

**DERİN ÇEKME PROSESİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM SAC METAL
PARÇALARINA AİT VERİ TABANI OLUŞTURULMASI**

Didem ULU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2008
ANKARA**

Didem ULU tarafından hazırlanan DERİN ÇEKME PROSESİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM SAC METAL PARÇALARINA AİT VERİ TABANI OLUŞTURULMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd .Doç.Dr.Nihat GEMALMAYAN
Tez Danışmanı, Makine Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr.Bedri TUÇ
Makine Müh.Anabilim Dalı,G.Ü.

Yrd .Doç.Dr.Nihat GEMALMAYAN
Makine Müh.Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr.Muammer NALBANT
Makine Eğitimi. Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç.Dr.Şefaatdin YÜKSEL
Makine Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç.Dr.Mustafa YURDAKUL
Makine Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 14/10/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DİDEM ULU

**DERİN ÇEKME PROSESİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM SAC METAL
PARÇALARINA AİT VERİ TABANI OLUŞTURULMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Didem ULU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2008

ÖZET

Sac şekillendirme işlemleri, özellikle derin çekme prosesleri farklı malzemelerle oldukça değişik sonuçlar verir. Bu farklılıkların ana kaynakları anizotropi, elastik modül ve mikroskobik malzeme özellikleridir. Proses sırasında kullanılan yağ, naylon, ısıtma işlemi sırasında parçanın standart bir proses ile üretilmesini engellemektedir. Bu tez çalışması sonlu eleman benzetimi ile alüminyum derin çekme işlemlerini değerlendirmeye ve bu işlemler için uygun parametreler geliştirmeye odaklanmaktadır. Deneysel doğrulama çalışmasında 6061 alaşımlı alüminyum değişik geometrilerde incelenmiştir. Simülasyonlar için bir ticari, dinamik-eksplisit kodu olan LS-DYNAFORM programı kullanılmıştır. Bu sonlu eleman paket programının güvenilirliği atölyede yapılan deneyler ile karşılaştırmalar yapılarak sınanmıştır. Simülasyonlardan elde edilen bulgulara ve deney sonuçlarına göre VISUAL BASIC ‘de veritabanı oluşturulmuştur

Bilim Kodu	:914.1.012
Anahtar Kelimeler	:Derin Çekme, Alüminyum, Sonlu Eleman Analizi, Dinamik-Eksplisit yöntem.
Sayfa Adedi	:120
Tez Yöneticisi	:Yrd.Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

**CREATING A DATABASE FOR ALUMINUM SHEET PART WITH
DEEP DRAW PROCESS**

(M.Sc.Thesis)

Didem ULU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2008

ABSTRACT

Sheet metal forming processes, especially deep drawing process , provide diverse results in various materials. The main sources of these results are the material properties which are called anisotropy, elastic modulus and microscopic material properties. The lubricants, film breaks and the sequences of the heat treatment that are used at the process, provide against the producing of a part in a standart process. The aim of this thesis is to evaluate the deep drawing properties and also to develop suitable process parameters for aluminum finite element simulation. At experimental corrective studies 6061 aluminium alloys in different geometrical shapes are observed. In the simulation, the commercial dynamic-explicit code LS-DYNAFORM has been used. The reliability of the finite element package was verified by a comparison with the experiments in workshop. The results of the simulations have been compared with several experiments that were performed in workshop. Based on experimental and simulation results, a database was constituted in VISUAL BASIC.

Science Code :914.1.012

Keywords :Deep Drawing, Aluminum, Finite Element Analysis, Dynamic-Explicit method.

Page Number :120

Adviser :Asst.Prof.Dr.Nihat GEMAMAYAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren sayın hocam Yrd.Doç. Dr. Nihat GEMALMAYANA'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım iş arkadaşım Makine Yüksek Mühendisi Hasan Ali HATİPOĞLU'na ,Makine Mühendisi Halit ULULAR, Malzeme Mühendisi M.Metin BOZDEMİR ve Makine Mühendisi Engin KARABAY ve TAI'de görevli desteklerini benden esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Makine Mühendisi Deniz ULU 'ya beni bugünlere getiren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı bana hep inanan babama ,anneme ve güzel kardeşime ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1.Giriş.....	3
2.2.Sac Metal Şekillendirme Prosesi ÜzerineYapılanÇalışmalar.....	3
2.3.Derin ÇekmeHataları.....	6
2.4.Alüminyumun Malzeme Özellikleri.....	7
2.4.1.Anizotropi.....	7
2.4.2.Diğer malzeme özellikleri.....	10
2.4.3. Malzeme özellikleri.....	13
2.5.Çekme Deneyi.....	15
2.5.1.Deneyin amacı.....	15
2.5.2. Çekme deneyinden elde edilen veriler.....	15
2.5.3. Çekme diyagramının irdelenmesi.....	19
2.6.Sac Metal Malzemelerin Şekillendirilmesi.....	22
2.6.1. Limit derin çekme oranı.....	22

Sayfa

2.6.2. Sınır şekillendirme diyagramı.....	24
2.7.VISUAL BASIC Programının Kullanım Alanları.....	26
2.8.LSDYNA –FORM Programının Derin Çekmede Kullanılması.....	26
3.DERİN ÇEKME.....	27
3.1.Giriş.....	27
3.2.Derin Çekme Teknolojisi.....	27
3.3.Derin Çekme İşleminin Mekanizması.....	29
3.3.1.Baskı plakalı çekme.....	32
3.3.2.Baskı plakasız çekme.....	33
3.3.3.Çevirme çekme.....	34
3.3.4.Derin çekme parametreleri.....	34
3.4.Derin Çekme İşleminin Analitik Hesaplamaları.....	37
3.4.1.Alan metodu.....	38
3.4.2.Uzunluk ve ağırlık merkezi metodu.....	39
3.4.3.Grafik metodu.....	41
3.4.4.Sac Kalınlığının ilkel çapa oranı.....	41
3.4.5.Kare ve prizmatik kapların ilkel plaka boyutunun hesaplanması.....	43
3.5.Derin Çekme İşleminde Yağlama.....	53
3.5.1.Yağlama işlemi.....	56
3.6.Derin Çekme İşleminde Isıl İşlem.....	56
3.6.1. Malzemeye ait ısıtma işlem özellikleri.....	58
3.6.2. Derin çekme tezgahının genel özellikleri.....	60

Sayfa

4. DENEYSEL VERİLER.....	61
4.1. Giriş.....	61
4.1.1. Atölyedeki parçaların gruplandırılması.....	63
4.2. Deney Sonuçlarının Simülasyon Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	64
4.2.1. Silindirik parçalar.....	64
4.2.2. Eliptik şekilli parçalar	73
4.2.3. Dikdörtgen şekilli parçalar.....	79
4.2.4. Karmaşık şekilli parçalar.....	85
5. VISUAL BASIC PROGRAMI İLE ALÜMİNYUM SAC METAL PARÇALARIN PARAMETRELERİNİ GÖSTEREN VERİ TABANI.....	91
5.1. Giriş.....	91
5.1.1. Veri Tabanının Görünümü ve Kullanımı	92
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR.....	98
EKLER.....	101
EK-1 Çekme kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar.....	101
EK-2 Alüminyum 6061 malzemesine ait çekme testlerinin sonuçları.....	103
EK-3 Yağ içeriği.....	106
EK-4 Plastik Film İçeriği	107
EK-5 VISUAL BASIC program kodları.....	108
EK-6 Teknik Resimler.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	119

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sac metal şekillendirmede sık kullanılan malzemelerin özellikleri	10
Çizelge 2.2'de Çeşitli alüminyum ve karşılıkları	13
Çizelge 2.3.6061 Al alaşımının ağırlıkça % kimyasal bileşimi.....	14
Çizelge 2.4.6061 Alaşımli alüminyumun gerinme değerleri.....	14
Çizelge 2.5.6061 Alaşımli alüminyum sac ve plaka gerinme değerleri [21].....	14
Çizelge 2.6.Sınır çekme oranları.....	23
Çizelge 3.1 Dikdörtgen veya kare biçimli kapların tek operasyondaki çekme faktörleri, $(0,71 \sqrt{r/h})$	44
Çizelge 3.2 Dikdörtgen veya kare biçimli kapların çekme işlemindeki derinliğinin genişliğine (h/w) oranı.....	44
Çizelge 3.3.Dikdörtgen veya kare çekmelerdeki C alanı içerisine ait kap kavis yarıçapı (y) faktörü.....	49
Çizelge 3.4.Çekme kuvvetleri için pratik formüller.....	52
Çizelge 3.5.Yağlama maddesine göre çekme işlemindeki sürtünme katsayıları.....	54
Çizelge 3.6.Çeşitli malzemelerin çekimlerinde kullanılabilen yağlama maddeleri.....	55
Çizelge 3.7.Isıl işlemsiz yapılabilecek çekme sayıları.....	57
Çizelge 3.8.Çeşitli malzemeleri için ara ısıt işlemleri şartları.....	58
Çizelge 3.9.Alaşımli alüminyumun ısıt işlemleri sıcaklığı.....	59
Çizelge 3.10.Alaşımli alüminyumun soğutulması.....	59
Çizelge 3.11.Alaşımli alüminyumun dolapta saklanma süresi.....	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.Sac metal şekillendirmeyi etkileyen parametreler	5
Şekil 2.2.Malzemenin Genişlik ve Kalınlık Yönündeki Gerinim Değerleri.....	8
Şekil 2. 3. $\Delta r = 0$ ve $\Delta r \neq 0$ Durumu.....	10
Şekil 2.4.Sıcaklığın 6061 alüminyum alaşımına ait ası ve çeki elastikiyet Modüllerine etkisi [22].....	15
Şekil 2.5.Düşük karbonlu yumuşak çeliğin çekme diyagramı	17
Şekil 2.6.Mühendislik ve gerçek gerilme – birim uzama eğrileri.....	21
Şekil 2.7.d ₀ \ s ₀ = 600 değerine kadar kullanılabilen çekme oranları.....	23
Şekil 2.8.Gerinimlerin yuvarlak elemanlar üzerinde gösterimi.....	24
Şekil 2.9.Sınır şekillendirme diyagramı.....	25
Şekil 3.1.Derin çekme işleminin çeşitleri DIN 8584 ‘ e göre.....	28
Şekil 3.2.Çekilecek parçanın kalıp içerisine yerleşimi.....	29
Şekil 3.3.Çekme kalıbında bükme başlangıcı.....	29
Şekil 3.4.Çekme başlangıcı	30
Şekil 3.5.Çekme boyunca dış çevrede meydana gelen basılma.....	30
Şekil 3.6.Çekme safhası.....	31
Şekil 3.7.Çekilen kap ve taban çevresinde meydana gelen yırtılma bölgesi.....	31
Şekil 3.8.Baskı plakalı çekme uygulaması.....	32
Şekil 3.9.Baskı plakasız çekme.....	33
Şekil 3.10.Çevirme çekme.....	34

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11.Silindirik derin çekme parametreleri.....	35
Şekil 3.12.Çekilen kaplar ve ilkel çapları.....	39
Şekil 3.13.Çekilen kap kesiti ve ilkel çap.....	40
Şekil 3.14.Çekilen kap kesiti ve ilkel çap.....	41
Şekil 3.15.Çekilen parçadaki şekil değişimi.....	43
Şekil 3.16.Dikdörtgen ve kare biçimli kapların çekilmesine ait bağıntılar.....	45
Şekil 3.17.Dikdörtgen ve kare biçimli kapların çekilmesinde , çekilecek sac malzemenin köşe profili	47
Şekil 3.18.B ve C Alanlarına ait çekmelerde, büyük yarıçaplı köşe düzeltme profili.....	48
Şekil 3.19.Silindirik çekmenin oluşumu.....	50
Şekil 3.20.Silindirik çekmede çeşitli bölgelerdeki gerilmeler.....	51
Şekil 3.21.Plastik film.....	56
Şekil 4.1.Çekme test grupları.....	61
Şekil 4.2.6061-T0 Alaşımli alüminyumun gerilme-gerinme grafiği.....	62
Şekil 4.3.Atölyedeki parçaların gruplandırılması.....	63
Şekil 4.4.Silindirik parçanın geometrisi.....	65
Şekil 4.5.Silindirik parçanın ilkel çap ölçüsü.....	65
Şekil 4.6.LS_DYNAFORM da parçaya ait kalıbın gösterimi.....	69
Şekil 4.7.T0- $\mu = 0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	70
Şekil 4.8.T0- $\mu = 0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	70
Şekil 4.9.W- $\mu = 0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	71
Şekil 4.10.W- $\mu = 0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	72

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11.Eliptik parçanın geometrisi.....	73
Şekil 4.12.Eliptik parçanın ilkel çap ölçüsü.....	74
Şekil 4.13.LS_DYNAFORM da parçaya ait kalıbın gösterimi.....	76
Şekil 4.14.W- μ =0,1 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	77
Şekil 4.15.W- μ =0,05 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	77
Şekil 4.16.T0- μ =0,1 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	78
Şekil 4.17.T0- μ =0,05 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	78
Şekil 4.18.Prizmatik parçanın ilkel plakasının belirlenmesi.....	80
Şekil 4.19.Dikdörtgen parçanın ilkel plaka boyutu.....	81
Şekil 4.20.Dikdörtgen parçanın geometrisi	81
Şekil 4.21.LS_DYNAFORM da parçaya ait kalıbın gösterimi.....	82
Şekil 4.22.T0- μ =0,05 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	83
Şekil 4.23.T0- μ =0,1 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	83
Şekil 4.24.W- μ =0,05 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	84
Şekil 4.25.W- μ =0,1 LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi.....	85
Şekil 4.26.Karmaşık şekilli parçanın geometrisi.....	86
Şekil 4.27.Karmaşık şekilli parçanın ilkel plaka boyutu.....	86
Şekil 4.28.LS_DYNAFORM da parçaya ait kalıbın gösterimi.....	87
Şekil 4.29.Deneyde kullanılan malzeme atanarak yapılan simülasyon sonucu.....	88
Şekil 4.30.Deneyde kullanılan malzeme atanarak yapılan simülasyon sonucu arkadan görünüşü.....	89
Şekil 5.1.Derin çekme proses kabiliyetleri VISUAL BASIC program algoritması.....	91

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2.Programın giriş sayfası.....	92
Şekil 5.3.Malzeme seçimi	93
Şekil 5.4.Malzeme ve kalınlık seçimi.....	93
Şekil 5.5.Uygun kriterlerdeki parça listesi.....	94
Şekil 5.6.Parçaya ait özellikler	94
Şekil 5.7.Parçaya ait rotanın incelenmesi.....	95
Şekil 5.8.Parça ölçüleri.....	95
Şekil 5.9.Parçaya ait simülasyon sonuçları.....	95
Şekil 5.10.Program içerisinde tekrar arama sayfası.....	96

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1.Plastik film.....	56
Resim 4.1.Uçak parçaları.....	63
Resim 4.2.Parçaya ait kalıp.....	68
Resim 4.3.Isıl işlem sonrası W durumunda parçanın plastik film kullanılmadan şekillendirilmesi.....	72
Resim 4.4.Plastik film kullanılarak W durumunda üretilen parçalar.....	73
Resim 4.5.Parçaya ait kalıp.....	82
Resim 4.6.Parçanın yağ kullanılarak yapılan şekillendirme sonucu.....	87
Resim 4.7.Parçanın yağ kullanılarak yapılan şekillendirme sonucu arkadan görünüşü.....	88
Resim 4.8.Sağlam parça ve ıskarta parçanın önden görünüşü.....	90
Resim 4.9.Sağlam parça ve ıskarta parçanın arkadan görünüşü.....	90

1. Giriş

Günümüzdeki rekabet ortamında ilk denemede doğru parçayı en az hata ile kısa sürede üretmek önemlidir. İmalatta deneme yanılma metodu, ıskarta, işçilik ve zaman kayıpları ile maliyet artışlarına neden olabilmektedir. Mevcut kabiliyetin korunması, teknolojik ekipman desteğinin imalata tecrübe ile birleştirilerek yansıtılması üretici firmanın rakipleri arasından sıyrılmasına neden olacaktır. Bu tez ile mevcut kabiliyette üretilen parçaların literatüre uygunluğunu, simülasyon programının gerçek ile tutarlılığını tespit etmek ve elde edilen sonuçların konu ile ilgili kişilere doğru olarak aktarılabilmesini sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Tezin Amacı:

Tezin amacı gerçekte derin çekme prosesinde deneme yanılma metodu ile günümüze kadar üretilen uçak parçalarının, dinamik-açık sonlu elemanlar metodu ile çözüm yapan LS-DYNAFORM programıyla simülasyonlarını yapmak ve atölyede yapılacak deneylerle derin çekme prosesini incelemek ve tüm sonuçları içeren bir veritabanı yapmaktır. Bu veritabanında aynı zamanda çalışmaların yürütüldüğü Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.'nin derin çekme prosesindeki kabiliyetleri depolanacaktır. Yeni bir parça üretiminde daha önceki çalışmalardan örnek alınabilecek, atölyedeki teknisyen için de proses sırasında kullanabileceği bir kılavuz oluşturulacaktır.

Tez ile LS-DYNAFORM programının güvenilirliği sınanacak gerçekte üretilecek parça ile simülasyonlar arasında kıyaslamalar yapılacaktır. 6061 alaşımlı alüminyuma çeşitli kalınlıklarda ve temperlerde çekme testleri yapılacak bu testler sonucunda malzeme davranışı hakkında bilgi edinilecek ve bu bilgiler simülasyon sırasında kullanılacaktır.

Tezin İçeriği:

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde bu teze ihtiyaç duyulmasının nedenleri ve tezin içeriğinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, derin çekme prosesi üzerine daha önce yapılmış araştırmalardan bazıları ele alınmıştır. Sac metal

şekillendirmeyi etkileyen faktörlerin ve bunların açıklanmasının yanı sıra, şekillendirme sırasında oluşabilecek hatalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, derin çekme prosesinin teknik anlatımına ayrılmıştır. Beşinci bölüm deneysel verilere ayrılmıştır bu bölümde atölyedeki incelenecek parçalar gruplara ayrılmıştır. Bu parçaların malzeme özellikleri, ısıtma işlem ve derin çekme prosesleri ile ilgili tüm detaylar incelenmiştir. Parçaların deney sonuçları ile sonlu elemanlar kodları kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarından çıkan değerler karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde atölyedeki incelenen parça gruplarına göre bir veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanında incelenen parçanın geometrik özelliğine göre TAI' de üretilen parçalar ve bunların teknik özellikleri bulunmaktadır. Son bölümde ise yapılan çalışma üzerine yorumlar, sonuçlar ve ileriki zamanda yapılabilecekler anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş

Sac metalleri şekillendirme yıllardır akademik olarak incelenen bir konudur. Sac metal şekillendirmenin özellikle otomotiv ve uçak sektöründeki kullanım alanındaki artışın etkisiyle maliyeti azaltmak amacıyla; ıskarta miktarının azaltılması ve seri imalata uygun parça üretiminin sağlanabilmesi için yapılan çalışmalardan bazıları bu bölümde yer almıştır.

2.2. Sac Metal Şekillendirme Prosesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Woo [1], ekseninde simetrik sac metal parçaların şekillendirilmesini analiz etti ve plastisite teorisinin izotropik malzemede gerilme-gerinim karakterine uygun olarak uygulamasıyla malzeme üzerinde herhangi bir nokta da gerilme ve gerinimi hesapladı. Bu uygulamayı yaparken kalınlıktan kaynaklı gerilmeler yok saymıştır.

Woo [2], daha sonra analizlerini geliştirerek silindirik derin çekme prosesi üzerinde dişi kalıp üzerinde radyal derin çekim yapılırken punç üzerinde de gerdirmeye yapmıştır. Radyal derin çekme üç bölümden oluşur. Baskı plakasının kuvveti altında düzlemsel olarak kıvrılma bölgesinin içinde kalarak, baskı plakası olmaksızın dişi kalıp içerisinde düzlemsel olarak şekillenmesi ve dişi kalıp içerisinde şekillenmesidir. Bu çalışmada büküm etkileri ihmal edilmiştir. Elde edilen analitik çözümler deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Budinsky ve Wang [3], Swift 'in silindirik derin çekme testini incelemişlerdir. Çalışmalarının amacı Swift silindirik derin çekme testinin analitik olarak incelenmesi ve teorik olarak derin çekme sınırının, gerinme oranına gerinme sertleşmesine bağlı olduğunu göstermektir.

Mellor, sac metal şekillendirmede plastik deformasyon sırasında anizotropinin etkisini gözden geçirdi[4].

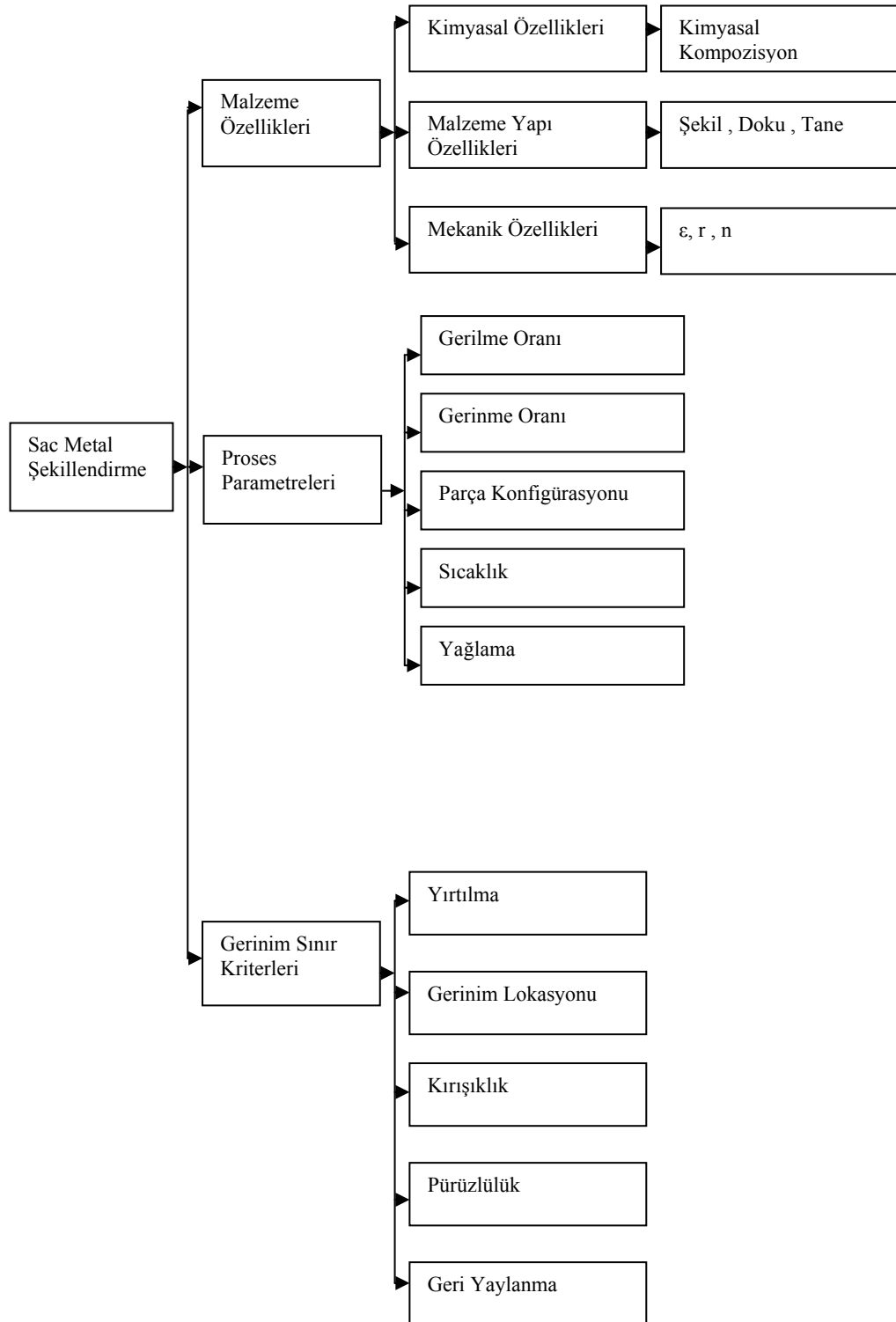
Chakrabarty[5], daire şeklinde kesilmiş malzemelerin sadece küre şeklinde punçlar üzerinde gerdirerek şekillendirmesi sonucu oluşan stresleri teorik olarak incelemiştir. Çalışması sırasında kullandığı malzemenin izotropik, mukavemetli bir yapı olmasına, punç kafasının çok iyi yağlanmış olduğu dolayısıyla sürtünme etkisini ihmal etmiştir.

Kaftanoğlu [6]ve Alexander'ın [7] eksene göre simetrik parçaların deformasyonları üzerinde yaptıkları çalışmalarda plastik anizotropinin kalınlık yönündeki davranışının deformasyona olan etkisi araştırılmıştır.

Duncan [8], sac metal şekillendirmede yaygın olarak kullanılan analitik metotlar ve teknikler üzerine modeller geliştirmiştir.

Mizuno ve Kataoka [9], silindirik derin çekme sırasında malzeme, punç, pot çemberi arasında kalan yağ kalınlığının değişimini analitik olarak incelenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ile yağ kalınlığı arasında temas oranı kalıp ve malzeme arasında deneylerle gösterilmiştir.

Kaftanoğlu [10], sürtünme katsayısını hesaplamak için iki farklı metot geliştirdi. Bu metottan ilki radyal bölgede derin çekme sırasında, diğeri ise malzeme ve kalıp arasında oluşan sürtünme faktörünü gösteren metotlardır. Bu metotlarla sürtünme faktörünün plastik deformasyon fonksiyonuna göre değişimini göstermiştir. Sac metal şekillendirmeyi etkilen parametreler Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Sac metal şekillendirmeyi etkileyen parametreler

2.3. Derin Çekme Hataları

Bilindiği gibi, çekme işlemi pek çok faktörün etkilediği bir şekillendirme yöntemidir. Zaman zaman çekme için gerekli şartların sağlanamaması yüzünden işlem başarısızlığa uğrar. Çekme işlerinde; takım tasarımından, imalinden, malzemededen, tezgahıtan, yardımcı ekipmandan ve kullanımdan kaynaklanan pek çok hata ile karşılaşılabilir. Buruşma, yırtılma ve benzeri hatalar, çekme kalıplarında üretilen parçalarda hiç bir zaman kabul edilmez. En çok rastlanan çekme hataları ve sebepleri [11]aşağıda da açıklanmıştır.

- Portakal Kabuğu Biçimi (Pütürlenme): Çekilen kap yüzeyinde malzeme yuvarlanması meydana gelebileceğinden kaliteli yüzey elde edilmez. Böylece; çekilen yüzeyde matlaşma meydana gelir. Bu şekilde matlaşmış kaba, yüzeye (yüzeyde meydana gelen irili ufaklı yumrulara), portakal kabuğu biçimi veya portakal kabuğu görünümlü yüzey denir.
- Yırtılma :Uzama ,dayanım sınırını aşınca malzeme yırtılır. Yırtılmaya nedenolacak bir çok sebep vardır.
- Kulaklanma : Flanşlı çekme işleminin dışındaki kaplarda sık rastlanan hatalardan biridir. Çekme anında çekilen kabın hadde yönünde uzama meydana gelir.
- Zedelenme ve Çentiklenme : Çekme anında sac malzeme, dişi kalıp yüzeyine sürtünür. Sürtünmeden dolayı kap yüzeyinde çizilme, zedelenme veya giderilmesi güç çentiklenme meydana gelir.
- Lüder (Germe) Çizgileri : Çekme işleminden sonra kap yüzeyinde yama şeklinde çizikler (lekeler) meydana gelir. Bu tip lekeler germe çizgileri adı verilir. Çapraz lekeler, çizgiler, çekilen kap yüzeyinde meydana gelen gerilim dağılımının homojenliğini önler .
- Renk Değişimi (Yanma) : Yüksek parlatma çekme işlemlerinde bu tip hatalar sık sık meydana gelir.

- **Buruşma** : Çekilen kap malzemenin flanş veya gövde kısımlarında buruşmalar meydana gelebilir. Bu buruşmalara, malzeme yığılması adı verilir ve çekilen kabın yırtılmasına sebep olur.
- **Geri Esneme** : Çekme kalıbından çıkan kap, geri esneme sonucu açılır.

Çekme sonucu elde edilen hatalı parçanın incelenmesiyle hatanın oluşum nedeni hakkında bir karar verilebilir. Hatanın giderilmesi oluşum nedeninin ortadan kaldırılmasıyla mümkündür. Yanma, yırtılma, kulaklanma gibi hatalar parçaların ıskartaya çıkmasına neden olur. Buruşma, lüder çizgileri, portakal kabuğu biçimi gibi hatalar parçalara yapılacak son operasyonlar ile parçalar kullanılabilir. Geri dönüşümü olan hatalardan buruşmayı ele alacak olursak buruşmuş bir flanş ikinci bir basım ile ütülenerek yada buruşmuş yer parçanın son ölçülerinde kalmıyorsa kesilerek ortadan kaldırılabilir. Buruşma, parçanın kullanım ömrünün azaltmadığı ve parçada estetik kaygının olmadığı durumlarda parça direkt kullanılabilir.

2.4. Alüminyumun Malzeme Özellikleri

2.4.1. Anizotropi

Anizotropi, malzeme özelliklerinin yöne bağlı olarak değişmesidir. Bu değişim atomların çeşitliliğinden yada iyonların arasındaki boşluklardan yani kristal yapıdan kaynaklıdır[12]. Derin çekme prosesi anizotropik malzeme davranışının en iyi gözlenebildiği prosestir.

Kristallerin dizilimi sonucunda malzemelerin elastik modülü, elektrik iletkenliği gibi bazı özelliklerinde değişimler gözlenir. Callister [12], çalışmalarında belirttiği gibi anizotropik etkinin büyüklüğü ve kapsamı, kristal yapının simetrikliği ile ilgilidir.

Tercih edilen kristalografik düzlemler için tanelerin düzenlenmesine doku denir[12]. Dokuya aşağıda gösterilen çeşitli fiziksel prosesler ile form verilip yada düzenlenebilir[13].

- Plastik Deformasyon
- Kristallenme
- Düzeltme
- Yeniden Kristallenme
- Faz Dönüşümü
- Partikül Dönüşümü
- Difüzyon vb.

Kristalografik dokular malzeme özelliklerini kristal anizotropi ile etkiler. Sac metal çalışmalarında bir kristal düzlem ve doğrultudaki atomik dizilimlerin farklı olmasından dolayı, özellikler de doğrultu ile değişir. Bir malzemenin özellikleri, ölçüldüğü kristalografik doğrultuya bağımlı ise, bu malzeme anizotropiktir. Eğer özellikler kristalin bütün doğrultularında benzer ise malzeme izotropiktir

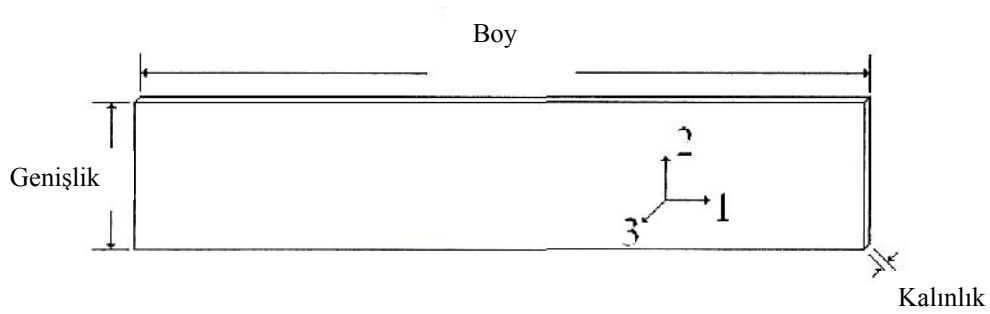
Sac metal çalışmalarında anizotropi normal ve düzlemsel olmak üzere ikiye ayrılır. Banabic, Bunge, Pöhlndt ve Tekkaya [13], çalışmalarında belirttiği gibi normal anizotropi maksimum derin çekilebilirliği etkilerken, düzlemsel anizotropi de kulaklanmayı sağlar .

Anizotropi sabiti yada Lankford sabiti [14] anizotropinin ölçümünü verir. Bu sabit kalınlık değişim direnci olarak da tanımlanabilir. Bu sabitin tanımını

$$r = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_3} \quad (2.1)$$

r : Anizotropi sabiti

ϵ_2 ve ϵ_3 Şekil 2.2’de gösterilen malzemenin genişlik ve kalınlık yönündeki gerinim değerlerini gösterir.



Şekil 2.2. Malzemenin genişlik ve kalınlık yönündeki gerinim değerleri

Malzemeyi elde ederken normal anizotropisinin olabildiğince büyük düzlemsel anizotropisinin de olabildiğince küçük olmasına dikkat edilir. Weilong ve Wang [15] çalışmalarında belirttiği gibi r değerinin büyük olması sac metaldeki incelmeye azalmasına ve malzemenin iyi şekillendirilebilmesine neden olmaktadır. Ancak yüksek r değeri tüm sac metal proseslerinin de iyi sonuçlar verecek anlamını taşımamaktadır. Değişik gerinim durumları çeşitli form hatalarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir[16].

Derin çekme prosesinin davranışını tahmin edebilmek için genel olarak ortalama anizotropi değeri kullanılır. r_n olarak gösterilir. Hadde yönünün 0° , 45° , 90° yönündeki anizotropi değerlerinin denklemde yerine konularak hesaplanır. Bu değer aynı zamanda normal anizotropi değeridir.

$$r_n = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4} \quad (2.2)$$

Normal anizotropinin haddeleme yönüne göre değişimini, Δr yani düzlemsel anizotropi verir.

$$\Delta r = \frac{r_0 - 2r_{45} + r_{90}}{2} \quad (2.3)$$

r_0 : haddeleme yönünde anizotropi değeri

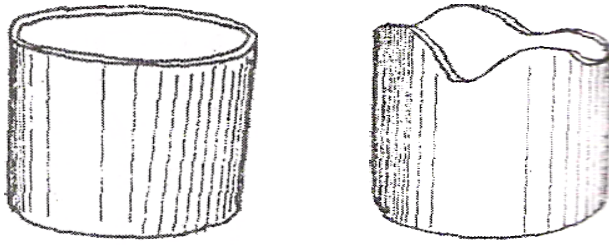
r_{45} : haddeleme yönüne 45° açıda anizotropi değeri

r_{90} : haddeleme yönüne 90° açıda anizotropi değeri

Derin çekme işlerinde ,özellikle zor operasyonlarda $r_n > 1$ ve Δr değerinin de sıfıra yakın olması tercih edilir.

$\Delta r = 0$ ise çekilen kap yüzeyi uygun bir kalıp kullanıldığında Şekil 2.3'de görüldüğü gibi düzgün kenarlı olacaktır. Çünkü bu durumda yaka her yönde aynı dirençle zımba kalıp boşluğunda çekilecektir.

$\Delta r \neq 0$ ise yaka bazı yönlerde daha zor çekilerek bu tarafa uzayacak ve çekilen parçanın üst kenarları kulaklı olacaktır. Bu durum Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2. 3. $\Delta r=0$ ve $\Delta r \neq 0$ Durumu

2.4.2.Diğer malzeme özellikleri

Quainoo ve Yannacopoulos [17], araştırmalarında, sac metal parçalarının yüksek çentik hassasiyeti olduğunu bununda akma dayanımı ile orantılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Ancak yüksek akma dayanımı olan alaşımların form işlemi sonrasında geri yaylanmalarının ortaya çıkmasıyla şekillendirmenin kalitesinin düştüğü gözlenmiştir. Sac metal şekillendirme de sık kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir[18].

