

**ÇAPAK BOYUTLARININ ÖN DÖVME İŞLEMİNE
ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Tahsin BAŞOĞLU
(503031314)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cengiz Tahir BODUR
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Haydar LİVATYALI
Yrd. Doç. Dr. Serdar TÜMKOR**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamam sırasında değerli tavsiyeleri ve yönlendirmeleri için danışman hocam Doç. Dr. Cengiz Tahir Bodur'a teşekkür ederim.

Ayrıca KANCA A.Ş. fabrikası çalışanlarına tez aşamasındaki değerli yardımları ve Genel Müdür Abdullah KANCA'ya sağladığı olanaklar için teşekkür ederim. Mühendislik Müdürü Taner MAKAS ve Konstrüksiyon Büro Sorumlusu Hakan ÖZTÜRK'e özellikle teşekkürlerimi belirtmek isterim.

HAZİRAN 2006

Tahsin Barış BAŞOĞLU

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Problemin Tanımı	2
1.3. Çözüm Metodu	3
1.4. Hedefler ve Amaç	3
2. SONLU ELEMAN METODU PROGRAMLARI	5
2.1. Giriş	5
2.2. MSC-Superform	5
2.3. MSC-Superforge	8
3. DÖVMENİN TEMELLERİ	11
3.1. Genel Bilgiler	11
3.2. Dövme Makineleri	12
3.3. Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme	14
3.3.1. Ara Kademeler	14
3.4. Akma Sınırı ve Dövülebilirlik	16
4. ÖN DÖVME GEREKLİLİĞİ	17
4.1. Giriş	17
4.2. Örnek Poyra Çalışması	19
4.2.1. Ön Dövmeli Üretim	19
4.2.2. Ön Dövmesiz Üretim	21
4.2.3. Ön Dövmeli MSC-Superforge Analizi	22
4.2.4. Ön Dövmesiz MSC-Superforge Analizi	25
4.3. Sonuç	26
5. ÇAPAK PARAMETRELERİNİN ÖN DÖVME İŞLEMİNE ETKİSİ	29
5.1. Çapak Tanımı	29
5.2. Kalıp Çıkış Ağız Yarıçapı	34
5.3. Çapak Kalınlığı	38
5.4. Çapak Genişliği	40
5.5. Rigid Olmayan Kalıplar ile Yapılan Analiz	43
5.6. MSC-Superform Programı ile Malzeme Davranışının Analizi	45
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	48
KAYNAKLAR	50

EKLER	52
ÖZGEÇMİŞ	55

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Dövme kusurları ve sebepleri	2
Tablo 3.1 Üç dövme metodunun karşılaştırılması.....	11
Tablo 4.1 S50C malzemenin kimyasal analizi.....	19
Tablo 4.2 DIN 1.2343 malzemenin kimyasal analizi.....	20
Tablo 4.3 Kullanılan Çekicin Teknik Özellikleri	21
Tablo 4.4 Poyra Durum Çalışması Sonuçları Özet Tablosu.....	27
Tablo 5.1 Çapak Kalınlığı ve Çapak Alanı Oranı Formülleri	29
Tablo 5.2 41Cr4 malzemenin kimyasal analizi.....	32
Tablo 5.3 Kullanılan Çekicin Teknik Özellikleri.....	32
Tablo 5.4 Kalıp ağız çıkış yarıçapı değerlerine göre maksimum gerilmeler...	34

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : MSC-Superform programından görünüş	7
Şekil 2.2 : MSC-Superform programından görünüş	7
Şekil 2.3 : MSC-Superforge programından görünüş.....	9
Şekil 3.1 : Dövme makine karakteristikleri.....	13
Şekil 3.2 : HUTA Zygmunt MPM çekiçinin genel görünüşü.....	13
Şekil 3.3 : Kapalı kalıpla dövme.....	14
Şekil 3.4 : Çok gravürlü kalıp ve ara kademe parçaları.....	15
Şekil 4.1 : Poyranın tekerlek içindeki kesit görünüşü.....	18
Şekil 4.2 : Poyranın CATIA model görünüşü.....	19
Şekil 4.3 : DIN 1.2343 Malzemenin Isıl İşlem Şartları.....	20
Şekil 4.4a : Ön Dövmeli Poyra Genel Görünüşü.....	21
Şekil 4.4b : Ön Dövmeli Poyranın Şaft Görünüşü.....	21
Şekil 4.5a : Kumlanmamış Ön Dövmesiz Poyra Görünüşü.....	22
Şekil 4.5b : Kumlanmış Ön Dövmesiz Poyra Doldurmama Hatası.....	22
Şekil 4.6 : Ön dövmesiz poyrada doldurmama hatasının ölçüsel değeri.....	22
Şekil 4.7 : MSC-Superforge programında DIN 1.1213 özellikleri	23
Şekil 4.8 : Kullanılan dövme makinesi için girilen değerler.....	23
Şekil 4.9 : Ara kademe kesit görünüşü	24
Şekil 4.10 : Bitmiş parça görünüşü	24
Şekil 4.11 : Bitmiş ön dövme kesit görünüşü.....	25
Şekil 4.12 : Bitmiş parça kesit görünüşü.....	25
Şekil 4.13a : Ön dövmesiz poyra doldurmama hatası	25
Şekil 4.13b : Ön dövmesiz poyra kesit görünüşü.....	25
Şekil 4.14 : Ön dövmeli üretim kuvvet-zaman grafiği	28
Şekil 4.15 : Ön dövmesiz üretim kuvvet-zaman grafiği.....	28
Şekil 5.1 : Çapak görünüşü	29
Şekil 5.2 : Tablo 5.1 deki formülleri açıklayan semboller.....	31
Şekil 5.3 : Alt, üst kalıplar ve sonlu elemanlara ayrılmış iş parçası.....	32
Şekil 5.4 : Geri vites dişlisinin ön dövmesinin ölçülendirilmiş görünüşü.....	34
Şekil 5.5 : Maksimum normal gerilmenin kalıp ağız çıkış yarıçapına göre değişimi.....	35
Şekil 5.6 : Çapak parametreleri t=2, w=5 ve r= 0 mm olan analiz.....	36
Şekil 5.7 : Çapak parametreleri t=2, w=5 ve r= 3 mm olan analiz.....	37
Şekil 5.8 : Çapak parametreleri t=4, w=5 ve r= 5 mm olan analiz.....	37
Şekil 5.9 : Maksimum normal gerilmenin çapak kalınlığına göre değişimi...	38
Şekil 5.10 : Çapak parametreleri t=1, w=5 ve r= 3 mm olan analiz.....	39
Şekil 5.11 : Çapak parametreleri t=4, w=5 ve r= 3 mm olan analiz.....	39
Şekil 5.12 : Maksimum normal gerilmenin çapak genişliğine göre değişimi..	41
Şekil 5.13 : Çapak parametreleri t=2, w=2 ve r= 3 mm olan analiz.....	41
Şekil 5.14 : Çapak parametreleri t=2, w=8 ve r= 3 mm olan analiz.....	42

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.15 : Çapak parametreleri $t=2$, $w=5$ ve $r=3$ mm olan analiz.....	42
Şekil 5.16 : Sonlu elemanlara ayrılmış kalıplar ile analizden bir görünüş.....	43
Şekil 5.17 : Deforme olabilen kalıplar ile $t:2$ $w:5$ ve $r:3$ çapak parametreleri ile yapılan analiz.....	44
Şekil 5.18 : Dövme parçada oluşan eşdeğer Von Mises gerilmeleri.....	45
Şekil 5.19 : Sonlu elemanların deformasyonu.....	46
Şekil 5.20 : Maksimum asal gerilmeler.....	47
Şekil A1 : Çapak parametreleri $t=2$, $w=5$ ve $r=2$ mm olan analiz.....	52
Şekil A2 : Çapak parametreleri $t=3$, $w=5$ ve $r=3$ mm olan analiz.....	53
Şekil A3 : Çapak parametreleri $t=2$, $w=5$ ve $r=4$ mm olan analiz.....	53
Şekil A4 : Çapak parametreleri $t=2$, $w=10$ ve $r=3$ mm olan analiz.....	54
Şekil A5 : Çapak parametreleri $t=2$, $w=5$ ve $r=5$ mm olan analiz.....	54

SEMBOL LİSTESİ

T	: Şekil verme sıcaklığı
T_e	: Mutlak erime sıcaklığı
R_z	: Yüzey pürüzlülüğü
t	: Çapak kalınlığı
w	: Çapak genişliği
r	: Çapak çıkış ağız yarıçapı
A	: Kesit yüzey alanı
W	: Dövme ağırlığı
Z	: Karmaşıklık faktörü

ÇAPAK BOYUTLARININ ÖN DÖVME İŞLEMİNE ETKİSİNİN SONLU ELEMENLAR METODU İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada çapak parametrelerinin sıcak dövme prosesinde ön dövme üzerine etkisi sonlu eleman metodu kullanarak incelenmiştir. Sıcak dövme prosesinin temelleri anlatılarak, ön dövmenin bu proses deki gerekliliği örnek ürün çalışmaları ile gösterilmiştir.

Çalışmanın analiz kısmında MSC-Superform ve MSC-Superforge programları kullanılarak, kalıplar üzerindeki gerilmeler değişik çapak parametreleri için incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda bir poyra sıcak dövme parçası ön dövmeli ve ön dövmesiz olarak sonlu elemanlar analizi ile incelenmiş, bu analiz parçanın imalatı ile de doğrulanmıştır. Çapak parametreleri bir dişli parçası için belirli kombinasyonlarda değiştirilerek kalıp üzerinde oluşan normal gerilmeler, bu gerilmelerin dağılımı ve kat, doldurmama gibi dövme kusurlarının oluşması açısından sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir.

Analiz programları ve imalat sonuçları göstermektedir ki: ön dövme işlemi sıcak dövmede kalıp ömürlerini artırmada, dövme kusurlarını azaltmada önem taşıması sebebiyle gereklidir. Ayrıca çapak kalınlığı, genişliği ve kalıp ağız çıkış yarıçapı parametreleri ön dövme kalıbı üzerinde oluşan kuvvetlere ve imalatla doldurmama ve katmer gibi dövme kusurlarının oluşup oluşmamasına direkt etki etmektedir. Bu parametrelerin seçimi ve tasarımında sonlu eleman metodunu kullanmanın yardımcı bir araç olduğu bu çalışmada gösterilmiştir.

EFFECTS OF FLASH PARAMETERS ON THE PRE-FORGING ANALYSIS BY USING FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

In this thesis, the effects of the flash parameters to the pre-forging are investigated by using finite element method. Fundamentals of the hot forging process are described and necessity of the pre forging stage of the process is proved with case study.

In the analysis part, by using the finite element programs MSC-Superform and MSC-Superforge, stresses on the forging dies are investigated for different flash parameters. In the experimental part, one forge part, hub, examined in pre-forge and non pre-forge ways. Simulations are also confirmed with real forging parts. Normal stresses occurred in dies, stress distribution and forging faults are analysed by changing flash parameters in specific combinations with finite element methods.

Conclusions show that; pre forging process is necessity most of the hot forging process for increasing die life and preventing forging faults. Also flash width, flash thickness and flash radius directly affect forging force and faults. This thesis shows that finite element analysis is a helpful tool in pre-forging die design.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Madenler bulunduktan sonra çeşitli şekillerde biçimlendirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Altın, gümüş gibi kıymetli madenlerin para olarak basılması ve dövme işlemi ile biçimlendirilmesi bugünkü dövmenin temeli olarak bilinmektedir. İlk olarak kalıplı dövme 1200 yıllarında Romalılar tarafından iki yüzlü para basmak için kullanılmıştır. Günümüzde, kullanılan kalıpların benzerleri ise, 1750 yıllarında düşmeli ve kızaklı çekiçlerin bulunması ile birlikte kullanılmaya başlamıştır [1]. Dövmecilik, malzemenin çok dar toleranslar içinde şekillenebilmesi, yüksek mukavemet göstermesi ve seri üretime en uygun işlem olma özelliğinden dolayı hızla gelişmesini sürdürmektedir. Günümüzde bu ilerleme yüksek hassasiyette temiz dövme prosesine kadar ulaşmıştır [2].

Dövme, basit geometrideki bir parçaya iki kalıp arasında plastik şekil verilerek istenilen son şeklin elde edildiği prosestir. Dövme prosesi tecrübe odaklı bir üretim şeklidir. Uzun yıllardır yapılan deneme-yanılma çalışmaları bu sektörde bir tecrübe birikimi sağlamıştır. Çok basit parçaların üretimi ile başlanan proseste, günümüzde büyük ve karmaşık şekilli geometrideki parçaların üretimi sağlanabilir konumdadır.

Dövme işleminin bir kolu olan sıcak dövme işleminde

- 1) Malzeme akışı
- 2) Malzeme ile kalıp arasındaki sürtünme
- 3) Plastik akış sırasındaki ısı oluşumu
- 4) Malzemenin mikro yapı özellikleri

analiz edilmesi ve sayısal değerler ile açıklaması zor parametrelerdir. Bundan dolayı tasarımcılar sıcak dövmede genel kurallar ile birlikte kendi tecrübe ve deneyimlerinden yararlanmaktadır.

1.2 Problemin Tanımı

Sıcak dövme prosesinde en önemli mühendislik çalışması, üretilecek parçanın dövme kademelerinin sırasını, sayısını ve kalıp tasarımlarını hatasız üretim yapacak biçimde belirlemektir. Bu aşamada endüstride genel dövme kuralları çerçevesinde tasarımcılar kalıp tasarımlarında kendi tecrübelerini ve deneyimlerini kullanmakta, deneme ve yanılma metoduyla tasarım yapmaktadırlar. Bundan dolayı maliyet ve zaman kaybı kaçınılmaz olmaktadır [3].

Bu problemin asıl kaynağı dövme işleminin doğası gereği tasarım parametreleri için net değerlerin olmamasıyla beraber parametrelerin birbirlerine, dövme parçaya, kalıplara etkisi de sadece tecrübeyle bilinmektedir. Geometrik olarak karmaşık ve üretim adetleri yüksek olan dövme parçalarında bu parametreler ve birbirleriyle etkileşimlerinin önemi daha fazla artmaktadır.

Sıcak kapalı kalıp ile dövme imalatında başlıca dövme kusurları ve bunların sebepleri Tablo 1.1 de verilmiştir [1].

Tablo 1.1 Dövme kusurları ve sebepleri

Dövme Kusurları	Sebepleri
Malzeme doldurmuyor	Yetersiz malzeme
	Düşük tav sıcaklığı
	Hatalı ön dövme veya çapak hattı
Parçada kat oluşuyor	Hatalı ön dövme dizaynı
	Yetersiz yağlama
Parçada kaçıklık var	Hatalı ön dövme
	Kalıplar geziyor
Kalıp erken aşınıyor	Aşırı malzeme
	Hatalı ön dövme
	Aşırı tav sıcaklığı
	Çapak boyutları hatalı

Tablo 1.1 de görüldüğü gibi sıcaklık, uygun malzeme, yağlama gibi dövme koşullarının sağlanmasının yanı sıra uygun ön dövme tasarımı dövmede oluşacak kusurların bir çoğunu engellememiz için gerekmektedir.

Dövme parçanın istenilen şekilde üretilmesini sağlayan diğer bir etkende çapak parametreleridir. Çapak hem ön dövmede hem de son dövmede oluşmakta ve parçanın kalıbı doldurması, yüksek yüzey kalitesi ve kalıp aşınmasını azaltarak ömür artışı sağlama açısından önem taşımaktadır. Çapak parametreleri (çapak kalınlığı, çapak genişliği, kalıp ağız çıkış yarıçapı, depo vb.) endüstride belirli değer aralıkları arasında parçanın şekline, karmaşıklığına göre tasarımcılar tarafından tecrübe ile verilmektedir.

Sıcak dövme ile kusursuz parça üretmede en önemli faktörlerden ön dövme ve çapak parametrelerinin tecrübe ve deneme-yanılma ile oluşturulması sebebiyle zaman ve maliyet kayıpları yaşanmaktadır.

1.3 Çözüm Metodu

Bir önceki bölümde anlattığımız dövme tasarımı tecrübeye dayalı seçimler ve tasarımlar günümüzde sonlu elemanlar metodu kullanan programlar ile tasarımcılar tarafından daha kısa zamanda ve düşük maliyet ile yapılmaktadır.

Ön dövme tasarımları konularında yapılan araştırmalar ile değişik ön dövme tasarım metotları bulunmuştur,

- 1) Elektrik alan teoremi [4]
- 2) Geriye akıtma teoremi [5]
- 3) Çoklu seviye teoremi [6]

1.4 Hedefler ve Amaç

Bu tezde, ön dövmenin sıcak dövme üretimindeki gerekliliği ve çapak parametrelerinin ön dövme işlemi üzerindeki etkileri incelenecektir.

Bölüm 2’de bu çalışmada kullanılacak olan MSC Superform ve MSC Superforge programları hakkında bilgi verilecektir. Bu programlarda kullanılacak olan parametreler açıklanacaktır.

Bölüm 3’de sıcak dövme prosesinin temelleri anlatılacaktır. Dövme işleminin işleyiş şekli, sınıflandırılması ve diğer imalat yöntemleri ile farkları anlatılarak üretim metodu hakkında genel bilgilerin oluşturulması sağlanacaktır.

Bölüm 4’de sıcak dövmede ön dövmenin gerekli olduğu endüstriden seçilen bir parçanın hem ön dövmeli hem ön dövmesiz imalatlarının karşılaştırmaları yapılacaktır. Aynı üretim şartları MSC-Superforge programıyla oluşturularak sonuçlar sonlu elemanlar metodu ile incelenip gerçek üretim ile karşılaştırmalar yapılacaktır.

Bölüm 5’de endüstriden seçilen bir parçanın çapak parametreleri: çapak genişliği, çapak kalınlığı ve kalıp ağız çıkış yarıçapı, belirli bir sistem içinde değiştirilerek, kalıp üzerinde oluşan normal gerilmeler ve oluşabilecek olan dövme kusurları sonlu elemanlar metodu ile incelenecektir. Bu denemeler sonucunda parametrelerin kalıp ömrüne etkisi yorumlanacaktır.

Son olarak tezin sonuçlarından ve önerilerden Bölüm 6’da bahsedilecektir.

2. SONLU ELEMAN METODU PROGRAMLARI

2.1. Giriş

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle genel çözüme ulaşılan bir çözüm şeklidir. İlk olarak 1960’larda telaffuz edilmeye başlanmıştır [7]. Hızlı ve düşük maliyet imkanı sağlamasından dolayı sanayinin bir çok kolunda kullanımı hızla artmıştır. Metal şekillendirmede sonlu elemanlar metodunun seçilmesinin nedenleri arasında, bu yöntemin çok farklı malzeme, sıcaklık ve sürtünme gibi çeşitli temas tanımlama imkanları sunmasıdır. Böylelikle şekillendirme işleminin doğasını oldukça fazla değişken ile analiz etme imkânı sağlanır.

Dövme işlemi için de sonlu elemanlar metodunu kullanan bir çok analiz programı vardır. Bunlardan başlıcaları:

- 1) DEFORM
- 2) MSC- Superform
- 3) MSC-Superforge
- 4) Q-form

Bu tezde MSC-Superform ve MSC-Superforge programları kullanılacaktır.

