Esnek Biçimlendirme.

MULTI POINT DEEP DRAWING

Zeki Korkmaz

Mechanical Education, M.S.Thesis, 2005

Thesis Supervisor: Assoc.Prof. Muammer Gavas

SUMMARY

In recent years, innovations on science and technology are bringing about rapid developments in the industry, too. Today, die making for sheet metal and especially forming of sheet metals by the process of deep draw have a considerable importance in manufacturing industry, and the importance is increasing everyday.

Competitive conditions are becoming more challenging on the Globe which is globalizing rapidly. Minimizing unit costs of production is getting harder in manufacturing against those competitive and challenging conditions. To decrease the production costs of die making for sheet metal can be possible as long as decrementing cost of die also.

Process of multi point forming decreases production cost of die and provides flexible usage. Multiple punches, which can be set by their heights and diameters, are using with multi point forming instead of single punch using with conventional die.

In this thesis, a test set has been prepared for multi point deep draw process utilizing the multi point forming technology. Drawability attributes of gradually rectangular shaped container has been observed using a sheet, which has the quality of Erdemir 7114 and is suitable for deep draw process, and also using multi pointed punch with a given tool geometry and a draw velocity. The draft shape of material to be drawn has been determined without tearing container.

Keywords: Deep Drawing, Flexible Forming, Multi Point Die, Multi Point Forming.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca yardımlarını hiç esiremeyen, üniversite eğitimime başladığım andan itibaren desteğini her zaman yanında hissettiğim, kişiliğiyle kendime örnek aldığım çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Muammer GAVAS'a şükran duyarım.

Deneyde kullanılan sac malzemenin metalografik muayenesini gerçekleştiren Abdullah SEZER'e ve her zaman yanımda bulunan değerli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. DERİN ÇEKME.....	2
2.1. Derin Çekmenin Tanımı	2
2.2. Derin Çekme İşleminde İşlem Basamakları	2
2.3. Derin Çekme Yöntemleri.....	2
2.4. Konvansiyonel yöntemle derin çekme.....	3
2.4.1. Silindirik derin çekme.....	4
2.4.1.1. Çekme sacı çapının hesaplanması	7
2.4.1.2. Çekme kademelerinin tespiti.....	7
2.4.1.3. Çekme derinliği.....	11
2.4.1.4. Baskı plakasıyla malzeme arasındaki boşluk.....	12
2.4.1.5. Dişi kalıp ve zımba ucu kavis yarıçapı.....	12
2.4.1.6 Baskı plakası basıncı	13
2.4.1.7. Çekme hızı	14
2.4.1.8. Çekme kuvveti ve işi.....	15
2.4.2. Kare veya Dikdörtgen Çekme.....	16
2.4.2.1. Köşe çekme	17
2.4.2.2. Köşe kavisleri arasındaki yüzde (%) azalma oranı	17
2.4.2.3. Buruşma akma oranı	18
2.4.2.4. Kare ve dikdörtgen çekmede kap boyutlarının hesabı	19
2.4.2.5. Dikdörtgen ve kare çekme kalıplarında, çekme kuvveti	27
2.4.2.6. Çekme derinliği ve çekme sayısı.....	28
2.4.3. Çok Noktalı Derin Çekme	30
2.4.3.1. Metal levhalar için çok noktalı esnek biçimlendirme	30
2.4.3.2. Temel şekillendirme ve şekillendirme karakteristikleri	30

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.4.3.3. Biçimlendirme kusurlarının tercihi ve kontrolü.....	31
2.4.3.4. Metal levha ile baskı plakasının MPF'si	33
2.4.3.5. Çok noktalı şekillendirmenin çeşitleri	35
2.5. Yüksek Hızda Derin Çekme	37
2.5.1. Patlama ile derin çekme	37
2.5.1.1. Kontakt sistem	38
2.5.1.2. Antikontakt sistem	38
2.5.2. Elektro-hidrolik yöntemle derin çekme	39
2.5.3. Elektro-magnetik yöntemle derin çekme	41
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
3.1. Bu konuda yapılmış çalışmalar.....	43
3.2. Deney Setinin Hazırlanışı.....	44
3.2.1. Çekme işleminde kullanılacak malzemenin seçilmesi.....	45
3.2.1.1. Sac malzemenin mekanik özellikleri.....	45
3.2.2. Dişi kalıbın hazırlanması	48
3.2.3. Baskı Plakasının Tasarlanması ve İmalatı	51
3.2.4. Zimba plakasının imalatı	51
3.2.5. Zimbaların İmalatı	54
3.2.6. Zimbaların montajı	54
3.2.7. Sap plakası ve sapın imalatı.....	55
3.2.8. Kalıbın prese bağlanması.....	56
3.3. Metal akışını kontrol etme yöntemleri	58
3.4. Ön Deneylerin Gerçekleştirilmesi	59
3.5. Deneyin Yapılması	60
4. DENEYSEL SONUÇLAR	83
4.1. Zimba kuvveti-zimba kursunun karşılaştırılması.....	83
4.2. Parça kalınlık dağılımının karşılaştırılması	84
4.3. Çekme hızı.....	88
4.4. Yağlama.....	88
4.5. İlave deneyler.....	88
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR DİZİNİ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Konvansiyonel sistemde kullanılan kalıp ve pres sistemi	4
Şekil 2.2. Silindirik bir kabın derin çekme yöntemi ile üretilmesi	6
Şekil 2.3. Silindirik bir kabın ikinci ve/veya daha sonraki bir kademede derin çekilmesi	11
Şekil 2.4. Çekme aralığı	12
Şekil 2.5. (a) Çekme kenarının yuvarlatılması.(b) Çekme kenarı yuvarlatılmasının gereğinden küçük olması halinde kabın yırtılması.....	13
Şekil 2.6. Derin çekmede zımba kuvvetinin strokla değişimi.....	16
Şekil 2.7. Kare veya dikdörtgen kapların köşe analizi.....	17
Şekil 2.8. Köşe kavis yarı çapları.....	18
Şekil 2.9. Çekilen kap ağzı çevresindeki buruşma akma oranı.....	19
Şekil 2.10. Dikdörtgen ve kare "biçimli kapların çekilmesine ait alan bağıntısı.....	21
Şekil 2.11. Dikdörtgen ve kare biçimli çekmelerde, çekilecek sac malzemenin köşe profilleri	22
Şekil 2.12. B ve C alanlarına ait çekmelerde, büyük yarı çaplı köşe düzeltme profili	25
Şekil 2.13. Çekilecek malzeme ve çekilen kap boyutlarına esas ana ölçüler.....	27
Şekil 2.14. Derinliği farklı kare çekme	29
Şekil 2.15. Çok noktalı şekillendirmenin temel kavramları a. Kalıpla biçimlendirme b. Çok noktalı biçimlendirme	30
Şekil 2.16. MPF'de eliptik şekiller	31
Şekil 2.17. MPF de buruşuklukların simülasyonu	32
Şekil 2.18. MPF tarafından biçimlendirilmiş parçalar	33
Şekil 2.19. Metal levhaların baskı plakası ile MPF'si	33
Şekil 2.20. İki MPF metodu tarafından şekillendirilmiş eğer biçimli parçalar a. Baskı plakası ile b. Baskı plakası olmadan.....	34
Şekil 2.21. Baskı plakası ile MPF tarafından biçimlendirilmiş parçalar.....	36
Şekil 2.22. Tekrarlı Şekillendirme	37
Şekil 2.23. Tekrarlı şekillendirmede gerilim değişimleri.....	37
Şekil 2.24. Antikontakt sistemde patlama ile şekillendirme	39
Şekil 2.25. Elektro-hidrolik yöntemle şekillendirme	40
Şekil 2.26. Basit Bir Elektro-magnetik şekillendirme devresi.....	42
Şekil 3.1. r değerlerinin grafikleri	47
Şekil 3.2. Dişi kalıp.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.3. Dişi kalıbın görünüşleri ve izometrik perspektifi.....	49
Şekil 3.4. Baskı plakasının görünüşleri ve izometrik perspektifi.....	50
Şekil 3.5. Baskı plakasının fotoğrafı	51
Şekil 3.6. Zimba plakasının fotoğrafı.....	52
Şekil 3.7. Zimba plakasının ölçüleri ve imalat resmi	53
Şekil 3.8. Zimbaların ölçüleri.....	54
Şekil 3.9. Zimbaların zimba plakasına montajı.....	55
Şekil 3.10. Sapın şematik gösterimi	55
Şekil 3.11. Sap plakası	57
Şekil 3.12. Baskı plakası boşluğu.....	58
Şekil 3.13. Derin çekme işleminde sac metalin kalıp boşluğuna çekilmesi esnasında flanş buruşması oluşumu	59
Şekil 3.14. 1. deneyin yerleşim planı	61
Şekil 3.15. 2. deneyin yerleşim planı	62
Şekil 3.16. 3. deneyin yerleşim planı	63
Şekil 3.17. 4. deneyin yerleşim planı	64
Şekil 3.18. 5. deneyin yerleşim planı	65
Şekil 3.19. 6. deneyin yerleşim planı	66
Şekil 3.20. 7. deneyin yerleşim planı	67
Şekil 3.21. 8. deneyin yerleşim planı	68
Şekil 3.22. 9. deneyin yerleşim planı	69
Şekil 3.23. 10. deneyin yerleşim planı	70
Şekil 3.24. 11. deneyin yerleşim planı	71
Şekil 3.25. 12. deneyin yerleşim planı	72
Şekil 3.26. 13. deneyin yerleşim planı	73
Şekil 3.27. 14.-15. deneyin yerleşim planı.....	74
Şekil 3.28. 16. deneyin yerleşim planı	75
Şekil 3.29. 17. deneyin yerleşim planı	76
Şekil 3.30. 18. deneyin yerleşim planı	77
Şekil 3.31. 19. deneyin yerleşim planı	78
Şekil 3.32. 20. deneyin yerleşim planı	79
Şekil 3.33. 21. deneyin yerleşim planı	80

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.34. 22. deneyin yerleşim planı	81
Şekil 3.35. 23. deneyin yerleşim planı	82
Şekil 4.1. Zimba kuvveti-zimba kursu grafiği.....	83
Şekil 4.2. Optimum çekilen deney numunesinin A-A kesitinden elde edilen kalınlık değişimi grafiği.	85
Şekil 4.3. Optimum çekilen deney numunesinin B-B kesitinden elde edilen kalınlık değişimi grafiği	86
Şekil 4.4. Optimum çekilen deney numunesinin C-C kesitinden elde edilen kalınlık değişimi grafiği	87



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çeşitli kap şekilleri için D değerleri.....	7
Çizelge 2.2. Çeşitli malzemeler için kademelendirme sayıları	10
Çizelge 2.3. Çeşitli malzemeler için baskı plakası basıncı.....	13
Çizelge 2.4. Silindirik çekmelerde malzemelerin cinsine göre çekme hızları.	14
Çizelge 2.5. Malzemelerin cinsine göre müsaade edilen maksimum % çekme azalma oranları.	14
Çizelge 2.6. Derin çekme kuvvetinin hesaplanmasında d/D oranına bağlı olarak m değerleri.....	15
Çizelge 2.7. Derin çekme derinliğinin hesaplanmasında x değerleri.....	16
Çizelge 2.8. Kare ve dikdörtgen biçimli kapların tek operasyondaki çekme faktörü, (0,71 Vr/h).....	19
Çizelge 2.9. Dikdörtgen ve kare çekmede, çekilen kap derinliğinin genişliğine oranı, (h/w)	20
Çizelge 2.10. Dikdörtgen ve kare çekmelerdeki C alanına ait kap kavis yarıçapı faktörü	26
Çizelge 2.11. Dikdörtgen ve kare çekmelerde çekme derinliği	28
Çizelge 2.12. Dikdörtgen ve kare çekmelerde çekme sayısı.....	28
Çizelge 2.13. Çok noktalı şekillendirmenin çeşitleri	36
Çizelge 3.1.Erdemir 7114 derin çekme sacının kimyasal kompozisyonu.....	45
Çizelge 3.2. Deney numunesinin mekanik özellikleri.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgler</u>	<u>Açıklama</u>
S	Çekme çapının yüzeyi, mm ² .
D	Çekme sacının çapı, mm.
w	Çekme aralığı, mm.
R	Çekilecek sac malzemenin köşe kavis yarıçapı, mm.
r	Çekilen kare veya dikdörtgen kabın köşe kavis yarıçapı, mm.
σ_b	Sac malzemenin eğilme gerilimi, kg/mm ²

Kısaltmalar

MPF	Multi Point Forming
MPD	Multi Point Die
BSD	Biçimlendirme Sınır Diyagramı

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte, üretim tarzı ve endüstrinin düzeyi de gelişmektedir. Metal levhaların şekillendirme metotları konvansiyonel şekillendirmeden şimdi bir adım daha ileriye giderek endüstriyel bir devrim oluşturmuştur. Preslerin ve metal kalıpların kullanılması elle metal işleme devri bitmiş ve seri üretim devri başlamıştır. Şimdi daha gelişmiş bir esnek üretim metoduna bilgi devrimi vasıtasıyla girilmektedir. Çok noktalı şekillendirme[1,2] esnek bir biçimlendirme yöntemidir. Metal levhaların üç boyutlu yüzeylerinin şekillendirilmesinde kullanılabilir.

Metal levhaların derin çekme yöntemiyle imalatında birçok problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemlerin başında imalatı gerçekleştirilecek olan kalıbın tasarlanması ve bu kalıbın imalat maliyetinin fazla olması gelmektedir. Ayrıca kompleks şekilli parçaların derin çekilmesinde de bir çok problemlerle karşılaşmaktadır. Çok noktalı şekillendirme yönteminin esnekliği sayesinde hem kalıp maliyeti azaltılabilmekte hem de kompleks biçimli malzemelerin imalatı kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Çok noktalı şekillendirme yöntemiyle kalıp maliyetinin azalmasının yanı sıra kalıbın imalatı için gerekli süreden de tasarruf edilmektedir.

Değişken şekilli kalıp düşüncesi kalıp tasarımındaki maliyetlerin azaltılmasında her zaman cazibeli bir araçtır [3]. Çok Noktalı Kalıp (MPD)' in esnekliğinden ve Çok Noktalı Biçimlendirme MPF'deki şekillendirme tarzının değişkenliğinden dolayı, bu teknik büyük boyutlu derin olmayan yüzeysel levha benzeri kısımların şekillendirilmesindeki en uygun yöntemdir [4].

Bu çalışmada konvansiyonel yöntemlerle derin çekme işlemi ve çok noktalı biçimlendirme işlemi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Yapılan deney içinde konvansiyonel yöntemle derin çekme işleminde problemlerle karşılaşılacak parça modeli seçilmiş ve yapılan deneyler sonucunda da bu modelin imalatı başarıyla gerçekleştirilmiştir.

2. DERİN ÇEKME

2.1. Derin Çekmenin Tanımı

Sac metallerin biçimlendirilmesinde birçok yöntemler kullanılmaktadır. Biçimlendirme; sac metallere üzerinde herhangi bir kesme işlemi yapılmadan eğme ve bükme gibi basma suretiyle yapılan işlemleri ifade eder. Çekme işlemi ise bir grup biçimlendirme işlemlerinden meydana gelmektedir. Çünkü çekilen parçaya istenilen şekil kesilerek değil de kompleks bir eğme ve bükme işleminin sonucunda verilmiş olur. Çekme işlemini diğer biçimlendirme işlemlerinden ayıran en önemli husus, çekilerek üretilen parçaların yan yüzeylerinin genellikle kesiksiz olarak devam etmesidir. Çekme işlemi, sac metal parçası üzerinde bütün biçimi boyunca devam eden plastik akmayla meydana gelmektedir [5,6].

2.2. Derin Çekme İşleminde İşlem Basamakları

Bugüne kadar yapılan deneyler ve bunların sonucu olarak elde edilen tecrübelerle rağmen, simetrik olmayan biçimdeki kapların çekme kalıplarıyla üretilmesi kolay olmamaktadır. Bu nedenle; iyi bir çekme kalıbı tasarımının yapılabilmesi için, tasarımı yapan kişinin çekme kalıpcılığı konusunda yeterli bilgi ve beceriye sahip olması ve aşağıdaki işlem basamaklarını göz önünde bulundurması gerekmektedir.

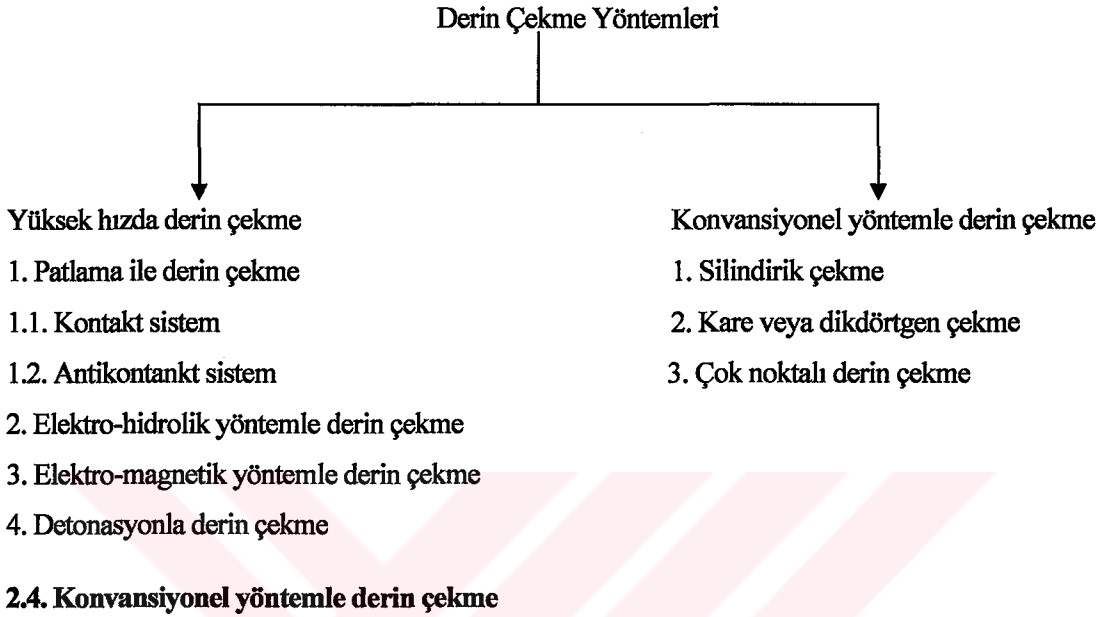
- 1 - Çekilmesi gereken parçanın tasarımı,
- 2 - Kaç kademe çekilebileceğinin planlanması,
- 3 - Çekme kalıplarının tasarımı,
- 4 - Çekme işleminde kullanılacak pres tezgahının seçimi,
- 5 - Mevcut çekme kalıplarının yapım yöntemleri ve çalışma prensiplerinin incelenmesi,
- 6- Üretimle ilgili doğabilecek bütün problemlerin göz önünde bulundurularak hazırlıkların yapılması gerekmektedir [5].

2.3. Derin Çekme Yöntemleri

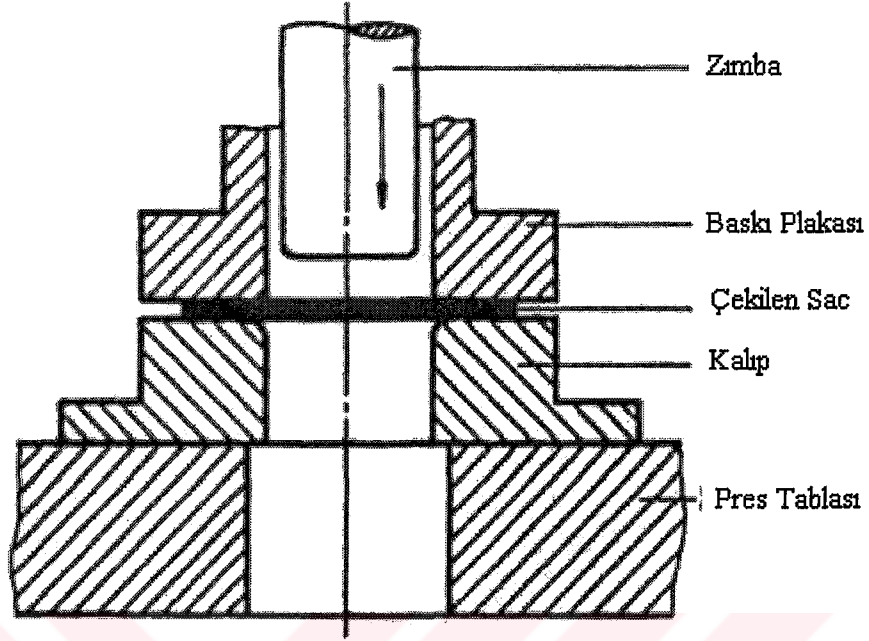
Günümüzde derin çekme yöntemi ile üretilen parçalar ilk olarak el çekici vasıtasıyla yapılmıştır. Çekiçte depolanan enerji, iş parçası üzerine aktarılarak parça şekillendirmeye çalışılmıştır.

Daha sonraki yıllarda büyük kütlelerdeki çekici yukarıya kaldırmak için su tekerlekleri ve makara sistemleri kullanılmış ve düşmeye bırakılan bu çekiç kütlelerinin enerjisiyle büyük parçalar şekillendirilmiştir. 1769 yıllarında buhar gücünden istifade edilmeye başlanıldığı yıllarda, buhar güçlü çekiçlerden, elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanmasıyla da mekanik ve hidrolik preslerden yararlanılmıştır. Ancak bütün bu yöntemlerde derin çekme işlemi düşük hızlarda

gerçekleştirilebilmektedir. 1898 yılından itibaren ise yüksek hızla işlem yapan patlama, elektro-hidrolik, elektro-magnetik ve sıkıştırılmış gazla şekillendirme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu gelişmelere göre derin çekme yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.



Konvansiyonel yöntemle derin çekme ile yüksek hızda derin çekme işlemi arasındaki en önemli fark çekme hızları arasında çok fazla fark olması ve yüksek hızla derin çekme işleminde zımbanın kullanılmamasıdır. Ancak bazı yüksek hızla derin çekme işlemlerinde zımba etkisi yapan kurşun ve benzeri tamponlar kullanılarak çekme hızı hariç tutulursa konvansiyonel metoda bir hayli yaklaşılmış olur. Şekil 2.1.'de konvansiyonel yöntemde kullanılan kalıp ve pres sistemi gösterilmektedir [6].



Şekil 2.1. Konvansiyonel sistemde kullanılan kalıp ve pres sistemi.

2.4.1. Silindirik derin çekme

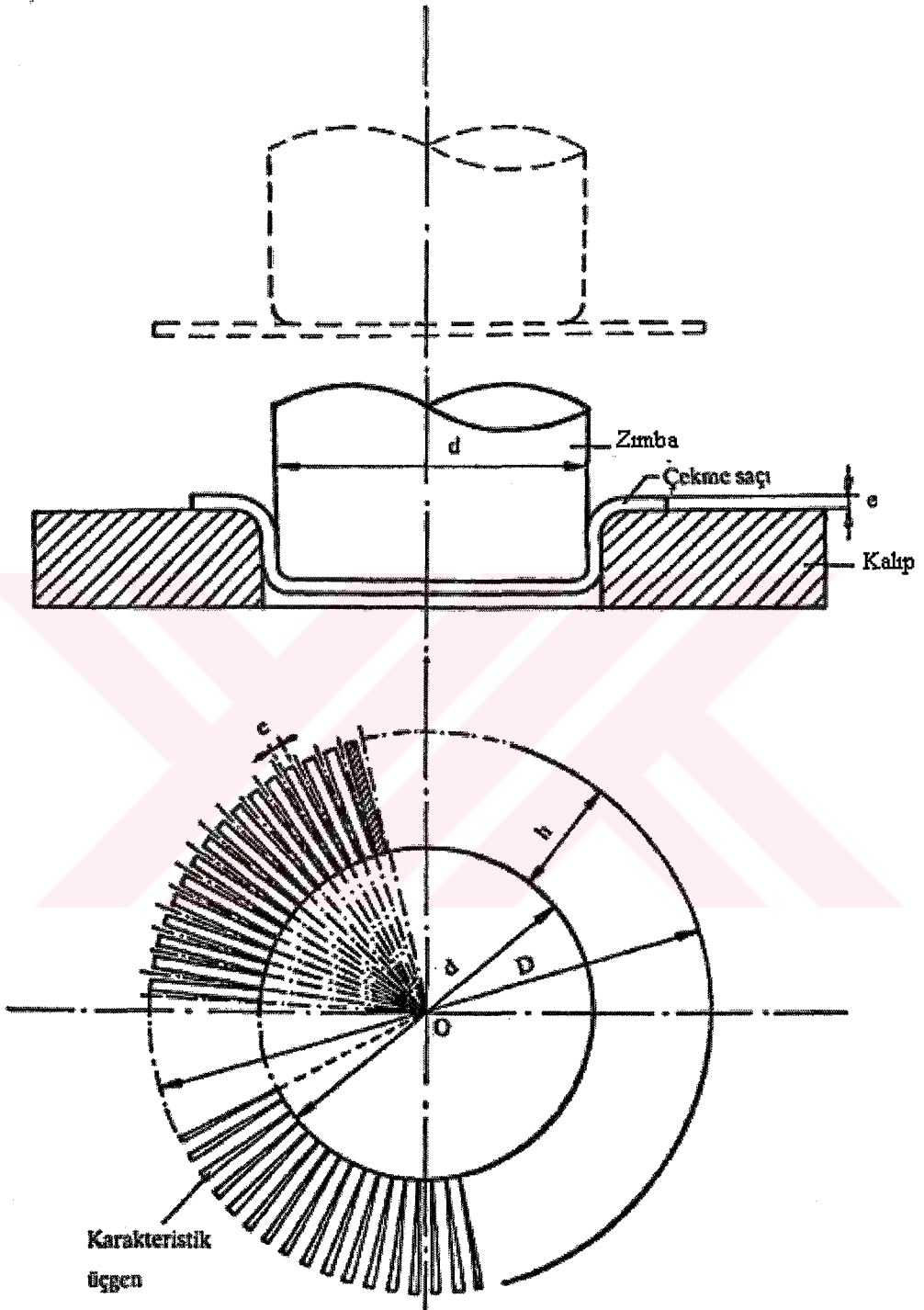
Silindirik çekmelerde, tahmini ve hesaplamalar sonucu bulunan değerler diğer basit kalıplama işlemlerine göre daha dikkatli incelenmelidir. İşlem sırası ve diğer çekme safhaları tasarımı yapılmayan çekme kalıplarıyla, hayati önem taşıyan parçaların kalıplanması mümkün değildir. Şekil 2.2’de silindirik bir kabın derin çekme yöntemi ile üretilmesi gösterilmektedir.

Bir silindirik kabın çekme kalıplarıyla üretilmesi düşünüldüğünde, önce kalıplanacak toplam parça sayısı göz önünde bulundurulur. Parça sayısının az olduğu hallerde basit kesme ve çekme kalıpları yapılmak suretiyle kalıp maliyeti minimuma indirilir. Kalıplanacak parça sayısı çok olduğu zaman kesme veya çentik açma, çekme ve tıraşlama ardışık kalıbı tasarımı yapılır. Bu işlem kalıp maliyetini artırır ancak, kalıplanacak parçanın seri üretimini de artırır. Uygun olmayan flanş veya kap ağzı ölçüleri değişimine sebep olan nedenlerden biri, çekme süresince metal malzemenin kalıp içerisindeki düzgün olmayan plastik şekil değiştirmesidir. Malzemenin plastik şekil değiştirmesine, dişi kalıp ağzı kavis yarıçapı veya zimba ucu kavis yarıçapı ölçüleri etki etmektedir. Bunların dışında, malzemenin plastik şekil değiştirmesine aşağıdaki belirtilen hususlar da etki etmektedir [5].

- 1 - Dişi kalıp, çekilen malzeme ve zimba arasındaki sürtünme katsayısının değişimi,
- 2 -Çekme kalıbında kullanılan baskı plakası kuvvetinin bütün yüzeylere eşit olarak dağılması,
- 3 - Kalıplanacak parçanın kalıp içerisine simetrik olarak yerleştirilmesi,
- 4 -Kalıplanacak parçanın hadde yönünün çekmeye etkisi ve bunun sonucu bazı kısımlarda uzamanın fazla, bazı kısımlarda ise az oluşudur. Bu da çekilen kabın yırtılmasına sebep olur.
- 5 - Kademeli çekmelerde hesaplamaların tam olarak yapılmaması ve benzeri etkenleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Şekil 2.3'de silindirik derin çekme yöntemiyle derin çekme işleminin dört ayrı kademesi görülmektedir.

- a. D çapındaki çekme sacı kalıp üzerine yerleştirilir.
- b. Baskı plakası ve zimba aşağıya doğru hareket eder. Baskı plakası zimbadan önce çekme sacına değerek onu kalıp üzerine bastırır.
- c. Zimba, çekme sacına temas ederek onu kalıp deliğine iter.
- d. Derin çekme işlemi bittikten sonra zimba ve baskı plakası yukarıya çıkar, elde edilen kap pres tablasından alınır.



Şekil 2.2. Silindirik bir kabın derin çekme yöntemi ile üretilmesi.

2.4.1.1. Çekme sacı çapının hesaplanması

Derin çekme sırasında sac kalınlığının değişmediği kabul edilirse, derin çekilerek elde edilen kabın yüzeyi (S) ile çekme sacının yüzeyi (S₁) eşit olmalıdır. Dolayısıyla, çekme sacının çapı D ile gösterilirse;

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4} = S \quad (2.1)$$

bu formülden;

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} S} \quad (2.2)$$

bulunur. Derin çekme ile elde edilecek kap elemanlara ayrılarak bu elemanların yüzeylerinin toplamı ΣS ile gösterilirse, çekme sacı çapının



$$D = \sqrt{\Sigma \left(\frac{4}{\pi} S \right)} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanması en uygun yoldur. Çeşitli kap şekilleri için D değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [6].

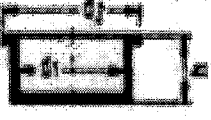

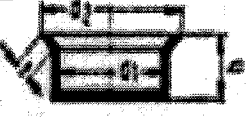









2.4.1.2. Çekme kademelerinin tespiti

Derin çekme sırasında sac pekleşir. Pekleşme ise derin çekmede kap yüksekliğini sınırlayan bir faktördür. Diğer bir deyimle, derin kaplar bir işlemde çekilemezler. Sünek metaller derin çekmeye en uygun olanlardır.






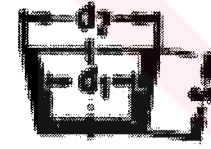
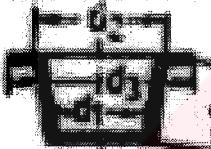

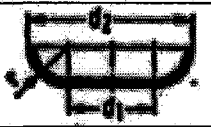




Çizelge 2.1. Çeşitli kap şekilleri için D değerleri [6].

Kap Şekli	Çekme Sacı Alanı
	$\sqrt{d^2 + 4dh}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$

Çizelge 2.1. (devamı)

	$\sqrt{d_1^2 + 4d_1h}$
	$\sqrt{d_3^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4d_1h_1 + 2t(d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2 + h_2) + 2t(d_2 + d_3)}$
	$\sqrt{2d^2} = 1.414d$
	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
	$1.414\sqrt{d_1^2 + t(d_1 + d_2)}$
	$1.414\sqrt{d^2 + 2dh}$
	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1h}$
	$1.414\sqrt{d_1^2 + 2d_1h + t(d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d^2 + 4h^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4h^2}$

Çizelge 2.1. (devamı)

	$\sqrt{d_2^2 + 4h^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4(h_1^2 + d_1 h_2)}$
	$\sqrt{d^2 + 4(h_1^2 + d_1 h_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4h^2 + 2t(d_1 d_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4(h_1^2 + d_1 h + \frac{t}{2}(d_1 + d_2))}$
	$\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 2[s(d_1 + d_2) + 2d_2 h]}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28rd_1 + 8r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28rd_1 + 8r^2 + d_3^2 - d_2^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28rd_1 + 8r^2 + 4d_2 h + d_3^2 - d_2^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28rd_1 + 8r^2 + 2t(d_2 + d_3)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28rd_1 + 8r^2 + 4d_2 h + 2t(d_2 + d_3)}$

İlk kademede elde edilecek kabın iç çapı d_1 , çekme saçı çapı D ise;

$$d_1 = m_1 D \quad (2.4)$$

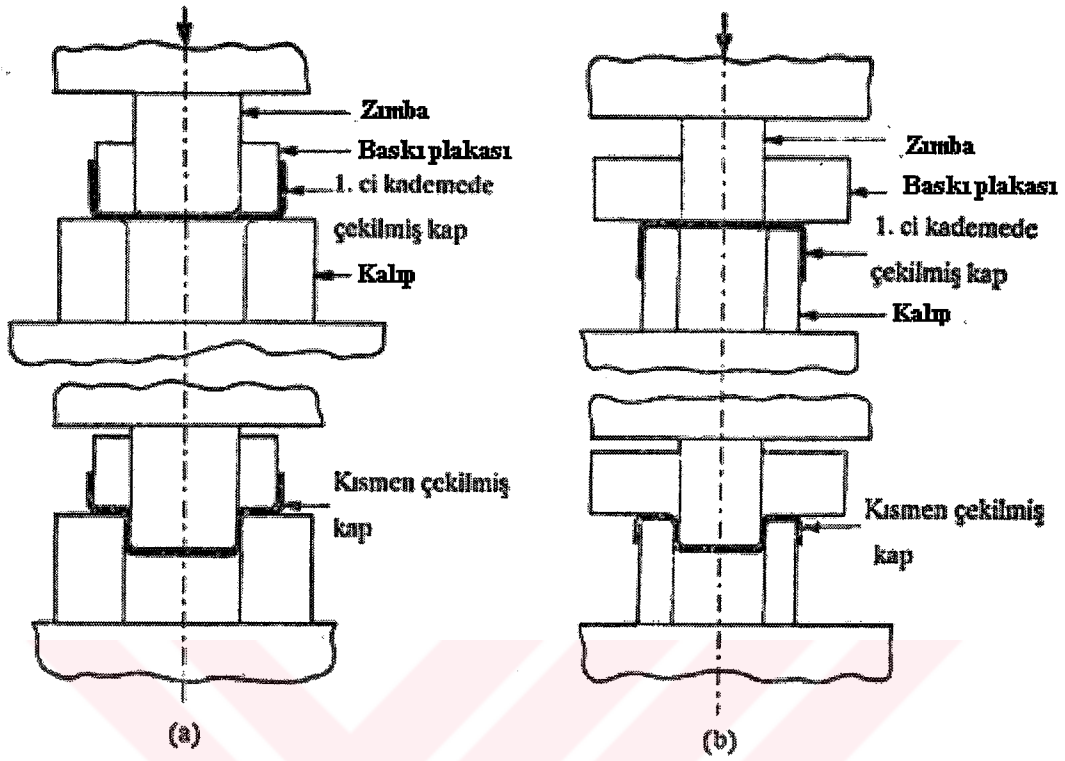
ve ikinci ve daha sonraki kademeler için de kap çapı

$$d_n = m_n d_{n-1} \quad (2.5)$$

olarak hesaplanır. Kademelendirme sayısı olarak adlandırılan m değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Şekil 2.3'de ise silindirik bir kabın ikinci ve/veya daha sonraki bir kademede derin çekilmesiyle ilgili iki örnek görülmektedir [6].

Çizelge 2.2. Çeşitli malzemeler için kademelendirme sayıları [6].