Çizelge 2.1. Sac metal şekillendirmede sık kullanılan malzemelerin özellikleri

Özellikler	Semboller	Çelik	Alüminyum	Magnezyum	Titany
Yoğunluk ⁽¹⁾	ρ	7,83	2,8	1,74	4,5
Young Modülü ⁽²⁾	E	21,0	70	45	110
Çekme Dayanımı ⁽³⁾	R_m	300-1200	150-680	100-380	910-
Özel Dayanım ⁽⁴⁾	R_m / ρ	38-153	54-243	57-218	202-
Özel Tokluk ⁽⁵⁾	E / ρ	26,8	25,0	25,9	24,4
Çentik Dayanımı ⁽⁶⁾	$\sqrt{R_m / \rho}$	4,4	9,3	11,2	7,7
Kabuk Tokluğu ⁽⁷⁾	$\sqrt{E / \rho}$	7,6	14,7	20,4	10,6

Birimler ⁽¹⁾ kgdm⁻³ ; ⁽²⁾ GPa ; ⁽³⁾ Nmm⁻² ; ⁽⁴⁾ 10⁶N mm kg⁻¹ ; ⁽⁵⁾ 10⁹N mm kg⁻¹ ; ⁽⁶⁾ 10⁶N^{1/2} mm²kg⁻¹ ; ⁽⁷⁾ 10⁷N^{1/3} mm^{7/3} kg⁻¹

Marciniak, Duncan ve Hu[19] yaptıkları araştırmalar ile sac metallerin karakteristik özelliklerinin şekillendirme sırasındaki davranışlarını ve şekillendirme sırasında oluşan deformasyonlarını açıklayacağını ortaya çıkarmışlardır. Fakat hangisini ne oranda deformasyonu etkileyeceği halen araştırmalara konu olmaktadır. Marciniak, Duncan ve Hu'ya göre derin çekme prosesinde malzeme davranışlarını etkileyen malzemenin karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir.

1. Gerinim Sertleşmesi: Gerinim sertleştirilmesinin artırılması ile parçaya gerdirme yapılırken gerinimin daha düzgün yayıldığı ve malzemenin yırtılmaya karşı direncinin arttığı gözlenir. Gerinim sertleşmesi için kullanılan sabit n harfi ile gösterilir. Malzemenin n değerinin artmasıyla form alabilirliği de artmaktadır[20]
2. Başlangıç Akma Dayanımı: Form almış parçanın dayanımı ile ilgilidir. Hafif metallerin yüksek dayanıma sahip olanları form için tercih edilir .
3. Elastisite modülü: Yüksek elastik modül katılaşmış bir parça verirken, düşük elastik modül yüksek geri yaylanma elde edilmesine neden olur.
4. Toplam Gerinim
5. Anizotropi
6. Çatlak
7. Homojenlik

8.Yüzey Kalitesi: Sacın pürüzlülüğü, temas ettiği yağlayıcı, kalıp yüzeyi form operasyonunun performansını etkiler.

9.Hasar

10.Duyarlılık Oranı

Pres işlerinde kullanılan alüminyum malzemeleri iki grupta incelemek gerekir. Birinci grupta incelenecek Al 99,5, Al 99, Mg05 gibi saf alüminyumlar ile AlMg, AlMn vs. gibi magnezyum ve mangan katıkl alüminyumlardır. Bunlar ısıt işlem uygulanarak sertleştirilemezler. Bu türden alüminyumlar yalnızca soğuk deformasyon uygulanarak sertlik kazanırlar. Genellikle kesme, bükme, şekil verme ve çekme işlemlerinden sonra talaşlı imalat gerektirmeyen düşük mukavemet özellikli parçalar için uygundur. Talaşlı imalat için malzeme sertliğinin H: 70 değerinden yüksek olması tercih edilir.

Temper durumlarını belirtmek için (H) harfi kullanılır veya mukavemet değeri yazılır.

O Yumuşak konum

H12 1/4 sert konum için

H141/2 sert konum için

H163/4 sert konum için

H18Tam sert konum için kullanılır.

İkinci grup alüminyumlar %30 silisyum katkılı veya bakır içeren türden ısıt işlem yapılabilen alüminyumlardır. Al_2Cu , AlMgSi0,5 vs. gibi alüminyum alaşımları özel ısıt işlemlerle sertleştirilip, yaşlandırıldıktan sonra yüksek mukavemet özelliğine erişirler.

Alüminyum alaşımlarına yapılan ısıt işlem soğuk deformasyonlu veya soğuk deformasyonsuz olarak uygulanan bir sıcaklık-zaman prosesidir. Bu termal ve/veya mekanik işlemler değişik harf ve rakamlar ile tanımlanmaktadır. Bunlar :

F : Üretildiği gibi

O : Tavlanmış-yeniden kristalleştirilmiş (sadece dövme ürünlere uygulanır)

H : Gerilim ile sertleştirilmiş (sadece dövme ürünlere uygulanır)

W : Solüsyona alma ısıtma işlemini gösterir.

Şekillendirme sonrası talaşlı işlem gerektiren ve yüksek mukavemet özellikli parçaların imallerine uygundur. Temper tanımları için (T) harfi kullanılır. Çizelge 2.2’de çeşitli alüminyum ve karışımları gösterilmiştir.

T : -F,-O veya -H gibi işlemlerden farklı kararlı bir temper şartı sağlamak için yapılan termal işlemleri gösterir.

T1 : Kısmi olarak solüsyona alınmış ve kararlı bir hale doğal olarak yaşlandırılmış.

T2 : Tavlanmış(sadece döküm ürünler için).

T3 : Solüsyona alma ısıtma işlemi yapılmış ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş.

T4: Solüsyona alma ısıtma işlemi yapılmış ve kararlı bir hale doğal olarak yaşlandırılmış.

T5 : Kısmi olarak solüsyona alınmış ve suni olarak yaşlandırılmış.

T6 : Tam olarak solüsyona alınmış ve suni olarak yaşlandırılmış.

T7 : Solüsyona alma ısıtma işlemi yapılmış ve stabilize edilmiş(kararlı hale getirilmiş).

T8 : Solüsyona alma ısıtma işlemi yapılmış, soğuk işlem ile sertleştirilmiş ve suni olarak yaşlandırılmış.

T9 : Solüsyona alma ısıtma işlemi yapılmış, suni olarak yaşlandırılmış ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş.

T10 : Kısmi olarak solüsyona alınmış, suni olarak yaşlandırılmış ve soğuk işlem ile sertleştirilmiş.

Çizelge 2.2’de çeşitli alüminyum kısaltmaları ve çeşitli birimlerde karşılıkları

Seydişehir	DIN	Amerikan
ETİAL-C	Al 99	1100
ETİAL-30	AlMn	3003
ETİAL-31	AlMnLMgl	3004
ETİAL-50	AlMgl	5005
ETİAL-52	AlMg2	5052
ETİAL-60	AlMgSi05	6063
ETİAL-61	AlMgSil	6351
ETİAL-21	AlCuSiMn	2014
ETİAL-24	AlCuMg2	2024
ETİAL-44	AlZnMgCu1	7075

2.4.3. Malzeme özellikleri

6061 alaşımlı alüminyumun içeriğindeki temel maddeler magnezyum ve silisyumdur. Bu sebeple 6061 malzemesini incelediğimiz zaman [21] özellikle yüksek tokluk isteyen uygulamalarda kullanım alanının çok geniş olduğunu görmekteyiz. Kaynak işlemi gerektiren parçaların malzemesi olarak çok sık kullanılır. 6061 alaşımlı alüminyumun diğer özellikleri ise ;

- Yüksek dayanım
- İyi tokluk
- Temiz yüzey
- Hava koşullarına karşı yüksek korozyon dayanımı
- Deniz suyuna karşı yüksek korozyon dayanımı
- Anotlama işlemine uygundur.
- İşlenebilirliği iyidir.

6061 Al alaşımının ağırlıkça yüzde kimyasal bileşimi Çizelge 2.3’de gösterilmiştir [22].

Malzemenin elastikiyet modülü aşağıdaki Çizelge 2.4’de gösterilmiştir [21]. Bu modül değerleri simülasyon sırasında kullanılmıştır. 6061 alaşımlı alüminyumun

gerinme değerleri Çizelge 2.5 'de gösterilmiştir. Elastikiyet modülünün sıcaklık ile değişimi Şekil 2.4 'de görülmektedir.

Çizelge 2.3. 6061 Al alaşımının ağırlıkça % kimyasal bileşimi

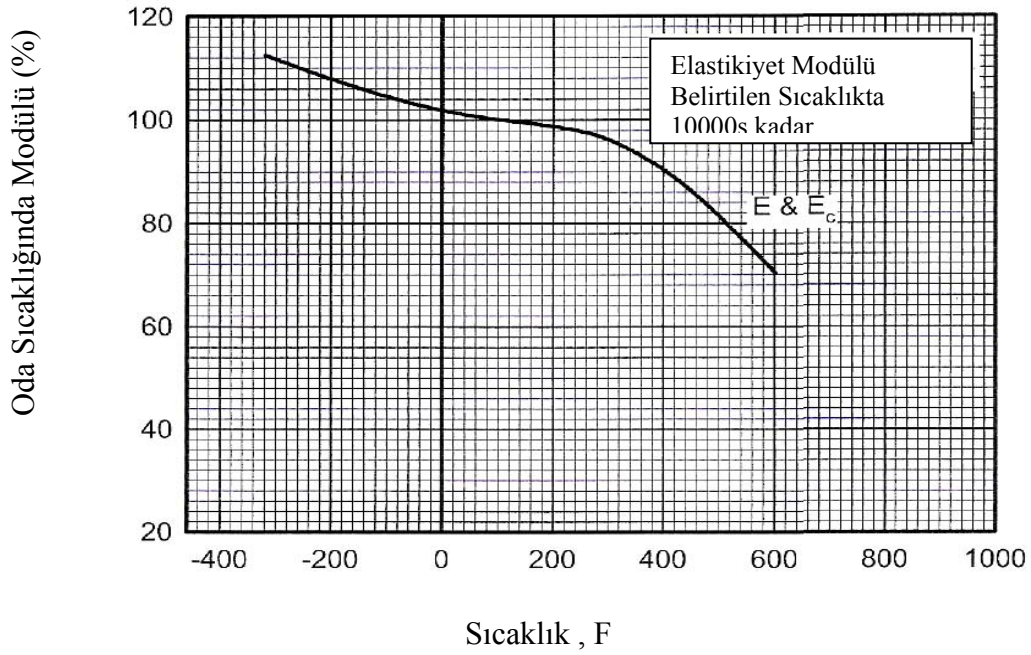
Ağırlık (%)	Al	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Ti	Diğerleri
6061	98,9	0,40	0,50 mak.	0,2-0,7	3,50-4,50	0,25 mak.	0,15 mak.	0,15 mak.

Çizelge 2.4. 6061 Alaşımlı alüminyumun gerinme değerleri

Tanım	Sembol, Birim	Değer
Elastikiyet Modülü	E, 10 ³ ksi	9,9
Elastikiyet Bası Modülü	E _c , 10 ³ ksi	10,1

Çizelge 2.5. 6061 Alaşımlı alüminyum sac ve plaka gerinme değerleri [21]

Temper ve Ürün	Kalınlık, inch	Gerinme (LT). yüzde
T4 yada T42 sac	0,010-0,020	14
	0,021-0,249	16
T451 plaka.....	0,250-1,000	18
	1,001-2,000	16
T6 yada T62 sac	0,010-0,020	8
	0,021-0,249	10
T651 yada T62 plaka	0,250-0,499	10
	0,500-1,000	9
	1,001-2,000	8



Şekil 2.4.Sıcaklığın 6061 alüminyum alaşımına ait bası ve çeki elastikiyet modüllerine etkisi [21]

2.5. Çekme Deneyi

2.5.1. Deneyin amacı

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılır. Çekme deneyi sonucunda elde edilen veriler doğrudan mühendislik hesaplarında kullanılır. Bu çalışmada çekme deneyi sonuçları LS-DYNA FORM programında malzeme tanımlanmasında kullanılmıştır.

2.5.2. Çekme deneyinden elde edilen veriler

Çekme deneyi sırasında elde edilen gerilme ve uzama değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunur.

$$\text{Çekme gerilmesi } (\sigma) = F/A_0 \quad (2.6)$$

$$\text{Birim uzama (e veya } \epsilon) = \Delta l / l_0 \quad (2.7)$$

$$\text{Yüzde uzama } (\% \epsilon) = \Delta l / l_0 \times 100 \quad (2.8)$$

Burada ;

F çekme kuvvetini,

A_0 deney örneğinin ilk kesit alanını,

l_0 örneğin ilk ölçü boyunu,

Δl örnekte meydana gelen uzama miktarını gösterir.

Çekme deneyi sonucunda kuvvet (F) - uzama (Δl) eğrisi elde edilir. Ancak, bu eğri ile birlikte kullanılan örneğin boyutlarını da vermek gerekir. Bu nedenle, bu eğri yerine daha evrensel olan gerilme - birim uzama eğrisi kullanılır. Gerilme-birim uzama eğrisine çekme diyagramı adı verilir.

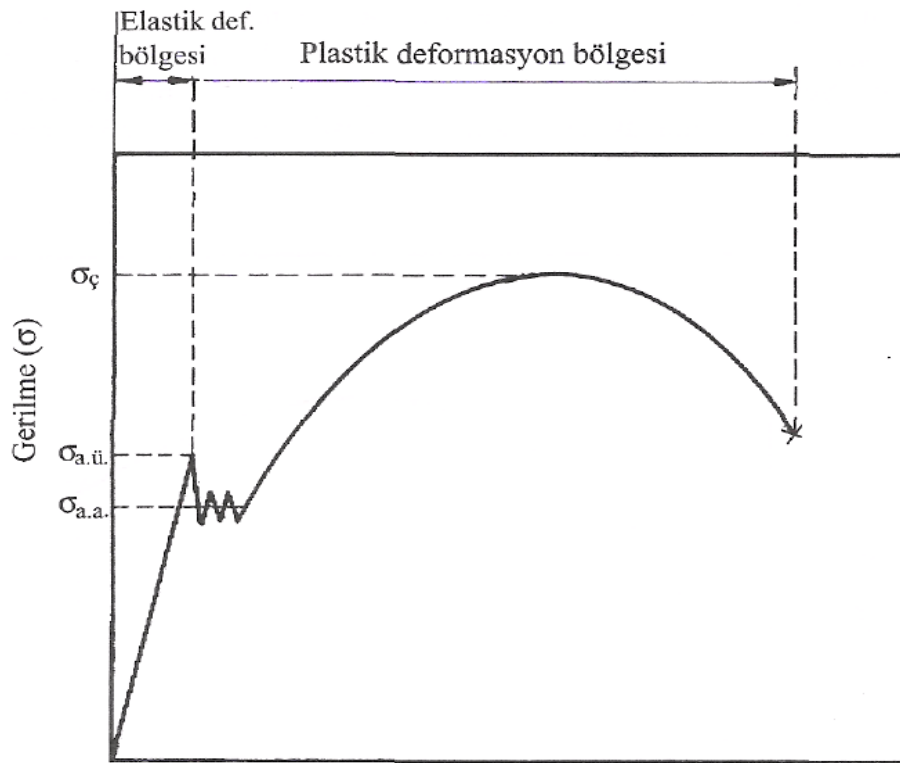
Çekme deneyi sonucunda malzemenin orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma sınırı ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk gibi süneklik değerleri belirlenir. Malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlı olan bu özellikler aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

Orantı sınırı (σ_0): Gerilme-birim uzama diyagramında Hooke yasasının, yani bağıntısının geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlayan gerilme değeridir. Bu bağıntıdaki orantı katsayısına (E) elastiklik veya esneklik modülü denir ve bu katsayı çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan doğrunun eğimini gösterir. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, o malzemenin rijitliği yani elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o oranda büyük olur. Bir malzemeye ait elastiklik modülü herhangi bir ısı işlem veya mekanik işlemle ile değiştirilemez.

Elastiklik sınırı (σ_e): Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilmeye denir. Genellikle, aralarındaki farkın çok az olması nedeniyle elastiklik sınırı orantı sınırına eşit kabul edilir.

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve

çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir. Akmanın başladığı gerilme değerine üst akma sınırı ($\sigma_{a.ü}$) ve akmanın devam ettiği ortalama gerilme de alt akma sınırı ($\sigma_{a.a}$) denir. Şekil 2.5’de düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler.



Şekil 2.5. Düşük karbonlu yumuşak çeliğin çekme diyagramı

Çekme dayanımı ($\sigma_ç$) : Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup,

$$\sigma_ç = F_{mak} / A_0 \quad (2.9)$$

formülü ile bulunur. Burada;

F_{mak} , malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti,

A_0 ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

Bu gerilmeye ulaşıncaya kadar deney örneğinin kesiti homojen olarak azalır, ancak bu gerilme değerinden sonra örnek bir bölgede yerel olarak büzülmeye başlar ve daha küçük bir gerilme altında kopar.

Kopma uzaması (K.U.): Çekme örneğinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan örneğin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama bağıntısı ile bulunur. Burada l_0 örneğin ilk ölçü uzunluğunu, l_k ise örneğin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise;

$$K.U. = \% \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (2.10)$$

bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer, malzemenin sünekliğini gösterir. Bir malzemede akma ve çekme dayanımlarını yükselten etkenler çoğunlukla sünekliği azaltırlar. Plastik şekil değişimine elverişli olmayan malzemeye gevrek malzeme denir. Bu nedenle, gevrek malzemeler teorik olarak kopma uzaması göstermezler.

Kopma büzülmesi (K.B.): Çekme örneğinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup,

$$\%K.B. = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100 \quad (2.11)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada A_0 deney örneğinin ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. Kopma büzülmesi, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler.

Rezilyans : Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirmesi için harcanan enerji veya elastik şekil değiştirme sırasında malzemenin depoladığı enerji demektir. Bu enerji, gerilme (σ) - birim uzama (ϵ) eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan ile belirlenir .

Tokluk : Birim malzeme hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılıncaya kadar enerji absorbe etme yeteneğini gösterir. Genellikle σ - ϵ eğrisinin altında kalan alanın, hesaplanması ile bulunur.

$$\epsilon_k \left(\int_0 \sigma.d\epsilon \right) \quad (2.12)$$

Bu formüldeki ϵ_k , kırılıncaya kadar malzemede meydana gelen birim şekil değiştirme miktarıdır. Malzemenin kırılmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olarak kabul edilen tokluğun karşılığı olarak da gevreklik deyimi kullanılır.

Malzemelerin mekanik özellikleri iç yapılarına bağlıdır. İç yapılar ise ısıtılma işlemi değiştirilebilir. Bu nedenle malzemelerin mekanik davranışları uygulanan ısıtılma işlemi göre değişir.

2.5.3. Çekme diyagramının irdelenmesi

Buraya kadar, çekme örneğinin son durumu ile ilk durumunun karşılaştırılması ile elde edilen mühendislik veya teknolojik gerilme (σ_m) - birim uzama (e veya ϵ) eğrileri incelendi. Ancak, ilk durum deney süresince sürekli değişime uğradığından, özellikle plastik şekil değişimi için her noktadaki gerilme ve birim şekil değiştirmenin o andaki boyuta göre hesap edilmesi daha uygun olur. Bu nedenle, mühendislik veya teknolojik gerilme (σ_m) ve teknolojik birim şekil değiştirme (e) kavramları yerine gerçek gerilme (σ_g) ve gerçek birim şekil değiştirme (ϵ) kavramlarını kullanmak gerekir.

Mühendislik gerilmesi;

$$(\sigma_m) = F_i / A_0 \quad (2.13)$$

formülü ile hesaplanır. Buradaki F_i de formasyonun herhangi bir i anında örneğe etki eden kuvvet, A_0 ise örneğin ilk kesit alanıdır. Mühendislik veya teknolojik birim şekil değiştirme (e) ise,

$$e = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.14)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada l_0 örneğin ilk ölçü uzunluğunu, l_i ise deformasyonun herhangi bir i anındaki uzunluğunu gösterir.

Gerçek gerilme (σ_g), uygulanan kuvvetin, deney örneğinin o andaki en küçük kesit alanına bölünmesi ile elde edilir;

$$(\sigma_g) = F_i / A_0 \quad (2.15)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Burada F_i deformasyonun herhangi bir i anında örneğe etki eden kuvveti, A_i ise kuvvetin uygulandığı andaki deney örneğinin kesit alanını gösterir.

Gerçek birim uzama (ε), örneğin boyunda meydana gelen değişimin (dl) o andaki boyuna (l) oranının integrali alınarak belirlenir ve bunun için

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_i}{l_0} \quad (2.16)$$

bağıntısı kullanılır. Bu duruma göre; gerçek birim uzama deney örneğinin deformasyonun herhangi bir i anındaki boyunun (l_i) ilk ölçü uzunluğuna (l_0) oranının logaritması olarak tanımlanır.

Plastik şekil değişimi sırasında örnek hacminin (V) değişmediği, yani

$$A_0 \cdot l_0 = A_i \cdot l_i = V \quad (2.17)$$

olduğu varsayılırsa, $A_i = A_0 \cdot l_0 / l_i$ olarak bulunur.

Mühendislik birim uzama;

$$(\epsilon) = \frac{l_i - l_0}{l_0} \text{ formülünden } \frac{l_i}{l_0} = 1 + e \text{ bağıntısı elde edilir.} \quad (2.18)$$

Buradan gerçek gerilme;

$$(\sigma_g) = \frac{F_i}{A_i} = \frac{F_i \cdot l_i}{l_0} = \frac{F_i}{A_0} \times \frac{l_i}{l_0} = \sigma_m(1 + e) \text{ olarak bulunur.} \quad (2.19)$$

Gerçek birim uzama;

$$(\epsilon) = \ln \frac{l_i}{l_0} = \ln(1 + e) \text{ olarak yazılabilir. Sonuçta gerçek ve teknolojik (mühendislik)}$$

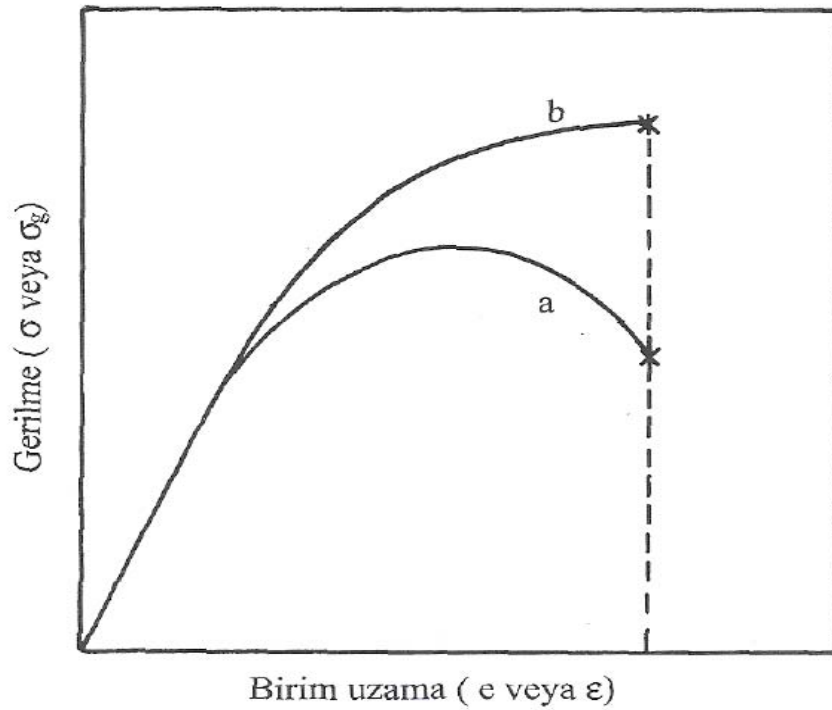
gerilme ve birim şekil değiştirme büyüklükleri arasındaki ilişkiler:

$$\sigma = \sigma_m(1 + e) \quad (2.20)$$

$$\epsilon = \ln(1 + e) \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (2.21)$$

Herhangi bir malzemeye ait mühendislik ve gerçek gerilme - birim uzama eğrileri Şekil 2.6 'da görülmektedir. Her iki eğri, küçük miktardaki birim uzamalar için aynı kabul edilir. Bu şekilden görüldüğü gibi gerçek gerilme kopma noktasına kadar sürekli artmaktadır. Böylece malzemenin büzülme de dahil olmak üzere, plastik şekil değiştirme sırasında sertleştiği söylenebilir. Bu tür sertleşmeye pekleşme veya deformasyon sertleşmesi adı verilir. Teknolojik veya mühendislik gerilmesi - mühendislik birim uzama (σ_m - e) eğrisinin oluşmasında rol oynayan iki etkenden söz edilebilir. Bunlardan biri pekleşme, değeri de kesit daralmasıdır. Söz konusu (σ_m - e) eğrisinde maksimum noktaya kadar pekleşme etkisi ağır basar. Ancak, pekleşme derecesi devamlı azaldığından maksimum noktada pekleşmenin etkisi kesit daralması etkisine eşit olur. Bu noktadan sonra ise kesit daralmasının etkisi daha üstün duruma geçer, yani deney parçası büzülür.

Basit bir çekme deneyi sonucunda elde edilen gerçek gerilme (σ) - gerçek birim şekil değiştirme (ϵ) eğrisine genellikle plastik akış eğrisi adı verilir. Çünkü bu eğri, belirli bir deformasyon oranı için metal malzemelerin plastik olarak akışını sağlayan gerilmeleri vermektedir, σ - ϵ eğrisinin deney örneğindeki homojen plastik deformasyonu karakterize eden kısmı, matematiksel olarak $\sigma_g = K \cdot \epsilon^n$ bağıntısı ile ifade edilebilir. Holloman denklemi olarak adlandırılan bu bağıntıda n deformasyon sertleşmesi üssü, K ise mukavemet katsayısı olarak tanımlanır.



Şekil 2.6. Mühendislik ve gerçek gerilme -birim uzama eğrileri: a) σ_m - ϵ eğrisi, b) σ_g - ϵ eğrisi

2.6. Sac Metal Malzemelerin Şekillendirilmesi

2.6.1. Limit derin çekme oranı

Derin çekmede, şekillendirilebilirlik derin çekme oranı ile açıklanabilir. Derin çekme oranı, ilkel pul çapı d_0 , ile çekilecek çap d_1 arasındaki orandır. β işareti ile gösterilir.

$$\beta = \frac{d_o}{d_l} \quad (2.19)$$

Parça başarıyla tamamen derin çekilebilir [23]. Parçanın dibinde oluşabilecek çatlakların engellenmesi için derin çekme oranının maksimum değerini aşmaması gerekmektedir. Bu değere limit derin çekme oranı denir ve $\beta_{\max}$ ile gösterilir. $\beta_{\max}$, aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\beta_{\max} = \frac{d_{o \max}}{d_p} \quad (2.20)$$

Bu denklemde;

$d_{O\max}$: malzemenin tamamıyla hatasız olarak çekilebilmesi için gerekli olan maksimum ilkel pul çapını,

d_p : punç çapını ifade etmektedir.

Malzemelerin çekilmelerinde ulaşılabilecek en büyük çekme oranını:

- 1- Malzeme mukavemeti
- 2- Malzeme kalınlığı ve takım ölçüleri
- 3- Baskı plakası basıncı
- 4- Sürtünme
 - a) Yağlama durumu
 - b) Çekilen malzemenin yüzey kalitesi
 - c) Takım malzemesi sertliği ve yüzey pürüzlülüğü büyük oranda etkiler.

Derin çekme prosesinde herhangi bir malzeme için sınır çekme oranının yüksek olması demek parçanın derin çekmeye uygun olduğunu gösterir. Çizelge de bazı malzemelerin yaklaşık sınır çekme oranları çaplarının kalınlıklarına oranı, ilk çapın $[d_o]$, ilk kalınlığa oranı $[s_o]$

$d_o \setminus s_o = 50$ kabul edilerek verilmiştir[24].

Çizelge 2.6. Sınır çekme oranları

Malzeme	$\beta_{\max}$
Çelik sac	1,8-2,2
Alüminyum, bakır, Al Cu Mg sac	2,1
Pirinç sac	1,7-2,2

Literatür de sınır çekme oranı için çeşitli formüller kullanılmaktadır. Aşağıdaki formüller $d_o \setminus s_o = 600$ oranlarında geçerli olduğu kabul edilir[11].

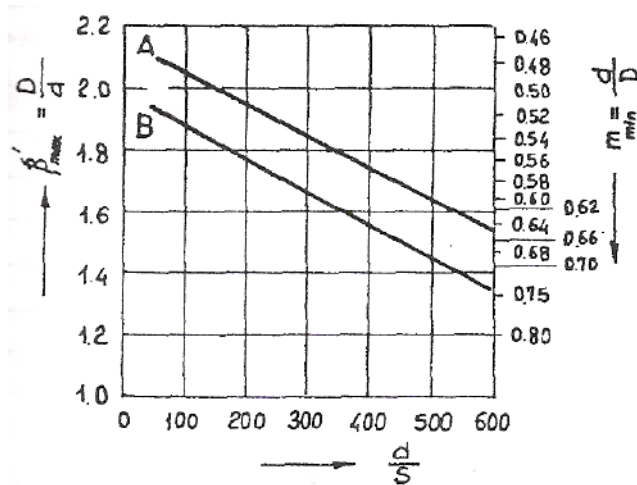
St 14 ve Ms 63 gibi iyi çekilebilir cinsten malzemeler için;

$$\beta_{\max} = 2,15 - 0,001 \frac{d}{s} \quad (2.21)$$

St 12 ve AlCuMg F25 gibi çekilebilir cinsten malzemeler için;

$$\beta_{\max} = 2,15 - 0,001 \frac{d}{s} \quad (2.22)$$

Çekme oranlarının bulunmasında $d_o \setminus s_o = 600$ değerine kadar kullanılabilen bir diyagram (Şekil 2.7) oluşturulmuştur[25].



d_p : zımba çapı

D: ilkel pul çapı

s: malzeme kalınlığı

A Eğrisi iyi çekilebilir malzemeler içindir (Ms63-St14 vs)

B Eğrisi çekilebilir malzemeler içindir. (St12 vs)

Şekil 2.7. $d_o \setminus s_o = 600$ değerine kadar kullanılabilen çekme oranları

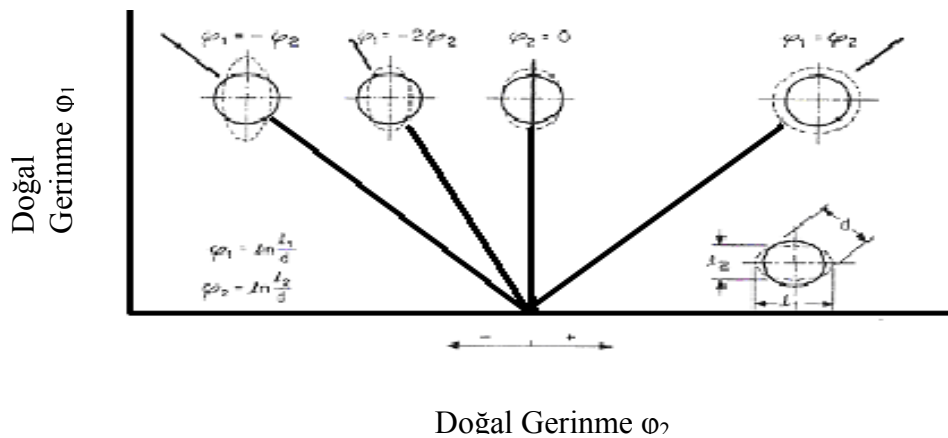
Pankin ve Grosch [26] izotropik malzeme ve sabit ölçülü kalıp kullanıldığı zaman sınır çekme oranının punç ve dişi kalıptaki sürtünmelerden etkilendiğini ortaya koymuşlardır.

Kotthaus [26] yaptığı araştırmalar sonucunda $\beta_{\max}$ ' in sacın kalınlığı ile orantılı olduğunu Leu ve Wu [27], yaptıkları çalışmalarda sınır çekme oranının sürtünme durumuna tamamıyla bağlı olduğunu yüksek sürtünmenin sınır çekme oranını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Leu ve Wu [27], çalışmalarında belirttikleri gerinim sertleşmesi üssünün (n) limit derin çekme oranında çok önemli olmadığını, büküm faktörünün s/r_d , yani sacın başlangıç kalınlığının dişi kalıp kavis yarıçapına oranının limit derin çekme oranını iyileştirdiğini belirtmiştir.

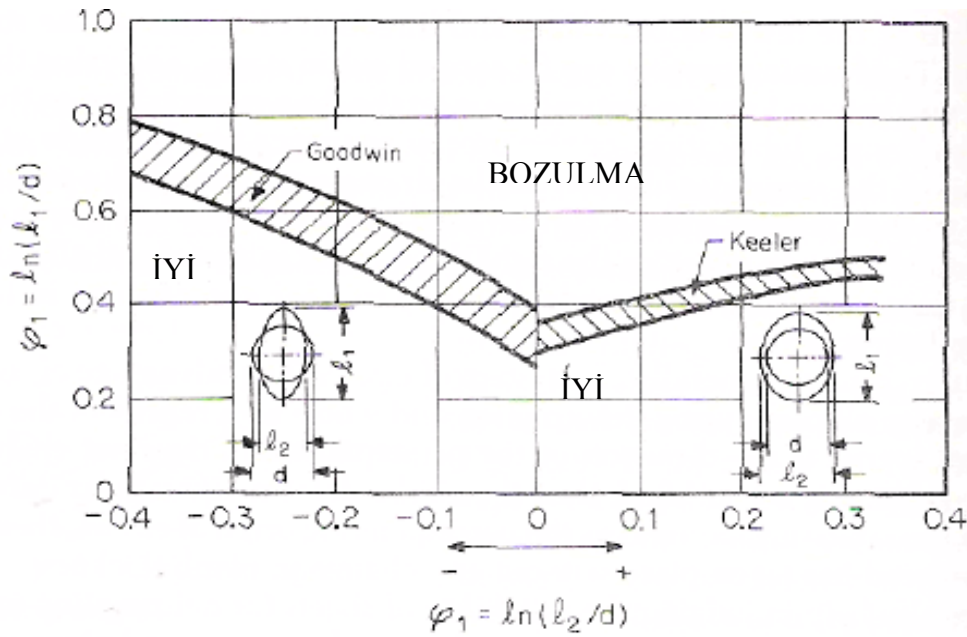
2.6.2. Sınır şekillendirme diyagramı

Sınır şekillendirme diyagramı yada derin çekme sınır diyagramı sac metal şekillendirmede şekillendirilebilirliği gösterir. Çeşitli yükler altında bulunan malzemenin davranışını daireler ile gösterilmektedir. Dairesel şekiller uygulanan yüke göre deforme olurlar. Dairesel şekillerin değişimi ile uygulanan yük çeşidi arasındaki ilişki Şekil 2.8'de gösterilmiştir [28].



Şekil 2.8. Gerinimlerin yuvarlak elemanlar üzerinde gösterimi

Yapılan deneyler sonucunda kırılmanın yada boyun vermenin oluşmayacağı alanın tespit edilebileceği ve bu alandaki maksimum gerinim (oluşan elipsin büyük eksen) ile minimum gerinim (büyük eksene dik eksen, aynı zamanda küçük eksen) gösterildiği derin çekme sınır diyagramları elde edilmiştir. Derin çekme sınır diyagramları, sac metalin kalitesini belirlerken, kırılmanın ve boyun vermenin oluşabileceği gerinim alanlarını tanımlar [Şekil 2.9].



Şekil 2.9. Sınır şekillendirme diyagramı

Bu konuda ilk Keeler'ın [29], Gensamer'ın [30] araştırmaları üzerine yaptığı çalışmalar kabul edilmiştir. Temel gerinimlerin ε_1 ve ε_2 'nin sac parça üzerindeki daire şeklinde çizimlerin kırılma bölgesinde ölçülmesiyle tespit edilmiştir. Sık kullanılan yöntemlerden biri daireleri metalin üzerine baskı olarak aktarmak yada kimyasal aşındırma ile daire şekilleri malzemenin üzerine işlenir. Form işlemi sırasında malzeme dokularında oluşan değişimler sonucunda daire şeklindeki şekiller eliptik bir görünüm alır. Daireler üzerindeki gerinimler hesaplanır. Keeler, çift yönlü gerdirme sonucunda oluşan kırılmanın maksimum temel gerinimin minimum temel gerinime oranlarını çıkarmıştır.

Daha sonra Goodwin [31] çeşitli mekanik testleri temel alarak eğriyi bası ve çeki için tekrar çizmiştir.

Keeler ve Goodwin diyagramlarında kırılma noktasında ε_1 ve ε_2 'ye değer vermişlerdir. Bu sebeple günümüzde sınır diyagramı Keeler - Goodwin diyagramı olarak da kullanılır.