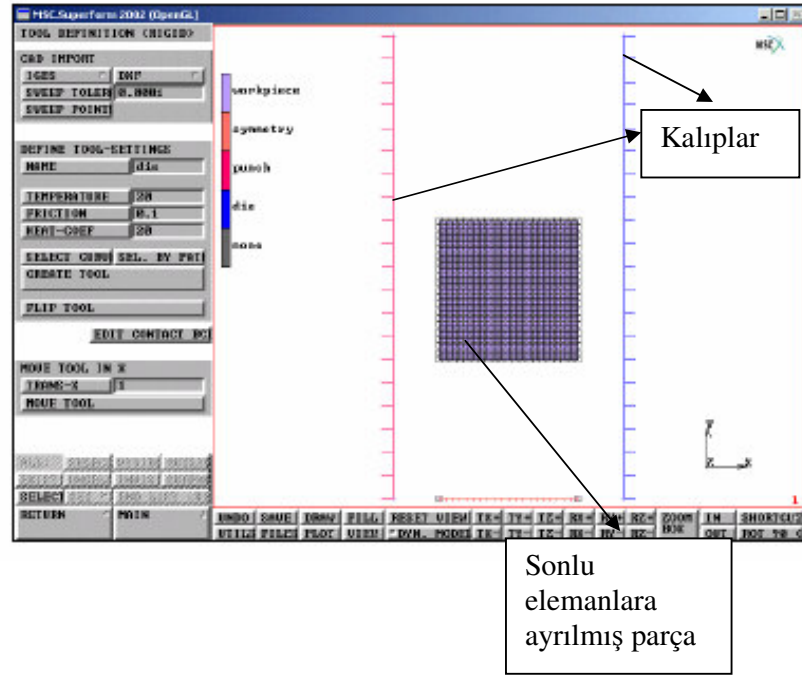
2.2. MSC Superform

Sonlu eleman yöntemi ile çalışan bu programda çapak parametreleri incelenecektir. Programın çalışma adımları aşağıda verilmiştir.

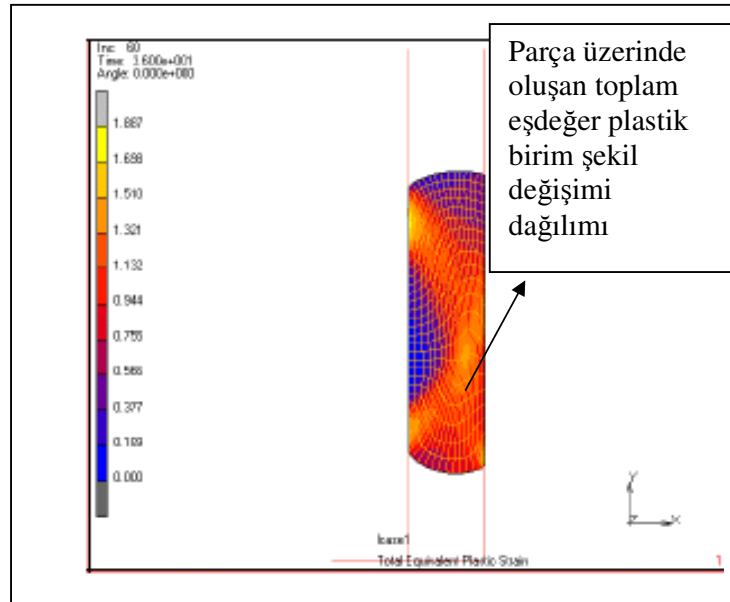
- a- Analiz tipinin seçilmesi : Simetrik-asimetrik, iki boyutlu-üç boyutlu, sıcaklığa bağlı-bağımsız seçimleri yapmanız gereken programın ilk kısmıdır.

- b- Geometrinin oluşturulması : Kalıp ve parçanın şeklinin oluşturulduğu bu adım da program kalıp ve parçanın şeklini çizme imkanı verdiği gibi ayrıca CAD datalarından hazır olan şekilleri (IGES, DXF.) aktarma imkanı da tanımaktadır. 2 boyutlu ve 3 boyutlu çalışma imkânı veren programda 2 boyutlu şekillerin simülasyonları çok daha hızlı olmaktadır. Dövme esnasında şekil değiştiren parçanın elemanlara ayrılması bu adımda yapılmaktadır.
- c- Malzemelerin tanımlanması ve ön şartların verilmesi: Kalıp ve şekil değiştiren parçanın malzeme tanımlamaları ve sıcaklık koşulu bu adımda tanımlanmaktadır.
- d- Parça ve kalıpların tanımlanması: Deformasyon sırasında kalıplar, zımbalar ve iş parçası birbirine temas etmektedir. Programın hangi şeklin alt kalıp yada üst kalıp hangisinin iş parçası olduğunu tanıması gerekmektedir. Bu tanımlama bu aşamada yapılmaktadır. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken önemli bir noktada sistem parçalarının hangisinin plastik olarak deforme olan hangisinin olamayan (rigid) olduğunun tanımlanması gerekliliğidir. Şekil 2.1 de programda kalıpların ve sonlu elemanlara ayrılmış parçanın tanımlandığı bir görünüş verilmiştir.
- e- Tekrar elemanlara ayırma (remesh) parametreleri: Deformasyon sırasında bozulan elemanların tekrardan elemanlandırması işleminin tanımlanması bu adımda yapılmaktadır.
- f- Dövme preslerinin tanımlanması: Bu aşamada dövme makinesi (çekiç, hidrolik pres, mekanik pres) ve de vuruş-zaman bilgisi girilir. Makinenin özellikleri bu kısımda tanımlanır. Birden fazla dövme kademesinin olduğu durumlar (ön dövme) bu aşamada tanımlanır.
- g- İşin tanımlanması: Bu aşamada analiz programı çalıştırılır. İstenilen sonuçların seçimi bu aşamada yapılmaktadır. MSC-Superform programı parça ve kalıplar üzerinde sıcaklık, gerilme, uzama dağılımlarının görülmesine imkân vermektedir.
- h- Sonuçlar: Bu kısımda tanımlama kısmında belirtilen sonuçlar görülebilmektedir. Şekil 2.2 de analiz sonucunda parça üzerinde oluşan “toplam eşdeğer plastik birim şekil değişimi” dağılımını gösteren bir görünüş

verilmektedir. Sonuç ekranının sol tarafında dağılımı renklere göre anlamını ifade eden skala görülmektedir.



Şekil 2.1 MSC-Superform programından görünüş



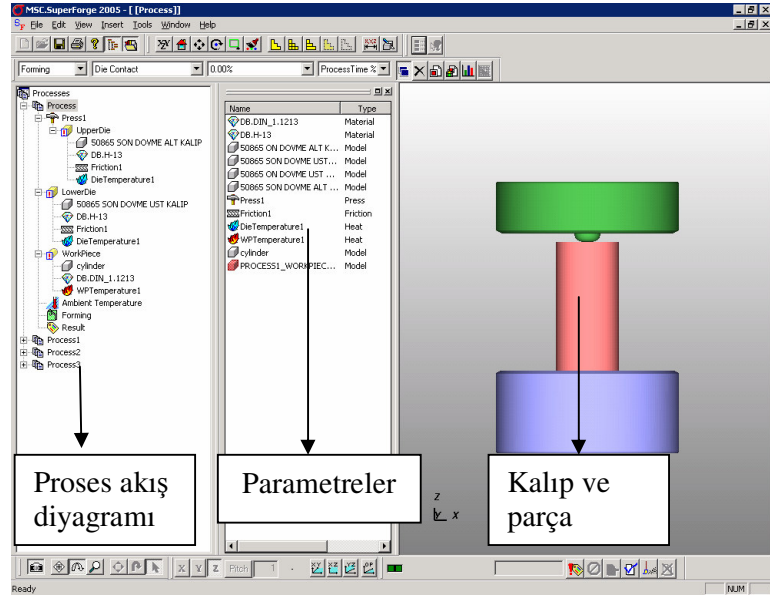
Şekil 2.2 MSC-Superform programından görünüş

2.3 MSC Superforge

Sonlu elemanlar metodu kullanan diğerk bir program olan MSC-Superforge özellikle dövme işlemleri için hazırlanmıştır. Ezme, akıtma, kapalı kalıpta dövme, açık kalıpta dövme seçenekleri mevcuttur. Ayrıca dövme prosesinde önemli bir yere sahip olan taslak çekme işlemi bu programda analiz edilebilmektedir. Şekil 2.3'de MSC-Superforge programından bir görünüş verilmektedir.

Bu programda 3D olarak çalışmak MSC-Superform sonlu elemanlar analiz programına göre daha kolay ve hızlıdır. Bu sebeple, tezde sonlu elemanlar analizi bu program için 3D olarak kullanılacaktır. Çalışma adımları şekil olarak farklılık gösterse de MSC-Superform ile aynı mantıkta parametre girişi yapılmaktadır. Daha basit bir kullanımı olan MSC-Superforge programında temel olarak tanımlanması gereken parametreler;

- a) Modeller : CAD datası olarak alınması gerekmektedir. Bu programda model oluşturma imkanı sadece silindir ve küp gibi basit geometrili şekiller için mevcuttur.
- b) Malzeme : Programın kendi malzeme kütüphanesinden malzeme secimi mümkün olduğu gibi ayrıca gerekli parametrelerin girilmesiyle malzeme tanımlama imkanı da mevcuttur.
- c) Sürtünme : Programda, Coulomb Sürtünmesi ve Plastik Kesme Sürtünmesi seçenekleri mevcuttur.
- d) Sıcaklık : Kalıp sıcaklığı ve malzeme sıcaklıkları programın bu aşamasında belirtilmektedir.
- e) Pres : Hidrolik, mekanik pres ve çekiç seçenekleri programda tezgah seçiminde mevcuttur. Seçilen tezgaha göre gerekli parametreler programa girilir.



Şekil 2.3 MSC-Superforge programından bir görünüş

Bu tezde ön dövme işleminin gerekliliği için MSC-Superforge programı kullanılacaktır. Bunun sebebi analiz aşamasında kalıplar üzerinde herhangi bir değişiklik yapmaya gerek olmamasıdır. Ayrıca ön dövmenin gerekliliği doldurmama hatasının gösterilmesi ile olacağı için bu çalışmanın 3 boyutlu yapılması daha detaylı sonuçlar verecektir.

Çapak parametreleri ile ilgili analizlerde ise MSC-Superform programı kullanılacaktır. Bu çalışmada çapak geometrisini değiştirmek gerekli olacaktır ve bunun yapılması bu programda çok daha kolaydır. Ayrıca elemanlandırma işlemi kullanıcı tarafından yapıldığı için kalıp üzerindeki gerilmeleri görmek bu sonlu elemanlar programı ile daha uygun olacaktır.

Dünyada, dövme sektöründe çalışanların yaklaşık % 30'u sonlu eleman analizlerini [8],

1. Ürettikleri parçaları kalite ve maliyet açısından optimize etmek
2. Kısa zamanda yeni parçalar geliştirmek
3. Dövme prosesinde tecrübe ve deneyimlerini artırmak

için kullanmaktadır.

Bir çok firma ticari program paketlerine sahiptir ve bu programlara hakim olmadan kullanılmaktadırlar. Sonlu elemanlar metodu programları kullanıcı için

basitleştirilmişlerdir. Bu sebeple herhangi bir alt yapısı olmadan birçok kişi tarafından rahatlıkla kullanılabilirler. Fakat bu programların belirli bir alt yapı olmadan kullanılması gerçek değerlerle uyumsuz sonuçlar doğurabilmektedir.

Kullanılan veya seçilen parametre değerlerinin doğrulanması bu simülasyon çalışmalarının ne kadar doğru sonuçlar verdiğinin bir göstergesi olacaktır. Sonlu eleman programlarında doğrulama 2 ana yolla yapılabilmektedir: sayısal model doğrulaması ve fiziksel model doğrulaması [8].

DeneySEL çalışmalar ile karşılaştırma yapılan analizlerin doğruluğunun ispatı için en kolay yollardan biridir. Bu tezde de yapılan analizler, gerçek üretim çalışmaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların doğruluğu ispatlanmıştır.

3. DÖVMENİN TEMELLERİ

3.1 Genel Bilgiler

En eski üretim yöntemlerinden biri olan dövmenin günümüzde de endüstride çok önemli bir yeri vardır. Dövme, iş parçasının basma kuvvetlerinin etkisi altında plastik şekil değiştirdiği bir şekil verme yöntemleri ailesi oluşturur. Dövme sıcak, yarı sıcak ve soğuk olarak uygulanabilir. Malzemenin mutlak erime sıcaklığı (T_e) ve şekil verme sıcaklığı da T ile gösterilirse genel olarak [9]:

$T/T_e < 0,3$ soğuk şekil verme

$T/T_e = 0,3-0,5$ ılık şekil verme

$T/T_e > 0,5$ sıcak şekil verme söz konusudur.

Bu üç şekil verme yöntemi dövme sıcaklığının yanı sıra dövülen parçaların şekilleri, metal kalitesi, ön işlemlerin gerekliliği, yüzey pürüzlülüğü ve kalıp ömrü gibi değişkenler içinde birbirlerinden farklılıklar içermektedir. Bu üç metal dövme işlemi arasındaki kıyaslaması Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Üç dövme metodunun karşılaştırması [9]

	Sıcak Dövme	Ilık Dövme	Soğuk Dövme
Dövme Sıcaklığı	Genelde $> 1100^\circ \text{C}$	Genelde $650^\circ \text{C} - 900^\circ \text{C}$	Oda sıcaklığı
Parça Şekli	Bütün şekiller	Genelde eksenden simetrik	Eksenden simetrik
Metal Kalitesi	Genelde hepsi	Karbon: hepsi Diğer alaşımla: $< \% 10$	Düşük alaşımlı çelikler ($\text{C} < \% 0.5$, diğer $< \% 3$)
Ön işlemler	Gereksiz	Gerekli olursa yağlama	Fosfatlama, yağlama
Kabul Edilebilir Kalite	IT 16 – IT 12	IT 12- IT9	IT 11- IT 7
Yüzey Pürüzlülüğü	$> 100 \text{ Rz}$	$< 50 \text{ Rz}$	5-20 Rz
Kalıp Ömrü	yaklaşık 5,000 adet	yaklaşık 10,000 adet	yaklaşık 20,000 adet

Hemen hemen bütün metaller dövülerek şekillendirilebilir. Fakat genelde dövme yöntemiyle üretilen parçaların çoğunda malzeme olarak basit karbonlu ve az alaşımlı çeliklerle, alüminyum alaşımları kullanılmaktadır.

Dövme teknolojisi, malzemenin çok dar tolerans içinde şekillenebilmesi, yüksek mukavemet göstermesi ve seri üretime en uygun bir işlem olma özelliğinden dolayı hızla gelişimini sürdürmektedir. Dövme işleminin sağladığı üstünlükler [9]:

1. İş parçasının dayanımı (dayanım/ağırlık oranı), tokluğu ve sünekliği daha fazla olmaktadır.
2. Dövme işleminde parça içersinde boşluklar kalmaz.
3. Birçok halde dövme işleminde otomasyona gidilebilir.
4. Üretim hızı yüksektir.

Dövme işlemi bir sistem olarak ele alındığında sistemi oluşturan elemanlar şu şekilde sıralanabilir.

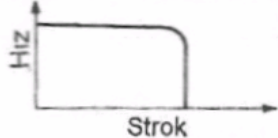
1. Hammadde (şekil ve malzeme olarak)
2. Kalıp (şekil ve malzeme olarak)
3. Kalıpla malzeme arasındaki temas yüzeyi şartları
4. Plastik şekil değiştirmenin mekaniği
5. İşlemin yapıldığı makine
6. Ürün karakteristikleri
7. İşlemin yapıldığı atölye ve çevre

3.2 Dövme Makineleri

Dövme işleminde tezgah olarak presler ve çekiçler kullanılır. Presler esas olarak üç ayrı tipe ayrılır; hidrolik, mekanik ve vidalı presler. Dövme makineleri çalışma prensiplerine göre “yük sınırlı”, “mesafe sınırlı” ve “enerji sınırlı” olmak üzere üç gruba ayrılır.

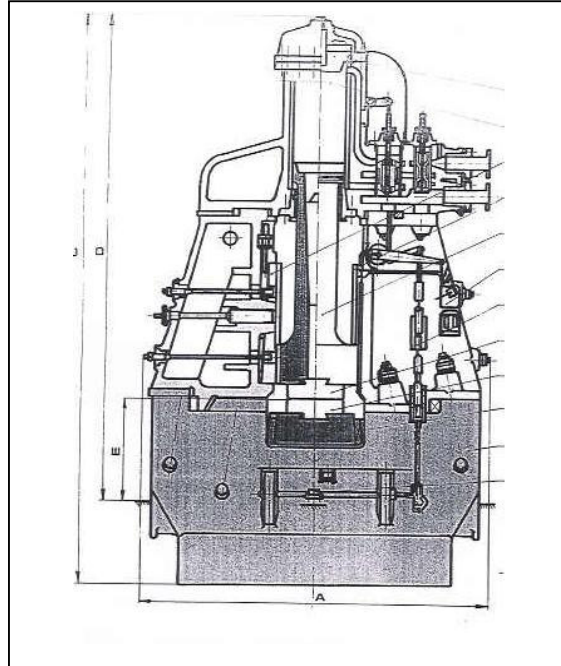
Yük sınırlı makinelerin şekillendirme işlemini yapma kabiliyeti esas olarak en yüksek yük kapasiteleri ile sınırlandırılmışlardır. Mesafe sınırlı makinelerin şekillendirme işlemi kapasiteleri ise mesafe uzunluğu ve değişik mesafe konumundaki yük değeri tarafından belirlenir. Çekiçler ise enerji sınırlı makinelerdir. Bu makinelerde şekillendirme çekiç kafasının (koç) enerjisi tarafından yapılmaktadır.

Dövme makinelerin karakteristikleri Şekil 3.1 de verilmiştir [9].

Dövme makinası	Koç hızı (m/s)	Koç hızı - strok davranışı
Hidrolik pres	0,03 - 0,8	
Mekanik pres	0,06 - 1,5	
Vidalı pres	0,6 - 1,2	
Ağırlık düşmeli çekiç	3 - 5	
Güç düşmeli çekiç	4,5 - 9	
Karşı vuruşlu çekiç	4,5 - 9	

Şekil 3.1: Dövme Makine Karakteristikleri

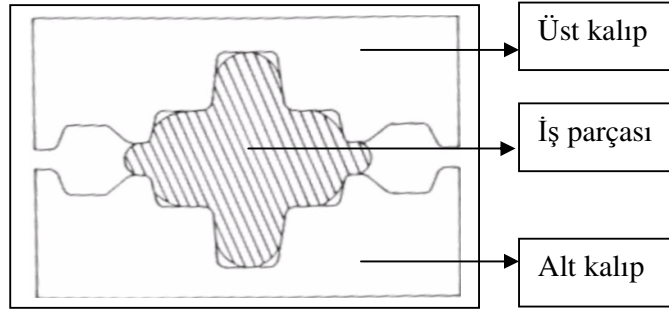
Bu çalışmada Huta Zygmunt marka MPM 6300 ve MPM 3150 çekiçleri kullanılmaktadır. Bu çekiçlerin genel görüntüsü Şekil 3.2 de verilmektedir.



