

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖVME YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN BAZI OTOMOTİV PARÇALARINDA
GÖRÜLEN KALİTE PROBLEMLERİ VE BU PROBLEMLERİN MİNİMİZE
EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Göksan BECER

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

MART 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖVME YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN BAZI OTOMOTİV PARÇALARINDA
GÖRÜLEN KALİTE PROBLEMLERİ VE BU PROBLEMLERİN MİNİMİZE
EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Göksan BECER
(506121430)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Ercan AÇMA

Mart 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121430 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Göksan BECER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Dövme Yöntemiyle Üretilen Bazı Otomotiv Parçalarında Görülen Kalite Problemleri Ve Bu Problemlerin Minimize Edilmesi” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Ercan AÇMA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Nilgün KUŞKONMAZ**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Necip ÜNLÜ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **21 Mart 2017**
Savunma Tarihi : **30 Mart 2017**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, tecrübesini benimle paylaşan ve her zaman kendimi geliştirmem için bana destek olan değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. M. Ercan AÇMA'ya,

Tüm hayatım boyunca sevgilerini ve desteklerini eksik etmeyen babam Haluk BECER ve annem Ayşe BECER'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2017

Göksan BECER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. TEORİK BİLGİLER	3
2.1 Dövme Prosesi	3
2.1.1 Açık kalıpta dövme	3
2.1.2 Kapalı kalıpta dövme	4
2.1.2.1 Kapalı kalıpta çapaklı dövme	4
2.1.2.2 Kapalı kalıpta çapaksız dövme	5
2.1.3 Yatay dövme	5
2.1.4 İzotermal dövme	6
2.1.5 Radyal dövme	6
2.1.6 Sinter dövme	7
2.1.7 Elektro yığma	7
2.1.8 Dövme haddeleri ile şekillendirme	8
2.1.9 Orbital dövme	8
2.1.10 Darbeli ekstrüzyon (Püskürtme)	9
2.2 Dövme ve Kalıpla İlgili Genel Bilgiler	9
2.2.1 Dövme ile ilgili genel bilgiler	9
2.2.1.1 Dövülebilme	9
2.2.1.2 Dövme metodunun seçimine etki eden faktörler	10
2.2.1.3 Dövme teçhizatı seçimi ve uygulaması	11
2.2.1.4 Teçhizat özellikleri ve sınıflandırılması	12
2.2.2 Kalıpla ilgili genel bilgiler	13
2.2.2.1 Kalıp seçme faktörleri	13
2.2.2.2 Kalıp doldurmaya tesir eden faktörler	13
2.2.2.3 Kalıp çelikleri	13
2.2.2.4 Kalıp malzemesi seçimindeki faktörler	14
2.2.2.5 Kalıp bozulma sebepleri	16
2.2.2.6 Isı kontrolü	17
2.2.2.7 Kalıp ömrü	17
2.2.2.8 Dövme ile şekillendirmede kalıp ayırıcıları ve çeşitleri	18

2.3 Dövme Makineleri.....	20
2.3.1 Çekiçler	20
2.3.1.1 Ağırlık düşmeli çekiçler	21
2.3.1.2 Güç düşmeli çekiçler	22
2.3.1.3 Karşı vuruşlu çekiçler.....	22
2.3.2 Hidrolik presler	23
2.3.3 Mekanik presler.....	24
2.3.4 Vidalı presler	26
2.3.4 Sıcak yığma presleri(Yatay presler)	28
2.4 Dövme Kusurları	30
2.4.1 Kalınlık değerinin istenilen ölçüden fazla olması	31
2.4.2 Kalınlık değerinin istenilen ölçüden az olması	31
2.4.3 Malzeme yürümesi	32
2.4.4 Doldurmama.....	32
2.4.5 Tufal ve yüzey kalitesi	32
2.4.6 Sertlik	33
2.4.7 Tane büyümesi	33
2.4.8 Katmer.....	34
2.4.9 Çatlak	35
2.4.10 Kaçıklık	35
2.4.11 Çapak oluşumu.....	36
2.4.12 Çökme	36
2.4.13 Sıyırma	36
2.4.14 Şekil ve boyut hataları.....	36
2.4.15 Flambaj.....	36
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
3.1 Ekipmanlar	38
3.1.1 Dingil ve dişli üretiminde kullanılan ekipmanlar.....	38
3.1.1.1 Dingil üretiminde kullanılan ekipmanlar	38
3.1.1.2 Dişli üretiminde kullanılan ekipmanlar.....	38
3.1.2 Üretilen parçaların kontrolünde kullanılan ekipmanlar	38
3.1.2.1 Atomik absorpsiyon spektrometresi.....	39
3.1.2.2 Sertlik ölçme cihazı	39
3.1.2.3 Çekme testi cihazı	40
3.1.2.4 Optik pirometre	40
3.1.2.5 Manyetik çatlak kontrol ekipmanı.....	41
3.2 Kullanılan simülasyon programı(Transvalor-ForgeNxT)	41
3.3 Yöntemler	42
4. SİMÜLASYON VE DENEYSEL SONUÇLAR	43
4.1 Dingil Üretimi	43
4.1.1 Kesim	44
4.1.2 Dövme tavlama.....	44
4.1.3 Taslak çekme.....	45
4.1.4 Eğme.....	46
4.1.5 Dövme(Bitirme)	48
4.1.6 Çapak kesme	50
4.1.7 Isıl işlem	52
4.1.8 Kuşlama	56
4.1.9 Çapak taşıma	56
4.1.10 Doğrultma.....	57

4.1.11 Manyetik çatlak kontrol	57
4.1.12 Kalite kontrol	58
4.2 Dişli Üretimi.....	59
4.2.1 Kesim	60
4.2.2 Dövme tavlaması.....	60
4.2.3 Ezme.....	61
4.2.4 Ön şekil	62
4.2.5 Dövme(Bitirme)	63
4.2.6 Çapak kesme	65
4.2.7 Isıl işlem	67
4.2.8 Kumlama	67
4.2.9 Çapak taşlama	67
4.2.10 Manyetik çatlak kontrol	67
4.2.11 Kalite kontrol	67
5. GENEL SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	75



KISALTMALAR

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
HB	: Brinell Sertliği
HV	: Vickers Sertliği





SEMBOLLER

n	: Dakikadaki strok sayısı
L_m	: Piston stroku üzerinde mevcut yük
B	: Koç ağırlığı
V	: Hız





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Malzemeye bağlı dövme sıcaklıkları.....	9
Çizelge 2.2 : Dövme prosesi.....	11
Çizelge 2.3 : Kalıp çelikleri.....	14
Çizelge 2.4 : Tezgah tipi - Hız aralığı arasındaki ilişki	29
Çizelge 2.5 : Tezgah tipi - Güç arasındaki ilişki	30
Çizelge 4.1 : Kimyasal analiz	58
Çizelge 4.2 : Jominy testi	58
Çizelge 4.3 : Sertlik değerleri	58
Çizelge 4.4 : Çekme testi	58
Çizelge 4.5 : Kimyasal analiz	67
Çizelge 4.6 : Sertlik değerleri	67
Çizelge 4.7 : Çekme testi	68



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Açık kalıpta dövme	4
Şekil 2.2 : Kapalı kalıpta çapaklı dövme	4
Şekil 2.3 : Kapalı kalıpta çapaksız dövme.....	5
Şekil 2.4 : Yatay dövme.....	5
Şekil 2.5 : İzotermal dövme.....	6
Şekil 2.6 : Radyal dövme.....	7
Şekil 2.7 : Sinter dövme	7
Şekil 2.8 : Elektro yığma	8
Şekil 2.9 : Dövme haddeleri ile şekillendirme	8
Şekil 2.10: Orbital dövme.....	8
Şekil 2.11 : Havalı çekiç	21
Şekil 2.12 : Karşı vuruşlu çekiç	22
Şekil 2.13 : Hidrolik presler.....	23
Şekil 2.14 : Mekanik presler.....	25
Şekil 2.15 : Vidalı presler ve enerji arasındaki bağıntı şeması.....	26
Şekil 2.16 : Vidalı pres	27
Şekil 2.17 : Vidalı pres (Direk elektrik tahrik).....	27
Şekil 2.18 : Yatay pres.....	28
Şekil 2.19 : Kalıp-kalınlık ilişkisi.....	30
Şekil 2.20 : Bazı dövme hataları.....	32
Şekil 3.1 : Sertlik ölçme cihazı	28
Şekil 3.2 : Çekme testi cihazı	40
Şekil 3.3 : Optik pirometre	40
Şekil 3.4 : Manyetik çatlak kontrol cihazı	41
Şekil 4.1 : Doğalgaz tav fırını.....	45
Şekil 4.2 : Taslak çekme	46
Şekil 4.3 : Eğme.....	46
Şekil 4.4 : Eğme operasyonu son aşama.....	47
Şekil 4.5 : Eğme operasyonu sonucu oluşan şekil	47
Şekil 4.6 : Recpres genel görünüm	47
Şekil 4.7 : Dövme işlemi kalıpsız görünüm.....	48
Şekil 4.8 : Dövme işlemi alt kalıplı görünüm.....	49
Şekil 4.9 : Dövme işleminde katmer hatası	49
Şekil 4.10 : Dövme işleminde doldurmama hatası	49
Şekil 4.11 : Dövme işleminde yüzeysel hatalar.....	50
Şekil 4.12 : Çapak kesme.....	51
Şekil 4.13 : Çapak kesme işlemi sonrası dingil görünümü.....	51
Şekil 4.14 : DG-40.....	52
Şekil 4.15 : Tavlama(900°C-2000sn)	53
Şekil 4.16 : Tavlama(900°C-2400sn)	53

Şekil 4.17 : Tavlama(900°C-3000sn)	53
Şekil 4.18 : Tavlama(840°C-2000sn)	54
Şekil 4.19 : Tavlama(840°C-2400sn)	54
Şekil 4.20 : Tavlama(840°C-3000sn)	54
Şekil 4.21 : Tavlama grafiği	55
Şekil 4.22 : Isıl işlem fırını	55
Şekil 4.23 : Kumlama makinesi.....	56
Şekil 4.24 : Manyetik çatlak kontrol işlemi yapılan bir dingil	57
Şekil 4.25 : Manyetik çatlak kontrol işlemi	57
Şekil 4.26 : Kesim tezgahı	60
Şekil 4.27 : İndüksiyon fırını	60
Şekil 4.28 : Ezme operasyonu.....	61
Şekil 4.29 : Ezme operasyonu-2	61
Şekil 4.30 : Ezme-sıcaklık dağılımı	61
Şekil 4.31 : Ön şekil.....	62
Şekil 4.32 : Güç-zaman grafiği	62
Şekil 4.33 : Ön şekil doldurmama hatası	63
Şekil 4.34 : Bitirme	63
Şekil 4.35 : Bitirme-gerinim dağılımı	64
Şekil 4.36 : Bitirme-sıcaklık dağılımı	64
Şekil 4.37 : Bitirme-doldurmama hatası	64
Şekil 4.38 : Bitirme-doldurmama hatası-2.....	65
Şekil 4.39 : Güç-zaman grafiği	65
Şekil 4.40 : Genel görünüm	66
Şekil 4.41 : Dişli genel görünüm	66

DÖVME YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN BAZI OTOMOTİV PARÇALARINDA GÖRÜLEN KALİTE PROBLEMLERİ VE BU PROBLEMLERİN MİNİMİZE EDİLMESİ

ÖZET

Dövme ile üretim metodu çok eski dönemlerden beri kullanılmakta olan yaygın bir üretim metodudur. Dövme tesisleri genellikle uçak, otomotiv, savunma sanayisi gibi birçok alanda kullanılmak üzere parçalar üretmektedir. Özellikle otomotiv üzerine yapılan üretimlerde parça adetleri çok büyük miktarlara ulaşmaktadır. Fazla sayıda üretimin olduğu bu alanda görülen hatalar da maliyeti ve dolayısıyla karlılığı etkilemektedir. Bu tezde de otomotiv sanayisi için üretilen parçalar üzerinde durulmuş ve bu parçaların üretiminde görülen hatalar tek tek ele alınmıştır. Aynı zamanda Transvalor-ForgeNxT isimli Dövme-Isıl işlem analiz programı ile de parçalar üzerinde birçok simülasyon gerçekleştirilmiş ve bu simülasyonlardan elde edilen en efektif sonuçlar tezde yansıtılmıştır. Simülasyonlar, gerekli görülen aşamalarda en optimal şartlar sağlanana kadar birçok defa yapılmıştır. Çıkan sonuçlar pratik üretim açısından yorumlanmış ve uygulanmıştır.