2.7. VISUAL BASIC Programının Kullanım Alanları

Basic tabanlı bir dil olup öğrenilmesi kolay, kullanım alanı geniş bir dildir. Özellikle görsel uygulamalarda projenin arabiriminin hızlı yazılmasını sağladığı için genelde kullanıcı arabirimi tasarımlarında kullanılır. Kapsamlı veya çok kullanıcıli uygulamalarda kullanılmaz. Kullanıcı sayısı az olan veya kısa sürede bitmesi gereken küçük ölçekli projelerde tercih edilen bir programlama aracıdır. Yoğun olarak kullanılmaktadır.

2.8. LSDYNA –FORM Programının Derin Çekmede Kullanılması

Livermore Software Technology Corporation -LSTC- tarafından üretilen LS-Dyna yazılımı genel amaçlı zamana bağımlı dinamik problemlerin hesaplanmasında kullanılan eksplisit bir sonlu elemanlar kodudur. Hemen hemen her alanda kullanım imkanı olan LS-Dyna derin çekme ve diğer metal şekillendirme proseslerinin de simüle edilebilir. Aynı zamanda LS-Dyna ile çarpma, düşme ve devrilme analizlerini gerçekleştirmek mümkündür.

ETA firması tarafından üretilmekte olan DYNAFORM yazılımı, sac metal şekillendirme kalıpcılık simülasyonları için kullanılan spesifik bir yazılımdır. DYNAFORM yazılımı arka planda çözücü olarak LS-DYNA yazılımını kullanır. Ekspilisit, açık adımlı zaman entegrasyonu, bir çözücü olan LS-DYNA dinamik çözücü sayesinde kalıpcıların çok kısa bir süre içerisinde gerçek hayattaki değerlere uyan kalıp simülasyonlarını sanal ortamda gerçekleştirmelerine olanak sunar. Böylece kalıp üretimindeki deneme yanılma süreçlerini yani iteratif kalıp dizaynını bilgisayar ortamına taşıyarak dizayn sürecini kısaltarak maliyetleri azaltır.

3. DERİN ÇEKME

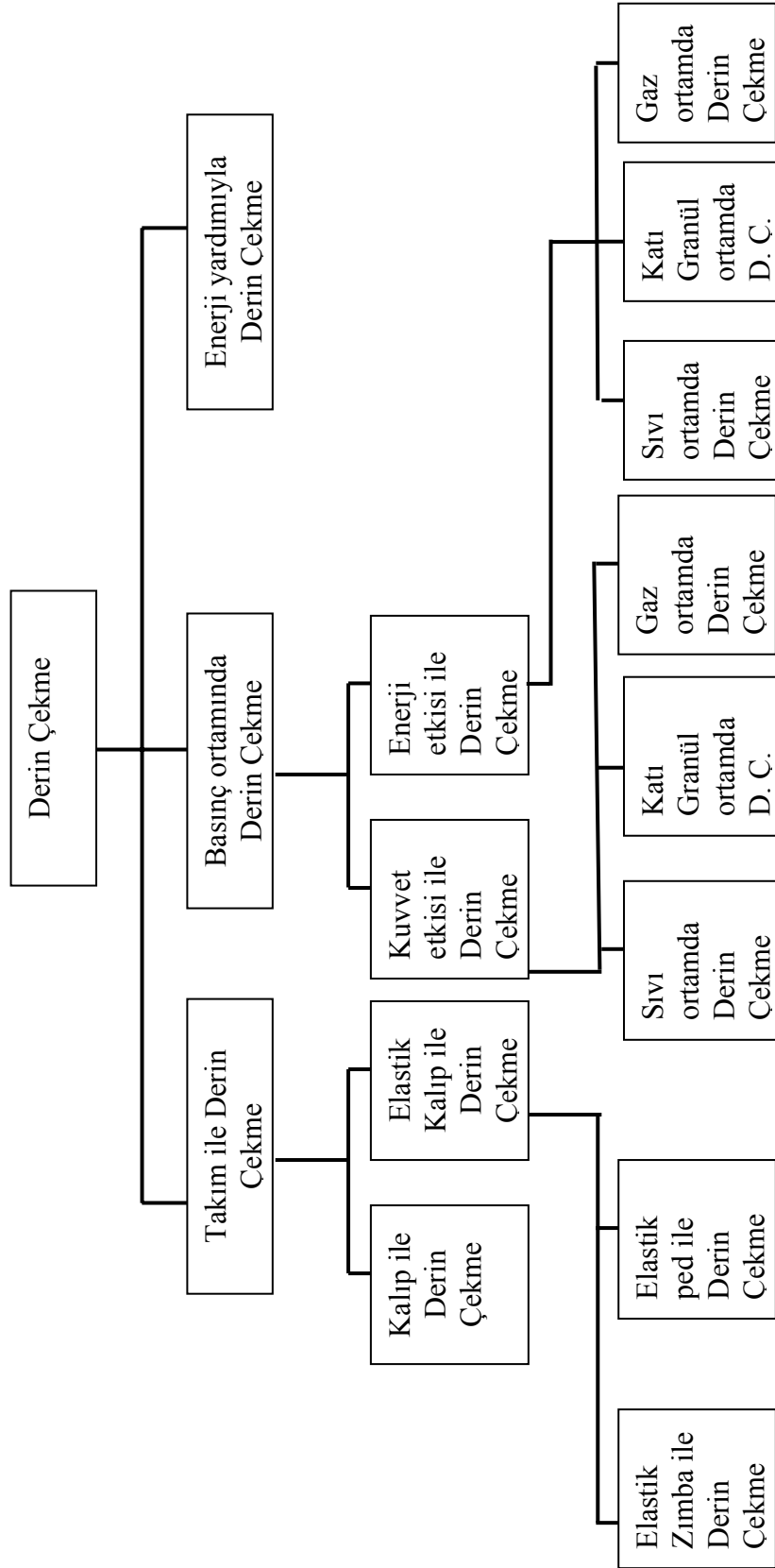
3.1. Giriş

Sac metal şekillendirme de derin çekme konusu ayrı bir önem taşır. Günlük hayatta kullanılan araç ve gereçlerinin çoğunun derin şekillendirme prosesi ile yapılabilmesi, soğuk şekillendirme olması, kalıpcılığın ön plana çıkması bu prosesin önem kazanmasına neden olmuştur.

3.2. Derin Çekme Teknolojisi

Madeni düz pulların veya plakaların çekme kalıbı denilen düzenlerle pres altında çökertilerek belirli derinlik ve profillerde kap şekline sokulması işlemine derin çekme denir .

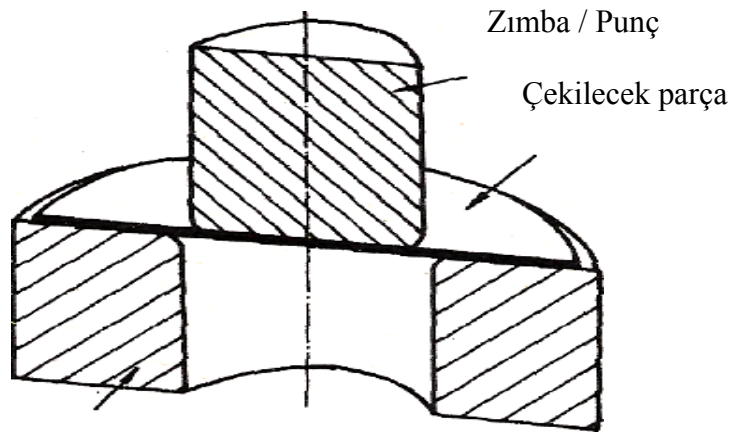
Derin çekme işleminin çeşitleri DIN 8584 [26]'e göre Şekil 3.1 ile açıklanabilir .



Şekil 3.1. Derin çekme işleminin çeşitleri DIN 8584 ' e göre

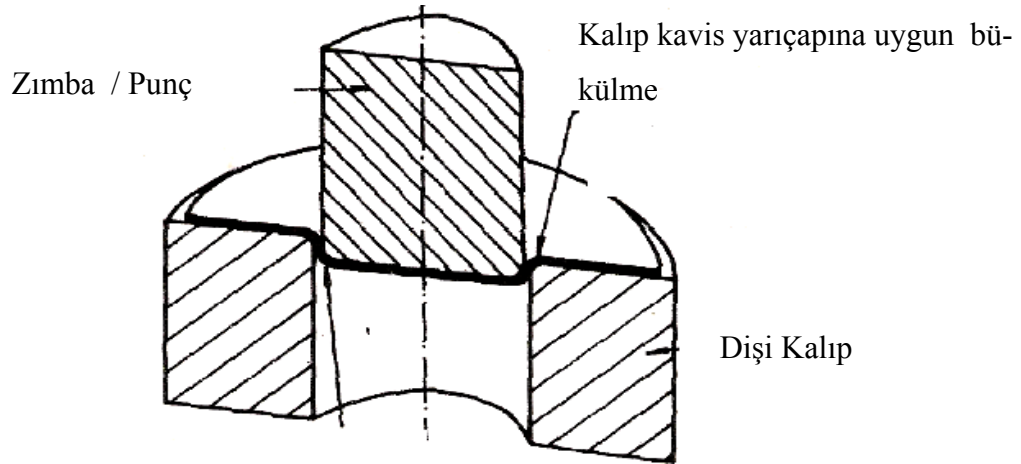
3.3. Derin Çekme İşleminin Mekanizması

Çekme işleminde, çekilecek kap boyutlarına uygun şerit malzeme veya yuvarlak sac malzeme hazırlanır. Hazırlanan malzeme şekli yuvarlaksa ilkel pul, dairesel biçimde değilse bu da ilkel plaka olarak tanımlanır (Şekil 3.2).



Dişi kalıp

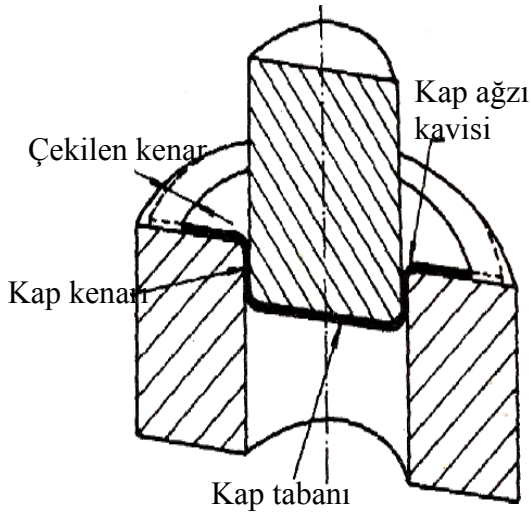
Şekil 3.2. Çekilecek parçanın kalıp içerisine yerleşimi



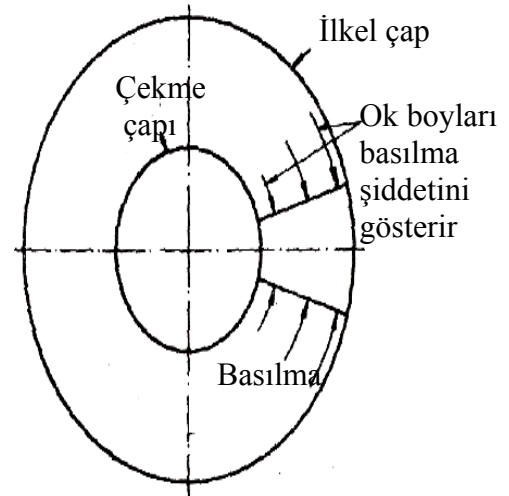
Zimba ucu kavis yarıçapına uygun bükülme

Şekil 3.3. Çekme kalıbında bükme başlangıcı

Zimba, sac malzeme ve dişi kalıp temas haline gelinceye kadar sac malzemede herhangi bir değişme olmaz. Zimba dişi kalıp içerisine doğru ilerlemeye başladığı anda, zimba ucu kavis yarıçapına uygun olarak sac malzeme eğilir (şekil 3.3). Zimba ilerlemeye devam ettiğinde, çekilen kabın tabanında şekil değişimi olmaz. Ancak zimba ucu ve dişi kalıp ağzı kavis yarıçapına gre eğilen parçada dzelme başlar (şekil 3.4).

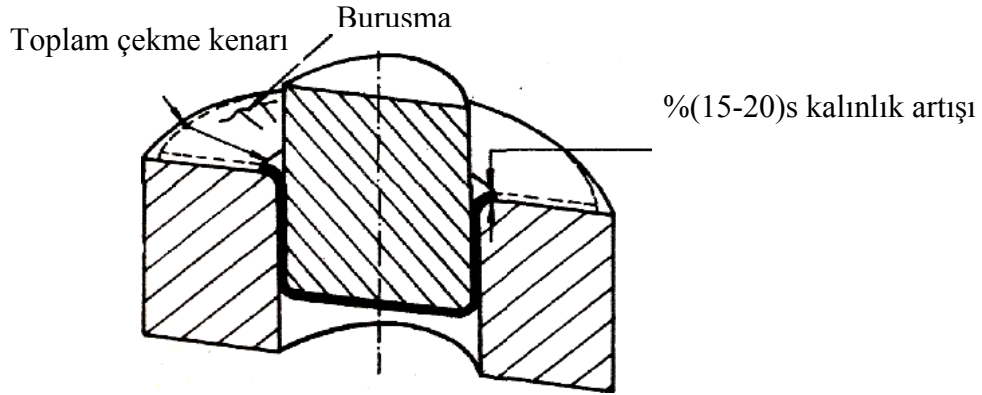


şekil 3.4. Çekme başlangıcı

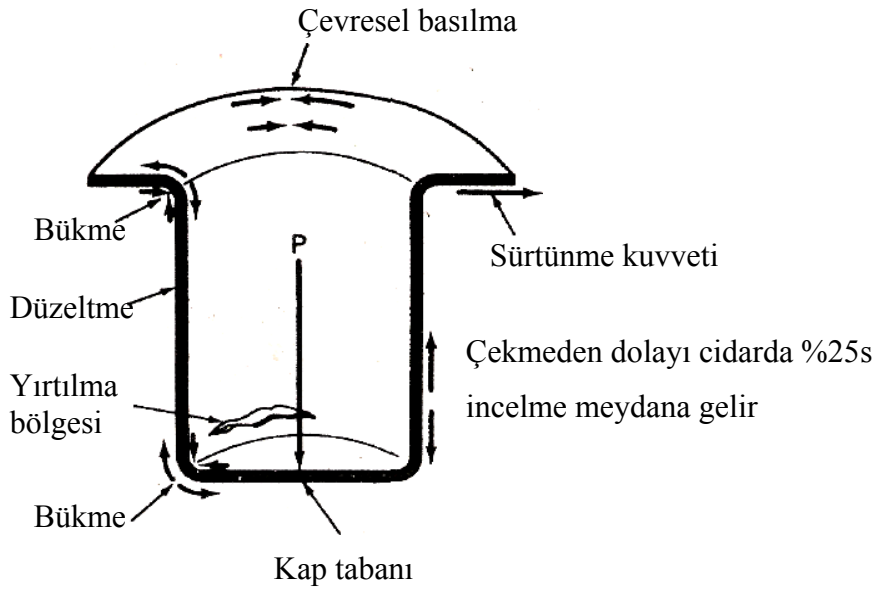


şekil 3.5. Çekme boyunca dışevrede meydana gelen basılma

Kalıp içerisine akan sac malzemenin dış çevresinde basma gerilimi meydana gelir (şekil 3.5). Bu basma gerilimi, çekilen kabın ağız kısmında malzeme yığılması meydana getirir. Bu şekildeki malzeme yığılmasına buruşma adı verilir (şekil 3.6). Çekilen kabın ağız kısmında buruşma ve (% 15 - % 20)s kadar kalınlık artışı meydana gelir. Ayrıca, ekme işlemi biten kabın ağız ve taban kavis yzeylerinde eğilme ve basma gerilimleri, tabana yakın kısımlarda maksimum çekme gerilimi meydana gelir. Çekme geriliminin maksimum olduğu bu kısımlarda çekilen kabın et kalınlığı azalır ve parça aşırı çekmeye zorlandığında taban çevresinde yırtılma blgeleri oluşur (şekil 3.7).



Şekil 3.6. Çekme safhası



Şekil 3.7. Çekilen kap ve taban çevresinde meydana gelen yırtılma bölgesi

İşin şekline, ölçülerine ve malzemeye bağlı olarak çeşitli çekme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemleri üç bölümde inceleyebiliriz

Baskı Plakalı Çekme :

a) Silindirik Çekme Kalıpları

- b) Dikdörtgen veya Kare Çekme Kalıpları
- c) Konik, Yarım Küre veya Karmaşık Çekme Kalıpları

Baskı Plakasız Çekme:

- a) Silindirik Çekme Kalıpları
- b) Dikdörtgen veya Kare Çekme Kalıpları
- c) Konik, Yarım Küre veya Karmaşık Çekme Kalıpları

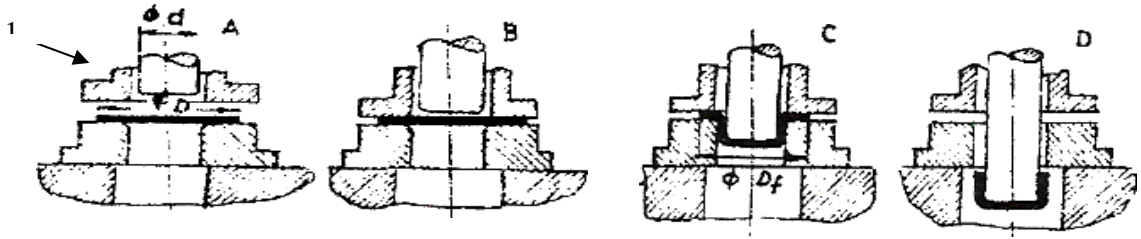
Çevirme Çekme:

- a) Silindirik Çekme Kalıpları
- b) Dikdörtgen veya Kare Çekme Kalıpları

Daha sonra bu grupları çekme kalıplarına göre alt gruplara ayırabiliriz. Bu projede incelenen parçalar baskı plakalı derin çekme yöntemi ile silindirik, dikdörtgen veya kare, karmaşık şekilli çekme kalıpları kullanılarak yapılmıştır.

3.3.1. Baskı plakalı çekme

Baskı plakalı çekme uygulaması Şekil 3.8'de şematik olarak görülmektedir. Bu tür çekme düzeni baskı plakası, çekme kalıbı ve çekme zımbasından oluşmuştur. Çekmenin başlangıcında D çaplı ilkel pulun üzerine (1) nolu baskı plakası tarafından belirli bir kuvvet uygulanarak çekilecek saç kalıpla baskı plakası arasına sıkıştırılır. (B) şeklinde görülen bu baskının amacı sacın çekme esnasında kırışmasına engel olmaktadır.



Şekil 3.8. Baskı plakalı çekme uygulaması

(C) şeklinde görülen ikinci kademede presin baskı plakası hareket ünitesinden bağımsız şekilde hareket eden ve ana baskı devresine bağlı çekme zımbası devreye girerek ilkel pulu kalıp içerisine iteler. Böylece flanş çapı D , iç çapı d olan bir kap elde edilir. Eğer istenirse zımba daha da aşağı indirilerek flanşlı çekilmiş parça (h) yüksekliğinde bir kovan şekline dönüştürülebilir. Bu durum (D) şeklinde görülmektedir.

3.3.2. Baskı plakasız çekme

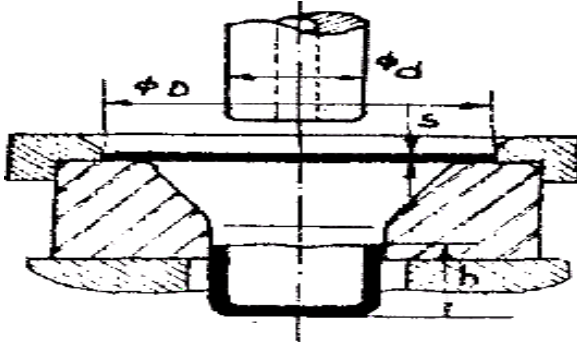
Geniş yüzeyli ve ince plakaların derinliği fazla kaplar haline dönüştürülmelerinde malzeme kırışmasına engel olmak amacıyla uygulanan baskı plakalı çekme özel yapılı pres tezgahı ve pahalı kalıp düzenleri gerektirir. Kalınlığı fazla olan saçlardan yapılacak derinliği az olan parçaların çekilmelerinde kırışma olasılığı daha az olduğundan basit yapılı parçalardan oluşan baskı plakasız çekme kalıplan Şekil 3.9 'da görüldüğü gibi zımba ve kalıp ikilisinden oluşan çekme düzeni ile basit yapılı pres tezgahları kullanılabilir. Pres koçuna bağlı zımba iş parçasına baskı uygulanarak onu çekme kalıbı içerisine iteler. Bu uygulamanın yapılabilmesi için aşağıdaki şartlar olmalıdır[32].

$S \geq 0,017$ ve $d/D \geq 0,55$ verilen eşitliklerde ;

s : Çekilecek sac kalınlığı

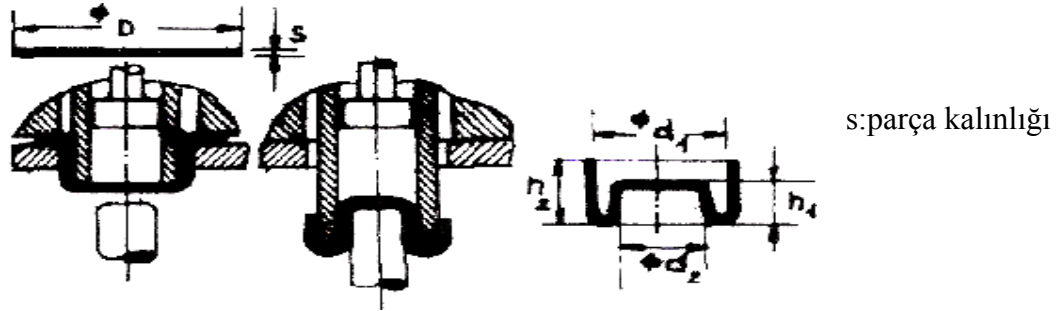
D : İlkel pul çapı

d : Zımba çapıdır.



3.3.3. Çevirme çekme

Çevirme çekme Şekil 3.10 'da görülebileceği gibi bir pres kursunda iki çekme yapma şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 3.10. Çevirme çekme

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

Üst zımba birinci çekme çapını çektikten sonra presin aşağı inmesiyle alt zımba devreye girerek parçayı iki kere çeker. Presin aşağı inme konumuna bağlı olarak parça tam silindirik şekle sokulabileceği gibi çekme kursu tamamlanmayarak çift cidarlı parçalar da elde edilebilir.

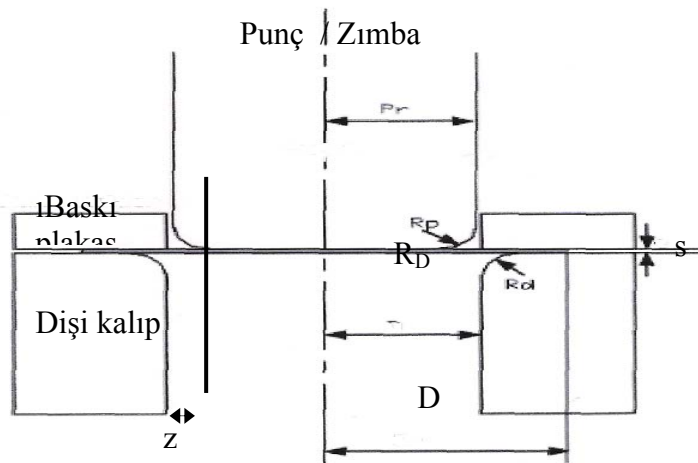
Kullanılacak presin kursu çekilecek parça yüksekliğinin iki katından fazla olmalıdır. $s/D.100 > 0,25$ şartlarında uygulanabilen bu yöntem özellikle küresel, konik, parabolik ve benzeri parçaların imali için uygundur.

3.3.4. Derin çekme parametreleri

Eksenel parçalarda derin çekme parametrelerinin açıklanması diğerlerine göre daha kolaydır. Silindirik derin çekme işleminde prosesi etkileyen malzeme ve kalıp parametreleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Derin çekme işlemini etkileyen kalıp parametreleri ;

- Dişi kalıp kavisi yarıçapı, R_d
- Dişi kalıp yarıçapı, R_D
- Punç kavis yarıçapı, R_p
- İlkel yarıçap, D
- Son yarıçap, d
- İlkel malzeme kalınlığı, s
- Çekme boşluğu, z



Şekil 3.11. Silindirik derin çekme parametreleri

Malzemenin ilk çekmede bir kere bükülüp bir kere doğrultulduğu, yeniden çekmelerde ise iki kere bükülüp doğrultulduğu göz önüne alındığında çekme işlemini kolaylaştırmak için dişi kalıp çekme kavislerinin mümkün olduğunca büyük tutulması gerektiği düşünülebilir. Fakat büyük tutulmuş takım kavislerinde baskı plakası etki yüzeyi küçüleceğinden sacın takımla temasta olmayan yüzeyi büyüyecektir.

Bu durumda malzeme gerilmeler etkisiyle kıvrılabilir. Aksine olarak dişi kalıp çekme kavisleri gereğinden küçük tutulduğunda ise takım kesme kalıbı gibi çalışacağından malzemenin yırtılması kolaylaşır. Uygun değerlerde çekme oranı veren, kırışma etkisini azaltan, taban kavis bölgesindeki malzeme zayıflamasını en küçük değerlerde tutan ve düşük kuvvetle çekmeyi sağlayan dişi kalıp kavis için net bir sonuç bulunmamaktadır. Ancak daha sonra kavisin büyütülmesine imkan tanıdığı ve diğer kaynakların verdiği dişi kalıp kavis yarıçaplarından %40 daha küçük olduğu için aşağıdaki formül kullanılabilir [33].

$$r_d = 0,035[50 + (D - d)]\sqrt{s} \quad (3.1)$$

Çekme işleminin oluşumunda büyük önemi olan zımba kavisleri için de kesin kurallar konmamıştır. Küçük zımba kavisleri cidar zayıflatması etkisi gösterir. Bu cidar zayıflaması sonucu parça ileriki çekmelerde ortaya çıkan çekme kuvvetlerine dayanmayabilir. Parça çevresinde teğetsel kuvvetler etkisiyle giderilmeyecek izler belirir. Genel olarak zımba kavislerinin dişi kalıp kavisinden daha küçük olmamasına dikkat edilir. Zımba kavisleri için genel kural (3-8)s dir. Dişi kalıp kavis yarıçapı ile zımba kavis yarıçapı arasında aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir.

$$s/D \cdot 100 > 0,6 \text{ durumunda} \quad r_z = r_d \quad (3.2)$$

$$s/D \cdot 100 = 0,6 - 0,3 \text{ durumunda} \quad r_z = 1,5 r_d \quad (3.3)$$

$$s/D \cdot 100 < 0,3 \text{ durumunda} \quad r_z = 2 r_d \quad (3.4)$$

Dişi kalıp ile zimba arasındaki mesafeye çekme boşluğu ismi verilmektedir. Şekil 3.11’de z harfi ile gösterilmiştir. Çekme boşluğunun belirlenmesinde parça üst kenarındaki malzeme kalınlaşmasıyla sac kalınlık toleransı dikkate alınır. Bu boşluk gereğinden az olursa çekme işlemi normal çekme prosesinden çıkarak cidar inceltme işlemine dönüşür. İncelen parça cidarının çekme kuvvetine dayanamayarak parça tabanının yırtılmasına neden olur. Çekme boşluğunun fazla olması durumunda ise çekilen parça ölçüleri istenen tamlıkta olmaz ve ince malzemelerde kırışıklara sebep olabilir.

Çekme boşluğu, çekmenin metoduna ve takımın yapısına bağlı olarak değerlendirmek gerekir. Çekilecek malzemenin kalınlık değişiminin belirli sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Bu sebepten çekilecek sacların hassas kalınlık toleransına sahip olması iyi sonuçlar verir. Çeşitli malzemeler için uygulanacak çekme boşlukları için aşağıdaki formüller kullanılabilir[33].

$$\text{Çelik saclar için} \quad z = s + 0,07\sqrt{10s} \quad (3.5)$$

$$\text{Alüminyum saclar için} \quad z = s + 0,02\sqrt{10s} \quad (3.6)$$

$$\text{Demir olmayan metaller için} \quad z = s + 0,04\sqrt{10s} \quad (3.7)$$

Derin çekme işlemini fiziksel olarak etkileyen parametreleri sınıflandıracak olursak ;

- Malzeme özellikleri
- Yağlama
- Punç hızı
- Baskı plakası kuvveti

3.4. Derin Çekme İşleminin Analitik Hesaplamaları

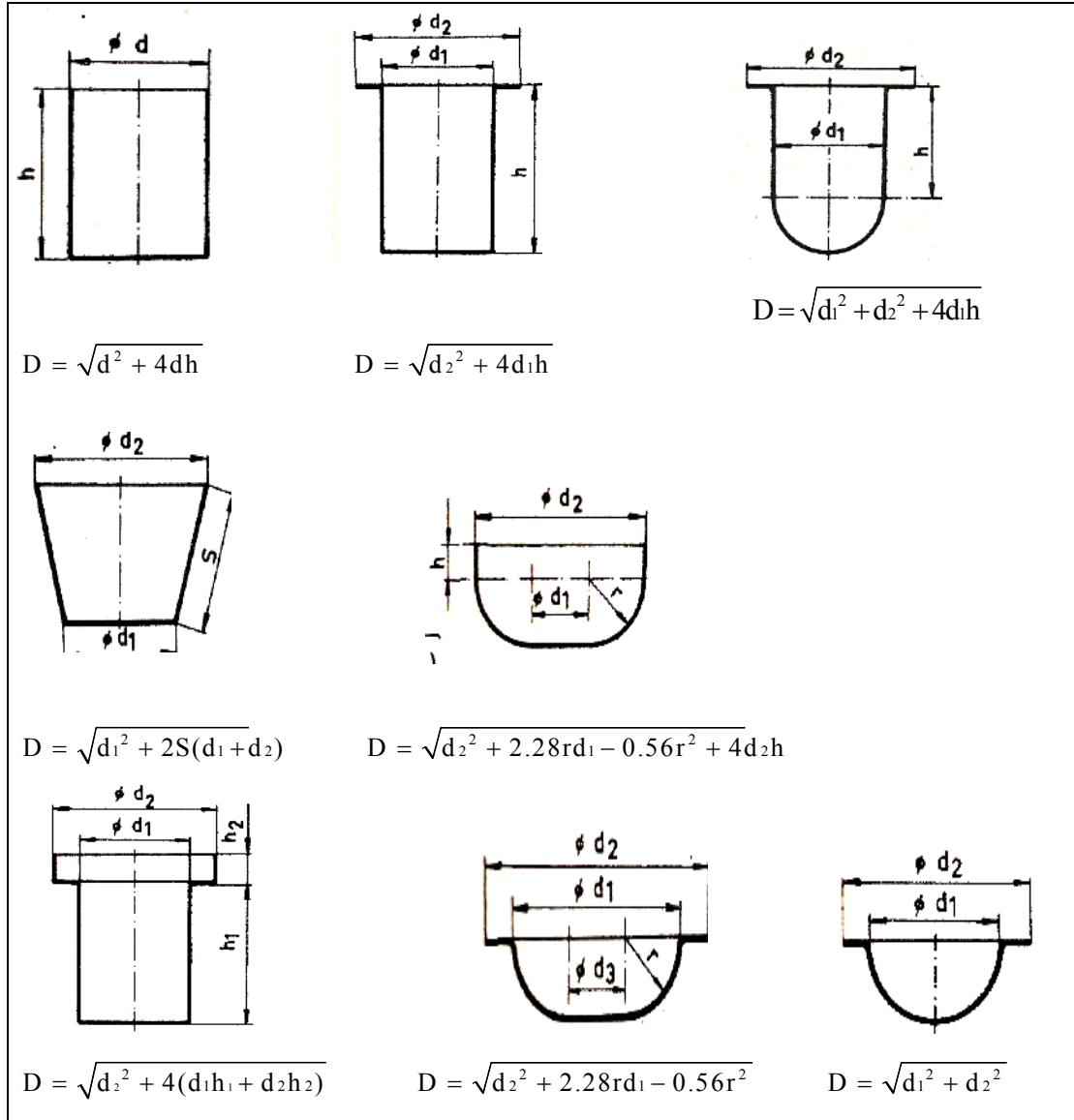
Silindirik kapların çekilmesinde, ilk önce çekilecek kap malzemenin ilkel çapı hesaplanır. Çekme süresince kap malzeme eğilme, basma ve çekme gerilimlerine uğrar. Ancak tabanı düz olan kapların sadece taban kısmı eğilme, basılma veya çekilme gerilimlerine uğramaz.

İlkel çapın hesaplanmasında aşağıdaki metotlar uygulanır :

1. Alan metodu,
2. Uzunluk ve ağırlık merkezi metodu,
3. Grafik metodu.

3.4.1. Alan metodu

İlkel pul hacmi ile çekilmiş parçanın hacminin çekmeden sonra kalınlıktaki değişim ihmal edilerek, iki hacmin birbirine denkliğinden, ilkel çapı bulunacak parçanın çekilmeden önceki alanı, çekildikten sonraki kap alanına eşitlenir. Ek-1‘de çeşitli geometrilerde çekilen kaplar ve ilkel çapları gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Çekilen kaplar ve ilkel çapları

3.4.2 Uzunluk ve ağırlık merkezi metodu

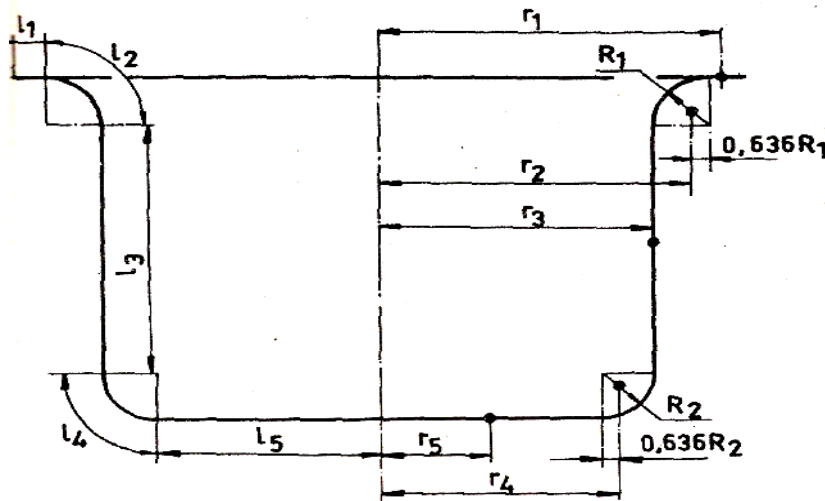
Guldin teoremi (L) uzunluğunda bir eğrinin bir eksen etrafında dönmesinden oluşan şeklin alanı, eğri ağırlık merkezi çevresiyle eğri uzunluğunun çarpımına eşittir.

Uzunluk ve ağırlık merkezi metoduyla ilkel çapın bulunmasında, çekilen kabın simetrik kesiti alınır ve çekmeye uğrayan bütün kenarların uzunlukları ayrı ayrı bulunur. Daha sonra, bütün uzunluklar ve ağırlık merkezlerinin simetri eksenine olan uzaklıkları çarpımlarının toplamı, çekilecek parça alanına eşitlenir. Guldin teoremi (L) uzunluğunda bir eğrinin bir eksen etrafında dönmesinden oluşan şeklin alanı, eğri ağırlık merkezi çevresiyle eğri uzunluğunun çarpımına eşittir.