	Baskı plakalı Çekme		Baskı plakasız Çekme
	m_1	m_n	$m_1 = m_n$
Çelik sac (kalınlık < 2 mm)	0,56	0,80	0,90...0,93
Çelik sac (kalınlık > 2 mm)	0,56	0,83	"
Pirinç, Bakır, Gümüş (kalınlık < 2 mm)	0,50	0,75	"
Pirinç, Bakır, Gümüş (kalınlık > 2 mm)	0,52	0,75	"
Çinko	0,75	0,91	"
Alüminyum (kalınlık < 2 mm)	0,55	0,80	"
Alüminyum (kalınlık > 2 mm)	0,55	0,83	"
Paslanmaz çelik	0,60	0,80	"



Şekil 2.3. Silindirik bir kabın ikinci ve/veya daha sonraki bir kademedeki derin çekilmesi,
(a) Alışlagelmiş yöntem, (b) Ters çekme.

2.4.1.3. Çekme derinliği

Çekilen kabın çekme derinliğinin de hesaplanması gerekmektedir. Ancak bu hesaplamayı, flanşsız kaplar için aşağıdaki formüllerle yapmak daha uygundur.

$$\text{Flanşsız kaplar için çekme çapı} = D = \sqrt{d^2 + 4dh}, \text{ mm} \quad (2.6)$$

$$\text{Bu formülden yararlanılarak çekme derinliği} = h = \frac{(D^2 - d^2)}{4d} \text{ mm} \quad (2.7)$$

$$n \text{ çekme sayılı kaplarda çekme derinliği} = h_n = \frac{d_{(n-1)}^2 - d_n^2}{4d_n}, \text{ mm} \quad (2.8)$$

$h_n = n$ defa çekilen kap derinliği, mm [5].

2.4.1.4. Baskı plakasıyla malzeme arasındaki boşluk

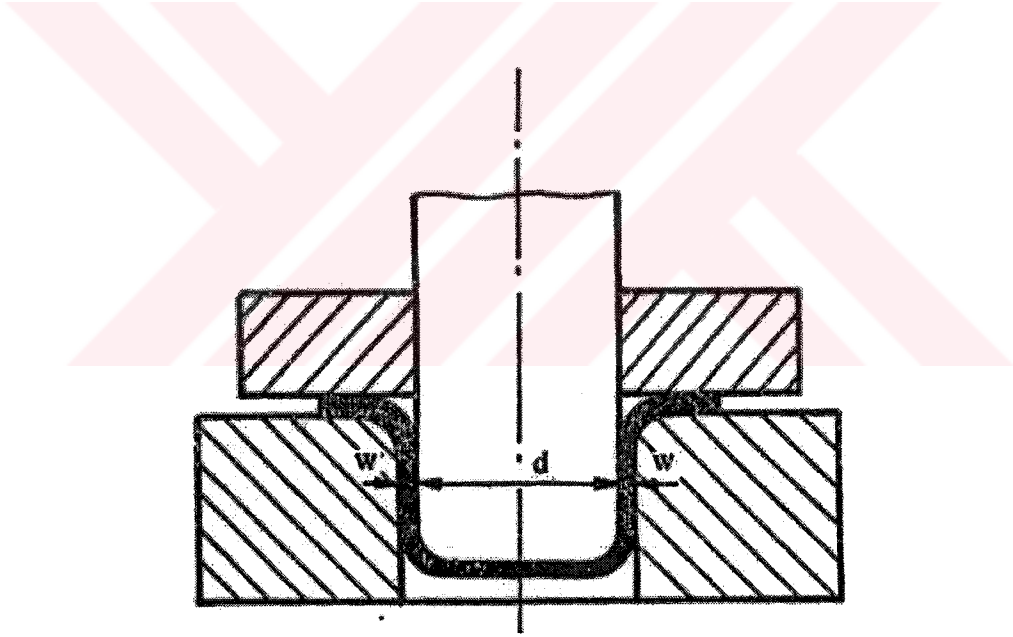
Çekme aralığı için Şekil 2.4'te aşağıdaki ampirik denklemlerin kullanılması tavsiye edilmektedir [6].

$$\text{Çelik için} \quad w=e+0,07 \sqrt{10e} \quad (2.9)$$

$$\text{Alüminyum için} \quad w=e+0,02 \sqrt{10e} \quad (2.10)$$

$$\text{Isıya dayanıklı alaşımlar için} \quad w=e+0,20 \sqrt{10e} \quad (2.11)$$

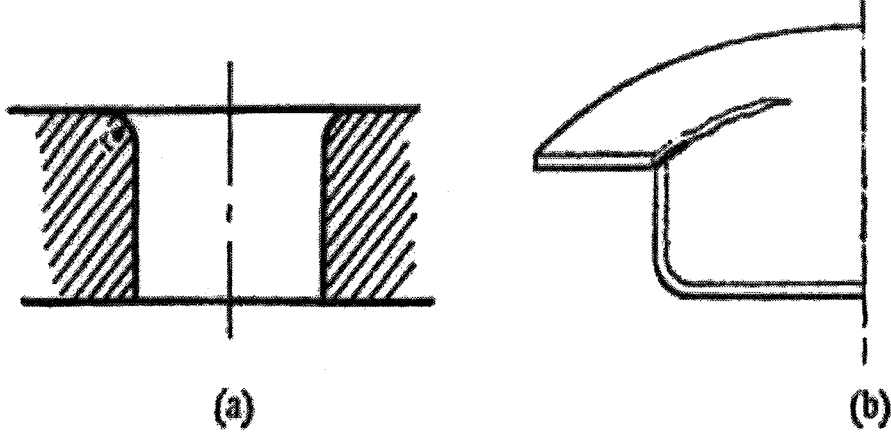
$$\text{Diğer demir dışı malzemeler için} \quad w=e+0,04 \sqrt{10e} \quad (2.12)$$



Şekil 2.4. Çekme aralığı.

2.4.1.5. Dişi kalıp ve zımba ucu kavis yarıçapı

Bir derin çekme takımından iyi sonuç alınmasında çekme kenarı yuvarlatmasının büyük etkisi vardır. Şekil 2.5.'de dişi kalıp ağzı ve zımba ucu kavis yarıçapı değerleri, daha önce hesaplanmış ve Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Pratikte, kavis yarıçapı değerleri büyük tutulur. Kavis yarıçapı değeri az olan çekme kalıplarında çekilen kap, çekme kuvvetinden dolayı yırtılır [1].



Şekil 2.5. (a) Çekme kenarının yuvarlatılması.(b) Çekme kenarı yuvarlatılmasının gereğinden küçük olması halinde kabın yırtılması.

Genellikle alüminyum malzemeler için kavis yarıçapı, saç kalınlığının 7 (yedi) katı kadar alınır. Kavis yarıçapı değeri, saç kalınlığının 4 katından az alındığında, kap ağzında malzeme yığılması meydana gelir ve kap yırtılmaya uğrar. Pratik uygulamalarda, zimba ucu kavis yarıçapı saç malzeme kalınlığının 4 ile 10 katı arasında alınır. Dişi kalıp kavis yarıçapı, saç malzeme kalınlığının 10 katı ve veya üzerindeki bir değerde (Örneğin:14T) seçilir.

2.4.1.6 Baskı plakası basıncı

Çeşitli malzemeler için gerekli baskı plakası basıncı Çizelge 2.3'de verilmiştir [6].

Çizelge 2.3. Çeşitli malzemeler için baskı plakası basıncı [6].

Malzeme	$p(N/mm^2)$
Alüminyum	0,981...1,18
Çinko	1,18...1,47
Düralüminyum	1,47...1,57
Paslanmaz çelik	1,96
Pirinç	1,96
Çelik	2,45
Kalaylı sac	2,9

Baskı plakası kuvveti ise, baskı plakası basıncının saçla baskı plakası arasındaki temas alanı ile çarpımıdır. Dolayısıyla birinci kademe için baskı plakası kuvveti,

$$P_p = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)p \quad (2.13)$$

denklemlerle hesaplanır. Burada D çekme saçının, d ise zımbanın çapıdır[2].

2.4.1.7. Çekme hızı

Çekme hızı, çekilen parçanın veya kabın düzgünlüğüne ve fiziksel özelliklerine etki eder. Genellikle çekme hızı; kap malzemesinin cinsine, kalınlığına, kalıbın yağlanmasına ve benzeri etkenlere bağlı pratik değerlere göre seçilir. Silindirik kaplar için malzemenin cinsine göre, deneyler sonucu bulunan ortalama değerler Çizelge 2.4 ve 2.5’de verilmiştir [5].

Çizelge 2.4. Silindirik çekmelerde malzemelerin cinsine göre çekme hızları [5].

Malzemenin cinsi	Çekme hızı, mm/dak		Parlatma hızı, m/dak
	Tek etkili	Çift etkili	
Alüminyum	56	33	-
Alüminyum alaşımları	-	10-12	-
Pirinç	66	33	25
Bakır	50	28	-
Çelik	20	10-18	8
Çelik (sert metal dişi kalıp)	-	20	-
Paslanmaz Çelik	-	6-10	-
Çinko	50	15	-

Çizelge 2.5. Malzemelerin cinsine göre müsaade edilen maksimum % çekme azalma oranları [5].

Malzemenin cinsi	Çaplar arasındaki azalma oranı, %	Çaplar oranı, D/d	Gerilme faktörü, G _f	Alanlar arasındaki azalma oranı, %
Alüminyum alaşımları	45	1,80	1,40	28
Alüminyum (ısıtılabilir)	40	1,60	1,30	23
Bakır	45	1,80	1,40	28
Bronz (ince)	50	2,00	1,50	33
Pirinç	50	2,00	1,50	33
Çelik (az karbonlu)	45	1,80	1,40	28
Paslanmaz Çelik	50	2,00	1,50	33
Çinko	40	1,60	1,30	23

2.4.1.8. Çekme kuvveti ve işi

Çekme kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$P_{\text{ç}} = \left[\sigma_b \pi d T \left(\frac{D}{d} - C \right) \right], \text{N} \quad (2.14)$$

$P_{\text{ç}}$ = Çekme kuvveti, N

D = Çekilecek kap malzemenin ilkel çapı, mm

d = Çekme çapı, mm

T = Saç malzeme kalınlığı, mm

$C = 0,6 - 0,7$ arasında sabit katsayı

σ_b = Saç malzemenin eğilme gerilimi, kg/mm^2

Derin çekme sırasında zımbanın uyguladığı maksimum kuvvet, birinci kademe için aşağıdaki basitleştirilmiş denklemlerle hesaplanır:

$$P_{\text{ç}} = \pi d e \sigma m \quad (2.15)$$

Bu ifadede, d zımba çapı, e saç kalınlığı, σ saçın çekme dayanımı, m ise d/D oranına bağlı bir katsayı olup Çizelge 2.6'de gösterilmiştir [6].

Çizelge 2.6. Derin çekme kuvvetinin hesaplanmasında d/D oranına bağlı olarak m değerleri [6].

d/D	0,55	0,575	0,60	0,625	0,65	0,675	0,70	0,725	0,750	0,775	0,80
m	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40

Baskı plakalı çekme kalıplarında toplam çekme kuvvetinin bulunabilmesi için baskı plakası kuvvetinin de ilave edilmesi gerekmektedir. Bunun için Çizelge 2.7'den yararlanılarak çekme kuvveti faktörü X_1 ile baskı plakasız çekme kuvveti ($P_{\text{ç}}$) çarpılır ve toplam çekme kuvveti bulunur.

$$P_T = P_{\text{ç}} \cdot X_1, \text{N} \quad (2.16)$$

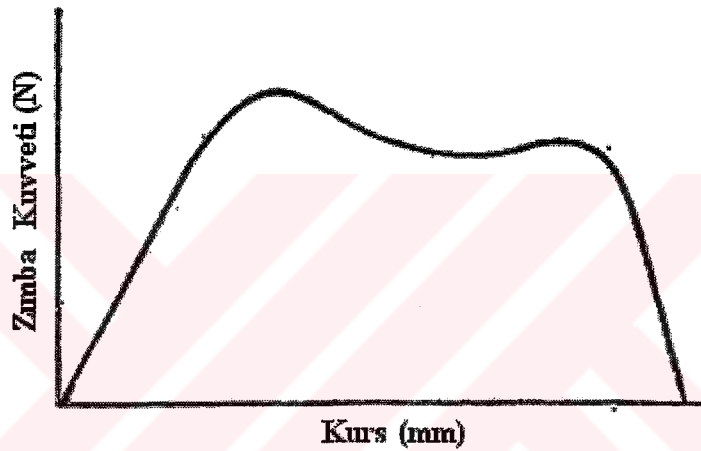
Çekme işi ise çift tesirli bir preste;

$$W = x.P_d.h \quad (2.17)$$

tek tesirli bir preste;

$$W = (x.P_d + P_p).h \quad (2.18)$$

denklemleriyle hesaplanır. Bu denklemlerde h çekme derinliği, x çekme kuvvetinin kurs sırasındaki değişimini Şekil 2.6'dan göz önüne alan bir katsayıdır ve Çizelge 2.7'de gösterilmektedir [2].



Şekil 2.6. Derin çekmede zımba kuvvetinin kursla değişimi.

Çizelge 2.7. Derin çekme derinliğinin hesaplanmasında x değerleri [6].

d/D	0,55	0,60	0,65	0,70	0,750	0,80
x	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64

2.4.2. Kare veya Dikdörtgen Çekme

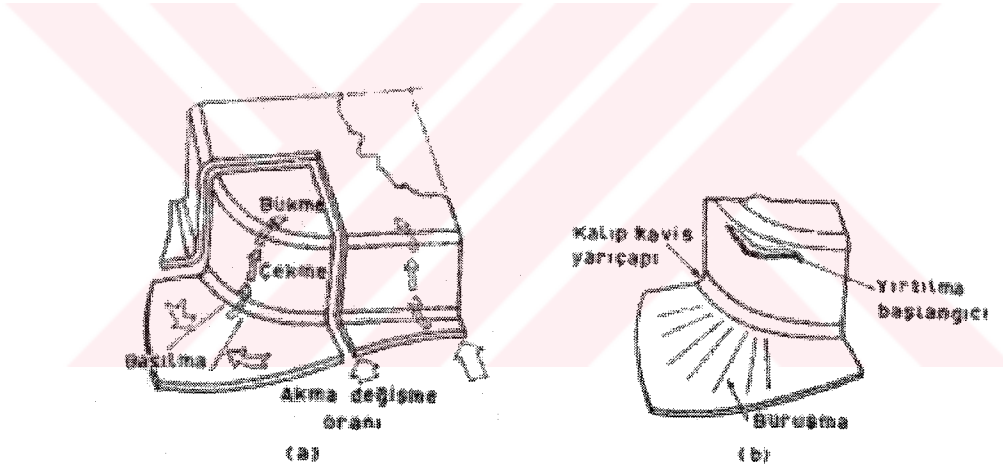
Derinliği uygun olmayan pek çok kare veya dikdörtgen biçimli parçaların üretimi, kalıp tasarımcısı tarafından arzu edilmez. Çünkü kare veya dikdörtgen biçimli derin kapların çekimi oldukça zordur ve üretim maliyetini artırır. Kare veya dikdörtgen çekme kalıplarıyla banyo tüpü, lavabo teknesi, gaz bidonu veya tenekesi, motor yağ karteli, buzdolabı buzluk tepsisi ve bunlara benzer pek çok parçalar çekilmektedir.

Kullanma yerinin çok olmasına rağmen kare veya dikdörtgen çekme yerine, kalıp tasarımı kolay ve ucuz, ayrıca çekme süresince çekilen kapta yırtılma ve buruşmanın az oluşu nedeniyle silindirik çekme tercih edilir.

2.4.2.1. Köşe çekme

Kare veya dikdörtgen biçimli kapların çekilmesinde, çekilecek parçanın köşe kavislerinde eğilme, çekilme ve basılma gerilimleri meydana gelir. Bu durum Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

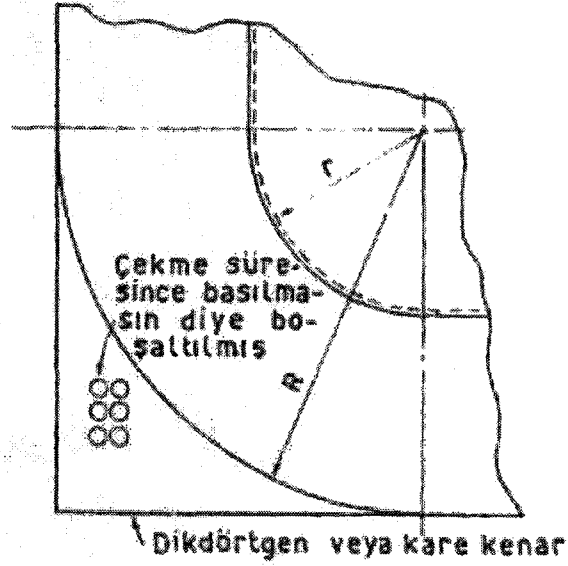
Silindirik çekme kalıplarında olduğu gibi, kare veya dikdörtgen çekme kalıplarında da baskı plakası kullanılmak suretiyle köşe çekmelerde meydana gelecek buruşma önlenir. Ancak, kap malzemesinin kalınlığı, çekme gerilimi ve kalıp kavis yarıçapına göre baskı kuvveti ayarlanır. Baskı kuvvetinin çok olması halinde Şekil 2.7-b’de görüldüğü gibi çekilen kabın köşesinde yırtılma meydana gelir.



Şekil 2.7. Kare veya dikdörtgen kapların köşe analizi.

2.4.2.2. Köşe kavisleri arasındaki yüzde (%) azalma oranı

Silindirik çekmede olduğu gibi kalınlığı fazla olmayan malzemelerden çekilen kabın köşe kavislerinde buruşma meydana gelir. Bu nedenle, köşe kavis yarıçapı büyük ve baskı kuvveti fazla alınır. Ayrıca, çekme süresince basılmaya uğrayan saç malzeme köşeleri boşaltılması Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Köşe kavis yarıçapları oranı.

Köşe kavis yarıçapları arasındaki yüzde (%) azalma oranı aşağıdaki formülle bulunur.

$$\text{Yüzde (\%) azalma oranı} = \frac{R - r}{R} 100 \quad (2.19)$$

R = Çekilecek sac malzemenin köşe kavis yarıçapı, mm

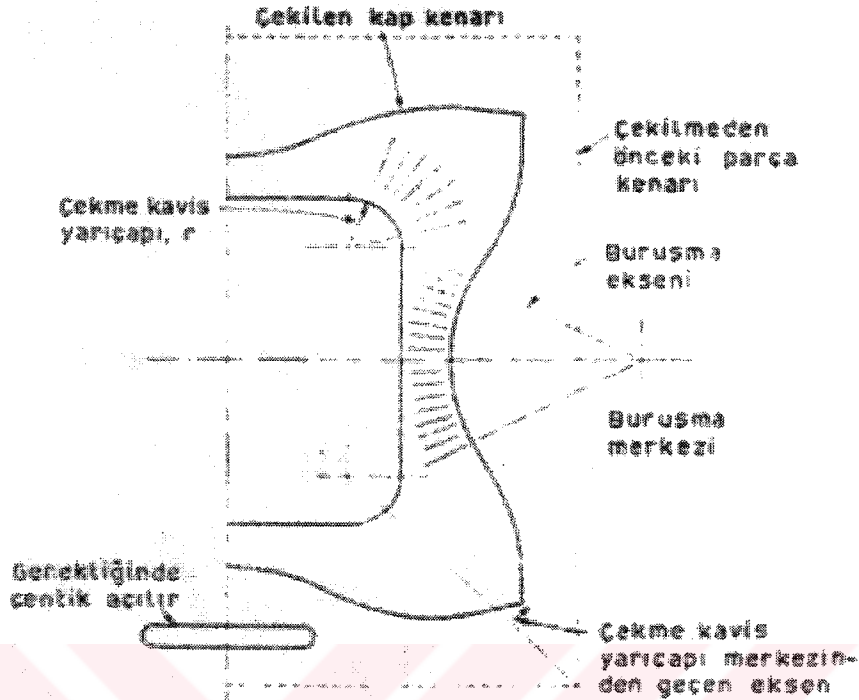
r = Çekilen kare veya dikdörtgen kabın köşe kavis yarıçapı, mm

Dikdörtgen ve kare çekmelerde, ilk çekme için köşe kavis yarıçapları arasındaki yüzde (%) azalma oranı hiç bir zaman % 50 yi geçmemelidir. Genel olarak ilk çekmelerde uygulanacak köşe kavis yarıçapları arasındaki yüzde (%) azalma oranı, % 30 civarında alınmalıdır.

İlk çekmelerde, çekme derinliği fazla olan kare ve dikdörtgen kaplarda, köşe kavis yarıçapları büyük tutulur.

2.4.2.3. Buruşma akma oranı

Kare ve dikdörtgen biçimli kapların köşe kavisleri ve yan yüzeylerdeki buruşma akma oranını bulabilmek için çekilen kabın kısmi kesiti alınır. Çekilen kabın köşe kavislerindeki akma oranı, yan yüzeylerdeki akma oranından daha fazladır. Bunun örneği Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Çekilen kap ağzı çevresindeki buruşma akma oranı.

2.4.2.4. Kare ve dikdörtgen çekmede kap boyutlarının hesabı

Kare ve dikdörtgen biçimli kapların çekilmesinde, çekilecek sac malzemenin köşe kavislerinde basılma, yan yüzeylerinde ise çekilme gerilmeleri meydana gelir. Köşe Kavis yarıçapları küçük kapların çekilmesinde, köşe yüzeylerinde meydana gelen basılmayan yüzeylerde çekmeden dolayı akan malzemenin de basılmasına sebep olur. Çekilen kabın köşe kavis yüzeylerinde meydana gelen basılma gerilimi, köşe kavis yarıçapının kap genişliğine oranına (r/w) bağlıdır. Çekilen malzemenin eğilme gerilimi ve buruşmaya karşı direnci, sac malzeme kalınlığının ilkel genişliğine (T/W) oranına göre değişmektedir. Kare ve dikdörtgen çekmelerde sac malzeme kalınlığının ilkel genişliğe oranına göre çekme faktörü ($0,71 s/F/h$), Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Kare ve dikdörtgen biçimli kapların tek operasyondaki çekme faktörü, ($0,71 Vr/h$) [5].

r/w	Sac kalınlığının ilkel genişliğine oranı, T/W			
	%2	%1	%0,6	%0,3
0,40	0,40	0,42	0,44	0,48
0,30	0,36	0,38	0,40	0,42
0,20	0,33	0,34	0,36	0,38
0,10	0,25	0,25	0,25	0,25
0,05	0,15	0,15	0,15	0,15

Tek operasyonlu kare ve dikdörtgen biçimli kapların çekilmesinde, derinliğin çekilen kap genişliğine (h/w) oranı değerleri Çizelge 2.9 de verilmiştir.

Çizelge 2.9. Dikdörtgen ve kare çekmede, çekilen kap derinliğinin genişliğine oranı, (h/w) [5].

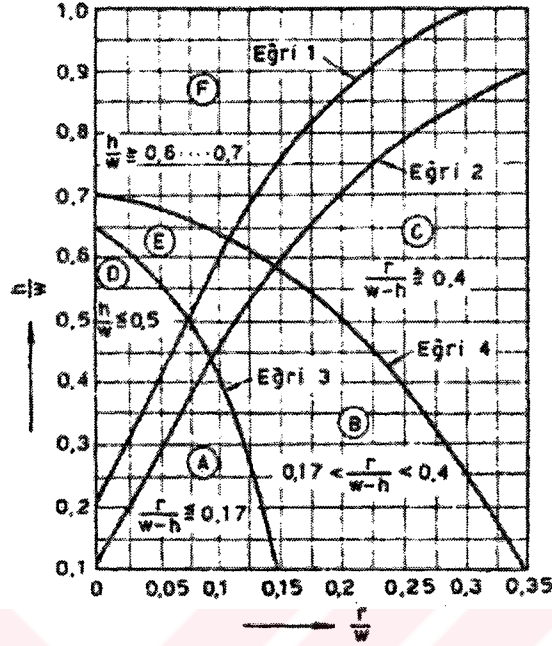
r/w	Tek operasyonlu çekmede (T/W) oranı, %			
	%2	%1	%0,6	%0,3
0,3	1,0	0,95	0,90	0,85
0,2	0,90	0,82	0,76	0,70
0,15	0,75	0,70	0,65	0,60
0,10	0,60	0,55	0,50	0,45
0,05	0,40	0,35	0,30	0,25

Çekme derinliğinin kap genişliğine oranı (h/w), köşe kavis yarıçapının çekilen kap genişliğine (r/w) ve saç malzeme kalınlığının ilkel genişliğine (T/W) oranına bağlı olarak değişmektedir.

Biçim kabın kaç kademede çekilebileceğine, çekme derinliğinin kap genişliğine (h/w) ve iç yüzey köşe kavis yarıçapının kap genişliğine (r/w) oranları etki etmektedir. Şekil 2.10 daki 2. eğriye ait A, B ve C alanları içerisindeki çekme işlemlerinin tek operasyonda yapılabileceğini göstermektedir. 1. eğri üzerindeki D, E ve F alanları içerisindeki konumlarda, çekme işleminin iki veya daha fazla operasyonlarda yapılabileceği belirtilmektedir. 1. ve 2. eğriler arasında kalan konumlardaki çekme işlemlerinin tek operasyonda yapılabileceği gibi çekme işleminin garantili olabilmesi için iki operasyonda da yapılabilir.

A, B ve C alanları içerisine düşen çekmelerde,saç malzeme kalınlığının genişliğine oranı (T/W), % 0,6' dan fazla olmamalıdır.

D, E ve F alanları içerisine düşen çekmelerde, saç malzeme kalınlığının genişliğine oranı (T/W), % 2 den küçük olmamalıdır.



Şekil 2.10. Dikdörtgen ve kare "biçimli kapların çekilmesine ait alan bağıntısı.

Yukarıdaki şekilde belirtilen her alan, çekilecek kapların özelliklerini açıklamaktadır. A alanı, iç yüzey köşe kavis yarıçapının küçük ve $[r/(w-h)]$ oranının 0,17 den fazla olmaması gereken kapların çekilmesinde kullanılır. Bu tip kalıpların çekilmesinde, köşe kavis yüzeylerinde meydana gelen basılma gerilimi, yan yüzeylere çok az yansımaktadır.

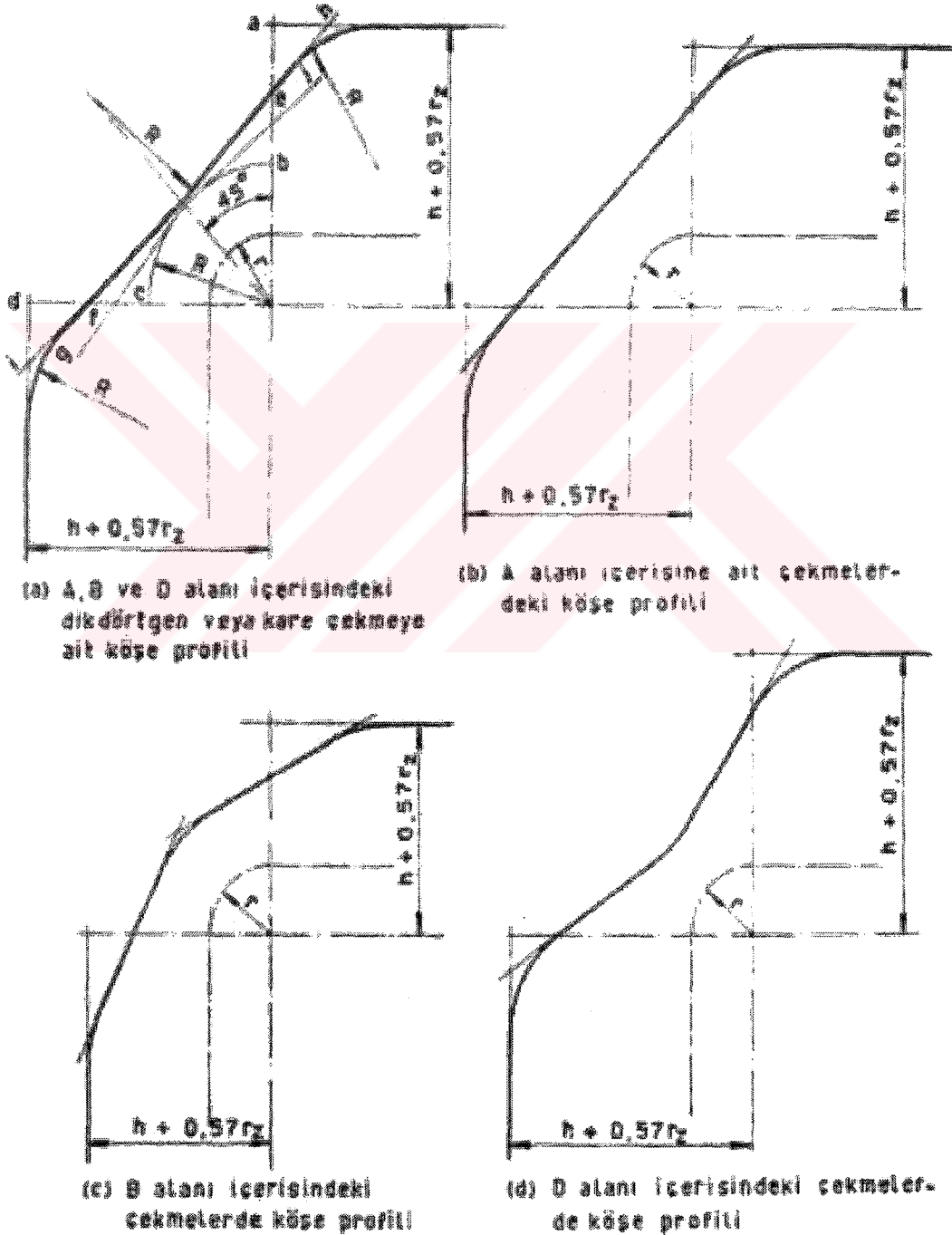
Bu nedenle, yan yüzeylerdeki çekme yüksekliği sabit tutulur. Köşe kısımlarında meydana gelen yığılma ise çekme işlemi zorlaştıracığından Şekil 2.11 de görüldüğü gibi boşaltılır.

Şekil 2.10 deki B alanı, orta büyüklükteki iç yüzey köşe kavis yarıçaplı ve $[r/(w-h)] = 0,17 - 0,4$ arasındaki çekmelerde uygulanır. Ancak bazı durumlarda köşe kavis yüzeylerinde meydana gelen basılma gerilimi, çekilen kabın taban yüzeyine yakın yerlerde yırtılmaya sebep olabilir. Şekil 2.11-c ve 2.12 de B alanı içerisine düşen çekmelerde, köşe kavis konumları gösterilmektedir.

Şekil 2.10 deki C alanı, orta ve büyük köşe kavis yarıçaplı ve $[r/(w-h)]$ oranının 0,4 den büyük olması gereken çekmelerde uygulanır. Bazı durumlarda yan yüzeylerdeki basılma gerilimi, çekilen kabın buruşmasına sebep olabilir. Geliştirilmiş olan iç yüzey köşe kavis yarıçapı uygulamasıyla bu durumun giderilebileceği yine Şekil 2.12'de gösterilmektedir.

Şekil 2.10'daki D alanı çekme derinliğinin genişliğine oranı (h/w) 0,65 den büyük ve köşe kavis profili Şekil 2.12-d'deki gibi olan çekmelerde uygulanır.

Şekil 2.10'daki P alanı, çekme derinliğinin genişliğine oranı (h/w) 0,7 den büyük olduğu durumlarda uygulanır.



Şekil 2.11. Dikdörtgen ve kare biçimli çekmelerde, çekilecek sac malzemenin köşe profilleri.

Şekil 2.11 ve 2.12'deki sembollerin açıklaması;

h = Çekme derinliği, mm

r_z = Zimba ucu kavis yarıçapı, mm

r = İç yüzey köşe kavis yarıçapı, mm

R = Çekilecek saç malzemenin köşe kavis yarıçapı, mm

h_w = Boyuna düzeltme miktarı, mm

h_1 = Enine düzeltme miktarı, mm

w = Çekilen kap genişliği, mm

l = Çekilen kap boyu, mm

R_c = Çekilecek saç malzemenin düzeltme köşe kavis yarıçapı, mm

R_w = Boyuna saç malzemenin düzeltme kavis yarıçapı, mm

R_1 = Enine saç malzemenin düzeltme kavis yarıçapı, mm

$w - 2r$ = I. başlangıç eksenleri arasındaki kap tabanı genişliği, mm

$l - 2r$ = I. başlangıç eksenleri arasındaki kap tabanı boyu, mm

A, B ve D alanları içerisine düşen ve çekilen kabın köşe kavis yarıçapı profili Şekil 2.11-a' daki gibi olan durumlarda aşağıdaki işlem basamakları aynen uygulanır.

1 - Dikdörtgen ve kare çekmelerde çekilecek kabın taban oturma yüzeyini oluşturan I. başlangıç eksenini çizilir ve kabın iç yüzey köşe kavis yarıçapı merkezleri belirlenir,

2 - Çekilecek kap genişliğinin bulunmasında yardımcı olan çekme derinliği ve çekilen kabın iç yüzey taban kavis yarıçapı ($h + 0,57 r_z$) bulunur.

3 - Çekilecek saç malzemenin köşe kavis yarıçapı (R), aşağıdaki formülle bulunur,

$$R = \sqrt{r^2 + 2hr - 0,86r_z(r + 0,16r_z)}, \text{ mm} \quad (2.20)$$

4 - I. başlangıç eksenleri kesim noktasından (R) yarı-çaplı kavisler çizilir ve eksenler üzerindeki kesişme noktaları (b) ve (c) işaretlenir,

5 - (ab) ve (cd) uzunluklarının orta noktaları (e) ve (f) işaretlenir. Bu noktalardan ve (R) kavisine teğet dan (gh) ve (ij) doğruları çizilir,

6 - (gh) ve (ij) doğruları ile kenar doğrularının açılı ortayı üzerinden (R) yarıçaplı kavisle köşeler birleştirilir.

P ve C alanları içerisine düşen çekmelerde çekilen saç malzeme, A alanı içerisine düşen çekmeye oranla daha fazla basılmaya uğrar. Bu durumlarda çekilecek parçanın köşe kavis yarıçapı

(R_c) kadar artırılır. Ayrıca çekilecek parça genişliğinden tek taraflı olarak (h_1) ve boyundan (h_w) kadar azalması Şekil 2.12 de gösterilmektedir.

Bu uygulamanın yapılabilmesi için aşağıdaki işlem basamakları aynen uygulanır;

1 - Yukarıda açıklanan 1, 2, 3 ve 4. maddedeki işlem sıralarına göre, çekilecek sac malzemenin köşe kavis profili çizilir. Eğer dişi kalıp köşe kavis yarıçapı zımba ucu kavis yarıçapından büyükse ($r > r_z$), II. başlangıç eksenini çekilecek sac malzemesi kenarından ($h + 0,57r_z$) kadar içeriden çizilir.