Üretim tesislerinde müşteri memnuniyetini ve kaliteyi aynı anda sağlayabilmek için en önemli iki parametre minimum maliyet ve maksimum kalitedir. Bu sebeple hataların basamak basamak analiz edilip tek tek ele alınmasıyla hem maliyet düşürülmüş hem de simülasyonlar yardımıyla yapılan optimizasyonlarla da en efektif sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır. Günümüz endüstrisinde karlılığı artırmanın en önemli yolu maliyeti en alt düzeye çekmektir. Birim üretim başına düşen maliyet miktarı hatasız üretime ulaşarak düşürülebilir. Bu sebeple proses parametrelerinin iyi ayarlanıp imalat kaynaklı hataların en aza indirilmesi gerekir.

Bu tezde kapsam olarak en başta dövme prosesi ve çeşitlerinden bahsedilmiştir. Dövme çeşitlerinden sonra prosesi gerçekleştiren dövme makineleri üzerinde durulmuş ve tek tek tanıtılmıştır. Kalıpla ilgili genel bilgiler de verildikten sonra dövme işleminde görülen hatalar üzerinde durulmuştur.

Tezin deneysel kısmı iki farklı bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi dingil üretimi ikincisi ise dişli üretimidir. Dingil üretiminde öncelikle ilgili parçanın üretimi için gerekli olan malzeme boyutları ve akabinde ilgili proses akışı belirlenmiştir. Daha sonra teorik değerler üzerinden simülasyon programı yardımıyla taslak çekme, eğme, bitirme ve çapak kesme gibi proseslerde simülasyon işlemi yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarından alınan gerek görsel gerekse grafiksel sonuçlardan yola çıkılarak her bir prosesteki nominal değerler belirlenmiştir. İlgili üretim gerçekleştirildikten sonra yine aynı program üzerinden yapılan ısıl işlem analizleriyle de optimal sıcaklık ve süreler belirlenmiş ve pratikte uygulanabilmektedir. Üretimin sonunda belirli parçalardan sertlik alınmış, tahribatsız muayene ve mekanik test yöntemleriyle malzemelerin özellikleri kontrol edilmiştir.

Dişli üretiminde de yine dingil üretiminde olduğu gibi malzeme boyutları belirlenmiştir. Üretim türü ve sırası belirlenmiştir. Daha sonrasında ilgili simülasyon programıyla ezme, ön şekil, bitirme gibi proseslerde analizler gerçekleştirilmiştir. Pratik üretim sonucu elde edilen parçalarda gerçekleştirilen sertlik ölçümü, tahribatsız muayene ve mekanik testler sonucu özellikler ve hatalar kontrol edilmiştir.



QUALITY PROBLEMS WHICH HAVE BEEN SEEN IN SOME AUTOMOTIVE PARTS PRODUCED BY FORGING METHOD & MINIMIZING THIS KIND OF PROBLEMS

SUMMARY

Forging production method is a common method of production which has been used since ancient times. As technologically as everyday, it has progressively improved in terms of process efficiency. Today many parts of the industry are produced by forging methods. The advantage of mechanical properties and the possibility of serial production are the preferred reasons.

Since the forging process depends on many manual parameters, the errors seen in the final product are also various and affect the quality of the product. For this reason, it is worth taking steps to prevent this mistake step by step and to minimize the error rate in terms of the process. At its most basic level, forging is the process of forming and shaping metals through the use of hammering or pressing. The process begins with starting stock, usually a cast ingot (or a "cogged" billet which has already been forged from a cast ingot), which is heated to its plastic deformation temperature, then upset or "kneaded" between dies to the desired shape and size. The forging process is ideally suited to many part applications. In fact, forging is often the optimum process, in terms of both part quality and cost, especially for applications that require maximum part strength, custom sizes or critical performance specifications.

Forging facilities usually produce parts for use in many areas such as aircraft, automotive, defense industry. Particularly in automotive production, the number of parts reaches very large quantities. There are a large number of productions in this area, so errors affect cost and therefore profitability. You should not sacrifice quality while reducing costs. So that we must use technology and some engineering solutions to reduce it.

This thesis is about the hot forging of axle beam and bearing flange. Actually in automotive-supplier industry the hot forged parts are commonly used. Especially in this thesis hot forging machines and techniques, production defects of it, solution of these problems and the effects of these solutions on production cost have been documented. The parts produced for the automotive industry are discussed and the mistakes in the production of these parts are handled one by one. The effects of operation parameters in process steps are examined. At the same time, many simulations were performed on the part with the Transvalor forging-thermal analysis program and the most effective results obtained from these simulations were reflected in the thesis. FORGE NxT is the software solution for the simulation of hot and cold-forming processes. It enables the simulation of many hot-forming processes such as closed-die forging, open-die forging, rolling, reducer rolling, cross wedge rolling, thread rolling, shape rolling, ring rolling, rotary forging, flow forming, hydroforming, incremental forging, orbital

forging, friction welding, extrusion, fastening, wire drawing, deep drawing, shearing, sheet metal forming, piercing, glass forming, blanking cutting, superplastic forming, trimming and some additional non-conventional processes. It also offers the possibility to simulate thermal treatments such as induction heating, quenching, carburizing and tempering. So, to reduce the mistakes on the part the simulation results are so important. The simulations have been carried out many times until the optimal conditions are met in the required stages. After simulation results and theoretical calculations, suitable conditions for practical production have been determined. Thus, it is aimed to minimize the error numbers. Minimizing the errors effect on the value of the production. Because it is about the customer satisfaction. The two most important parameters in order to provide customer satisfaction and quality at the production facilities are minimum cost and maximum quality. For this reason, it is aimed to obtain the most effective results with optimizations made by simulations with the cost reduced by analyzing the faults step by step and handling them one by one. The most important way to increase profitability in today's industry is to reduce costs to the lowest level. The amount of cost per unit production can be reduced by achieving error-free production. For this reason, the process parameters must be well adjusted and the manufacturing mistakes must be minimized.

First of all, various information about the forging process and the mold were given, then the machines for performing the forging process were introduced and all kinds of faults seen in the forging were explained. After the theoretical narration, parameters and estimated errors were determined with the help of the production steps of the relevant parts, the errors and solutions predicted during the production, the control methods applied to prevent these errors and the most effective production, and appropriate simulations.

The experimental part of the thesis consists of two different parts. The first of these is the axle beam production and the second is the bearing flange production.

In the axle beam production, the material dimensions and the related process flow chart determined for the production of the relevant part. Cutting, annealing, bending, forging, trimming, heat treatment, sand blasting, grinding, straightening, magnetic particle inspection and finish grinding are the processes of production. After flow chart, the simulation operations performed. Then simulation process carried out such bending, finishing and trimming. The nominal values for each process were determined by simulation results. There are a lot of process parameters effecting on the forging operation. So right choice of the parameters are so important to obtain best results. There are a lot of simulation study to get best results, but generally the best results of each simulations are chosen and shown in this thesis. After the production process, the optimal temperature and time are determined by the heat treatment analyzes made on the same program and it can be applied in practice. At the end of production, hardness was taken from certain parts, properties of materials were checked by non-destructive inspection and mechanical test methods. TS EN ISO 6506-1 standart is used for hardness measurement. Tensile test standart is TS EN ISO 6892-1 too.

In the bearing flange production, the dimensions of the material are determined first. Then the flow chart of production was determined. Cutting, annealing, crushing, pre-forging, forging, trimming, controlled cooling, sand blasting, grinding, magnetic particle inspection and finish grinding are the processes of production. In necessary

processes the simulation is applied and the best results are shown in the thesis. After optimum parameters for bearing flange determined, the forging process is applied. At the end of the production some control processes applied on this specimens. These control methods are applied with standards. For example TS EN ISO 6506-1, TS EN ISO 6892-1, TS EN ISO etc. For example hardness measurement, tensile test, magnetic particle inspection are the necessary control methods.



1. GİRİŞ VE AMAÇ

Bu tezin amacı otomotiv sanayisinde dövme yoluyla üretilen bazı parçaların(dingil, dişli taslağı gibi) prosesin başından sonuna kadar olan kademelerini tek tek ele alarak karşılaşılan hataları tespit etmek, ilgili parçaların modellenip dövme simülasyon programı yardımıyla analizlerini yaptıktan sonra en efektif simülasyonu belirleyip hataları minimize etmek ve analiz sonuçlarını pratik dövme işlemiyle uygulamaktır.

Dövme ile üretim metodu eski çağlardan beri kullanılmakta olan bir yöntemdir. Günümüze kadar gerek teknolojik gerekse proses verimliliği açısından giderek gelişim göstermiştir. Bugün birçok sanayide dövme yöntemiyle üretilen parçalar kullanılmaktadır. Mekanik özelliklerinin getirdiği üstünlük ve seri üretime imkan tanınması tercih sebeplerindendir. Dövme prosesi manuel birçok parametreye bağlı olduğundan dolayı nihai üründe görülen hatalar da çok çeşitli ve ürün kalitesine etki eden cinstendir. Bu sebeple adım adım bu hataların önlenmesi için tedbirler almak, hata oranını en aza indirmek proses açısından değerlidir. Bu tezde de gerek teorik hesaplar ve simülasyon gerekse pratik olarak alınabilecek önlemler ve kontrol yöntemleri üzerinde durulmuş ve kalite problemlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır.