Bu yöntemin uygulanabilmesi için ;

- Kesiti alınan kap, simetrik parçalara ayrılır.
- Simetrik parçaların her birini simgeleyen $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ uzunlukları bulunur.
- Her uzunluğa ait ağırlık merkezlerinin kap eksenine olan $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ uzunlukları bulunur ve aşağıdaki formülle ilkel çap hesaplanır.

$$\text{İkel çap } D = \sqrt{8(r_1 l_1 + r_2 l_2 + \dots + r_n l_n)} \text{ mm} \quad (3.8)$$



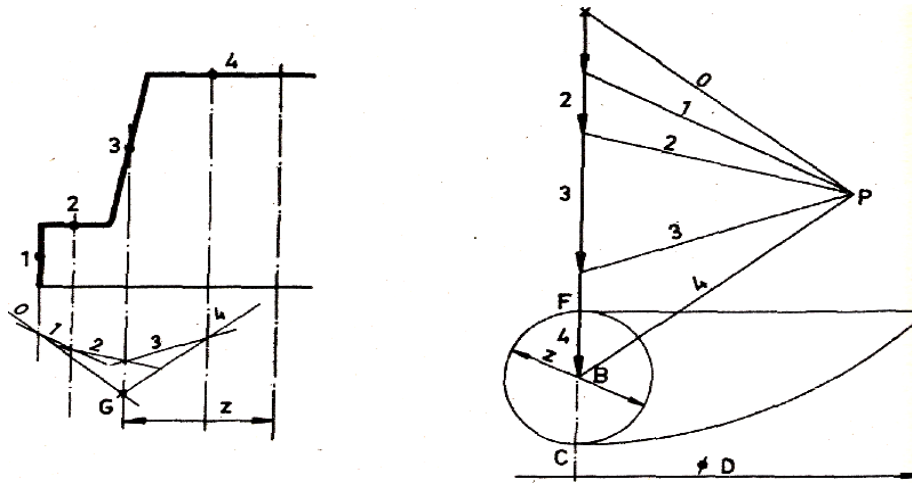
$$l_2 = \frac{\alpha}{360^\circ} 2\pi R_1$$

α : Büküm açısı (Derece)

$$\text{ilkel \u00c7ap: } D = \sqrt{8(r_1l_1 + r_1l_2 + r_3l_3 + r_4l_4 + r_5l_5)} \quad (3.9)$$

3.4.3 Grafik metodu

Bu y\u00f6ntemle, \u00e7ekilen kabın 1/4 kesiti alınır ve b\u00fct\u00fcn \u00e7ekme uzunlukları ayrı ayrı bulunur. Ancak, bulunan uzunluklar \u00f6l\u00e7ekli \u00e7izilir. Bu metoda, Guldin teoremine g\u00f6re f\u00fcnik\u00fcler \u00e7okgeni veya \u00e7okgenler metodu da denir. Bulunan her uzunlu\u011fun a\u011fırlık merkezinden yataya dikler \u00e7ıkılır. Uzunlukları kuvvet kabul edip ayrıca bir kuvvetler \u00e7okgeni yardımıyla par\u00e7a \u00fczerindeki dikleri kesen ilk ve son do\u011fruların kesim noktası (G) bulunur. Bulunan (G) noktası, kesiti alınan par\u00e7anın kesit a\u011fırlık merkezini simgeler. (G) noktası ile kap simetri eksenini arasındaki uzaklık (z), kuvvetler \u00e7okgeni bitim noktası (B) \u00fczerinde \u00e7ap olarak alınır. (AC) yarı\u00e7aplı yayın, (F) te\u011fetinden \u00e7izilen do\u011fruyu (E) de kesmesi sa\u011flanır. Bulunan (EF) uzunlu\u011fu, \u00e7ekilecek par\u00e7anın yarı\u00e7apı D/2 ' yi verir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. \u00c7ekilen kap kesiti ve ilkel \u00e7ap

3.4.4. Sac Kalınlığının ilkel \u00e7apa oranı

\u00c7ekilecek kap malzemenin \u00e7ekme s\u00fcresince buru\u015fmasını \u00f6nlemek i\u00e7in, (%) olarak sac kalınlığının ilkel \u00e7apa oranı \u00f6nceden hesaplanır.

$$\text{Sac kalınlığının ilkel çapa oranı} = \frac{s}{D} \times 100 \quad (3.10)$$

D: Çekilecek kap malzemenin ilkel çapı, mm

s : Sac malzeme kalınlığı, mm

Çekilecek kabın buruşmasını önlemek için aşağıdaki maddeler göz önünde tutulmalıdır;

$$1. \quad \frac{s}{D} \times 100 \leq 0,5 \quad (3.11)$$

Buruşma şiddeti fazla olacağından, baskı plakası kullanılır ve çekme işlemi kalıplarda yapılır.

$$2. \quad \frac{s}{D} \times 100 = 0,5 - 1,5 \quad (3.12)$$

Buruşma şiddeti birinci maddedekine oranla daha az ancak, çekme işlemi baskı plakalı kalıplarda yapılır.

$$3. \quad \frac{s}{D} \times 100 = 1,5 - 2,5 \quad (3.13)$$

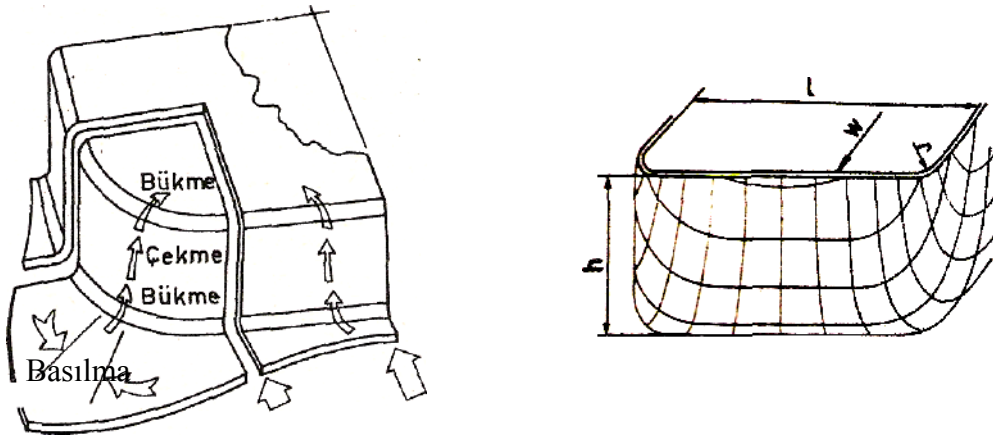
Buruşma şiddeti az olacağından çekme işlemi plakasız kalıplarda yapılır.

$$4. \quad \frac{s}{D} \times 100 \geq 2,5 \quad (3.14)$$

Buruşma olmayacağından baskı plakası kullanılmaz.

3.4.5 Karesel ve prizmatik kapların ilkel plaka boyutunun hesaplanması

Prizmatik ve kare kapların çekilmeleri çekme ve bükme olaylarının birlikte oluşturduğu karmaşık bir işlemdir. Parçanın köşe kavisleri bölgesinde oluşan büyük gerilmeler sebebiyle imalat oldukça güçtür. Dikdörtgen ve kare biçimli kapların çekilmesinde, çekilecek parçanın köşe kavislerinde basma, yan yüzeylerde ise çekme gerilmeleri meydana gelir. Köşe kavis yarıçapları küçük kapların köşe yüzeylerinde meydana gelen basılma, çekmeden dolayı yan yüzeylerde meydana gelen malzeme akmasının da basılmasına sebep olur. Çekme öncesi ilkel plaka kare olarak markalanmış ve malzeme prizmatik şekilde çekilmiştir. Çekme sonrası kare çizgilerin aldığı biçim Şekil 3.15’de görülmektedir. Malzemedeki şekil değişimi sonucunda kare şekiller bozularak çekme yönünde uzamış, sıkışma yönünde de büzüşmüştür. Köşe kavis yüzeylerinde meydana gelen basma gerilimi, köşe kavis yarıçapının çekilen kap genişliğine oranına (r/w) bağlıdır. Çekilen malzemenin eğilme gerilimi ve buruşmaya karşı direnci, sac malzeme kalınlığının ilkel genişliğine oranına (s/w) bağlı olarak değişmektedir. Sac malzeme kalınlığının ilkel genişliğe oranına göre çekme faktörü ($0,71 \sqrt{r/h}$), Çizelge 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.15. Çekilen parçadaki şekil değişimi

Çizelge 3.1 Dikdörtgen veya kare biçimli kapların tek operasyondaki çekme faktörleri, $(0,71 \sqrt{r/h})$ [11]

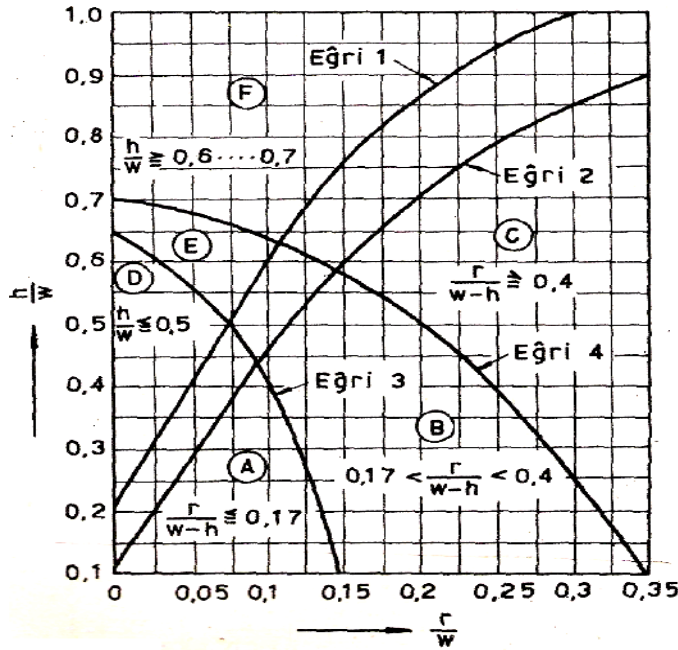
r/w	Saç kalınlığının genişliğine oranı s/W			
	%2	%1	%0,6	% 0,3
0,4	0,40	0,42	0,44	0,48
0,3	0,30	0,38	0,40	0,42
0,2	0,33	0,34	0,36	0,38
0,1	0,25	0,25	0,25	0,25
0,05	0,15	0,15	0,15	0,15

Tek operasyonlu dikdörtgen veya kare biçimli kapların çekilmesinde, derinliğin çekilen kap genişliğine oranı (h/w) değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Dikdörtgen veya kare biçimli kapların çekme işlemindeki derinliğinin genişliğine (h/w) oranı [11]

r/w	Tek operasyonlu çekmede (s/W)			
	2 - 1,5	1,5 - 1	1-0,6	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, köşe kavis yarıçapının çekilen kap genişliğine (r/w) ve saç malzeme kalınlığının ilkel genişliğine (s/w) oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Biçim kabın kaç kademedeki çekilebileceğine, çekme derinliğinin kap genişliğine (h/w) ve iç yüzey köşe kavis yarıçapının kap genişliğine (r/w) oranları etki etmektedir. Şekil 3.16’daki 2.eğriye ait A, B ve C alanları içerisindeki çekme işlemlerinin tek operasyonda yapılabileceğini gösterir.



r : Köşe kavis yarıçapı
h : Kap derinliği
w: Çekilen kap genişliği

Şekil 3.16. Dikdörtgen ve kare biçimli kapların çekilmesine ait bağıntılar

1.eğri üzerindeki D, E ve F alanları içerisindeki konumlarda, çekme işlemlerinin iki veya daha fazla operasyonda yapılabileceği belirtilmektedir. 1.ve 2. eğriler arasında kalan konumlardaki çekme işlemlerinin tek operasyonda yapılabileceği gösterilmektedir.

A, B ve C alanları içerisine giren çekmelerde, sac malzeme kalınlığının çekilecek parça genişliğine oranı $(s/w) > \% 0,6$ dan fazla olamaz.D, E ve F alanları içerisine giren çekmelerde, sac malzeme kalınlığının çekilecek parça genişliğine oranı (s/w) , $\% 2$ den küçük alınamaz.

Şekil 3.16 'ya ait 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 kapların çekilmesinde, köşe kavis yüzeylerinde meydana gelen basılma gerilimi, yan yüzeylere çok az yansımaktadır. Bu nedenle, yan yüzeylerdeki çekme yüksekliği sabit tutulur. Bununla ilgili A alanı içerisine düşen çekmelerde ilkel boyutlar Şekil 13.17 'de gösterilmektedir.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. C alanı, orta ve büyük köşe kavis yarıçapı 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 giderileceği yine Şekil 3.18’de gösterilmektedir. D alanı, çekme derinliğinin genişliğine oranı (h/w) 0,65 den büyük ve köşe kavis profili Şekil 3.17-d’ ye benzeyen çekmelere uygulanır. F alanı, çekme derinliğinin genişliğine oranı (h/w) 0,70 den büyük olan kare veya dikdörtgen çekmelere uygulanır.

A, B ve D alanları içerisine düşen ve çekilen kabın köşe kavis yarıçapı Şekil.3.17-a ‘daki gibi olan durumlarda aşağıdaki işlem basamakları aynen uygulanır.

1. Dikdörtgen ve kare çekmelerde, çekilecek kabın taban, oturma yüzeyini oluşturan I. başlangıç ekseni çizilir ve kabın iç yüzey köşe kavis yarıçapı merkezleri belirtilir (Şekil 3.17).
2. Çekilecek kap genişliğinin bulunmasında yardımcı olan çekme derinliği ve çekilen kabın iç yüzey taban kavis yarıçapı $(h+ 0,57 r_p)$ bulunur.
3. Çekilecek parçanın köşe kavis yarıçapı (R), aşağıdaki formülle bulunur.

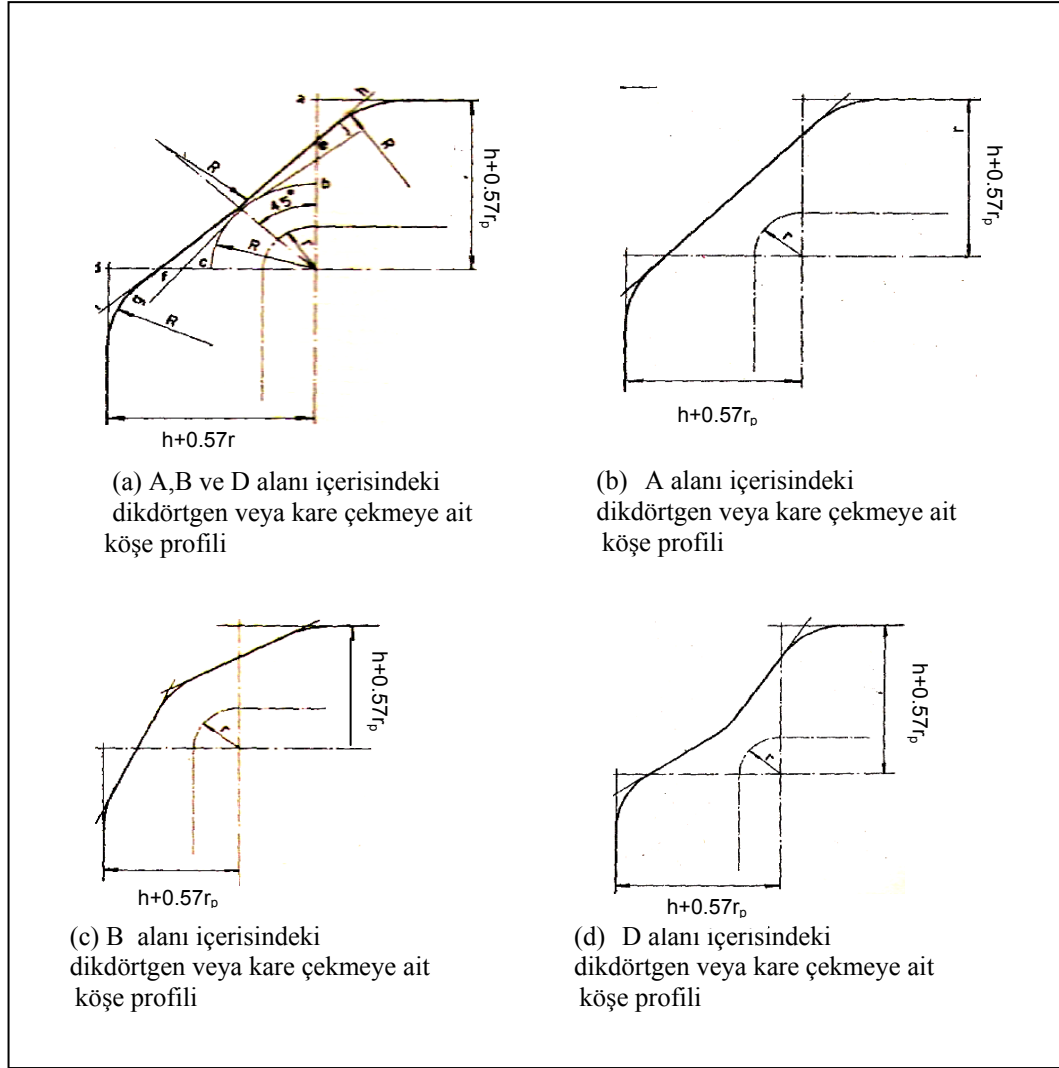
$$R = \sqrt{r^2 + 2rh - 0,86r_p(r + 0,16r_p)} \quad (3.15)$$

Parçanın taban ve köşe kavisleri eşitse;

$$R = 1,42\sqrt{r^2 + r(h - r)} \quad (3.16)$$

4. 1.başlangıç eksenleri kesim noktasından (R) yarıçaplı kavisler çizilir ve eksenler üzerindeki kesim noktaları (b) ve (c) işaretlenir (Şekil 3.17).
5. (ab) ve (cd) uzunluklarının orta noktaları (e) ve (f) işaretlenir. Bu noktalardan geçen (R) kavisine teğet (gh) ve (ij) doğruları çizilir (Şekil 3.17).

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



Şekil 3.17. Dikdörtgen ve kare biçimli kapların çekilmesinde , çekilecek sac malzemenin köşe profili

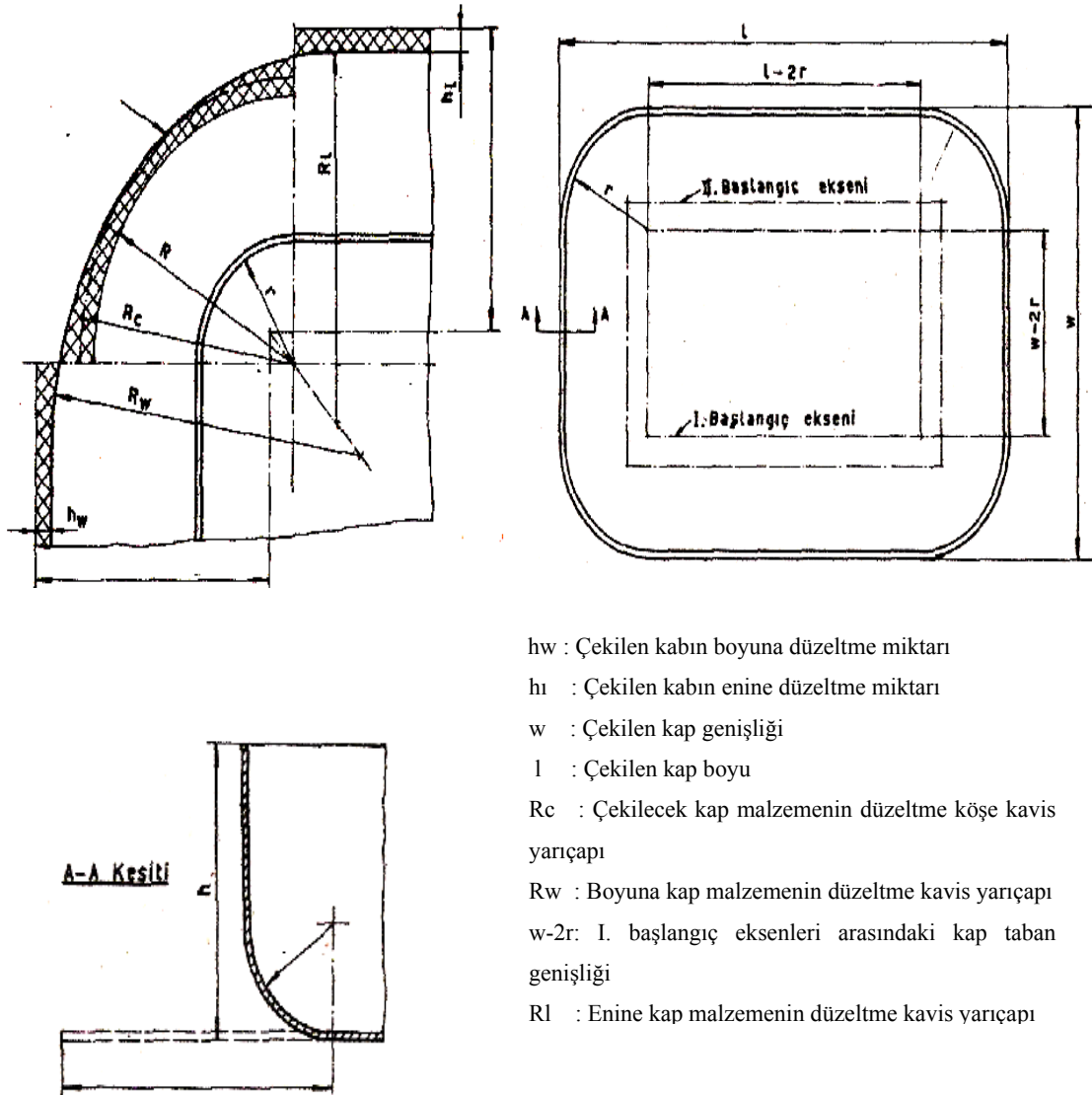
Şekil 3.17' deki sembollerin açıklaması:

h = Çekilen kabın çekme derinliği, mm

r_p = Zimba ucu kavis yarıçapı, mm

r = Dişi kalıp köşe kavis yarıçapı, mm

R = Çekilecek parçanın köşe kavis yarıçapı, mm



Şekil 3.18. B ve C Alanlarına ait çekmelerde, büyük yarıçaplı köşe düzeltme profili

B ve C alanları içerisine düşen çekmelerde çekilen kap malzeme, A alanı içerisine düşen çekmeye oranla daha fazla basılmaya uğrar. Bu durumlarda çekilecek parçanın köşe kavis yarıçapı (R_c) alınır. Ayrıca çekilecek parça genişliğinden tek taraflı olarak (h_l) ve boyundan (h_w) kadar azaltılır (Şekil 3.18).

Bu uygulamanın yapılabilmesi için aşağıdaki işlem basamakları aynen uygulanır;

1.A alanına giren parçalarda uygulanacak 1, 2, 3 ve 4. maddelerdeki işlem sıraları aynen uygulanır ve parçanın köşe kavis profili çizilir. Eğer dişi kalıp köşe kavis yarıçapı, zımba ucu kavis yarıçapından büyükse ($r > r_p$) II. başlangıç eksenini ($h+0,57r_p$) kadar içeriden çizilir (Şekil 3.18).

2.Düzeltilme köşe kavis yarıçapı (R_c) bulunur.

$$R_c = [0,074 (R/2r)^2 + 0,982] \quad (3.17)$$

3.Çekilecek parçanın genişliğinden ve boyundan tek taraflı olarak (hw) ve (h_1) kadar çıkarılır.

$$hw = yR^2/(w - 2r) \quad (3.18)$$

$$h_1 = yR^2/(l - 2r) \quad (3.19)$$

Yukarıdaki değerlerin bulunmasında kullanılan kavis yarıçapı faktörü (y). Çizelge 3.3' den bulunur.

4. R_c Kavisine teğet (R_l) ve (R_w) yarıçaplı kavisler çizilir ve çekilecek parçanın köşe profili elde edilir.

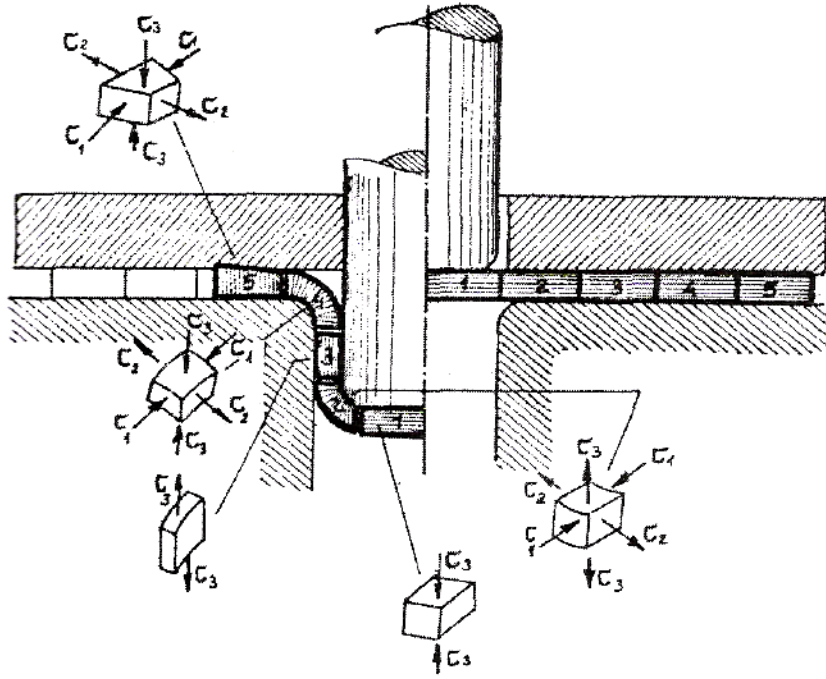
(h/w) oranı fazla, C ve F alanları içerisine düşen kare çekmelerde, çekilecek parça yuvarlak olarak kesilir ve çapı aşağıdaki formülle bulunur.

$$D = 1,13\sqrt{w^2 + 4w(h - 0,43r) - 1,72(h + 0,33r)} \quad (3.20)$$

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

Çok basitleştirilmiş olarak anlatılan bu şekil değişikliği malzemenin çeşitli bölgelerinde çok çeşitli gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olur. Bu gerilmelerin belirlenmesi karmaşık plastisite problemidir.

Şekil 3.20'de baskı plakalı çekme ile meydana getirilen silindirik parçanın çekme esnasındaki malzeme hareketi ve çeşitli çekme bölgelerindeki gerilme dağılımları şematize edilmiştir. (D) çapındaki ilkel pul (d) çapında ve (h) yüksekliğinde bir kaba dönüştürülürken pul kenarındaki (5) elemanı yer değiştirerek (5') konumuna gelmiştir. Şekil 3.20'de gösterilen bu elemanın (σ_1) gerilmeleri ile eni daralmış, zımba kuvvetinden doğan (σ_2) gerilmeleri ile çekiye zorlanmış ve (Q) baskı kuvvetinin etkisi ile (σ_3) erilmesiyle sıkıştırılmıştır. (4) elemanı da (4') konumuna geçerken (5) elemanı gibi üç eksenli gerilmelerin etkisindedir. Bu eleman ayrıca kalıp köşesinde bükülmeye zorlanmıştır. (3) elemanı (3') konumuna geçmeden önce kalıp köşesinde önce bükülmüş, daha sonrada tekrar düzelmiştir. Son durumda ise üzerinde çekme zımbasının etkisiyle (σ_2) çekme gerilmesi oluşur.



Şekil 3.20. Silindirik çekmede çeşitli bölgelerdeki gerilmeler

Yuvarlak parçalar için tekli çekimde maksimum çekme kuvveti F_u aşağıdaki şekilde hesaplanır[47].

Literatürde çekme kuvvetleri için pratik formüller bulunmaktadır(Çizelge 3.4).

$$F_u = \pi(d_p + s)sR_m 1,2 \frac{\beta - 1}{\beta_{\max} - 1}, N \quad (3.8)$$

d_p : Punç çapı[mm]

s : Malzeme kalınlığı [mm]

R_m :Malzemenin çekme kuvveti[N/mm²]

β : Çekme oranı

$\beta_{\max}$: Maksimum çekme oranı

Çizelge 3.4. Çekme kuvvetleri için pratik formüller

Çekmenin şekli	Çekme kademesi no	Çekme kuvveti formülleri	Katsayı Tablosu
Flanşız silindirik çekme	İlk çekme	$P = \pi d_1 s \sigma_{Bk_1}$	1
	Tekrar çekme	$P = \pi d_2 s \sigma_{Bk_2}$	2
Geniş flanşlı silindirik çekme Flanşlı konik ve yarım küre çekme	İlk çekme	$P = \pi d_1 s \sigma_{Bk_1}$	3
	ilk çekme	$P = \pi d_k s \sigma_{Bk_2}$	3
Oval çekme	İlk çekme	$P = \pi d_{f1} s \sigma_{Bk_f}$	1
	Tekrar çekme	$P = \pi d_k s \sigma_{Bk_f}$	2
Derinliği az prizmatik çekme	Tek çekme	$P = (2A+2B-1,72r)s \sigma_{Bk_n}$	4
Derinliği fazla kare çekme	1. ve 2. çekme	Silindirik çekme gibi	1-2
	Son çekme	$P = (4B-1,72r)s \sigma_{Bk_b}$	5
Derinliği fazla prizmatik çekme	1. ve 2. çekme	Oval kapların çekimi gibi	1-2
	Son çekme	$P = (2A+2B-1,72r)s \sigma_{Bk_n}$	5

P : Çekme kuvveti

d_1 : 1.çekme çapı

d_2 : 2.çekme çapı

d_k : Konik parçalarda küçük çap, yarımküre parçalarda yarıçap

d_{f1} : Oval parçalarda 1.çekmedeki ortalama çap

d_n : (n). Çekmedeki dış çap

A : Prizmatik parçanın boyu

B : Prizmatik parçanın eni

r : Köşe kavis

s : Sac kalınlığı

σ_B : Malzemenin kopma mukavemeti

Çekme kuvvetlerini hesaplamada kullanılan katsayılar Ek -1 de verilmiştir.

3.5.Derin Çekme İşleminde Yağlama

Çekmede yağlama malzeme ve takım arasındaki sürtünmeyi azaltmayı amaçlar. Böylece malzemenin şekillendirmeye karşı göstereceği direnç azaltılmış olur, İyi bir yağlama takım ve iş parçası yüzeylerinin zamansız bozulmalarını önlediği gibi kalıp ömrünün artmasına sebep olur. Yağlama iş parçasının takımdan kolayca ayrılmasını sağlamak amacıyla da kullanılır. Yağlama için kullanılacak maddelerde aşağıdaki genel özellikleri bulunması gerekir.

- Yağlama maddesinin meydana getirdiği yağ filmi homojen olmalı ve yüksek basınçlarda yırtılarak kuru sürtünmeye sebep olmamalıdır.
- Yağlama maddesi malzeme yüzeyini iyi ıslatmalı (yapışmak) ve bütün yüzeylere homojen olarak dağılmalıdır.
- İş parçası üzerindeki yağ tabakası operasyondan sonra kolayca temizlenebilmelidir.
- Yağlama maddesi takım ve malzeme yüzeyinde kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar meydana getirmemelidir.
- Yağlama maddesinin bileşimi kararlı olmalı ve sağlığa zararlı etkileri bulunmamalıdır.
- Kullanılan operasyon sıcaklığında yağlama özelliğini kaybetmemeli, zararlı etkileri bulunabilecek duman ve gaz çıkarmamalıdır.
- Yağlama maddesinin temini kolay ve ucuz olmalıdır.

Pratikte dolgu maddeli dediğimiz içinde grafit talk (magnezyum silikat) tebeşir (kalsiyum karbonat), MoS_2 (molibden disülfid) vs. gibi katık maddeleri bulunan yağlarla dolgu maddesiz çok çeşitli yağlama maddeleri kullanılmaktadır. Tecrübeler dolgu maddesiz yağlama maddelerinin dolgu maddeli yağlar kadar yağ filmi kararlılığına sahip olmadığını göstermektedir. Aynı zamanda dolgu maddeli yağlarda sürtünmenin diğerine nazaran iki ila üç kat daha az olduğu, bu sebepten takım ömrünün uzadığı görülmektedir.

Çizelge 3.5’de yağlama maddelerinin cinsine göre sürtünme katsayılarının değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.5. Yağlama maddesine göre çekme işlemindeki sürtünme katsayıları

Yağlama maddesi	Çekilen malzeme		
	Çekilen sac	Alüminyum	Al Alaşımı
Dolgu maddesiz makine yağı	0,14-0,16	0,15	0,16
Dolgu maddeli makine yağı	0,06-0,10	0,10	0,08-0,10
Kuru çekme	0,18-0,20	0,25	0,22

Çekme işlerinde kullanılabilecek yağlama maddeleri çeşitli malzemeler için Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da verilmiştir. Yağlama maddesinin kullanılması ile ilgili birkaç öneriyi aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

1. İlkel pulun yağlama maddesine daldırılarak bütün yüzeylerinin yağlanması tavsiye edilmemektedir.
2. İlkel pulun yalnızca çekme kalıbına bakan tarafı belli aralıklarla yağlanmalıdır.
3. Malzemenin zımba boyunca kayarak cidar incelmeye uğrayacağı düşünülerek ilkel pulun baskı plakasına bakan tarafının yağlanmaması iyidir.
4. Parçanın taban ile zımba alın yüzeyi arasındaki sürtünmeyi artırmak için zımbanın alın yüzeyinin parlatılması gerekir. Malzeme zımba alın yüzeyinden kolayca kayarsa kavis bölgesinde malzeme incelmesi daha fazla olacak ve malzemenin çekmede yırtılması kolaylaşacaktır.
5. Malzeme ile takım elemanları arasındaki sürtünmeyi azaltmak malzemenin kıvrırmaya olan eğilimini artırır. Bu sebepten $s/D < \%0,3$ gibi düşük malzeme kalınlığı oranlarında ilk çekme operasyonunda yağlama yapılmaması tavsiye

edilir. Fakat takım aşınmalarını ve iş parçası yüzey bozukluklarını önlemek için dişi kalıp kavis bölgelerinin yağlanması gerekir.

Son maddede açıklanan öneriler ince saclardan yarım küre ve benzeri şekilli parçaların çekimleri içinde uygulanmalıdır.

Çizelge 3.6. Çeşitli malzemelerin çekimlerinde kullanılabilen yağlama maddeleri

Çekilen Malzeme	YAĞLAMA MADDESİ
Alüminyum Al alaşımları	Bitkisel yağ (soda yağı), Vazelin, pul grafit ile gaz karışımı, parafin
Bakır Pirinç Bronz	Bitkisel yağ ve suda eritilmiş sert sabun karışımı (1 : 1), pul grafit karıştırılmış mazot, soda ilaveli veya ilavesiz koyu sabunlu su
Nikel ve Alaşımları	Kalın sabun çözeltisi (NaOH, KOH) ile yağ karışımı
Paslanmaz çelik	Su ile grafit bulamacı, %10 kükürt ilave edilmiş kalın bezir yağı ile üstübeç karışımı (Zehirlidir)
Çinko ve alaşımları	Don yağı ile pul grafit karışımı

3.5.1. Yağlama işlemi

İmalatta form aşamasında kullanılan yağ Houghton marka bir kimyasaldır (Ek-4). Yağlama işleminin yanı sıra bazı parçalarda form sırasında film şeklinde üretilmiş plastik malzemeler kullanılmaktadır. Tuff marka malzemenin asıl amacı büküm tezgahlarındaki bıçakların yıpranmasını engellemek, aynı zamanda parçada oluşabilecek izleri ortadan kaldırmaktır(Ek-4). Malzeme Resim 3.1’de gösterilmiştir. Bu malzemeler form işlemi sırasında planlamalarda belirtilmediği için kullanımı tamamı ile operatörün kararına bırakılmıştır.