2 - Düzeltme köşe kavis yarıçapı (R_c) bulunur,

$$R_c = R [0,074 (R/2r)^2 + 0,982], \text{ mm} \quad (2.21)$$

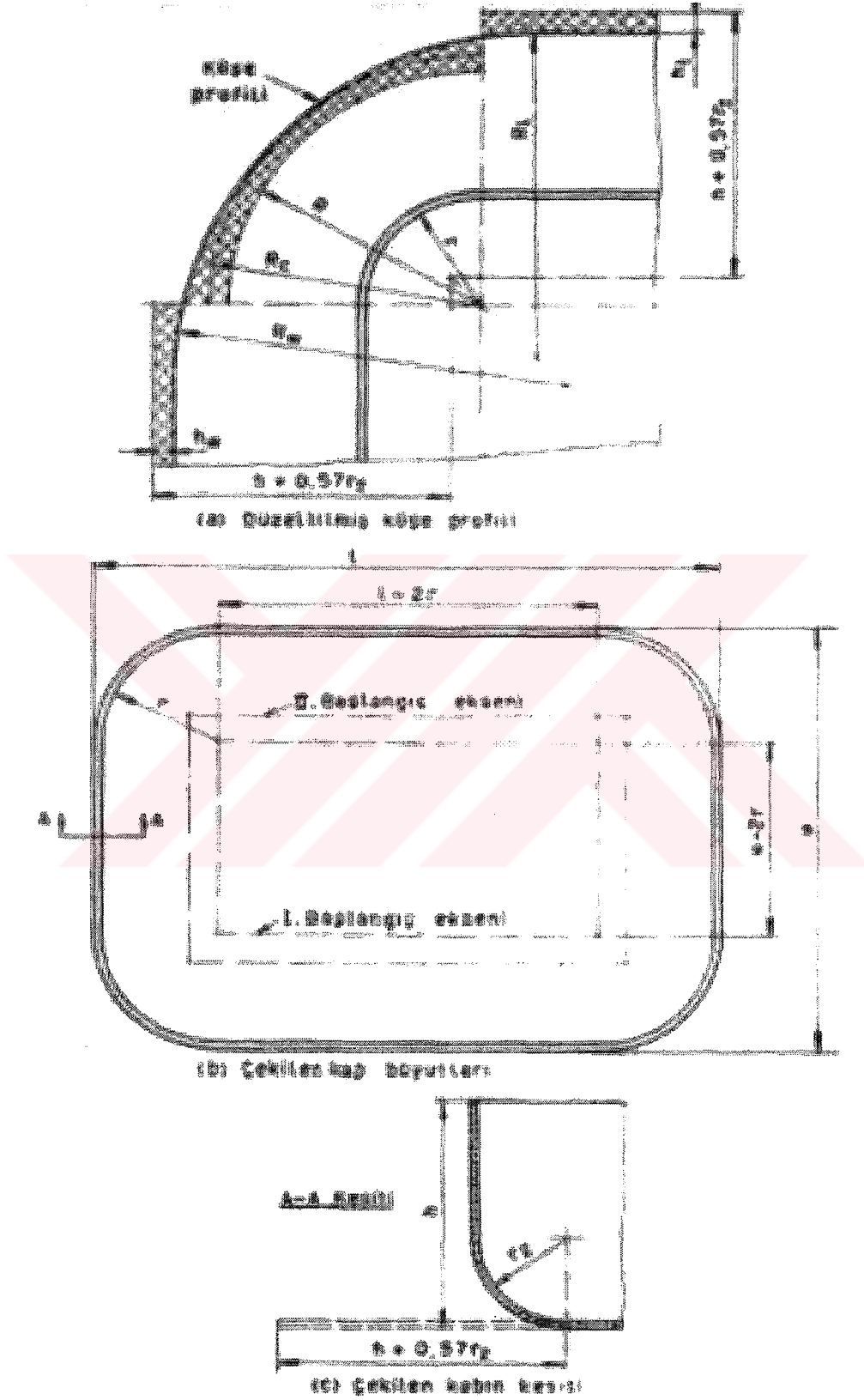
3 - Çekilecek parçanın genişliğinden ve boyundan tek taraflı olarak (h_w) ve (h) kadar çıkarılır,

$$h_w = yR^2/(w - 2r), \text{ mm} \quad (2.22)$$

$$h = yR^2/(l - 2r), \text{ mm} \quad (2.23)$$

Yukarıdaki değerlerin bulunmasında kullanılan kavis yarıçapı faktörü (y), Çizelge 2.10'dan alınır.

4 - R_c kavisine teğet (R_1) ve (R_w) yarıçaplı kavisler çizilerek çekilecek parçanın köşe kavis profili elde edilmiş olur.



Şekil 2.12. B ve C alanlarına ait çekmelerde, büyük yarı çaplı köşe düzeltme profili.

Çizelge 2.10. Dikdörtgen ve kare çekmelerdeki C alanına ait kap kavis yarıçapı faktörü, (y) [5].

r/w	h/w oranına göre kavis yarıçapı (y) faktörü			
	%2	%1	%0,6	%0,3
0,10	---	0,15	0,20	0,27
0,15	0,08	0,11	0,17	0,20
0,20	0,06	0,10	0,12	0,17
0,25	0,05	0,08	0,10	0,12
0,30	0,04	0,06	0,08	---

(h/w) oranı fazla C ve P alanları içerisine düşen kare çekmelerde, çekilecek saç malzeme yuvarlak olarak kesilir. Bu tip parçaların çapı aşağıdaki formülle bulunur.

$$D = 1,13 \sqrt{w^2 + 4w(h - 0,43) - 1,72r(h + 0,33r)} , \text{ mm} \quad (2.24)$$

D = Kare çekmede ilkel çap, mm

W = Çekilecek saç malzemenin genişliği, mm

L = Çekilecek saç malzemenin boyu, mm

w = Çekilen kap genişliği, mm

l = Çekilen kap boyu, mm

Dikdörtgen ve kare çekmelerde, çekilecek saç malzeme boyutları Şekil 2.13'den de yararlanılarak aşağıdaki formüllerle bulunur.

1 - İç yüzey köşe kavis yarıçapı (r) = zımba ucu kavis yarıçapına (r_z), $r = r_z$

Çekilecek saç malzemenin ilkel boyutları L ve W;

$$W = (w - 2r) + 2(h + 0,57r), \text{ mm} \quad (2.25)$$

$$L = (l - 2r) + 2(h + 0,57r), \text{ mm} \quad (2.26)$$

2 - İç yüzey köşe kavis yarıçapı (r), zımba ucu kavis yarıçapından büyük (r_z), $r > r_z$

$$W = (w - 2r) + 2(h + 0,57r_z), \text{ mm} \quad (2.27)$$

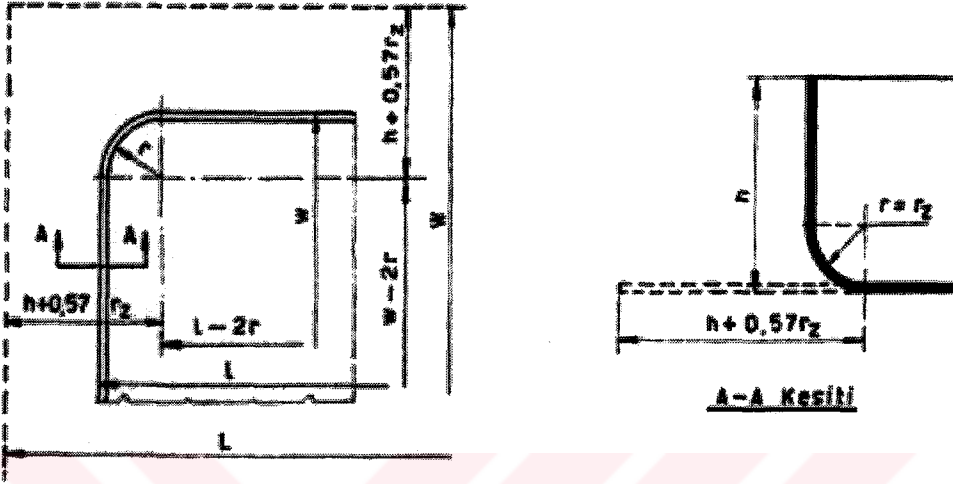
$$L = (l - 2r) + 2(h + 0,57r_z), \text{ mm} \quad (2.28)$$

Çekilen kap genişliği;

$$w = W - 2(h + 0,57r_z) + 2r, \text{ mm} \quad (2.29)$$

Çekilen kap boyu;

$$l = L - 2(h + 0,57r_z) + 2r, \text{ mm} \quad (2.30)$$



Şekil 2.13. Çekilecek malzeme ve çekilen kap boyutlarına esas ana ölçüler.

2.4.2.5. Dikdörtgen ve kare çekme kalıplarında, çekme kuvveti

Dikdörtgen ve kare çekme kalıplarındaki kalıplama kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$P_{\phi} = \sigma_b T (2\pi r C_1 + l C_2), \text{ N} \quad (2.31)$$

$$l_t = 2(l + w - 4r), \text{ mm} \quad (2.32)$$

P_{ϕ} = Çekme kuvveti, N

T = Saç malzeme kalınlığı, mm

r = İç yüzey köşe kavis yarıçapı, mm

l_t = Çekilen kabın ağız kısmındaki düz kenarların uzunluğu, mm

σ_b = Çekilen kap malzemesinin eğilme gerilimi, N/mm

$C_1 = 0,5$ sabit katsayı. Derin çekmelerde, derinliği köşe kavis yarıçapının 5 veya 6 katı olunca bu değer 2'ye kadar artırılır.

$C_2 = 0,2$ sabit katsayı, baskı plakalı kalıplarda bu değer 1'e kadar artırılabilir.

2.4.2.6. Çekme derinliği ve çekme sayısı

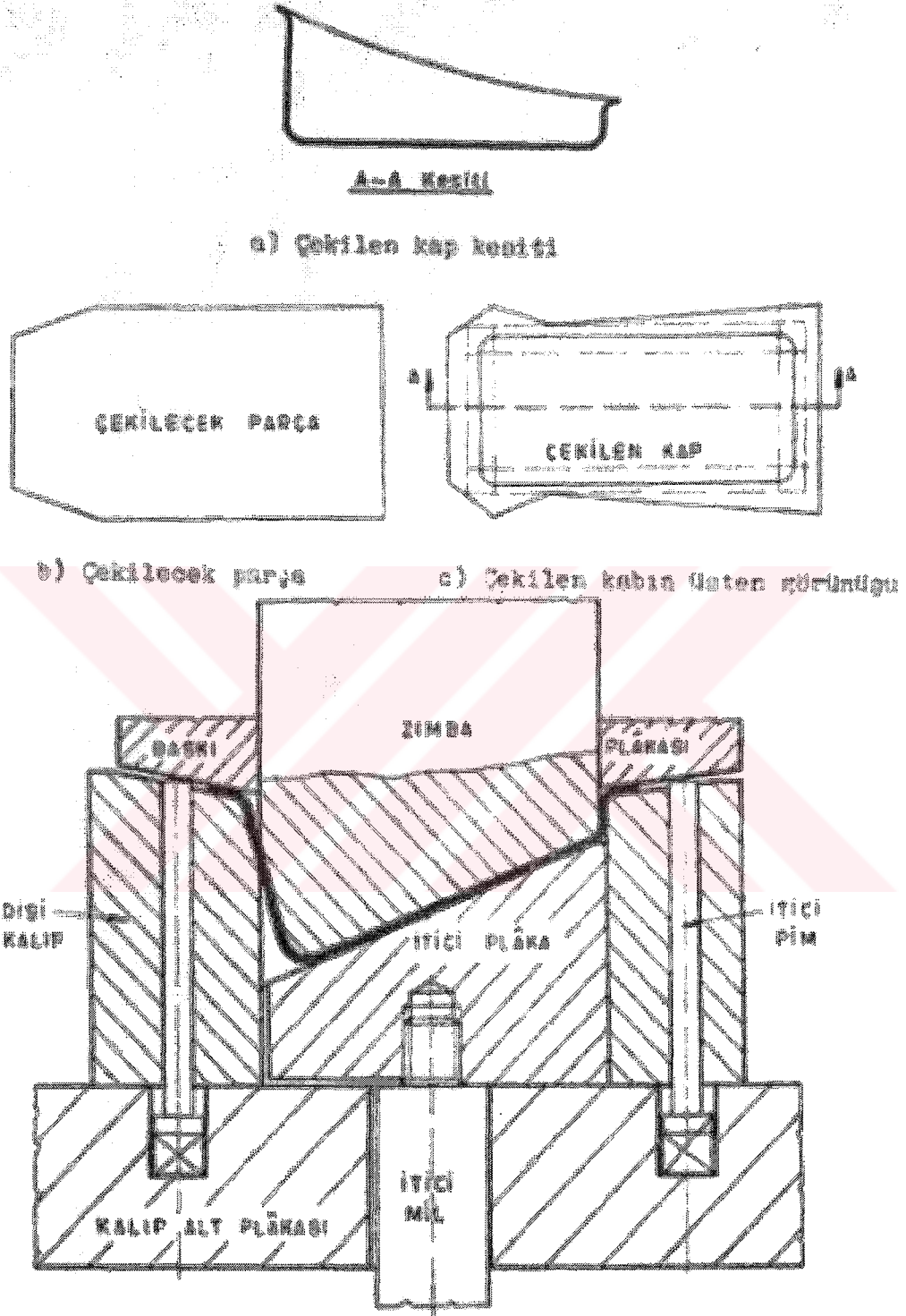
Dikdörtgen ve kare çekmelerde, çekme sayısına ve çekme derinliğine malzemenin cinsi, kalınlığı, dişi kalıp ağzı ve zımba ucu kavis yarıçapıyla çekilecek kabın iç yüzey köşe kavis yarıçapı etki etmektedir. Çizelge 2.11 ve 2.12’de çekme derinliğiyle çekme sayısı verilmiştir. Şekil 2.14’de derinliği farklı kare çekmenin şematik gösterimi yapılmıştır.

Çizelge 2.11. Dikdörtgen ve kare çekmelerde çekme derinliği [5].

Zımba kavis yarıçapı, r_2 , mm	Çekme derinliği, h , mm
2,5 - 5,0	25
5,0 - 10,0	38
10,0 - 13,0	50
13,0 - 19,0	75

Çizelge 2.12. Dikdörtgen ve kare çekmelerde çekme sayısı [5].

h/r_z	Müsaade edilen oran		Çekme sayısı
	Min.	Max.	
6	-	7	1
12	7	13	2
17	13	18	3
22	18	24	4



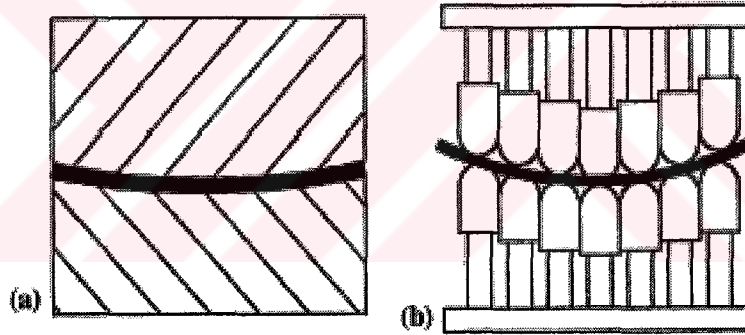
Şekil 2.14. Derinliği farklı kare çekme.

2.4.3. Çok Noktalı Derin Çekme

Otuz yıldan daha önce bazı araştırmacılar çok noktalı şekillendirmeyi deneme amaçlı bir fikir olarak ortaya sundular. O günden bu güne birçok akademisyen ve iş adamları bu konu üzerinde farklı çalışma ve araştırmalarda bulundular. Bununla beraber, çok noktalı şekillendirme de esnek üretimin tam verimli kullanılma karakteristiği yerine çalışmaların çoğu sadece metal kalıplardaki değişiklik üzerinde yoğunlaştı. Böylece şekillendirme karakteristiğinin birçok problemleri ortaya çıktı [1,4,7,8,9].

2.4.3.1. Metal levha için çok noktalı esnek biçimlendirme

Multi Point Forming (MPF) de, geleneksel katı kalıp Şekil 2.15-a'da gösterilen bir "eleman grubu" olarak isimlendirilen farklı elemanlarının bir serileri tarafından yerine geçti, her bir eleman bir zımbaya benzer Şekil 2.15-b. Pozisyonları ve her bir elemanın arasının hareketi MPF presleri tarafından bağımsız olarak kontrol edilir [2,10,11,12].



Şekil 2.15. Çok noktalı şekillendirmenin temel kavramları a. Kalıpla biçimlendirme b. Çok noktalı biçimlendirme [2].

2.4.3.2. Temel şekillendirme ve şekillendirme karakteristikleri

Çok noktalı şekillendirme de, temel elemanların şekli temel elemanların kontrolüyle eğri yüzeyin şekillendirilmesinde oldukça fazla etkiye sahiptir. Eğer temel elemanların kafaları düz ise, iş parçası neredeyse tamamen temel elemanın çizgisi ve açısıyla bağlantı halindedir ve birçok kusur ortaya çıkaracaktır. Temel elemanların hareketini kontrol etmek ve hesaplamak kolaydır, böylece zımba kafalarının şekli farklı eğri yüzeylerin şekillendirilmesini gerçekleştirmek için yuvarlaştırılabilir. Şekillendirme sürecinde malzemenin kalıcı şekil

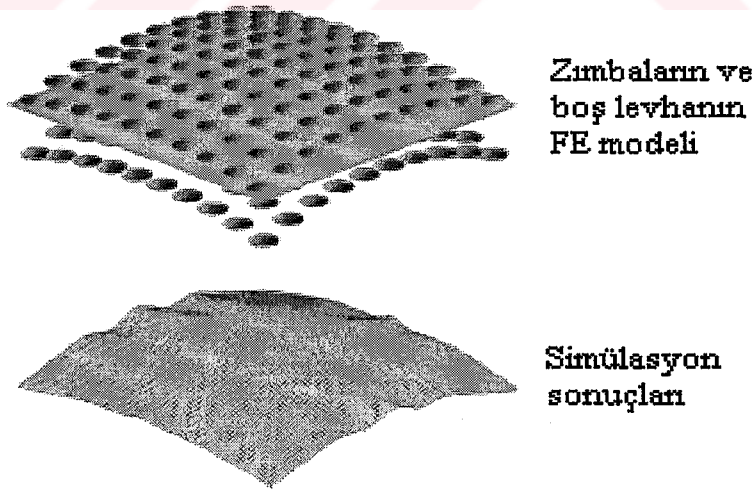
alabilmesi için zımba başlarına yeteri kadar basınç uygulanmalıdır. Bu yöntemle dokunma noktası gerçekte düz yüzde şekillenir [3,12,13].

2.4.3.3. Biçimlendirme kusurlarının tercihi ve kontrolü

Buruşukluklar ve çukurcuklar metal levhaların MPF sürecinde çok görülen tipik kusurlardır. MPF işleminde temas durumundan itibaren konvansiyonel yöntemden oldukça farklıdır. Buruşukluğun doğası yeni özellikler elde eder. Bir çukurcuk metal levhanın MPF sürecine özgü kusurdur ve bu kusur çok noktalı şekillendirmeden kaynaklanır. Bu çukurlar levha ve zımbaların arasındaki sürekli olmayan temastan kaynaklanmaktadır. Buruşukluklar ve çukurcuklar tasarımcıların MPF de üstesinden gelmeleri gereken problemlerdir.

Sayısal simülasyon işlemi MPF’de temas sınırlarının karmaşıklığından dolayı biçimlendirme hatalarını önceden belirlemekte efektif bir yoldur. Bir biçimlendirme işleminin sayısal simülasyonu konvansiyonel yöntemlerle biçimlendirmeden çok daha fazla karmaşıktır. MPF de zımbalar-levha-baskı plakası çift yüzlü temastadır.

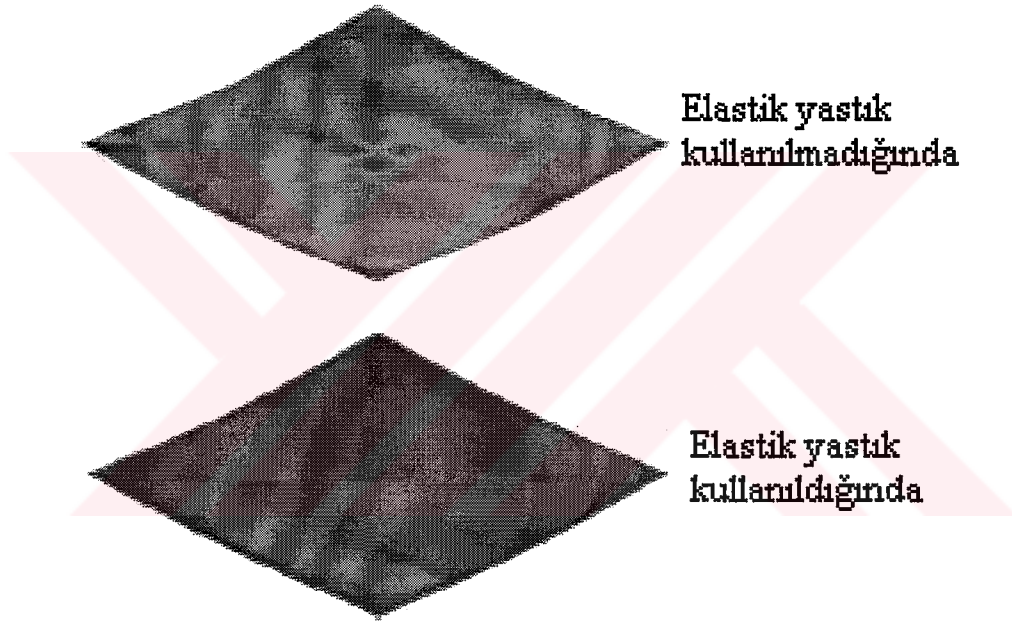
Resim 2.16.’da MPF’nin FE modeli ve buruşuklukların simülasyon sonuçları gösterilmektedir. MPF’de buruşukluklar MPF ile baskı plakası ile ya da MPF yolu deformasyonu tekniği tarafından yok edilir [14,15,16].



Şekil 2.16. MPF de eliptik şekillerin buruşukluğunun simülasyonu [15].

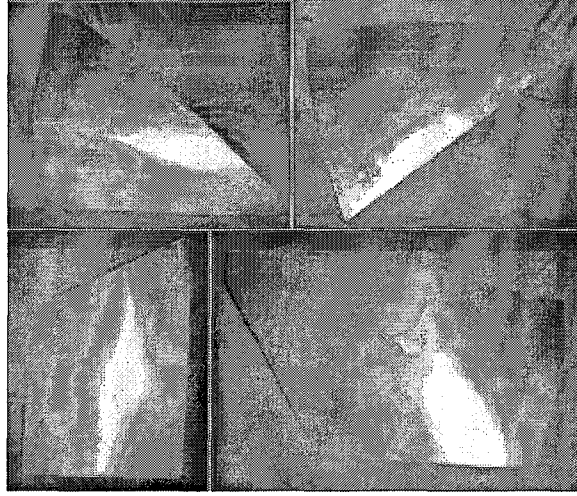
MPF’de zimbaların levhaya mevcut yoğun yüklemelerde ve sağlamca yeri tayin edilen levhanın deformasyonu yoğun bir yükleme yapıldığında çukurcuk bulunur. Çukurcuğu yok etmek yayma metodunda bu yüklemeler kaçınılmazdır. Elastik yastık metotta zimbalar ve levha arasında lastik ya da poliüretan pet kullanılır. Bu oldukça efektif yoldur.

Şekil 2.17.’de MPF içinde çukurcukla ve çukurcuksuz bir elastik yayılmanın simülasyon sonuçları gösterilmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki MPF ile bir elastik yayılma çukurcuğu yok etmekte mükemmel bir yöntemdir [17,18].



Şekil 2.17. MPF de buruşuklukların simülasyonu [18].

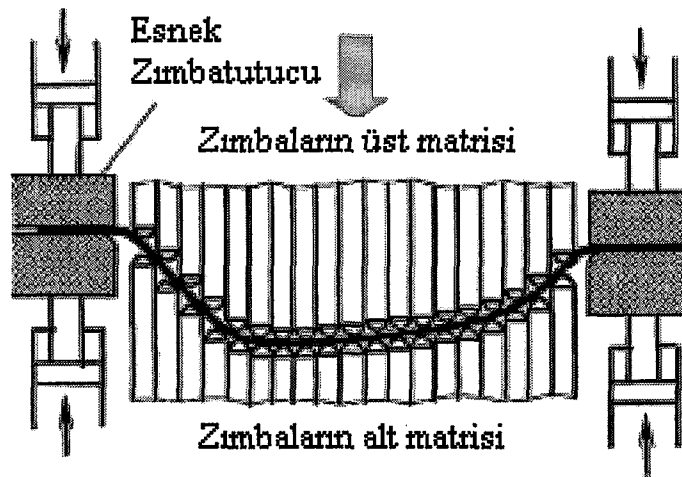
Şimdiye kadar araştırmacılar tarafından geliştirilen metal levha parçalarının yüzleri ile farklı kenarlar ve farklı ölçüler MPF sistemlerinde başarıyla imal edildi. MPF yöntemiyle imal edilmiş tipik parçalar Şekil 2.18.’de gösterilmiştir [17,18].



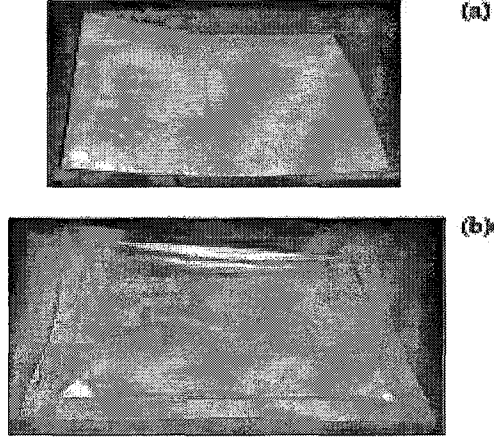
Şekil 2.18. MPF tarafından biçimlendirilmiş parçalar [17].

2.4.3.4. Metal levha ile baskı plakasının MPF'si

MPF de bazı yöntemlerle buruşukluk yok edilebilir. Bir MPF presi ile esnek baskı plakası karmaşık metal levha parçalar buruşukluk ve yırtılma kusurları olmadan üretimi geliştirilebilir. Metal levha ile baskı plakasının MPF sinin bir şematik diyagramı Resim 2.19'da gösterilmiştir. Yükseltici ve alçaltıcı baskı plakalarının her ikisi birkaç bölümün içine bölünür. Her bir bölüm orantılı ve ayrı ayrı servo değerler tarafından kontrol edilerek hidrolik silindirle sürülür. Bu yüzden boş levhaya baskı plakası gücü ihtiyaçları karşılamak için tatbiki olarak uygulanabilmiştir [19,20,21].



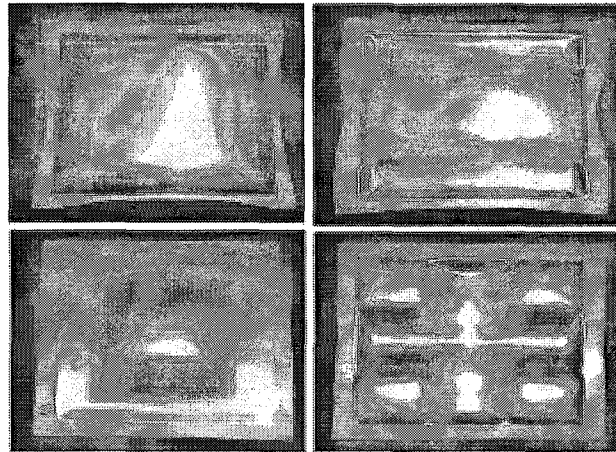
Şekil 2.19. Metal levhaların baskı plakası ile MPF'si [21].



Şekil 2.20. İki MPF metodu tarafından şekillendirilmiş eğer biçimli parçalar a. Baskı plakası ile b. Baskı plakası olmadan [22].

Şekil 2.20-a.'da MPF işleminde baskı plakasının sonucu buruşuklukları yok etmekte açıkça görülmektedir. Parça 1 mm kalınlığındaki alüminyum malzemeden ve kenarı eğer biçimindedir. Bu parçanın Şekil 2.20-b'de MPF'de baskı plakası olmadan ki durumu görülebilir. Son parçada ciddi buruşukluklar meydana gelir. Fakat buruşukluklar baskı plakası kullanıldığında tamamıyla yok edilebilir [22].

MPF ile baskı plakası üç boyutlu parçaların buruşukluk oluşmadan biçimlendirilmesinde etkin bir araçtır. Baskı plakası karmaşık metal levha parçalarının üretiminde çok kullanışlı olabilmektedir (Otomobil panellerinde). Şekil 2.21.' bu teknikle biçimlendirilmiş dört levha parçası görülmektedir [23].



Şekil 2.21. Baskı plakası ile MPF tarafından biçimlendirilmiş parçalar [23].

2.4.3.5. Çok noktalı şekillendirmenin çeşitleri

Zımbaların farklı kompozisyonları altı şekillendirme metodu sunar. Metotların dördü tipik ve pratiktir. Bunlar Çizelge 2.13'de görülebilir. Birincisi sabit zımbalara sahiptir bunlar şekillendirmeden önce yüzeyi şekillendirmek için uygun pozisyona ayarlanır. Şekillendirme boyunca zımbalar arasında hareket yoktur. Bu metal kalıp şekillendirmenin bir benzeridir, fakat metal kalıptan farklı pimlere ayırır. Bu çok noktalı metal kalıp şekillendirme olarak isimlendirilir.

İkincisi çok noktalı yarı metal şekillendirme olarak isimlendirilir. Pasif zımba ve sabit zımbanın birleşiminden oluşur. Şekillendirmeden önce, üst zımbalar (veya alt zımbalar) istenilen şekle göre ayarlanır. Şekillendirme boyunca zımbaların üst grubu hareket eder (zımbalar arasında nispi bir hareket yoktur). Metal kalıplama gibi hareket eder. Zımbaların alt grubu pasif olarak hareket eder. Şekillendirme operasyonun sonuna kadar diğer grubun sonuncu olarak pasif olarak hareket eder. Bu metodun esas özelliği kontrol edilen noktaların sayısı oldukça azalmıştır.

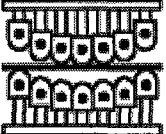
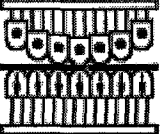
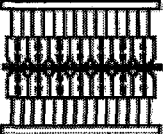
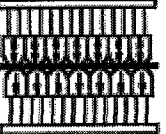
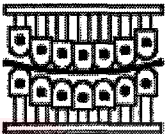
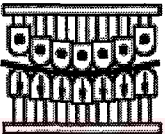
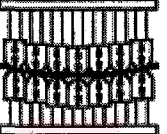
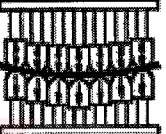
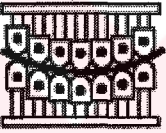
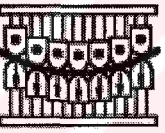
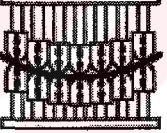
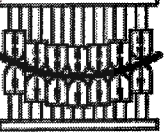
Metotların üçüncüsü bütün aktif (alt ve üst) zımbalardan oluşmaktadır. Şekillendirme zımbaları süreç boyunca uygun pozisyona göre ayarlanabilirler. Burada zımbaların ayarı işleme başlamadan önce değil işlem esnasındadır. Ürünün gerekli şekli alması için; zımbalar arasında nispi hareket vardır ve zımbaların her bir eşi küçük bir pres gibi çalışmaktadır. Böylece bu biçimdeki zımbalar çok noktalı baskı şekillendirme olarak adlandırılır. Bu metotta malzemeyi biçimlendirirken uygulanan güç durumu en iyi hale getiren esnek karakteristiği tamamen gösterebilir. Buna ek olarak biçimlendirme gerçekleşirken şekillendirme yolunu serbestçe değiştirerek en iyi şekli elde edebiliriz.

Dördüncüsü aktif ve pasif zımbalardan oluşmaktadır. Örneğin (i.e.) süreç boyunca, aktif zımbaların hareketi ihtiyaca göre kontrol edilirken, pasif zımba aktif zımbanın baskı gücüne doğru hareket etmesi için zorlanır. Bu çok noktalı yarı baskı şekillendirme diye isimlendirilir.

Biçimlendirme esnasında, çalışma parçasının üzerinden kuvvet kalktıktan sonra Düz olmayan şekillendirmeden kaynaklanan yüzey üzerindeki eşit olmayan şekillendirmeden dolayı geri sıçrama oluşturur. Ürünün şeklini ve ebadını değiştirmek gerilimi içinde bırakır, özellikle büyük çalışma parçalarını soğuk şekillendirme yaparken. Böylece metal kalıplamayı tekrar gözden geçirmek ve test etmek için harcanan zaman, metal kalıpla şekillendirmeden harcanan zamandan daha fazla zaman alır. Bununla beraber bu problem kolaylıkla zımbalarda ufak

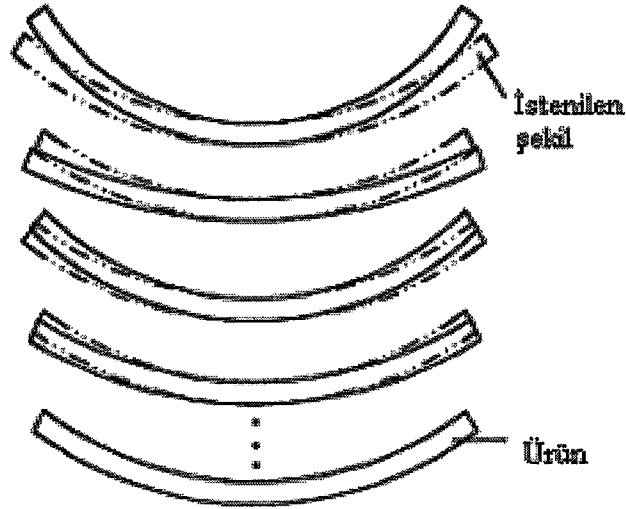
değişiklikler yapılmak suretiyle çok noktalı şekillendirme metodunu kullanarak çözülebilir. Buna ek olarak geri sıçrama olmadan (non-spring-back) şekillendirilmesi uygulanır.

Çizelge 2.13. Çok noktalı şekillendirmenin çeşitleri [24].

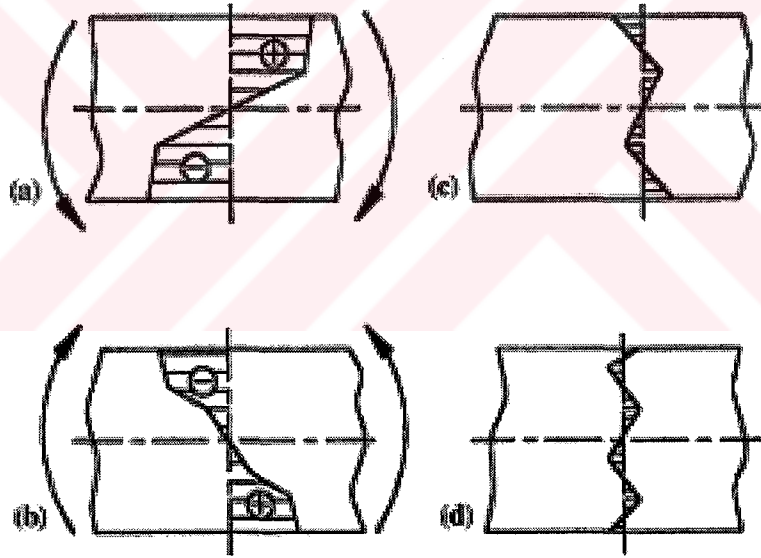
Çeşit	Çok noktalı kalıp	Çok noktalı yarı kalıp	Çok noktalı pres	Çok noktalı yarı pres
Başlangıç				
İşlem				
Bitiş				

Eğer çok noktalı baskı şekillendirme metodu kullanılırsa, onun esnek karakteristiğini kullanarak, her bir zımba çok noktalı baskı şekillendirmesinde aktif olarak ayarlanabilir. Bunun sonucu olarak zımbaların yönü ve hızı tekrar eden şekillendirmeyi gerçekleştirmek için Şekil 2.22’de görüldüğü gibi uygun şekilde ayarlanabilir. Tekrar eden şekillendirmede, malzeme önce istenilen yani son biçimden bir miktar daha fazla şekillendirilir. Şekil 2.23-a.’da levha boyunca gerilim dağılımı gösterilmiştir.