2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Dövme Prosesi

Dövme işlemi, darbe veya basınç altında kontrollü bir plastik deformasyon sağlanarak, metale istenen şekli verme, tane boyutunu küçültme ve mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla uygulanan bir plastik şekil verme yöntemidir. Dövme ile üretim yöntemi kullanılan en eski üretim yöntemlerinden biridir. İş parçasının basma kuvvetleri etkisiyle plastik şekil değiştirdiği bir yöntemdir. Dövme yönteminde sıcak, soğuk ve yarı sıcak olmak üzere uygulanan 3 farklı tip vardır. [1]

Bütün metallerin dövülebilme niteliği sıcaklık ile artar, ancak bu sıcaklık derecesi bir yerde sınırlıdır. Çünkü belli bir sıcaklık derecesinden itibaren ikinci bir faz teşekkül eder ve ergime başlar. [1,2]

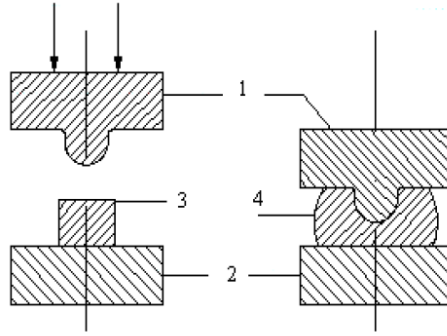
2.1.1 Açık kalıpta dövme

İki düz kalıp arasında genelde basit ve kaba şekilli parçaların dövüldüğü dövme yöntemidir. Silindirik, kare, dikdörtgen vb. şeklindeki parçalara, iki düzlemsel kalıp arasında, basma kuvveti uygulanmasıyla şekil verilmesine açık kalıpta dövme denir. Genellikle hidrolik pres ve çekiçlerde uygulanan bir yöntemdir. Aşağıdaki koşullarda tercih edilir:

- Kapalı kalıpta dövülmesi efektif olmayan iş parçalarında,
- Üretilecek adet sınırlı sayıdaysa,
- Üretimde ihtiyaç olunan süre sınırlıysa,
- Belli mekanik değerlerin sağlanması ve sürdürülebilir olması isteniyorsa.

Bu yöntemde birçok farklı boyut ve türde dövme parça elde edilebilir. Dövme makinesine alt ve üst kalıp olarak bağlanan yapılar aynı eksen ve paralelliğe sahip olmalıdır. Aksi durum söz konusu olduğunda parçalara verilen tolerans değerlerinde sapmalar meydana gelebilir. Orta büyüklükteki kalıplarda (örneğin 1500x750)

paralellikten sapma 1,5 mm'yi aşmamalıdır. Kalıp boyutu ile sapma değeri arasında ters orantı mevcuttur. [3]



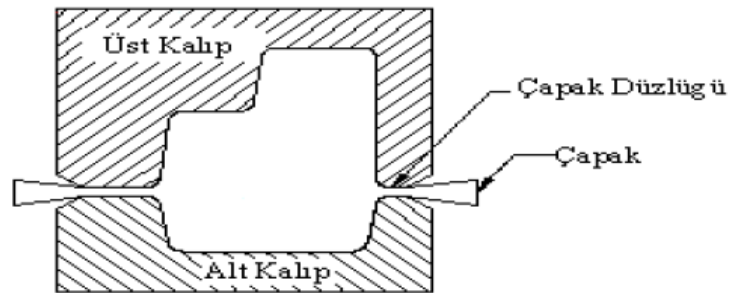
1. Üst kalıp 2. Alt kalıp 3. Dövülecek parça 4. Dövülmüş parça

Şekil 2.1 : Açık kalıpta dövme.

2.1.2 Kapalı kalıpta dövme

2.1.2.1 Kapalı kalıpta çapaklı dövme

Sıcak olarak yapılan bir işlemdir. İstenilen parça şekline uygun kalıp yapıldıktan sonra kalıbın alacağı malzemeden belli oranda fazla miktar dövme işlemi için belirlenir ve kalıplar arasında metal akışı sağlanır. Kalıp boşluğu tarafından da metal akışı sınırlanır. Dolan kalıp boşluğuyla birlikte artan kalıp dışı malzeme, alt ve üst kalıpta kalan kısımları oluşturan yüzey boyunca çevrelenip çapağı oluşturur. [1-3]

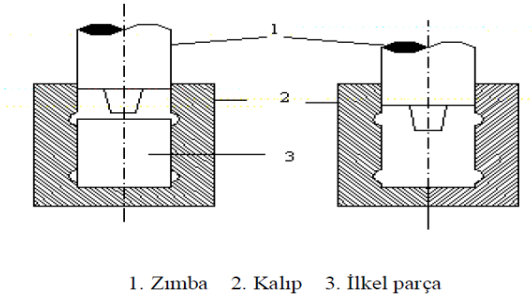


Şekil 2.2 : Kapalı kalıpta çapaklı dövme.

2.1.2.2 Kapalı kalıpta çapaksız dövme

Hem sıcak hem de soğuk olarak uygulanabilen bir yöntemdir. İstampa tarafından uygulanan bir kuvvetle birlikte metal, kalıp boşluğunu doldurur. Kullanılan ham madde hacmi en optimal şartlarda seçildiğinde bu yöntemde alınan sonuç da o kadar

efektif olacaktır. Bu yüzden maliyeti belirleyen en önemli unsurlardan olduğu için hammadde hacminin iyi ayarlanması gerekir. [4]

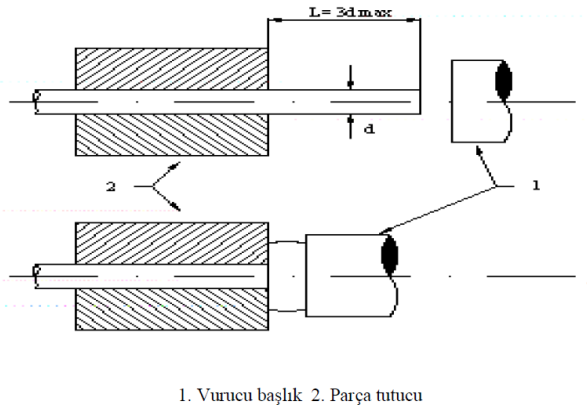


Şekil 2.3 : Kapalı kalıpta çapaksız dövme.

2.1.3 Yatay dövme

Şekillendirilecek olan parçanın belli bir kısmında kesitsel bir artış yapılarak uygulanan bir dövme metodudur. Özel tasarım yatay makinelerde soğuk, sıcak ve yarı sıcak olarak uygulanır.

Bu dövmenin özelliği, kapalı kalıpla yatay preslerde işlemin yapılmasıdır. Cıvata, perçin, çivi, vida, çubuk gibi başı yığma ile şekillendirme gerektiren parçalara uygulanır. [2]



Şekil 2.4 : Yatay dövme.

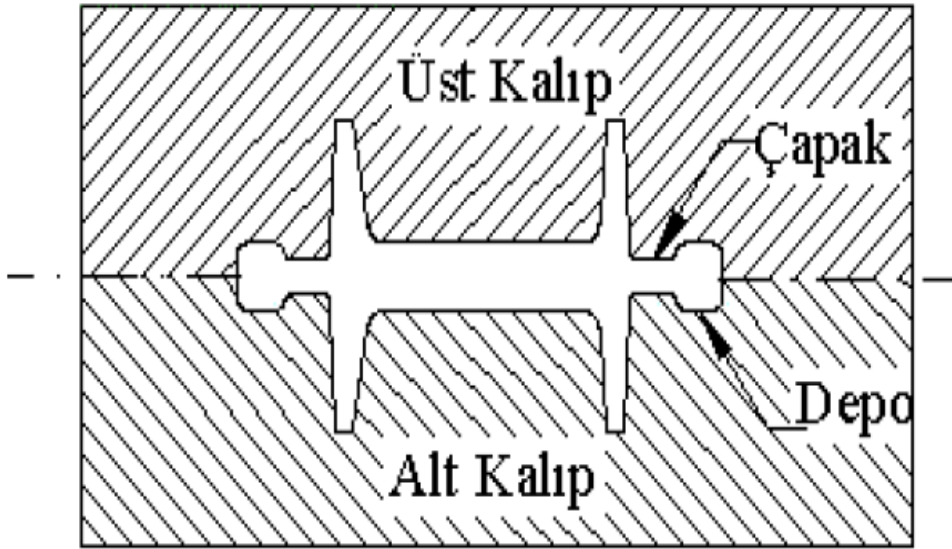
Üstteki şekilde de görüleceği üzere burçlar yardımıyla sıkıştırılan malzemenin serbest olan ucuna uygulanan ıstampa desteğiyle yığılma sağlanmaktadır. Bu dövmenin özelliği, kapalı kalıpla yatay preslerde işlemin yapılmasıdır. Cıvata, perçin, çivi, vida, çubuk gibi başı yığma ile şekillendirme gerektiren parçalara uygulanır. [3]

2.1.4 İzotermal dövme

Dövme işleminde kullanılan kalıbın da iş parçası ile aynı sıcaklıkta kullanıldığı yöntemdir. Daha çok süper plastik alaşımlarda uygulanır. Benzer sıcaklığa sahip kalıp ve dövme malzemesi arasında kalıp boşluğunun tam olarak doldurulması amaçlanır. Eğer üretilen parçanın çalışma kondisyonu, yüksek mekanik zorlamalara ve akabinde ısıl gerilmelere maruz kalıyorsa izotermal dövme tercih sebebi yöntemlerden biridir. [3,4]

Titanyum ve nikel alaşımları bu yöntemde kullanılan başlıca malzeme tipleridir. İzotermal dövmenin konvansiyonel dövmeye karşı üstünlükleri aşağıdaki gibidir:

- Talaş kaldırma işleminin azalması.
- Dövme kuvvetinin belli bir oranda azaltılması (%20) oranında azalması

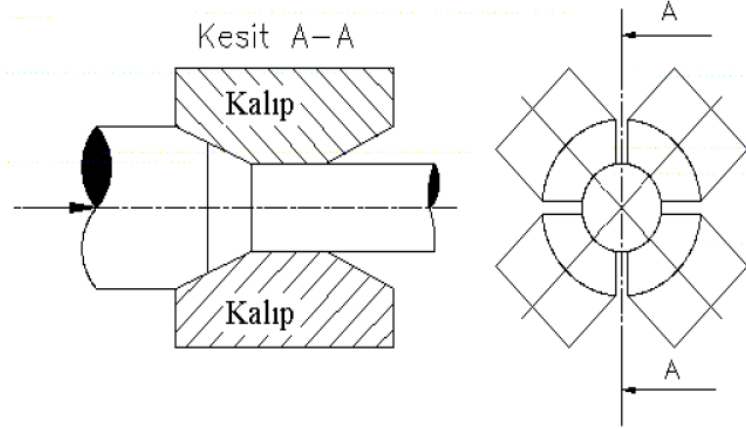


Şekil 2.5 : İzotermal dövme.

2.1.5 Radyal dövme

Hem sıcak hem de soğuk olarak uygulanabilmektedir. İki üzeri kalıbın radyal hareketiyle uzunluğunca sabit veya değişken kesitli dolu veya içi boş parçalar üretilir. Tabanca, tüfek namluları, bazı miller bu yöntemle üretilir.