Resim 3.1. Plastik film

3.6. Derin Çekme İşleminde Isıl İşlem

Soğuk olarak şekil değişimine uğratılan malzemenin sertleşerek mukavemetinin arttığı ve sünekliğinin azaldığı bilinmektedir. Plastik deformasyonun sebep olduğu bu sertleşme, malzemenin akma noktasından, daha büyük uzamaya zorlanması sonucu akma noktasının yükselmesi şeklinde tanımlanabilir. Sertleşen malzemenin şekillenme alanının daralması bir sonraki operasyon için malzemenin gerekli deformasyona dayanmasını tehlikeye sokar. Şekillenme direnci yükselmiş olacağından malzemenin daha büyük kuvvetle şekillendirilmesi gerekir. Bu durumda kuvvet artacağından malzeme şekillenme esnasında kopabilir. Derin çekme olayında da bu durumda kopmalar olabileceğinden belirli bir deformasyondan sonra kaybolan şekillenme özellikleri malzemeye yeniden kazandırılmalıdır. Bunu sağlamak için malzemeye "ara tavlama" denilen ısıl işlem uygulanır. Çekmenin sebep olduğu sertleşme; çekme oranının büyüklüğüne, baskı kuvveti değerine, takım kavislerine, çekme boşluğu değerine, çekme hızına, yağlama durumuna ve çekmeler arası bekleme zamanına bağlıdır. Derin çekme kalitesi; çelik sac, pirinç ve yumuşak alüminyum malzemelere uygun çekme kademelendirilmesi yapılırsa çok sayıda çekme işlemi uygulanabilir. Paslanmaz çelik, bakır ve östenit çelik malzeme ilk çekmeden veya ikinci çekmeden sonra yumuşatma tavlama gerektirir. Uygun çekme şartları sağlanmış malzemelere ısıl işlemsiz yapılabilecek çekme sayıları Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Isıl işlemsiz yapılabilecek çekme sayıları

Malzemenin cinsi	Isıl işlemsiz çekme sayısı
Derin çekme sacı	3 4
Alüminyum	4 5
Paslanmaz çelik	2 4
Bakır	1
Mg alaşımları	1
Titanyum alaşımları	1

Çekme kalıbı ve zımparasının kavislerini gereğinden küçük yapmanın malzeme sertleşmesine fena yönde vardır. Bu sebepten takım kavisleri gereğinden fazla küçük yapılmamalıdır. Çekme boşluğu gereğinden küçük yapılacak olursa çekmede malzeme incelmesi olacağından şekil değiştirme sertleşmesi artacaktır. Bunun sonucu olarak da yumuşatma tavlama gerekecektir, çekmede ara ısıl işlem uygulamasına gerek kalmadan imalatı tamamlama daima arzu edilen bir durumdur, çekme oranları, kurallara uygun takım şekilleri ve ölçüleri, malzemeye uygun çekme şartları sağlanarak imkan ölçüsünde fazla çekme sayısına erişilebilir. Fakat bütün bunların yanı sıra çekme arasında ısıl işlem gerekebilir. Şekil değişimlerinin meydana getirdiği sertleşmeyi ortadan kaldırarak malzemeye şekillenme öncesi şartları yeniden kazandırmak için uygulanacak ısıl işlem değerleri yaklaşık olarak

Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Çeşitli malzemeleri için ara ısıt işlem şartları

Malzemenin cinsi	Tavlama Sıcaklığı °C	Tavlama Zamanı (dk)	Soğutma Şekli
Derin çekme sacı	760-780	20-40	Kapalı yerde hava ile
St 1- St2	900-920	20-40	Kapalı yerde hava ile
C20, C25, C30	700-720	60	Ocak içinde
30SiMnCr4 .	650-700	12-18	Havada
Paslanmaz Çelik	1050-1170	30	Hava akımında veya suda
Bakır	600-650	30	Havada
Ms 63- Ms 67	650-700	15-30	Havada
Nikel	750-850	20	Havada
Al-AlMg-AlMn	300-350	30	250°C den sonra havada
AlCuMg	350-400	30	250°C den sonra havada

3.6.1. Malzemeye ait ısıt işlem özellikleri

Parça imalatında kullanılan ısıt işlem TAI‘ de kullanılan standartlara göre yapılmaktadır[34].

Çizelge 3.9. Alaşımli alüminyumun ısıt işlemler sıcaklığı

Alaşım	Form	Sıcaklık	
		°F	°C
2024	Tümü	920	493
2219	Tümü	995	535
6013	Sac	1000	538
	Çubuk / Kütük	985	529
6061,6063	Tümü	985 -995	529 -535
7075	Sac kalınlığı .05 inch (1.3 mm) altında kalan ve ısıt işlemler sonrası T73, T76 durumuna gelen malzeme için	870	466
	Sac kalınlığı .05 inch (1.3 mm) altında kalan ve ısıt işlemler sonrası T6 durumuna gelen malzeme için	920	493
	Diğerleri	870	466

Çizelge 3.10. Alaşımli alüminyumun soğutulması

Kalınlık inç (mm)	Minimum soğutma süresi, s : dak. Fırında hava ile soğutma
0.020' e kadar (0.51 mm), dahil	0:20
0.020 (0.51mm) 'den 0.032 (0.81 mm) kadar, dahil	0:25
0.032 (0.81mm) 'den 0.063 (1.60 mm) kadar, dahil	0:30
0.063 (1.60mm) 'den 0.090 (2.29 mm) kadar, dahil	0:35
0.090 (2.29mm) 'den 0.125 (3.18 mm) kadar, dahil	0:40
0.125 (3.18mm) 'den 0.250 (6.35 mm) kadar, dahil	0:50
0.250 (6.35mm) 'den 0.500 (12.70 mm) kadar, dahil	0:60
0.500 (12.70mm) 'den 1.000 (25 mm) kadar, dahil	1:30
1.000 (25mm) 'den 1.500 (38 mm) kadar, dahil	2:00
1.500 (38 mm) 'den 2.000 (51 mm) kadar, dahil	2:30
2. 000 (51 mm) 'den 2.500 (64mm) kadar, dahil	3:00
2.500 (64mm) 'den 3.000 (76 mm) kadar, dahil	3:30
3.000 (76 mm) 'den 3.500 (89 mm) kadar, dahil	4:00
3.500 (89 mm)'den 4.000 (102 mm) kadar, dahil	4:30
4.000 (102 mm) üzeri	Her 0.500 inch (12.7 mm) için 0.30 eklenir

Çizelge 3.11. Alaşımli alüminyumun dolapta saklama süresi

Alaşım	Soğutma ile Dolap Arasındaki Maksimum Süre (dakika)	Maksimum Sıcaklıkta, Maksimum Gün Saklama Koşulu		
		+10°F (-12°C)	0°F (-18°C)	-10°F (-23°C)
2XXX (2219 Hariç)	15 *	1	30	90
Diğerleri & 2219	30 *	7	30	90

3.6.2. Derin çekme tezgahının genel özellikleri

Derin çekme işlemi için kullanılan tezgahın teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Presleme Kuvveti : 250 ton

Faydalı Kalıp Alanı : 1200x1200 mm

Plakalar Arası Mak. : 1025 mm

Koç Plaka Strok : 725 mm

Boşta İniş Hızı : 170 mm/sn

Presleme Hızı : 16 mm/sn

Geri Dönüş Hızı : 250 mm / sn

Pot Kuvveti 1 : 100 ton

Pot Kuvveti 2 : 110 ton

Ana Motor : 37 KW

Pot Motor : 7.5 KW

Soğutucu Motor : 4.5 KW

En Dış Ölçüler : 1300x2790x4300 mm

Kullanılan Yağ : ISO 68

4. DENEYSEL VERİLER

4.1. Giriş

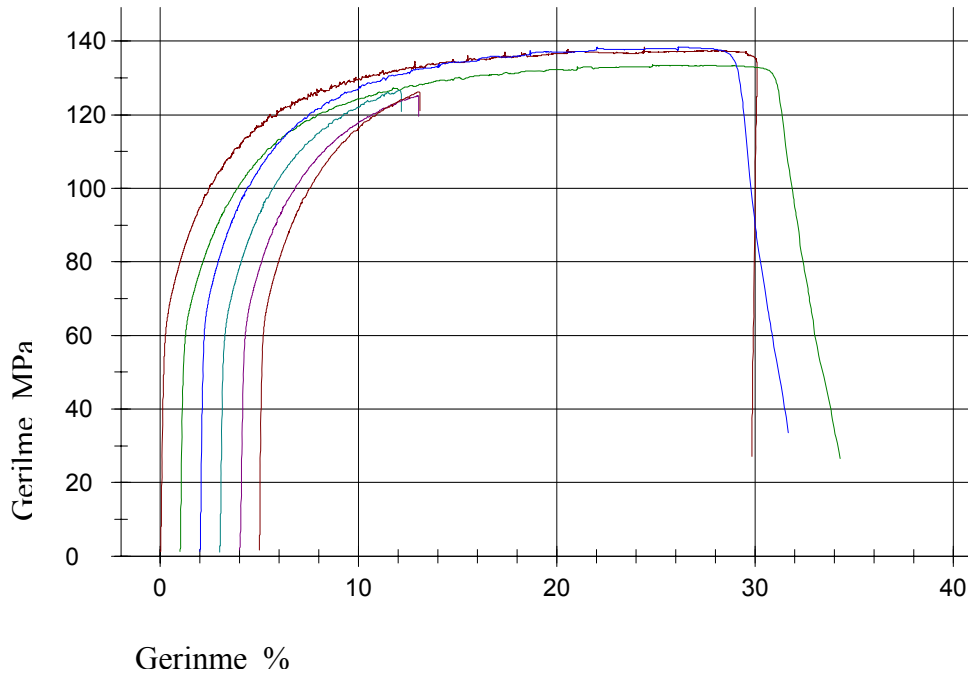
Derin çekme prosesinde parçaları geometrik şekillerine, malzeme cinslerine ve kalınlıklarına göre gruplamak mümkündür. Bu çalışmada 6061 malzemesi ait uçak parçaları incelenmiştir. Parçaların form işlemi sırasında malzeme davranışının anlaşılabilmesi için çekme testleri yapılmıştır.

Atölye de üretilen parçaların simülasyonlarında malzeme modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin gerçekçiliğini sağlayabilmesi, atölyede yapılan deneysel çalışmalarda da malzeme davranışının anlaşılabilmesi için 6061 malzemesine ait çeşitli kalınlıklarda ve malzeme durumlarındaki deney kuponlarına temperlerde çekme testi yapılmıştır. Testlerde doku yönü farkının da ortaya çıkması için deney kuponları doku yönünün 0° kabul edilmesiyle, $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ olacak şekilde kesilmiştir. 6061 alaşımlı alüminyumun laboratuvar da yapılan çekme test grupları Şekil 4.1 'de belirtilmiştir. Bu testlere ait tüm veriler ve grafikler Ek.2'de verilmiştir. Çekme testinin amacı, malzemenin statik ve yavaş uygulanan bir kuvvete karşı direncini ölçmektir. Kuvvet gerilmeye ve malzemedeki ölçü boyundaki değişimde gerinime çevrilmiştir. Bu değerlerden elde edilen çeşitli gerilmelere karşılık gelen gerinimler kullanılarak Gerilme- Gerinme eğrileri çizilmiştir. 6061-T0 alaşımlı alüminyumun Şekil 4.2' de gerilmeye karşılık gelen gerinimleri gösterilmiştir. Gerilme ve gerinme değerlerinin gerçek değerlere çevrilmesiyle LS-DYNAFORM' a bu grafikler aktarılmıştır. Böylece programın malzeme deformasyonunu doğru simüle etmesi sağlanmıştır.

Bu testler sonucunda elde edilen görüş malzemenin başlangıç temperinin ne olduğunun ısıtma işlem sonrası bir öneminin olmadığını ortaya çıkarmıştır.

6061 Alüminyum				
Kalınlık (mm)	1	1.2	2	0.8
Malzemenin Başlangıç Durumu	T4	T0	T0	T4
Malzemenin Son Durumu	T4	W	T0	W

Şekil 4.1. Çekme test grupları



Şekil 4.2. 6061-T0 Alaşımlı alüminyumun gerilme-gerinme grafiği

4.1.1 Atölyedeki parçaların gruplandırılması

Atölyedeki 6061 alüminyum malzemedan üretilen uçak parçaları incelerken gruplandırmada dikkat edilen özellikler parçaların geometrik şekilleri, kalınlıkları ve

malzeme özellikleri olmuştur. Proje de kullanılmak üzere dört farklı geometriden çeşitli kalınlıklarda önceden tasarımı yapılmış parçalar seçilmiştir (Şekil 4.3).

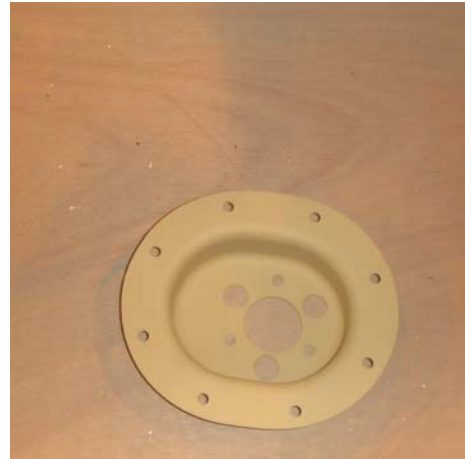
PROJE	PARÇA	KALIP NUMARASI	MALZEME	PARÇA GEOMETRİSİ	KALINLIK
BWC	A	R00912	6061	DİKDÖRTGEN	1,3
BWC	B	R01704	6061	KARMAŞIK	2,0
CGR	C	F09169	6061	ELİPS	1,0
CGR	D	F10770	6061	SİLİNDİRİK	0,8

Şekil 4.3. Atölyedeki parçaların gruplandırılması

Silindirik ve elips şekilli parçaların örnekleri aşağıdaki resimlerde görülmektedir (Resim 4.1). Silindirik şekilli parça yangın hortumlarının uçağa takılabilmesi için tasarlanmıştır.



a



b

Resim 4.1. Uçak parçaları

a) Bitmiş Silindirik Uçak Parçası

b) Bitmiş Eliptik Uçak Parçası

4.2. Deney Sonuçlarının Simülasyon Sonuçları ile Karşılaştırılması

Bu bölümde, önceki bölümde çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmış uçak parçalarının atölyedeki imalatları ile simülasyon sonuçlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiği presin koç kuvveti ve hızı derin çekme işlemi boyunca sabit tutulmuştur. Çalışma sırasında çekme hızı sabit kabul edilmiştir.

4.2.1. Silindirik parçalar

Silindirik parçanın üretimi aşamasında kullanılan malzeme 0,8 mm kalınlığında 6061 alaşımlı alüminyumdur (Şekil.4.4). Parçaya ait teknik resimde (Ek.5) istenen parça yüksekliği 24 mm ve son çap 58 mm' dir. Parçanın ilkel çapını hesaplarken malzeme, ilkel çapa göre kesildikten sonra üçüncü bölümde anlatılan ısıtıl işlem prosedürüne göre 535 °C de ısıtıl işlem yapılmıştır. Parçanın ısıtıl işlem sonrası şekillendirilmesi parçanın deformasyona uğramasını engellemektir. Parçaya ait ilkel çap hesabı Şekil 3.12' de verilen formüllere göre alan metodu kullanılarak yapılmıştır (Şekil.4.5).

Silindirik parçaların çekme sayıları çap/yükseklik oranına bağlıdır. Parça derinliğinin artması, kavislerin küçük olması, çekilecek sacın çapına göre kalınlığının ince olmasının çekme sayılarını artıracak unutulmamalıdır. Silindirik parçanın teknik resimde verilen ölçüleri tek çekimde parça üretimine uygundur. Teknik resimde istenen şekle uygun formül Şekil 3.12' den bakıldığında ;

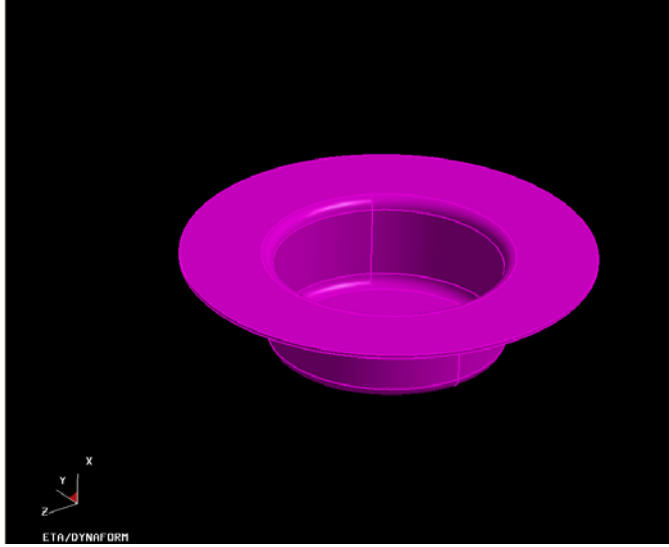
D: İlkel çap

İlkel çap hesabı:

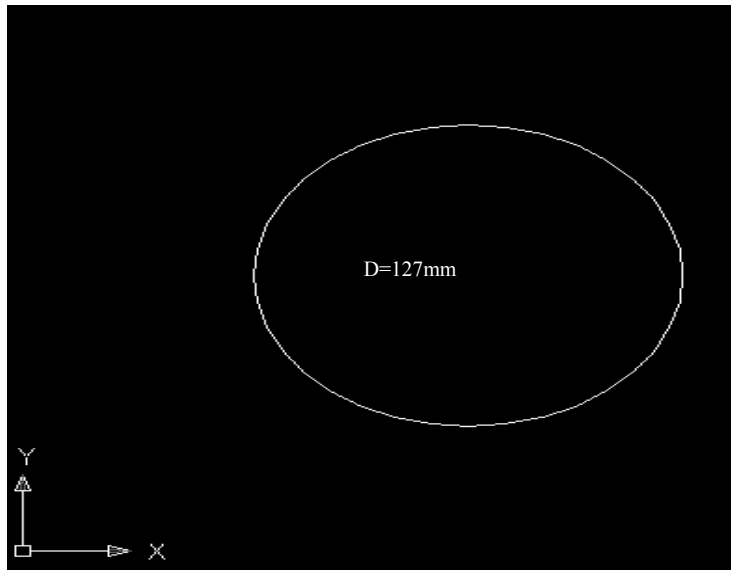
$$D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$$

$$D = \sqrt{103^2 + (4 \times 58 \times 24)}$$

$$D = 127 \text{ mm}$$



Şekil 4.4. Silindirik parçanın geometrisi



Şekil 4.5. Silindirik parçanın ilkel çap ölçüsü

Parça kalınlığının ilkel çapa oranından buruşma şiddeti ve kalıbın çeşidi belirlenir.

Sac kalınlığının ilkel çapa oranı : $\frac{s}{D} \times 100 = \frac{0.8}{127} \times 100 = 0,629$ bulunur.

$\frac{s}{D} \times 100 = 0,5 - 1,5$ ise

Buruşma şiddeti yüksek olur, çekme işlemi baskı plakalı kalıplarda yapılır.

Parça üretimini etkileyen kalıp ölçülerini, Bölüm 2’ de verilen formüller kullanılarak hesaplanır;

Parçaya ait kalıp boşluğu: z

Parça kalınlığı: s

Alüminyum saclar için;

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

$$z = 0,8 + 0,02\sqrt{10(0,8)}$$

$$z = 0,856$$

Dişi kalıp yarıçapı: r_d

$$r_d = 0.035[50 + (D - d)]\sqrt{s}$$

$$r_d = 0.035[50 + (127 - 58)]\sqrt{0,8}$$

$$r_d = 3,193\text{mm}$$

Zımba kavisleri için genel kural (3-8)s dir. Dişi kalıp kavis yarıçapı ile zımba kavis yarıçapı arasında aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir.

$$s/D \cdot 100 > 0,6 \text{ durumunda} \quad r_z = r_d$$

$$s/D \cdot 100 = 0,6 - 0,3 \text{ durumunda} \quad r_z = 1,5 r_d$$

$$s/D \cdot 100 < 0,3 \text{ durumunda} \quad r_z = 2 r_d$$

$$s: 0.8 \text{ mm}$$

$$D: 127\text{mm}$$

$$0,8 / 127 \cdot 100 > 0,6 \text{ durumunda} \quad r_z = r_d$$

Çizelge 3.5 deki formülleri kullanarak şekillendirme işlemi için gerekli kuvveti hesaplanır. Gerekli kuvvet;

$$P = \pi d_s \sigma_B k_f$$

$$P = \pi 127 \text{ mm} \times 0,8 \text{ mm} \times 290 \text{ kgmm}^{-2} \times 1,5 = 138775,44 \text{ kg dır.}$$

$$P = 38,548 \text{ N}$$

İlkel çapı bulunan parçanın sınır çekme oranı;

$$\frac{d}{s} = \frac{127}{0,8} = 157$$

Şekil 2.6' dan bakıldığı zaman sınır çekme oranının 1,82 değerinde olması gerektiği görülmektedir.

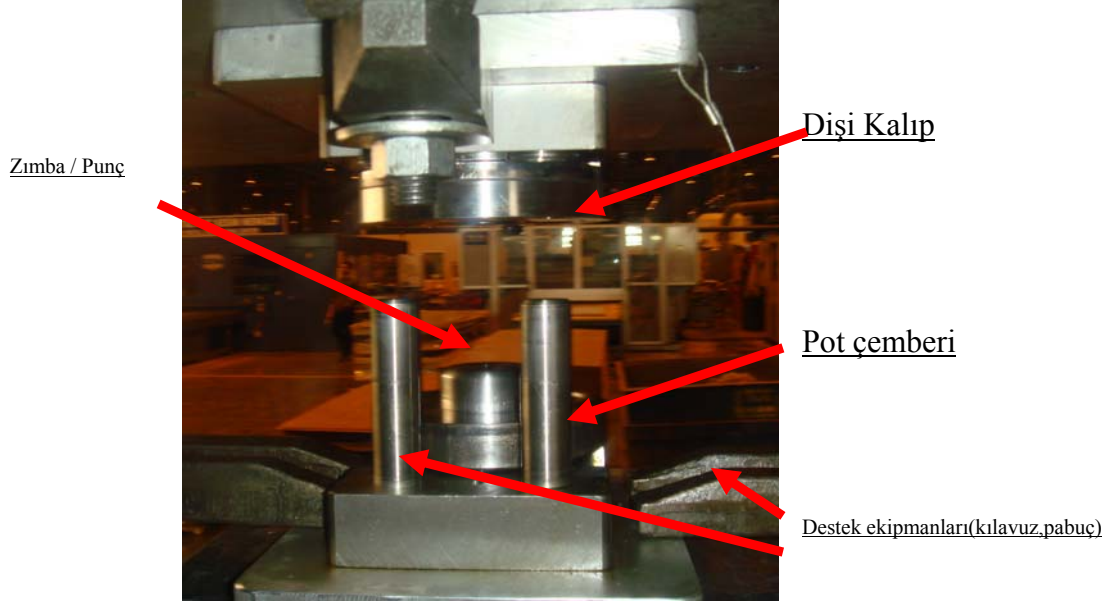
Parçanın teknik resimde verilen ölçülerine göre çekme oranını hesapladığında;

$$\beta_{\max} = \frac{d_{o \max}}{d_p}$$

$$\beta_{\max} = \frac{127 \text{ mm}}{58 \text{ mm}} = 2,189 \approx 2,2$$

$2,2 > 1,8$ bulunur. Çekme oranının, sınır çekme oranından büyük olması parçanın şekillendirilemeyeceğini gösterir. Bu durumda parça üretim aşamasında yırtılacaktır.

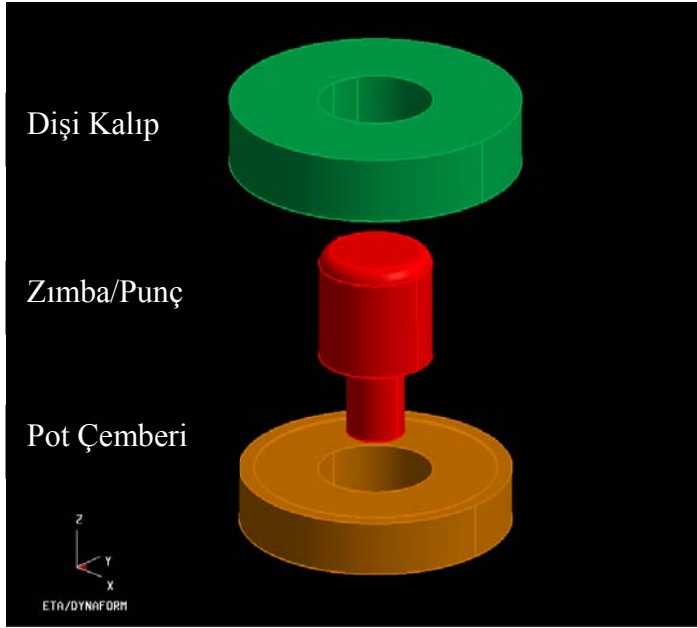
Parçaya ait kalıp Resim 4.2' de görülmektedir. Parçaya uygulanan sistem basıncı 100 bar, pot basıncı ise 15 bar dır. Normal şartlarda bu parçanın bu ölçülerde çekilemeyeceği yapılan hesaplarla görülmüştür. Ancak atölye de parça basımı sırasında plastik film malzeme kullanılarak parça şekillendirilmektedir.



Resim 4.2. Parçaya ait kalıp

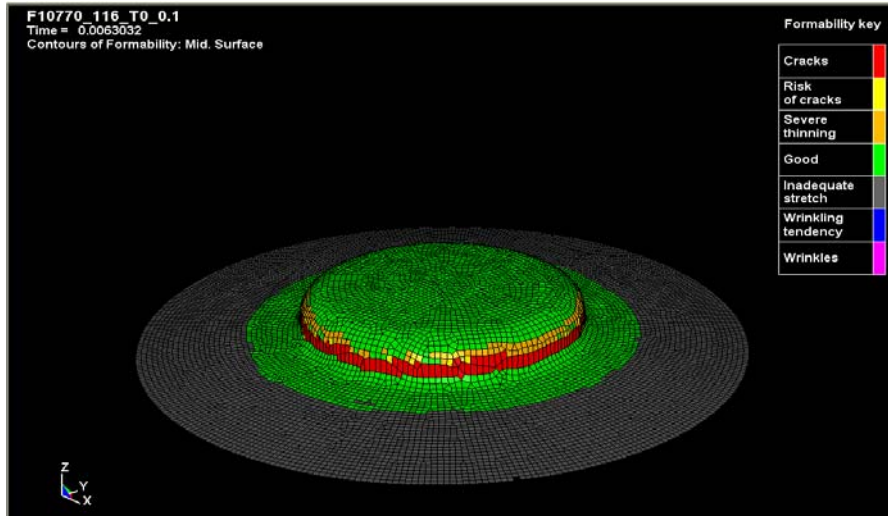
LS_DYNAFORM da parçaya ait simülasyon yapılırken ilk olarak parçaya ait kalıbın modellenmesi ve LS-DYNA ortamında tanıtılması gerekmektedir. şekil 4.6’da parçaya ait kalıbın program ortamında gösterimi bulunmaktadır.

İlkel ap olarak tanımlanan malzeme de aynı şekilde program ortamında tanımlanır ve konumlandırılır. Simülasyonlar yapılırken parçanın oluşacağı malzemeye 2 mm aralıklar ile ağ tanımlanmıştır. Kalıpta ise deformasyon olmayacağı düşünülerek simülasyon süresini azaltmak için 10 mm aralıklar ile ağ tanımlanmıştır. Simülasyon sırasında kalıbın malzemeyle temas ettiği noktalara ağ tanımlanmıştır. Bunun sebebi gereksiz süre kayıplarını engellemektir. Hareket tanımı, parçaların birbirlerine olan konumları belirtilir, malzemeyle ilgili değerler ara yüzden girildikten sonra simülasyon yapılır.



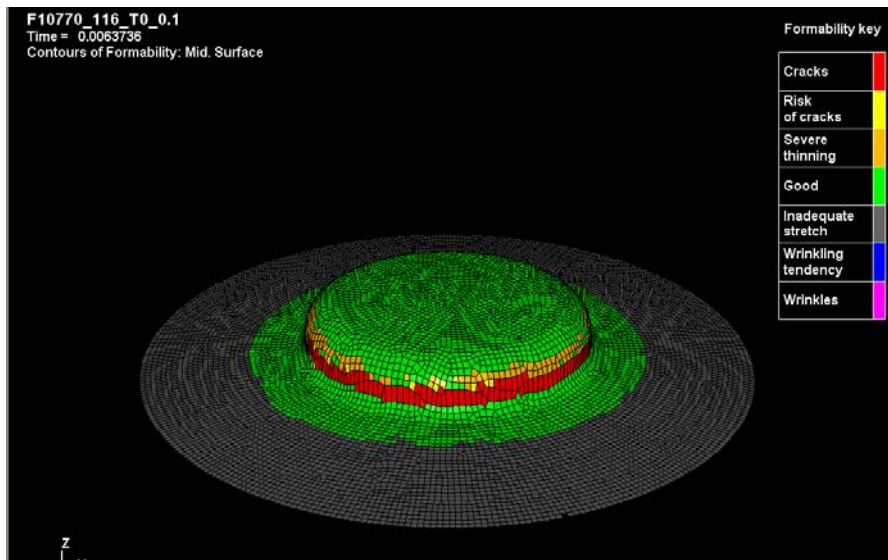
Şekil 4.6. LS_DYNAFORM da parçaya ait kalıbın gösterimi

Simülasyon yapılırken mevcut rotanın dışında malzeme temperini değiştirerek denemeler yapılmıştır. Denemelerdeki amaç simülasyonun gerçekte yapılan şekillendirme ile ne kadar örtüştüğünü saptamaktır. Malzeme durumuna ve sürtünme katsayısına göre dört grupta incelenmiştir. Sürtünme katsayısının $\mu = 0,05$ olduğu, sürtünmenin az olduğu ve şekillendirmeyi minimum etkilediği durumda ve $\mu = 0,1$ sürtünmenin fazla olduğu ve şekillendirmeyi etkilediği durumda malzeme davranışı ve malzemenin başlangıç temperinin 0 durumu ve W durumunda olduğu malzeme davranışının incelenmesi için simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon sırasında kullanılan kuvvet pot çemberine ait kuvvettir. Bu kuvvet sabit 15 ton dur. Simülasyon sonrasında alınan şekiller ile aynı şartlarda atölyede yapılan parçalar karşılaştırılmıştır.



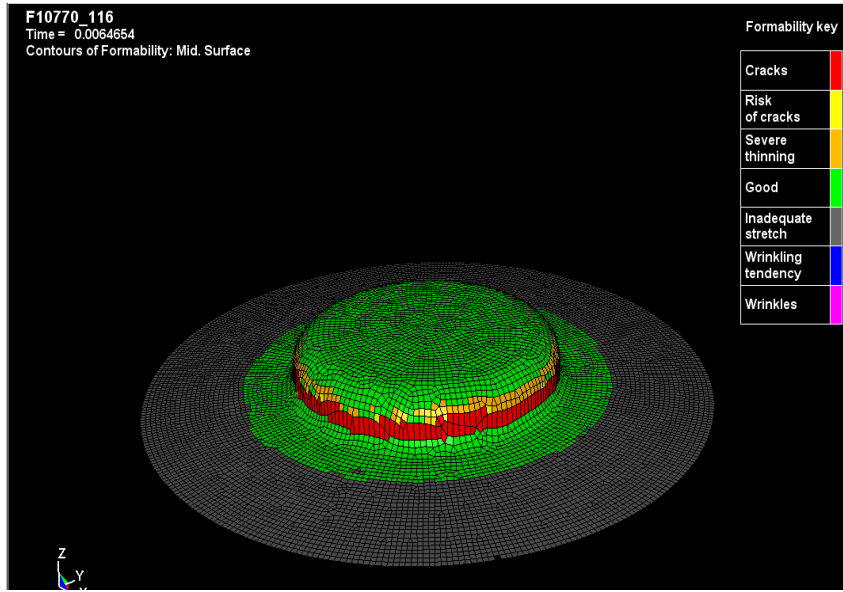
Şekil 4.7. $T0-\mu=0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Şekil 4.7’de malzemenin 6061 alaşımlı alüminyum 0 durumunda ve sürtünme katsayısının çok düşük olmasına rağmen yırtıldığı gözlemlenmiştir. Malzemenin dayanımının az olması parçanın şekillendirilmesini engellemiştir. Parça form işleminin başında yırtılmıştır.



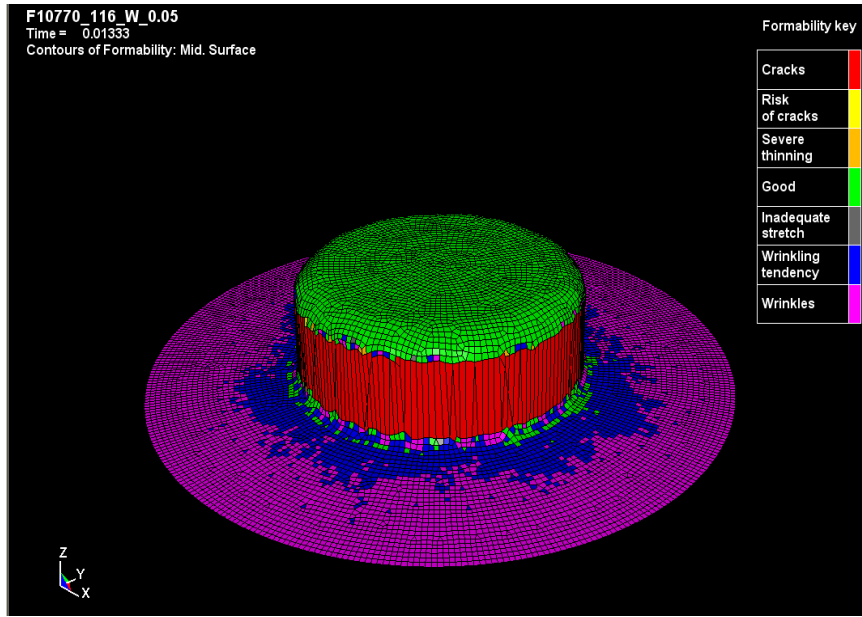
Şekil 4.8. $T0-\mu=0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Şekil 4.8’de 6061 alaşımlı alüminyum malzemenin 0 durumunda ve sürtünmeli ortamda, form işleminin başlangıcında yırtıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.9 ‘da 6061 alaşımlı alüminyum malzemenin W durumunda ısıl işlem sonrası sürtünmenin ortamda varlığı kabul edilerek şekillendirilmesi simüle edilmiştir. Parça form işleminin başında yırtılmıştır.



Şekil.4.9. $W-\mu = 0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Şekil 4.10’de malzemenin 6061 alaşımlı alüminyum W durumunda ısıl işlem sonrası ve sürtünme katsayısının çok düşük kabul edilerek simüle edilmiştir. Parça form işleminin başında yırtılmıştır.

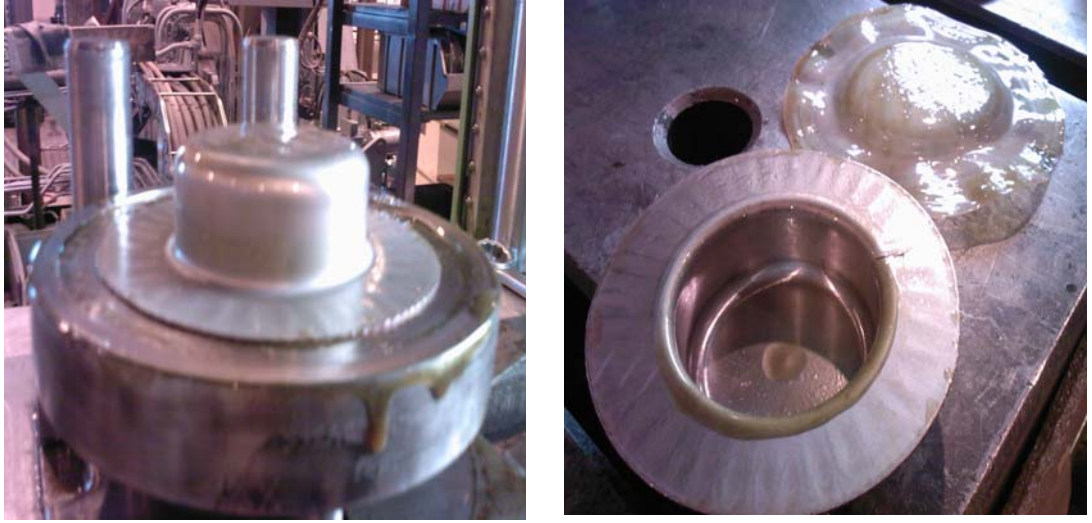


Şekil 4.10. $W-\mu=0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Simülasyon programının deney sonuçları ile örtüştüğü Resim 4.3 ve Resim 4.4 'de gösterilmektedir. Hesaplamalar ile parçanın istenilen ölçülerde üretilemeyeceği gösterilmiştir.