Bu aşamada malzeme geri şeklini alır. Bu gerçekten gücün kaldırılma sürecidir. Eğer şekillendirme geri sıçramaya eşitse gerilim dağılımı Şekil 2.23-b.’de gösterildiği gibidir. Çalışma parçası sürekli şekillendirilir. İstenilen şekilden daha fazla güç uygulandığında onun geri sıçrama yönü doğrultusunda güç uygulandığında. Gerilim Şekil 2.23-c.’de gösterilmektedir. Böylece bu süreç tekrarlanır. Çalışma parçası istenilen biçime azar azar yaklaşır. Fazla gerilimin en uç noktası adım adım azalma gösterir ve onun bir dizisi adım adım kısalır. Sonuçta geri sıçrama olmadan şekillendirilmesi gerçekleştirilir [24,25,26].



Şekil 2.22. Tekrarlı şekillendirme [25].



Şekil 2.23. Tekrarlı şekillendirmede gerilim değişimleri; a. Gerilim yüklemesi b. Gerilim yüklemesiz durması c. Ters yönlü gerilim yüklemesi d. Tekrarlı yüklemesiz artan gerilim [25].

2.5. Yüksek Hızda Derin Çekme

2.5.1. Patlama ile derin çekme

Patlama ile derin çekmede enerji kaynağı olarak, kimyasal patlayıcıların detonasyonundan elde edilen kısa süreli fakat etkili enerji kullanılır. Bu yöntemde

detonasyon ve deflegrasyon veren patlayıcılar kullanılır, fakat günümüzde detonatif patlayıcılar daha yaygın kullanılmaktadır.

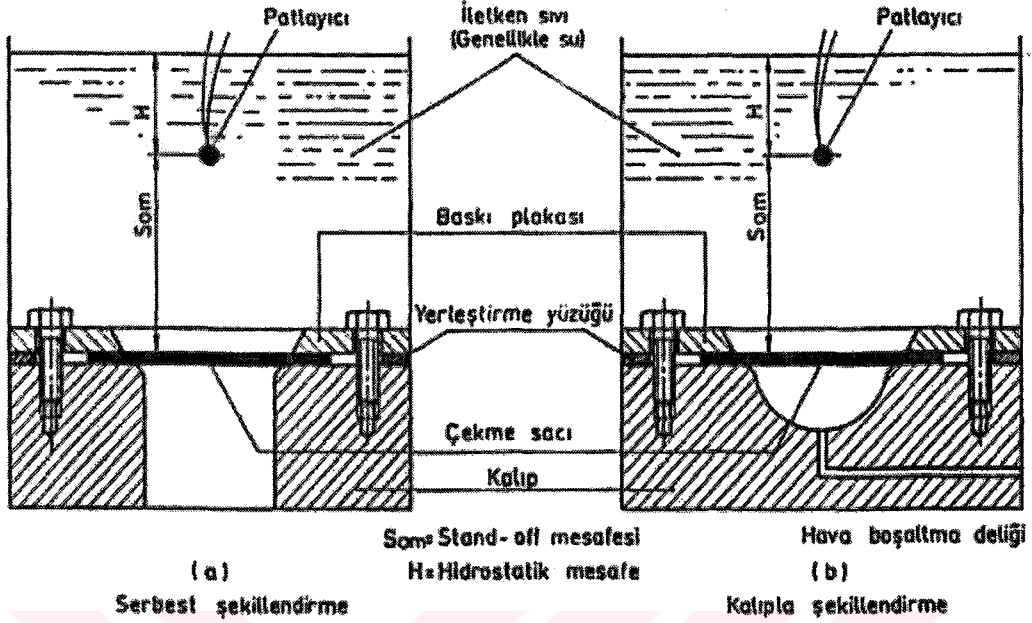
Patlama ile derin çekme yeni bir şekillendirme işlemidir. Mühendisler ve imalatçılar şekillendirme konusunda kendileri için çok zor ve hatta çözülmesi mümkün olmayan problemlerini bu teknolojik gelişim sayesinde anlayabilir ve çözebilirler. Patlama ile derin çekme metodu çeşitli metallere uygulanmakta olup üretimde kullanılmaktadır.

2.5.1.1. Kontakt sistem

Kontakt sistemde patlayıcılar iş parçası ile ya temas halinde ya da çok yakınındadır. Bu sistem genellikle sac metallerin kaynaklarının patlama ile yapılmasında veya sac metallerin üzerine kabartma şekillerin işlenmesinde kullanılır.

2.5.1.2. Antikontakt sistem

Antikontakt sistemde, patlama ile şekillendirme Şekil 2.24'de görüldüğü gibi iki şekilden biri ile tamamlanır. Patlayıcı, sac metal parçadan belirli bir mesafeye monte edilir ve iletken bir ortama batırılır. Bu iletken ortam için genellikle su veya hava kullanılır. İş parçasının hareket etmemesi için çevresinden baskı plakası ile bağlanır. Bu bağlama işlemi, şekillendirme işlemi esnasında iş parçasının patlama kuvveti ile çekilmesini engellemez, patlayıcının verdiği hareket ile iş parçası son şeklini alır ve deformasyon işlemi iş parçasının kalıbın şeklini alması ile tamamlanmış olur. Bu metod fazla derin olmayan parçaların üretiminde kullanılır. Ayrıca, bu sistemde sac metal parçaların üzerine çukurlaştırma yapma, bükme, panellerde mukavemet artırıcı oluk meydana getirme, kabartma işlemi yapma ve delik ağızlarının kıvrılması gibi çeşitli işlemleri yapmak mümkündür.

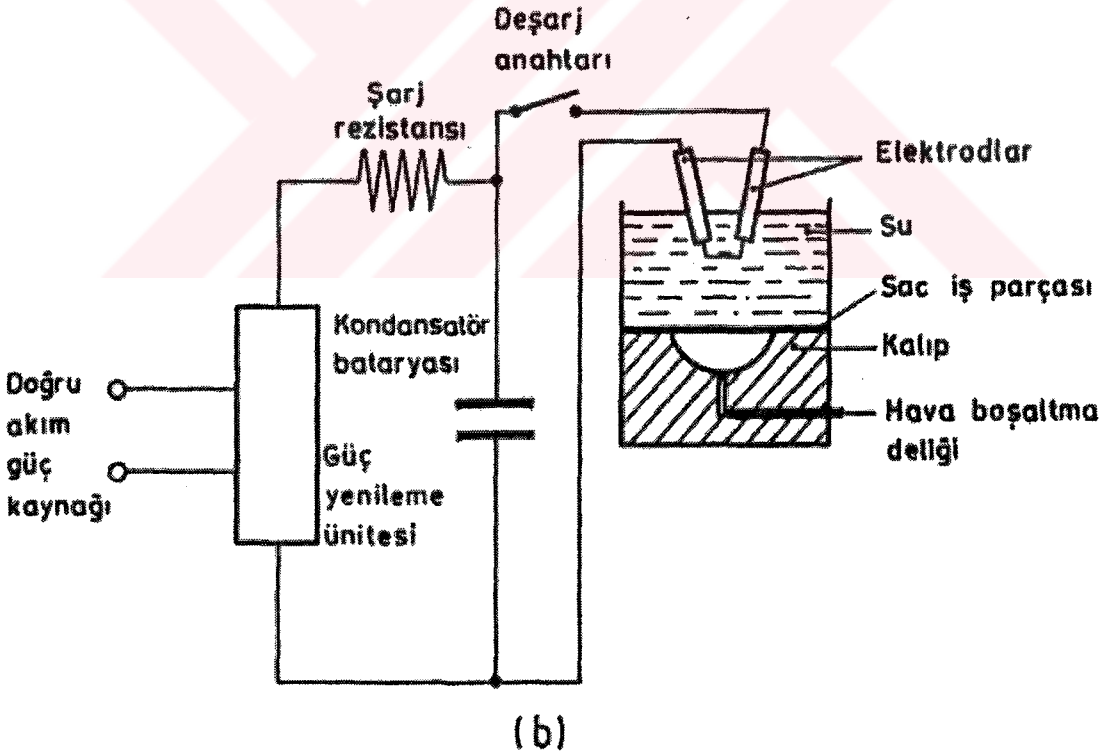
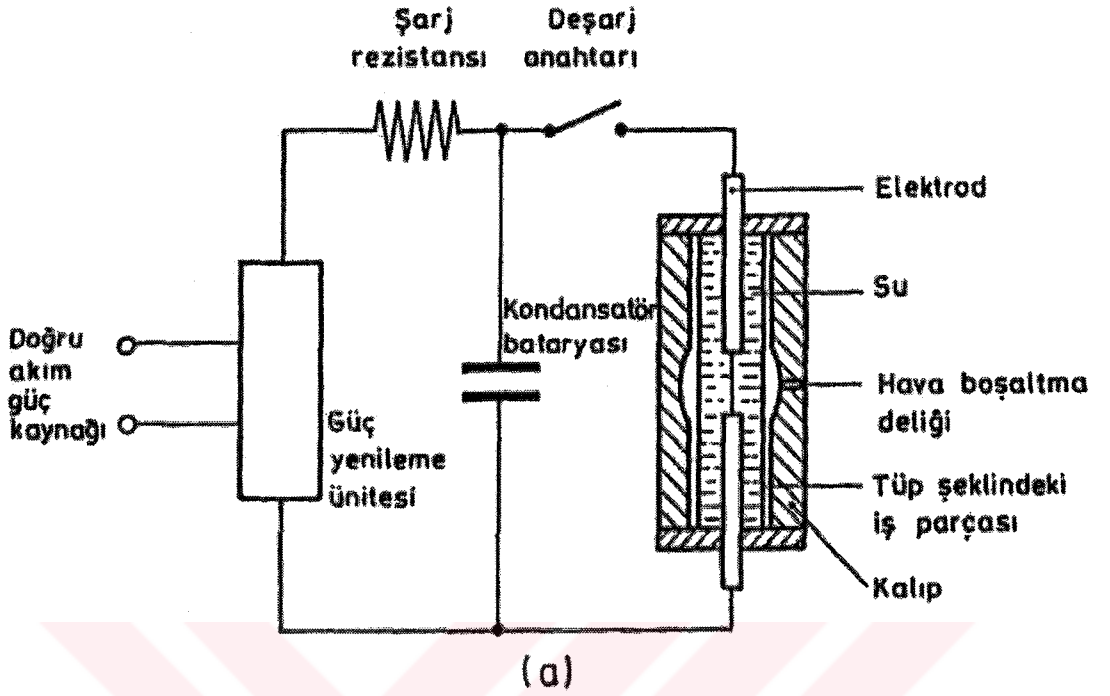


Şekil 2.24. Antikontakt sistemde patlama ile şekillendirme.

Patlayıcı ile iş parçası arasında basınç iletimi için ortam seçimi, pratik oluşundan dolayı hava ile su arasında yapılır. Hava, suya oranla sıkıştırılabilir bir özelliğe sahip olduğundan şok basınçlar hava ile çok daha yavaş ve yumuşak bir şekilde üretilir. İletken ortam olarak su kullanılmasının diğer bir avantajı, patlama ile meydana gelen gürültünün ve patlayıcıdan yayılan parçacıkların iş parçası üzerindeki olası hasarlarının azaltılması ile patlayıcı miktarının azaltılmasıdır.

2.5.2. Elektro-hidrolik yöntemle derin çekme

Elektro-hidrolik yöntemle derin çekme, sac veya tüp şeklindeki iş parçalarının elektrik enerjisinin hızlı deşarjı vasıtasıyla üretilmesi için geliştirilmiştir. Bu yöntem, elektro-magnetik şekillendirme ile oldukça benzerlik gösterir, ancak bu iki yöntem arasında enerjinin iş parçası üzerine transferi konusunda farklılık vardır. Elektrik enerjisinin kullanıldığı teknikler, atölyelerde uygulanabilmesi ve çok miktarda üretilmesi gereken küçük parçalara tatbik edilmesi açısından tercih edilir.



Şekil 2.25. Elektro-hidrolik yöntemle şekillendirme, a) Tüp şeklindeki parçalar için, b) Düz sac metalden üretilen parçalar için.

Elektro-hidrolik şekillendirme yönteminin yapısı Şekil 2.25' de görülmektedir, iş parçası, elektrodlarla beraber suyun içindedir ve bu elektrodlar şalterden geçerek kondansatör bataryasına bağlanmıştır. Kondansatör, şarj rezistansından geçen güç ünitesi vasıtasıyla belirlenen voltaj ve enerji seviyesinde yüklenir. Kondansatörü elektrodla bağlayan şalter kapatıldığında depolanan enerji elektrodların uçlarındaki boşlukta deşarj olur. Elektrik enerjisi suyun içinde şok dalgalarına dönüştürülür ve bu dalgalar kalıp içindeki iş parçasını şekillendirir. Bazı durumlarda elektrodların uçları ince tel ile birbirine bağlanır ki; bu tel, deşarj esnasında kuvvetli akımdan dolayı buharlaşır.

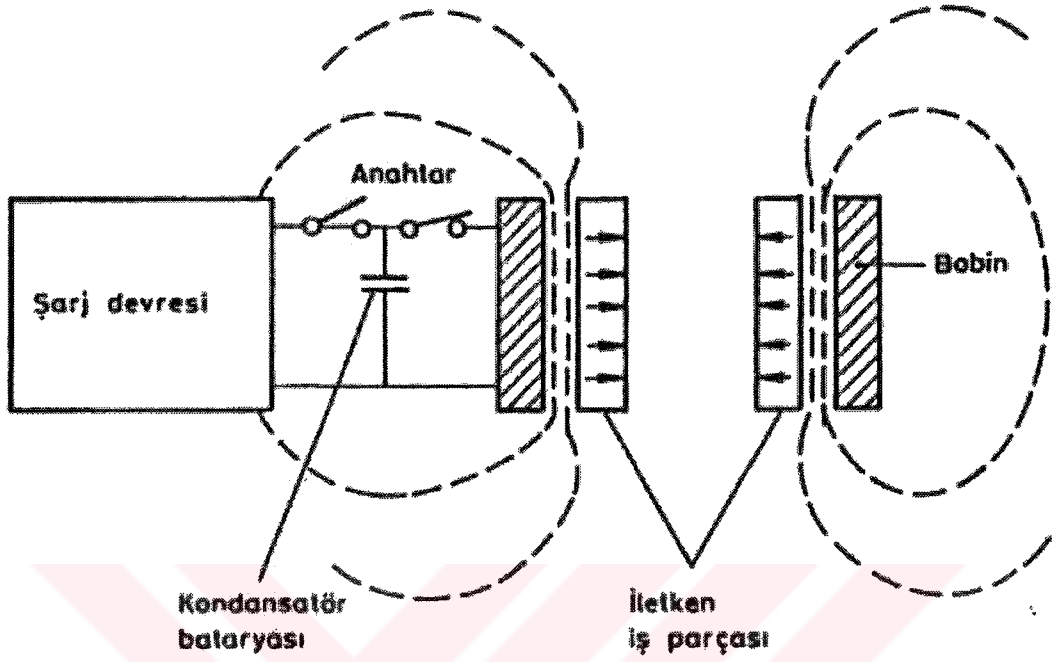
Elektro-hidrolik şekillendirme, Şekil 2.25-a da görüldüğü gibi, tüp şeklindeki parçaların genişletilmesi için (ki bu metot bu tip iş parçalarının üretilmesi için en uygun metottur), veya sac metallerin serbest veya kalıpla şekillendirilmesi için kullanılabilir.

2.5.3. Elektro-magnetik yöntemle derin çekme

Magnetik itme ile şekillendirme diye de adlandırılan elektro-magnetik şekillendirmedeki işlemler, elektrik teknolojisinin temel prensiplerine göre yapılır. Akım, iletkenin içinden geçtiğinde, iletkenin etrafında magnetik bir alan oluşur. Bu alanın gücü akımın gücü ile orantılıdır. Eğer akım ve buna bağlı olarak da magnetik alan değişirse, akım magnetik alanın içindeki diğer bir iletken tarafından indüklenir. İndüklenen bu akımın yönü öyle oluşur ki, bununla birleşen magnetik alan burada oluşan diğer magnetik alanla zıt yönlüdür, iki magnetik alanın etkileşmesi, iki iletkenin itilmesine sebep olur.

Elektro-magnetik şekillendirmede diğer bir iletken de bobindir ki onun oluşturduğu akım, hızla değişen magnetik alanın yükselmesi ile ani olarak deşarj olur. İş parçası ikinci iletkeni oluşturur ve bu arada Eddy akımları oluşur. Bu akımlar ikinci magnetik alana yükseklik kazandırır, birinci magnetik alan ile etkileşerek, yüksek hızda kontrollü bir vaziyette iş parçasının bobinden itilmesine sebep olur. Şekillendirme, iş parçasının virtüel kinetik enerjisinin kalıp üzerine çarpması ile başlamış olur. İki taraf arasındaki itme kuvvetleri iş parçasında indüklenen akıma ve bu nedenle de esas olarak bobindeki akım değişikliğinin oranına bağlıdır, iş parçasının elektriksel iletkenliği önemli bir faktördür ancak, paslanmaz çelik gibi iletkenlik yönünden zayıf veya iletken olmayan malzemeler için özel teknikler geliştirilmiş olmasına rağmen en büyük etkinlik bakır ve alüminyum gibi iyi iletkenliğe sahip metallerle elde edilir. İş parçasının magnetik bir yapıya sahip metal olması şart değildir.

Elektro-magnetik şekillendirme için temel bir devre şekil 2.26' da görülmektedir. Buradaki enerji kaynağı, voltajı önceden belirlenerek şarj edilmiş bir kondansatör bataryasıdır [3].



Şekil 2.26. Basit Bir Elektro-magnetik şekillendirme devresi.

3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Hızla gelişmekte olan dünyada artık üretim teknolojileri de hızla gelişmektedir. Bu hızlı gelişmenin en temel sebepleri arasında da artık rekabetin sadece belirli bir bölgede değil tüm dünya çapında gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Değişken şekilli kalıp teknolojisi uzun yıllardan beri bilim adamlarının uygulamaya çalıştığı bir üretim teknolojisidir. Çok noktalı kalıp yöntemi değişken şekilli kalıp imal etmekte vazgeçilmez bir yöntemdir. Bu yöntemde hem kalıp maliyeti oldukça azalmakta hem de kalıbın esnek imalatından dolayı kalıba istenilen şekil değişikliklerinin çok kolay yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemle amaçlanan ana hedef kalıbın imalat maliyetini azaltmak ve kalıbın imalatı için gerekli olan zamanı minimize etmektir ve gerektiğinde kalıbın bazı boyutlarını değiştirebilmektir.

Deney için hazırlanan deney seti, 80 tonluk bir hidrolik pres, dişi kalıp, baskı plakası, çok noktalı şekillendirmenin yapılabilmesi için zımba yerine 32 adet silindirik çelik zımbadan oluşmaktadır. Sac malzeme olarak da Erdemir Demir Çelik Fabrikasında üretilmekte olan Erdemir 7114 derin çekme sacı kullanılmıştır.

3.1. Bu konuda yapılmış çalışmalar

D. Banabic, H.J. Bunge ve Pearce metallerin şekillendirilebilirliği ile ilgili çalışmaları tartışarak, 19. yüzyılın sonlarında geliştirilen sac biçimlendirme teknolojisi ve sac metal şekillendirilebilirliği üzerine araştırmalar yapmışlardır. Sac metal şekillendirmesiyle ilgili çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu metotlar dört başlık altında incelenebilir.

- Simülasyon testleri
- Temel mekanik testler
- Sınırlı kubbe (dome) yüksekliği
- Biçimlendirme sınır diyagramları

Banabic endüstriyel uygulamalar için Biçimlendirme Sınır Diyagramlarını (BSD) incelemiştir. Biçimlendirme Sınır Diyagramı gerçeğe çok uygundur ve teknolojik olarak üretimin bir bölümünde, şekillendirme sırasında etkin bir yöntemdir ve uygun olmayan tasarımı önler. Gerçekte Biçimlendirme Sınır Diyagramı (BSD) endüstride aşağıdaki bilgileri verir.

- Derin çekme için güvenli alan
- Kritik bilgiler, boyun verme yada kırılma oluşumu

- Gerilim seviyesi
- Önerilen çalışma şartları (baskı plakası, yağlama sistemleri vb.)

M.Z. Lie, Z.Y. Cai, Z. Sui ve Q.G. Yan çok noktalı biçimlendirme teknolojisi hakkında çalışmalar yapmışlar, metal levhaların çok noktalı biçimlendirilebilmesinde baskı plakasının kullanımı ile ilgili öngörülerde bulunmuşlardır. Bu çalışmalarının sonucunda; bu yöntemin büyük ebatlı parçalarının imalatı için çok uygun olması, gemiler ve geniş kaplar gibi büyük ebatlı parçaların MPF de esnek bir baskı plakası ile malzeme üzerinde yüksek bir hassaslık ve yüksek kalitenin sağlanabilmesi, MPF nin değişen biçimlendirme yolu sayesinde metal levhaların biçimlendirme işlemi ve parçaların imalatındaki kusurlardan kurtulabilmesi ve MPF operasyonu ile ufak bir presle geniş ebatlı parçaları biçimlendirebilmenin farkına varılmıştır.

Zhong Yi Cai ve Ming Zhe Lie üç boyutlu metal levhaların çok noktalı biçimlendirilmesi ve biçimlendirmenin kontrolü ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında MPF sürecinin kontrolünü ilgilendiren üç temel problem tartışılmaktadır ve ilgili nümerik yaklaşımlar detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda malzemenin deformasyonları en fazla son şekillendirmede dağıtılır ve şekillendirme süreci boyunca hacim sabit kalır. Boş levha dizaynı için pozitif tanımlı fonksiyon sunulur. FEM iterative planı tarafından çözülen varyasyon problemleri, yeniden şekillendirilmiş parçaların istenilen objektif şeklinin ilk boş levhası elde edilir. MPF in esnekliğinden dolayı, levhanın kısmı tanımlanmış şekillendirme boyunca üretilebilir. İdeal şekillendirmeyi elde etmek için, uygun süreç yolunu bulmak gereklidir. Bu süreç yolu şekillendirme kusuru olmadan levhanın istenilen şeklini verir. İdeal şekillendirme teorisi temelinde, uygun şekillendirme yolunu dizayn etmeye bir yaklaşım formülleştirilmiştir.

Mingzhe Li, Yuhong Liu, Shizong Su ve Guandquan Li üç boyutlu yüzeysel metal levhaların çok noktalı şekillendirme ile esnek biçimlendirilmesi hakkında çalışmalar yapmışlar. Bu çalışmalarında çok noktalı biçimlendirmenin dört çeşidini sunmuşlar, çok noktalı şekillendirme de tekrarlı şekillendirmenin yapılmasıyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çok noktalı şekillendirme, çok noktalı demir kalıp şekillendirme, çok noktalı yarı kalıp şekillendirme, çok noktalı baskı şekillendirme ve çok noktalı yarı baskı şekillendirme olarak sınıflandırılabilir. Çok noktalı baskı şekillendirme çok noktalı şekillendirmenin esnek karakterini maksimum düzeyde kullanım alanı sağlar. Zımbalarda en iyi güç durumu ile ve çalışma parçasında en iyi şekillendirmeyi gerçekleştirir. Çok noktalı baskı şekillendirme ve tekrar eden şekillendirme prensipleri beraber uygulandığında esnek olmayan (non-spring-back) ve küçük fazla gerilim şekillendirilmesi gerçekleşebilir.

3.2. Deney Setinin Hazırlanışı

Deneyin gerçekleştirilebilmesi için, öncelikle yurtiçi ve yurtdışı bütün kaynaklarda literatür taraması gerçekleştirildi. Çalışma alanına en uygun malzeme biçimi arandı. Çekilecek malzemenin şekline karar verilirken malzemenin imalat usulünün diğer konvansiyonel yöntemlerle biçimlendirilmesinde güçlüklerle karşılaşılacak bir geometriye sahip model seçildi.

Çekilecek malzemenin geometrisi belirlendikten sonra bu parçanın şekli yeni yöntemle üretimini gerçekleştirebilmek için gerekli olan kalıbın tasarımına başlandı. Kalıbın imalatının gerçekleştirilebilmesi için kalıbın bütün parçaları bilgisayar ortamında Solid Works programı yardımıyla hazırlandı.

3.2.1. Çekme işleminde kullanılacak malzemenin seçilmesi

Yapılan çalışma bir derin çekme yöntemi olduğundan bu yönüme en uygun malzemenin seçimini yapabilmek için derin çekme yöntemlerinde kullanılan malzemelerle ilgili yapılmış tezler ve makaleler araştırıldı. İncelenen tez ve makalelerden en uygun çekme sacı olarak Erdemir Demir Çelik Fabrikasında üretilmekte olan Erdemir 7114 derin çekme sacının kullanılmasına karar verildi. Bu sacın seçimini etkileyen bir diğer faktörde bu derin çekme sacının diğer derin çekme saclarına göre temininin daha kolay olmasıdır.

3.2.1.1. Sac malzemenin mekanik özellikleri

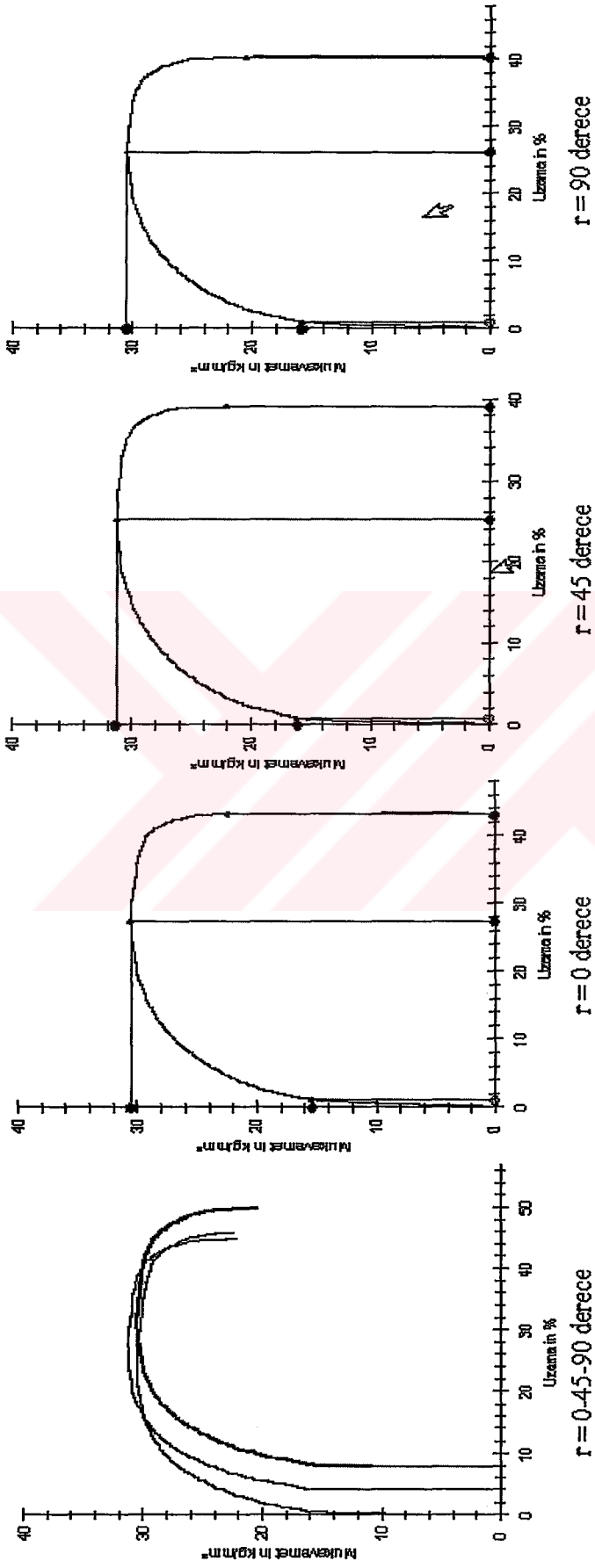
Çok noktalı derin çekme deneyinde kullanılacak olan derin çekme sacının kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu sacın çekme deneyi standartlarına göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızda, sabit sıcaklıkta ve EN 10 002-1 standardında Erdemir Demir Çelik Fabrikasında gerçekleştirildi. Bu deneye ait veriler Çizelge 3.2’de ve bu tablodan elde edilen r değerlerinin grafikleri de Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Erdemir 7114 derin çekme sacının kimyasal kompozisyonu.

Erdemir kalite no.	Standart karşılığı kalite	C	P	S	Mn	Ti
7114	DC 04	0.006	0.015	0.010	0.25	0.10

Çizelge 3.2. Deneysel numunesinin mekanik özellikleri

Nr	Çekme Yönü, °	Elastisite Modülü N/mm ²	Bobin no	Akma Rp 0,2 N/mm ²	Çekme muk. N/mm ²	Uzama %	r değerleri		R 90	R ort.	n	nm	μ	K, N	L ₀ mm	Kalınlık mm	Genislik mm
							%	r									
1	0	72436,73		155,49	299,40	45,5	6	2,49	2,25		0,25		31243,7	9079,4	79,91	0,82	20,4
							8	2,34									
							10	2,24									
							12	2,19									
							14	2,14									
							16	2,08									
2	45	134160,76	244909	157,94	306,46	40,61	6	2,06	2	2,22	0,23	0,24	213946,6	9105,1	79,92	0,82	20,4
							8	2,02									
							10	2									
							12	1,99									
							14	1,97									
							16	1,96									
3	90	122082,58		154,6	298,71	41,7	6	2,73	2,62		0,24		51560,9	8937,6	79,89	0,82	20,4
							8	2,64									
							10	2,61									
							12	2,59									
							14	2,57									
							16	2,57									



Şekil 3.1. r değerlerinin grafikleri

3.2.2. Dişi kalıbın hazırlanması

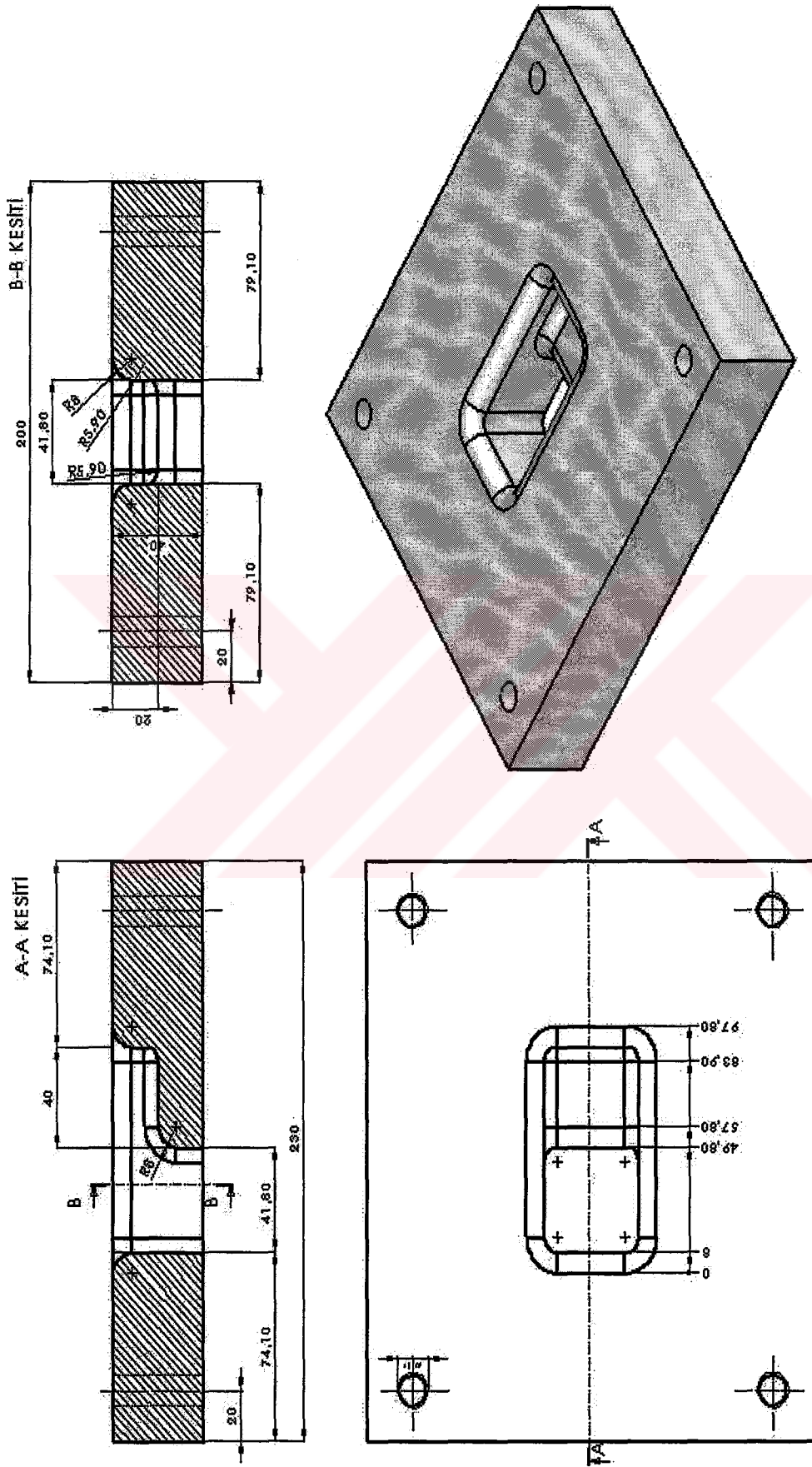
Belirlenmiş olan kalıp geometrisine göre ve deneylerde kullanılacak 0,8 mm kalınlığındaki Erdemir 7114 derin çekme sacına göre kalıbın tasarımı Solid Works Programı yardımıyla gerçekleştirildi.

Tasarım işlemi tamamlandıktan sonra Solid Works programı vasıtasıyla çizilmiş kalıp modelini CNC tezgahta işleyebilmek için Mastercam programının kabul ettiği IGS formatında export edildi. Mastercam programında malzemenin imal edilebilmesi için gerekli olan takım yolları çıkartılarak CNC kodları çıkartıldı. Gerekli CNC kodları çıkartıldıktan sonra Mitsubishi marka CNC dik işleme merkezinde kalıbın imalatı gerçekleştirildi.