Şekil 3.2 HUTA Zygmunt MPM çekiçinin genel görünüşü

3.3 Kapalı Kalıpla Çapaklı Dövme

Bu tezdeki çalışmalar dövmenin, kapalı kalıpla çapaklı üretim yöntemi uygulanarak yapılmıştır. (Şekil 3.3) Kapalı kalıpla çapaklı dövme sıcak olarak yapılan bir üretim şeklidir. Genellikle iki parçalı olan kalıp kapandığı zaman arada kalan boşluk (gravür) üretilmek istenilen parçanın şeklindedir. Böylece kalıp parçalarından birinin diğerine veya her ikisinin birbirine doğru hareketi sonucunda, uygun sıcaklığa kadar ısıtılmış olan hammaddenin kalıp boşluğunu doldurması sağlanır. Fazla malzeme çapak oluşturur. Çapak iş parçasından kesilerek alınır.



Şekil 3.3 Kapalı kalıpla dövme

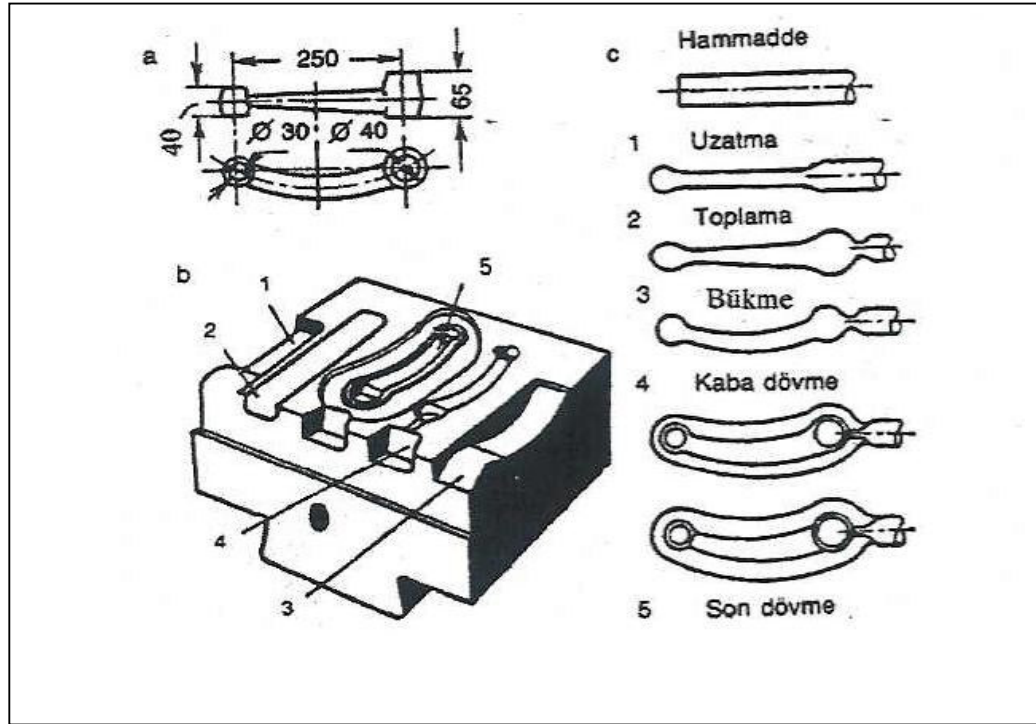
Metal bir parçayı ısıtıttan sonra bir veya birkaç kuvvetli darbe ile kalıp boşluğunu doldurmasını sağlamak basit bir işlem değildir. Bu nedenle, çok basit şekilli parçalar dışında, son şekle kademeli olarak yaklaşılr.

Dövmede genelde malzeme olarak dairesel veya kare kesitli çubuklar kullanılır. Malzemelerin yüksek sıcaklığa ısıtılması dövme işlemini kolaylaştırarak kalıp aşınmalarını azaltmakla birlikte, bir üst sınırın aşılması halinde tane büyümesi gibi sakıncaların doğmasına yol açar. Dövme işlemi sırasında yapılan yağlama, sürtünme ve aşınmayı dolayısıyla metalin kalıp boşluğundaki akışını etkiler. Kalıplar kolay çatlamayı önlemek amacı ile tercihen 200°-300° arasında ısıtılırlar.

3.3.1. Ara kademeler

Kapalı kalıpla çapaklı dövmede iş parçasına ara şekiller verilerek dövme işleminin kademelendirilmesi ile sağlanan uygun bir malzeme dağılımı sonunda malzemenin kalıp içinde akışı kolaylaştırılarak her kademede kalıp boşluğu tam olarak

doldurulabilir. Parça şekil ve boyutlarının uygun olması halinde bütün kademeler bir kalıba sığdırılabilir. Bu tür kalıplara çok gravürlü kalıplar denir. Şekil 3.4 de çok gravürlü bir kalıp görünüşü verilmiştir. Şekilde uzatma, toplama, bükme, kaba dövme ve son dövme kademeleri hem kalıpta, hem de iş parçası olarak gösterilmiştir. Sonuç olarak son dövme kademesinden önce uygulanabilecek ön şekil verme işlemleri uzatma-toplama, bükme ve ön (kaba) dövmedir.



Şekil 3.4 Çok gravürlü kalıp ve ara kademe parçaları [9]

Bu tezde özellikle ön dövme üzerinde durulmaktadır. Ön dövme kademesi son dövme kademesinde malzeme akışını kolaylaştırmak ve gravürün daha uzun sürede aşınmasını sağlamak amacı ile uygulanır. Bitmiş parçanın bütün ayrıntıları bulunmayan ve son dövme gravüründen biraz daha derin ve dar olan ön dövme gravüründe özellikle malzeme hareketinin fazla olduğu yerlerde büyük yarıçaplar ve yuvarlak köşeler kullanılır. Ön dövme kademesinden elde edilen parçanın bitmiş parçaya kıyasla yüksek ve dar olması, son dövmede yüksek gerilmelerin doğmamasını sağlar.

Bir parçanın sıcak dövme ile üretiminde bütün ara kademelere ihtiyaç olmayabilir. Parça şekli karmaşıktıkça, malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti azaldıkça ve üretim adedi artıkça ara kademelerden birinin veya bir kaçının uygulanması gerekli olabilir.

3.4 Akma Sınırı ve Dövülebilirlik

İdeal elastik-plastik bir malzemenin basit basma deneyinde, gerçek basma gerilmesi akma sınırına ulaştıktan sonra şekil değiştirme sabit gerilme altında devam eder. Pekleşen malzemelerde ise, akma sınırından sonra şekil değiştirmeyi devam ettirebilmek için gerçek gerilmenin yükseltilmesi gerekir.

Dövme sıcaklığında akma sınırı malzemenin dövülebilirliğine tam anlamı ile ölçü olmaz. Kolay şekillendirebileceği düşünülen düşük akma sınırlı bir parça çatlama nedeniyle dövmeye uygun olmayabilir. Dövülebilirliği ifade eden en uygun yöntem için yığma ve sıcak burma deneyleri kullanılmaktadır.

4. ÖN DÖVME GEREKLİLİĞİ

4.1. Giriş

Sıcak dövmede proses tasarımındaki en önemli etkenlerden birisi gerekli kademe sayısını belirlemektir. Ön dövme kademeleri, dövme hataları oluşmadan kalıbın doldurması, yüksek yüzey kalitesi ve kalıp aşınmasını azaltmak için gereklilik taşımaktadır [11]. Ön dövmesiz üretim sonucunda oluşabilecek başlıca hatalar:

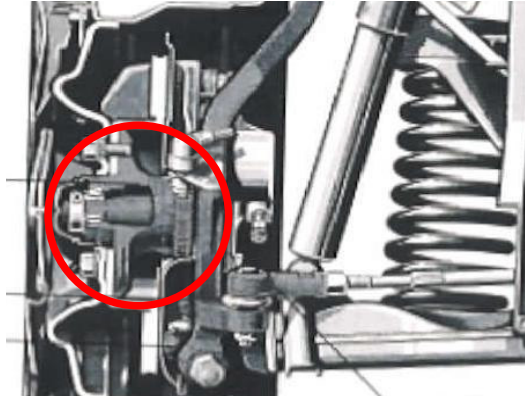
- 1) Son dövmede kalıbı doldurmama
- 2) Kat oluşması
- 3) Kalıp üzerinde oluşan gerilmelerde artma dolayısıyla kalıp ömründe azalma
- 4) Ön dövme şekli olmadığı için ilk parçanın son dövme gravürüne yerleştirilme zorluğu ve bundan dolayı oluşacak kaçıklık problemi

Tasarımcılar, ön dövme şeklini aşağıda belirtilen adımları ve tecrübeleri ile oluşturmaktadır [12]:

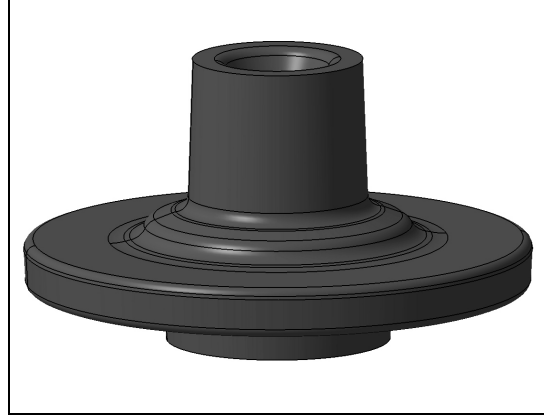
- 1) İş parçasının iki görünüşü belirli bir ölçekte çizilir.
- 2) Çapak çevresi, çapak eni iş parçasının iki yanına en az 6 mm olacak şekilde çizilir.
- 3) İş parçasının boyuna eksenine paralel olan XY doğrusu çizilir.
- 4) İş parçası, şekline göre elemanlara bölünür.
- 5) Bu elemanlara yatay çizgiler çizilir. Bu çizgilerin özellikle en büyük ve en küçük kesitlerden geçmesine dikkat edilir.
- 6) Yatay çizgilerin geçtiği kesit yüzeyleri hesaplanır.
- 7) Bu değerler XY düşey doğrultusundan itibaren yatay doğrular üzerine belirli bir ölçekte işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir.
- 8) Aynı işlem yatay çizgilerin geçtiği çapak kesit yüzeyleri hesaplanarak, bu yüzeylerde içinde yapılır. Çapak kesit yüzeyi, çapak eninin çapak kalınlığı ile çarpımıdır. XY referans çizgisinin her iki yanında simetrik olarak oluşan noktalar birleştirilerek ön şekil çizilmiş olur.

Günümüzde, ön dövme tasarımlarının uygun olup olmadığını belirlemek için kullanılan teknik ise sonlu elemanlar analizi ile bu çalışmaları yapmaktır. Birçok değişik geometride ve ölçülerdeki parçalar için geçerli sonuçlar veren bu programlarda ön dövmeye gerek olup olmadığının belirlenememesi en büyük dezavantajdır. Bu programlar her ne kadar ön dövmeye gerek olup olmadığını belirleyemese de sonuçları çok hızlı bir şekilde görmemizi sağlamaktadır. Yapılan tasarımların geçerlilikleri bu şekilde kontrol edilmektedir.

Bu bölümde hem ön dövmeli hem de ön dövmesiz olarak üretilen bir poyra parçası karşılaştırılacaktır. Poyra parçası otomobillerde tekerliğin aks ile bağlantısını sağlayan bir hareket aktarma parçasıdır. Şekil 4.1’de poyranın tekerlek içindeki kesit görünüşü ile Şekil 4.2’de CATIA model görünüşü verilmiştir. Sıcak dövme ile üretilen parçaların analizleri ayrıca MSC-Superforge programında da aynı şartlar altında gerçekleştirilecek ve gerçek üretim ile analiz sonuçları kıyaslanarak ön dövme gerekliliği ispat edilmiş olacaktır.



Şekil 4.1. Poyranın Tekerlek İçindeki Kesit Görünüşü



Şekil 4.2 Poyranın CATIA model görünüşü

4.2. Örnek Poyra Çalışması

4.2.1 Ön dövme üretim

Poyra dövme parçası aşağıda belirtilen koşullarda iki kademede çekişte dövülmüştür. Malzeme: S50C (DIN 1.1213), malzemenin kimyasal analizi Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. S50C Malzemesinin Kimyasal Analizi

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu
Min	0,50	0,15	0,60	-	0,020	-	-	-
Maks	0,52	0,30	0,70	0,025	0,030	0,25	0,20	0,25

Malzeme Ebatları : Çap 60 mm, boy 133 mm

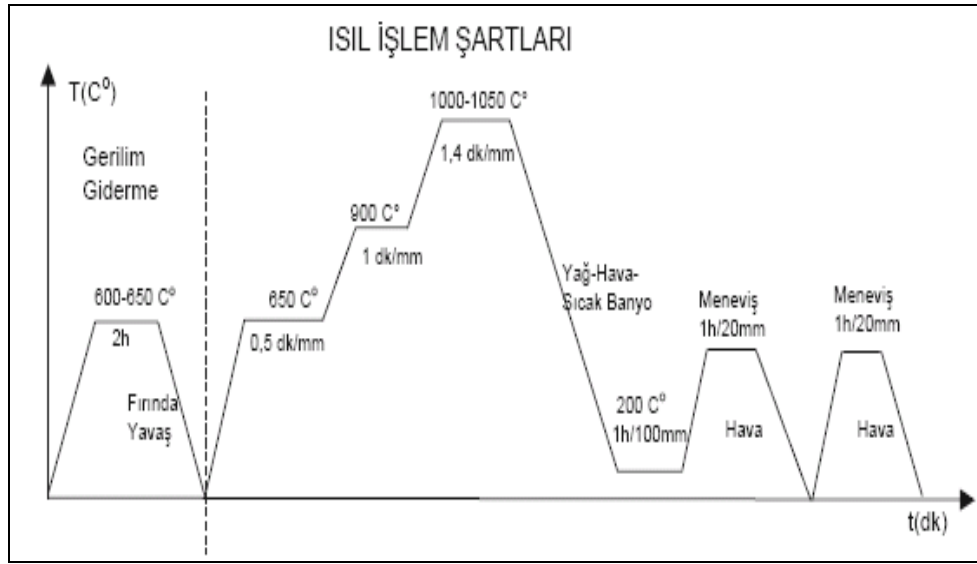
Malzeme Ağırlığı : 2950 ± 30 (gr)

Malzeme Sıcaklığı : Malzeme sıcaklığı 1220-1250 °C arasında dövme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kalıp malzemesi : Kalıp malzemesi olarak endüstride sıcak iş kalıp malzemesi olarak kullanılan H13 (DIN 1.2343) malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal analizi Tablo 4.2 de , ısıtım şartları da Şekil 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.2 DIN 1.2343 Malzemenin Kimyasal Analizi

	Minimum	Maksimum
%C	0,33	0,41
%Mn	0,25	0,50
%Si	0,80	1,20
%Cr	4,80	5,50
%Mo	1,10	1,50
%V	0,30	0,50
%S maks.	-	0,02
%P maks.	-	0,03



Şekil 4.3 DIN 1.2343 Malzemenin Isıl İşlem Şartları

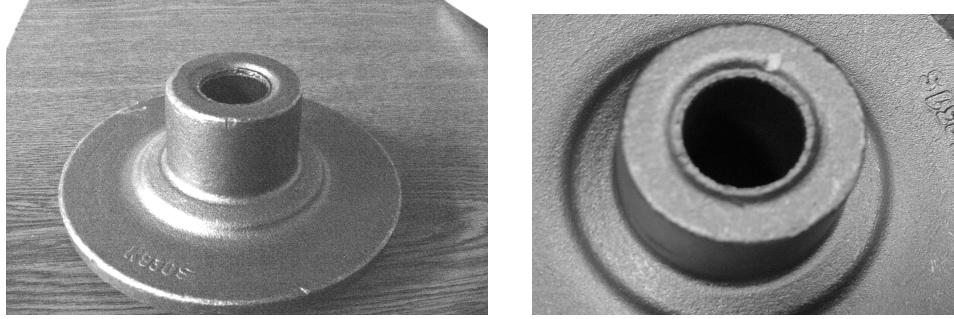
Kalıp sıcaklığı : 200 °C

Çekiç : Poyra parçasını dövmek için kullanılan çekicin özellikleri Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3 Kullanılan Çekicin Teknik Özellikleri

Huta Zygmunt MPM 6300 B Çekici		
Vuruş Enerjisi	kj	70
Maks. Üst kalıp ağırlığı	kg	800
Yaklaşık dövme ağırlığı	kg	1,5-7
Vuruş Hızı	vuruş/dakika	100

Yukarıda belirtilen parametreler altında ön dövmeli olarak gerçekleştirilen dövme işlemi sonucunda poyra parçası üretilmiştir. Şekil 4.4a da ön dövmeli olarak üretilen poyranın genel görünüşü ve Şekil 4.4b de ise şaft bağlantı kısmının görünüşü verilmiştir. Ön dövmeli üretim sonucunda görülmektedir ki parça üzerinde kat, doldurmama dövme kusurları görülmemiştir.



Şekil 4.4 a) Ön Dövmeli Poyra Genel Görünüşü, b) Ön Dövmeli Poyranın Şaft Görünüşü

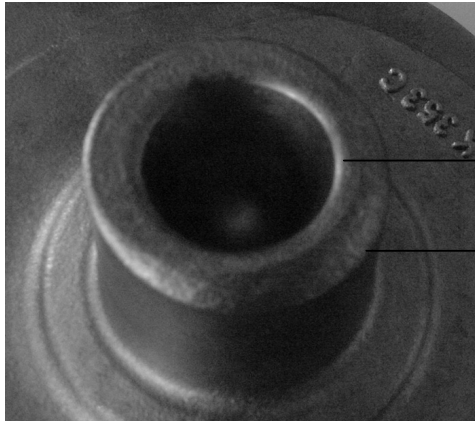
4.2.2 Ön Dövmesiz Üretim

Bu aşamada ön dövmeli üretim ile aynı şartlar altında ön dövme kademesi olmadan poyra dövülmüştür. Üretim sonucunda parçanın şaft kısmında doldurmama hatası oluşmuştur. Doldurmama olmasının sebebi ön şekil verilmediği için malzemenin şaft kısmına yürümemesidir. Ayrıca silindirik parça ön dövme şekli olmadığı için gravüre düzgün yerleştirilememiş ve parçada malzeme dağılımı düzgün olmamıştır. Şekil 4.5a da ön dövmesiz olarak üretilen poyranın kumlanmamış görünüşü verilmiştir. Siyah daire içinde şaft kısmındaki doldurmama hatası görülmektedir. Şekil 4.5b de ise parçanın kumlandıktan sonraki görünüşü verilmiştir. Bu şekilde doldurmama dövme kusuru şaft kısmında daha belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 4.5 a) Kumlanmamış Ön Dövmesiz Poyra Görünüşü, b) Kumlanmış Ön Dövmesiz Poyrada Doldurmama Hatasının Görünüşü

Yapılan ölçümlerden, doldurmama hatasının shaftın en uç noktasından 4.8 mm olduğu bulunmuştur. (Şekil 4.6) Bu hata parçanın işlenmesi esnasında kurtarmama problemi yaratacaktır.