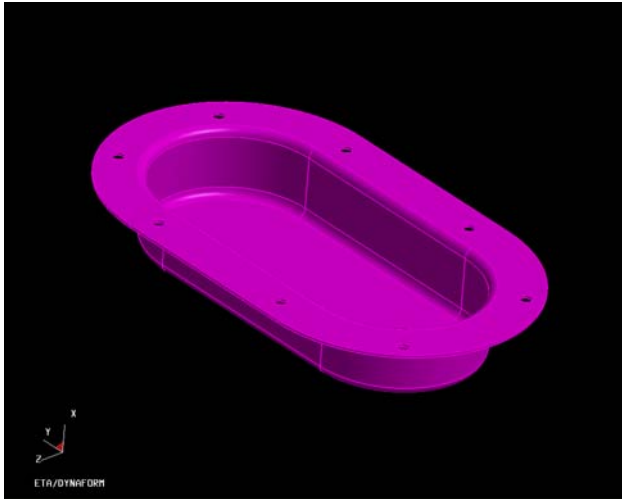
Resim 4.3. Isıl işlem sonrası W durumunda parçanın plastik film kullanılmadan şekillendirilmesi



Resim 4.4. Plastik film kullanılarak W durumunda üretilen parçalar

4.2.2. Eliptik şekilli parçalar

Eliptik şekilli parçanın üretimi aşamasında kullanılan malzeme 1mm kalınlığında 6061 alaşımlı alüminyumdur. Parçanın geometrisi Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11. Eliptik Parçanın Geometrisi

Teknik resimde istenen şekle uygun formül Şekil 3.12’ den bakıldığında ;

D: İlkel çap

İlkel çap hesabı:

$$D = \sqrt{d_2^2 + 2.28rd_1 - 0.56r^2}$$

$$D = \sqrt{112^2 + 2.28(25)(70) - 0.56(25)^2}$$

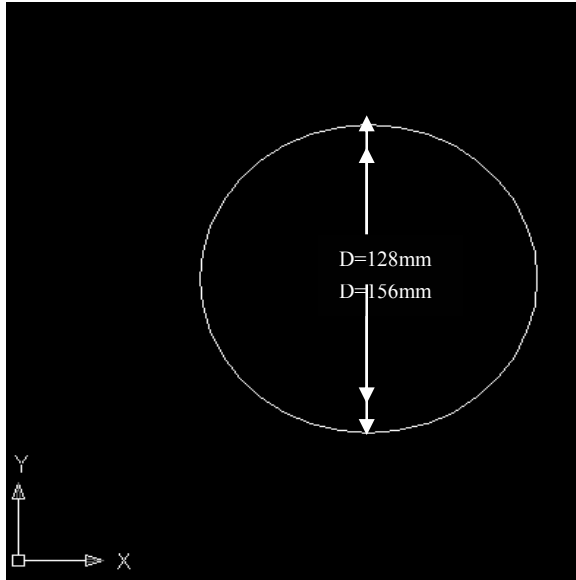
$$D=128,58\text{mm}$$

Parça kalınlığının ilkel çapa oranından buruşma şiddeti ve kalıbın çeşidi belirlenir.

$$\text{Sac kalınlığının ilkel çapa oranı : } \frac{s}{D} \times 100 = \frac{1}{128} \times 100 = 0,781 \text{ bulunur.}$$

$$\frac{s}{D} \times 100 = 0,5 - 1,5 \text{ ise}$$

Buruşma şiddeti yüksek olur, çekme işlemi baskı plakalı kalıplarda yapılır.



Şekil 4.12. Eliptik parçanın ilkel çap ölçüsü

Parçaya ait kalıp ölçüleri Bölüm 2 de verilen formüller kullanılarak hesaplanırsa ;

Parçaya ait kalıp boşluğu : z

Parça kalınlığı : s

Alüminyum saclar için ;

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

$$z = 1 + 0,02\sqrt{10}(1)$$

$$z = 1,063$$

Dişi kalıp yarıçapı : r_d

$$r_d = 0,035[50 + (D - d)]\sqrt{s}$$

$$r_d = 0,035[50 + (128 - 70)]\sqrt{1}$$

$$r_d = 2,03 \text{ mm}$$

Zımba kavisleri için genel kural (3-8)s dir. Dişi kalıp kavis yarıçapı ile zımba kavis yarıçapı arasında aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir.

$$s/D \cdot 100 > 0,6 \text{ durumunda} \quad r_z = r_d$$

$$s/D \cdot 100 = 0,6 - 0,3 \text{ durumunda} \quad r_z = 1,5 r_d$$

$$s/D \cdot 100 < 0,3 \text{ durumunda} \quad r_z = 2 r_d$$

$$s: 1 \text{ mm}$$

$$D: 128 \text{ mm}$$

$$1/128 \cdot 100 > 0,6 \text{ durumunda} \quad r_z = r_d$$

Çizelge 3.5 deki formüller kullanarak şekillendirme işlemi için gerekli kuvveti hesaplanır :

$$P = \pi d_i s \sigma_B k_f$$

$$P = \pi 128 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 290 \text{ kgmm}^{-2} \times 1,5 = 138775,44 \text{ kg}$$

Şekil 2.6' dan bakıldığı zaman sınır çekme oranının 1,85 değerinde olması gerektiği görülmektedir.

Parçanın teknik resimde verilen ölçülerine göre çekme oranını hesapladığında;

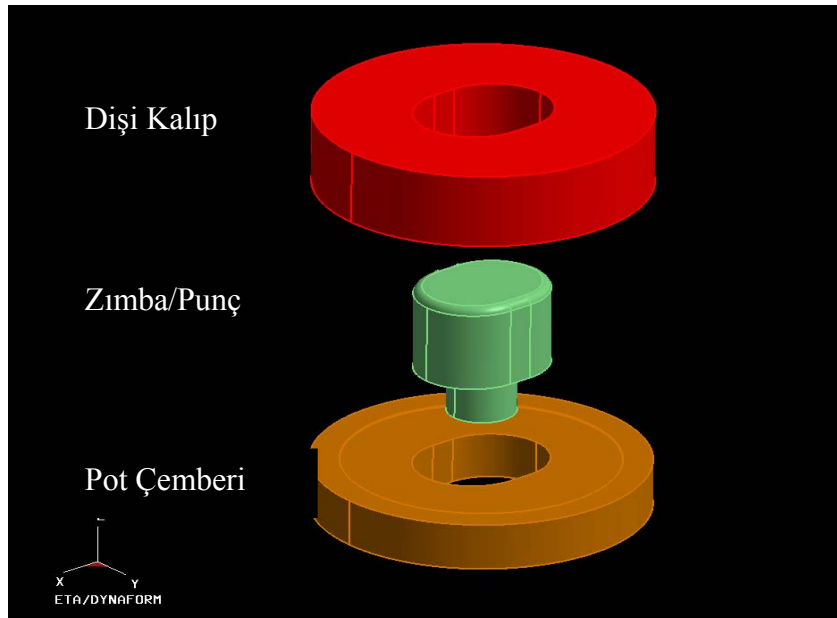
$$\beta_{\max} = \frac{d_{o \max}}{d_p}$$

İlkel çapı bulunan parçanın sınır çekme oranını ;

$$\frac{d}{s} = \frac{128}{1} = 128$$

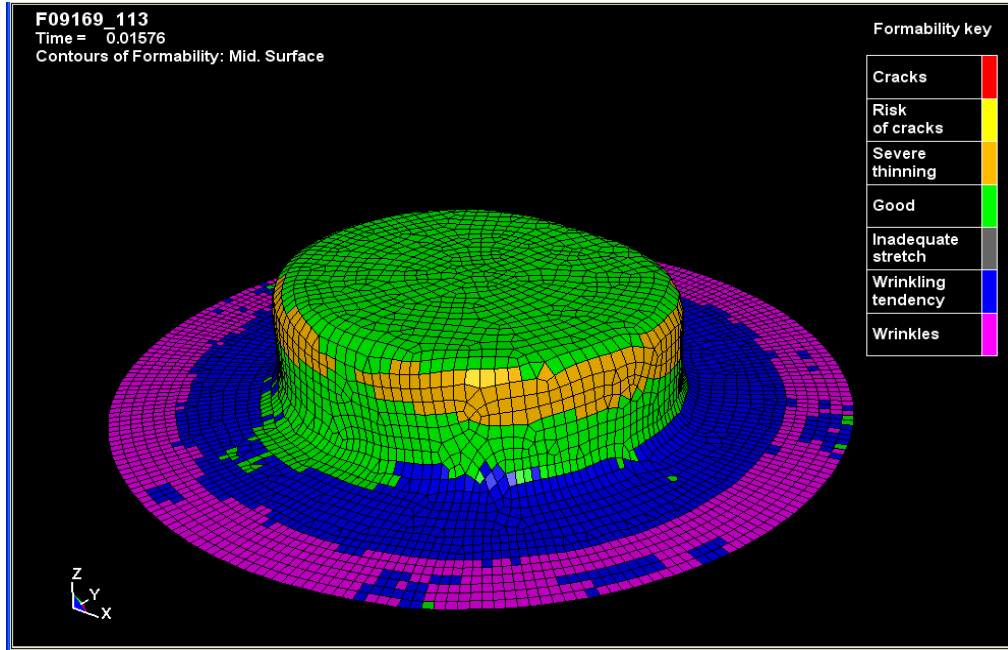
$$\beta_{\max} = \frac{128\text{mm}}{70\text{mm}} \approx 1,83$$

1,83 < 1,85 bulunur. Bu durum, parçanın sorunsuz üretilebileceğini göstermektedir. Malzeme, ilkel çapa göre kesildikten sonra 535 °C de ısıtım işlemi yapılmıştır. Parçanın ilkel çapı ikinci bölümde anlatılan hesaplamalarla Şekil 4.12’de görüldüğü gibi 128 mm’dir. Parçaya uygulanan sistem basıncı 100 bar, pot basıncı ise 15 bar’dır. Simülasyonlar yapılırken parçanın oluşacağı malzemeye 2 mm aralıklar ile ağ tanımlanmıştır. Kalıpta ise deformasyon olmayacağı düşünülerek simülasyon süresini azaltmak için 10 mm aralıklar ile ağ tanımlanmıştır. Simülasyon sırasında kalıbın malzeme ile temas ettiği yerlere ağ tanımlanmıştır. Parçanın silindirik parçaya göre daha kalın olması ve alacağı formun büküm açılarının daha geniş olması sebebiyle parça sorunsuz üretilebilmektedir. Bu durum simülasyonlarda da gözlenmiştir. Parçaya ait kalıbın modeli LS-DYNAFORM da Şekil 4.13’de görüldüğü gibidir. Kalıp, baskı plakası, punç ve dişi kalıptan oluşmaktadır.



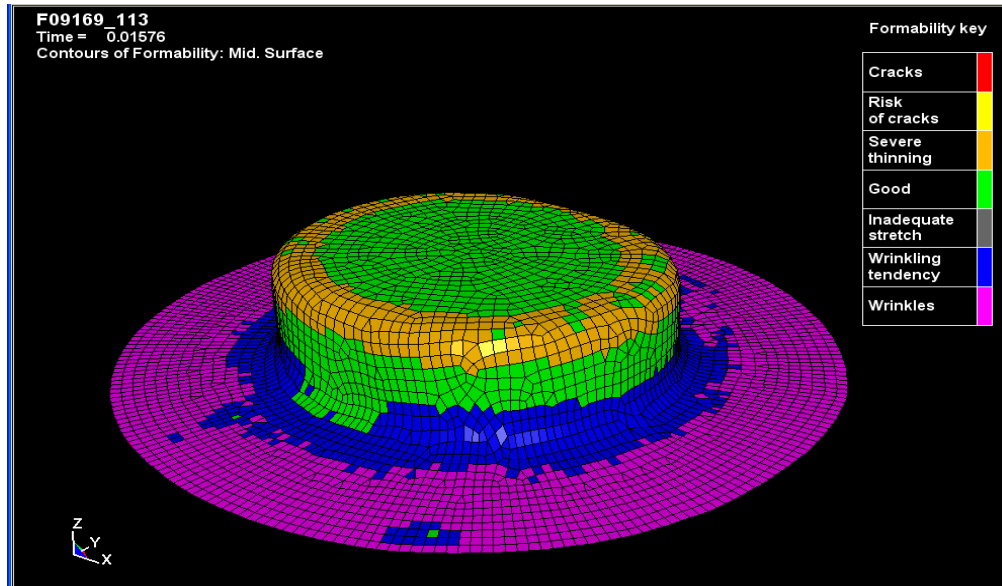
Şekil 4.13. LS_DYNAFORM da parçaya ait kalıbın gösterimi

Simülasyon sonucuna göre sürtünmeli ortamda W durumunda malzemede incelme başlıyor ancak çatlak riski yok (Şekil 4.14).



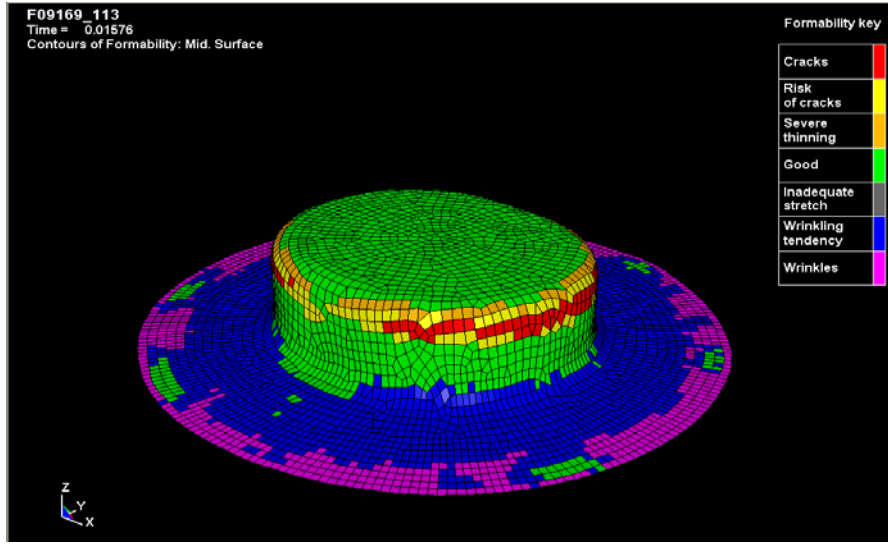
Şekil 4.14. $W-\mu = 0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Şekil 4.15’de sürtünmenin en aza düşürülmesiyle çatlak riski ortadan kaldırılacağını göstermektedir.



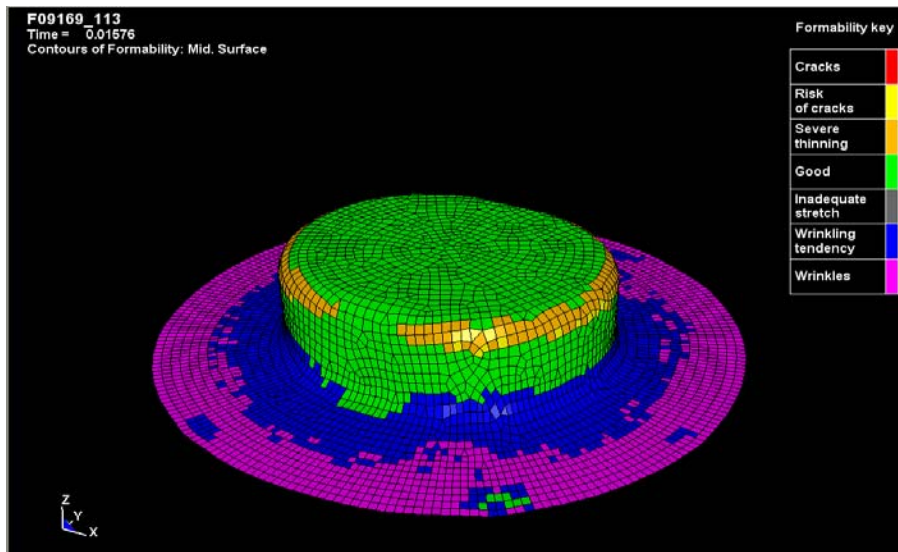
Şekil 4.15. $W-\mu = 0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Malzemenin herhangi bir ısıt işlemleri görmeden 0 durumunda şekillendirilmesi ile malzemenin yorgunluğunun artacağı ve çatlak oluşabileceği görülmüştür (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. $T_0-\mu=0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Parçanın ısıt işlemleri görmeden 0 durumunda düşük sürtünme ortamında şekillendirilmesi ile parçada bölgesel yorgunluk ve incelme oluşmuş ancak çatlak gözlenmemiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. $T_0-\mu=0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

4.2.3.Dikdörtgen şekilli parçalar

Dikdörtgen parça derinliğinin fazla olmaması nedeniyle kolay bir sıvama işlemidir. Dikdörtgen şekilli parçanın üretimi aşamasında kullanılan malzeme 1,3 mm kalınlığında 6061 alaşımlı alüminyumdur. Parçanın geometrisi Şekil 4.18’de görülmektedir. Parçanın ilkel plaka boyutu üçüncü bölümde anlatılan hesaplamalarla Şekil 4.19’ da görüldüğü gibi $416 \times 110 \text{ mm}^2$ ‘dır.

w:Üretilmesi istenen parçanın genişliği

l: Üretilmesi istenen parçanın uzunluğu

h: Çekilecek parçanın derinliği

r: Parça taban kavis yarıçapı

h: 19,5 mm

w: 75,438 mm

r: 6,35mm

Parçanın ilkel plaka boyu hesaplanırken üçüncü bölümdeki Şekil 3.16’ da ki grafik kullanılarak hesaplanır.

Parça derinliğinin, genişliğine oranı ;

$$\frac{h}{w} = \frac{19,5}{75,438} = 0,258 \text{ bulunur. Bu değer Şekil 3.16’da dikeyde bakılacak değerdir.}$$

$$\frac{r}{w-h} = \frac{6,35}{75,438 - 19,5} = 0,11 \text{ bulunur. Bu değer Şekil 3.16’da yatayda bakılacak}$$

değerdir. $0,11 \leq 0,17$ eşitlik sağlandığı için her iki değer kesişimi A bölgesinde çıkmıştır. Parça tek basımda şekillendirilebilir .

$$(s/w) > \% 0,6 = (1,3/75,438) \times 100 = \% 1,7 > \% 0,6 \text{ A bölgesi için sınır koşuldur.}$$

$$h \geq 0,5w$$

Bu durumda malzemede gerilmeler ve zorlamalar ortaya çıkacaktır.

$19,5 < 0,5(75.438)$ çıkması derinliği az kapların çekmelerinde yan duvarların yalnızca bükme ile meydana geldiği kabul edilebilir.

Eş: 3.16 'dan

$$R = 1,42\sqrt{r^2 + r(h-r)} \text{ mm}$$

$$R = 1,42\sqrt{(6,35)^2 + 6,35(19,5 - 6,35)} \text{ mm}$$

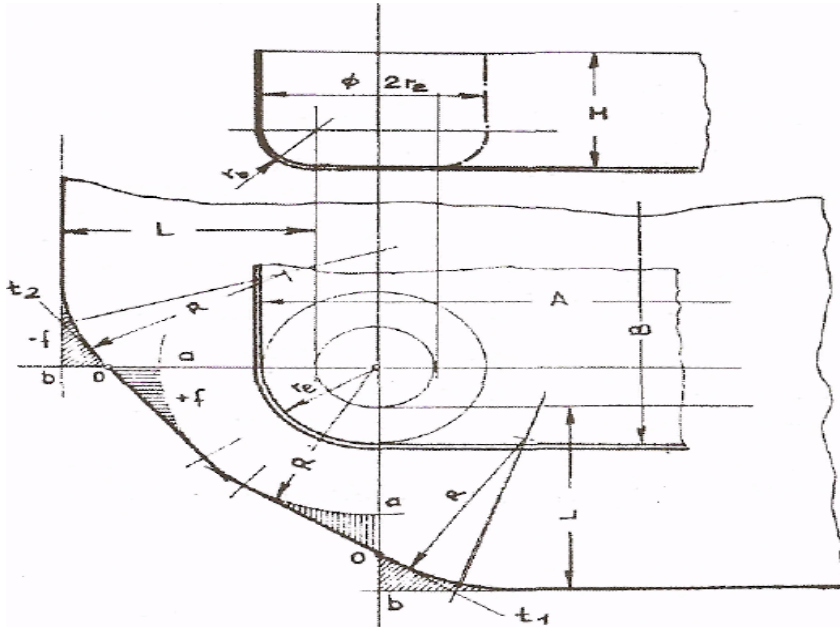
$$R = 15,801 \text{ mm}$$

r_D : Taban köşe kavis yarıçapı

$$L = h + 0,57r_D$$

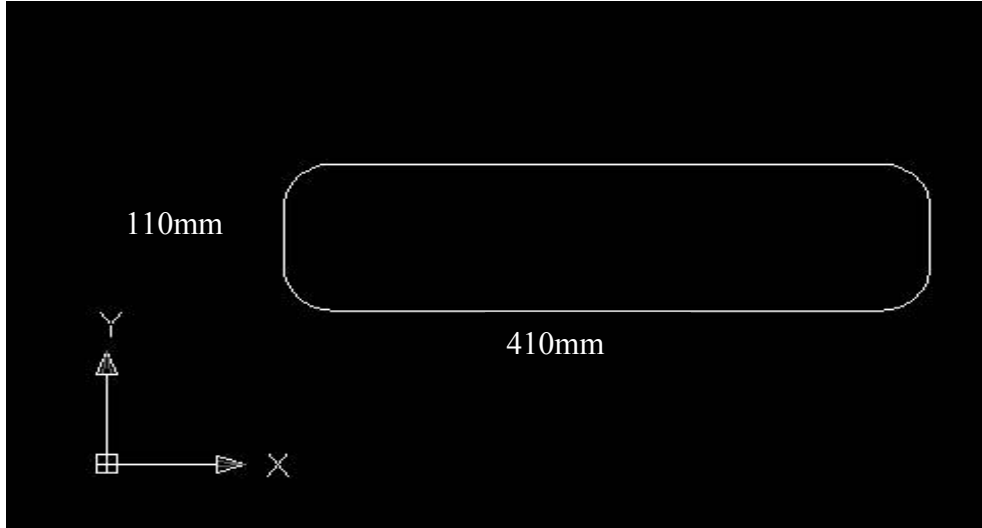
$$L = 19,5 + 0,57(6,35) = 23,11 \text{ mm}$$

Yukarıdaki veriler kullanılarak çizilen açınım taslağından malzemenin çekmeye uygun hale getirilebilmesi için keskin köşelerinin yuvarlatılması gerekir.

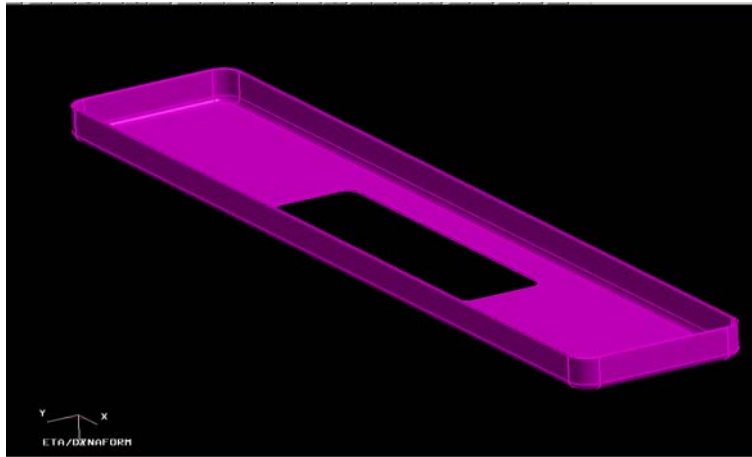


Şekil 4.18. Prizmatik parçanın ilkel plakasının belirlenmesi

Yapılan işlemler sonrası ilkel plaka ölçüsü 110x410 mm² olarak tespit edilmiştir(Şekil 4.19).



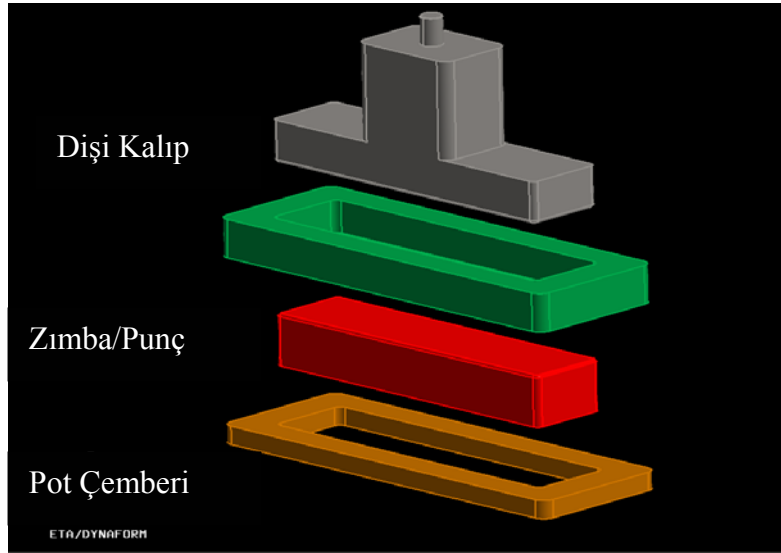
Şekil 4.19. Dikdörtgen Parçanın İlkel Plaka Boyutu



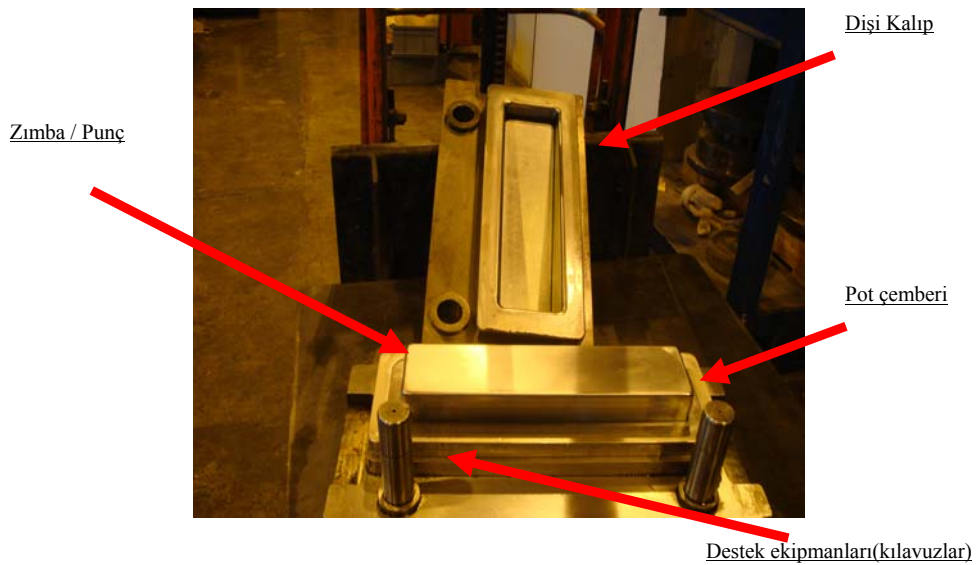
Şekil 4.20. Dikdörtgen Parçanın Geometrisi

Malzeme, ilkel plaka boyutunda kesildikten sonra 525°C de ısıtıl işlem yapılmıştır. Parçaya ait kalıp Şekil 4.21’ de görülmektedir. Parçaya uygulanan sistem basıncı 100 bar, pot basıncı ise 15 bar dır. Atölye de kullanılan kalıp detayları ile birlikte Resim 4.5’de gösterilmiştir.

Parça basımı sırasında yağ dışında, naylon kullanılmaktadır. Yapılan simülasyonlar, deneyler ve hesaplamalar şekillendirme işleminin şekillendirme sınırları içerisinde olduğunu göstermiştir. Şekillendirme işleminin kolay olması nedeni ile naylon kullanımı gerekli değildir.



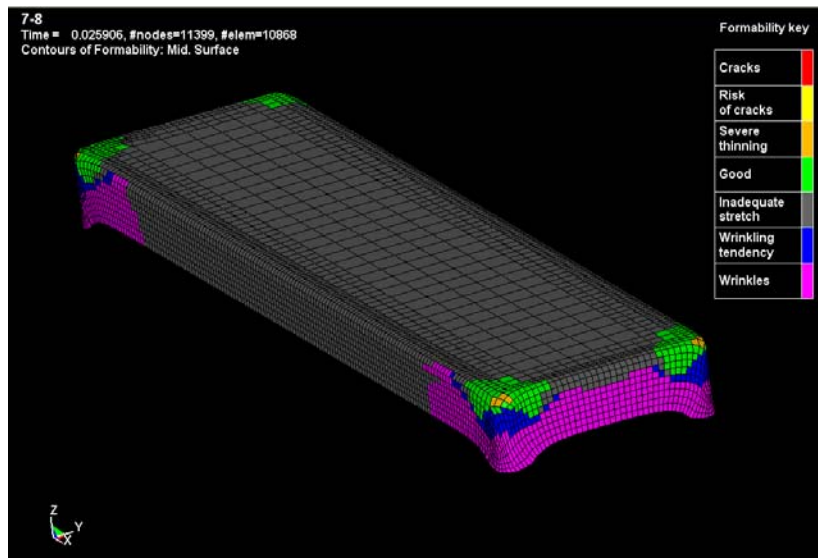
Şekil 4.21. LS_DYNAFORM da Parçaya Ait Kalıbın Gösterimi



Resim 4.5. Parçaya ait kalıp

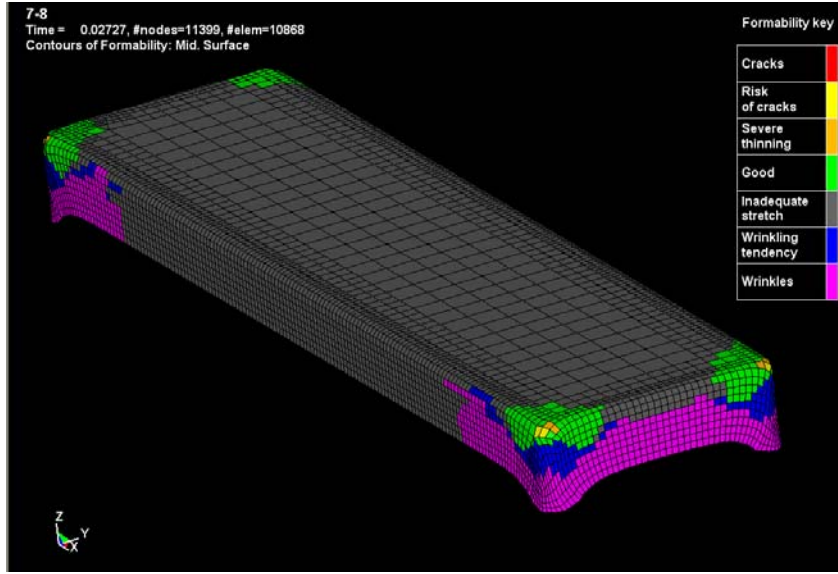
Malzeme ısıtıl işlem sonrası şekillendirilmektedir. Parça geometrisi nedeniyle ısıtıl işlem öncesi yada sonrası parçanın şekillendirilmesinin herhangi bir deformasyona sebep olmadığı çözümler ve deneyler ile gösterilmiştir. LS-DYNAFORM ile yapılan simülasyonlarda sürtünmenin ve malzemenin temper durumlarına göre çeşitli çözümler yapılmıştır. Parçanın düz olması ve derinliğinin az olması nedeniyle ağ tanımı program içerisinde sabit tutulmamıştır. Simülasyon sırasında programın, ağları büküm yerlerinde arttırdığı bunda deformasyon ile ilgili olduğu gözlenmiştir. Bu durum çözümlenin daha uzun sürmesine neden olmuştur.

Şekil 4.22’de ağ değeri 5 mm alınmış ve gereken yerlerde küçülecek şekilde tanımlanmıştır. Parça şekillendirmenin sürtünmenin az olduğu ortam düşünülerek simüle edilmiştir. Simülasyon sonrası parçanın sorunsuz şekillendirilebileceği gözlemlenmiştir (Şekil 4.22).



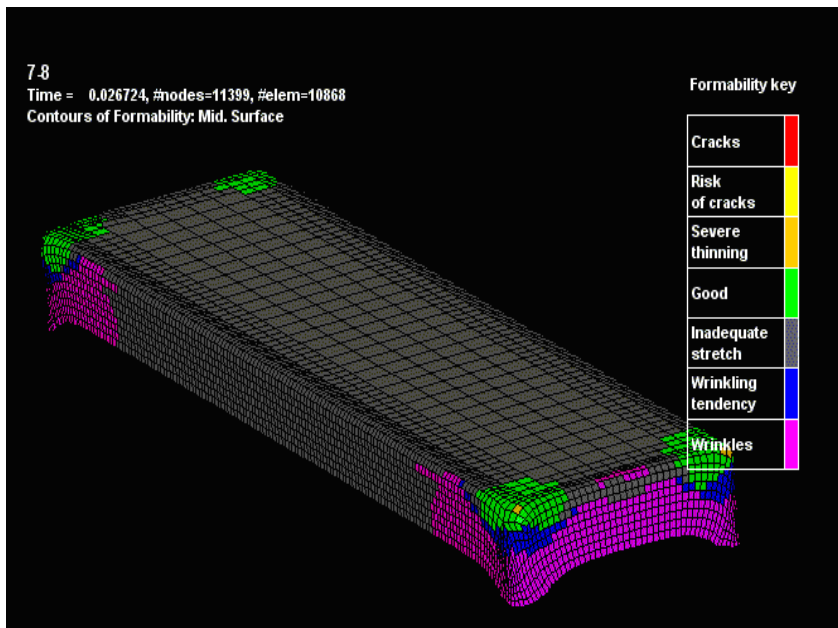
Şekil 4.22. $T0-\mu=0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

Parça şekillendirmenin sürtünmeli ortam gerçekleştiği düşünülerek çözümler yapılmış ve parça geometrisi simüle edilmiştir. Simülasyon sonrası parçanın sorunsuz şekillendirilebileceği gözlemlenmiştir (Şekil 4.23).

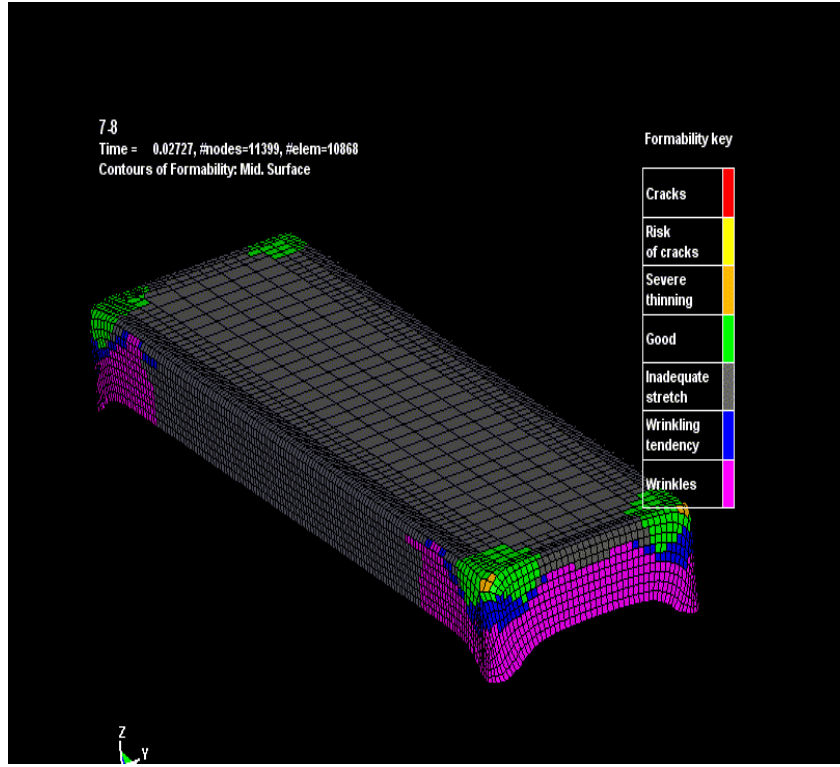


Şekil 4.23. $T0-\mu = 0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

LS_DYNAFORM’ da malzemenin ısıtılma sonrası çekme test verileri kullanılarak yapılan değerlerine göre çözümleme yapılmış ve sürtünmenin etkili olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 de parça simülasyonlarının son durumları görülmektedir. Simülasyon sonuçlarında da deneyler ve teorik çözümlerde olduğu gibi parçanın tek basımda sorunsuz şekillendirilebileceği gözlemlenmiştir.