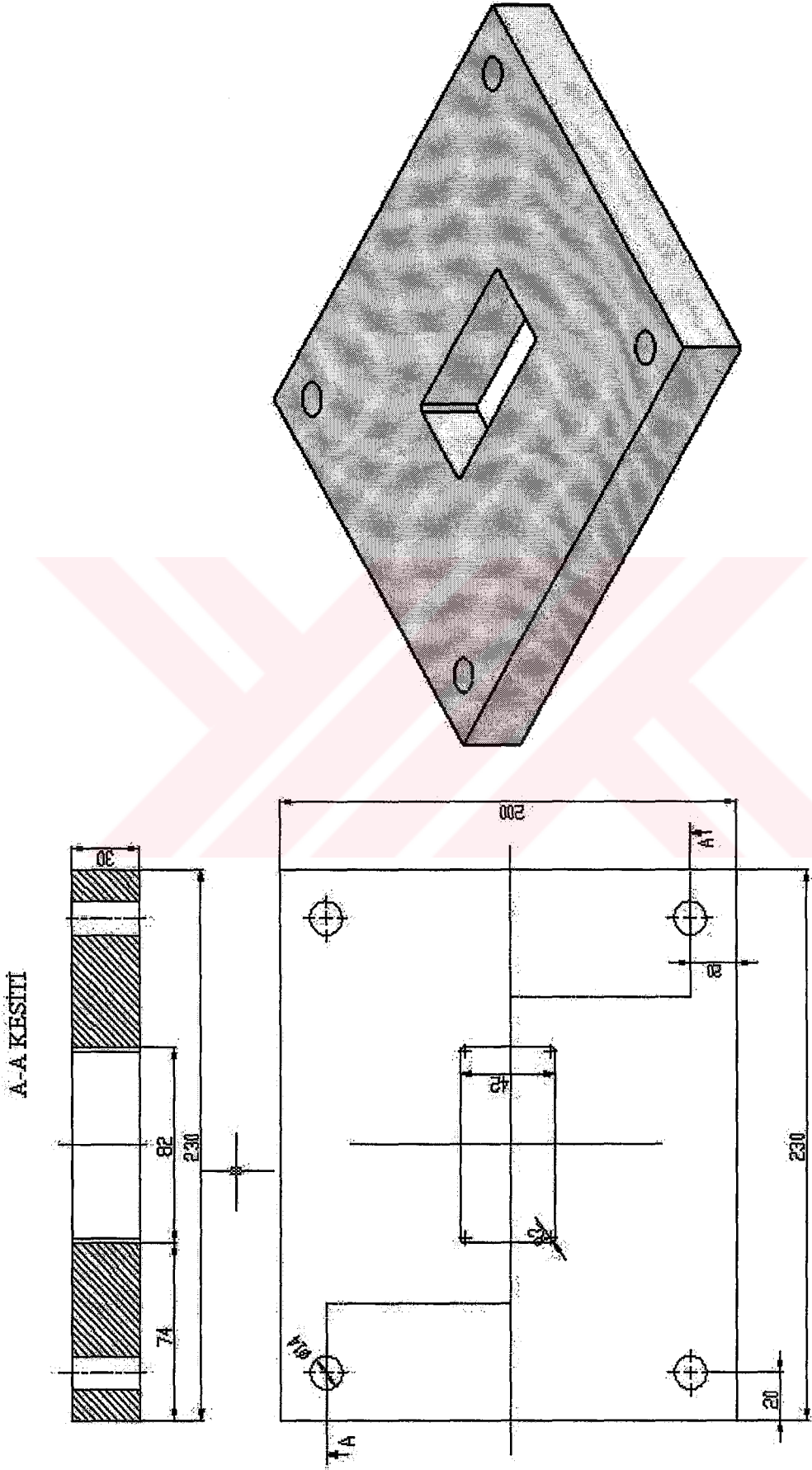
Dişi kalıp CNC dik işlem merkezinde imal edildikten sonra Bursa'da nerler Isıl İşlem Merkezinde 60Rc sertliğinde sertleştirildi. şekil 3.2'de dişi kalıbın sertleştirildikten sonraki fotoğrafı gösterilmektedir. şekil 3.3'de de dişi kalıbın imalatı için gerekli ölçüleri gösterilmektedir.



şekil 3.2. Dişi kalıp



Şekil. 3.3. Dişi kalıbın görüntüleri ve izometrik perspektifi.



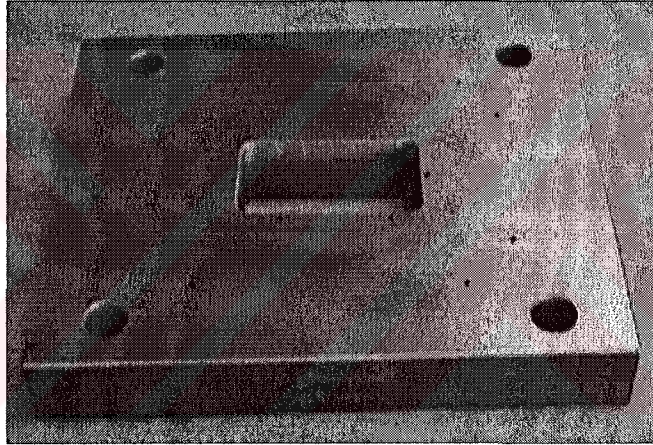
Şekil 3.4. Baskı Plakasının görünüşleri ve izometrik perspektifi.

3.2.3. Baskı Plakasının Tasarlanması ve İmalatı

Derin çekme işlemlerinde buruşmanın önlenmesi için baskı plakası kullanılmaktadır.

Baskı plakasının imalatında saç metal kalıpcılığında kullanılan ve çok iyi sertleşebilme yeteneğine sahip olan Ç2080 kalıp çeliği kullanıldı. Baskı plakasını imalatında hassasiyet çok önemli olmadığı için kalıbın bu bölümünün üretimi konvansiyonel freze tezgahında gerçekleştirildi. Baskı plakasının imalat resmi Şekil 3.4'de gösterilmektedir.

Baskı plakası freze tezgahında yapıldıktan sonra dişi kalıpla beraber Bursa'da Önerler Isıl İşlem Merkezinde 60Rc sertliğinde sertleştirildi. Baskı plakasının sertleştirme işleminden sonraki fotoğrafı Şekil 3.5'de gösterilmektedir.



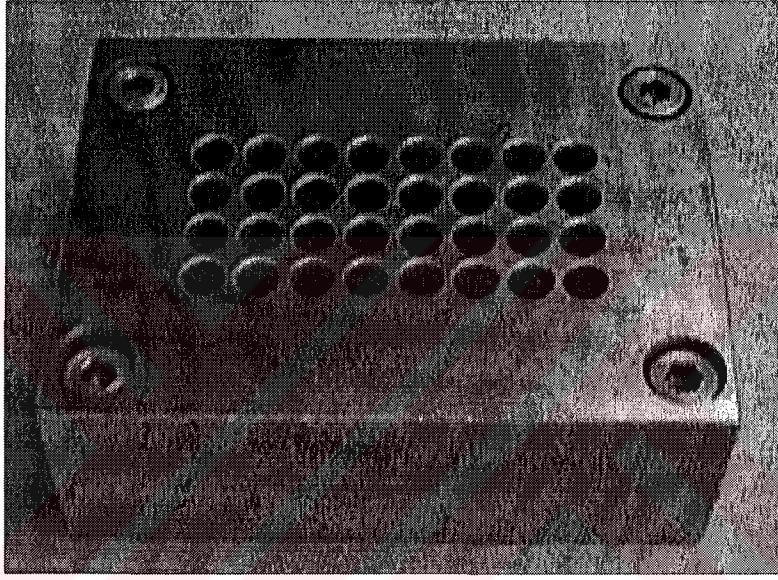
Şekil 3.5. Baskı plakasının fotoğrafı

3.2.4. Zimba plakasının imalatı

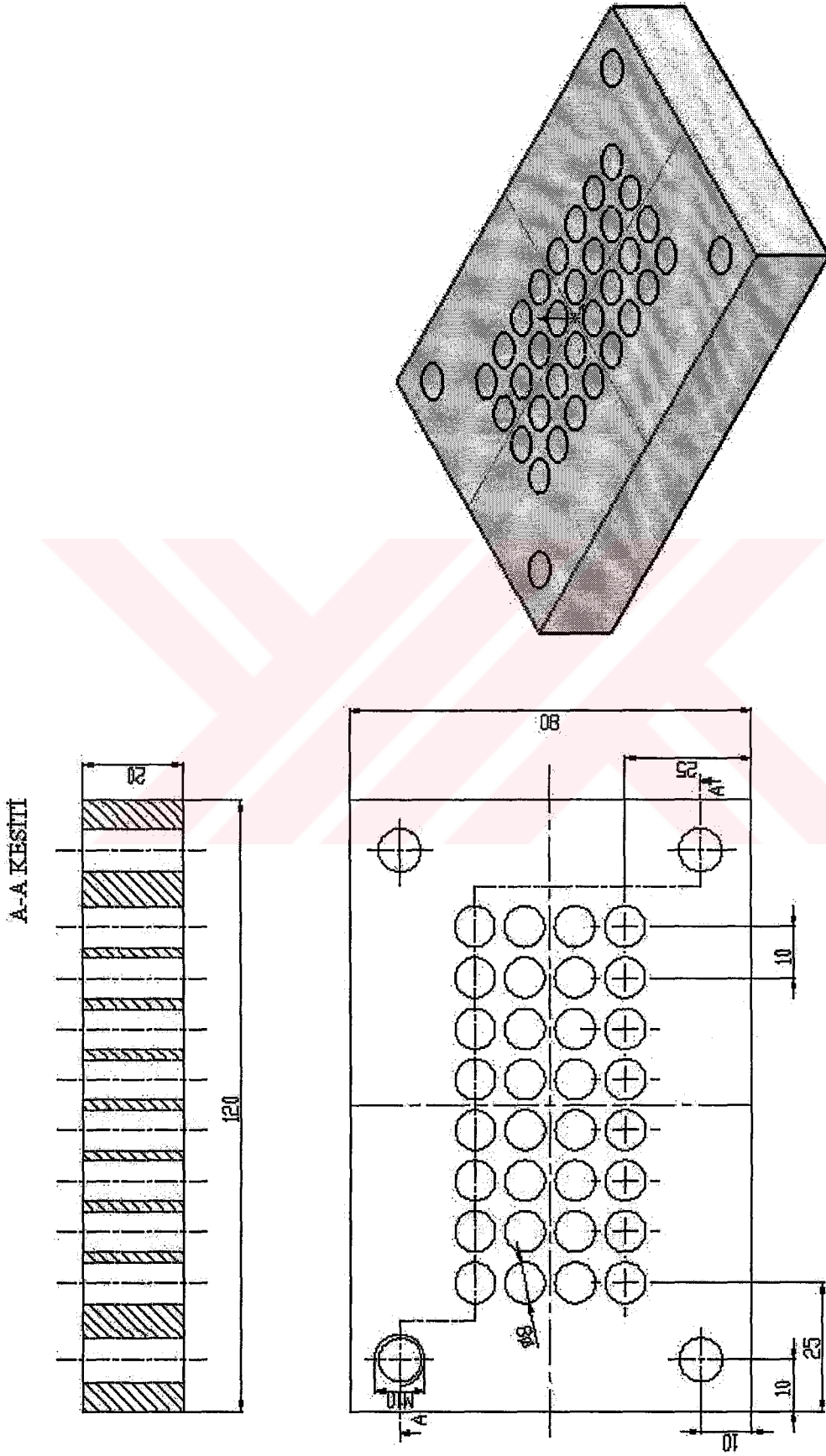
İmal edilen kalıbın diğer konvansiyonel kalıplardan farklı olduğu bölüm; kalıbın üst kısmını oluşturan bölümdedir. Yapılan kalıbın üst kısmında konvansiyonel kalıplardan farklı olarak tek zimba yerine birden fazla zimbanın kullanılmıştır. Kalıbın üst bölümünün imalatında 32 adet zimba kullanılmıştır.

Bu zimbaların bir grup oluşturulabilmesi ve prese bağlanabilmesi için Şekil 3.6'da fotoğrafı görülen zimba plakası imal edildi. Burada kullanılan zimbalarının adetinin çok fazla olması ve delinen zimba deliklerinin hassasiyetinin çok yüksek olmasından dolayı, zimba plakasının imalatı CNC tezgahta gerçekleştirildi.

Malzemenin dişi kalıp gibi imalatının CNC tezgahta yapılabilmesi için gerekli üç boyutlu modellemesi Solid Works programında yapıldı. Solid Works programında tasarlanılan model imalatı için gerekli CNC kodlarının hesaplanabilmesi için Master Cam programına IGS standardında import edildi. Master Cam programında gerekli takım yolları verilerek malzemenin imalat kodları hesaplandı ve Mitsubishi marka CNC dik işlem merkezinde imalatı gerçekleştirildi. İmalatı gerçekleştirilen zimba plakasının fotoğrafı Şekil 3.6'da, zimba plakasının ölçüleri ve imalat resmi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Zimba plakasının fotoğrafı

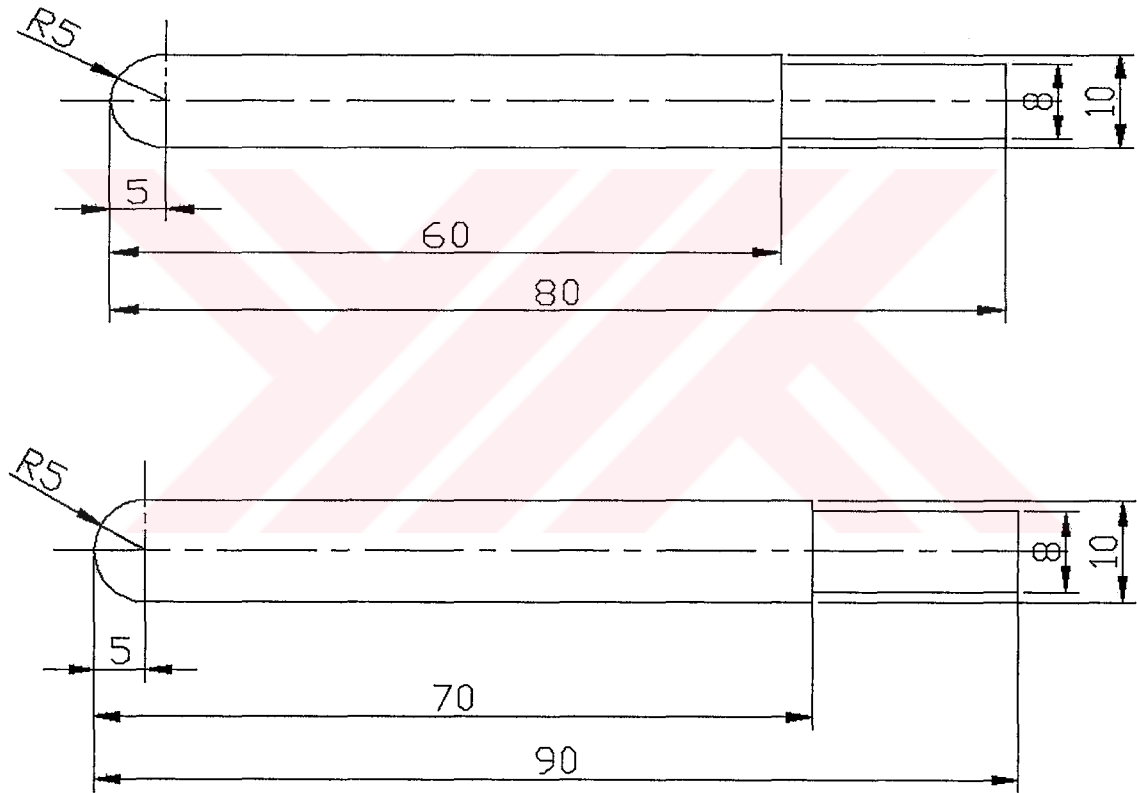


Şekil 3.7. Zimba Plakasının ölçüleri ve imalat resmi

3.2.5. Zımbaların İmalatı

İmal edilen kalıpta 32 adet silindirik çubuk zımba kullanıldı. İmalatı gerçekleştirilecek parçada iki ayrı derinlik olduğu için yapılan zımbaların boyları da iki ayrı uzunlukta gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8’te gösterilen zımbaların 16 tanesi $\text{Ø}8 \times 60\text{mm}$ ebatlarında, diğer 16 sı ise $\text{Ø}8 \times 70\text{mm}$ ebatlarında yapılmıştır.

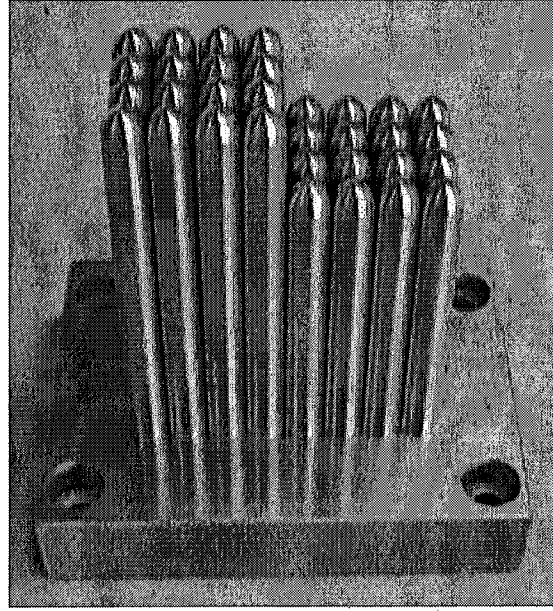
Bu iki grup zımbaları hassas bir biçimde hazırlamak için tornalama kalıbı hazırlanmıştır ve bu kalıpta bütün zımbaların imalatı gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.8. Zımbaların ölçüleri.

3.2.6. Zımbaların montajı

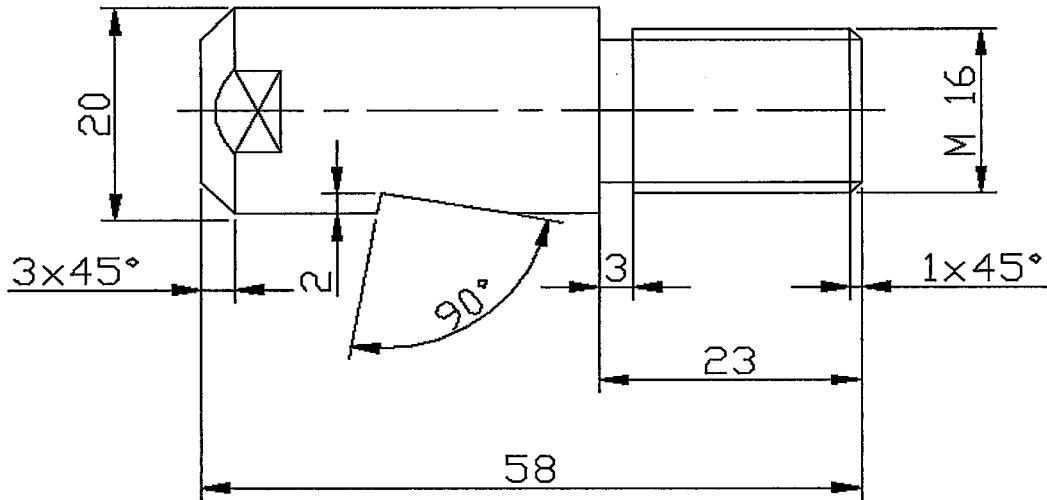
Hazırlanan zımbalar, zımba plakasında açılmış olan geçme deliklerine sıkı geçme olarak, başsız perçinleme yöntemiyle montaj edilmiştir. Zımbaların montajları gerçekleştirildikten sonra ölçülerinin düzgünlüğü bir kıl gönye ile kontrol edilmiştir. Zımbaların zımba plakasına monte edilmiş durumlarının fotoğrafı Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Zımbaların zımba plakasına montajı

3.2.7. Sap plakası ve sapın imalatı

Deney kalıbının üst bölümünü oluşturan zımba plakası ve zımba plakasına bağlı zımbaların deneyin gerçekleştirileceği hidrolik pres tezgahına bağlanması için Şekil 3.11’de gösterilen bir adet sap plakası ve bu plakayı prese bağlamak için Şekil 3.10’da gösterilen sap imal edilmiştir.



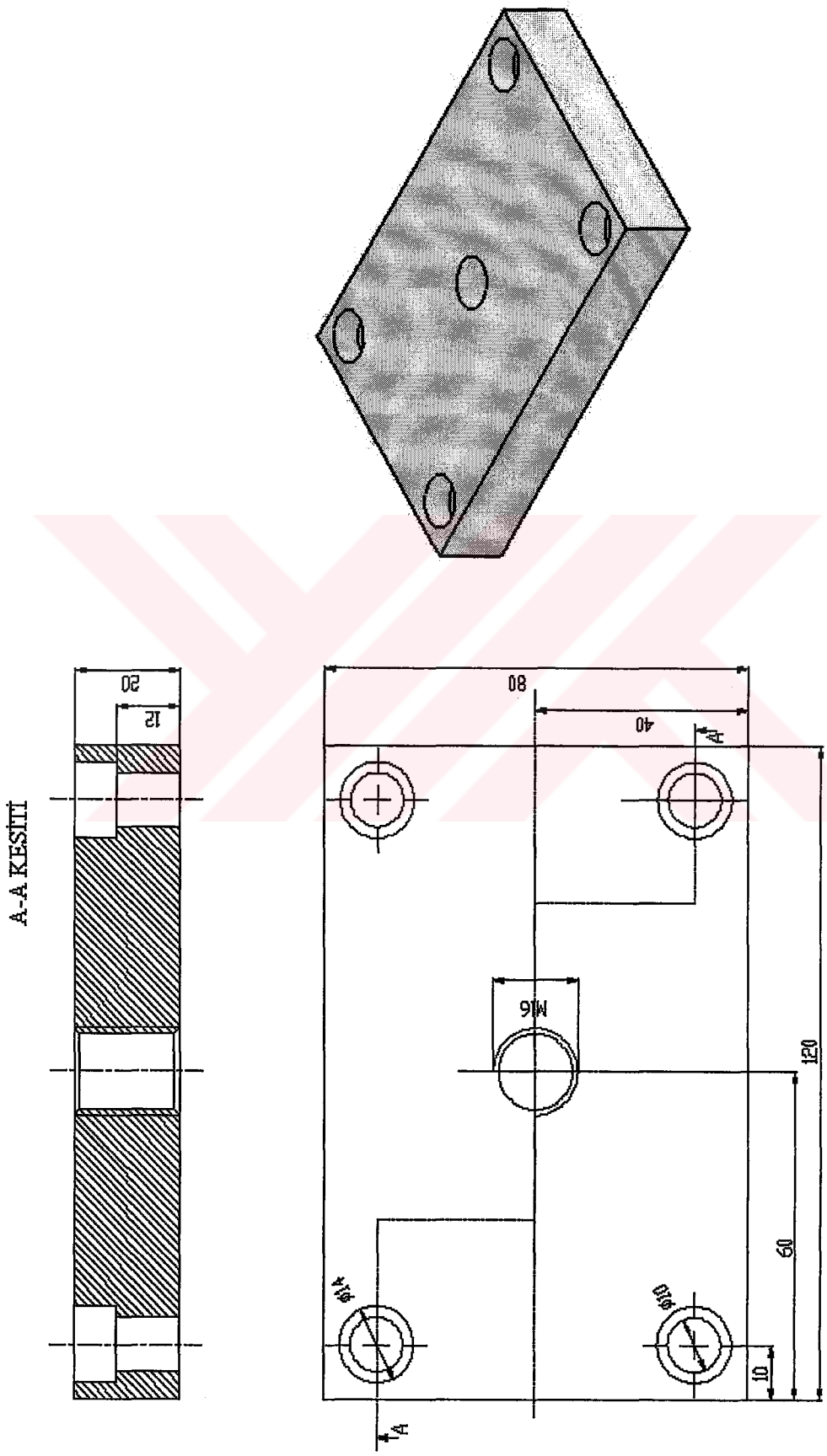
Şekil 3.10. Sapın şematik gösterimi

3.2.8. Kalıbın prese bağlanması

Öncelikle imal edilen kalıbın, alt bölümü yani dişi kalıp kısmı pres tezgahının tablasına deney gerçekleştirilirken hareket etmeyecek ve hassasiyeti bozulmayacak bir biçimde sağlam olarak monte edildi.

Kalıbın üst kısmını oluşturan zımba plakasına; sap plakası ve sapın montajı yapıldı. Bu elemanların montajları gerçekleştirilirken kalıbın üst bölümü pres tezgahına bağlandı. Zımbanın pres tezgahına sağlam bir biçimde montajı gerçekleştirildikten sonra, pres tezgahının tablasına bağlanmış olan dişi kalıbın eksen ayarları ve kalıbın çalışabilmesi için gerekli olan boşluklar hassas bir biçimde gerçekleştirildi.





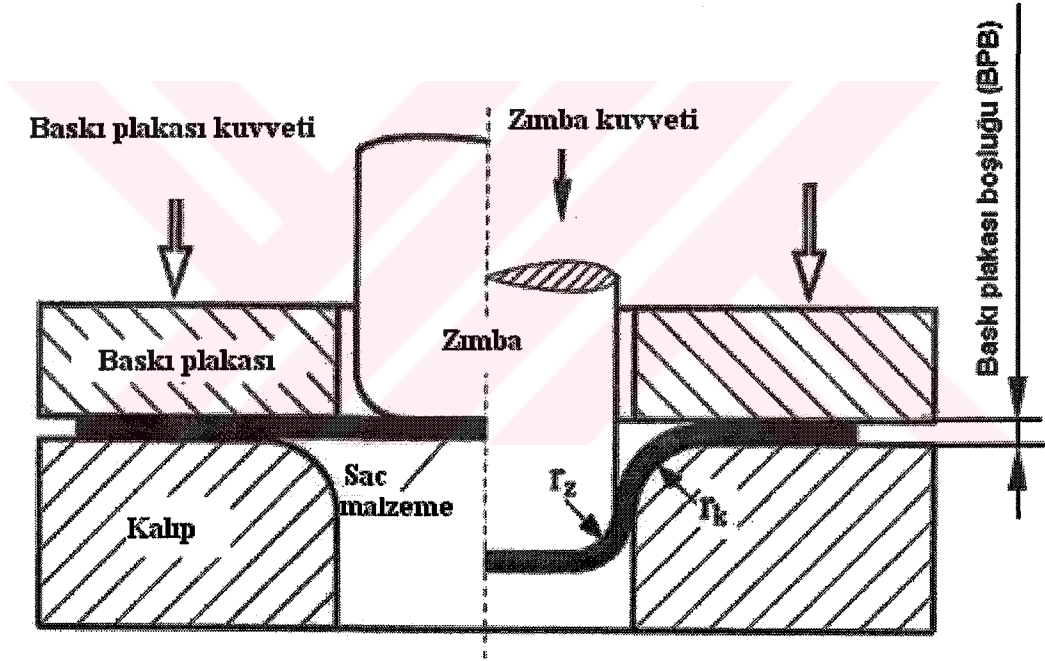
Şekil 3.11. Sap plakası.

3.3. Metal akışını kontrol etme yöntemleri

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

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

Yapılan deneylerde metal akışını kontrol etmek için kalıp ile baskı plakası arasındaki sabit mesafe olarak tanımlanan baskı plakası boşluğu sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.12'de bu durum gösterilmiştir [27].



Şekil 3.12. Baskı plakası boşluğu

Baskı plakası boşluğu tek operasyonlu çekme işlemlerinde parça kalınlığının %100'ü ile %130'u kadar alındığında olumlu sonuçlar vermektedir[27].

Derin çekme işleminin başlangıcında en önemli olay metal akışının başlaması, yönlendirilmesi ve kontrol edilmesidir. Metal akışının başlaması halinde taslak malzeme zımba köşelerinden hemen kopar. Derin çekmede, metal akışını kontrol etme yöntemlerinden biri olan baskı plakası boşluğu sistemi derin çekme işlemine uygulandığında, baskı plakası kuvveti zımba kursuna bağlı olarak değişir. Bir başka deyişle, oluşan baskı plakası kuvveti buruşma ile

İlk olarak bu deney numunesi pres tezgahının tablasına bağlanmış olan dişi kalıp üzerine yerleştirme işlemi yapılmadan önce dişi kalıbın üstü derin çekmeyi kolaylaştırmak amacıyla yağlandı. Yağlama işlemi tamamlandıktan sonra hazırlanan ön deney numunesi dişi kalıp üzerine, kalıbın eksenıyla malzemenin eksenini çakışacak bir biçimde yerleştirildi. Yerleştirme ve eksen ayarları yapıldıktan sonra deney numunesinin üzeri de dişi kalıp gibi yağlandı.

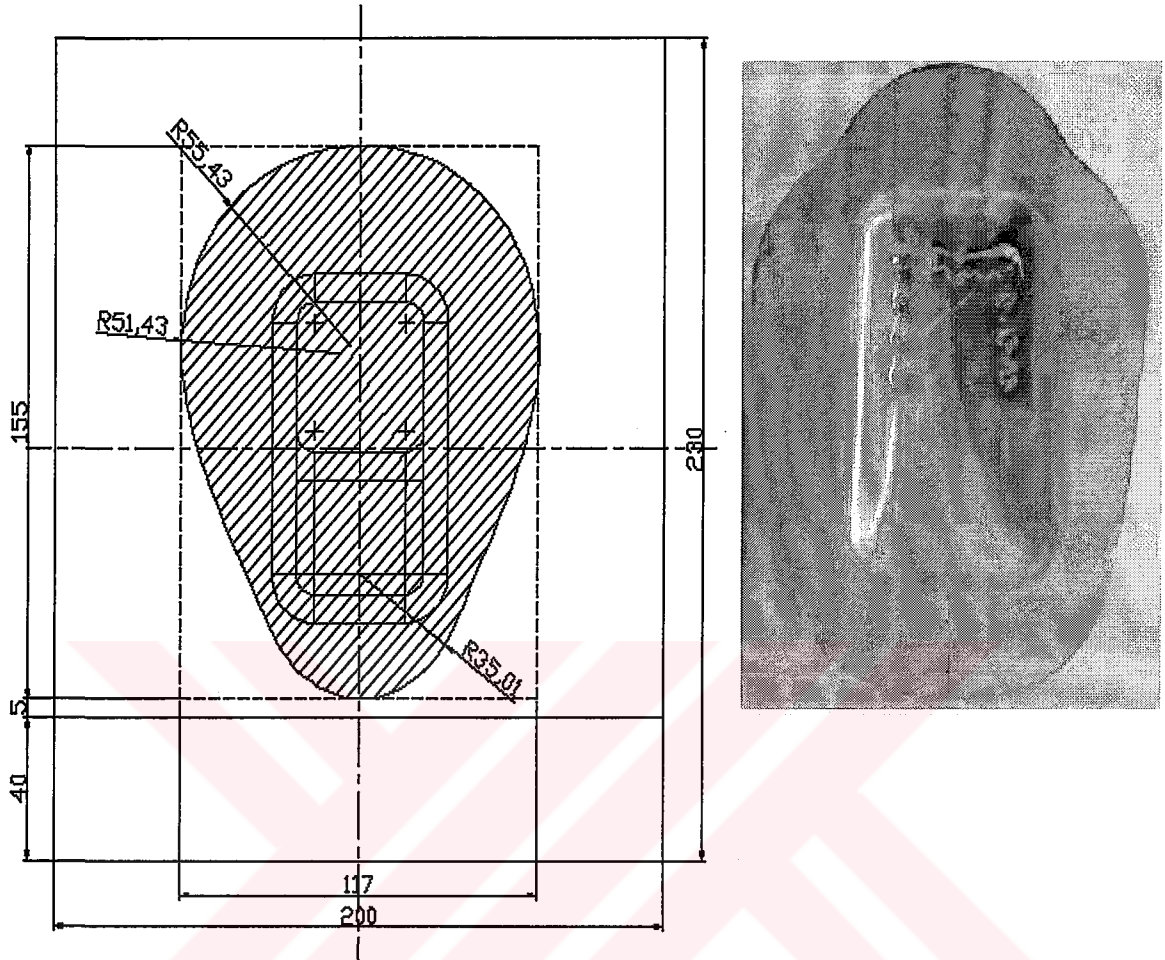
Malzemenin yerleştirilmesi ve yağlanması işlemleri gerçekleştirildikten sonra malzemenin akışını kontrol etmek için dişi kalıpla deney malzemesi üzerine hazırlanan baskı plakası yerleştirildi. Baskı plakası yerleştirilmeden önce dişi kalıp ile baskı plakası arasında boşluk bırakmak amacıyla 1 mm'lik tamponlar kullanıldı. Yerleştirilen baskı plakası dengeli bir biçimde sıkıldı.

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

3.5. Deneyin Yapılması

Yapılmış olan ön deneyin sonucunda ve yararlanılan kaynaklardan belirlenmiş olan ideal taslak malzeme formunu ve bunun yanı sıra bu malzemenin kalıba nasıl yerleştirileceğini belirlemek için belirli sayıda deneyler yapılmıştır.