Doldurmama hatası
shaft kısmından
maksimum 4.8 mm
ölçülmüştür.

Şekil 4.6 Ön dövmesiz Poyrada Doldurmama Hatasının Ölçüsel Değeri

4.2.3 Ön Dövmeli MSC-Superforge Analizi

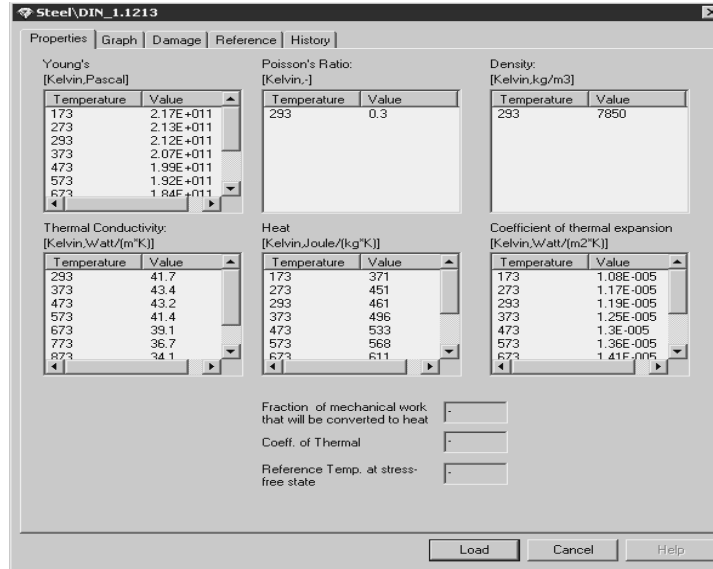
Bu çalışmada poyra parçasının dövme analizi MSC-Superforge programında yapılmıştır. MSC-Superforge sonlu elemanlar analiz programında yapılan simülasyon parametreleri gerçek dövme üretim koşulları ile benzer alınmıştır. Aşağıda programda kullanılan parametreler verilmiştir.

Model : Dövme kalıp ve iş parçası CAD (CATIA V5) ortamından alınmıştır.

Malzeme : “Autoforge Material Data Base”den DIN 1.1213 malzemesi seçilmiştir.

Program malzeme için varsaydığı özellikler Şekil 4.7 de gösterilmiştir. Şekil 4.7 de görülmektedir ki programda malzemenin elastiklik modülü, termal iletkenliği, ısı

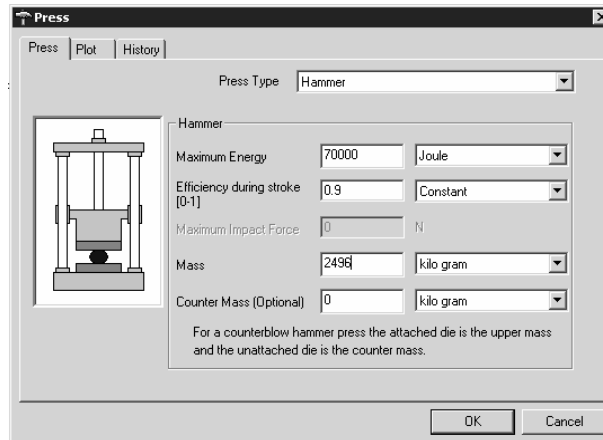
transfer katsayısı gibi özellikleri sıcaklık değişimi ile orantılı olarak alınarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.7 MSC. Superforge Programında DIN 1.1213 Özellikleri

Sürtünme: Program Coulomb Sürtünmesi ve Plastik Kesme Sürtünmesi seçenekleri mevcuttur. Simülasyon yapılırken Plastik Kesme Sürtünme Faktörü=0.5 seçilmiştir.

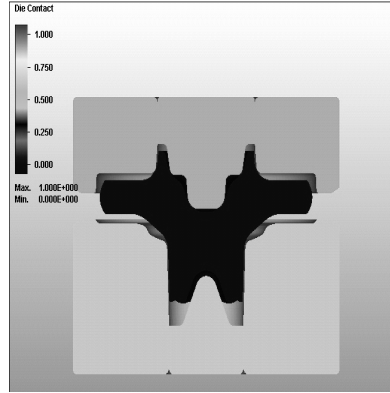
Pres : Dövme işlemi 6300 tonluk çekişte gerçekleştirilmiştir. Programa girilen veriler Şekil 4.8. de gösterilmiştir. Bu değerler Huta Zygmunt çekiç katalogundan alınarak girilmiştir. Çekiç tanımlaması için programa girilmesi gereken değerler: vuruş enerjisi, vuruş enerjisi verimliliği ve kalıp ağırlığını içermektedir.



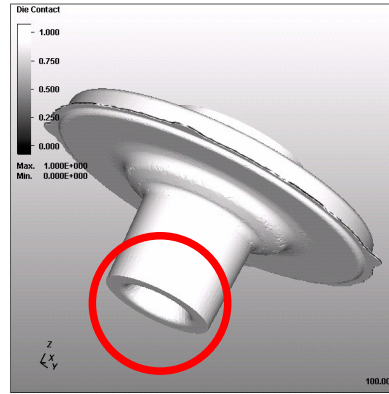
Şekil 4.8. Kullanılan Dövme Makinesi için Girilen Değerler

Sıcaklık : Kalıp sıcaklığı 200 °C, parça sıcaklığı 1230 °C olarak, gerçek şartlar programa girilmiştir.

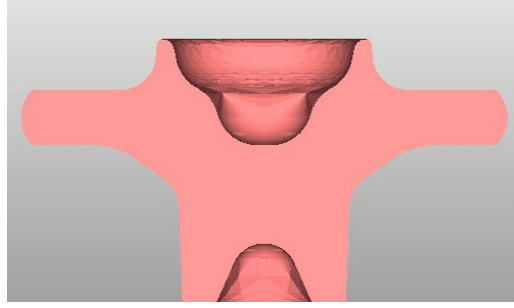
Programa dövme parametreleri girildikten sonra kalıp ve parça uygun şekilde yerleştirilir ve analiz başlatılır. Analiz sonucunda herhangi bir dövme hatası görülmemiştir. Program ile yapılan sonlu eleman analizi sonucunda oluşan parça Şekil 4.9.-4.10.-4.12 de, ayrıca ön dövme şeklinin kesit görünüşü de Şekil 4.11 de gösterilmiştir. Ön dövmeli olarak yapılan analiz sonucundaki parçada kırmızı ile gösterilen poyranın shaft kısımlarının tam olarak doldurduğu görülmektedir. Gerçek üretim ile örtüşen bu durum tek kademede ön dövmeli olarak üretilen poyrada herhangi bir dövme kusurunun oluşmadığı ispatlanmıştır.



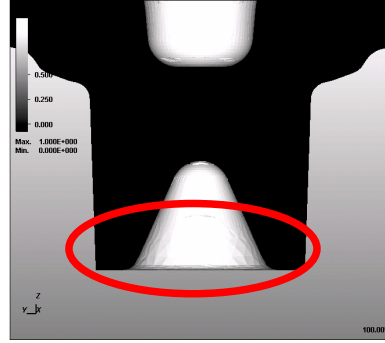
Şekil 4.9 Ara Kademe Kesit Görünüşü



Şekil 4.10 Bitmiş Parça Görünüşü



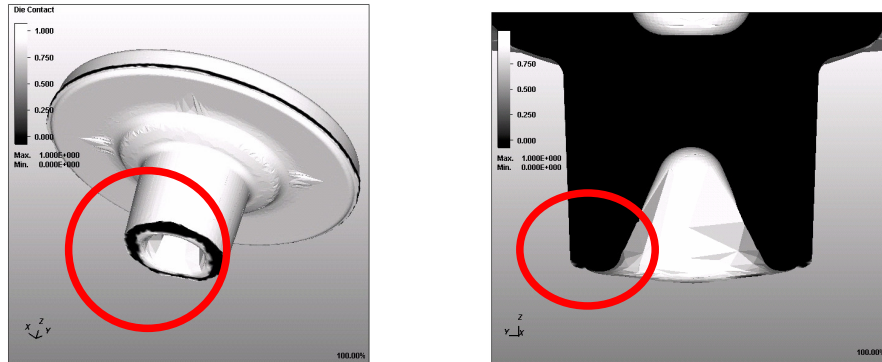
Şekil 4.11 Bitmiş Ön Dövme Kesit Görünüşü



Şekil 4.12 Bitmiş Parça Kesit Görünüşü

4.2.4 Ön dövmesiz MSC-Superforge Analizi

4.2.3 deki parametreler aynı tutularak iş parçası ön dövmesiz olarak direkt son dövme kalıbına konularak dövme analizi yapılmıştır. Sonuçlarda gerçek üretimde gözükken doldurmama hatası olduğu gözlenmiştir. (Şekil 4.13 a ve b)



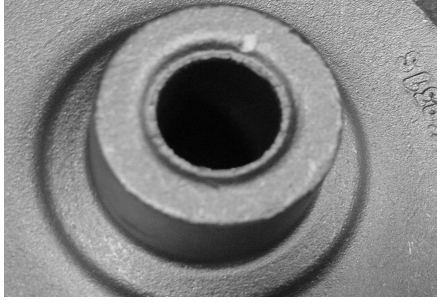
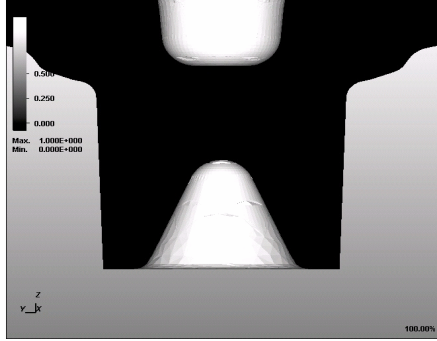
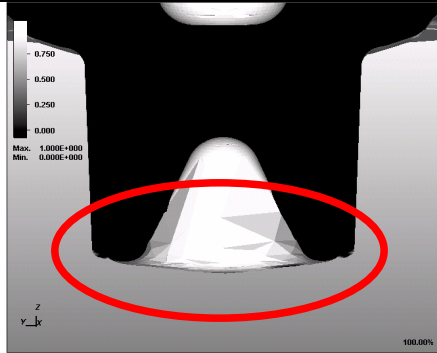
Şekil 4.13 a) Ön Dövmesiz Poyra Doldurmama Hatası b) Ön dövmesiz Poyra Kesit Görünüşü

Analiz sonucunda doldurmama hatası 4.5 mm olarak ölçülmüştür. Gerçek doldurmama hatasının ölçülen değer ile analiz sonucunda bulunan değer arasındaki fark kalıp yüzeyi şartları, sürtünme ve dış etmenlerin (operatör) etkisinden kaynaklanmaktadır.

4.3. Sonuç

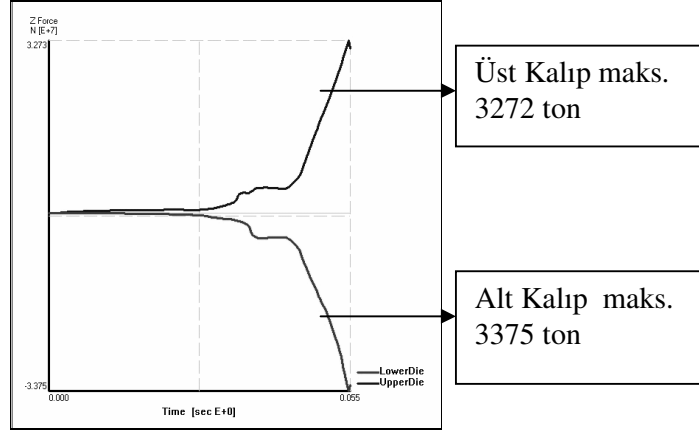
Dövmede ön dövme kademesinin, son dövmede oluşabilecek dövme hatalarının oluşmasını engellediğinden bahsetmiştik. Gerek yapılan gerçek üretim denemeleri gerekse sonlu elemanlar analizi ile poyra dövme parçasında yapılan durum çalışmaları bunu kanıtlamıştır. Aynı dövme şartlarında yapılan dört çalışmanın sonuçları ve oluşan hataları özet olarak Tablo 4.4 de verilmiştir. Bu tablodan da görülmektedir ki ön dövmesiz olarak üretilen poyraların shaft kısımlarında doldurmama dövme kusuru oluşmuştur. Bunun temel nedeni malzemenin ön dövmesiz durumda shaft kısmına yürüyememesidir.

Tablo 4.4 Poyra Durum Çalışması Sonuçları Özet Tablosu

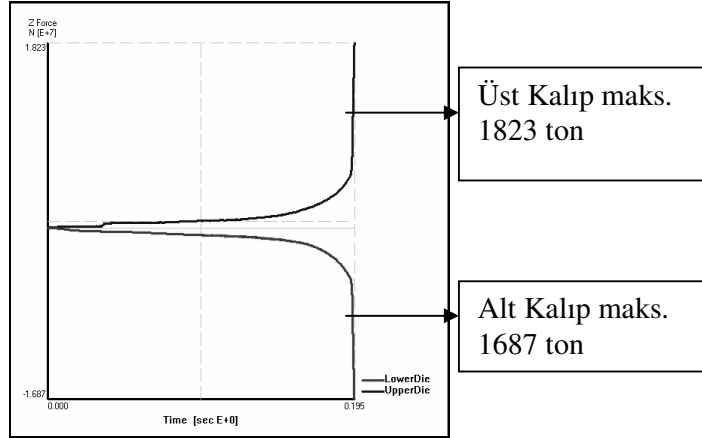
Çalışma	Sonuç	Hata
Ön dövme kademeli gerçek dövme		Dövme hatası oluşmamıştır
Ön dövme kademesiz gerçek dövme		Şaft kısmında doldurmama dövme hatası oluşmuştur
Ön dövme kademeli Superforge analizi		Dövme hatası oluşmamıştır
Ön dövme kademesiz Superforge analizi		Şaft kısmında doldurmama dövme hatası oluşmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, son dövmede kalıplara etki eden basma kuvveti ile zaman arasında oluşan grafiğe bakıldığında görülmektedir ki; Ön dövme üretimde

kuvvet 3250-3400 ton aralığında oluşmakta iken, ön dövmesiz üretimde bu kuvvet 1680-1825 ton aralığında kalmıştır. Bu sebeple malzeme şaft kısmına yürüyememiş ve doldurmama hatası oluşmuştur. (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15)



Şekil 4.14 Ön dövme üretim Kuvvet-Zaman grafiği

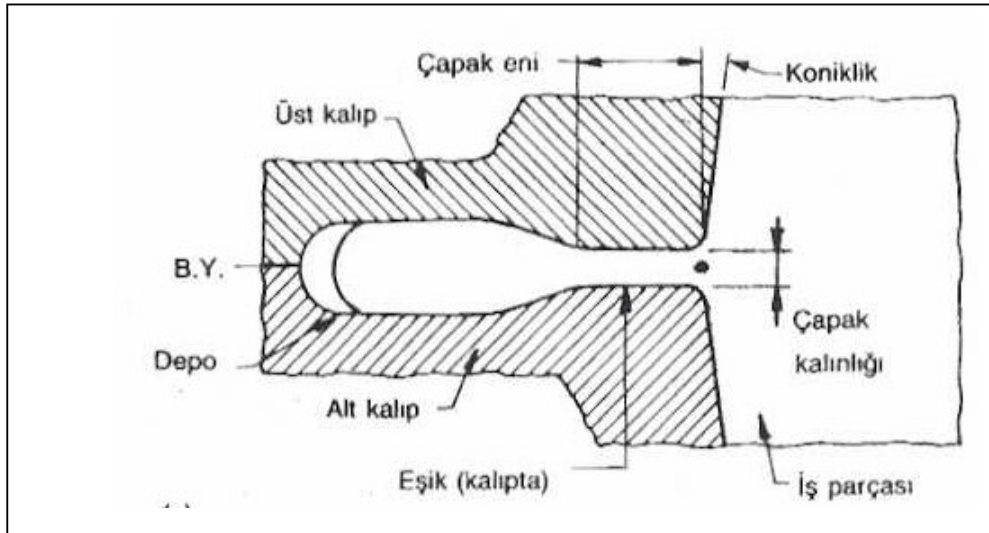


Şekil 4.15 Ön dövmesiz üretim Kuvvet-Zaman grafiği

5. ÇAPAK PARAMETRELERİNİN ÖN DÖVME İŞLEMİNE ETKİSİ

5.1. Çapak Tanımı

Kapalı kalıpla dövmede hammadde hacmi üretilecek parçanın hacminden bir miktar fazla alınır. Fazla madde bölüm yüzeyinden (B.Y) iş parçasının çevresini saran ve kalınlığı iş parçasının büyüklüğüne ve şekline göre değişen çapağı oluşturur (Şekil 5.1). Çapağın dolması için ön dövme ve son dövme gravüründe çapak kanalı açılır. Çapak sadece alt ve üst kalıplara açılabilceği gibi bölüm yüzeyini ortalayarak her iki kalıba da açılabilir. Çapak parametrelerinin saptanmasında dövülecek malzemenin cinsi, dövmede kullanılacak makine, iş parçasının ağırlığı ve şekil karmaşıklığı göz önüne alınması gereken unsurlardır [9]. Çapak kanalında eşiği aşan malzeme depoya dolar. Deponun boyutları özellikle bir miktar büyük seçilerek fazla malzemenin çapak kanalına rahatça sığması ve böylece kalıpların tam olarak öpüşmesi sağlanır.