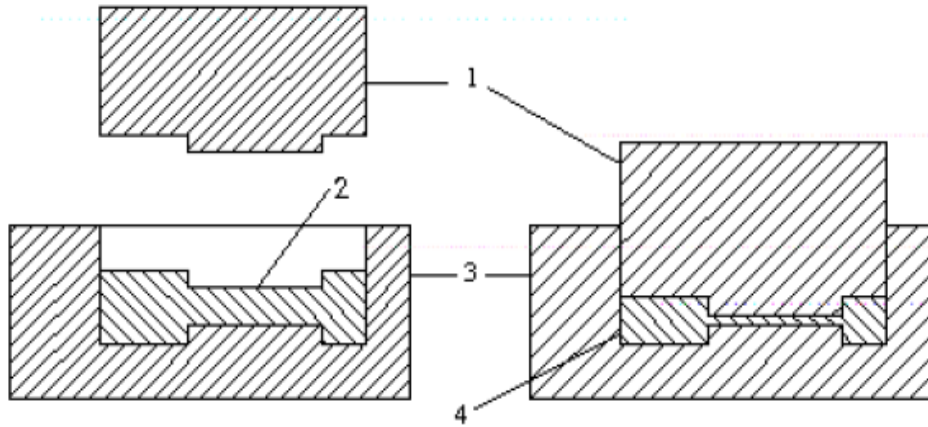
Boyut toleransı açısından verimli bir yöntem olan radyal dövme yöntemi aynı zamanda ince kemerli parçaların dövülmesine olanak sağlaması, ince taneli yapısı ve yüzey kalitesinin yüksekliği ile üstünlük sağlayan yöntemlerdendir. [1,3]



Şekil 2.6 : Radyal dövme.

2.1.6 Sinter dövme

Bu yöntemde kullanılacak taslaklar sinterleme ile üretilir. Sıcak veya soğuk olarak üretilir. [4]

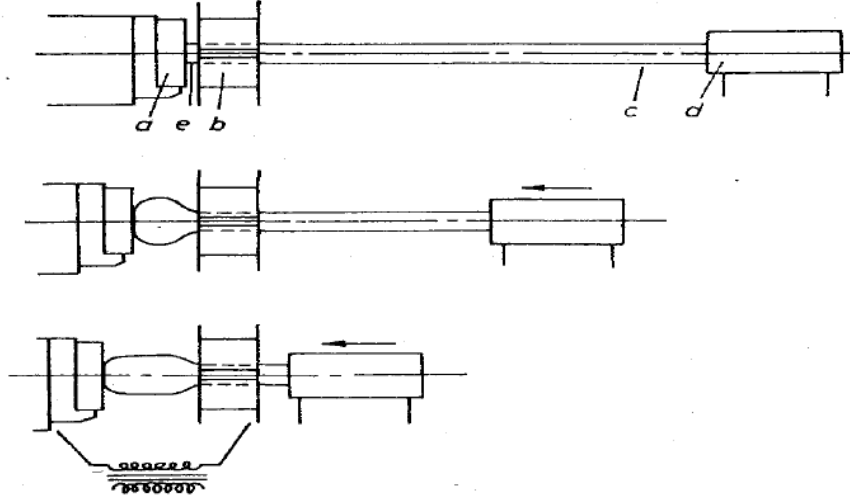


1. Üst kalıp, 2. Sinter Taslak, 3. Alt Kalıp, 4. İş Parçası

Şekil 2.7 : Sinter dövme.

2.1.7 Elektro yığma

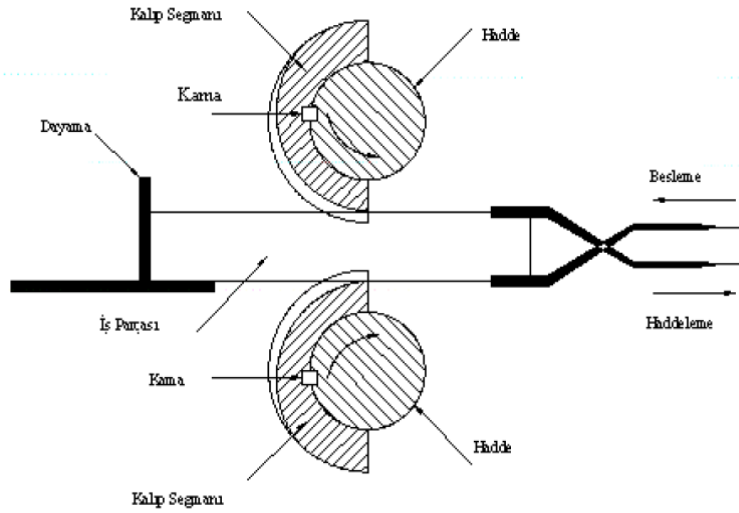
Silindirik bir çubuğun iki ucundan biri elektrik akımıyla ısıtılır. Diğer uçtan itilerek ısıtılan tarafta malzemenin toplanması sağlanır. Böylece yığma işlemi gerçekleşmiş olur. Teorik değerler göz önüne alındığında elektro yığma yöntemiyle şekillendirilecek parçalarda boy ve çap arasında yaklaşık 1/35 ilişki vardır. [5]



Şekil 2.8 : Elektro yığma.

2.1.8 Dövme haddeleri ile şekillendirme

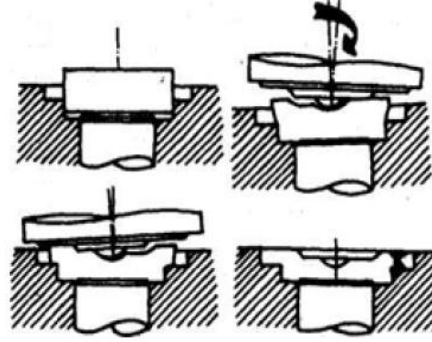
Genellikle ön şekillendirme olarak kullanılan bir yöntemdir. İş parçası haddeler içerisinde (sıcak olarak) geçirilir. Haddelerde belli bir profil mevcut olur ve iş parçası bu haddelerden geçirilirken profilin şeklini alır. Şekil değiştirme sonunda haddeye beslenen taraftan iş parçası geri alınır. Özellikle krank mili ön şeklinde sık kullanılır. [4,5]



Şekil 2.9 : Dövme haddeleri ile şekillendirme.

2.1.9 Orbital dövme

Alt ve üst kalıp olmak üzere iki kalıptan söz edilir. Üst kalıpta yörüngesel hareket mevcuttur. Alt kalıp ise eksen hareketi ile hareket eder. [3]



Şekil 2.10 : Orbital dövme.

2.1.10 Darbeli ekstrüzyon (Püskürtme)

Bu yöntem ıstampa ile malzemenin hareket yönüne göre çeşitlendirilir. Eğer malzeme ıstampa tarafından uygulanan kuvvetle birlikte oluşan basma kuvvetiyle kalıp deliğinden geçiriliyorsa ileri püskürtmedir. Istampa ve malzeme arasında ters hareket söz konusu ise de geri püskürtmedir. [3]

2.2 Dövme ve Kalıpla İlgili Genel Bilgiler

2.2.1 Dövme ile ilgili genel bilgiler

2.2.1.1 Dövülebilme

Alüminyum ve Magnezyum parçaları en kolay dövülebilen malzemelerdir. Bunlarla $\pm 0.4\text{mm}$. ye kadar dövme toleransları elde edilebilir. Ancak çelikleri hassas olarak dövmek zordur. Parça şekli karmaşıklaştıkça hassas dövme güçleşir. Karbon oranı düştükçe de dövme sıcaklığı artar.

Çizelge 2.1: Malzemeye bağlı dövme sıcaklıkları [6].

Malzeme	Sıcaklık
Bakır ve alaşımları	370-450°C
Karbon ve alaşım çelikleri	1100-1260°C
Magnezyum	315-370°C
Paslanmaz çelikler	1090°C-1230°C
Titanyum ve alaşımları	730°C-1066°C
Molibden ve tantal	1150°C-1370°C
Tungsten	1500°C

Çelik yüksek sıcaklıklarda dövülür. Diğer faktörler imalat şartları doğrultusunda iş parçası karakteristikleriyle göz önüne alınmalıdır. 1260 °C de dövülen çeliğin direnci 816 °C’de dövülen pirincin direncinden daha azdır. Bu yüzden pirinç dövmesinde

kalıplarda daha fazla yük vardır. Ayrıca bakır, oksidi oldukça kuvvetli bir aşındırıcıdır. Pirinç dövmesinde küçük kalıp blokları çelik dövmesinden daha basittir ve uzun çalışma suretiyle sık değiştirme kombinasyonları yüksek alaşımlı kalıp malzemesi kullanımını haklı çıkarır.

Literatürde dövülebilirlik fikri, belirsizlik gösteren deformasyon dirençlerinin bileşimi ve kırksız deformasyon değerleri olarak kullanılmıştır. Bir metalin plastik deformasyon direnci esaslı bir şekilde belirtilmiş verilen sıcaklıklarda akma gerilimi ve uzama oranları durumları dövülebilirliği malzemenin kusursuz deformasyon kabiliyeti olarak basınca ve yük ihtiyacına bakmaksızın tarif eder.

Genellikle metallerin dövülebilirliği sıcaklıkla artar. Bununla birlikte sıcaklık artışı gibi alaşım sistemlerinin bazılarında tane büyümesi dövülebilirliği azaltır. Diğer alaşımlarda dövülebilirlik ikinci tip karışımların karakteristikleri tarafından etkilenir. Gerilim hali dövülebilirliğe etki eden önemli bir işlemdir. Şişirme dövmesinde büyük azalmalar mesela fiberlerin dış kısmında kırılma olabilir. Bir dövme işleminin komple dizaynı ön bilgiler veya karışık tahmini bir şekil, dövme hacmi, adedi ,ön şekil ve blokların şekli, kalıp boyutlarını, ön şekil ve bitirme operasyonları için ilave hacimleri, dövme yükü, enerjisi ve her dövme operasyonu için yük merkezini gerektirir. [10,11]

2.2.1.2 Dövme metodunun seçimine etki eden faktörler

Dövme yoluyla üretimde metot seçiminde etkili olan faktörlerin önemlileri şu şekilde sıralanabilir:

- Dövmenin tam boyutları
- İş parçasının kimyasal yapısı
- Parçanın ağırlık ve kesiti
- Üretilecek parça sayısı
- Tolerans gerekleri
- Maliyet unsurları