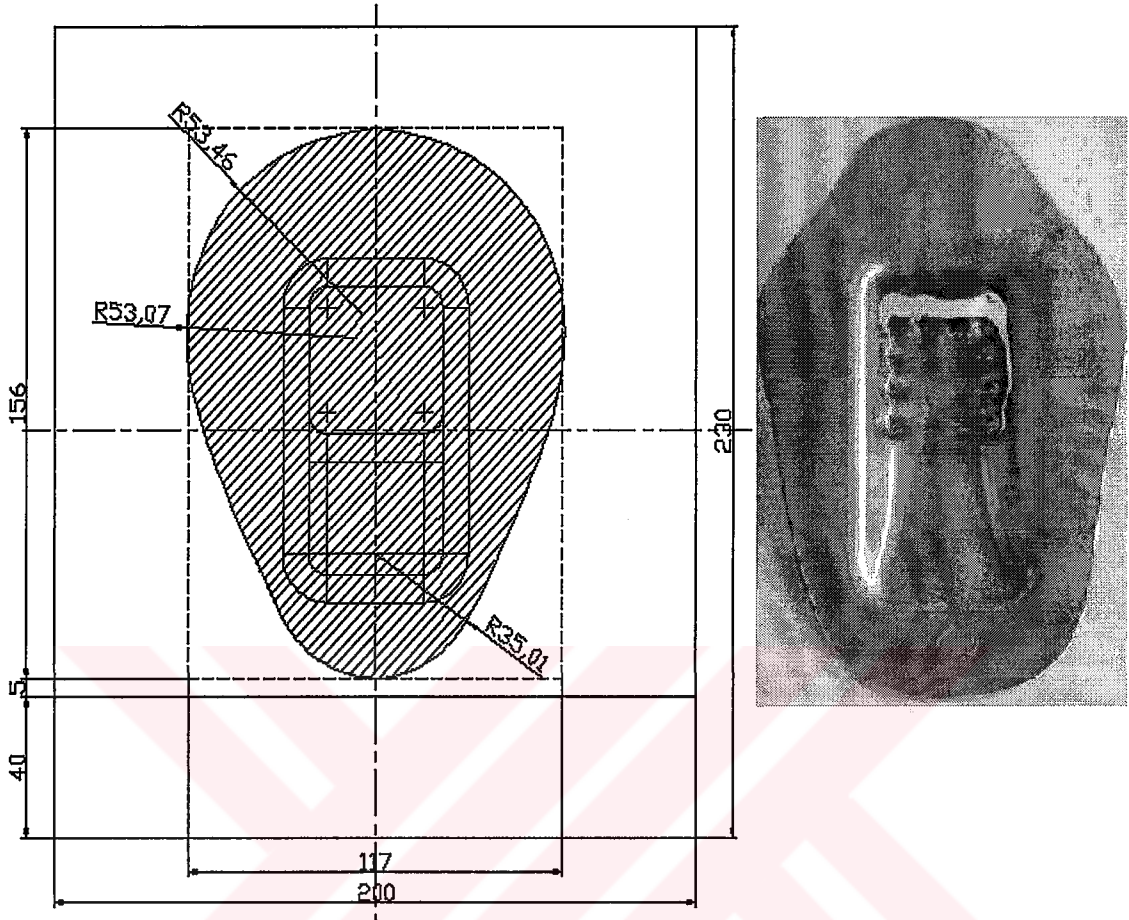
Yapılan bu belirli sayıdaki deneyin sonucu olarak aşağıdaki deney şartları ortaya çıkmıştır. Burada deney şartları olarak verilmiş resimlerde taslak malzemenin formu , ölçüleri ve bu formun kalıba nasıl yerleştirildiği şematik olarak gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 0.8 mm
 Çekme hızı : 9.5 mm/sn

Şekil 3.14. 1. deneyin yerleşim planı

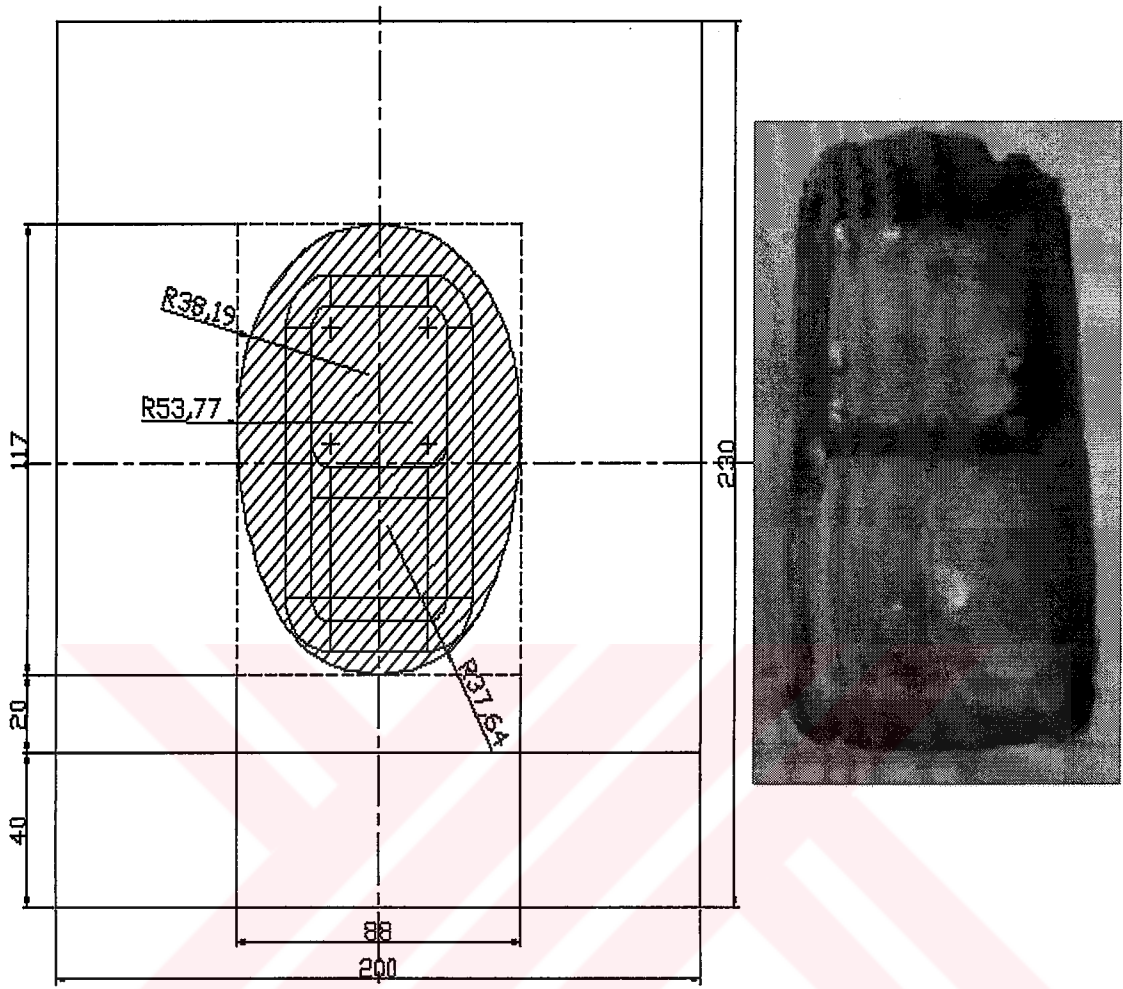
Şekil 3.10'da 1. deneyin gösterilen yerleşim planında taslak malzemenin ideal formunu belirleyebilmek ve derin çekme esnasında akmaların hangi geometride ne kadar olduğunu gözlemleyebilmek için malzeme özellikle öngörülen ölçülerden büyük kesilmiş ve Şekil 3.14'de ki gibi yerleştirilmiştir.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.15. 2. deneyin yerleşim planı

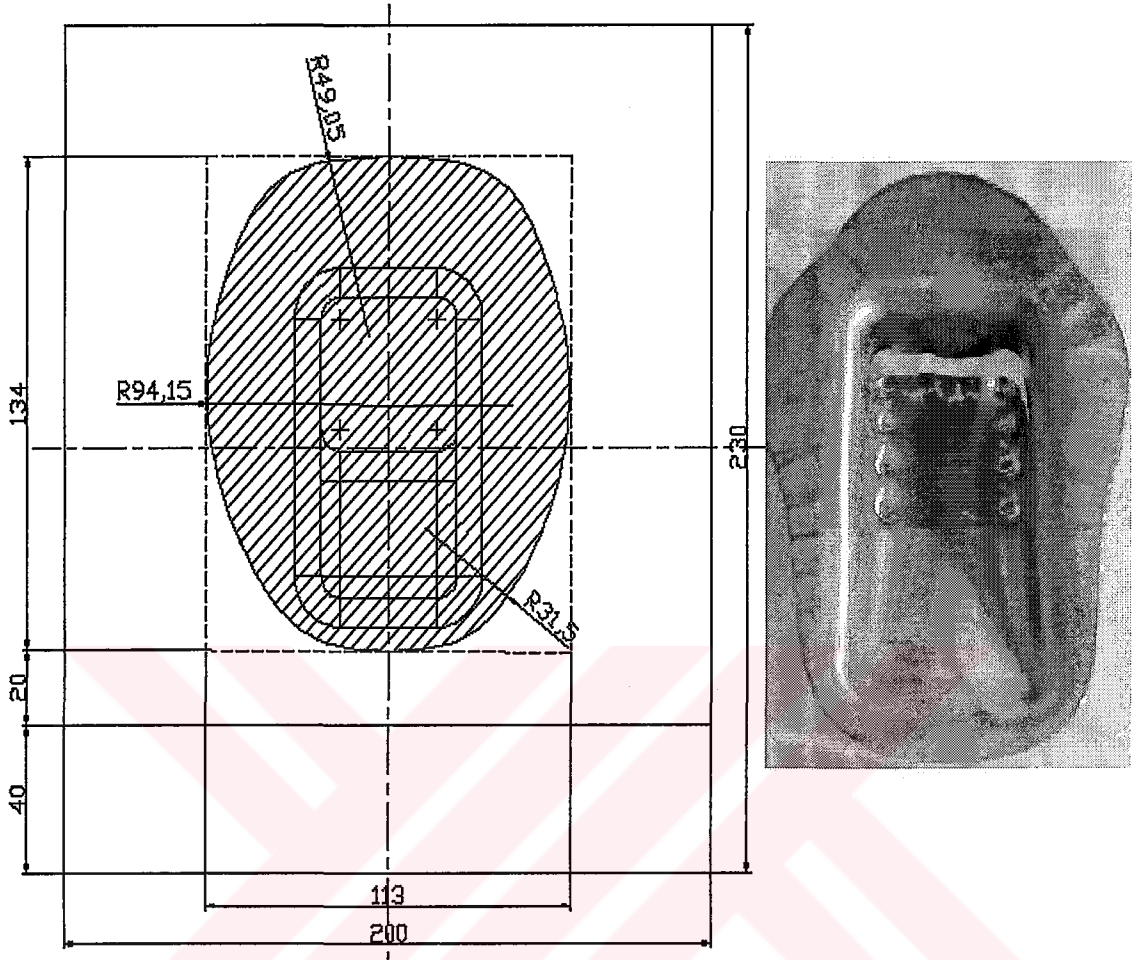
Birinci deneyin ardından yapılan ikinci deneyde, birinci deneye göre bazı değerlerde değişiklik yapılarak ikinci deney yapılmıştır. İkinci deneyde malzemenin dış ölçülerinde ve geometrisinde değişiklik yapılmamış sadece baskı plakası boşluğu 0.3 mm artırılarak 1.1 mm'ye çıkartılmıştır. Bu durum Şekil 3.15'de gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu: 1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.16. 3. deneyin yerleşim planı

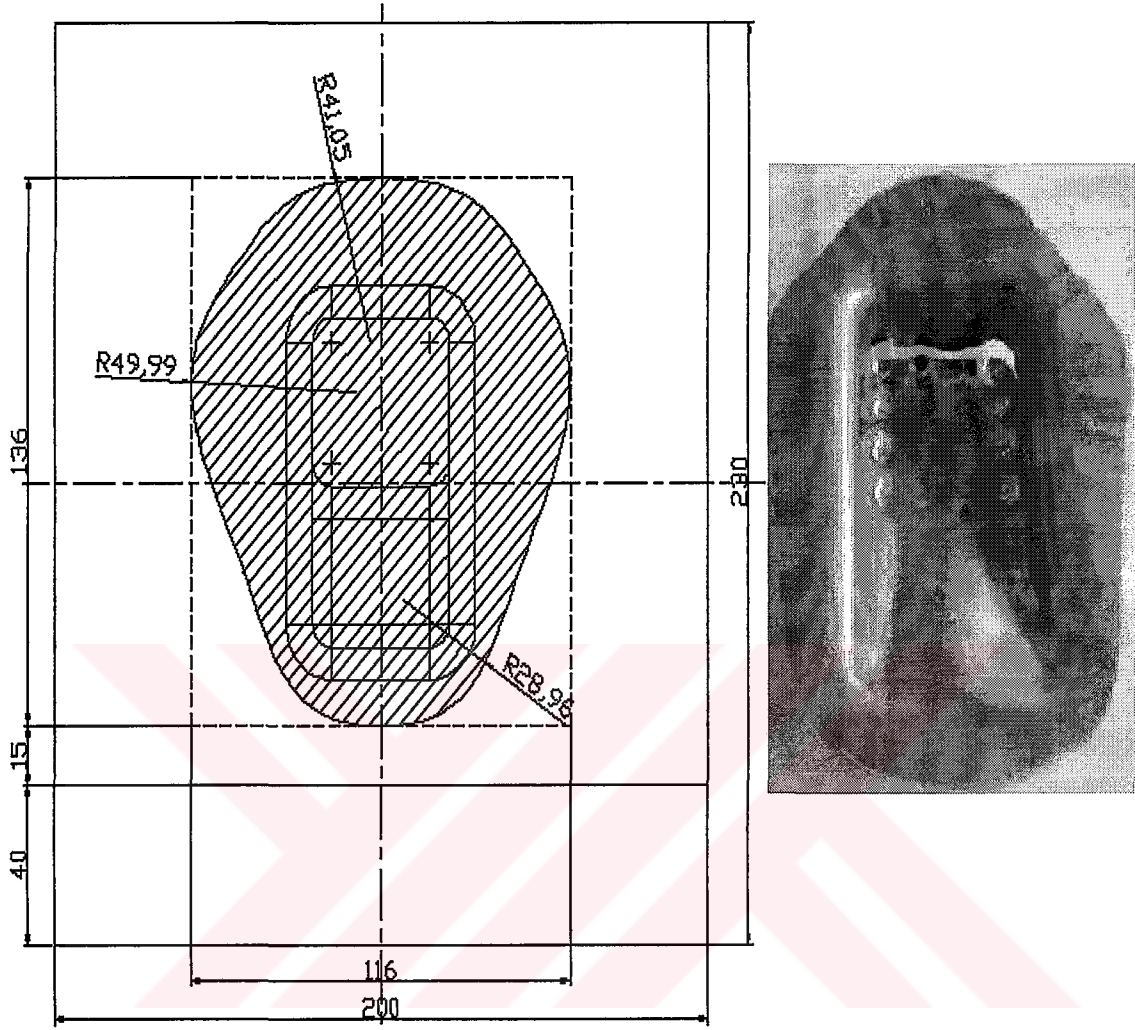
İkinci deneyin sonucunun da başarısız olmasından dolayı, baskı plakası boşluğunda gerçekleştirilen değişikliğin yeterli olmadığı gözlemlendi. Bu gözlemlerin sonucunda taslak malzemenin geometrisinde ve ölçülerinde Şekil 3.16'de gösterilen ölçülerde taslak malzeme hazırlandı. Bu deneyde baskı plakası boşluğu 1 mm çekme hızı 6.95 mm/s alınmıştır.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
 Çekme hızı : 6,95 mm/s

Şekil 3.17. 4. deneyin yerleşim planı

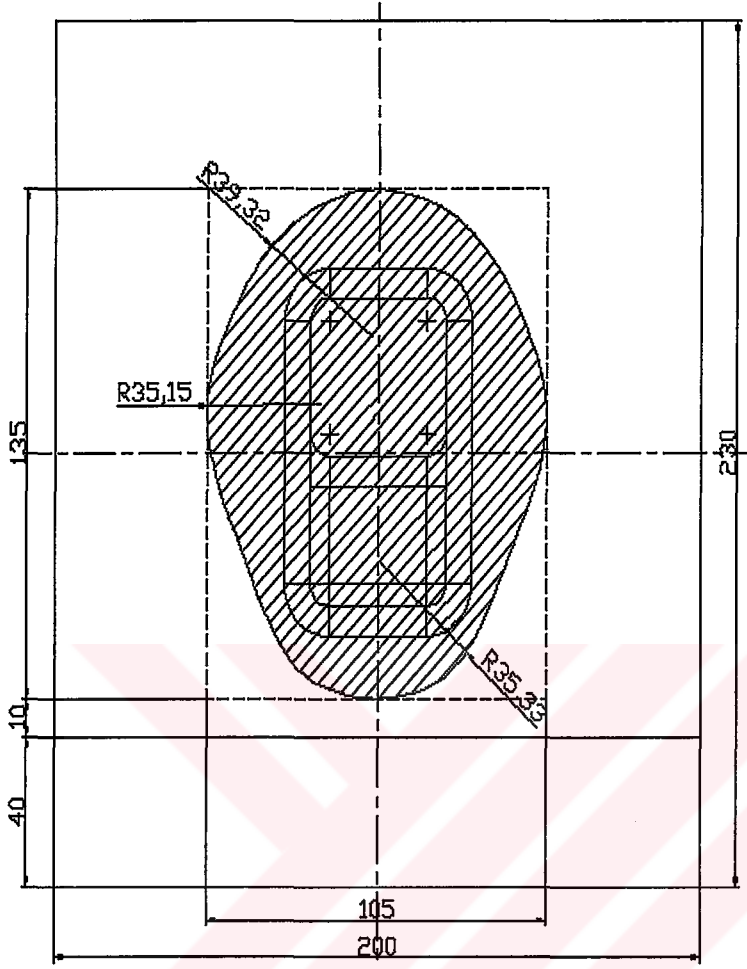
Üçüncü deneyin sonucunda taslak malzemenin ölçülerinin çok ufaltıldığı anlaşıldığı için dördüncü deneyin taslak malzemenin hazırlanmasında malzemenin en ve boy ölçüleri artırılmasının yanı sıra taslak malzemenin alt ve üst kavisleri de artırıldı. Bu deneyde de bir önceki deneydeki gibi baskı plakası boşluğu 1mm, çekme hızı da 6,95 mm/s alınmıştır. Dördüncü deney için hazırlanan taslak malzemenin şematik ölçüleri ve deney sonucundaki malzemenin fotoğrafı Şekil 3.17'de gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu: 1 mm
 Çekme hızı : 6,95 mm/s

Şekil 3.18. 5. deneyin yerleşim planı

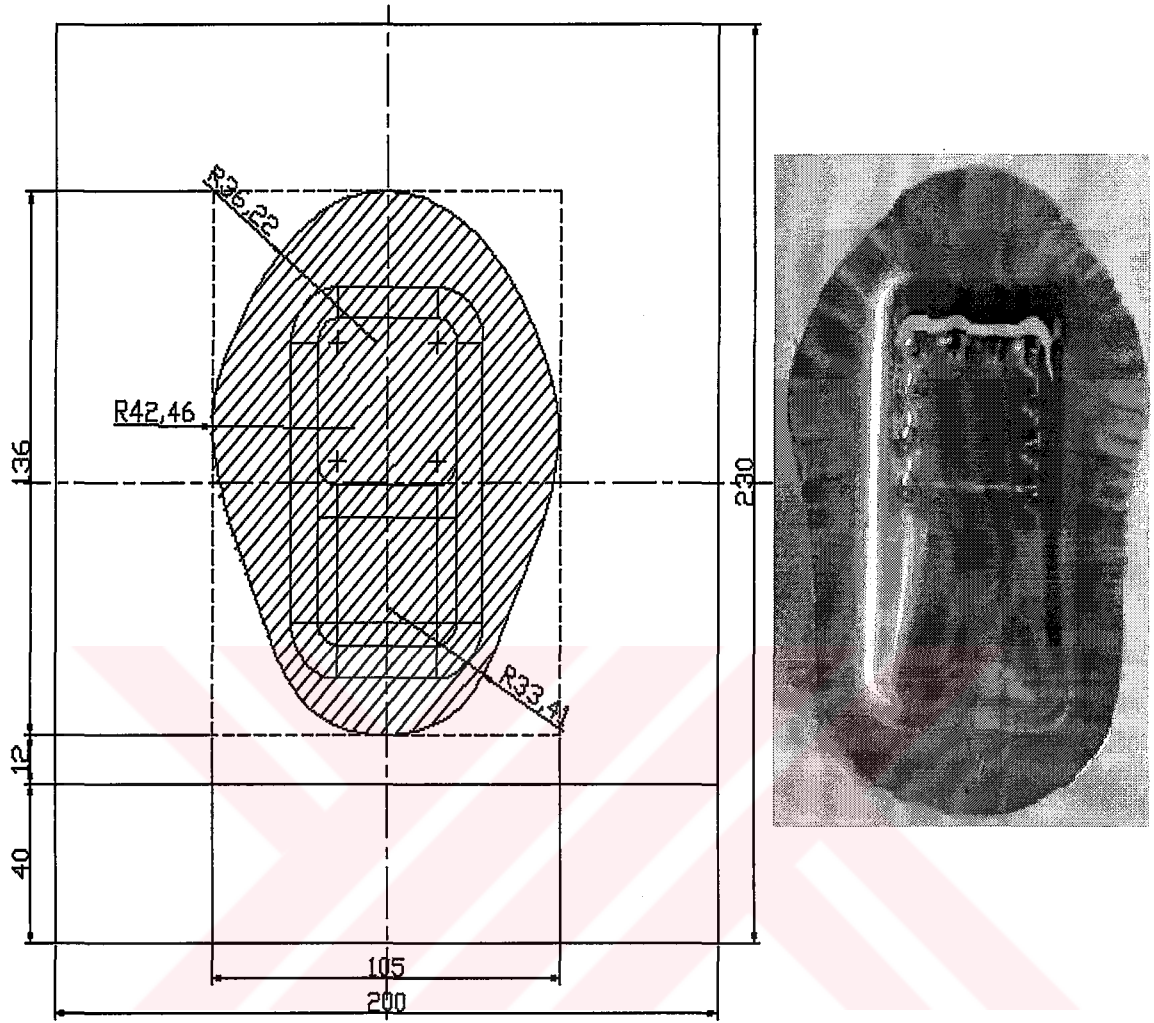
Dördüncü deneyin sonucunda taslak malzemesinde gerçekleştirilen değişikliğin bizi daha da sonuca ulaştırmaktan uzaklaştırdığı gözlemlendi. Bu gözlemin ardından beşinci deneyin taslak malzemesini hazırlarken dördüncü deneyin taslak malzemesinde yapılan alt ve üst kavis çapları azaltıldı ve taslak malzemenin yerleşiminde kalıp alt mesafesi 20 mm'den 15 mm'ye indirildi. Bu deney de de bir önceki deneydeki gibi baskı plakası boşluğu 1 mm ve çekme hızı 6,95 mm/s alındı. 5. deneyin yerleşim planı ve deney sonucundaki fotoğrafı Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.19. 6. deneyin yerleşim planı

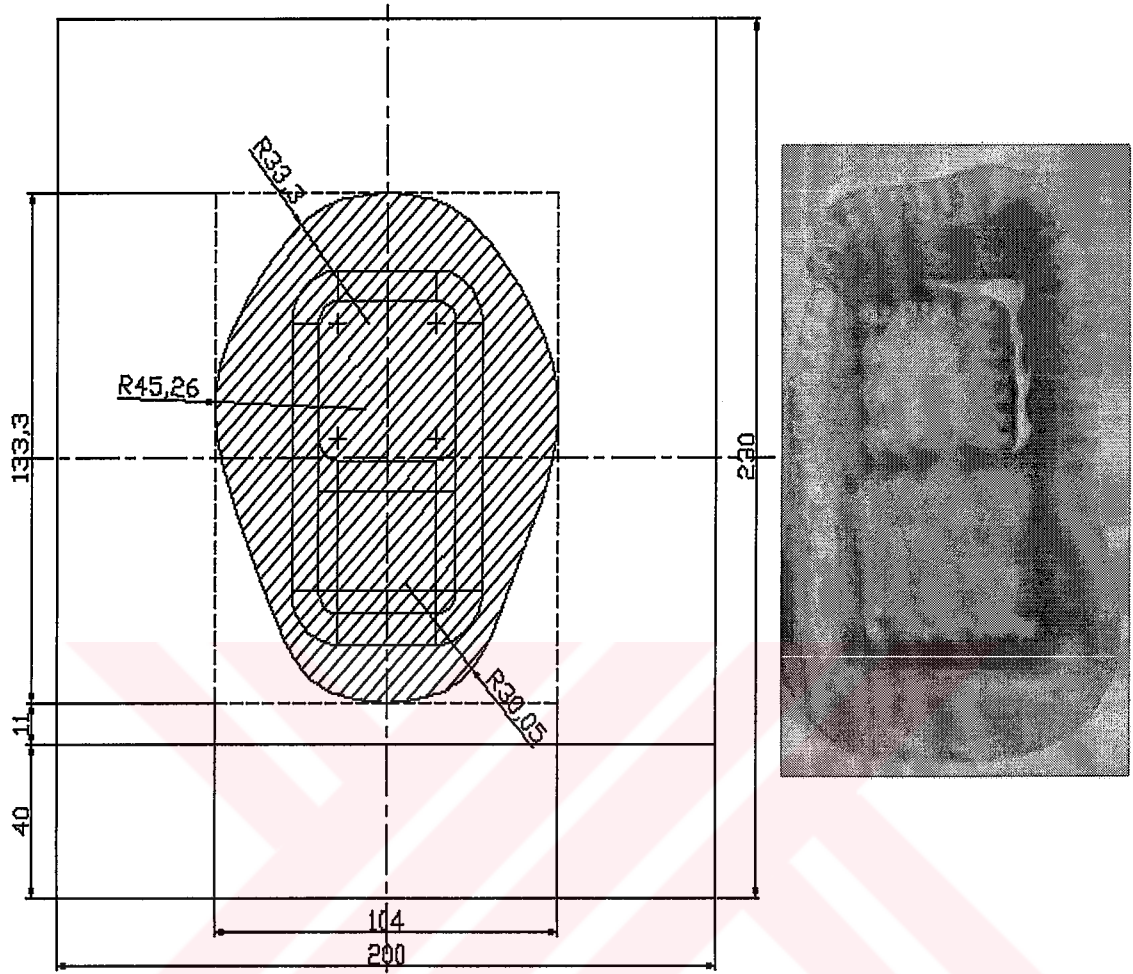
Besinci deneyde de başarısız olununca malzemenin sadece geometrisinde ve malzeme ile baskı plakası arasında bırakılan boşluğun haricinde malzemenin kalıba yerleşim ölçülerinde de bazı değişikliklerin yapılmasının gerekliliği gözlemlendi. Bundan dolayı 6. deney için hazırlanan taslak malzemenin boy ölçüsü beşinci deneydeki taslak malzemedan 1 mm azaltıldı, en ölçüsünde 116 mm den 115 mm'ye indirildi. Taslak malzemenin kalıba yerleştirilmesinde ise 15 mm olan alt yerleşim miktarı 10 mm'ye indirildi. Bu deneyde de baskı plakası boşluğu 1.1 mm ve çekme hızı da 6,95 mm/s alınmıştır. Altıncı deneyin yerleşim planı ve deney sonucundaki malzemenin fotoğrafı Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.20. 7. deneyin yerleşim planı

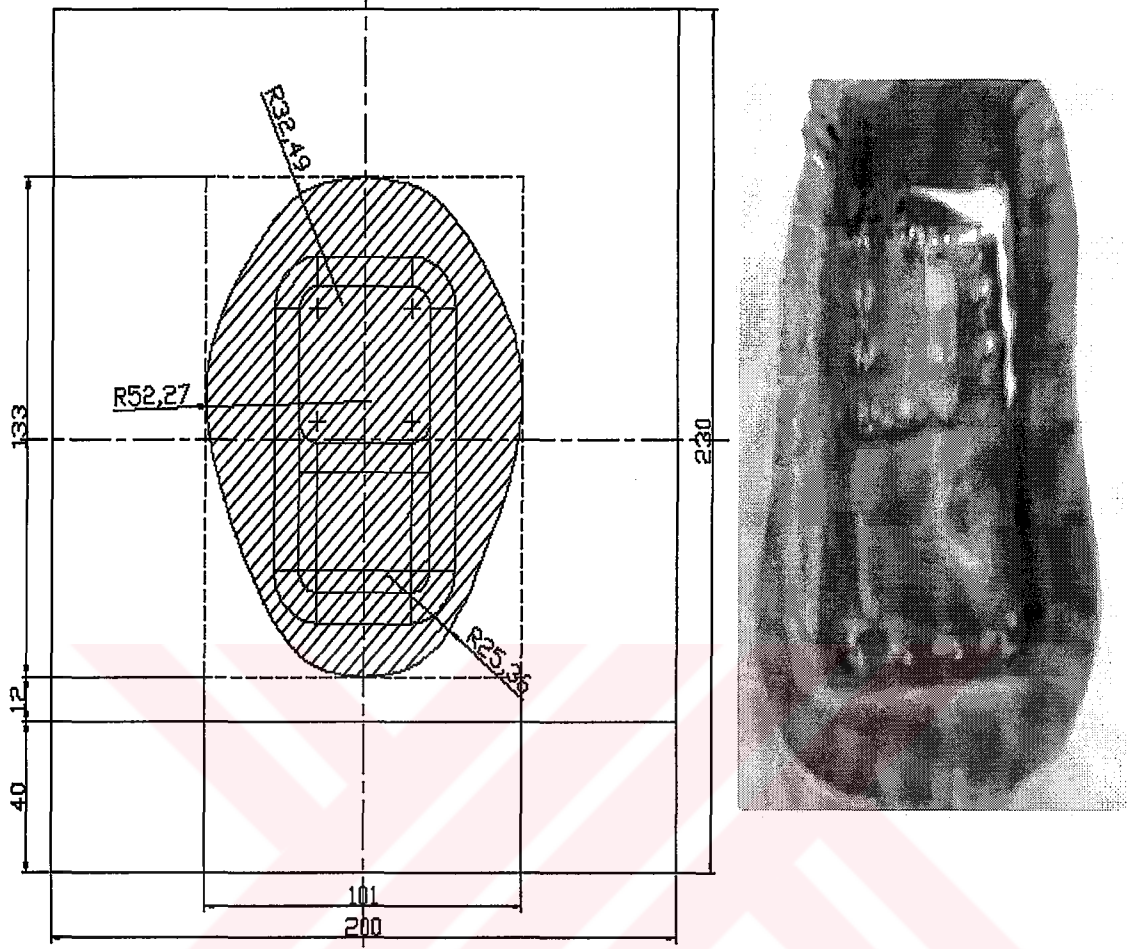
Altıncı deneyde taslak malzemenin kalıp alt mesafesiyle olan yerleşiminin çok azaltıldığı görüldü. Bu sonuca ulaşmanın nedeni ise malzeme yırtılmadan maksimum derinliğe getirildiğinde malzemenin üst tarafında oluşması gereken kulakçık oluşumunun olmaması ve alt tarafında da olması gereken kulakçıktan fazla kulakçık oluşmasıdır. Bu nedenden dolayı yedinci deneyde malzemenin boy ölçüsü 1mm artırıldı. En ölçüsünde ise herhangi bir değişiklik yapılmadı. Taslak malzeme yerleştirilirken kalıp alt miktarı 10 mm'den 12 mm'ye çıkartıldı. Bu deneyde de baskı plakası boşluğu 1.1 mm ve çekme hızı da 6,95 mm/sn alınmıştır. Bu deneyin taslak malzeme yerleşim planı ve deney sonucundaki fotoğrafı Şekil 3.20'de gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.21. 8. deneyin yerleşim planı

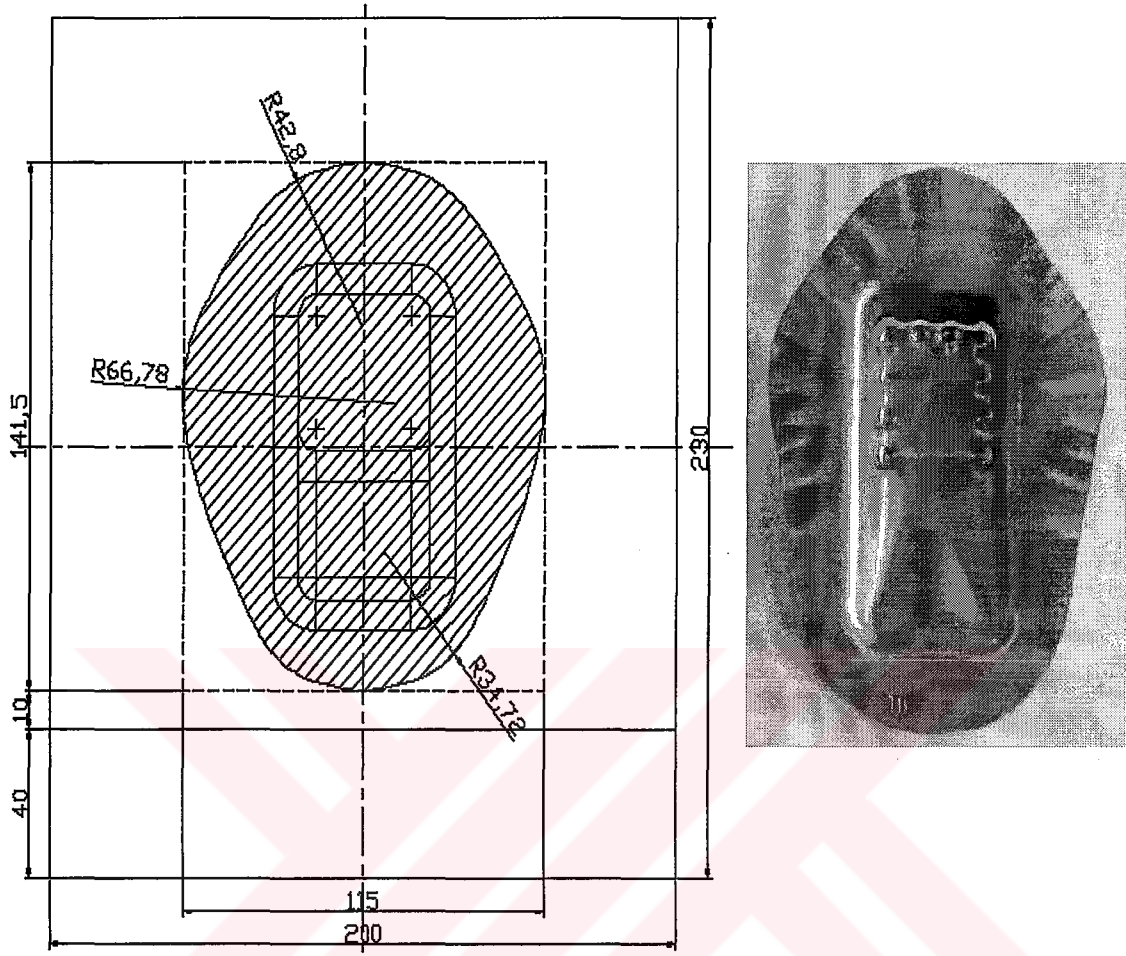
Yedinci deneyden sonucunda malzemenin boyunun biraz daha azaltılmasına karar verilerek 136 mm'den 133.3 mm'ye indirildi. Malzemenin enini de 1 mm'lik azaltmaya karar verildi. Bu kararların sonucunda sekizinci deney için hazırlanan taslak malzemenin deney setine yerleştirilmesi için kalıp alt boşluğu 12 mm'den 11 mm'ye düşürüldü. Sekizinci deneyin taslak malzeme yerleşim planı Şekil 3.21'de gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.22. 9. deneyin yerleşim planı

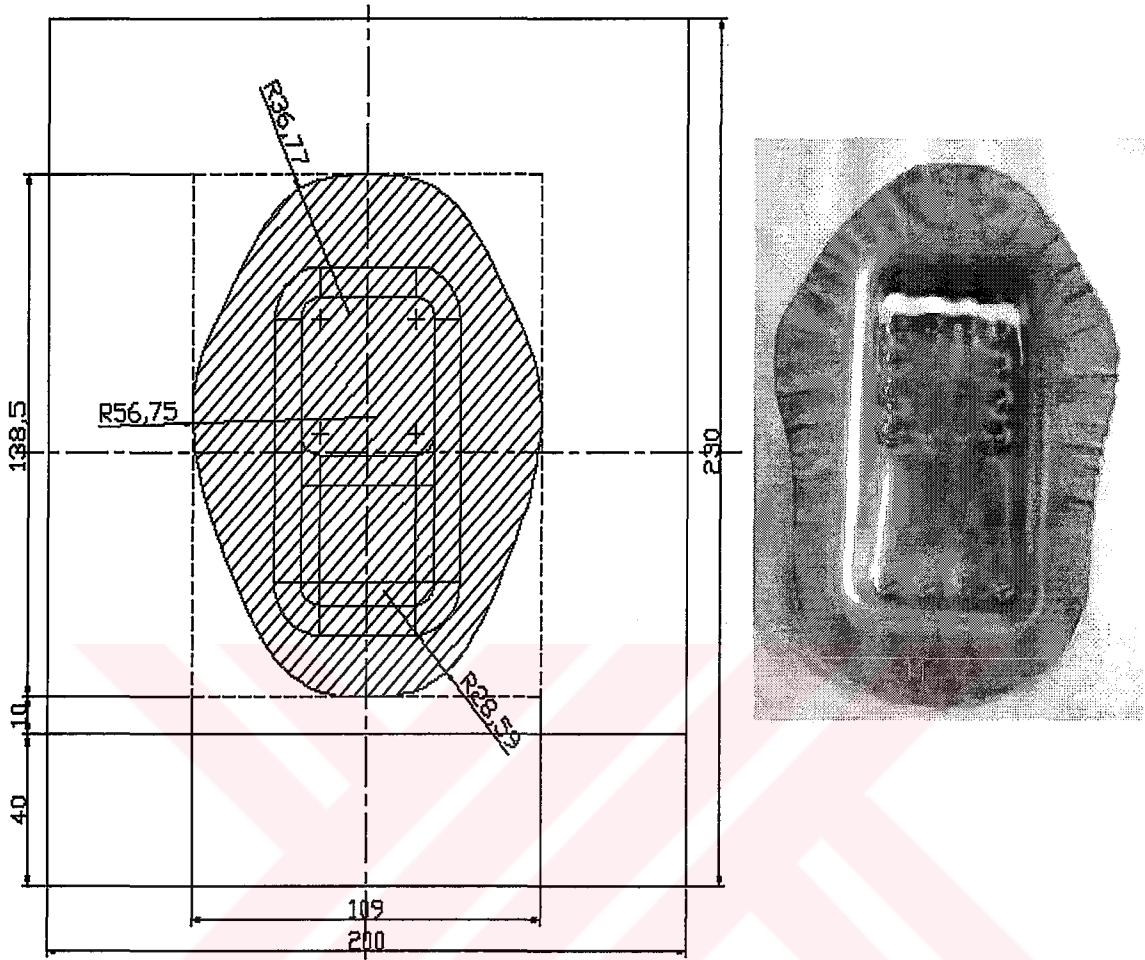
Şekil 3.22’de gösterilen 9. deneyin yerleşim planında sekizinci deneden farklı olarak sadece 11 mm olan kalıp alt mesafesi tekrar 12 mm’ye çıkartıldı. Bu deneyde de baskı plakası boşluğu 1.1 mm çekme hızı da 6.95 mm/s olarak gerçekleştirildi.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.23. 10. deneyin yerleşim planı