Şekil 5.1. Çapak Görünüşü [9]

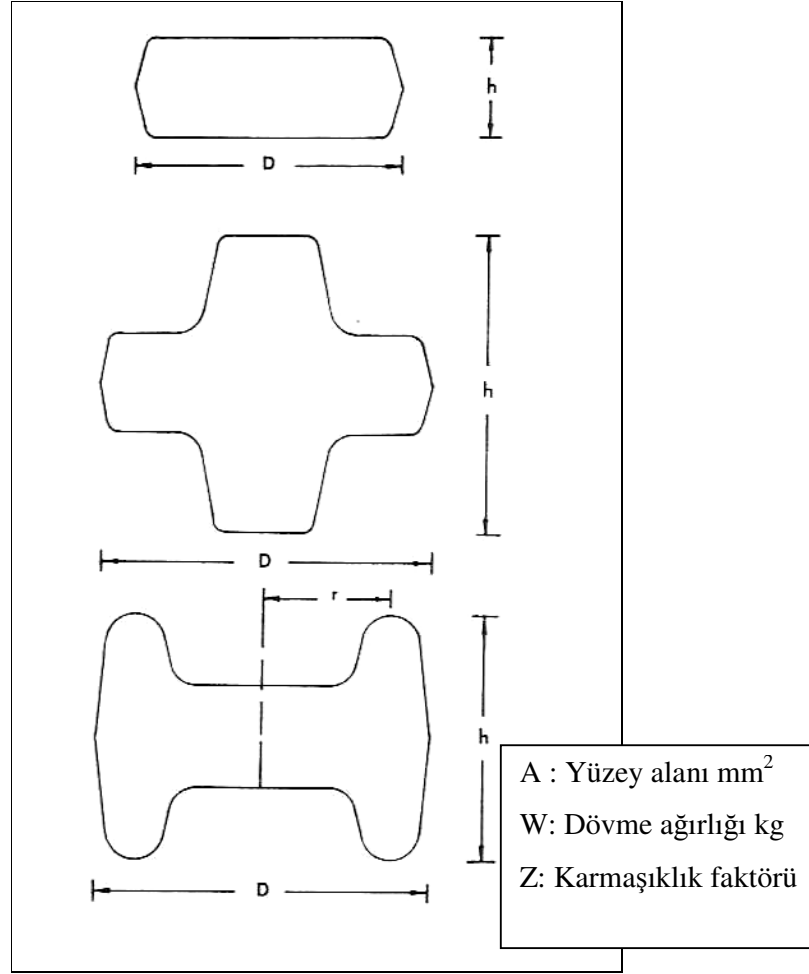
Her ne kadar çapak oluşumu kalıbın tam olarak dolmasında çok önemli rol oynasa da aşırı çapak malzeme kaybı ve çok yüksek kalıp basınçları gibi sakıncaların yanında iş parçasında iç kusurların (kat, katmer) oluşmasına da yol açabilir. Aşırı çapak nedeniyle iç kusurların oluşumu özellikle dövme sırasında malzemenin, iş parçasının orta kısımlarından yanlara doğru hareket etmeye zorlanması sırasında oluşur.

Çapak parametrelerinin belirlenmesinde, endüstride tecrübeye dayalı oluşturulmuş formüller kullanılmaktadır. Çapak kalınlığı 0.8 mm'den 10 mm'ye kadar değişen ölçülerde alınabilmekteyken, çapak genişliği için çapak kalınlığının 2.5 katı civarında değişen değerler kullanılmaktadır. Dövme parçaların şekil ve ağırlıklarına dayalı geliştirilen bazı formüller Tablo 5.1 de verilmiştir. Bu formüller deneyler sonucu oluşturulan ampirik formüllerdir.

Tablo 5.1 Çapak Kalınlığı ve Çapak Alanı Oranı Formülleri[10]

	Çapak Kalınlığı (t)	Çapak alanı oranı (w/t)
Voigtlander	$t = 0.016D = 0.018\sqrt{A}$	$w/t = 63/\sqrt{D}$
Vierregge	$t = 0.017D + 1/\sqrt{D} + 5$	$w/t = \frac{30}{3\sqrt{D}[1 + 2D^2/h(2r + D)]}$
Neuberger & Mockel	$t = 0.89\sqrt{W} - 0.017W + 1.13$	$w/t = 3 + 1.2e^{1.09W}$
Taterin & Tarnovski	$t = 2^3\sqrt{W} - 0.01W - 0.09$	$w/t = 0.0038ZD/t + 4.93/W^{0.2} - 0.2$

Tablo 5.1 de kullanılan semboller ve birimleri Şekil 5.2 de açıklanmıştır.



Şekil 5.2 Tablo 5.1 deki formülleri açıklayan semboller

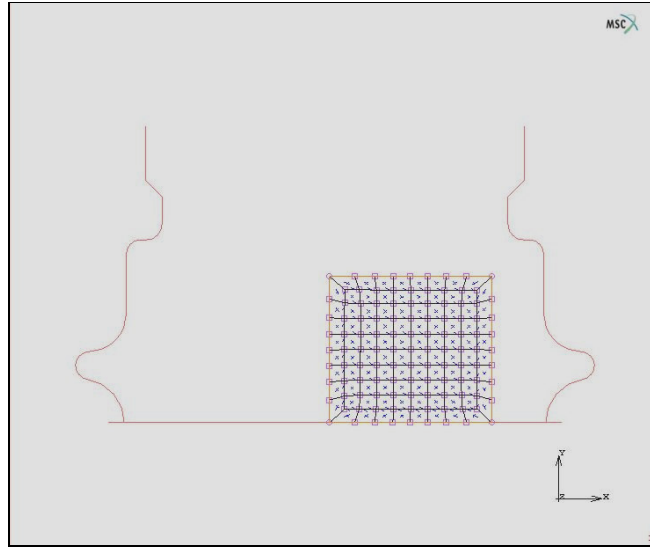
Bu formüller ve endüstride kullanılan tecrübeye dayalı değerler aynı parça için farklı çapak parametre değerleri sonucu vermektedir. Bu sebeple tasarımcılar için kullanacakları değerlerden çok çapak parametrelerinin değişiminin kalıp ve parça üzerindeki etkisini bilmek daha fazla önem taşımaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada bir dişli parçasında başlıca 3 çapak parametresi: çapak genişliği (w), çapak kalınlığı (t) ve kalıp ağız çıkış yarıçapı (r) değiştirilerek kalıp ve parça üzerindeki etkileri aşağıdaki durum çalışmalarında sonlu elemanlar analizi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada MSC-Superform programı kullanılmıştır.

Değişken olarak alınan parametreler: çapak kalınlığı, çapak genişliği ve kalıp ağız çıkış yarıçapıdır. Diğer bütün parametreler: malzeme miktarı, sıcaklık, çekme, sürtünme, dövme hızı sabit tutulmuştur.

Çapak parametreleri hem ön dövmede hem de son dövmede önem taşımak ile birlikte bu tezde ön dövme kalıbı için çapak parametreleri incelenecektir. Son dövmede, dövme kusurunun oluşmaması için uygun bir ön dövme elde etmiş olmak gerekmektedir. Ön dövme parçası üzerinde oluşan herhangi bir doldurmama veya kat problemi son dövmenin hatalı üretilmesine yol açacaktır. Ayrıca endüstride son dövme şekli belli iken ön dövme kalıp tasarımı tecrübe ile yapılmaktadır bu sebep ile de çapak parametrelerinin önemi daha öne çıkmaktadır.

Çapaksız ağırlığı 525 gr (çapaklı ağırlığı 600 gr) gelen dişli parçasının MSC-Superform programı kullanılarak 2 boyutlu olarak yapılan ön dövme analizinde sabit tutulan analiz parametreleri programa giriliş sırasına göre aşağıda verilmiştir.

1. CAD dosyalarının alınması ve elemanlandırma: Dişli parçası ve kalıplar 2 boyutlu olarak IGS formatında alınmıştır. Yarıçapı 30 mm, boyu 27 mm olan silindirik iş parçası 10x10 olarak dörtgen elemanlara bölünmüştür. Şekil 5.3’de elemanlara ayrılmış iş parçası ve alt ve üst kalıplar görülmektedir.



Şekil 5.3 Alt, üst kalıplar ve sonlu elemanlara ayrılmış iş parçası

2. Malzeme: Dişli parçası 41Cr4 malzemesinden üretilmektedir. Bu sebep ile programın malzeme kütüphanesinden bu malzeme seçilmiştir. Malzemenin kimyasal içeriği Tablo 5.2 de verilmiştir. Malzeme karakteristiği pekleşen elastik-plastik olarak seçilmiştir.

Tablo 5.2 41Cr4 malzemenin kimyasal analizi

	%C	%Si	%Mn	%P maks	%S	%Cr	%Cu maks	%Al
Min	0,38	0,15	0,60	-	0,020	0,90	-	0,020
Maks	0,45	0,35	0,80	0,035	0,035	1,20	0,30	0,050

41Cr4 malzemesinin mekanik özellikleri ise:

- 1) Soğuk kesilebilirlik için gerekli sertlik : max. 255 HB
- 2) Akma dayanımı : min. 800 (N/mm²) (oda sıcaklığı), (STAHLSCHLUSSEL 1998'den benzer malzemelere göre kıyaslanarak 1200 °C deki akma değeri yaklaşık 175 N/mm² olarak alınmıştır.)
- 3) Çekme dayanımı : 1000-1200 (N/mm²)
- 4) Kopma uzaması : min. 11 (%)
- 5) Kesit daralması : min 30 (%)
- 6) Tokluk (darbe enerjisi) : min. 30 (J)

3. Temas : Bu kısımda alt ve üst kalıplar, simetri eksen ve iş parçası tanımlanmaktadır. Kalıplar 200 °C ön sıcaklıkta, deforme olmayan ve hız kontrollü olarak seçilmiş ve aşağıdaki parametreler alt ve üst kalıp için program datalarından seçilmiştir.

Sürtünme : 0.2 (grafitli yağlamaya göre)

Temas ısı transfer katsayısı : 30 (sıcak dövme için) (W/m °C)

4. Ön koşul olarak malzeme sıcaklığı 1200 ° C olarak tanımlanmıştır.

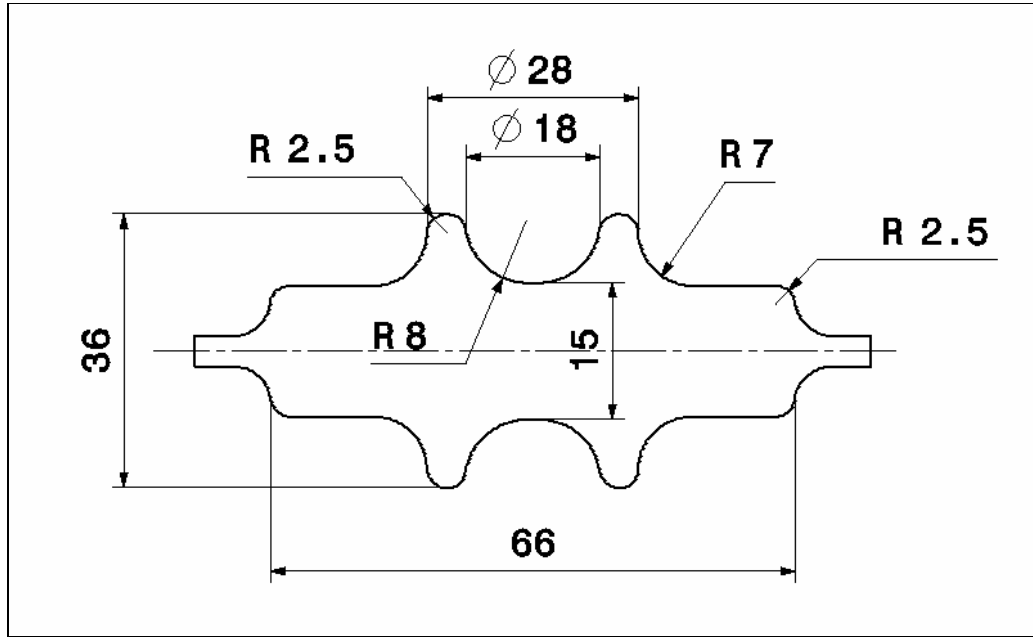
5. Yükleme durumu : Bu kısımda dövme işleminde kullanılan tezgah seçimi yapılmıştır. Geri vites dişlisi normal üretimde Huta Zygmunt MPM-3150 çekicinde dövuüldüğü için dövme tezgahı olarak çekik seçilmiş ve Tablo 5.3'de belirtilen değerler programa girilmiştir.

Tablo 5.3 Kullanılan Çekicin Teknik Özellikleri

Huta Zygmunt MPM 3150 B Çekici		
Vuruş Enerjisi	Kj	36
Maks. Üst kalıp ağırlığı	Kg	400
Yaklaşık dövme ağırlığı	Kg	0,6-3
Vuruş Hızı	vuruş/dakika	110

6. Programın çalıştırılması : MSC-Superform sonlu elemanlar analiz programına girilen bu değerler sonucunda analiz sadece kalıplardaki çapak geometrisi değiştirilerek her bir deneme için ayrı olarak çalıştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan dişli parçası geri vites dişlisidir. Ön dövmenin ölçülendirilmiş görünüşü Şekil 5.4 da verilmiştir. Çapak parametreleri değiştirilirken mevcut üretim şartlarındaki çapak geometri ölçüleri baz alınarak analizlere başlanmıştır. Mevcut üretimde Çapak genişliği (w) 5 mm, çapak kalınlığı (t) 2 mm ve kalıp ağız çıkış yarıçapı (r) 3 mm olarak imalat yapılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda çapak parametreleri değiştirilerek tasarım sırasında ön dövme kalıbı üzerinde oluşan basma gerilmelerinin ve dövme kusurlarının çapak parametre değişimlerinden nasıl etkilendiği incelenmiştir.



Şekil 5.4 Geri vites dişlisinin ön dövmesinin ölçülendirilmiş görünüşü

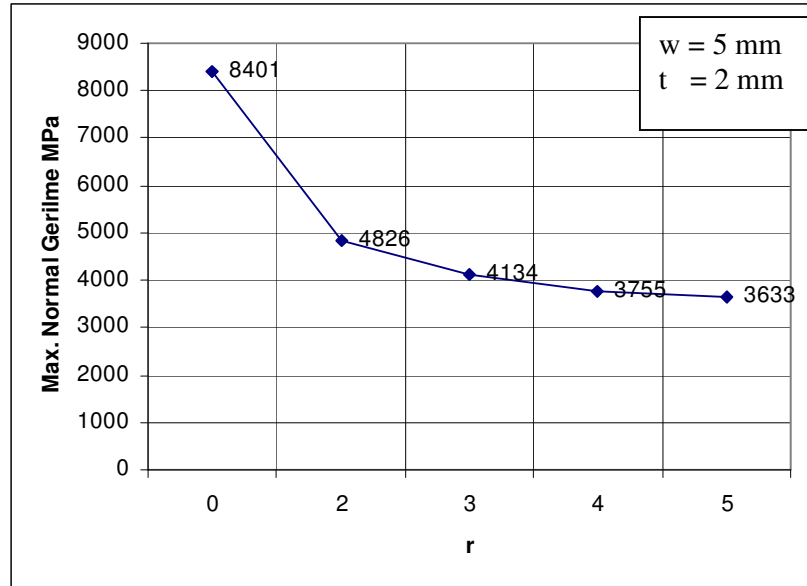
5.2 Kalıp Çıkış Ağız Yarıçapı

Malzemenin akışı sırasında çapak eşiğine gidişini etkileyen en önemli parametredir. Analizlerde çapak kalınlığı (2 mm) ve genişliği (5 mm) sabit tutularak kalıp ağız çıkış yarıçapı 0 ile 5 mm arasında değiştirilmiştir. Analizler sonucunda kalıp ağız çıkış yarıçapının büyütüldükçe malzemenin çapak kanalına daha rahat çıktığı gözlenmiştir. Ayrıca kalıp üzerinde oluşan maksimum basma gerilmelerinin, kalıp

ağız çıkış yarıçapı arttıkça azaldığı görülmektedir. Bu sonuç tasarım yapılırken kalıp çıkış ağız yarıçapının büyütülmesinin parçada doldurmama oluşma riskini artırdığını göstermektedir. Tablo 5.4’de ve Şekil 5.5’de alınan değerler ve analiz neticelerinden elde edilen gerilme değerleri görülmektedir. Gerilme değerleri kalıplardaki meme kısımlarında ve kalıp ağız çıkış yarıçapında maksimum değerlere ulaşmaktadır. Bu sebeple dövme sırasında en çabuk yorulan ve aşınan kısımlar buralar olacaktır. Yapılan analizlerde yarıçap için en düşük (0) değeri ve en büyük (5 mm) sınır değerleri denenmiştir. Görülmüştür ki çıkış yarıçapı sıfır yapıldığı zaman yarıçap bölgesindeki gerilme değeri 8400 MPa ulaşmıştır bu da göstermektedir ki bu şekilde bir tasarım yapmak kalıbın bu kısmının hemen bozulmasına yol açacaktır.

Tablo 5.4 Kalıp ağız çıkış yarıçapı değerlerine göre maksimum gerilmeler

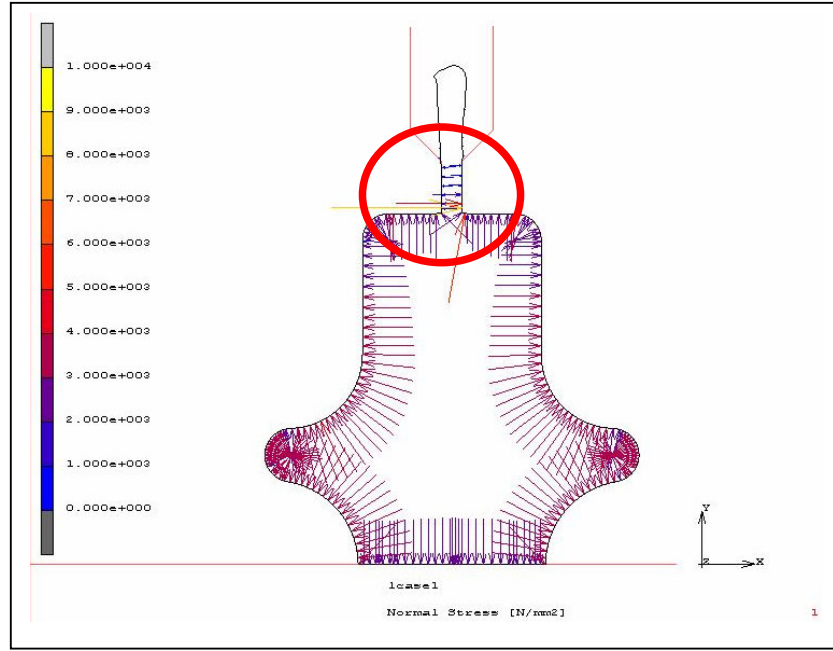
Kalıp Ağız Çıkış Yarıçapı (mm)	Maksimum Gerilme (MPa)
0	8401
2	4826
3	4134
4	3755
5	3633



Şekil 5.5 Maksimum normal gerilmenin kalıp ağız çıkış yarıçapına göre değişimi

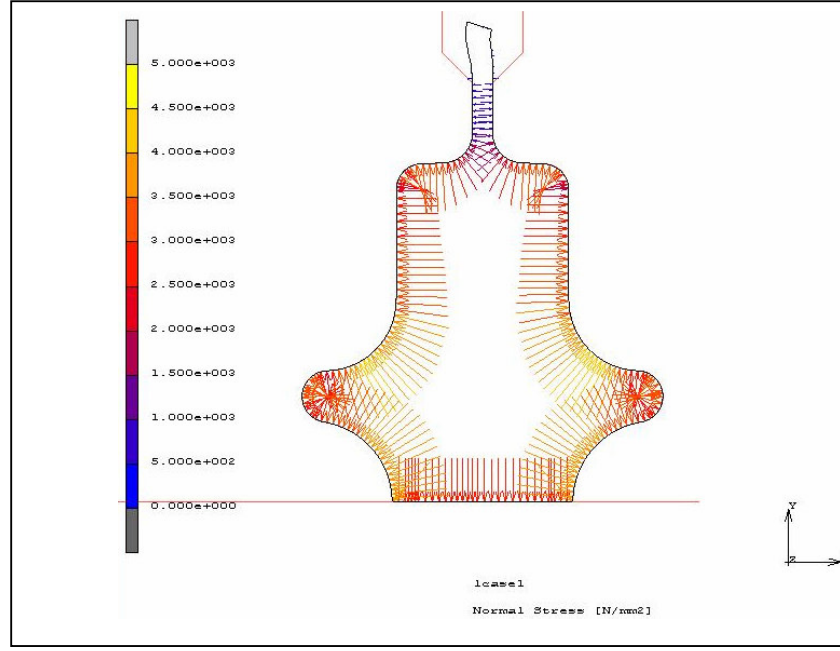
Yapılan analiz çalışmalarından örnekler Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 de verilmektedir. Bütün şekillerde gerilme değerlerini gösteren skala 0-5000 MPa arasındadır. (5000 MPa'ı geçen gerilmeler bulunan analizlerde skala 10000 MPa kadar büyütülmüştür.)