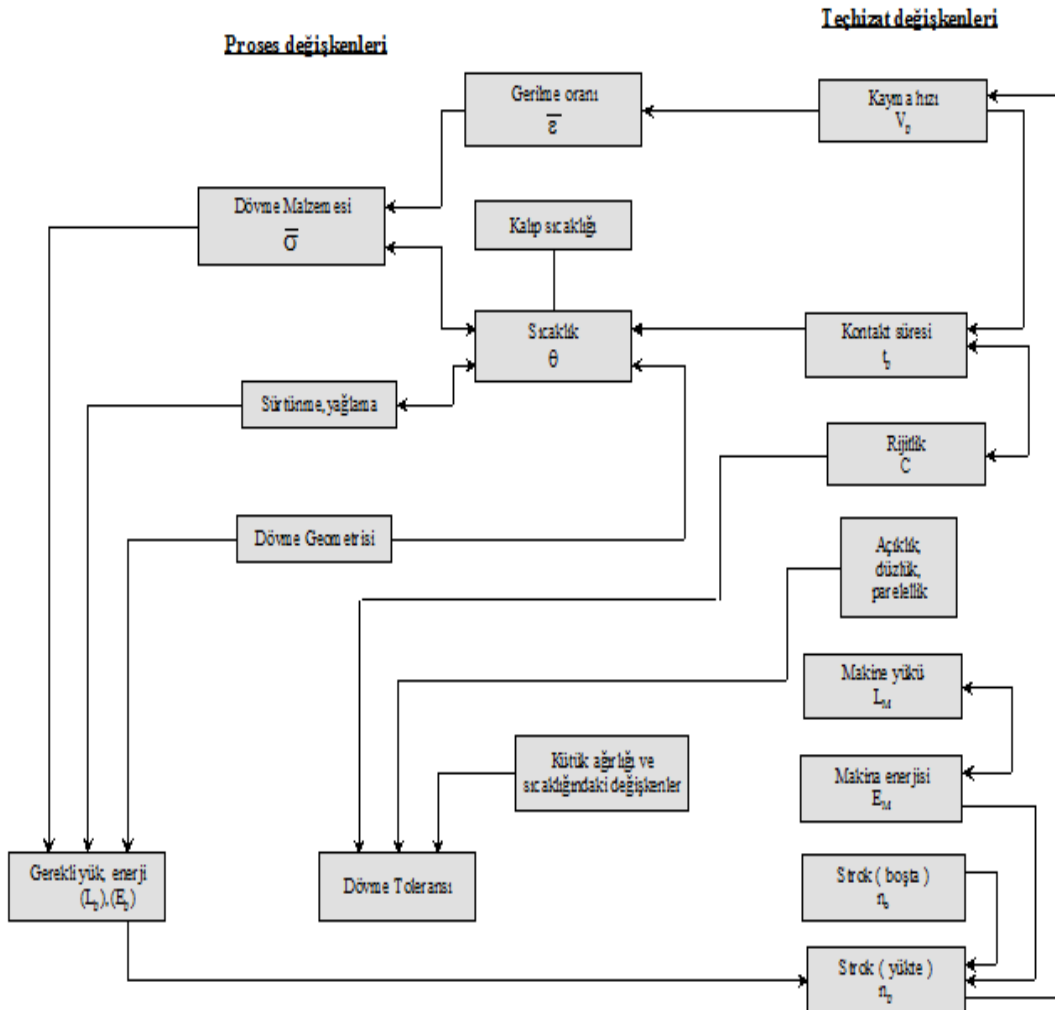
Birçok uygulamalarda metot seçimi; ilave olarak hali hazırda kuruluşun ekipmanlarına, makine kapasitesine, kuruluştaki işlemlerin akışına ve malzemenin ele alınma kolaylığına bağlıdır. [5]

2.2.1.3 Dövme teçhizatı seçimi ve uygulanması

Dövme teçhizatlarının çeşitli tipleri ve uygulamaları dövme boyunca mekanik tavırları göz önünde bulundurarak en iyi şekilde mütalaa edilebilir, teçhizatın etkisi dövme işlemine göre değişkendir. En önemli işlem ve teçhizat değişkenleri ve iç etkileri sıcak dövmede aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Şeklin sol tarafında görüldüğü gibi akma basıncı $\bar{\sigma}$ (σ) yüzey sürtünme durumları ve dövme geometrisi (a) strokunun her pozisyonunda yük (L_p) ve dövme işleminin enerji ihtiyacı belirtilmiştir. Akma basıncı deformasyon oranının artışıyla ve sıcaklığın azalması ile artar.

Çizelge 2.2: Dövme prosesi.



Bu değişiklikler önemli özel dövme malzemelere bağlıdır. Sürtünmeli durumlar kalıp soğukluğunun artışı ile kötüleşir. Sıcaklık bloğuna bağlayan hattın gösterdiği gibi, başta verilen blok sıcaklığı için sıcaklık değişmelerinin dövmede büyükçe bir etkisi vardır. Sürtünme tarafından meydana getirilen ısı miktarı sıcak malzemeden soğuk kalıplara ısı transferi grafit esaslı yağlayıcı kullanıldığı zaman mükemmeldir. Cam esaslı yağlayıcılarla her ne kadar ısı transferi büyük ölçüde azalsa da, bu iç yüzey sıcaklığı, kalınlık ve cam kaplamanın tipine bağlıdır.

Kayma hızı düşük basınç (V_p) belirtir. Başlıca temas süresi (t_p) düşük basıncı ve deformasyon oranını (ϵ) dakikadaki strok sayısı, yüksüz durumlar (n_0) makine enerjisi (E_M) ve deformasyon enerjisi ihtiyacı, kayma hızı tesiri düşük yük strok sayısı (n_p) dövmede her dakikada max. parça sayısı olarak belirtilir. Sağlanan yük ve yüksüz makine bu hızda yüklenebilir. [4-6]

2.2.1.4 Teçhizat özellikleri ve sınıflandırması

Özel teçhizat özellikleri tartışmasında operasyon prensiplerine sadık kalan icatlar dövme sınıflandırılmasında faydalıdır. Bu hız alanı ve hız/strok farkının ilişkisi, dövme makinelerin değiştirilmesi hayli önemli makine dizaynı uyumu gerektirir.

Bir makinenin yük ve enerji özelliklerini ihtiva eden;

- Mevcut makine enerjisi (E_M), aslında elastik makine sapması ve sürtünmeyi yenmek için gerekli enerji
- Piston stroku üzerinde mevcut yük (L_M)
- Mevcut makine enerjinin toplam enerjiye oranı; ($\eta = E_M / E_T$)

İşlem ihtiyacı bunlardan daha az olmalıdır. Zaman harici özellikler;

- Dakikada strok sayısı (n)
- Basınç altında temas süresi (t_p) sıcak malzemenin yük altında kalıp üzerinde kaldığı süre
- Düşük basınç hızı
- Yük altında kayma hızıdır.

Bütün preslerin rijitliği ve piston düşük yükleme durumları göz önüne alınmalıdır.

2.2.2 Kalıpla ilgili genel bilgiler

2.2.2.1 Kalıp seçme faktörleri

- Parça geometrisi ve dövme mamulü toleransları.
- Malzeme ve dövme taslak seçimi.
- Uygulanabilir şartnameler.
- Dövme parçanın ağırlığı.
- İmal edilecek miktar.
- Arzu edilen mekanik özellikler.
- Teçhizatın elverişliliği.
- Dövme kalıplarının projelendirilmesi.

2.2.2.2 Kalıp doldurmaya tesir eden faktörler

- Dövme sıcaklığı.
- Dövülebilme özelliği ve akma mukavemeti.
- Sürtünme ve yağlama.
- Kalıp sıcaklığı ve yüzeyi.
- Şekil ve büyüklük faktörleri

2.2.2.3 Kalıp çelikleri

Tekrar sertleştirilebilen kalıp çelikleri hali hazırda belirli bir sertlik ve kimyasal kompozisyon sahası içindedir.

Aşağıdaki çizelge beş adet sertlik aralığında, yaklaşık boyut ve ağırlıkla beraber verilmiş ticari kalıplara aittir.

Kalıp blokları için sertlik ölçümleri genellikle Brinell testi ile yapılır. Brinell testi standarttır, küçük mikroyapı değişimlerine daha az duyarlıdır. Kalıp bloklarının brinell sertlik cihazında testi yapılırken bir çelik bilye yerine bir karbid bilye kullanılır. Karbid daha dirençlidir. Yüksek sertlik derecelerinde deformasyona ve daha iyi boyutsal stabiliteye sahiptir.

Yeniden sertleştirilebilir kalıp çelikleri genellikle markalı isim ve sertlikleri baz alınarak sipariş edilir. [11,13]

Çizelge 2.3: Kalıp çelikleri.

Sertlik (Brinell)	Sertlik (Rockwell)	Boy (mm.)	Yaklaşık ağırlık (kg.)
447-477	47-50	500	405
388-429	52-46	500	450
341-375	37-40	915	1300
302-331	32-36	1220	240
269-293	28-31	b	b

b değeri belirlenen limit ile sınırlıdır.

2.2.2.4 Kalıp malzemesi seçimindeki faktörler

Kalıp malzemesi aşağıdaki karakteristikler göz önüne alınarak seçilir.

- Üniform sertleşebilme kabiliyeti.
- Dövme esnasında sıcak iş parçasının aşındırma etkisine direnç göstermesi.
- Yüksek basınç ve darbe yükü altında dayanabilme.
- Isıyla kırıma ve deformasyona direnç kabiliyeti.

Blok ve geçme kalıpların sertlik ve malzeme kombinasyonları aşağıdaki maddelerden etkilenir ;

- Dövmenin yapı boyut ve ağırlığı.
- Dövülen metalin kompozisyonu.
- Dövülen iş parçası sıcaklığı.
- Yapılan dövme sayısı.
- Dövme tezgahının tipi.
- Kalıp çelik maliyeti.
- Kalıp işlem sekansı (önce veya sonra sertleştirme)
- Dövme toleransları (açılar dahil)
- Fabrikanın kuruluş yapısı ve benzer uygulamalarda deneyimi.
- Yardımcı ekipmanların mevcudu.

Arzulanan dövme şartları araştırılırken değişken özelliklerin biri diğeri ile çelişebilir. Uygun malzeme ve malzeme sertliği seçilmelidir.

Kalıp blok sertliği çelik kompozisyonu gibi karmaşık bir konudur. Yüksek sertlikler kalıbın aşınmasını geciktirirler fakat kırılma tehlikesini artırır. Kalıp blokları için max. sertlik olarak 52 - 56 HRC sertliğindeki kalıp, nikel ve kobalt esaslı ısıya dirençli parçaların dövülmesinde kullanılır. Emniyetli çalışma sertliği üç ana faktör ile kontrol edilir. [14]

- Dövme boyutları
- Kullanılan dövme tezgahı tipi
- Kalıp gravürünün derinlik ve şiddeti.

Kalıbın kırılması ciddi bir olaydır. Kalıbın kırılması yalnızca parasal kayıp değil, bir dövme tezgahının plan dışında durması ve ciddi imalat gecikmelerini de göz önüne almayı gerektirir. Netice itibariyle kırılmanın riske edilmesi yönünden kalıp sertliğini arttırmak çok ideal değildir. Normalde çekiç kalıpları için 38-42 HRC sertlik değeri kullanılmaktadır.

Sıcak iş çelikleri bazı demir esaslı olmayan dövmeler için dövme çeliklerden daha fazla kullanılır. Özellikle bakır ve bakır alaşımları gibi.