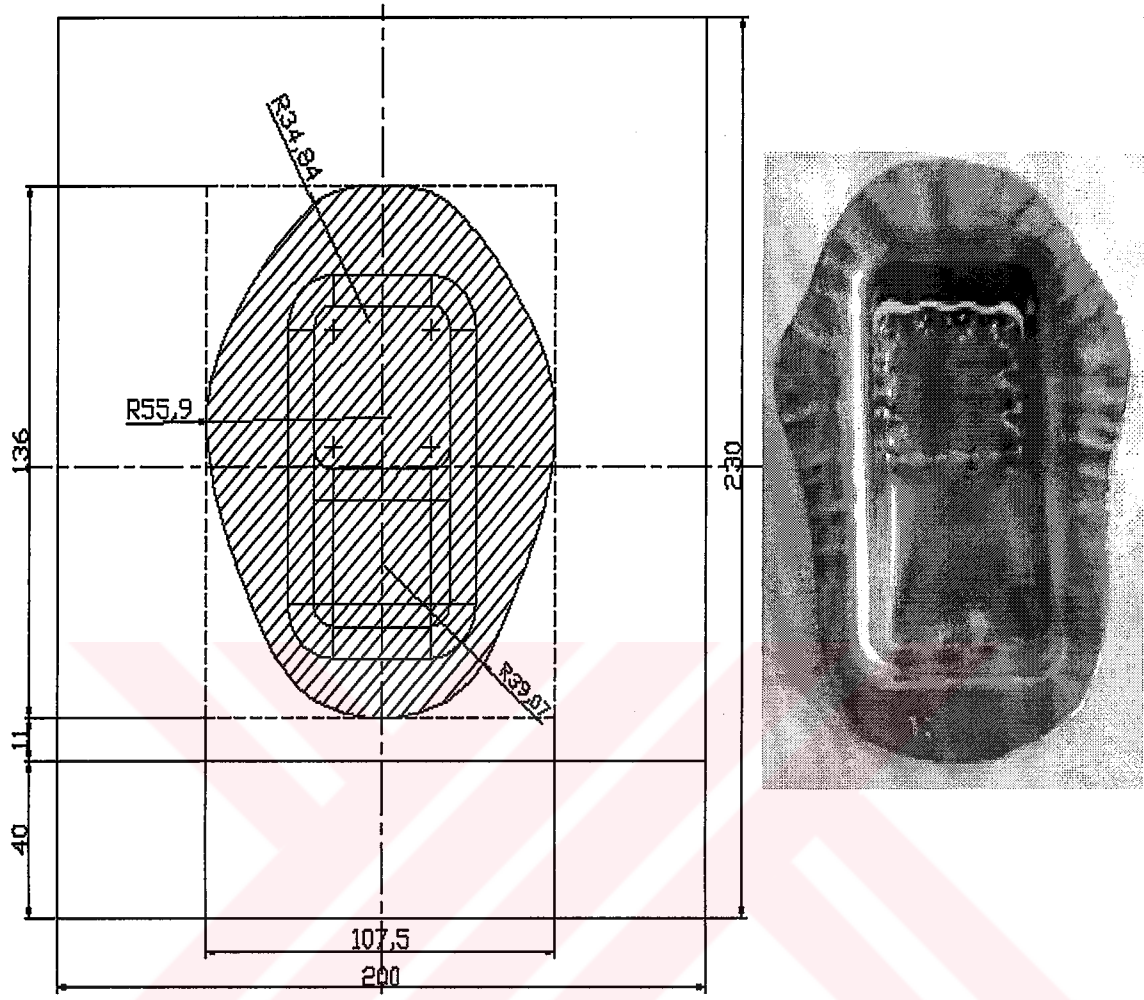
Şekil 3.23'de 10. deneyin taslak malzemesinin yerleşim planı ve bu taslak malzemenin kalıba yerleştirme ölçüleri gösterilmektedir. Bu deneyde baskı plakası boşluğu 1.1 mm ve çekme hızı 6.95 mm/s alınmıştır.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.24. 11. deneyin yerleşim planı

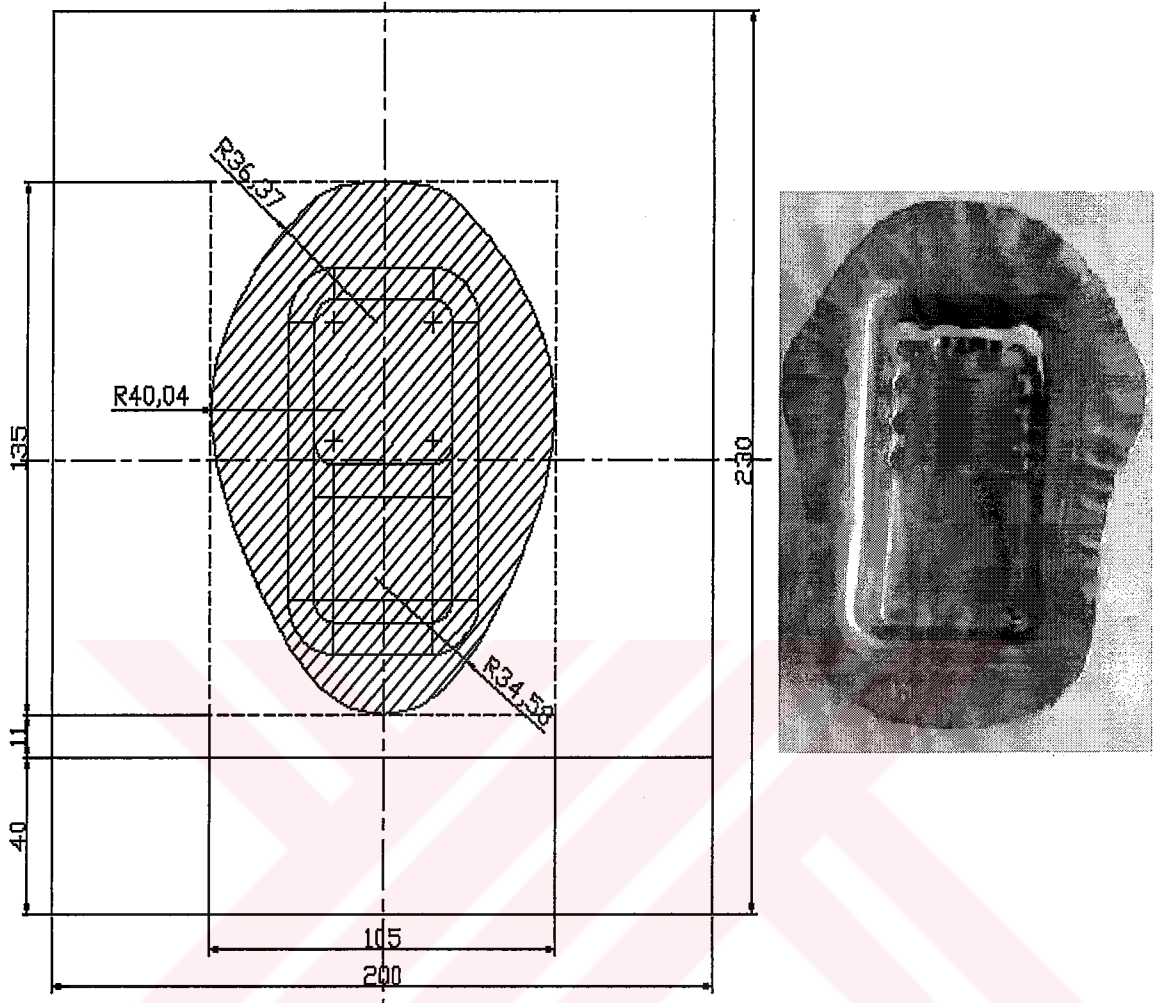
Onuncu deneyde kullanılan taslak malzemenin ölçüleri bir önceki deneye göre çok fazla büyütüldüğü görüldü. Bunun için on birinci deneyde bu taslak malzemenin ölçüleri dokuzuncu deneyle onuncu deneydeki taslak malzemelerin arasındaki bir ölçüye indirildi. Bu indirilen ölçüler ve deney sonucundaki malzemenin fotoğrafı Şekil 3.24'de gösterildiği gibidir. Bu deneyde baskı plakası boşluğu 1.1 mm çekme hızı da 6.95 mm alınmıştır.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.25. 12. deneyin yerleşim planı

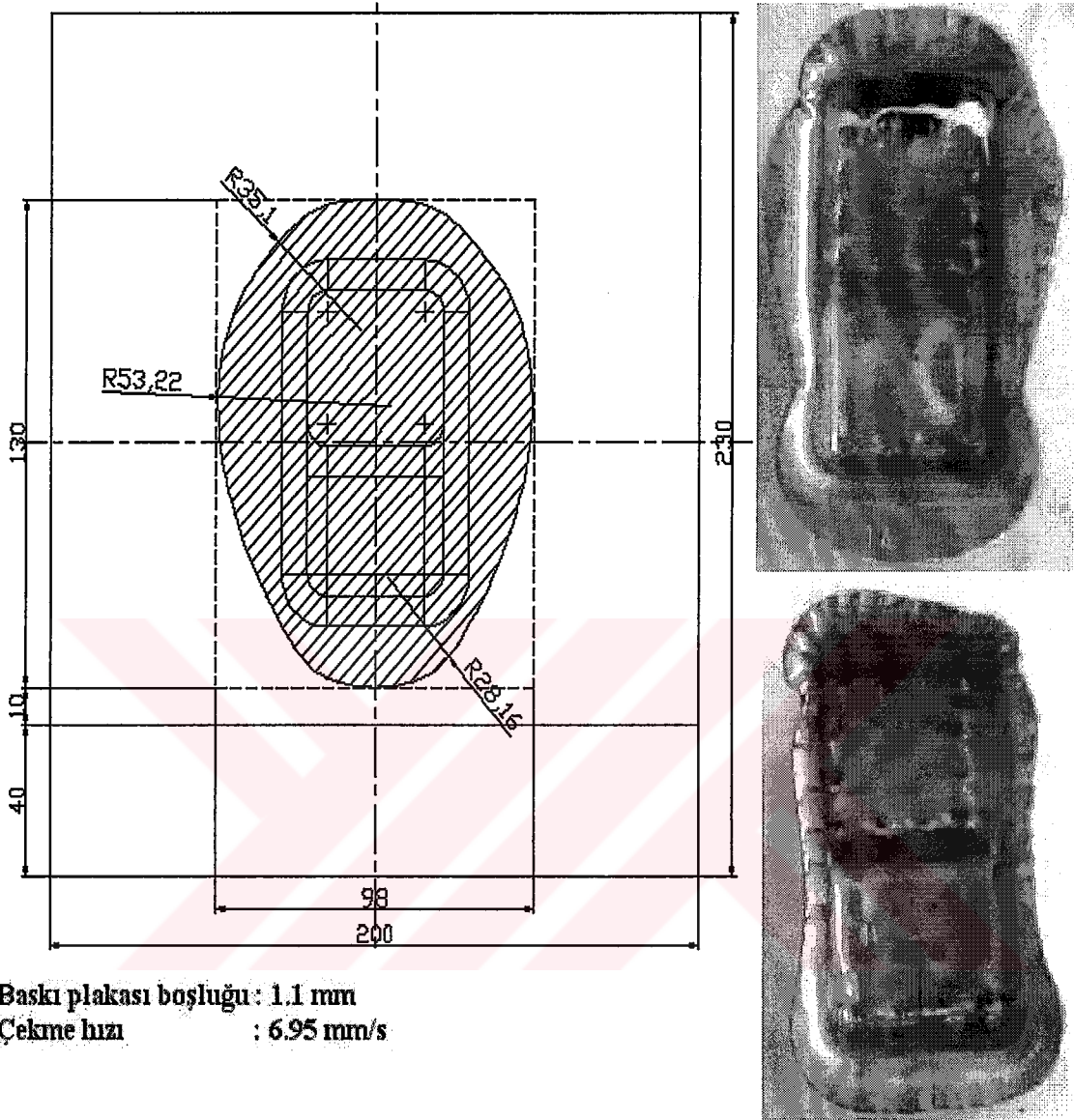
On birinci deneyde azaltılan taslak malzemenin ölçüleri yeterli olmadığı için derin çekme işlemi bitmeden malzemedeyırılma gözlemlendi. Bu gözlemlerden malzemenin en ve boy ölçülerini biraz daha azaltılmasına karar verildi. Taslak malzeme Şekil 3.25’de gösterilen ölçülerde hazırlandı ve yerleştirildi. Bu deney de gerçekleştirilirken baskı plakası boşluğu olarak 1.1 mm ve çekme hızı da 6.95 mm alındı.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
Çekme hızı : 6.95 mm/s

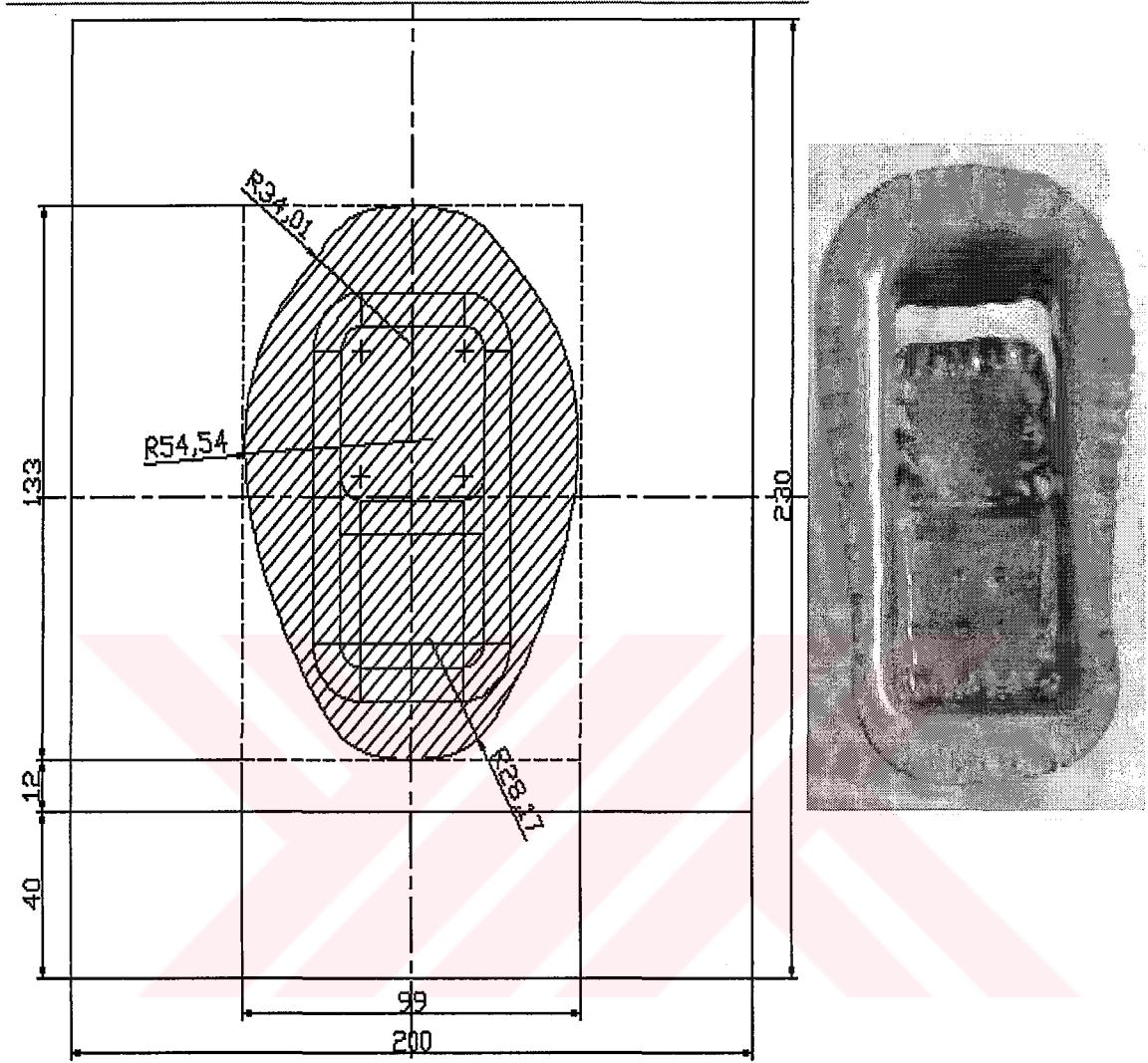
Şekil 3.26. 13. deneyin yerleşim planı

On ikinci deneyin sonucunda da derin çekme işlemini gerçekleştiremeyince on üçüncü deney için taslak malzemenin ölçülerinde ufak değişiklikler yapıldı. On üçüncü deneyde kullanılan taslak malzemenin ölçüleri ve yerleşim planı Şekil 3.26'da gösterilmektedir ve deneyde baskı plakası boşluğu 1.1 mm çekme hızı da 6.95 mm/sn alınmıştır.



Şekil 3.27. 14.-15. deneyin yerleşim planı

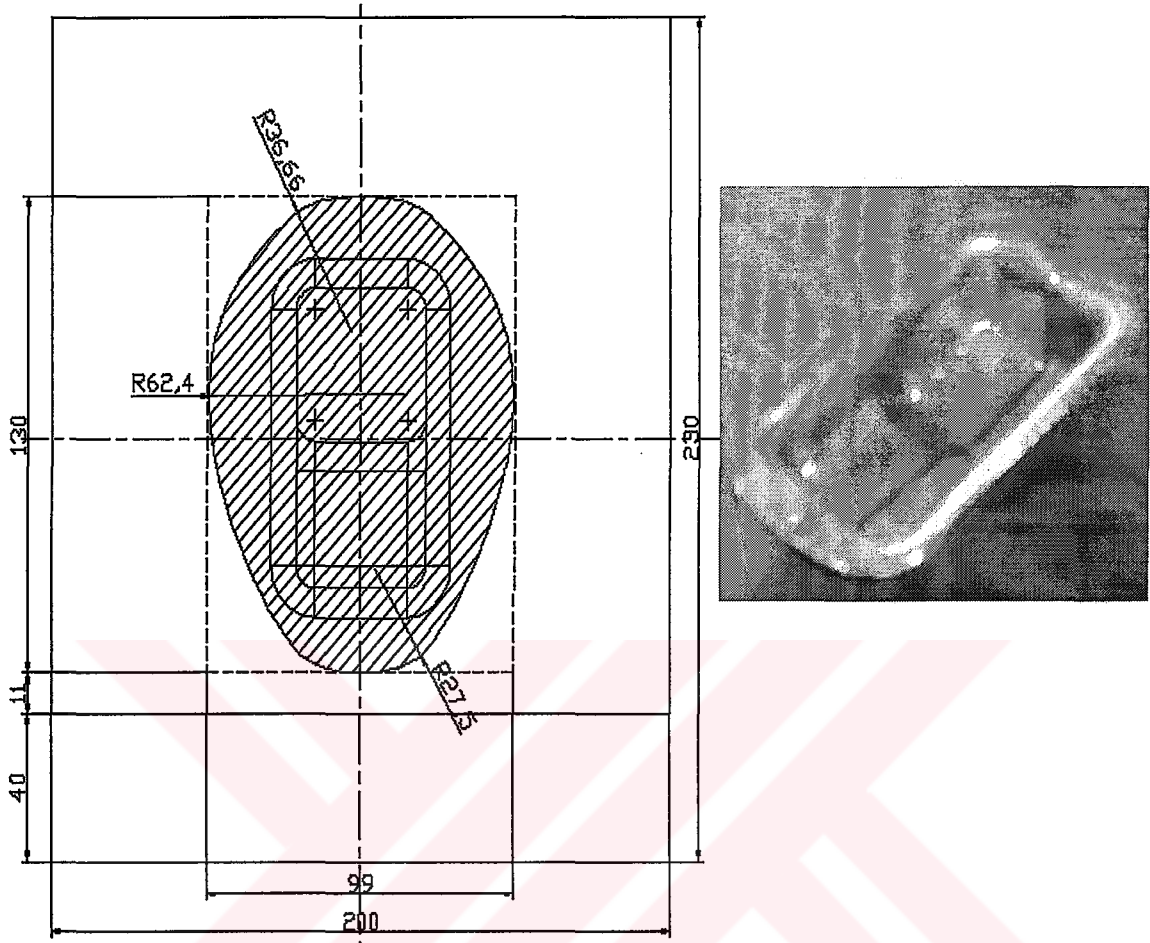
On dört ve on beşinci deneylerde kullanılan taslak malzemelerin ölçüleri on üçüncü deneyde kullanılan taslak malzemenin ölçülerine göre biraz daha küçültülmüştü. Baskı plakası boşluğu 1.1 mm ve çekme hızı da 6.95 mm/s olarak alınmıştır. Bu durum Şekil 3.27’de gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 1.1 mm
Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.28. 16. deneyin yerleşim planı

On dört ve on beşinci deneylerde azaltılan taslak malzeme ölçülerinin çok azaltıldığına ve on altıncı deneyin taslak malzemesi için bu ölçülerin bir miktar artırılması uygun görüldü. On altıncı deneyin taslak malzemesinin hazırlanmasında kullanılan ölçülerle bu malzemenin kalıba yerleştirilme ölçüleri Şekil 3.28'de gösterildiği gibidir.

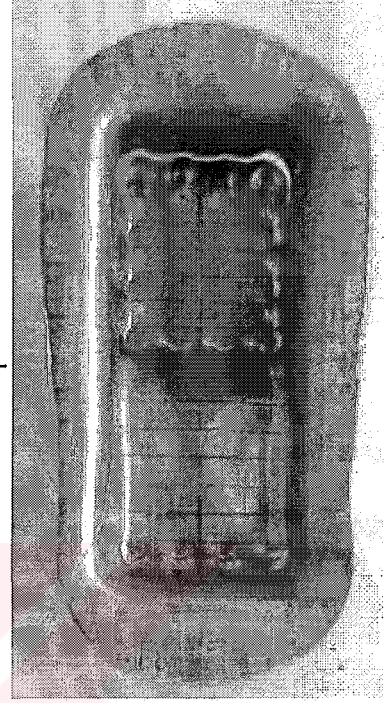
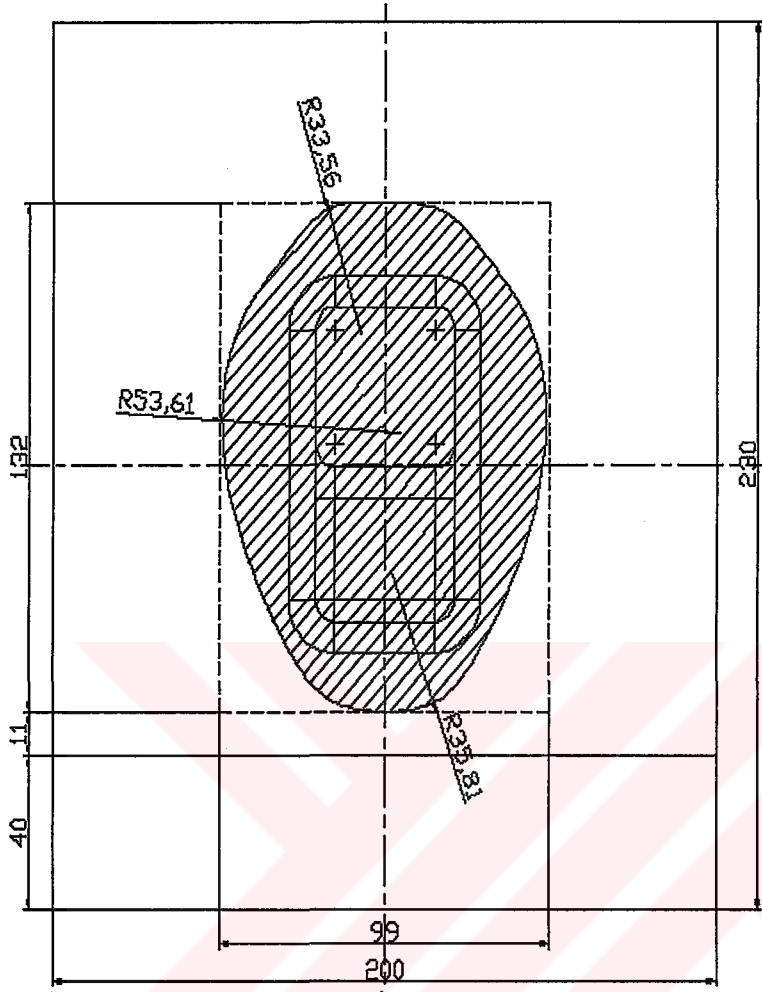


Baskı plakası boşluğu : 1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.29. 17. deneyin yerleşim planı

Yapılan on altıncı deneyin sonucunda problemin taslak malzemenin ölçülerinde değil kalıba yerleştirme ölçülerinde olduğu anlaşıldı. On yedinci deney için malzeme boyu 130 mm, genişliği 99 mm olan taslak malzeme hazırlandı. Bu taslak malzeme deney setine kalıp alt boşluğu olarak 11 mm ölçüyle yerleştirildi. Bu deneyde baskı plakası boşluğu olarak 0.1 mm azaltılarak 1 mm alındı. Çekme hızı da 6.95 mm/s olarak gerçekleştirildi.

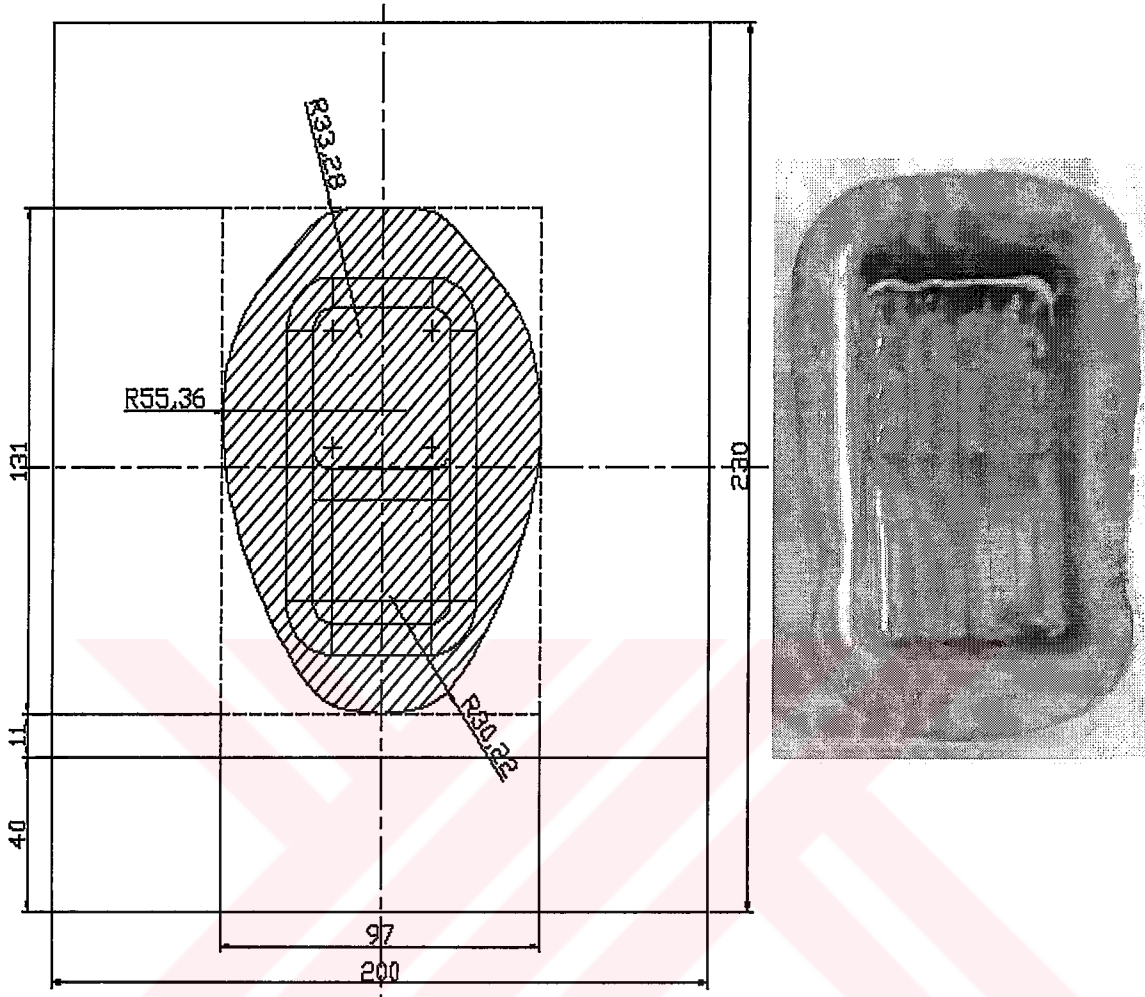
Yukarıdaki şartlarda gerçekleştirilen deney başarıyla sonuçlandı ve taslak malzemeye istenilen şekil çok noktali derin çekme yöntemiyle gerçekleştirilmiş oldu. On yedinci deneyde kullanılan taslak malzemenin ölçüleri, deney setine yerleşim planı ve deney sonucundaki fotoğrafı Şekil 3.29'de gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.30. 18. deneyin yerleşim planı

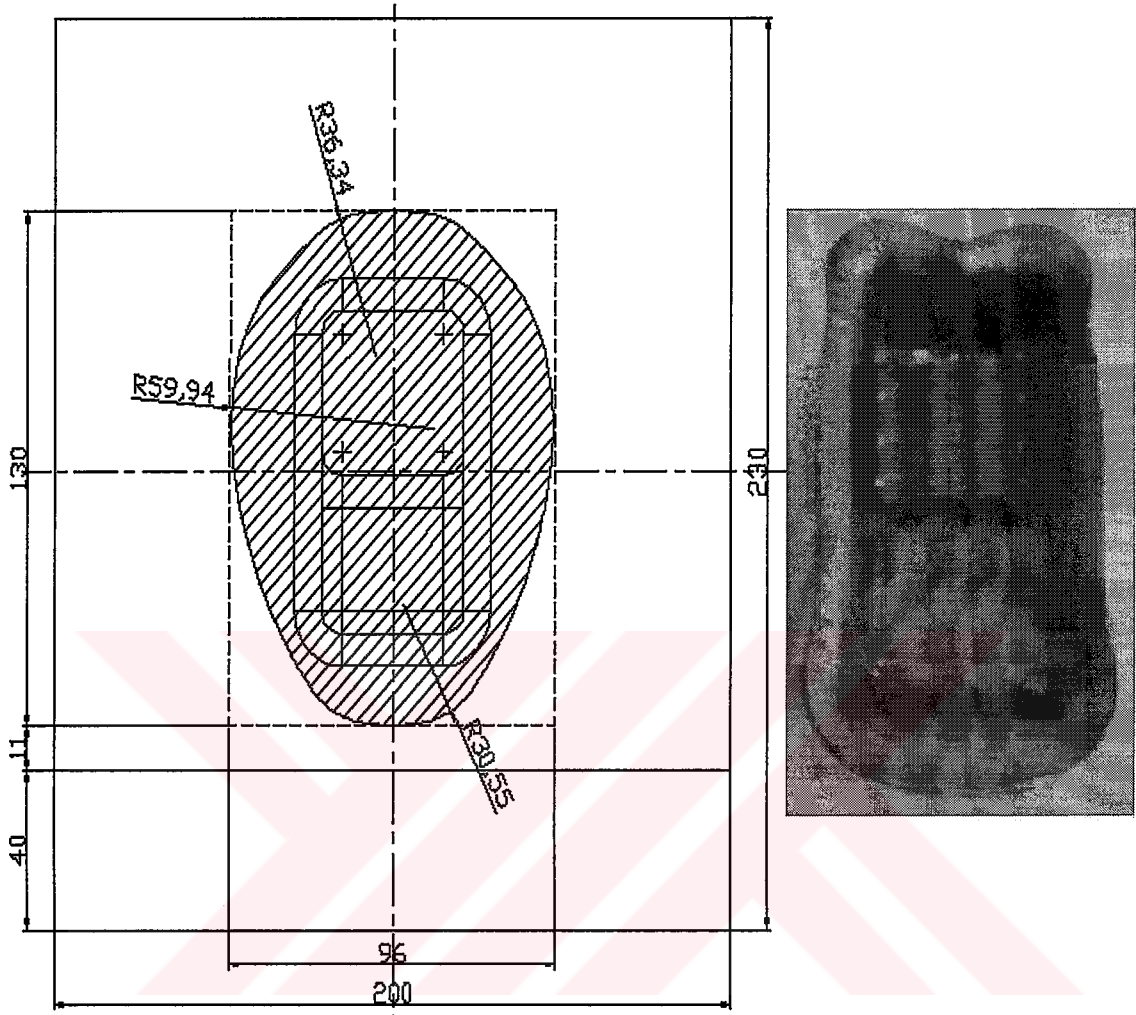
Başarıyla gerçekleştirilen ve taslak malzemenin ideal ölçülerinin bulunduğu deneyden sonra çekilen malzemenin kulakçık oluşumunu daha düzgün hale getirmek için kalıbın boy ölçüsünde 2 mm'lik artırım yapıldı. Bu deneyde de baskı plakası boşluğu 1 mm ve çekme hızı 6.95 mm/s alınmıştır. Yapılan bu değişiklikten sonraki taslak malzemenin yerleşim planı ve ölçüleri Şekil 3.30'da gösterilmektedir.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.31. 19. deneyin yerleşim planı