Şekil 5.6 da $r=0$ olduğu analiz şekli verilmiştir. Kırmızı ile gösterilen kısımda, gerilme, malzeme akışı zor olduğu için çok yüksek değerlere ulaşmıştır (8401 MPa). Parçada herhangi bir dövme kusuru görülmemektedir.

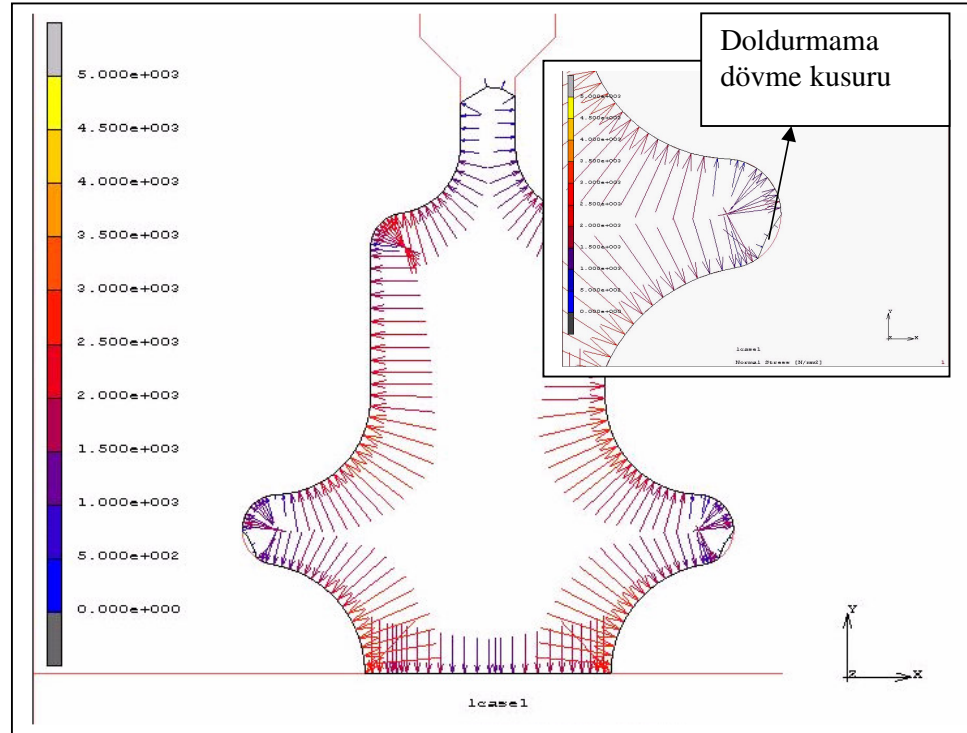


Şekil 5.6 Çapak parametreleri $t=2$ mm, $w=5$ mm ve $r=0$ mm olan analiz

Şekil 5.7 de $r=3$ mm gerçek imalat değeri alınarak yapılan analiz görülmektedir. Parçada herhangi bir kat veya doldurmama hatası görülmemektedir. Gerilme değeri maksimum 4134 MPa'a kırmızı daire içindeki sarı oklar ile gösterilen kalıp ağız çıkış yarıçapı kısmında ulaşmıştır.



Şekil 5.7 Çapak parametreleri $t=2$ mm, $w=5$ mm ve $r=3$ mm olan analiz



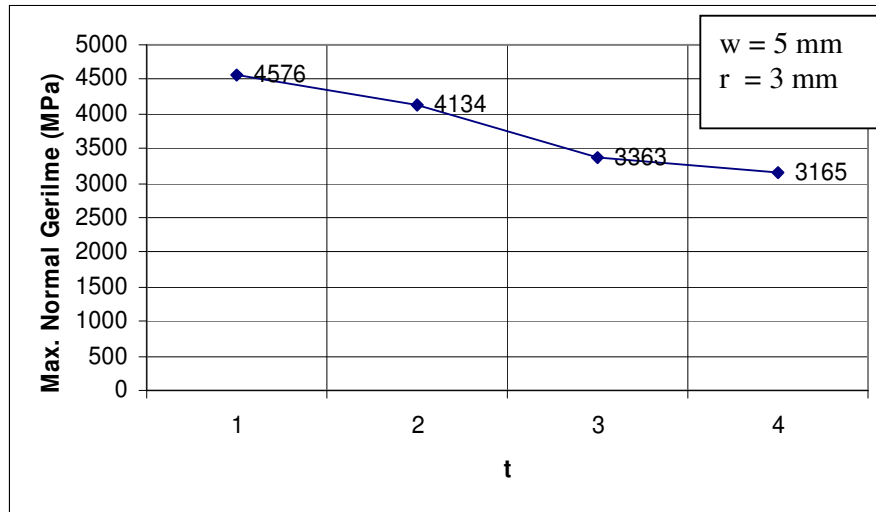
Şekil 5.8 Çapak parametreleri $t=4$ mm, $w=5$ mm ve $r=5$ mm olan analiz

Şekil 5.8 de en düşük gerilmeyi sağlayan kalıp ağız yarıçapı ile birlikte çapak kalınlığı da artırıldığında doldurmama hatasının olduğu gözlenmektedir. Bu durumda maksimum basınç 2805 MPa kadar çıkabilmiştir.

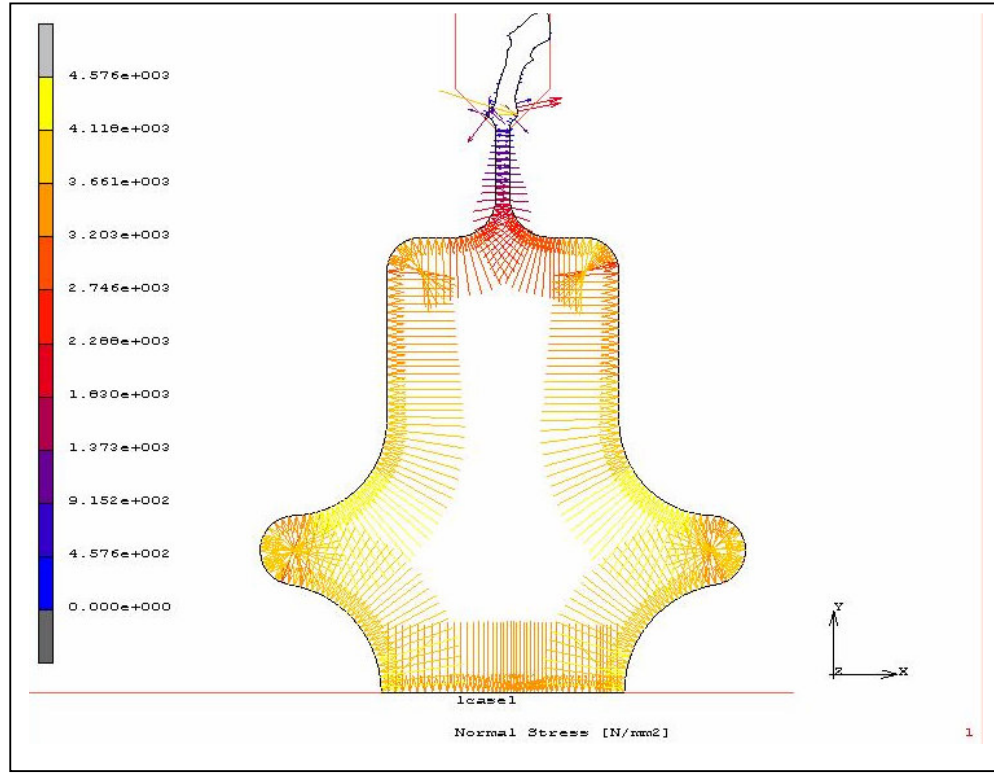
5.3 Çapak Kalınlığı

Çapak geometrisinde en önemli iki parametre çapak genişliği ve çapak kalınlığıdır. Çapak kalınlığı değiştirilerek yapılan sonlu eleman analizleri sonucunda çapak kalınlığının azaldıkça kalıp içersindeki normal gerilimin arttığı görülmüştür (Şekil 5.9). Bu bir açıdan bakınca parçanın doldurması veya kat problemi ile karşılaşmaması için olumlu bir etki yaratırken, fazla dar çapak kalınlığı kalıp ömrüne yüksek gerilmelerden dolayı olumsuz etki yapmaktadır. Bu sebep ile tasarımcılar çapak kalınlığını seçerken bu iki durumun farkında olmaları gerekmektedir.

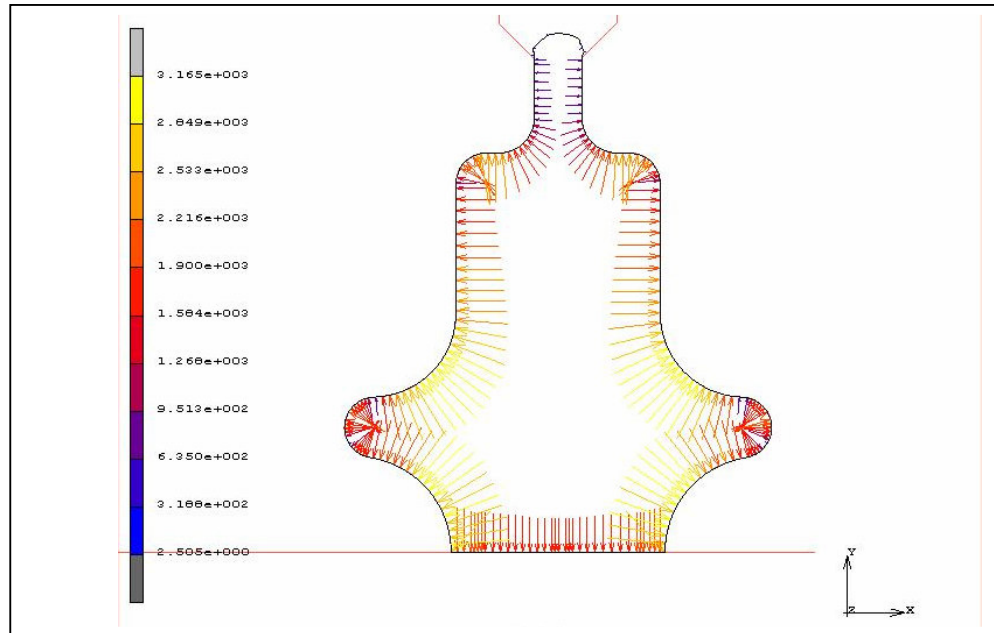
Değişken çapak kalınlığı değerleri olarak 1,2,3 ve 4 mm alınmıştır. Genişlik ve yarıçap değerleri için imalatda kullanılan $w=5$ mm ve $r=3$ mm sabit tutulmuştur. Şekil 5.10 ve 5.11 de çapak kalınlığının değiştirilmesi sonucunda parça üzerinde oluşan normal gerilmeler gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Maksimum normal gerilmenin çapak kalınlığına göre değişimi



Şekil 5.10 Çapak parametreleri $t=1$ mm $w=5$ mm $r=3$ mm olan analiz



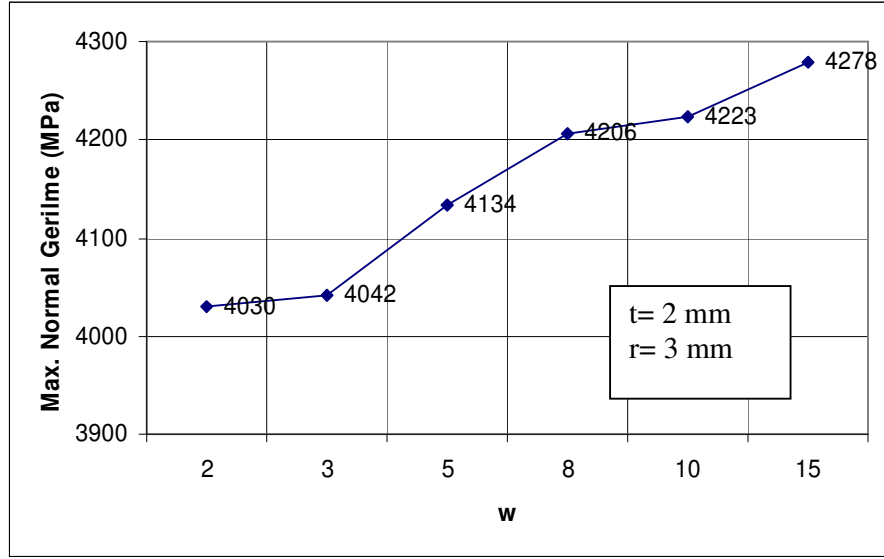
Şekil 5.11 Çapak parametreleri $t=4$ mm $w=5$ mm $r=3$ mm olan analiz

Çapak kalınlığı 1 mm den 4 mm'ye çıkarıldığında kalıp içerisinde oluşan maksimum normal gerilme yaklaşık % 30 oranında azalmaktadır. Şekil 5.11 de çapak kalınlığı 4 mm olan analiz sonucu ve gerilmeler gösterilmiştir. Şekilde parçanın çıkıntı kısımlarında doldurmama hatası gibi gözüken kısımlar elemanların boyutlarına ve deforme oluş şekillerine bağlı olarak oluşan boşluklardır. Şekil 5.8'de ise doldurmama hatası sonlu elemanların şekline bağlı olarak değil çapağa fazla malzeme çıkmasından dolayı kaynaklanmıştır.

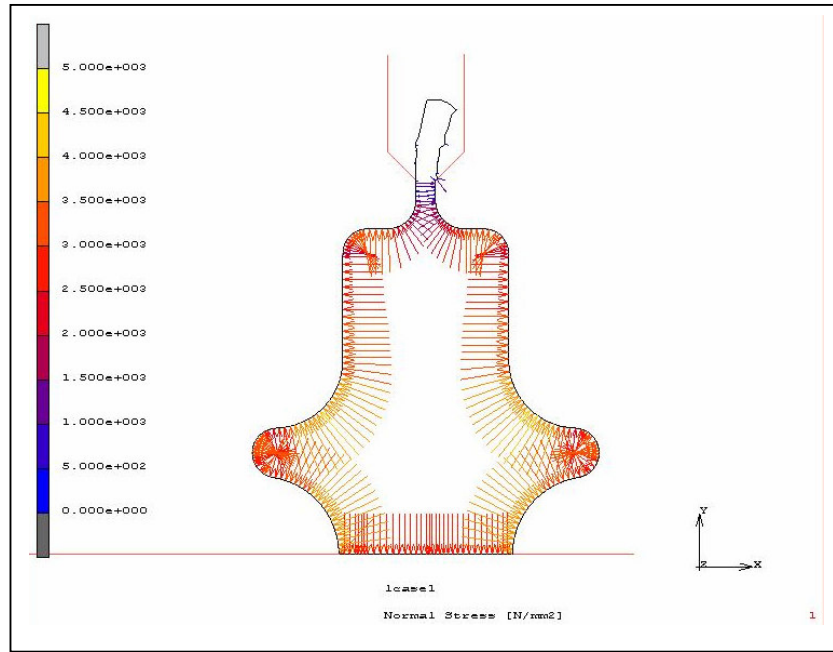
Bu analizlerden de anlaşılabileceği üzere çapak kalınlığının artırılması kalıp üzerine oluşan gerilmeleri azaltmaktadır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer konuda dövme esnasında kalıplarda en çabuk aşınan yerlerin çapak bölgesi olduğudur. Bu sebeple çapak kalınlığı belirli bir dövme adetine ulaştıktan sonra aşınmadan dolayı büyüyecektir. Bu sebeple tasarımda, çapak kalınlığı seçimi esnasında tasarımcıların çift etkiyi de hesaba katmaları gerekmektedir.

5.4 Çapak Genişliği

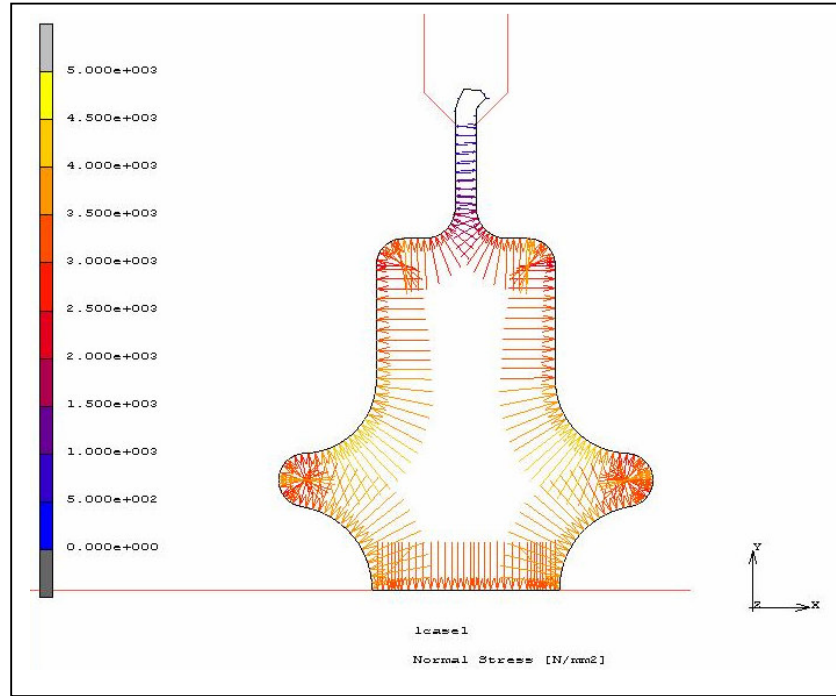
Çapak genişliği çapak alanında sıkışan malzemenin depoya çıkma zamanı açısından önem taşımaktadır. Çapak kalınlığı 2 mm ve kalıp ağız çıkış yarıçapı 3 mm (uygulanan gerçek tasarım değerleri) analizlerde sabit tutularak çapak genişliği 2,3,5,8,10 ve 15 mm alınarak analizler yapılmıştır. Çapak genişliğinin artırılmasının, yapılan analizlerde, kalıp içerisinde oluşan gerilmelerin artmasına sebep olduğu görülmektedir (Şekil 5.12). Fakat bu artış çapak kalınlığının etkisine göre daha azdır. Yapılan analizlerin hiç birisinde doldurmama hatasına rastlanmamıştır. Çapak genişliği 15 mm alınarak yapılan analiz sonucunda çapağın depoya çıkmadığı gözlenmiştir. Analizlerde oluşan gerilmeler Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 de gösterilmiştir.