Paslanmaz ve ısıya dayanıklı alaşımların dövülmesinde basınç ve sıcaklığın en uçtaki değerleri oldukça karmaşıktır. Bu alaşımların bazılarında dövme sıcaklığı, karbon çelikleri için gerekli olanlar kadar yüksektir. Ayrıca bu tip alaşımların dövmesinde daha yüksek sıcak mukavemet ve daha büyük dövme direncine tesadüf edilir. 2587 tip takım çeliği bu alaşımların dövülmesinde sık kullanılır. Aynı tip kalıp çelikleri alaşımlı çeliklerde olduğu gibi karbon çeliklerinde de kullanılır. Örnek olarak 310 paslanmaz çelik dövmesi için seçilmiş kalıp çeliği, 410 paslanmaz çelik dövmesinde kullanılan kalıplardan daha yüksek alaşım ihtiva eder. 310 paslanmaz çeliğin sıcak mukavemeti 410 dan daha yüksektir. [15,16]

Kalıplar dövme üretiminde kabul edilebilir en küçük miktardaki istekleri karşılamalıdır. Üretim miktarı az olduğu zaman ve ilave üretim olmayacak ise; kalıp çeliği için daha düşük çelik türünde seçim yapmak optimal olur. Yumuşak kalıp çeliklerinde gravür oymak daha uygundur. Bir dereceye kadar ucuz imal edilmiş

kalıp, kısa çalışma döneminde yıpranmamış olacaktır. Uzun imalat dönemlerinde daha sert kalıpların seçiminde isabet vardır.

Eğer kalıplar çekiç yada preslerde kullanılacaksa kalıp sertlik alanı seçimi kimyasal kompozisyonlardan daha önemlidir. Bununla beraber her ikisi de göz önüne alınmalıdır. [16]

Pres kalıpları çekiç kalıplarından daha sert yapılır. Çünkü kalıp kırılmasında esas olan nedenlerden biri dövme esnasında şokun varlığıdır. Ek olarak pres kalıpları ısıya ve dirence karşı koyabilecek yapıda olmalıdır. Dolayısıyla daha yüksek alaşım ihtiva etmelidir ki, sıcak metal ile temas ettiğinde daha az ısı nüfuziyet etsin. Böylece bir çekiç kullanarak karbon veya alaşımlı çelikten 10.000 veya daha fazla parça imal etmede 341-375 HB'de en düşük alaşım tavsiye edilir. Aynı parça preste dövülecekse biraz daha yüksek derecede alaşım ihtiva eden 369-388 HB sertlikte yeniden sertleşebilir veya daha yüksek sertlikteki 2606 kalıp çeliği tavsiye edilir.

2.2.2.5 Kalıp bozulma sebepleri

Kalıp erken deformasyon ve kırılmasının 3 ana sebebi vardır. Bunlar:

- Kalıbın aşırı ısınması
- Kalıbın aşırı yüklenmesi
- Kalıbın aşınması.

Kalıbın aşırı ısınması dövmede meydana gelen kalıp kırılmalarının en büyük nedenidir. Aşırı ısınma muhtemel olarak kalıp gravür alanı içindedir. İlave olarak aşırı ısınma, sürekli üretimin sonucu olabilir. Bu tehlike ancak kalıbın iç soğutulması ile önlenabilir. Fakat bu metot ekonomik değildir.

Her ne kadar aşırı ısıtmadan daha az etkili ise de aşırı yükleme kalıpları çabuk eskitir ve kırabilir. Aşırı yükleme durumundan, kalıp çeliği ve sertliğinin dikkatli bir seçimi ile kaçınılabilir. Uygun boyutla kalıp blokları, uygun çalışma basıncı, düzgün metal akışını sağlayacak uygun kalıp dizaynı kalıp ve çekiçlerin basma yüzeylerinin düzgünlüğü ile kalıp kırılmasının önlenmesi mümkündür. Uygun olmayan çekiç ve pres kapasitelerinde metal akışını sağlamak için parçanın fazla ısıtılmaması gerekir.

Kalıplarda meydana gelen aşınma ise sıcak metalin kalıp gravürü içinde dağılma ve akmasının sonucudur. Eğer dövme zorlukları yüzünden dövme dizaynı kompleks ise

veya dövülen metal yüksek ısı mukavemetine sahipse ve de en önemlisi parça üzerinde aşırı tufal varsa aşınma şiddetlidir. Her ne kadar aşındırma etkileri tamamen kaldırılamasa da iyi bir kalıp dizaynı ile azaltılabilir. Kalıp kompozisyon ve sertliğinin, dövme tekniğinin, uygun ısıtmanın, tufal temizleme ve kalıp yağlamasının uygun seçimi ile bu sebep en aza indirilebilir. [13]

2.2.2.6 Isı kontrolü

Yüksek sıcaklıklarda çalışan çelik ve diğer dövme kalıplarında iç ısı değişiklikleri ve çatlak oluşumu ölçülemez. Isı değişimi bilhassa kalıbın projeksiyon yüzeylerinde ve köşe kısımlarında görülür. Bloğun merkezi nispeten soğuk kalırken, kalıp yüzeyleri aşırı ısıtıldığı zaman yüzey çatlakları oluşur. Soğutma konsantrasyon oranlarındaki değişim yüzey çatlak sebebidir. Çatlak bir kere başladı mı, dövme yükleri çatlak büyümesine sebep olacak ve bunun devamına müsaade edilirse kalıp kırılacaktır. En fazla yüzey çatlakları, çelik ve ısıya dirençli alaşım dövülmesinde meydana gelir. Yüzeydeki ısı farklarının etkisinin azaltılması, kalıp daha az yağlanarak veya iç soğutma kullanılarak sağlanabilir. [2,3]

2.2.2.7 Kalıp ömrü

Kalıp ömrü aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Kalıp malzemesi ve sertliği
- İş parçasının kompozisyonu
- Dövme sıcaklığı
- Dövme yüzeylerinde iş parçasının pozisyonu
- Kullanılan tezgah tipi
- İş parçasının dizaynıdır.

Hemen daima değişen bir faktör diğerini de değiştirir. Bu etkilerin her birinin kalıp ömrü üzerinde etkileri sabit değildir.

Kalıp malzeme ve sertliğinin kalıp ömrü üzerinde büyük bir etkisi vardır. Uygun sertlikte, iyi seçilmiş bir malzemeden yapılan kalıp, yüksek basınç ve ağır şok etkileri altında bile şiddetli gerilmelere dayanabilir. Aşındırma tahribatına, termal çatlamalara ve dolayısıyla kırılmaya mukavemet edebilir.

Dövülen her malzeme plastik deformasyona farklı direnç gösterir. Bu direnç kalıp yüzeylerinin aşınma yönünden aleyhindedir. Çeliklerin sıcak direnci karbon ve

alaşım elemanlarının artması , plastik deformasyonun büyüklüğü ile artar. Dövülen çeliğin fazla karbon ihtiva etmesi daha kısa kalıp ömrü demektir.

Birçok dövme kuruluşunun ortak deneyimlerinin özet sonucu üretime elverişlilik yönünden aşağıdadır;

1020 çelikten ortalama 30.000 dövme parça beklenirken ,bu rakam 1050 çelikten 25.000, 4150'den 20.000 ve paslanmaz çelikten ise 10.000 dir. [14, 17]

2.2.2.8 Dövme ile şekillendirmede kalıp ayırıcıları ve çeşitleri

Plastik şekillendirmenin her yönteminde olduğu gibi dövme ile şekillendirmede de kalıp ayırıcı kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Metal malzemenin, yine metal malzemeden yapılma olan kalıplar arasında, sıcak veya soğuk olarak basma kuvvetleri etkisinde şekillendirilmesi sırasında kullanılan bu yağlayıcılar hem kalıpların ömürlerine hem malzeme kalitesine hem de dövme prosesinin genel işleyişine etkide bulunmaktadır.

Dövme prosesleri üzerinde çok fazla değişkenin etken olduğu ve bu etkenlerin prosesin uygulanabilirliğinden verimine kadar belirleyici olduğu bilinmektedir. Kalıp ayırıcıları da seçimleri ve kullanımları ile bu etkenlerin en önemlilerinden olmaktadır ve prosesin sağlığını ve verimliliğini yakından ilgilendirmektedir. [7]

Kalıp ayırıcısı; sürtünme, kalıp sıcaklığı, kalıp yüzeyinde deformasyon ve yorulma, işlem hızı gibi dövme parametrelerinden kalıp sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Kalıp sıcaklığında; sürtünme ve kalıp yüzeyinde oluşan deformasyon ve yorulma ile birlikte aşınmaya sebebiyet verdiği bilimsel bir gerçek olarak karşımızdadır. Örnek olarak; sıcak iş takım çeliklerinin 700°C sıcaklıklarda tavlanması sonrası sertliklerinin yaklaşık 35-40 HRC civarlarına düştükleri bilinmektedir. Dövme esnasında bu sertlik değerinin sıcak çelik dövmede genellikle 40 HRC üzerinde 44-45 HRC olması gerekmektedir. Düşen sertlik değeri de darbe ve basma ile birlikte kalıp deformasyonunun artmasına ve kalıp ömrünün artmasına sebep olacaktır. Doğru kalıp ayırıcı seçimi ve uygulaması ile kalıpların aşırı ısınması önlenecek ve gerekli soğutma sağlanacaktır. Böylelikle; kalıp ömrü de artırılabilecektir.

Kalıp ayırıcıdan beklenen özellikler şunlardır:

- Kalıp yüzeyini, iş parçasının daha kolay akabileceği hale getirerek kalıp boşluğunu tamamen doldurmasını sağlamak.

- İş parçasının dövme işlemi sonrasında kalıptan kolayca ve zarar görmeden ayrılmasını sağlamak.
- Kalıp üzerinde iş parçası kaynaklı oluşan ısıyı gidererek, termal çatlamaları ve yüksek sıcaklık aşınmalarını önlemek veya geciktirmek.
- Kalıp dayanıklılığını ve ömrünü (iç yapısal olarak) olabildiğince yüksek tutarak en ekonomik dövme prosesine ulaşmada katkıda bulunmak.

Kalıp ayırıcı çeşitleri zamanla değişiklik göstermiştir. Geçmişten günümüze bir çok farklı ürün kalıp ayırıcısı olarak kullanılmıştır. Özellikle bazı yağlar ve petrol ürünlerinin (örn; fuel oil) endüstride kullanımı çok fazla görülse de günümüzde değişen çevre kanunları, gelişen ürün özellikleri ve yüksek kaliteli mamül üretme zorunluluğu sebebiyle bu gibi ürünlerin kullanımı ya yasaklanmış ya da daha başarılı olan alternatifleriyle yer değiştirmişlerdir. [9]

Bunların yanında; yüksek yağlayıcı - kayganlaştırıcı etkisi sebebiyle grafit tozu da endüstride çok fazla kullanılmaktadır. Ayrıca işlem esnasında, yardımcı eleman olarak talaş tozu ve sabun kullanımları da yine endüstride karşımıza çıkmaktadır.

Piyasadaki kalıp ayırıcılara baktığımız zaman içerdikleri etken maddeden, çözücü ya da taşıyıcı sıvıya kadar bir çok farklı malzeme görebiliyoruz. Bunların arasında grafit içerikli olan ürünler grafitin az öncede bahsettiğimiz özelliklerinden dolayı özellikle göze çarpmakta ve günümüzde en çok kullanılan ürün grubunu oluşturmaktadır.

Grafit içeren kalıp ayırıcılar, grafitin kanıtlanmış olan ve dövme endüstrisinde ayırıcıdan beklenen temel özellikler olan yağlama, ayırma, soğutma ve koruma özelliklerinden dolayı pazarda en çok rağbet gören ürün grubunu oluşturmaktadır. Genellikle grafit oranları ve çözücü çeşitleri (su ya da yağ) ile birbirlerinden ayrılmaktadırlar.