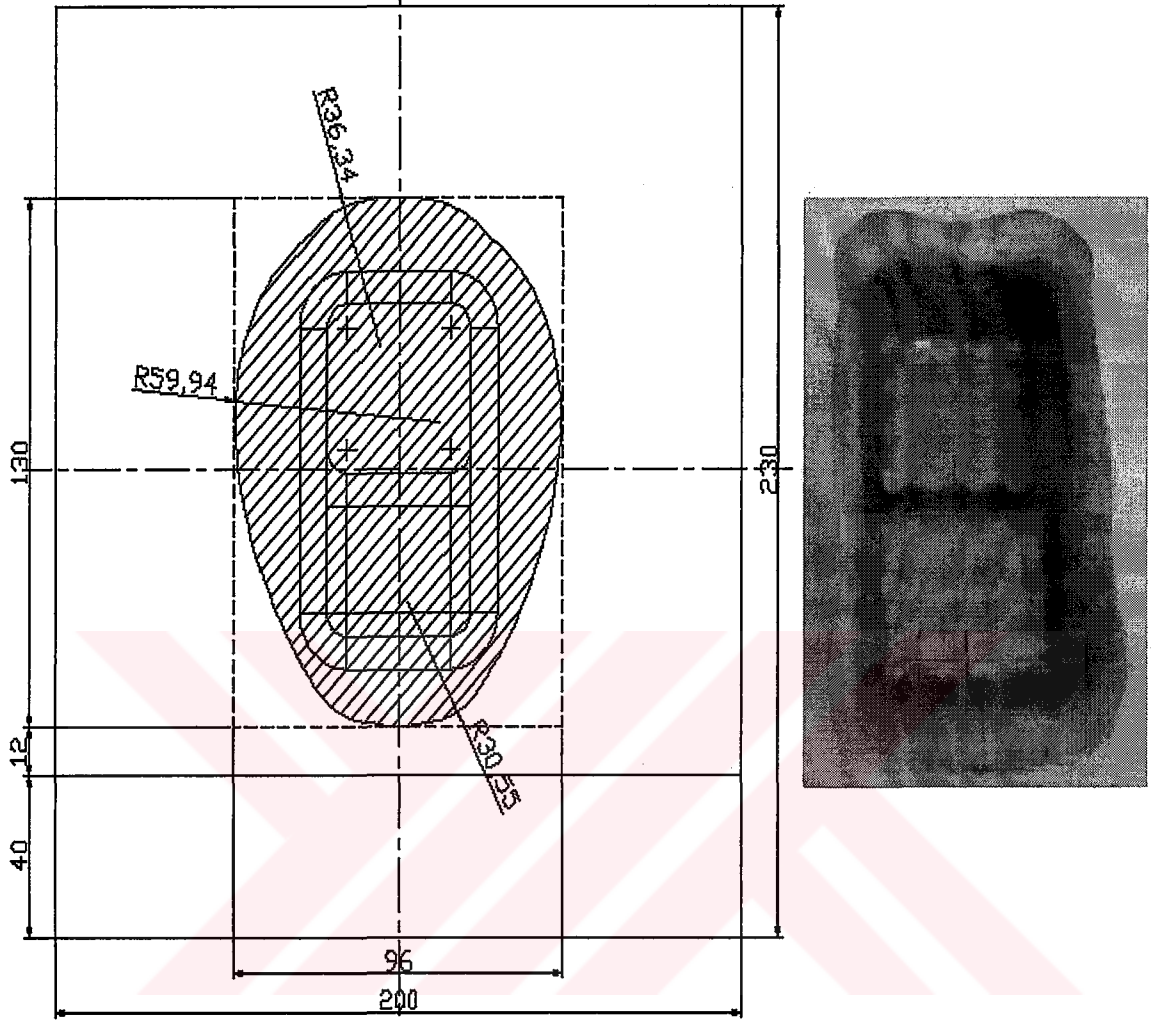
On sekizinci deneyde malzeme boyunda 2 mm artırım yapıldıktan sonra deney sonucunda derin çekme işlemi başarısız oldu. Bu sonuçtan sonra başarı elde ettiğimiz ölçüde 2 mm yerine 1 mm'lik artırım gerçekleştirerek taslak malzeme yeniden hazırlandı. Hazırlanan bu taslak malzemenin çekilmesi işleminde baskı plakası boşluğu 1 mm ve çekme hızı da 6.95 mm/s alındı. On dokuzuncu deney için hazırlanan taslak malzemenin ölçüleri ve kalıp yerleşim planı Şekil 3.31'de gösterildiği gibidir.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.32. 20. deneyin yerleşim planı

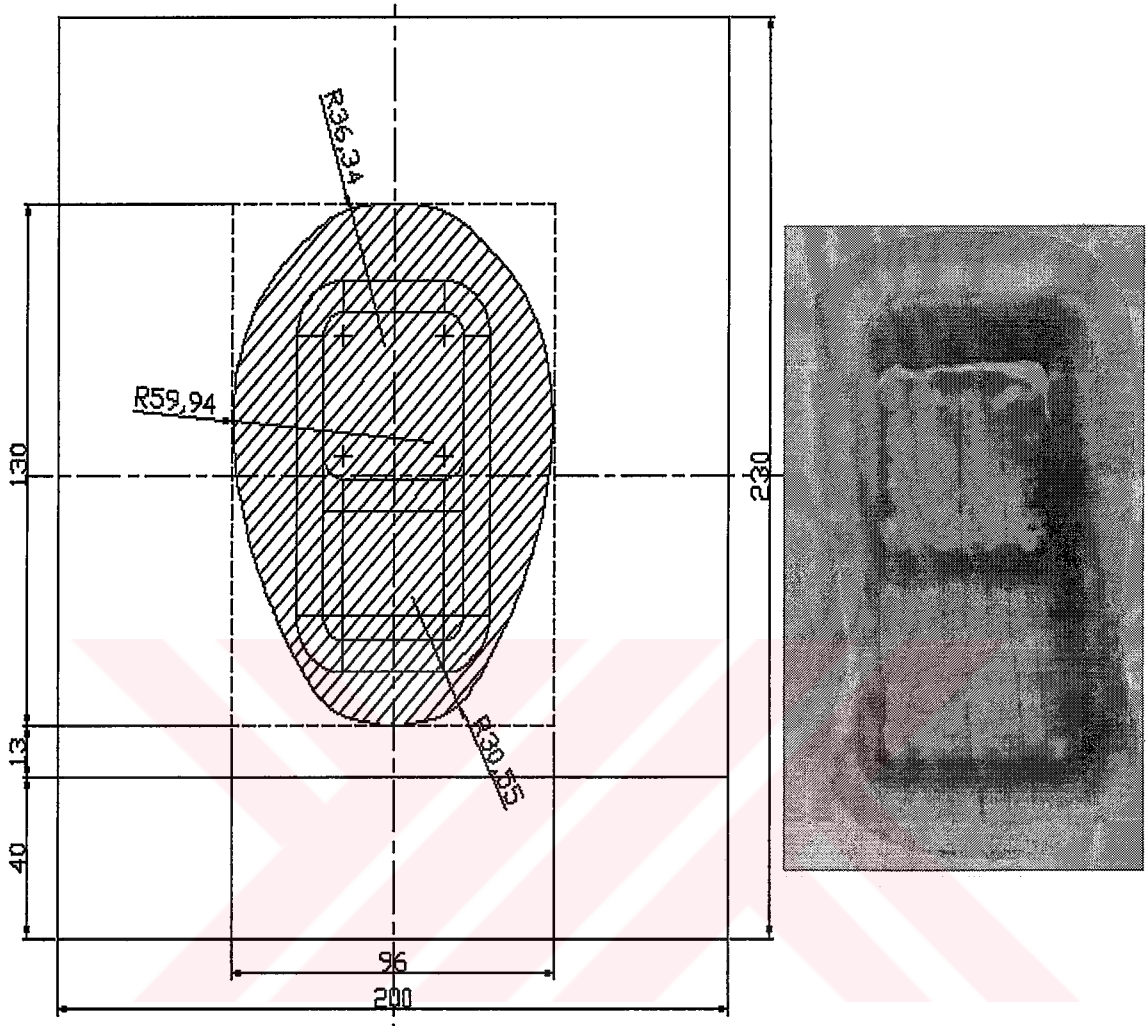
On dokuzuncu deney de başarısız olunca malzemenin ideal boy ölçüsünün 130 mm olduğu kesinleşmiş oldu. Taslak malzemenin eni de 96 mm olarak ayarlandı kalıp alt mesafesi 11 mm, baskı plakası boşluğu 1 mm ve çekme hızı 6.95 mm/s olacak şekilde deney seti hazırlandı. Yirminci deney için hazırlanan taslak malzemenin kalıp yerleşim planıyla ölçüleri Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.33. 21. deneyin yerleşim planı

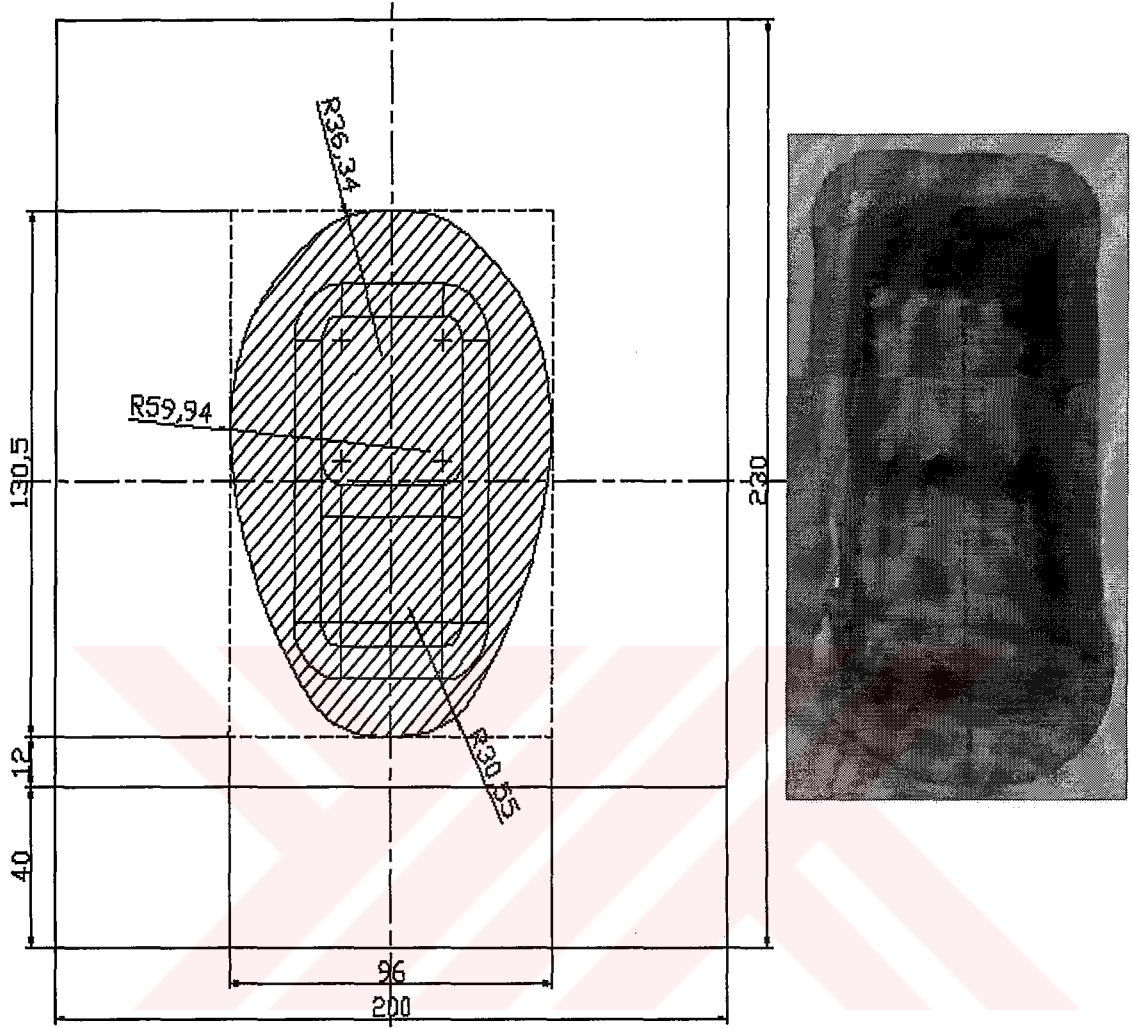
Yirminci deneyde de başarılı olunca kulakçık oluşumunu biraz daha iyi olmasını sağlamak için yirmi birinci deneyde taslak malzemenin ölçülerinde değişiklik yapılmadı. Sadece kalıp alt yerleşim miktarı 11 mm'den 12 mm'ye çıkartılmıştır. Bu durum Şekil 3.33'de gösterilmektedir. Bu deneyde de baskı plakası boşluğu 1 mm, çekme hızı 6.95 mm/s alınmıştır.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
 Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.34. 22. deneyin yerleşim planı

Şekil 3.34'de taslak malzeme ölçüleri, yerleşim planı ve deney sonucunda malzemenin fotoğrafı gösterilmekte olan deneyin taslak malzemesi belirlenmiş olan ideal ölçülerde hazırlandı. Bu deneyde kalıp alt mesafesi 13 mm, çekme hızı 6.95 mm, baskı plakası boşluğu 1 mm alınmıştır.



Baskı plakası boşluğu : 1 mm
Çekme hızı : 6.95 mm/s

Şekil 3.35. 23. deneyin yerleşim planı

Yirmi ikinci deney de artırılan kalıp alt boşluk mesafesi fazla olduğu için deneyin sonucu başarısız olduğu gözlemlendi. Bu nedenden dolayı yirmi üçüncü deneyde taslak malzemenin boyu 130 mm'den 130.5 mm'ye çıkartılmış, kalıp alt mesafesi de 12 mm, baskı plakası boşluğu 1 mm ve çekme hızı 6.95 mm olarak gerçekleştirilmiştir. Yirmi üçüncü deneyde kullanılan taslak malzemenin yerleşim planı, ölçüleri ve çekilen malzemenin çekme işlemi sonucundaki fotoğrafı Şekil 3.35'de gösterilmektedir.

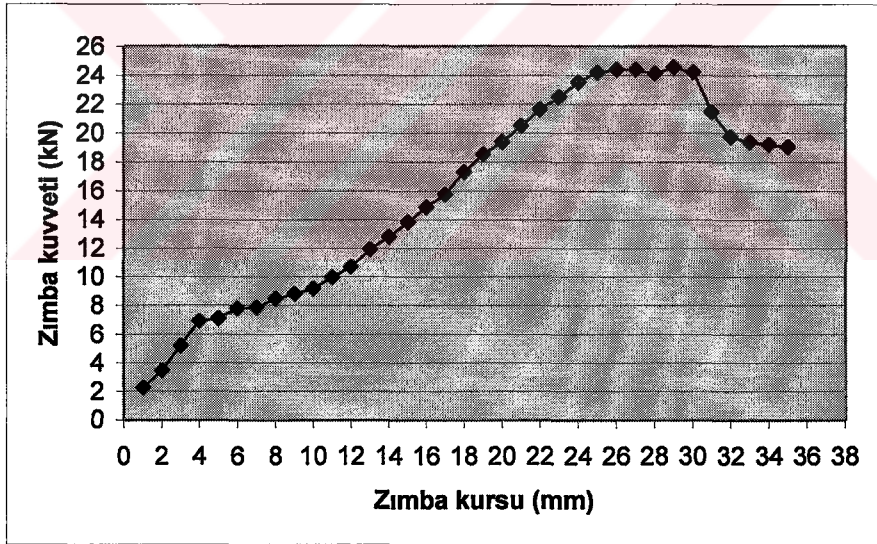
4. DENEYSEL SONUÇLAR

1. deneyden 17. deneye kadar yapılan bütün deneylerde deneylerin sonucu başarısız oldu. Bu deneylerin başarısız olmasının nedeni olarak taslak malzemenin optimum ölçüsünden büyük kesilmesi, optimum malzeme formunun belirlenememiş olması, taslak malzemenin kalıba yerleştirmesindeki hatalar ve taslak malzemenin eksenile kalıbın ekseninin tam olarak çakışmamasıdır.

17. deneyde taslak malzemenin ideal formuna erişildi ve bu deneyden elde edilen deney numunesi üzerinde ölçümlerle ilgili çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

4.1. Zimba kuvveti-zimba kursunun karşılaştırılması

İdeal parçanın (yırılmadan, buruşmadan çekilen malzeme) çekilmesi esnasında oluşan Zimba kuvveti – Zimba kursu grafiği Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Zimba kuvveti-zimba kursu grafiği

Baskı plakası boşluğu sistemi ile yapılan çekme işleminde başlangıçta metalin kayması ve akması için yeterli boşluk sağlandığından zimba kuvveti aniden yükselmez. İlk olarak uzun boylu zimbalar parçaya temas eder. Taslak malzemenin sağ tarafı (malzemenin derin olan tarafı) daha geniş olduğundan zimba kuvveti bir hayli büyük olur. Parçanın ikinci kademesi de şekillenmeye başladığında zimba kuvveti bir miktar daha artar ve 25-30 mm derinlikte

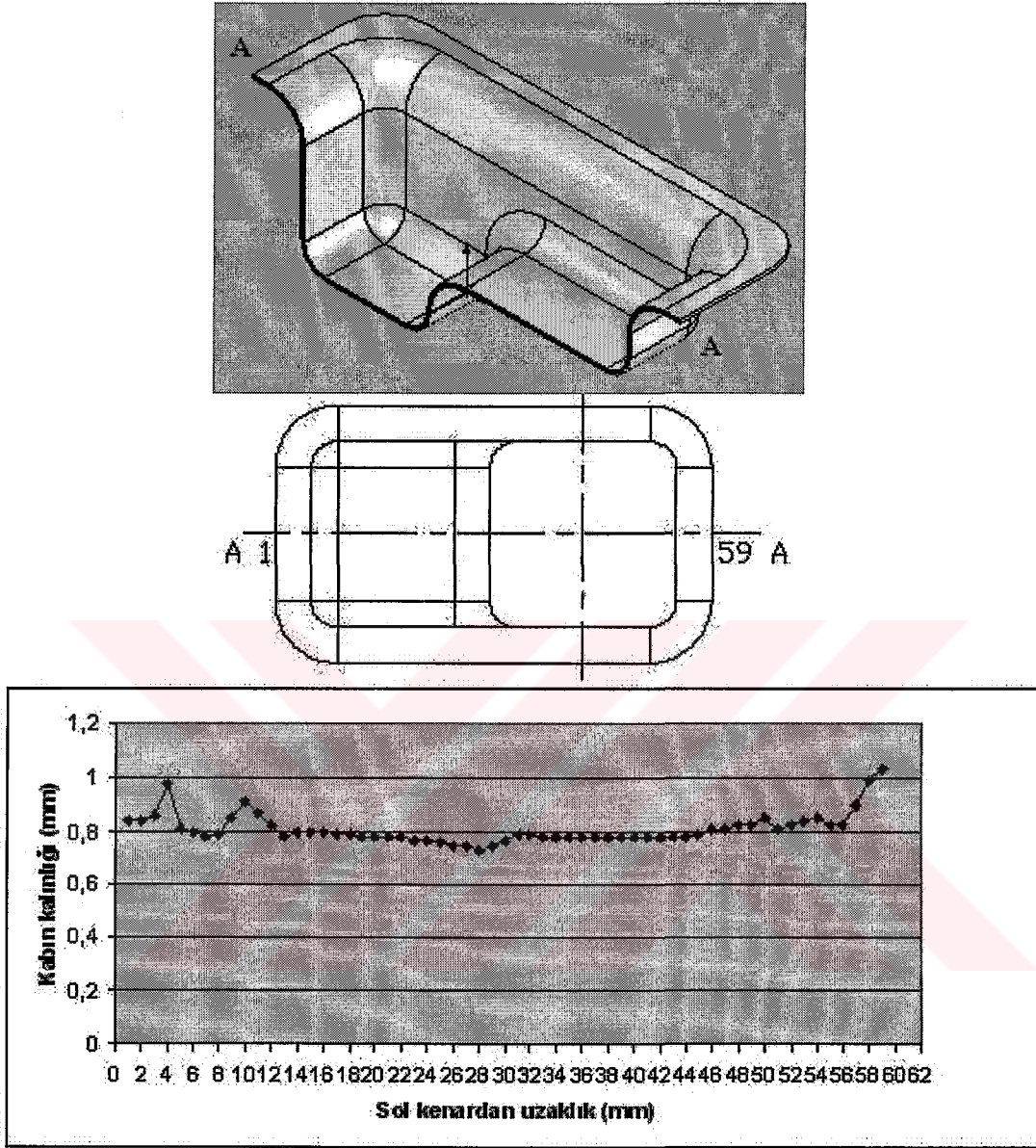
maksimum seviyeye ulaşır. Bu noktadan sonra parçanın flanş kısımları azalacağından zimba kuvveti düşer. Parça flanşlı olarak çekildiğinden maksimum derinliğe ulaşıldığında zimba kuvveti 19 kN civarında kalmaktadır.

4.2. Parça kalınlık dağılımının karşılaştırılması

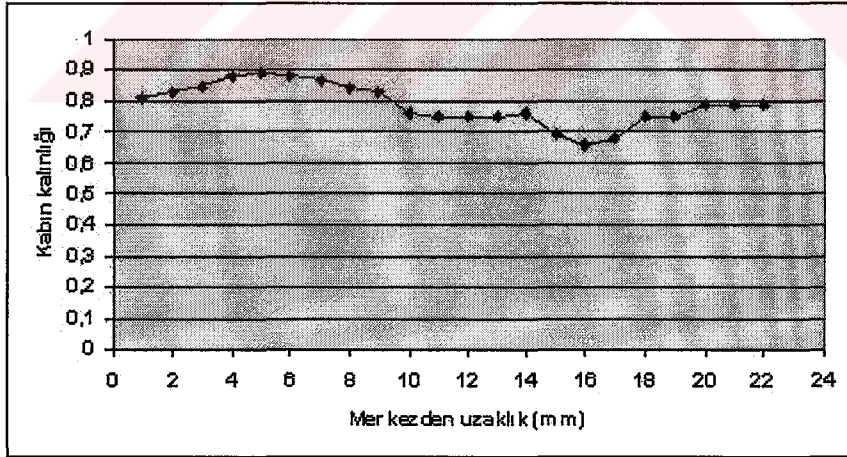
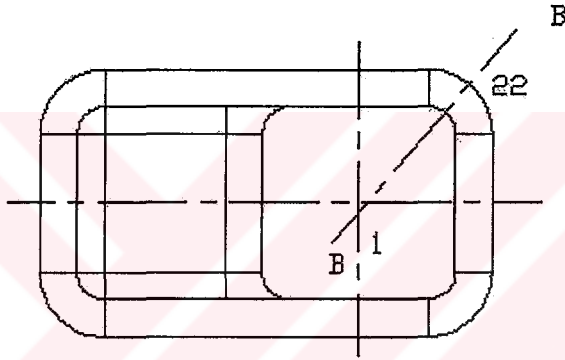
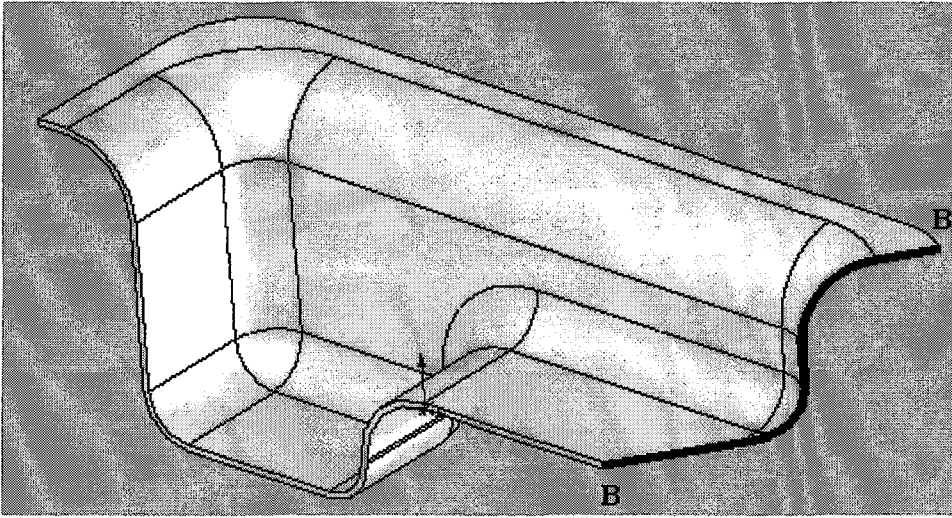
İdeal parça olarak çekilen parçanın duvar kalınlık dağılımları Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4’de gösterilmiştir.

Kabın bu şekilde gösterilen eksenlerden deformasyona uğramadan kesilmesi için parçanın içine ağaç takoz yerleştirilmiştir. Parça, belirtilen eksenlerden kesildikten sonra çapakları temizlenmiş ve konik uçlu mikrometre ile duvar kalınlıkları ölçülmüştür. Genel olarak parça tabanında kalınlığın çok fazla değişmediği, çekilmeyen flanşlı kısımlarda kalınlaştığı tespit edilmiştir.

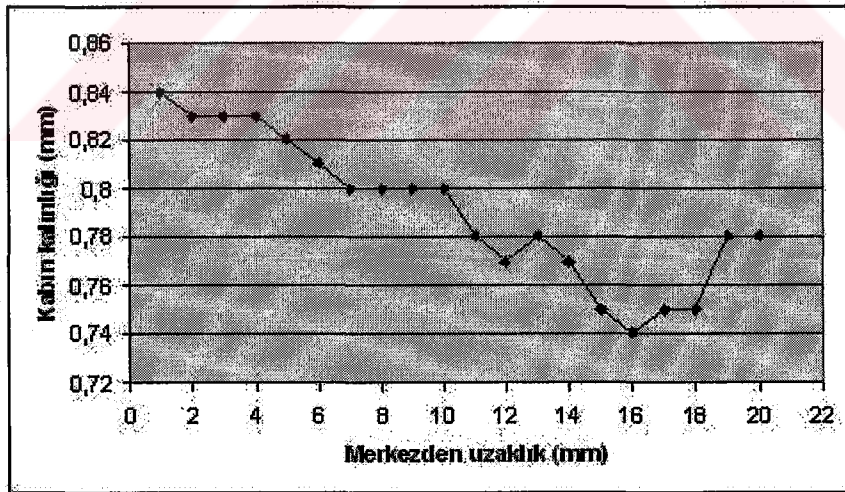
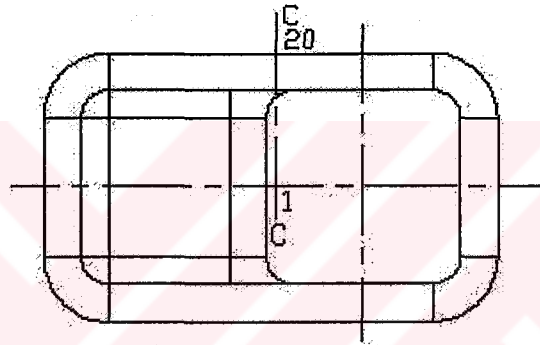
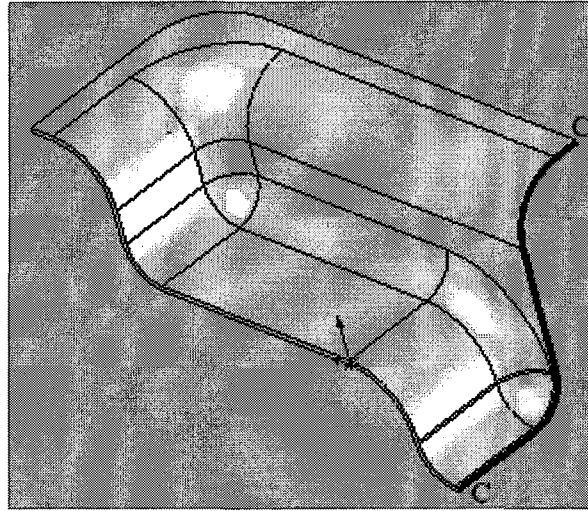




Şekil 4.2. Optimum çekilen deney numunesinin A-A kesitinden elde edilen kalınlık değişimi grafiği.



Şekil 4.3. Optimum çekilen deney numunesinin B-B kesitinden elde edilen kalınlık değişimi grafiği



Şekil 4.4. Optimum çekilen deney numunesinin C-C kesitinden elde edilen kalınlık değişimi grafiği

4.3. Çekme hızı

Erdemir 7114 derin çekme sacı için tablo 2.4'te verilmiş olan 20 mm/s'ye kadar alınabilen çekme hızı, 6.95 mm/s ile bütün deneyler gerçekleştirildi.

4.4. Yağlama

Bütün deneyler de çekme işlemini kolaylaştırmak ve malzemede meydana gelebilecek yırtılmayı önlemek amacıyla Shell Tellus 27 yağı kullanılmıştır.

4.5. İlave deneyler

17. deneyde deney numunesinin optimum çekilebilmesi için gerekli olan taslak malzemenin formu bulunmuştu. 17. deneyden sonraki yapılan deneylerde çekilen malzemelerdeki kulakçık oluşumunu daha iyi hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu deneylerde de bir miktar kulakçık oluşumu daha iyi konuma getirilebilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada 0,80 mm kalınlığında Erdemir 7114 kalitesindeki derin çekmeye uygun çok noktalı zımba kullanılarak verilen takım geometrisi ve çekme hızı ile kademeli dikdörtgen kabın derin çekme özellikleri incelenmiş, kabın yırtılmadan çekilebileceği taslak malzeme biçimi tespit edilmiştir. Çok noktalı şekillendirmede, sadece kalıp veya zımba çok noktalı olarak yapılabilir yada kalıp veya zımba kısmi olarak çok noktalı yapılabilir. Yapılan araştırmalardan ve deneylerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Çok noktalı derin çekme; kademeli veya eğrili yüzeylerin, veya bunların her ikisinin oluşturduğu daha kompleks biçimli parçaların şekillendirilmesinde uygun bir yöntem olarak kullanılabilir.
2. Çok noktalı olma özelliği zımba veya kalıba ayrı ayrı olarak veya bunların her ikisine birden verilebilir.
3. Zımbalar taslak malzemeye lokal kuvvet uyguladığından parçaların geri sıçraması daha az olur.
4. Zımba boylarının çok iyi ayarlanmaması durumunda parça üzerinde zımba izleri görülebilir. Ancak eğer özel olarak parçada kabartmalı bir yüzey isteniyorsa, bu tür zımbaların kullanımı çok pratik ve yararlı sonuçlar verir.
5. Zımbaların montajı başsız perçinleme (staking) yöntemiyle yapıldığından istenildiğinde herhangi bir zımba çubuğu bireysel olarak değiştirilebilir veya değişik konstrüksiyonlar için zımbalar istenilen boyda ayarlanılarak yeniden monte edilebilir. Böylece zımbaların veya kalıbın değişik konstrüksiyonlarda kullanımı için esneklik sağlanmış olur.
6. Zımbaların büyük çaplı yapılması zımba çubuk sayısını azaltırsa da, zımba çubukları arasında daha büyük boşluklar meydana geleceğinden ve bu boşluklar kabın yan kenarında buruşmalara neden olabileceğinden büyük çaplı zımba çubukları olumsuz sonuçlar verir.
7. Zımba çubuklarının küçük çaplı ve daha çok sayıda yapılması şekillendirme açısından daha iyi neticeler verir ancak, zımbaların mukavemeti düşer, montaj zorluğu artar.
8. Zımba uçlarının radyüslü olması yerine keskin köşeli olarak kullanılması malzemenin çekme esnasında daha erken yırtılmasına neden olur.
9. Flanşlı parçaların, yan kenarının sonlarına doğru zımbalar arasındaki boşluklardan dolayı buruşma olmamasına karşın, flanşsız parçalarda bu buluşma görülebilir.
10. Bu yöntem, parçaların derin çekme yöntemiyle üretilmesinin dışında kap şeklinde olmayan eğrili yüzeylerin şekillendirilmesinde de kullanılabilir.

11. Kalıp ve zımba konstrüksiyonlarının kolayca değiştirilebilir olması nedeniyle yeni bir parça kalıbının yapımında maliyet azalır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Cai. Zhangyi and Li Mingzhe, 1999, Optimum path forming technique for sheet metal and its realization in multi-point forming, 136 p.
- [2] Mingzhe. Li, Yuhong. Liu, Shizang. Su and Guandquan. Li, 1997, Multi-point forming: a flexible manufacturing method for a 3-d surface sheet, 277-280.
- [3] M.Z. Li, Z.Y. Cai, Z.Sui and Q.G. Yan, 2002, Multi-point forming technology for sheet metal, 334,335,338.
- [4] M. Li, Z. Xiaojiang, et al., A study on two-dimensional sheet forming with MPF method, Trans. Chinese Soc. Agric. Mach. 28 (1) (1997) 123–126.
- [5] Erişkin. Yakup, 1986, Uygulamalı sac metal kalıp konstrüksiyonu, Gazi Üniversitesi, 320-340.
- [6] Çapan. Levon, 1990, Metallere plastik şekil verme, Çağlayan Basımevi, 128-159.
- [7] M. Li, et al., Several forming methods in step-by-step multi-point forming, China Mech. Eng. 8 (1) (1997) 87–90.
- [8] F. Nishioka, et al., An automatic bending of plates by the universal press with multiple piston heads, Proc. Ship Build. Assoc. Japan 32 (1972) 481–501.
- [9] Y. Iwasaki, H. Shita, Y. Taura, Forming of the three-dimensional surface with a triple-row-press, Adv. Tech. Plasticity (Japan) 1 (1984) 483–488.
- [10] D.E. Hardt, D.C. Gossard, A variable geometry die for sheet metal forming: machine design and control, Proceedings of the Joint Automatic Control Conference, San Francisco, Aug. 1980.
- [11] K.A. Pasch, Design of a discrete die surface for sheet metal forming, S.B. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, June, 1981.
- [12] D.E. Hardt, et al., Sheet metal forming with discrete die surface, Proc. 9th NAMRC (1981) 140–144.
- [13] Iwasaki Y, Shiota H, Toura Y. Development of a Triple-rowpress. Mitsubishi Heavy Industries. Technical Review. 1997
- [14] Iwasaki Y, Shiota H, Toura Y. Forming of the three-dimensional surface with a Triple-row-press. Adv Technol Plast 1984(1):483-8.
- [15] Hardt DE, Olsen BA, Allison BT, Pasch K. Sheet metal forming with discrete die surfaces. Proceedings of Ninth NAMRC 1981; p.140-4.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [16] Hardt DE, Boyce MC, Ousterhout KB, Karafillis A. A flexible forming system for sheet metal. 18th Annual NSF Conference on Design and Manufacturing Systems Research 1992; p. 8-10.
- [17] Walczyk DF, Hardt DE. Design and analysis of reconfigurable discrete dies for sheet metal forming. *J Manuf Syst.* 189-94.
- [18] Li MZ, Liu CG, Chen QM. Research on multi-point forming of three-dimensional sheet metal parts. Sixth International Conference on Technology of plasticity, Nuremberg, Germany, vol. 1 1999;p. 18-94
- [19] Cai ZY, Li MZ. Optimum path forming technique for sheet metal and its realization in multi-multi point forming. *J Mater Process Technol* 2001;110:136-41.
- [20] Li MZ, Cai ZY, Liu CG. Analysis of residual stresses in alternate multi-point forming of sheet metal. *Chin J Mech Engng* 2000;36:50-4 (in Chinese).
- [21] Cowper GR, Kosko E, Lindberg GM, Olson MD. Static and dynamic applications of a high-precision triangular plate bending element. *AIAA J* 1969;7(10):1957-65
- [22] Chung K, Richmond O. Ideal forming – I. Homogeneous deformation with minimum plastic work. *Int J Mech Sci* 1992;34(7):575-91.
- [23] Chung K, Richmond O. Ideal forming – II. Sheet forming with optimum deformation. *Int J Mech* 1994(61):176-81
- [24] Chung K, Richmond O. The mechanics of ideal forming. *Trans ASME J Appl Mech* 1994(61):176-81.
- [25] Lipschutz MM. *Differential geometry*. New York: McGraw-Hill, 1969.
- [26] Cai ZY. Numerical simulation of the forming process and study on the optimum path for multi-point forming of sheet metal. PhD Thesis, Jilin University. 2000.
- [27] Gavas M. Al-1050 alaşımlı alüminyum sacın kare derin çekilmesinde çekme oranı limitinin belirlenmesi, *Teknoloji*, Cilt 8, (2005), Sayı 2, 215-221.