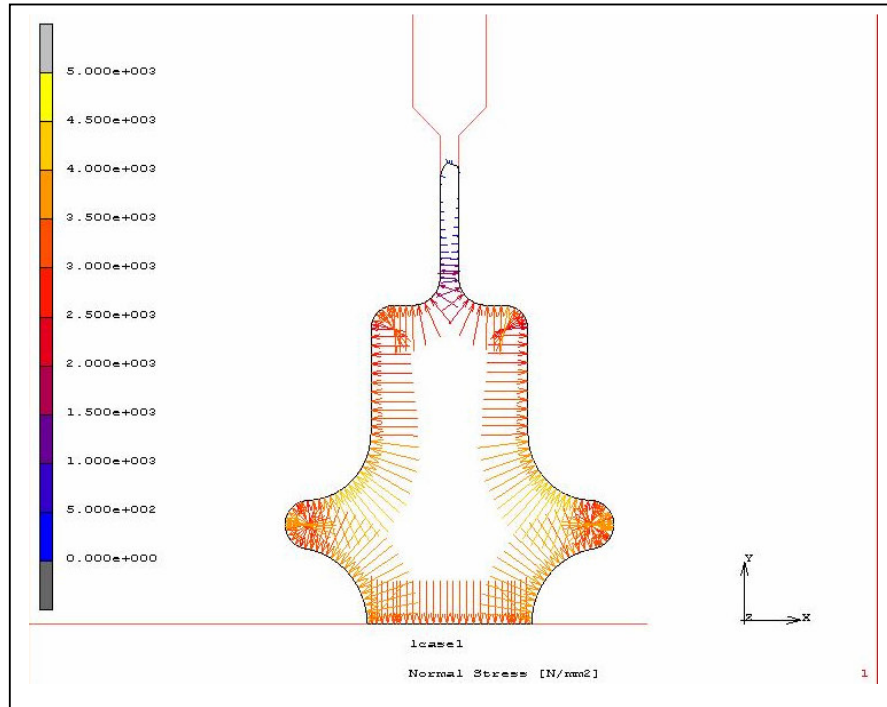
Şekil 5.12 Maksimum normal gerilmenin çapak genişliğine göre değişimi



Şekil 5.13 Çapak parametreleri t=2 mm w=2 mm r=3 mm olan analiz



Şekil 5.14 Çapak parametreleri $t=2$ mm $w=8$ mm $r=3$ mm olan analiz

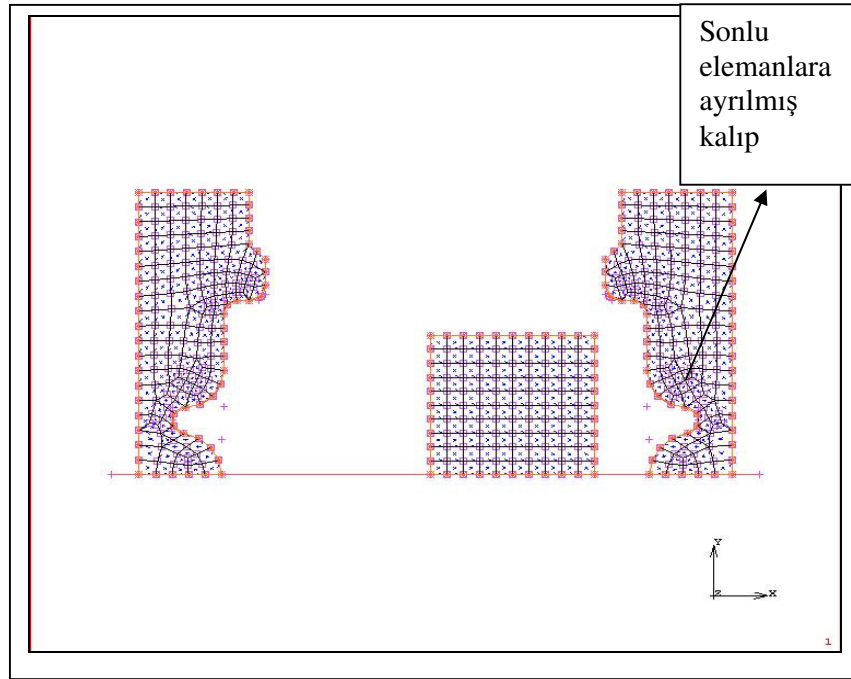


Şekil 5.15 Çapak parametreleri $t=2$ mm $w=15$ mm $r=3$ mm olan analiz

Yapılan analizler göstermektedir ki parçanın kusursuz olarak üretiminde ve kalıp ömrünün artırılmasında büyük önem taşıyan ön dövmede çapak parametrelerin seçimi önemlidir. Tasarımcılar her parametrenin kalıp ve parça üzerindeki etkisini bilerek seçim yapmalıdır ve bu seçimde sonlu elemanlar analizini kullanmak doğru sonuçlar vermektedir. Bölüm 5’de Şekli verilmeyen analizler Ekler kısmına konulmuştur.

5.5. Rigid Olmayan Kalıplarla Yapılan Analiz

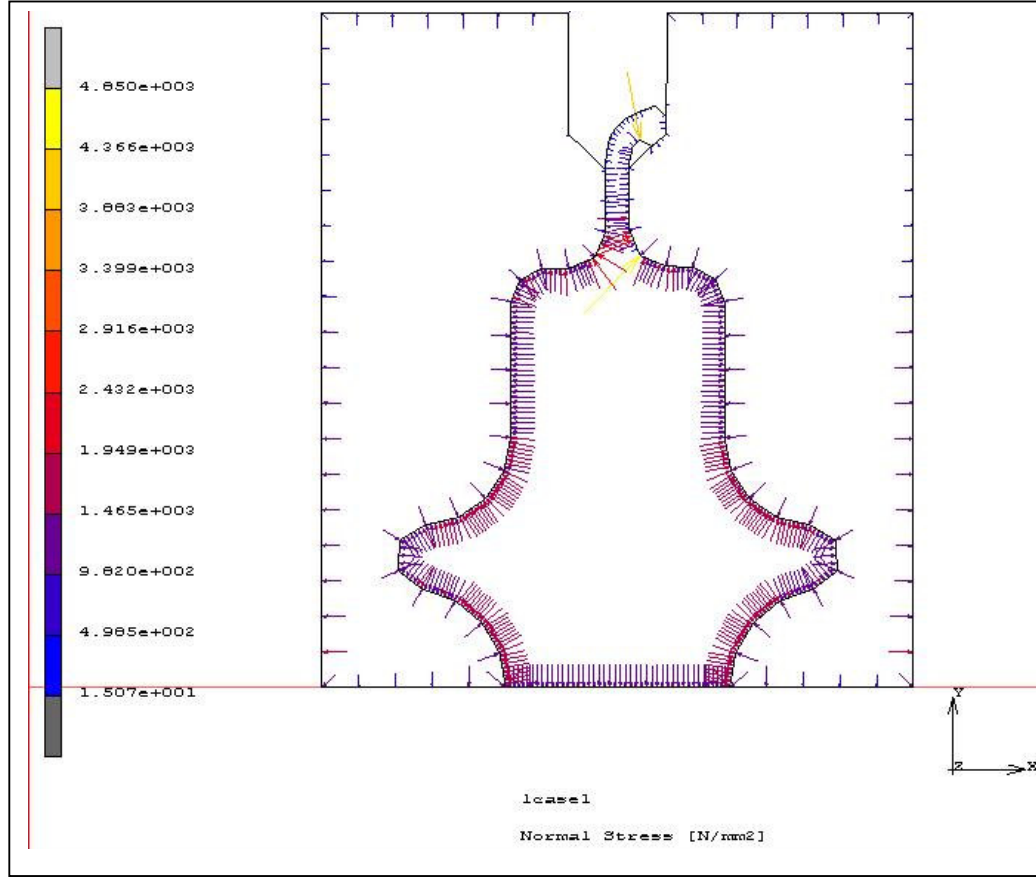
Daha evvel yapılan analizlerde kalıplar rigid kabul edilmişti. Gerçeğe daha yakın olan olayı simüle etmek için bu bölümde, gerçek üretimde kullanılan çapak boyutları $t=2$ mm, $w=5$ mm ve $r=3$ mm alınarak, dövme işlemi sonlu elemanlara ayrılmış rigid olmayan kalıplar ve iş parçası ile (Şekil 5.16) tekrar analiz edilecek ve daha evvel yapılan rigid kalıp halindeki analiz sonuçları ile karşılaştırılacaktır.



Şekil 5.16 Sonlu elemanlara ayrılmış kalıplar ile analizden bir görünüş

Deforme olabilen kalıplar ile yapılan analizlerde, normal gerilmelerin maksimum değerinin, rigid kalıplar ile yapılan analiz sonuçlarına göre daha düşük çıktığı

görülmüştür. Şekil 5.17 de normal gerilmenin deforme olan kalıplar üzerindeki dağılımı görülmektedir.



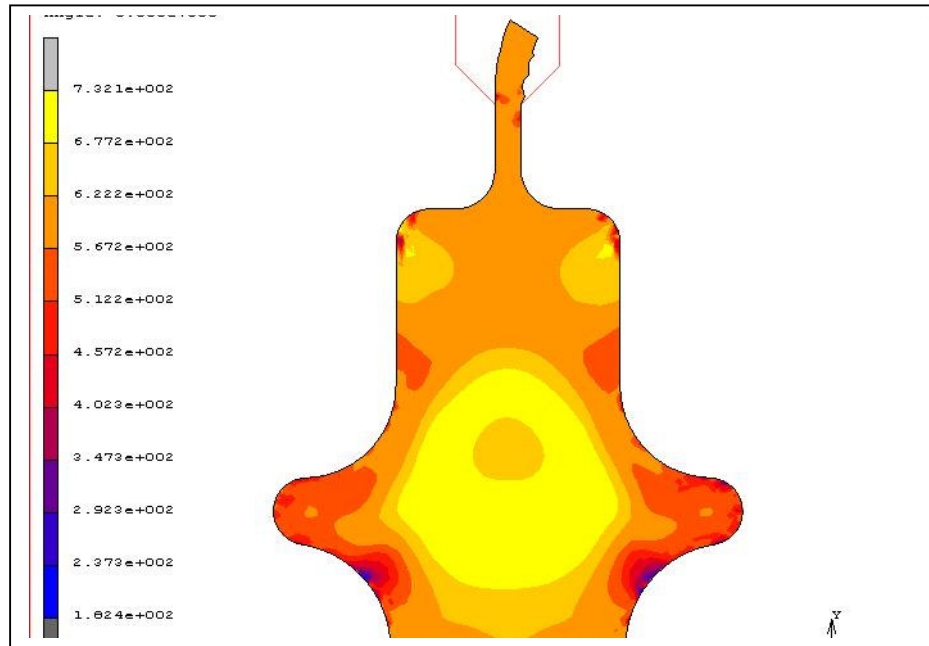
Şekil 5.17 Deforme olabilen kalıplar ile $t=2$ mm $w=5$ mm ve $r=3$ mm parametreleri için yapılan analiz

Analiz sonucunda kalıplar üzerinde maksimum gerilmeler, rigid kalıplar ile yapılan analizlerdeki gerilmeler ile aynı bölgelerde (kalıbın meme yarıçap kısımlarında) oluşmuş fakat 1500 MPa değerinde kalmıştır. Şekil 5.17 de serbest kısma çıkan çapakta normal gerilmenin aşırı yüksek değere (4850 MPa) çıktığı gözlenmektedir. Bunun sebebi eleman yapısının bozulmasından kaynaklanmaktadır. Maksimum normal gerilmelerin rigid kalıplar ile yapılan analiz çalışmalarına göre daha düşük çıkmasının temel sebebi kalıplarda deformasyon sebebiyle oluşan gerilmelerin bir kısmının kalıp üzerinde absorbe edilmesidir. Deforme olabilen kalıplar ile yapılan çalışmalar, dövme prosesindeki simülasyonlarda gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir [13].

5.6. MSC-Superform Programı ile Malzeme Davranışının Analizi

Dövme kusurlarını oluşturmayacak ve yüksek kalıp ömürlerini sağlayacak çapak parametreleri analizlerinin yanı sıra, sonlu eleman analizleri ile dövülen parçaların gerilme ve uzama yönünden dövme sırasında oluşan değişimleri de görülebilmektedir. Tasarımda malzemenin, hangi gerilme değerlerinde plastik deformasyona uğrayacağını veya kırılacağını bilmesi gereklidir. Malzemeler deformasyon sırasında absorbe ettikleri enerji miktarlarına göre sünek veya gevrek olarak nitelenirler. Sünek malzemelerin şekil değiştirme enerjileri yüksek, gevrek malzemelerin ise düşüktür. Malzemelerin plastik deformasyona uğrayacağını veya kırılacağını belirten sınır, sünek malzemelerde akma gerilmesi, gevrek malzemeler de ise kopma gerilmesidir [14].

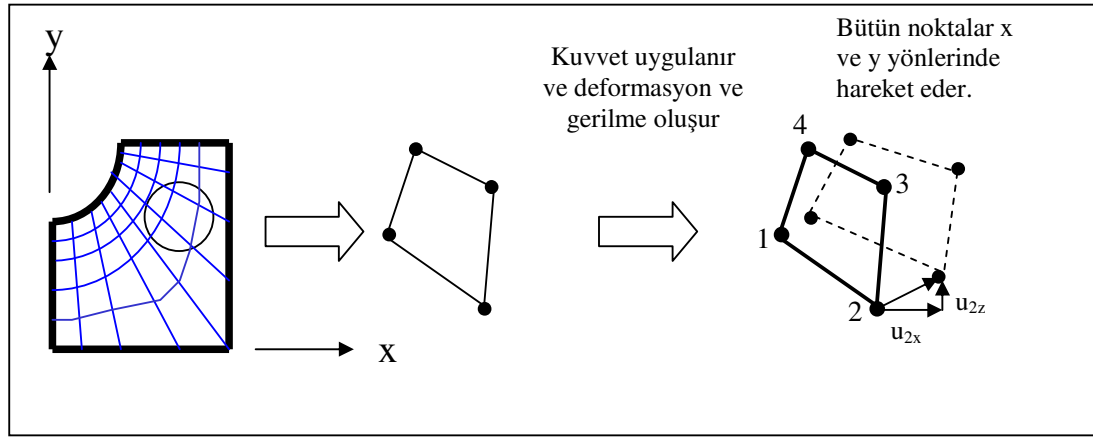
Pratik olarak rastlanacak herhangi bir gerilme halinin plastik deformasyona veya kırılmaya sebep olup olmayacağını, çekme ve basma deneyi gibi basit laboratuvar deneylerine dayanarak tahmin edebilmek için bazı teoriler ortaya atılmıştır. Bunlara mukavemet hipotezleri adı verilmektedir. Sünek malzemelerde plastik şekil değişimini oluşturacak eşik gerilme değerleri Von Mises veya Tresca teorilerinden hesaplanabilir. Dişli parçada $t=2$ mm, $w=5$ mm, $r=3$ mm için rigid kalıp hali analizi neticesinde elde edilen Von Mises gerilme hali değerleri Şekil 5.18 de görülmektedir.



Şekil 5.18 Dövme parçada oluşan Eşdeğer Von Mises Gerilmeleri (N/mm²)

En yüksek Von Mises gerilme değerlerinin malzemenin orta ve parçanın çapağa yakın bölgelerinde olduğu yapılan analiz sonucunda görülebilmektedir. Malzemenin akma dayanımından düşük değerlerin bu analizlerde elde edilmesi bu bölgelerde malzeme akışının zor olacağının göstergesidir. 41Cr 4 malzemesinin 1200 °C'deki akma değeri 175 MPa olduğundan, analiz sonucunda elde edilen gerilme değerleri altında (maksimum 732 MPa) iş parçası plastik şekil değiştirmeye zorlanacaktır. Şekil 5.18'de dişli parçasının meme kısmında Von Mises gerilmelerinin, malzemenin 1200 °C'deki akma değerinin altına düştüğü görülmektedir (mavi kısımlar, minimum 162 MPa'a kadar). Fakat bu çok küçük bölgede doldurmama problemi ile karşılaşılma Şekil 5.7'deki analiz sonuçlarından görülmektedir.

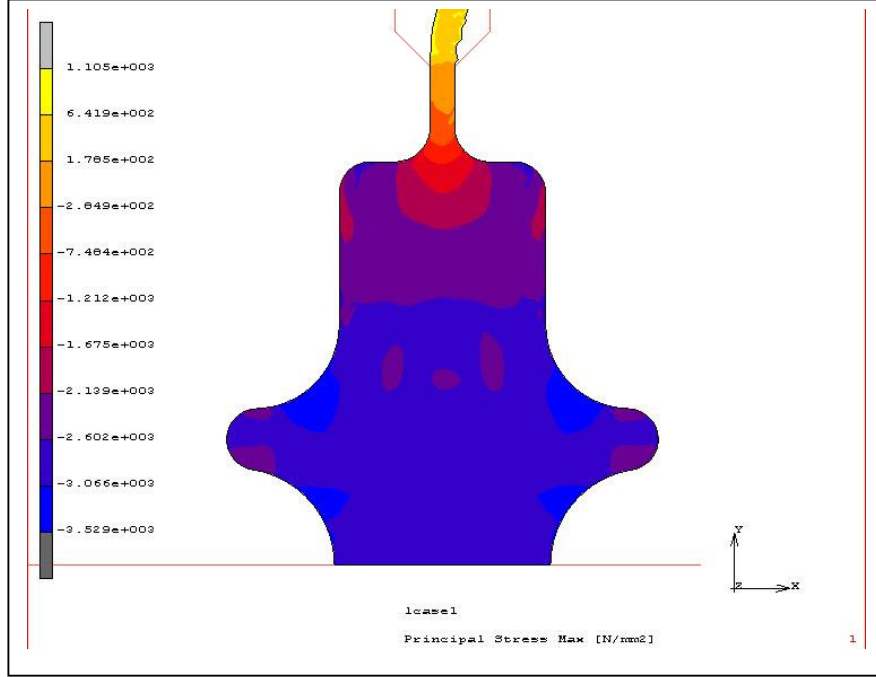
Sonlu eleman analizlerinde, dövme işlemi sonucunda parçalarda oluşan gerilme, birim şekil değişimi, birim şekil değiştirme hızı, sıcaklık vb. değerler sonlu elemanların uygulanan kuvvet ve sınır şartları altında şekil değiştirmesi esas alınarak oluşturulmaktadır. Şekil 5.19'de bu işlemin basitleştirilmiş açıklaması vardır.



Şekil 5.19 Sonlu elemanların deformasyonu [15]

MSC-Superform programından elde edilebilecek diğer sonuçlardan bazıları: maksimum asal gerilme, minimum asal gerilme, toplam eşdeğer plastik birim şekil değiştirme, malzeme akış yönleri ve sıcaklık dağılımı olarak verilebilir. Örnek olarak, bu sonuçlardan maksimum asal gerilmenin, çapak parametreleri incelenen dişli parçasında $t=2$ mm, $w=5$ mm ve $r=3$ mm hali için rigid kalıplar ile yapılan analiz görüntüleri Şekil 5.20'de gösterilmiştir.