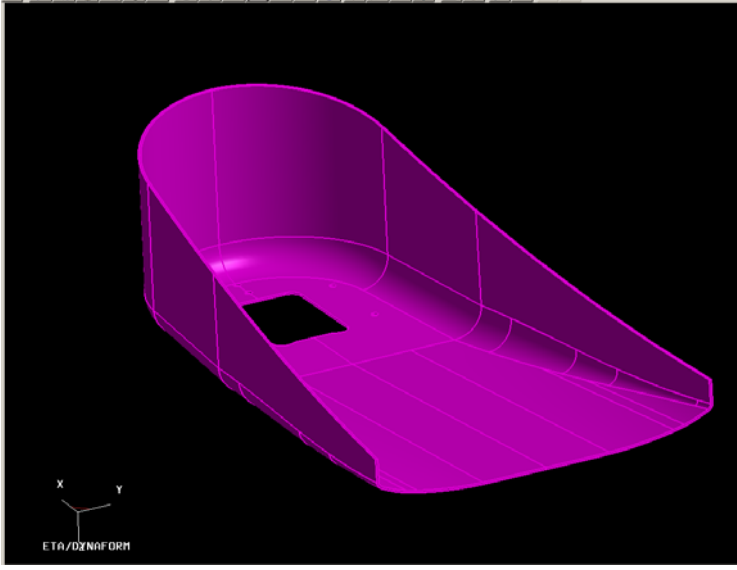
Şekil 4.24. $W-\mu = 0,05$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi



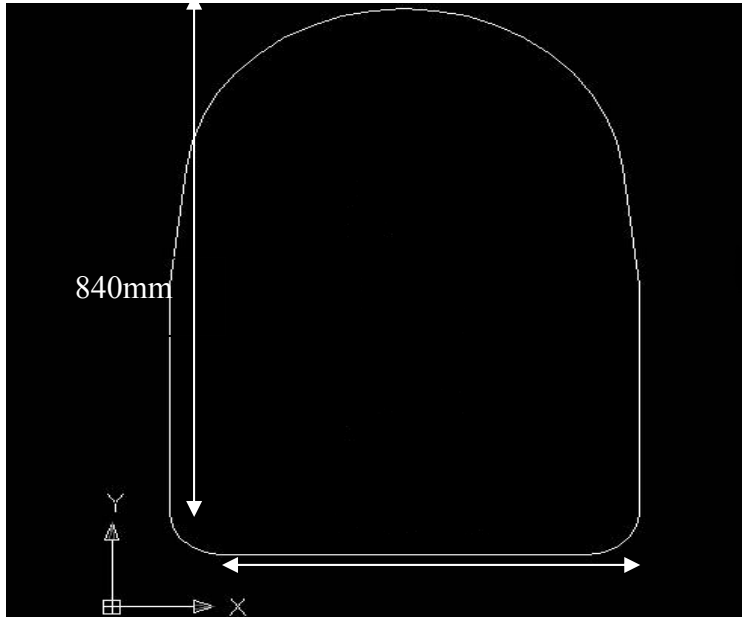
Şekil 4.25. $W-\mu=0,1$ LS_DYNAFORM da parçanın şekillendirilmesi

4.2.4. Karmaşık şekilli parçalar

LS_DYNAFORM da kalıbın ve ilkel plakanın tanımlanması, sabit ölçülü ağ atılması diğer örneklerdeki gibi uygulanmıştır. Karmaşık şekilli parçanın üretimi aşamasında kullanılan malzeme 2 mm kalınlığında 6061 alaşımlı alüminyumdur. Parçanın geometrisi Şekil 4.26'da görülmektedir. Parçanın ilkel plaka ölçüsü Cad-FORM programında net açınımı yapılmış daha sonra atölye çalışmalarıyla son halini almıştır. Şekil 4.27'de görüldüğü gibi kaba ölçüsü $840 \times 585 \text{ mm}^2$ 'dir. Malzeme, ilkel plaka ölçüsüne göre kesildikten sonra ısıtılma işlemi yapılmadan şekillendirme işlemi yapılmıştır. Parçanın form işlemi tamamlandıktan sonra parçaya 535°C 'de ısıtılma işlemi yapılmaktadır.

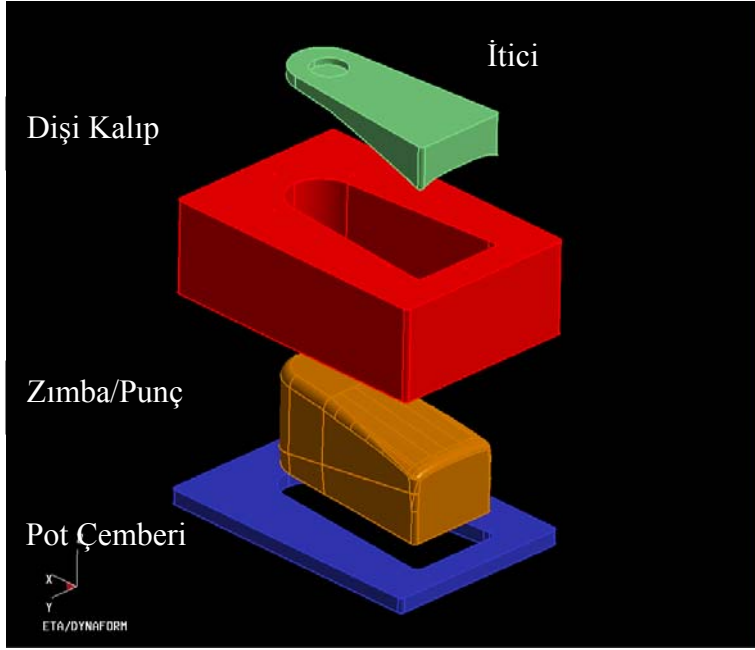


Şekil 4.26. Karmaşık şekilli parçanın geometrisi



Şekil 4.27. Karmaşık şekilli parçanın ilkel plaka boyutu

Parçaya ait kalıp Şekil 4.28’ de görülmektedir. Parçaya uygulanan sistem basıncı 150 bar, pot basıncı ise 50 bar dır.



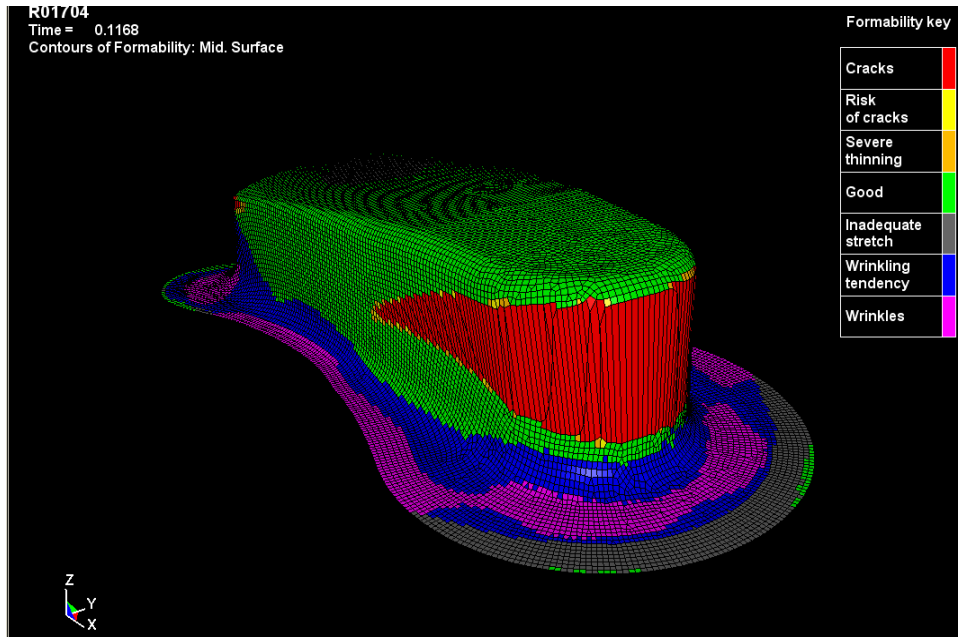
Şekil 4.28. LS_DYNAFORM da parçaya ait kalıbın gösterimi

Parça ısıtılma işlemi görmeden sadece yağ kullanılarak basıldığında yırtılmaktadır. Bu durum Resim 4.6’da görülmektedir.



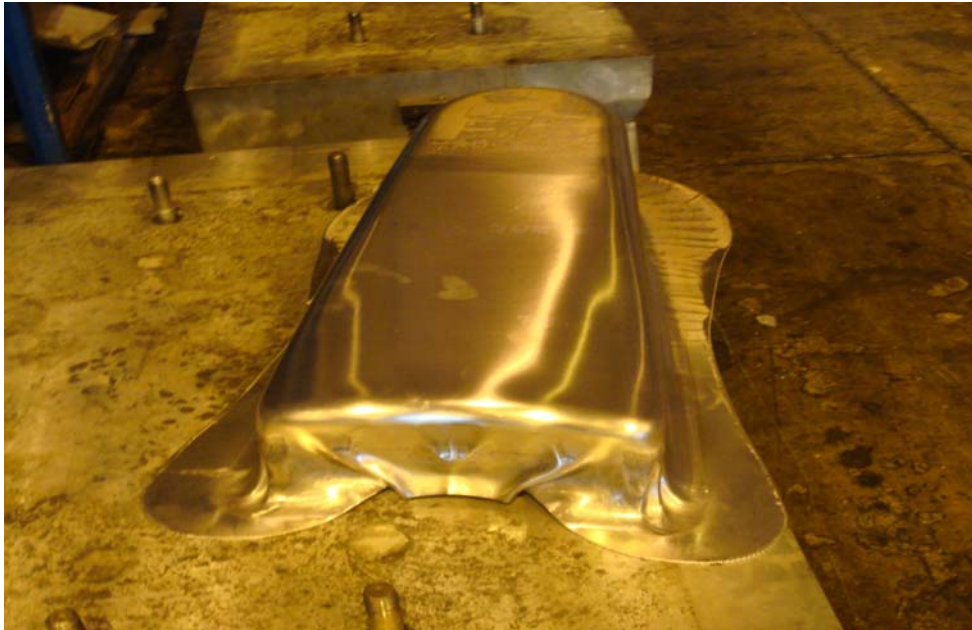
Resim 4.6.Parçanın yağ kullanılarak yapılan şekillendirme sonucu

Parça, LS-DYNAFORM’da simüle edildiği zaman malzeme atölyedeki deneyde görülen sonucu doğruluyor. Simülasyon sonucu Şekil 4.29’da gösterilmiştir.

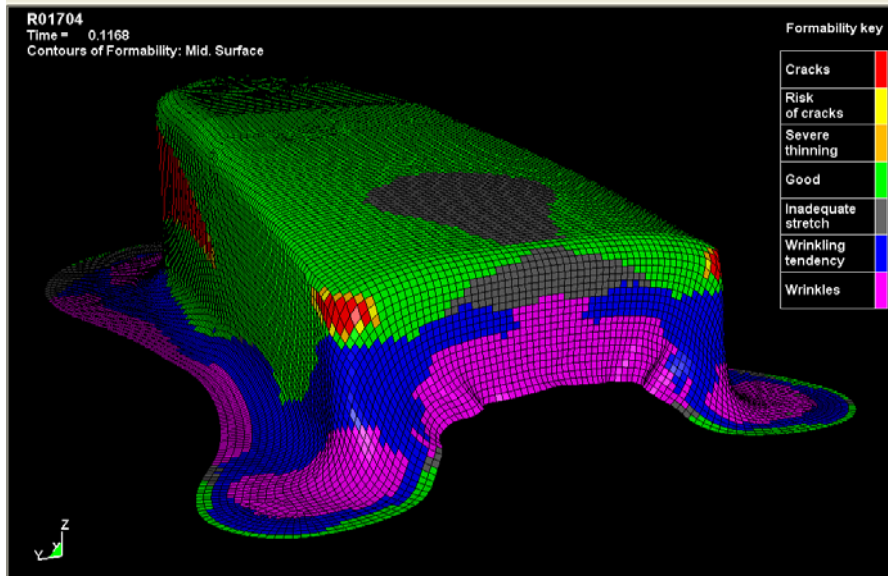


Şekil 4.29. Deneyde kullanılan malzeme atanarak yapılan simülasyon sonucu

Parçanın arkadan görünüşünde görüldüğü gibi (Resim 4.7) deney sonuçları ile simülasyon sonuçları (Şekil 4.30) birbirini tutmaktadır.



Resim 4.7. Parçanın yağ kullanılarak yapılan şekillendirme sonucu arkadan görünüşü



Şekil 4.30. Deneyde kullanılan malzeme atanarak yapılan simülasyon sonucu arkadan görünüşü

Atölyede yapılan denemeler sonucunda parçayı tek basımda yağ kullanarak şekillendirmenin mümkün olmadığı ortaya çıkmıştır. Sonlu elemanlar analizi de bu durumu desteklemiştir. Atölyedeki çalışmalar sonucunda parçanın dört basımda kademeli olarak çekilmesi ile her basım sonrası malzemedeki fazlalıkların homojen bir şekilde en yüksek mesafeyi korumak şartı ile gelişi güzel alındığı bir imalat şekli ortaya çıkmıştır. Parça basımı sırasında yağ dışında, plastik film kullanılmaktadır. Bu durumun analiz edilebilmesi için plastik filminde simüle edilmesi parçanın da kademeli olarak ölçülerinin değiştirilmesiyle analizin yapılması gerekmektedir. Yağın imalat sırasında homojen olarak parçaya dağıtılmayışı bölgesel sürtünmelerden yararlanarak parçanın buruşmasına engel olmuştur. Tamamı ile tecrübeye dayalı bu imalat şekli teknisyenin tecrübesine bağlı olarak ıskarta sayısını, formdaki bozukluğu azaltmaktadır. Resim 4.8 ‘de ve Resim 4.9‘da sağlam ve ıskarta bir arada görülmektedir.



Resim 4.8. Sağlam parça ve ıskarta parçanın önden görünüşü



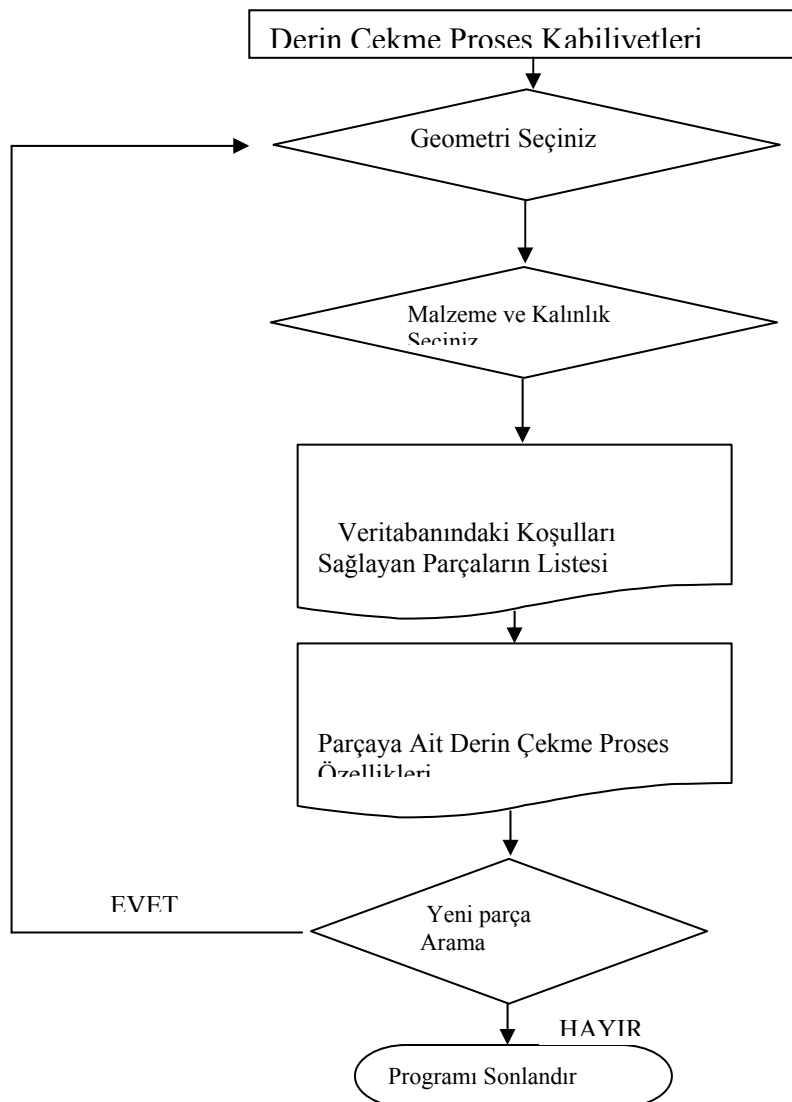
Resim 4.9. Sağlam parça ve ıskarta parçanın arkadan görünüşü

5.VISUAL BASIC PROGRAMI İLE ALÜMİNYUM SAC METAL PARÇALARIN PARAMETRELERİNİ GÖSTEREN VERİ TABANI

5.1. Giriş

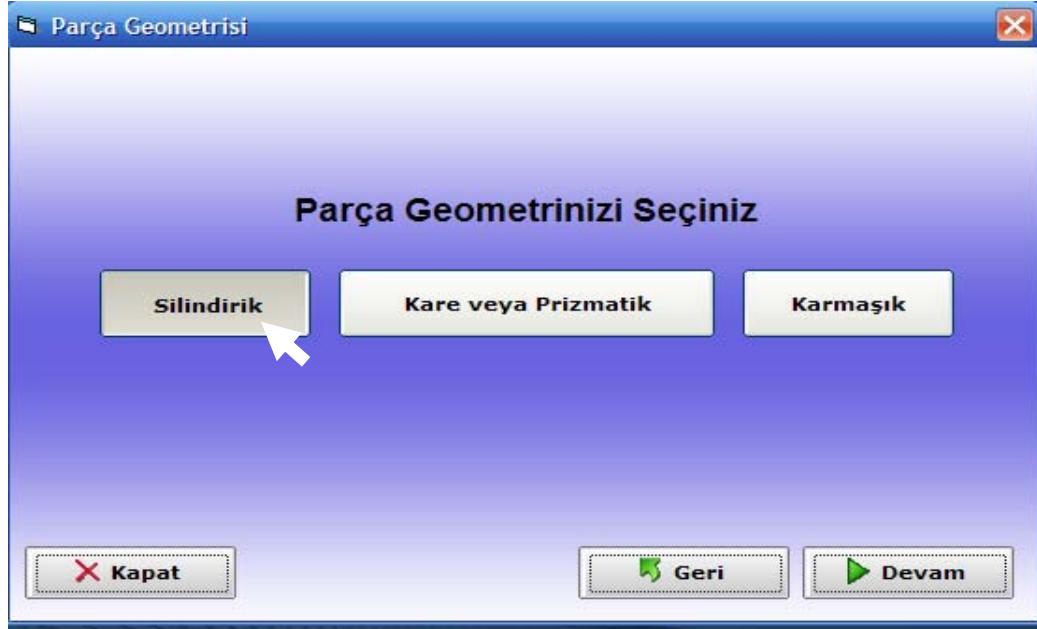
VISUAL BASIC 6 ve Microsoft Access tabanlı kullanılarak hazırlanan programda amaç derin çekme parçalarının özelliklerine kolay ulaşılabilmesi benzer parça yapımında mevcut bilgilerle başlanarak zaman, malzeme ve işçilik kayıplarını azaltmaktır.

Derin çekme kabiliyetlerini gösteren bu program yeni parçalar eklendikçe güncellenebilmektedir. Programın kodu Ek-6'da verilmiştir. Programa ait algoritma Şekil 5.1 de verilmiştir.



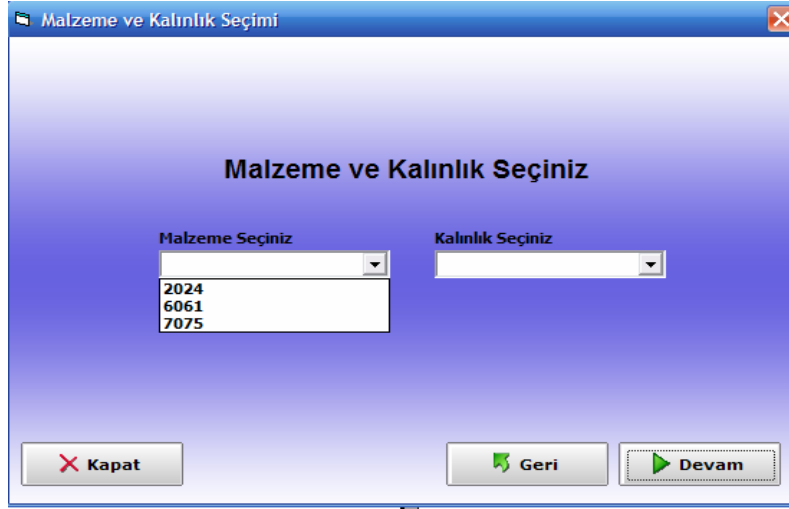
Şekil 5.1. Derin çekme proses kabiliyetleri VISUAL BASIC program algoritması

5.1.1. Veri tabanının görünümü ve kullanımı



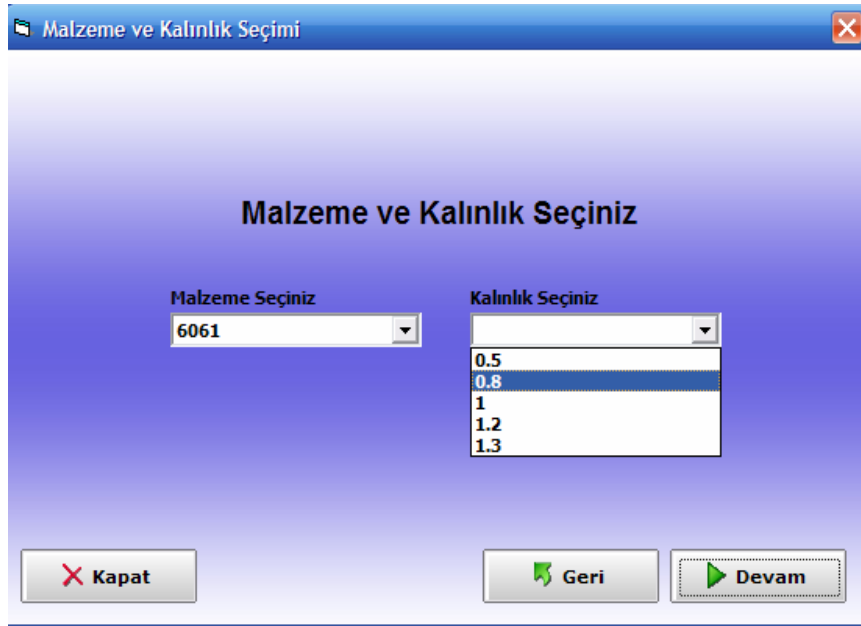
Şekil 5.2. Program giriş sayfası

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi incelenecek parça geometrisi seçilir. Örneğin silindirik şekilli parçaları incelenmek istenirse ‘SİLİNDİRİK’ düğmesine basılır. Bir sonraki ekranda istenilen malzeme ve kalınlık seçimi yapılır. Örneğin üretilen silindirik şekilli parçalardan malzeme çeşidi 6061 kalınlığı 0,8 mm silindirik parçayı ele aldığında sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de gösterilen değerlerde görülen ekranlarda istenilen kriterlerde seçim yapıldıktan sonra ‘Devam’ düğmesine basılır .



The screenshot shows a window titled "Malzeme ve Kalınlık Seçimi" with a blue header bar. The main area has a light blue gradient background. In the center, the text "Malzeme ve Kalınlık Seçiniz" is displayed. Below this, there are two dropdown menus. The first, labeled "Malzeme Seçiniz", is open and shows a list of material numbers: 2024, 6061, and 7075. The second, labeled "Kalınlık Seçiniz", is empty. At the bottom of the window, there are three buttons: "Kapat" (Close) with a red 'X' icon, "Geri" (Back) with a green left arrow icon, and "Devam" (Next) with a green right arrow icon.

Şekil 5.3. Malzeme seçimi



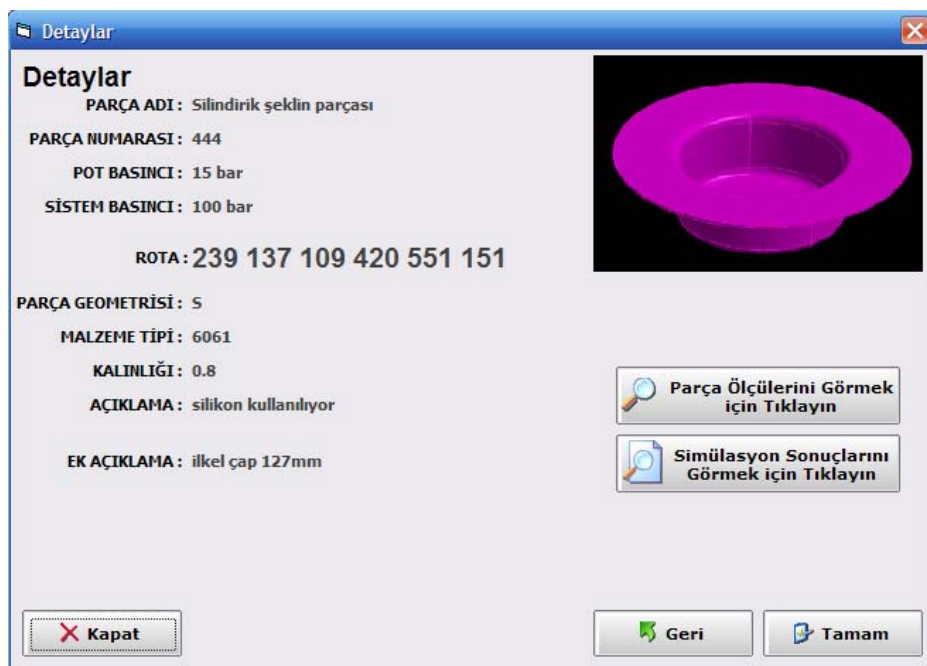
The screenshot shows the same window "Malzeme ve Kalınlık Seçimi". In this step, the "Malzeme Seçiniz" dropdown is now closed and displays "6061". The "Kalınlık Seçiniz" dropdown is open, showing a list of thickness values: 0.5, 0.8, 1, 1.2, and 1.3. The value "0.8" is currently selected and highlighted in blue. The "Kapat", "Geri", and "Devam" buttons remain at the bottom.

Şekil 5.4. Malzeme ve kalınlık seçimi



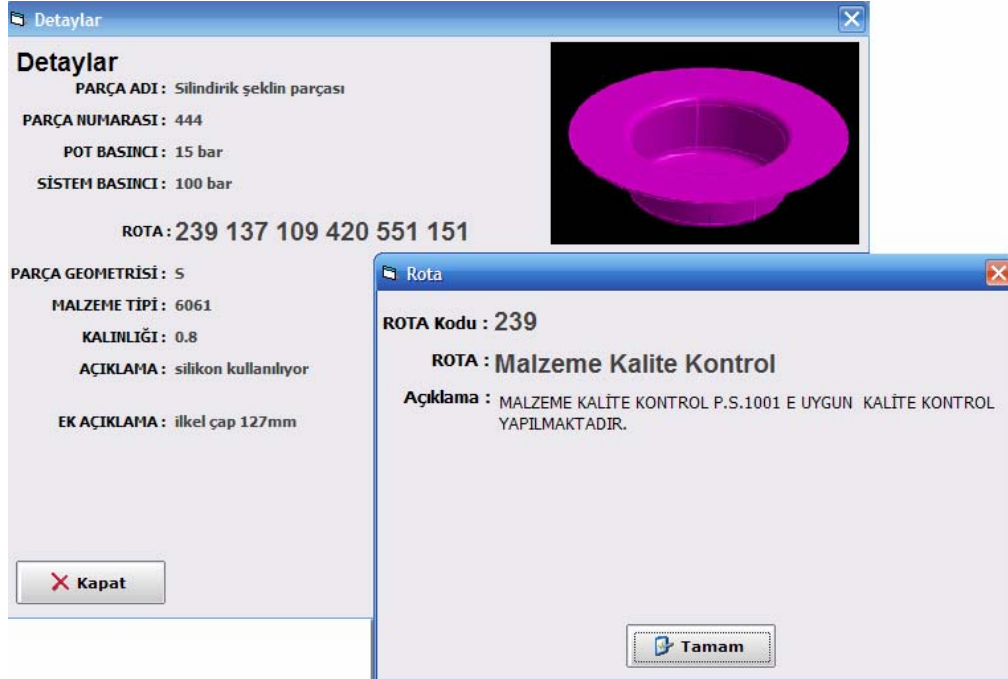
Şekil5.5. Uygun kriterlerdeki parça listesi

Şekil 5.5' de görülen ekranda 0,8 mm 6061 alam silindirik parçaların listesi açılır. Listedeki parçaların listesi aşağıdaki gibidir. Listedeki parçaların listesi aşağıdaki gibidir.



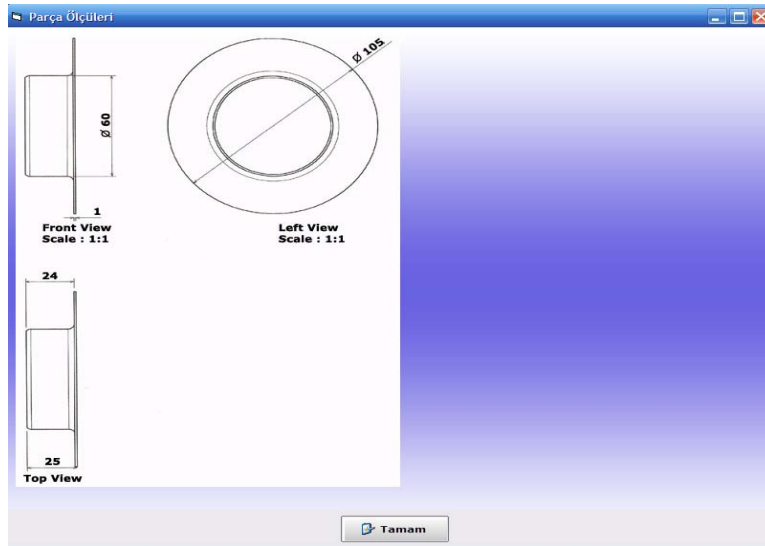
Şekil 5.6. Parçaya ait özellikler

Parça seçiminden sonra Şekil 5.6'da görüldüğü gibi malzemenin özelliklerini gösteren ekran açılır. Bu ekranda rota seçildiğinde rotadaki rakamların anlamlarını gösteren yeni bir ekran açılır[Şekil 5.7]. Daha sonra aynı gruptaki parçaları incelemek için 'Geri' düğmesine basılır.



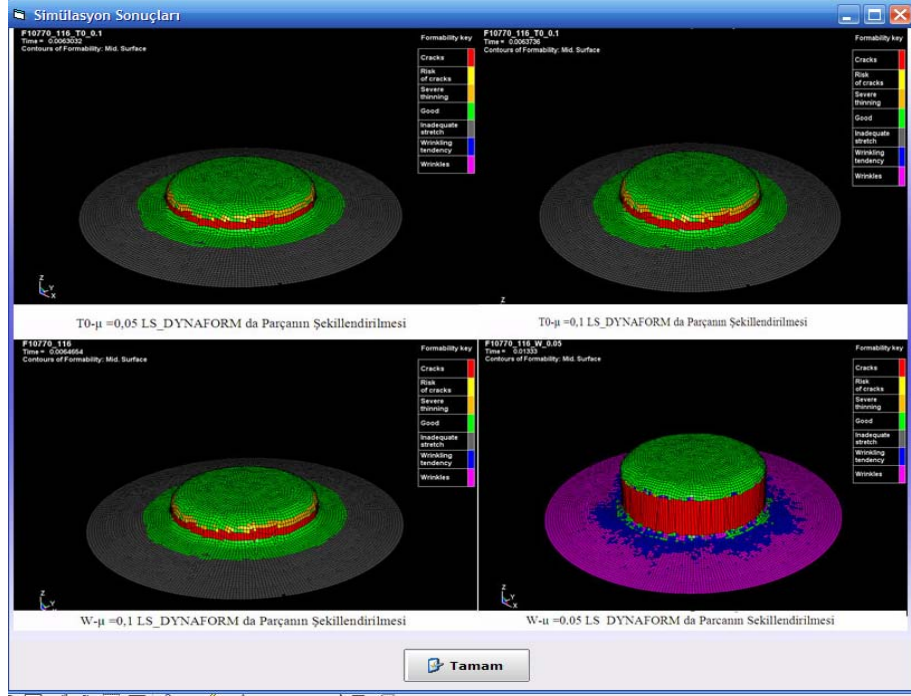
Şekil 5.7. Parçaya ait rotanın incelenmesi

Parça özelliklerinin anlatıldığı [Şekil 5.6] ekranda parçanın ölçülerini [Şekil 5.8] ve çalışma sırasında elde edilen LS-DYNAFORM programına ait simülasyonları göstermek [Şekil 5.9] amacıyla iki adet düğme kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Parça ölçüleri

Ekrandan çıkmak için ‘Tamam’ düğmesine basılır(Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Parçaya ait simülasyon sonuçları

Yeni kriterlere göre arama yapılmak istenirse detay ekranındaki ‘Tamam’ düğmesine basılır(Şekil 5.10). Programdan çıkmak için ‘Kapat’ düğmesine basılır(Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Program içerisinde tekrar arama sayfası

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstenen parçanın kalıptan kusursuz çıkması; analitik çözümler ve bilgisayar destekli simülasyonlar olmadan, deneme yanılma yolu ile yapıldığında, maliyeti oldukça yükseltir ve uzun zaman alır.

Yapılan çalışmalar sonunda soğuk şekillendirme işlemi için sonlu elemanlar yöntemi ile ekspilisit analizin tutarlı sonuçlar verdiği ve tasarımı yönlendirmek için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çekme, derin çekme ve form kalıpları gibi malzemenin yüksek plastik deformasyona uğradığı veya kompleks yüzey geometrileri içeren parçalarda, şekillendirme sonucu parçanın ne şekil alacağı sonlu elemanlar yöntemi ve ekspilisit analiz ile önceden belirlenebilir, kalıp tasarımı, imalat basamakları ve gerekirse parça tasarımı tekrardan gözden geçirilebilir.

Yapılan araştırmalar sonucunda derin çekme işlemine; çekme derinliği, şekillendirilmemiş sacın kesim hattı, şekillenecek sacın malzemesi, iş parçasını sac kalınlığı, kalıp yüzeylerinin geometrik formu, iş parçasının kalıp yüzeylerine göre açısı, pot çemberinin baskı kuvveti, kalıp yüzeylerinin ve iş parçasının sürtünmesi (yağlama, naylon serme vb.) etki ettiği belirlenmiştir.

6061 malzemesine yapılan çekme testleri sonucunda ısıtma işlemi sonrası, malzeme mukavemetinin başlangıç temperine bağlı olmadığı tespit edilmiştir.

6061 malzemesinde başlangıç temperi aynı farklı kalınlıklardaki malzemeleri çekme testi sonucunda kalınlıklardan bağımsız aynı sonuçlar elde edilmiştir.

6061 malzemesinin 0°, 45°, 90°, haddeleme yönlerinde kesilen test numunelerine yapılan çekme testleri sonucunda malzemede anizotropi özellik bulunmadığını göstermiştir.

Bu da parçanın doğru ilkel çaplarda form verilmesi sonucunda kulaklanmanın olmayacağını göstermiştir.

Yapılan çözümlerde silindirik parçanın geometrisine ve kalınlığına bağlı olarak sınır çekme oranını aştığını ve çekilemeyeceğini ortaya koymuştur. Parça deneyler sırasında çıkartılamamıştır. Bu durum simülasyon programında da gözlemlenmiştir. Plastik film kullanılarak parçanın şekillendirilebilmesi ayrı bir tez konusu olarak ileride incelenebilir.

Bu çalışma ile parçalara ait literatür bilgilerini kullanarak çeşitli geometrilerdeki parçaların ilkel çaplarını hesaplanabileceğini, LS-DYNAFORM programı ile bu verileri kullanıp imalat öncesi parçanın şekillendirme sırasındaki davranışlarını görebileceğimizi ispatlamış olduk. Bu aşamadan sonra sürtünmenin, plastik filmin, ve kalıp ölçülerine ait parametreler değiştirilerek çalışmalar sürdürülebilir.