Sentetik kalıp ayırıcılar genel olarak tuz bileşikleri esaslı olup formülasyonlarında grafit içermezler. Bu kategoride bulunan yağlayıcıların grafit içerenlere oranla operasyonel limitleri daha kısıtlı ve dolayısıyla da piyasadaki kullanım oranları daha düşük olmaktadır. (Bütün kalıp ayırıcı kullanımının yaklaşık %15'ini oluşturmaktadırlar.) Bu sebeple daha kolay proseslerde kullanılmakta, ekstrüzyon gibi yüksek aşınma kuvvetleri altında sonuç vermemektedir. Tüm bu özelliklerine rağmen çevresel etki açısından incelendiğinde birçok dövmeciye göre mükemmel derecede zararsız olarak kabul edilmektedir.

Molibden disülfat, boro nitrit, cam vs içeren kalıp ayırıcılar ise genellikle havacılık ve uzay endüstrisinde, savunma sanayiinde ve nükleer enerji sektörlerinde kullanılan titanyum ve diğer özel alaşımların dövülmesinde kullanılmaktadırlar. [7,9,14]

2.3 Dövme Makineleri

Dövme prosesinde ana üretim makineleri presler ve çekiçlerdir. Presler; mekanik pres, vidalı pres ve hidrolik pres olmak üzere 3 ana grupta toplanır. Çekiçler ise ağırlık düşmeli, güç düşmeli ve karşı vuruşlu olmak üzere 3'e ayrılır. Çekiçler genellikle bazı şekil verme işlemleri ve sıcak dövmede kullanılır. Presler ise daha yüksek güçlere ulaşabildiğinden birçok kullanım alanına sahiptir; fakat aşırı yükleme durumları da preslerde çalışma kondisyonunda negatif etkiye sebep olmaktadır. Bu sebeple dövme işleminde üretilecek mamulün hangi dövme makinesinde hangi güç altında çalışabileceğinin iyi bir optimizasyonu yapılmalıdır. Yanlış tezgah seçimi verimlilik kaybına, dolayısıyla maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum da karlılığı büyük ölçüde etkiler. Aynı şekilde yanlış tezgah seçimi kaliteyi de etkilemektedir. Makine tipine uygun olmayan geometri ve boyuttaki parçaların seçimi de istenilen kaliteyi yakalayamama adına sorunsala sebep olmaktadır. [3]

2.3.1 Çekiçler

Çekiç, enerjisi sınırlı ve en ucuzdur. Teçhizat tipleri bir dövme işlemi için enerjiyi aktarmada ve yük meydana getirmede çok kullanışlıdır. Bir iş stroku boyunca deformasyon dağılımı, plastik deformasyon, pistonun şok tesiri ile olur. Başlıca iki tip örslü çekiç vardır. Bunlar; ağırlıkla düşmeli çekiç ve güçle düşmeli çekiçtir. Basit bir ağırlıkla düşmeli çekişte üst piston bir tahta vasıtası ile kaldırılır (tahtalı çekiç) veya bir piston yağ hava ile kaldırılır. Daha sonra örs üzerindeki dövme yüzeyi üzerine düşer. Güç düşmeli bir çekicinin strokunun alt durumunda piston soğuk veya sıcak hava ile ağırlık ilave edilerek hızlandırılır. İki dizaynda soğuk veya sıcak hava tarafından aşağıya doğru hızlandırılırken aynı anda alt piston üst pistonla bağlı çelik bantlar yardımı ile (daha küçük kapasiteler için) yukarıya doğru hızlanır. Daha büyük kapasitelerde çelik bant yerine hidrolik devresi kullanılır. Alt pistonla kalıp montajı dahil edilir. Yaklaşık olarak alt piston üst pistondan %10 daha ağırdır. Bu nedenle üflemeden sonra alt piston aşağı doğru hızlanır ve üst pistonu başlangıç noktasına getirir. Pistonların birlikte hızları 7m/sn dolaylarındadır. Her iki piston toplam

kapanma hızının yarısı kadar hızla hareket ederler. Titreşim temelde ve çevresinde olur. Uygun karşı vuruş çok az enerji kaybettirir. [16]

Bir iş stroku boyunca bir çekicinin toplam nominal enerjisi (E_T) deformasyon için geçerli enerjiye tamamen dönüştürülemez. Enerjinin küçük bir kısmı kayıtların sürtünmesinde, rijitlik payı ve çevre titreşimi kaybıdır. Örslü çekiçlerde hava verimi ($\eta = E_A / E_T$) örs ağırlığı ile artar. Bu nedenle örslü çekiçlerde, genellikle 1/10 veya 1/25 örs piston oranı makbuldür. Bu değerlerin karşı vuruşlu çekiç için %5-10 daha yüksek olması istenir. Alt piston yataklanır böylece düzeltilmiş doğru yataklama elde edilir ve alt piston dövme boyunca sadece kayarak hareket eder. Bu bir çözüm olarak dövmenin idaresini kolaylaştırır.[17]

2.3.1.1 Ağırlık düşmeli çekiçler

Bu çekiçlerde koçun belli bir yükseklikten bırakılmasıyla dövme iş ve parça şekillendirmesi yapılır. Düşen ağırlık etkisiyle parça şekillendirilir. Uygulanan kuvvet mesafeye ve düşen ağırlığın miktarına bağlıdır.

$$G = 75 \cdot B \cdot (v/v_0)^2$$

G: temel bloku ağırlığı (t)

B: koç ağırlığı (t)

V : koçun son hızı (m/sn)

Vo: 5,6. h=1,60 m için kabul edilmiş bir değer (m/sn)

2.3.1.2 Güç düşmeli çekiçler

Bu çekiç tipinde de koç kendi ağırlığı ile düşerken oluşan hareketi buhar, hava ve yağ ile hızlandırır.

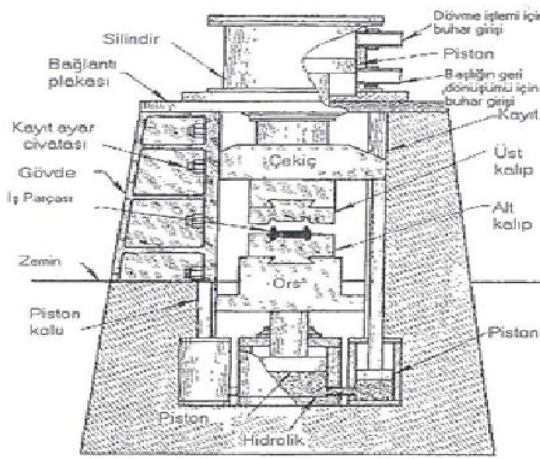


Şekil 2.11: Havalı çekiç.

2.3.1.3 Karşı vuruşlu çekiciler

Karşılıklı çalışan iki koçun birbirine doğru hareket edip ortada buluşarak dövme işlemi yapan tezgahlardır. 5-7 atmosfer basınçlı hava ile çalışırlar.

Üst koç ve alt koç birbirine hidrolik olarak bağlıdır, tezgah ilk hareketi üst koçun üstündeki sıkıştırılmış havadan alır ve üst koça bağlı iki piston silindirler içinde hareket ederek hidrolik sıvısını sıkıştırıp alt koçu iterek yukarı doğru hareket etmesini sağlar. Daha sonra alt koç üst koçtan daha ağır olduğu için vurma işlemi gerçekleştikten sonra alt koç yer çekimi etkisiyle aşağı doğru hareket ederken aynı hidrolik sistem vasıtasıyla üst koçu da yukarı doğru hareket ettirir. Genel olarak akslar, dingiller, kollar ve dişlilerin dövülmesi için kullanılırlar. [3,5,14]



Şekil 2.12: Karşı vuruşlu çekiciler.

2.3.2 Hidrolik presler

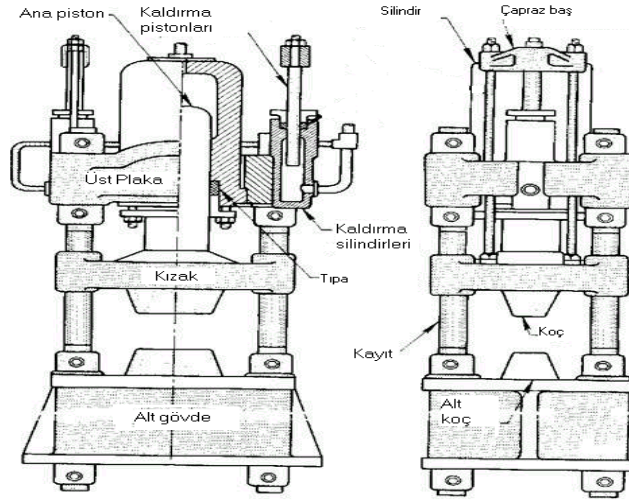
Hidrolik preslerin çalışma prensipleri çok basittir. Pistonun, hidroliğin hareketi ile silindir içinde yönlendirilmesidir. Hidrolik makineler esas olarak yükü sınırlı makinelerdir. Dövme operasyonlarında taşıma kapasiteleri başlıca mevcut yük ile sınırlıdır. Bu makineler açık ve kapalı kalıp dövmelelerinde kullanılırlar.

Bir presin işlem özellikleri, tipi ve hidrolik kumanda sistemi dizaynda esaslıca belirtilmelidir. Direkt yönetilen presler genellikle hidrolik yağda bir çalışma ortamına sahiptirler. [3]

Preslerin çalışmalarında bir su-yağ karışımı kullanılırlar ve ortalama basıncı muhafaza etmek için nitrojen kullanılır. Dolaylı yönetilen preslerde max. pres yükü pompa ve sistemin basınç kabiliyeti ile sağlanır ve tamamen pres strok girişi ile elde

edilebilir. Bu nedenle hidrolik presler geniş enerji miktarı gerektiren ekstrüzyon tip operasyonlar için ideal uygunluktadır. Küçük ve orta boy parçaların kapalı kalıp dövmelelerinde, ön şekil ve alüminyum ve magnezyum alaşımlarının dövmesi için hidrolik presler kullanılır, kalıpları soğutmada herhangi bir problem göstermezler. [13]

Çelik, titanyum ve yüksek sıcaklık alaşımlarının dövmesinde hidrolik presler 6000-8000 ton kapasite ihtiyacı gerektiren operasyonlar için kullanılırlar.



Şekil 2.13: Hidrolik presler.

2.3.3 Mekanik presler

Mekanik preslerin çalışması dövme hareketini doğrusal vargel hareketine dönüştüren bir kayıcı krank mekanizmasına dayanır.