Bu sonuçların değerlendirilmesi ile parçalarda kalıplar sebebiyle oluşabilecek fiziksel hataların yanı sıra yapısal kusurlarında oluşmadan engellenmesini sağlanmış olacaktır. Örneğin “Chevron Crack” olarak bilinen yapısal kusurun ya da “Buckling” probleminin olup olmayacağı MSC-Superform sonlu elemanlar analiz programı ile incelenebilmektedir.



Şekil 5.20 Maksimum Asal Gerilmeler (N/mm²)

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bölüm 4’de örnek bir parçanın (poyra) ön dövme ve ön dövmesiz olarak MSC-Superforge ile yapılan analizleri gerçek üretim sonuçları ile kıyaslanmıştır. Ön dövmesiz gerçek üretim ve MSC-Superforge programında ön dövmesiz olarak yapılan analiz neticesinde, şaft kısmında doldurmama dövme kusurunun oluşması ile, ön dövme işleminin gerekliliği hem gerçek üretim, hem de sonlu elemanlar metodu ile ispatlanmıştır.

Bölüm 5’de çapak parametrelerinin ön dövme işlemine etkisi sonlu elemanlar analiz metotları kullanılarak incelenmiştir. Örnek parça olarak alınan geri vites dişlisinin, sıcak dövmedeki ön dövme çapak parametrelerinin değişiminin parça üzerinde kat ve/veya doldurmama dövme hatalarını oluşturup oluşturmadığı incelenmiştir. Ayrıca kalıplar üzerinde oluşan normal gerilme dağılımları MSC-Superform programı ile analiz edilmiştir. Bunun sonucunda çapak parametrelerinin kalıp ömrü üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

Bu tezde yapılan çalışmalar göstermektedir ki, çapak parametreleri, gerek ön dövme kalıpları gerekse ön dövme parçası üzerinde, sıcak dövmede önemli etkenlerden birisidir. Tasarımcıların bu parametreleri seçerken kalıp ve parça üzerindeki etkilerini göz önüne alarak doğru değer seçiminde bulunmaları gerekmektedir. Bu etkileri belirlemek amacıyla yapılan bu çalışma sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar bulunmuştur:

- 1) Ön dövme işlemi sıcak dövme sonucunda parça üzerinde dövme kusurlarının oluşmaması açısından gereklidir.
- 2) Çapak parametrelerinden, çapak çıkış ağız yarıçapının büyümesi malzemenin daha kolay gravür dışına çıkmasına sebep olduğu için kalıp içerisinde oluşan basınç daha küçük olmaktadır. Bu sebeple kalıp ağız çıkış yarıçapı için büyük değerler seçmek parça üzerinde doldurmama hatasının oluşmasına sebep olmaktadır.

- 3) apak kalınlığı ve genişliğinin de parçanın kusursuz çıkmasında önemi olduğu gibi ayrıca kalıp üzerinde oluşan gerilmelerle ve dolayısıyla kalıp ömrüyle direkt olarak ilişkili olduğu sonlu eleman analizleriyle ispatlanmıştır. Yapılan alışmalar göstermektedir ki apak kalınlığının artması normal gerilmenin azalmasına, apak genişliğinin artması ise tam tersi yönde normal gerilmenin artmasına sebep olmaktadır.

Bu yapılan çalışmalar n dövme işleminin sıcak dövme işlemindeki etkisini ve önemini göstermektedir. n dövme tasarımlarını oluşturmak için geliştirilen metotların endüstride kullanımlarının artırılması için, bu metotların daha kolay ve hızlı uygulanabilir hale getirilmeleri gerekmektedir. Bu alışmalar yapılırken, tasarımcıların gerçek üretim koşulları ile örtüşen sonuçlar bulmalarını sağlamaya dikkat edilmelidir.

Bu tezde yapılan çalışmalar neticesinde, gelecekte yapılması arzu edilen alışmalar:

- 1) Başka geometrik şekilli parçalar içinde apak parametrelerinin etkisinin sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi
- 2) Ayrıca, bu tezde 2 boyutlu olarak yapılan analizlerin, 3 boyutlu analizleri yapılmalı ve ikisi karşılaştırılmalı

KAYNAKLAR

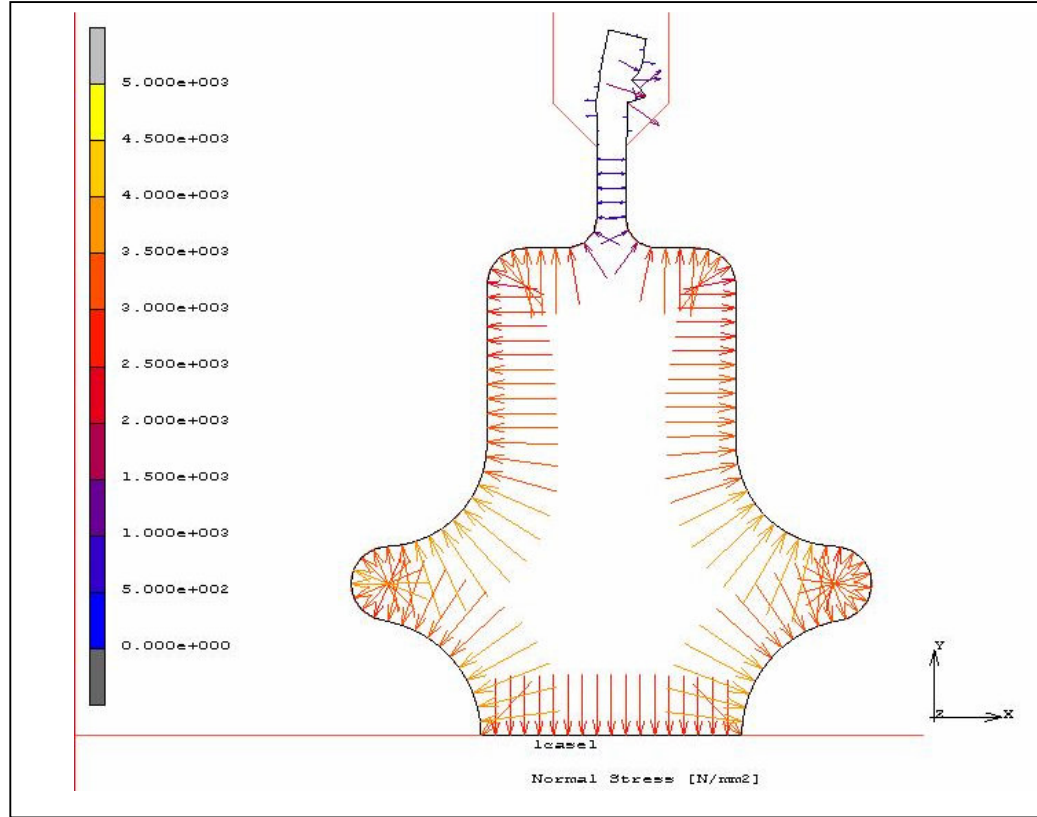
- [1] **Tezsay, N.** *Dövme Teknolojisi Kişisel Notlar* KANCA A.Ş. İstanbul
- [2] **Lange, K.** 1997 *Modern metal forming technology for industrial production*
Journal of Materials Processing Technology 71,2-13
- [3] **Parikh H., Mehta B., Gunasekera J.** *Forging Process Analysis and Preform Design* Department of Mechanical Engineering Ohio University
kişisel çalışma, www.forgin.org
- [4] **S.R Lee, Y.K. Lee, C.H Park D.Y. Yang** 2002 *A new method of preform design in hot forging by using electric field theory* International Journal of Mechanical Sciences 44, 773-792
- [5] **Alfozan A, Gunasekera J.** 2003 *An upper bound element technique approach to the process design of axisymmetric forging by forward and backward simulation* International Journal of Mechanical Sciences 142, 619-627
- [6] **Grandhi V. Thyiyagarajan N.** 2005, *Multi-level Design Process for 3-D Preform Shape Optimization in Metal Forming* Journal of Materials Processing Technology 170, 421-429
- [7] **Tomov B.I., Gagov V.I., Radev,** 2004 *Numerical Simulations of Hot Die Forging Processes Using Finite Element Method*, Journal of Materials Processing technology 153-154, 352-358
- [8] **Tekkaya E.** 2005 *A guide for validation of FE-simulations in bulk metal forming*
The Arabian Journal for Science and Engineering Volume 30 Number IC.
- [9] **Çapan L.,** 2004. *Dövme Teknolojisi* MMO İstanbul
- [10] **Thomas, A.,** 1980 *Forging Handbook, Die Design., Drop Forging Research*
Ass.
- [11] **Lapovok A.,** 1998 *Improvement of Die Life Minimization of Damage Accumulation and Optimization of Preform Design*, Journal of Materials Processing technology 80-81, 608-612

- [12] **Çapan L.**, 1977. Plastik Şekil Verme Teori ve Uygulamaları, Kutulmuş Matbaası 115-116
- [13] **Önder C., Aygen M.** 2006 *Kalıp gerilme analizlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan soğuk dövme simülasyonlarına uyarlanması* 1-2 Haziran 2006, İstanbul, MSC Software Kullanıcı Konferansı Kitabı (BIAS) 135
- [14] **Çimenoglu H., Kayalı S.** 1991 Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi 21-25
- [15] **Mustoe G.** *Computer Aided Engineering Lecture Notes*
egweb.mines.edu/eggn413/Lecture_3_s05.ppt

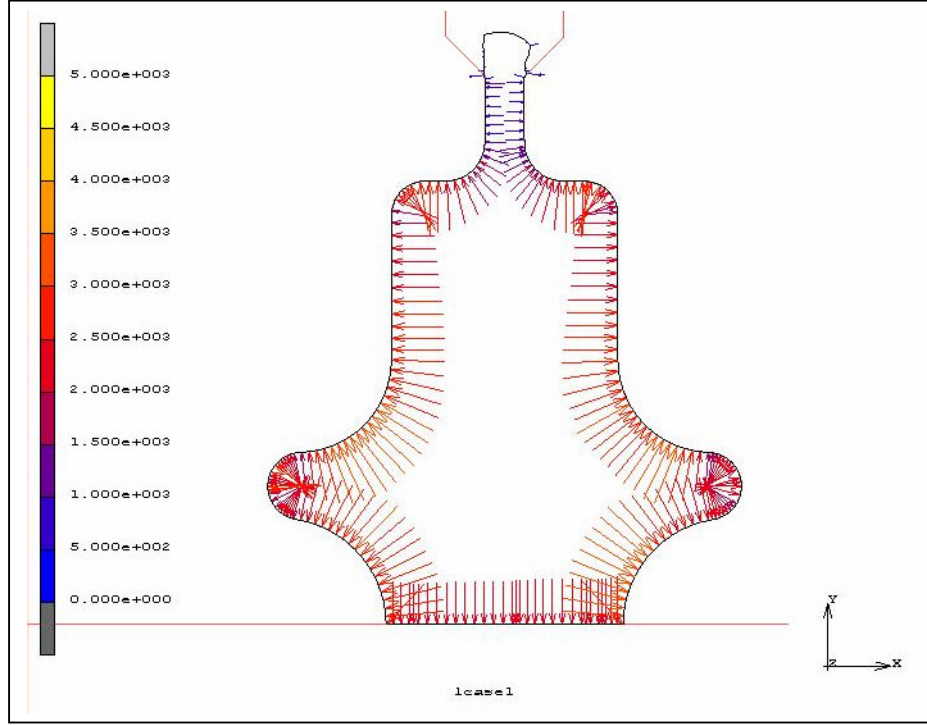
EKLER

EK-A

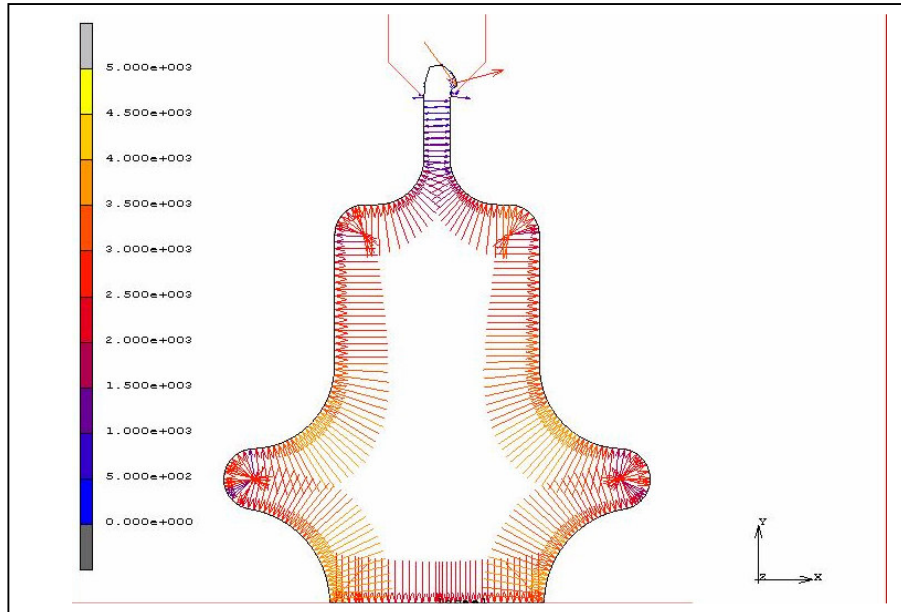
Bu ekte MSC-Superform programıyla apak parametrelerinin birbirleri ile olan ilişkisini ve kalıp üzerine etkisini incelemek için yapılan analiz çalışmalarından tez içerisinde sonuçları gsterilmeyenler verilmiştir. şekillerde normal gerilmeler gösterilmiştir.



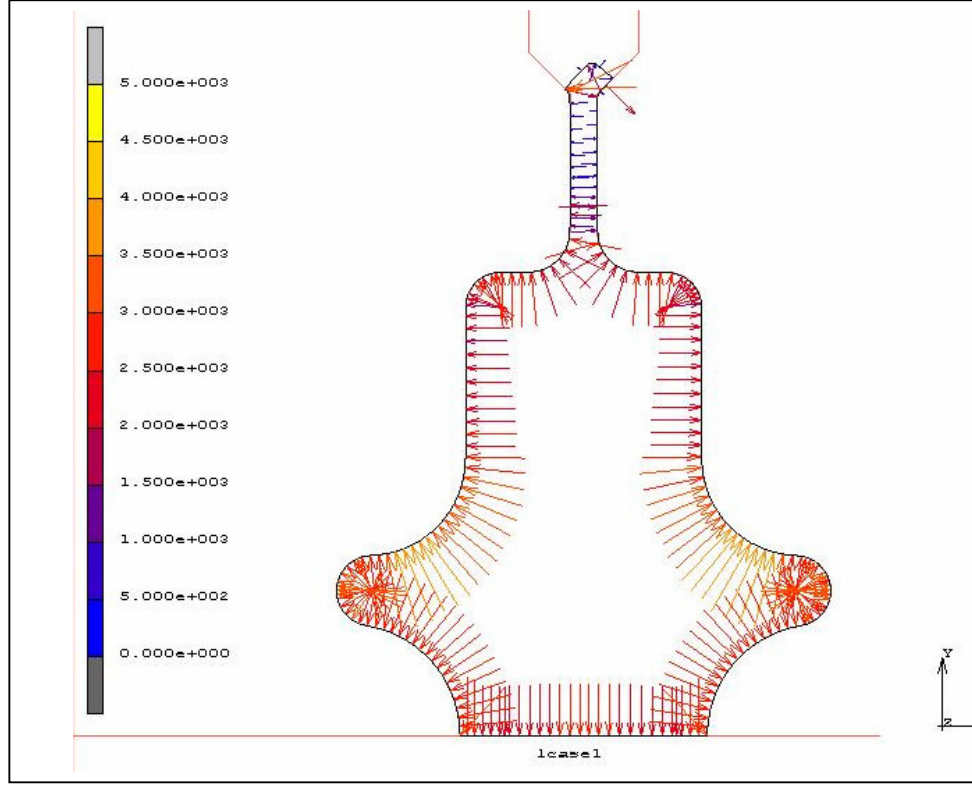
şekil-A1 apak parametreleri t=2 mm, w=5 mm ve r=3 mm olan analiz



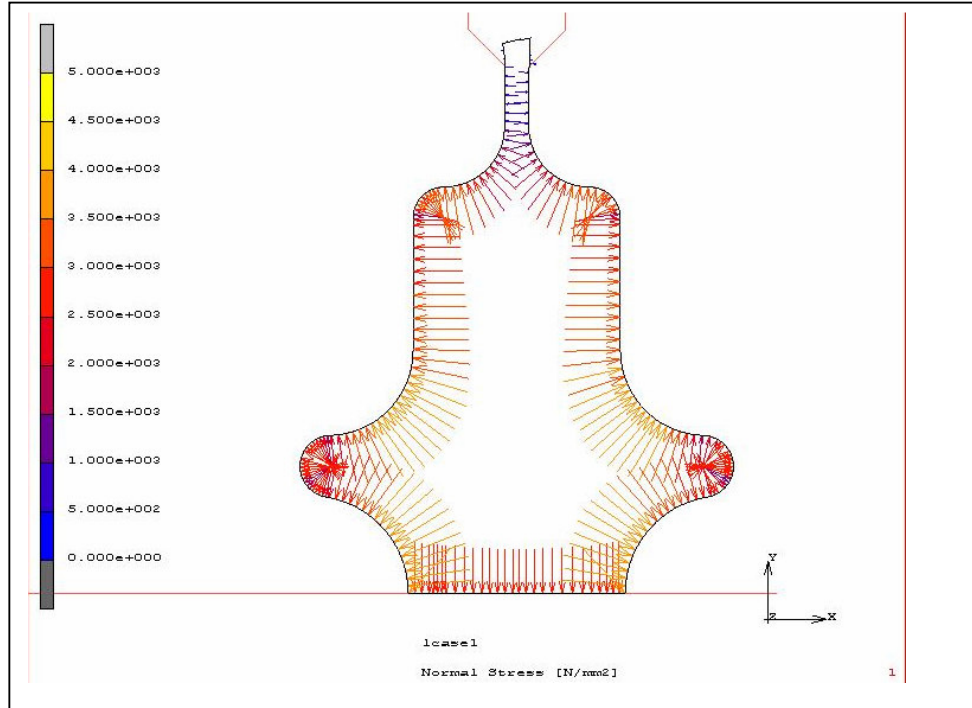
Şekil-A2 Çapak parametreleri $t=3$ mm, $w=5$ mm ve $r=3$ mm olan analiz



Şekil-A3 Çapak parametreleri $t=2$ mm, $w=5$ mm ve $r=4$ mm olan analiz



Şekil-A4 Çapak parametreleri $t=2$ mm, $w=10$ mm ve $r=3$ mm olan analiz



Şekil-A5 Çapak parametreleri $t=2$ mm, $w=5$ mm ve $r=5$ mm olan analiz

ÖZGEÇMİŞ

Tahsin Barış BAŞOĞLU, 1980 yılında Kayseri’de doğdu. İlkokulu 1992 de Malatya’da, ortaokulu 1995 de Kayseri’de tamamladı. 1998 yılında İzmir Bornova Anadolu Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne girdi. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde bir yıl İngilizce hazırlık bölümü okuyarak, Makine Mühendisliği Bölümünden 2003 yılında mezun oldu. Yine 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Malzeme ve İmalat programında Yüksek Lisans eğitimine başladı.