Karmaşık şekilli parçanın formu sırasında sürtünmenin önemi görülmüştür. Parçaya ait açınının, şekillendirmeye olan etkisi tespit edilmiştir. Bu parçanın derin çekme ile imalatının incelenmesi plastik film kullanmadan üretilebilmesi için açınımda ve kalıpta yapılabilecek değişiklikler daha sonraki çalışmalarda incelenebilir.

Uçak sektöründe önemli bir yere sahip olan derin çekme prosesinde üretimin sürekliliğini sağlamak için yapılan bu çalışmada form işleminin özellikleri incelenmiş ve parçanın geometrisine, malzemesine ve kalınlığına uygun olarak veri deposu oluşturulmuştur. Veri deposunun kaynağını artırmak amacıyla 7075 ve 2024, malzemelerinden üretilen parçalarda da incelemeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Woo,D.M, "The Analysis of Axisymmetric Forming of Sheet Metal and theHydrostatic Bulding Process", **Int. J. Mech. Sci.**, 6: 303-317 (1964).
2. Woo,D.M, "Analysis of The Cup Drawing Process" ,**J.Mech.Sci.**, 6:116-131(1964).
3. Budiansky,B. Wang,N.M, "On the Swift Cup Test", **J. Mech. Phys. Solids**, 14: 357-374 (1966).
4. Mellor,P.B, "The Role of Plastic Anisotropy in Sheet Metal Forming", **Annals of the C.I.R.P.**, 18: 133-138 (1970).
5. Chakrabarty,J, "A Theory of Stretch Forming over Hemispherical Punch Heads", **int.J. Mech. Sci.**,12: 315-325(1970).
6. Kaftanoglu,B, "An Investigation of Stretch Forming in Relation to Deep-Drawing and Testing Sheet Metal", Ph.D. Thesis, **Imperial College**, London, 45-48 (1966).
7. Kaftanoglu,B. Alexander,J.M, "On Quastatic Axisymmetrical Stretch Forming", **Int. J. Mech. Sci.**, 12: 1065-1084 (1970).
8. Duncan,J.L, Altan,T, "New Directions in Sheet Metal Forming Research", **Annals of the C.I.R.P.**, 29(1): 153-156 (1980).
9. Mizuno,T, Kataoka,H., "A Study of the Lubrication Mechanisms in Deep-Drawing", **Bulletin of the J.S.M.E.**, 23(180): 1016-1023 (1980).
10. Kaftanoglu,B., "Determination of Coefficient of Friction under Conditions of Deep-Drawing and Stretch Forming", **Wear**, 25: 177-188 (1973).
11. Güneş.T."Pres İşleri Tekniği" ,**MMO**,2: 57 (2002).
- 12.Callister,W.D.,”Materials Science and Engineering An Introduction,” 4th Edition, **John Wiley & Sons**, , New York, 102 (1997).
13. Banabic, D.,”Bunge, H.~J; Pohlandt, K. Tekkaya, A.E. Formability of Metallic Materials, **Springer** , 27: 186 (2000).
14. Lankford, W. L., Snyder, S. C, Bauscher, J. A.,”New Criteria for Predicting the Press Performance of Deep-drawing Sheets”,**Trans. ASM.**, 42: 1196-1232 (1950).

15. Weilong, H., Wang, Z.R., "Anisotropic Characteristics of Material and basic Selecting Rules with Different Sheet Metal Forming Processes," **Journal of Materials Processing Technology**, 127: 374-381 (2002).
16. Hosford, W.F., Duncan, J.L., "Sheet Metal Forming" A Review, **JOM**, 51 (11): 39-44 (1999)
17. Quainoo, G. K., Yannacopoulos, S., "The Effect of Cold Work on the Precipitation Kinetics of AA6111 Aluminum," **Journal of Materials Science**, 39: 6495-6502 (2004)
18. Tekkaya, A. E. "ME 453 Metal Forming Technology Lecture Notes," **Middle East Technical University**, Ankara, 78 (2003).
19. Marciniak, Z., Duncan, J.L. Hu, S. J. "Mechanics of Sheet Metal Forming", 2nd Edition, **Butterworth-Heinemann**, Oxford, 98 (2002).
20. Beddoes, J, Bibby, M J, "Principles of Metal Manufacturing Processes," **Arnold, London**, 90 (1999).
- 21., "Metallic Materials And Elements For Aerospace Vehicle Structure, **Department of Defense Handbook**", 3:265-277 (1998).
22. Karali, E., "Alüminyum Alaşımlar ve Kullanım Alanları", Lisans Tezi, **Marmara Üni.**, İstanbul, 56 (1998).
23. Hosford, W. F. Caddell, R. M. "Metal Forming: Mechanics and Metallurgy," 2nd Edition, **PTR Prentice-Hall**, Englewood Cliffs, New Jersey, 102. (1993).
24. Siebel, E, Panknin, W., "The First Draw In Deep Drawing," **Werkstattstechn. u. Maschinenbau**, 46: 321-326, (1956).
25. Schuler, L., "Metal Forming Handbook" , **Göppinger**, 56 (1998).
26. Lange, K., "Handbook of Metal Forming", 20-14 (1985).
27. Leu, D. K., Wu, J. Y. , "A "Simplified Approach to Estimate Limiting Drawing Ratio and Maximum Drawing Load in Cup Drawing", **Journal of Engineering Materials and Technology**, 126: 116-122 (2004).
28. Hasek, V., Lange, K., "Forming-Limit Diagram and Its Applications in Deep-Drawing and Stretch-Forming Processes", **Wirtsch. Z. Ind. Fertigung**, 70:575-580 (1980).
29. Keeler, S. P. "Plastic Instability and Fracture in Sheet Stretched over Rigid Punches," Thesis, **Massachusetts Institute of Technology**, Boston, 58 (1961)

30. Keeler, S. P., Brazier, W. G., "Relationship between laboratory material characterization and press-shop formability", **Micro Alloying**, 21-32 (1975).
31. Gensamer, M., "Strength and Ductility", **Trans. ASM.**, 36 :30-60 (1946).
32. Goodwin, G. M., "Application of Strain Analysis to Sheet Metal Forming Problems in the Press Shop", **Society of Automotive Engineers**, 680093:380-387 (1968).
33. Wafi, A.S., "An Incremental Complete Solution of the Stretch-Forming and Deep-Drawing of a Circular Blank using a Hemispherical Punch", **Int. J. Mech. Sci.**, 18: 23-31 (1976).
34. Kaiser, O., "Schnitt – Stanz und Ziehwerkzeuge", **Springer**, Berlin, 89 (1966).
34. TAI Proses Standartları, 26.02-1,1-4(2006).

EKLER

EK-1 Çekme kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar

Çizelge 1.1. Silindirik İlk Çekme İçin (k) Katsayıları

S/D %	S/D %	0,45	0,48	0,50	0,52	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
5,0	20	0,95	0,95	0,75	0,65	0,60	0,50	0,43	0,35	0,28	0,20
2,0	50	1,10	1,00	0,90	0,80	0,75	0,60	0,50	0,42	0,35	0,25
1,2	83	-	1,10	1,00	0,90	0,80	0,68	0,56	0,47	0,37	0,30
0,8	125	-	-	1,10	1,10	1,90	1,75	1,60	1,50	1,40	1,33
0,5	200	-	-	-	1,10	1,00	1,82	1,67	1,55	1,45	1,36
0,2	500	-	-	-	-	1,10	0,90	0,75	0,60	0,50	0,40
0,1	1000	-	-	-	-	-	1,10	1,90	1,75	1,60	1,50

$r = (4 - 6)$ s gibi küçük takım kavislerinde tablodaki (k) değerleri %5 kadar büyük seçilmelidir.

Çizelge 1.2. Silindirik Tekrar Çekmeler İçin (k₂) Katsayıları

S/D %	S/D ₁ %	0,70	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,85	0,88	0,90	0,92
5,0	11	0,85	0,70	0,60	0,50	0,42	0,32	0,28	0,20	0,15	0,12
2,0	4	1,10	0,90	0,75	0,60	0,52	0,42	0,32	0,25	0,20	0,14
1,2	2,5	-	1,10	0,90	0,75	0,62	0,52	0,42	0,30	0,25	0,16
0,8	1,5	-	-	1,00	0,82	0,70	1,57	0,46	1,35	0,27	0,18
0,5	0,8	-	-	1,10	0,90	1,76	0,63	0,50	0,40	0,30	0,20
0,2	0,3	-	-	-	1,00	0,85	0,70	0,56	0,44	0,33	0,23
0,1	0,15	-	-	-	1,10	1,00	0,82	0,68	0,55	0,40	0,30

Küçük çekme kavislerinde (k₂) değerleri %5 kadar büyük seçilmelidir. 3.,4.,5.,... çekmeler içinde (k₂) kat sayılan çekmenin ara ısıl işlem yapıp yapılmama durumuna göre s/D oranı dikkate alınarak aynı tablodan seçilebilir,

EK-1 (Devam) Çekme kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar

Çizelge 1.3. Geniş Flanşlı Silindirik Çekmeler İçin (k) Katsayıları

df/d	İlk çekme için çekme oranı $m_1=d_f/D$										
	0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
3,0	1.0	0.9	0,83	0,75	0.68	0,56	0,45	0.37	0,30	0,23	0,18
2,8	1.1	1.0	0.90	0.83	0.75	0.62	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20
2,5	-	1.1	1.0	0.90	0.82	0.70	0.56	0.46	0.37	0.30	0.22
2,2	-	-	1.1	1.0	0.90	1.77	0.64	0.52	0.42	0.33	0.25
2,0	-	-	-	1.1	1.0	0.85	0.70	0.58	0.47	0.37	0.28
1,8	-	-	-	-	1.1	0.95	0.80	0.65	0.53	0.43	0.33
1,5	-	-	-	-	-	1.10	0.90	0.75	0.62	0.50	0.40
1,3	-	-	-	-	-	-	1.10	0.85	0.70	0.56	0.45

Tablo $s/D=0,6$ ile 2% kalınlık oranları içindir. Tablodaki (k_c) katsayıları çekme eşiği kullanılmamış konik ve yarım küre çekmelerde de kullanılabilir. Çekme eşiği kullanılmış ise (k_c) değerleri %10 ile 20 kadar yükseltilmelidir.

Çizelge 1.4. Derinliği Az Olan Prizmatik Çekmelerde (k_n) Katsayıları

% s/D Oranlarındaki h/B yükseklik oranları				r/B Oranına tekabül eden K_n katsayıları				
2-1.5	1.5-1.0	1.0-0.6	0.6-0.3	0.3	0.2	0.15	0.10	0.05
1.0	1.95	1.9	0.85	0.7	-	-	-	-
0.90	0.85	0.76	0.70	0.6	0.7	-	-	-
0.75	0.70	0.65	0.60	0.5	0.6	0.7	-	-
0.60	0.55	0.50	0.45	0.4	0.5	0.6	0.7	-
0.40	0.35	0.30	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

h/B yükseklik ve s/D kalınlık oranı belirlendikten sonra yan tarafa gidilerek r/B oranına uyan (k_n) katsayısı bulunur

EK-1 (Devam) Çekme kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar

Çizelge 1.5. Ön Çekmesi Dairesel veya Oval Olarak Yapılmış Derinliği Fazla Prizmatik Parçaların Son Çekmeleri İçin (k_h) Katsayıları

Kalınlık ve çap oranları			% r/B Oranına göre K_b katsayıları					
s/D	s/d1	s/d2	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.05
2.0	4.0	1.9	5.5	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
1.2	4.5	0.76	3.0	0.50	0.60	0.70	0.80	1.0
0.8	1.5	0.65	2.0	0.55	0.65	0.80	0.90	1.1
0.5	0.9	0.50	1.1	0.60	0.70	0.90	1.00	-

Prizmatik parçalar için (d) ve (d,) I. ve II. Çekmede yapılan oval biçimli parçanın en küçük oval çapıdır.

EK-2 Alüminyum 6061 malzemesine ait çekme testlerinin sonuçları



PROCESS CONTROL LABORATORY

Equipment No: T 390723800

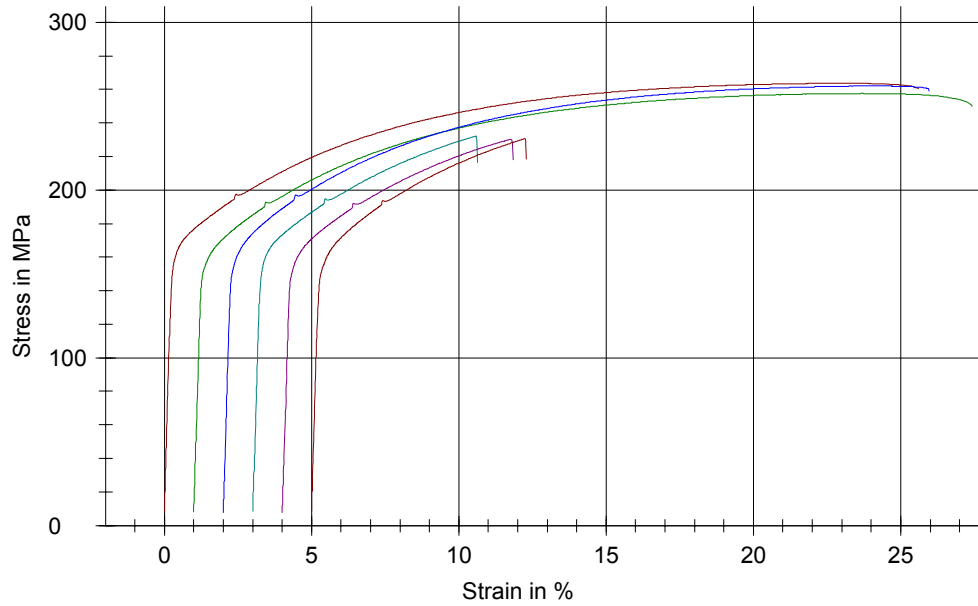
Parameter table:

Date	: 13.05.2008	Specimen No	: --
Material	: 6061_T4_thick1	Test Tag No	: --
Test standard	: --	Remark	: breaks are in gages
Load No	: --	Tester	: G.Ertem

Results:

Nr	Specimen thi mm	Specimen wii mm	E-Modulus N/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rm MPa	ε Break %
1	1	12,8	52902,77	165,79	263,67	25,62
2	1	12,8	48088,51	159,91	257,62	26,46
3	1	12,8	48559,08	162,13	262,06	23,99
4	1	12,8	47599,35	163,35	232,08	-
5	1	12,8	51517,10	158,96	230,39	-
6	1	12,8	54134,70	158,02	230,56	-

Series graphics:



Statistics:

n = 6	Specimen thickness a0 mm	E-Modulus N/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rm MPa	ε Break %
x	1	50466,92	161,36	246,06	25,36
s	0,000	2757,12	2,94	16,62	1,25
Fmax.	1	54134,70	165,79	263,67	26,46
min.	1	47599,35	158,02	230,39	23,99

EK-2. (Davam) Alüminyum 6061 malzemesine ait çekme testlerinin sonuçları



PROCESS CONTROL LABORATORY

Equipment No: T 390723800

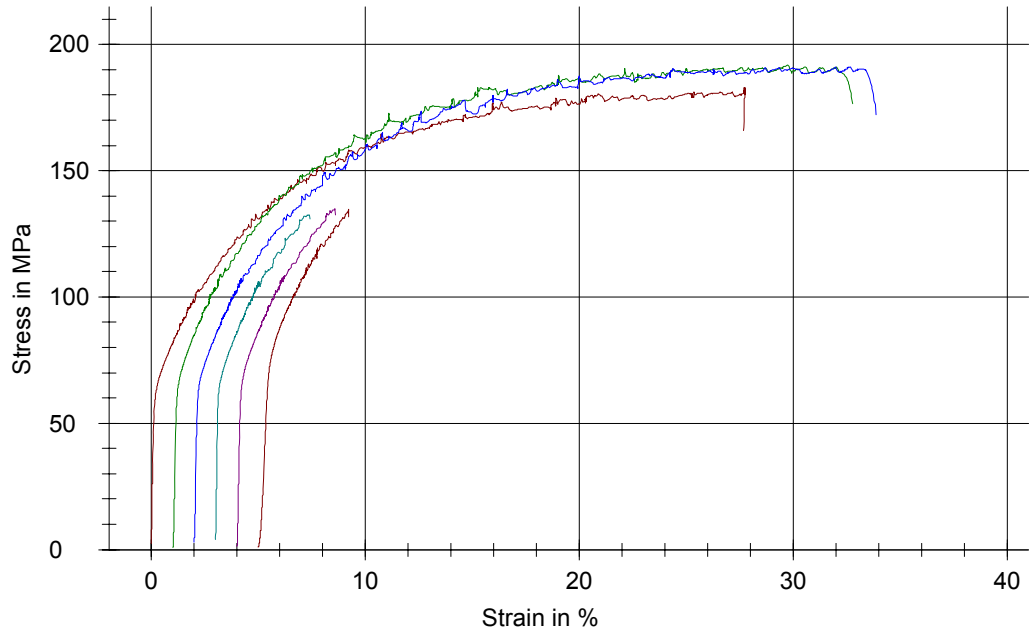
Parameter table:

Date	: 12.05.2008	Specimen No	: --
Material	: 6061-W-T4	Test Tag No	: --
Test standard	: --	Remark	: breaks are in gages
Load No	: --	Tester	: G.Ertem

Results:

Nr	Specimen thi mm	Specimen wi mm	E-Modulus N/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rm MPa	ε Break %
1	0,95	12,83	50284,57	66,85	182,96	27,71
2	0,91	12,9	47851,48	69,83	191,77	31,78
3	0,91	12,86	46516,10	69,87	191,06	31,89
4	0,91	12,91	57305,93	70,02	132,65	-
5	0,9	12,9	50423,34	71,25	134,88	-
8	0,9	12,9	15429,76	82,64	134,62	-

Series graphics:



Statistics:

n = 6	Specimen thickness a0 mm	E-Modulus N/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rm MPa	ε Break %
x	0,9133	44635,20	71,74	161,32	30,46
s	0,01862	14783,81	5,53	30,04	2,38
Fmax.	0,95	57305,93	82,64	191,77	31,89
min.	0,9	15429,76	66,85	132,65	27,71

EK-2. (Davam) Alüminyum 6061 malzemesine ait çekme testlerinin sonuçları



PROCESS CONTROL LABORATORY

Equipment No: T 390723800

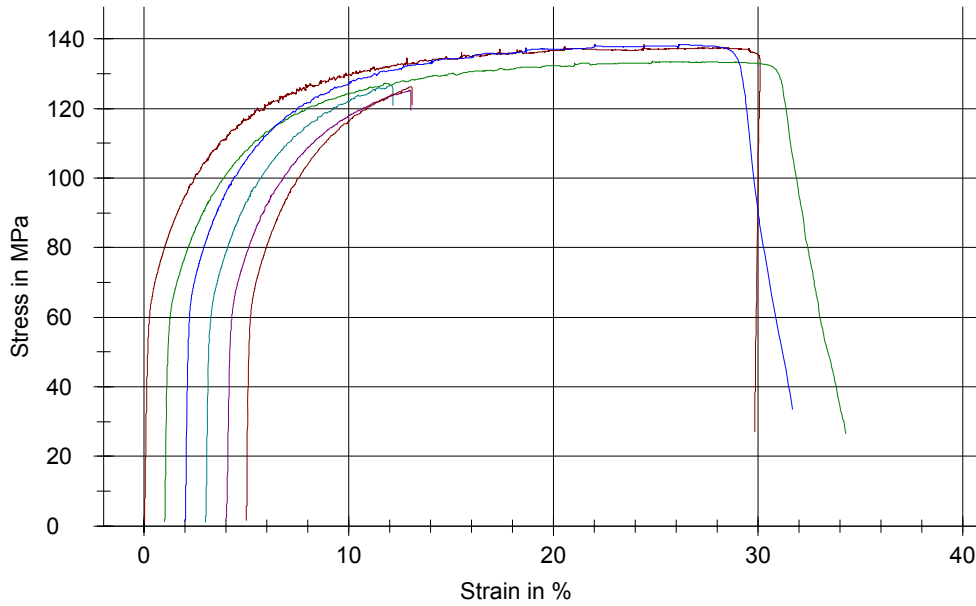
Parameter table:

Date	: 12.05.2008	Specimen No	: --
Material	: 6061-T0, 1.2mm, 12.87mm	Test Tag No	: --
Test standard	: --	Remark	: breaks are in gages
Load No	: --	Tester	: G.Ertem

Results:

Nr	Specimen thi mm	Specimen wi mm	E-Modulus N/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rm MPa	ε Break %
1	1,19	12,85	40152,70	65,85	138,35	29,83
2	1,21	12,92	46123,32	63,55	133,68	33,30
3	1,19	12,86	46316,25	67,37	138,37	29,69
4	1,2	12,87	42984,95	64,69	126,68	-
5	1,2	12,87	34401,28	65,73	125,30	-
6	1,2	12,87	66891,27	65,16	126,27	-

Series graphics:



Statistics:

n ≈ 6	Specimen thickness a0 mm	E-Modulus N/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rm MPa	ε Break %
x	1,198	46144,96	65,39	131,44	30,94
s	0,007528	11083,74	1,28	6,13	2,05
Fmax.	1,21	66891,27	67,37	138,37	33,30
min.	1,19	34401,28	63,55	125,30	29,69

EK-3 Yağ içeriği



HOUGHTON ITALIA S.p.A.

Cap. Soc. € 1.548.000 i.v.
C.I.A.A. 27910
Reg. Soc. 8032 - Trib. Genova
Cas. Post. 6069 GENOVA

c/c Postale 15078163
C.F.P. IVA: 00069750108
e-mail: info@houghton.it



Direzione - Sezione Amministrativa
Ufficio Vendite-Acquisti
16162 Genova - Bolzaneto
Via Pastorino 38
Tel. +39-010-726.41.1
Telefax +39-010-745.00.55

Produzione - Sezione Marketing
Tecnica - Ricerca
16161 Genova - Teplia
Via F.lli Brucchi 22
Tel. +39-010-741.02.1
Telefax +39-010-740.73.75

HOUGHTO DRAW 7007

HOUGHTO DRAW 7007 is a sulphur and chlorine-free product, emulsifiable in water and featuring excellent drawing characteristics on both ferrous and non-ferrous metals as well as aluminium.

HOUGHTO DRAW 7007 has a good anti-rust power and it is easy to remove from the piece.

HOUGHTO DRAW 7007 is highly polar and can be used for many types of drawing operations of medium-high severeness at concentration varying from 10 to 50%.

HOUGHTO DRAW 7007 can be applied by rolls, by brush and sprayed and can be removed using alkaline solutions. The product must be sharked before using.

CHEMICAL-PHYSICAL CHARACTERISTICS

Appearance	Limpid liquid
Colour	Amber
Specific gravity at 15.5°C	0.9400
Viscosity at 40°C	500÷600 cSt
pH 3% in water	8.5÷9.0

STORAGE

HOUGHTO DRAW 7007 maintains its chemical-physical and technical characteristics if stored in a sheltered place at temperatures ranging -5°C÷40°C for a maximum period of six months. For the handling of **HOUGHTO DRAW 7007** pay normal care usually given to industrial products.

HEALTH & SAFETY

No toxic or carcinogenic, teratogenic or mutagenic known materials are contained in **HOUGHTO DRAW 7007** such as nitrosamines, phenols, polychlorinated diphenyl, heavy metals, polinuclear hydrocarbons.

WASTE TREATMENT

HOUGHTO DRAW 7007 cannot be directly discharged. Follow national or local instructions.

D/98-APPROVAL: G.PELLERANO

The information contained in this product data sheet must not be considered as a specification, warranty, or as possible suggestions to infringe any patent.

EK-4 Plastik film içeriği



**HIGH PERFORMANCE FILMS,
FABRICS & TAPES**

ANDREW ROBERTS INC.

215 OAK STREET • P.O. BOX 3775
NATICK, MA 01760
(508) 653-6412
OUTSIDE MA: 1-800-637-6694
FAX: (508) 651-3055
WWW.ANDREWROBERTS.COM
E-MAIL: SALES@ANDREWROBERTS.COM

MATERIAL SAFETY DATA SHEET**TUFF BRAKE FILM**

MSDS No. D-0005

SECTION 1: PRODUCT INFORMATION

PRODUCT NAME: TUFF BRAKE FILM
CHEMICAL NAME: Polyurethane
PRODUCT USE: Film
EMERGENCY PHONE: 508-653-6412

Issue Date: January 2007
Supercedes: January 2006

SECTION 2: HAZARDOUS INGREDIENTS

None

SECTION 3: PHYSICAL DATA

APPEARANCE: Solid
VAPOR DENSITY: N.A.
VAPOR PRESSURE: N.A.
MELT POINT: 390 - 4400F
BULK DENSITY: 9.6 lbs/gal
ODOR: None

MOLECULAR WEIGHT: N.A.
COLOR: 1000. colorless to Amber
SOLUBILITY: Insoluble in water
SPECIFIC GRAVITY: 1.2 gm/cc@ 25° C
BOILING POINT: N.A.
% VOLATILE BY VOLUME: None

SECTION 4: FIRE AND EXPLOSION DATA

FLASH POINT: N.A.
METHOD USED: N.A.

FLAMMABLE LIMITS:
LFL: N.E.
UFL: N.E.

EXTINGUISHING MEDIA: Water, dry chemical, CO2, and foam

SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES:

A self-contained breathing apparatus should be worn to protect From decomposition products.

UNUSUAL FIRE OR EXPLOSION HAZARDS: Toxic vapors could be emitted during combustion.

EK-5 VISUAL BASIC program kodları

Option Explicit

Public cnn As New ADODB.Connection

Public Enum listOrder

ASCENDING = 0

DESCENDING = 1

End Enum

Public GEO As String

Public MLZ As String

Public KLN As String

Public MLZID As String

Public Sub OpenDatabase()

Dim strCnn As String

strCnn = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=" & App.Path &
"db.mdb;Persist Security Info=False"

'wr strCnn

Set cnn = New ADODB.Connection

If cnn.State <> 1 Then cnn.Open strCnn

End Sub

'CloseDatabase

Public Sub CloseDatabase()

cnn.Close

Set cnn = Nothing

End Sub

Public Function GetValueFrom(Table As String, Column As String, filter As
String) As String

Dim strSQL As String

Dim rs As New ADODB.Recordset

strSQL = "SELECT [" & Column & "] FROM [" & Table & "]"

If filter <> "" Then strSQL = strSQL & " WHERE " & filter

'wr strSQL

Set rs = cnn.Execute(strSQL)

If Not rs.EOF Then

GetValueFrom = rs(Column)

Else

GetValueFrom = ""

End If

Set rs = Nothing

End Function

Public Function GetCountFrom(Table As String, filter As String) As Long

EK-5 (Devam) VISUAL BASIC program kodları

```

Dim strSQL As String
Dim rs As New ADODB.Recordset
    strSQL = "SELECT Count(*) as Cnt FROM [" & Table & "]"
    If filter <> "" Then strSQL = strSQL & " WHERE " & filter
    Set rs = cnn.Execute(strSQL)

    If IsNull(rs("Cnt")) Then
        GetCountFrom = 0
    Else
        GetCountFrom = rs("Cnt")
    End If

    Set rs = Nothing
End Function

```

```

Public Sub FillCombo(ByRef cmb As ComboBox, Table As String, Column As
String, Optional filter As String = "")
    Dim strSQL As String
    Dim rs As New ADODB.Recordset
    cmb.Clear
    strSQL = "SELECT [ID],[ " & Column & " ] FROM [" & Table & "]"
    If filter <> "" Then strSQL = strSQL & " WHERE " & filter
    strSQL = strSQL & " ORDER BY [" & Column & "]"
    Set rs = cnn.Execute(strSQL)
    Do Until rs.EOF
        cmb.AddItem rs(Column)
        cmb.ItemData(cmb.ListCount - 1) = rs("ID")
        rs.MoveNext
    Loop
    Set rs = Nothing
End Sub

```

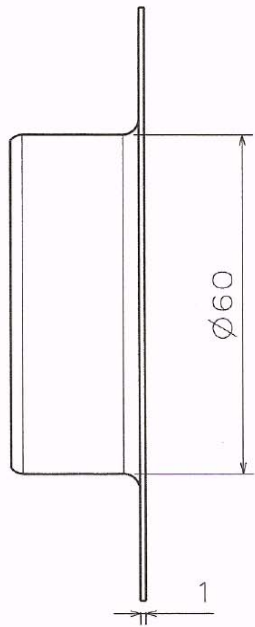
```

Public Function FillComboWithNumbers(startNo As Integer, endNo As Integer,
Optional StepNo As Integer = 1) As ComboBox
    Dim i As Integer
    Dim cmb As ComboBox
    For i = startNo To endNo Step StepNo
        cmb.AddItem i
        cmb.ItemData(cmb.ListCount - 1) = i
    Next
    FillComboWithNumbers = cmb
End Function

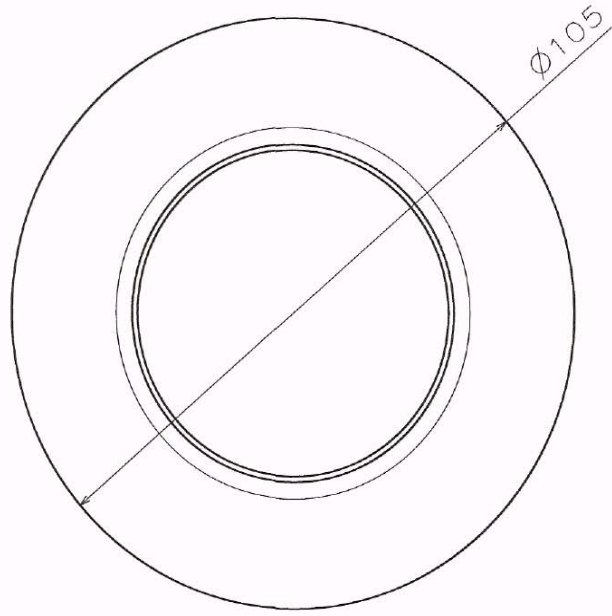
```

EK-6 Parça resimleri

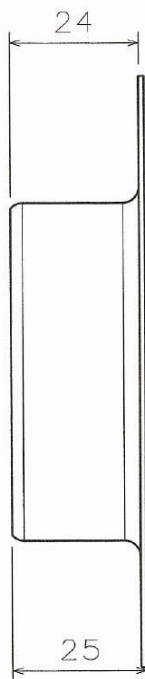
Silindirik Parça



Front view
Scale: 1:1



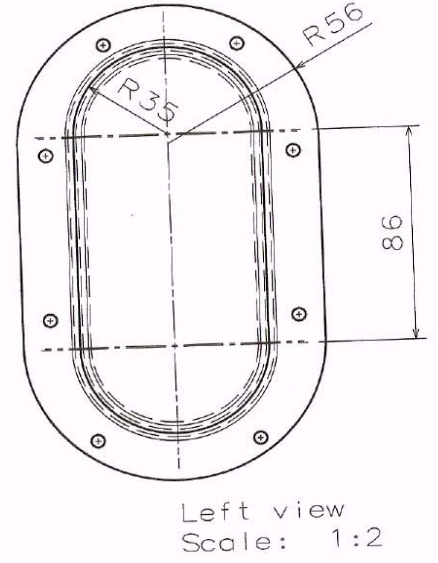
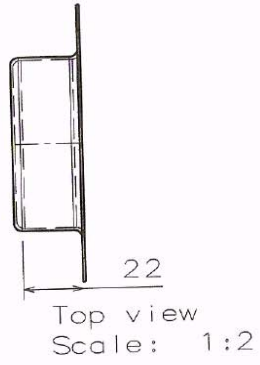
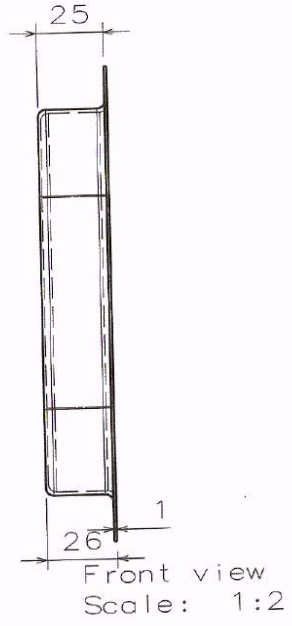
Left view
Scale: 1:1



Top view

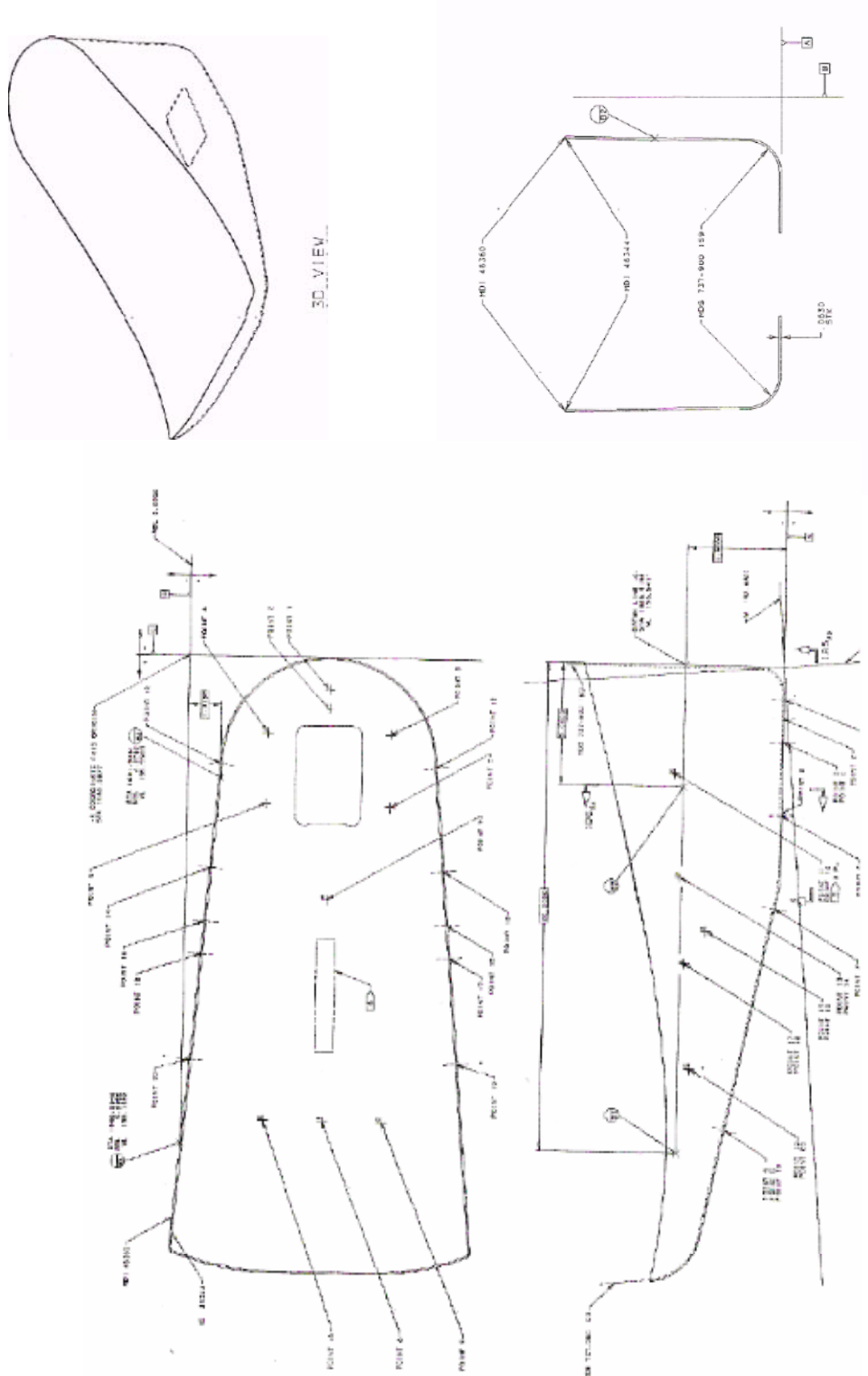
EK-6 (Devam) Parça resimleri

Eliptik Parça



EK-6 (Devam) Parça resimleri

Karmaşık Şekilli Parça



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ULU, Yeşim
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 12.06.1981 İzmir
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (532) 770 31 68
Faks :
e-mail : dozdemr@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Mühendisliği	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2005
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	Türk Havacılık Ve Uzay Sanayi A.Ş	Poroses Lideri

Yabancı Dil

İngilizce, İspanyolca