Devamlı kavrama momenti gücü volan enerjisini kayıcı piston koluna ileten eksantrik şaftta mevcuttur. [3,14]

Dövme operasyonu boyunca her strok için enerji ihtiyacı baştaki hızın %80 - 90 'ına kadar yavaşlaması kabul edilen volan tarafından sağlanır. Toplam enerji volan tarafından karşılanırken buna sürtünme ve elastik kayıplarda dahildir. Elektrik motoru volanı düşürülmüş hızdan (n_1) baştaki hıza (n_0) bir sonraki strok başlamadan önce getirilmelidir. Bir eksantrik presin piston hızı giriş stroku boyunca değişir ve dakikadaki strok sayısı ile direkt orantılıdır. Volan hızının baştaki hıza ulaşması; basınç altındaki temas süresi (t_p) ve düşük basınç hızı (V_p) esas olarak kayıcı krank mekanizmasının ölçülerine ve presin rijitliğine bağlıdır. Piston açısının eğimi, yükün

kaçıklığı ve toplam yük sapması da önemli etkenlerdir. Diğer kayıplar piston kolunda ve yapısındadır. Güncel çalışmalar, rijitlik, ölçme tekniğindeki gelişmeler ve presin yük kaçıklığını önleme kabiliyeti düşük dinamik yükleme durumlarının meydana gelmesine çözüm getirmiştir.

Birçok yeni pres dizaynları “kama kumanda”, “şok kumanda” ve “yan kumanda” gibi sistemler görülür. Bu dizaynların amacı;

- Dövme kapasitesini arttırmak
- Düşük yüklenme ve yükleme merkezinin kaçıklığını önleyici aksesuarları artırmak.
- Otomasyon
- Yüksek dövme hızları temin etmek.

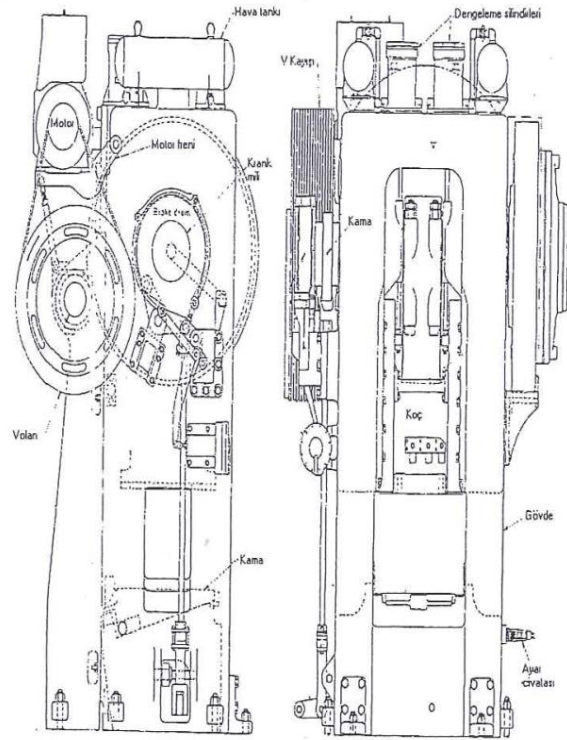
Bir ana eksantrik mil vasıtasıyla çalışan piston kolunun aşağı-yukarı hareket etmesiyle dövme işlemini gerçekleştiren tezgahlardır. Bir elektrik motorundan güç alan ve tezgahın atalet momentinin depolandığı büyük bir volan mevcuttur. [15]

Mekanik preslerin bazı avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yük ve dövme oranları çekiçlerden daha iyidir. Bir çok dövme presi dakikada 70 vuruş yapabilir.
- Şok hadisesi preslerde çekiçlerden daha azdır. Kalıp blokları bu sebepten preslerde daha küçük tutulabilir. Darbenin şiddetinin az olması nedeniyle kalıp ömrünü uzatma yönünden daha sert kalıp imalına müsaade edebilirler.
- Preslerde çalışan personel için çekiçlerdeki kadar operatörün becerisine gerek yoktur.

Mekanik preslerin dezavantajları ise aşağıdaki gibidir:

- Aynı tür malzemenin üretilmesi için başlangıç maliyeti çekiç maliyetinin üç mislidir.
- Presler arka arkaya gelen vuruşlarda eşit yük verebilirler. Bu sebepten çekme ve yuvarlama operasyonlarında daha az başarılıdırlar.
- Simetrik olmayan parçalar için presler, çekiçlerden daha uygun değildir.



Şekil 2.14: Mekanik presler.

2.3.4 Vidalı presler

Dişli (veya vidalı) pres bir sürtünme, dişli, elektrik veya hidrolik kumanda kullanarak volanı hızlandırır ve dişli kinetik enerjiyi doğrusal kayma enerjisine dönüştürür.

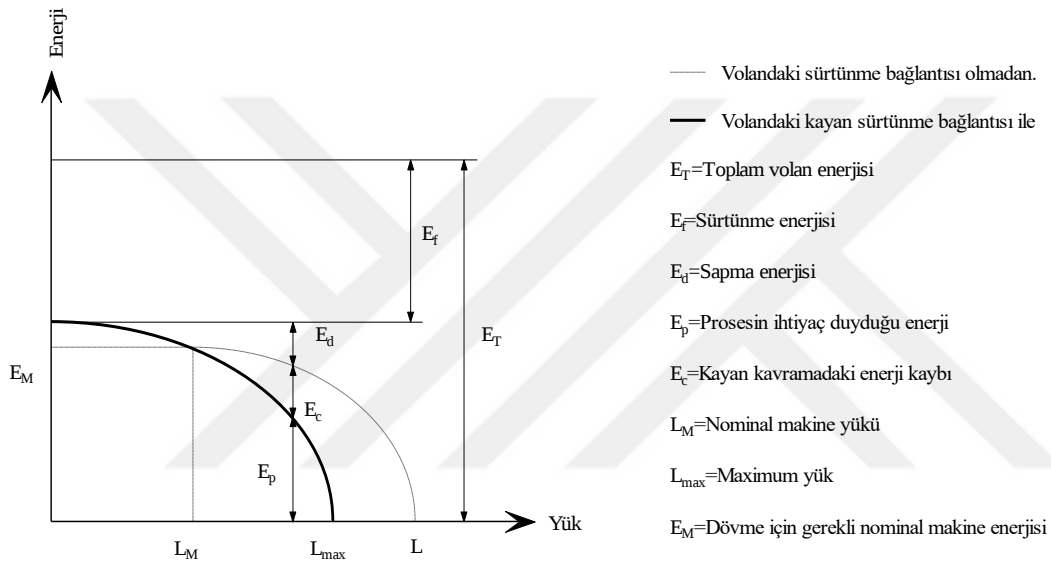
Enerjisi sınırlı bir çekiç gibi olan bir dişli pres de yük ve enerji bir biri ile direkt bağlantılıdır. Bir pres için uygun yük, strok sonunda işlemin deformasyon enerjisine bağlıdır. Bu yüzden devamlı bir volan enerjisi, düşük deformasyon enerjisi (E_p) mevcut olur, düşük yük sonunda (L_M).

Kayıp enerjiyi yok etmek kalıp aşınması ve gürültüyü önlemek için dişli presler bir enerji ölçeği ile teçhiz edilmiştir ki, o volanın hızını kontrol eder ve toplam volan enerjisini düzenler. [16]

Genel olarak dişli preslerin üretim oranı mekanik preslerden daha düşüktür, (özellikle otomatik hale getirilmiş yüksek hacim operasyonlarında.) Basınç altında temas süresi (t_p) piston hızı ve presin rijitliği direkt bağlantılıdır. İnce parçaların dövmesinde mekanik eksantrik preslerden daha kısa temas süreleri ve daha hızlı deformasyon hızı sağlarlar. Bir dişli pres bir çekiç gibi operasyon yapar. Üst ve alt kalıplar her vuruşta öpüşür. Yük ve enerjinin tesir ettiği presin rijitliği dövme parçalarda kalınlık

toleranslarını etkilemez. Operasyonun uygun usulü kalıpları da ilgilendirir, çünkü bir çekiç veya hidrolik pres kalıpları gibi çapak ihtiyacı için düzetme ayarlama yoktur. Dişli presler, bıçak ağızları, pirinç ve alüminyum parçalarının dövmesinin doğruluğunda özellikle Avrupa’da başta gelen bir yere sahiptir.

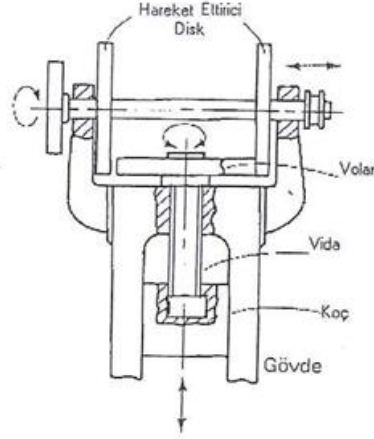
Bu tezgahlar şimdi elektrik ve hidrolik kumandalı ayrıca 14500 ton kapasiteli ve dünyadaki bir çok parçaların operasyonuna uygun şekilde imal edilmektedir. Yeni bir dişli pres dizaynında bir dişli kumanda kaması kullanılmalı böylelikle yük merkezi kaçıklığı düzeltilmelidir. [17]



Şekil 2.15: Vidalı presler ve enerji arasındaki bağıntı şeması [19].

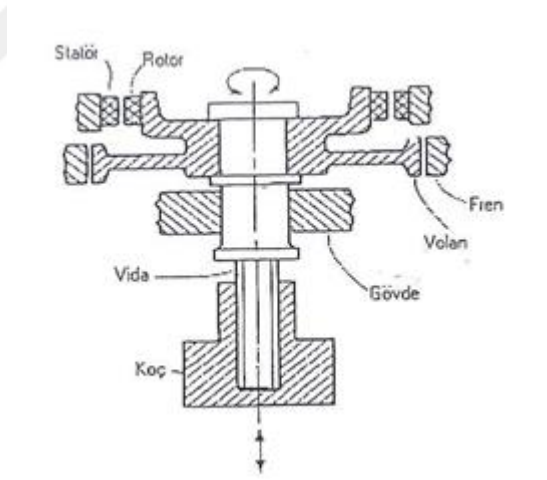
Aşağıdaki şekilde sürtünmeli tahrik sistemli bir vidalı pres görülmektedir. Kare dişli, çok büyük adımlı bir vida, kendisini koça bağlayan bir sistem içinde serbest döner. Vidanın üst taraftaki ucuna bir volan tespit edilmiştir. Mile bağlı diskler sürekli olarak döner ve mil kumanda levyesi vasıtası ile oklar yönünde hareket edebilir. Böylece bazen diskler tarafından döndürülen volan vidanın somunu aşağı yukarı hareketini sağlar.

Koçun aşağı doğru hareketinde volanın enerjisi ve koçun hızı, koç iş parçasına temas edene kadar artar. Volan, enerjisinin tümünü iş parçasını şekillendirmek ve presi elastik olarak zorlamak için harcadıktan sonra volan, vida ve koç durur. Bundan sonra volan diğer disk tarafından döndürülerek koç yukarı çıkarılır. [1,2]



Şekil 2.16: Vidalı pres.

Sürtünmeli tahrikten başka direk elektrik tahrik sistemli vidalı presler de vardır. Bu preslerde, çift yönlü bir elektrik motoru volanın yukarısına vidaya ve gövdeye bağlanmıştır. Vida düşey olarak hareket edemez fakat dönmesi sonucunda koçun hareket etmesini sağlar. Volan dönme yönünü değiştirmek için her stroktan sonra elektrik motoru ters yönde çalıştırılır. [4]



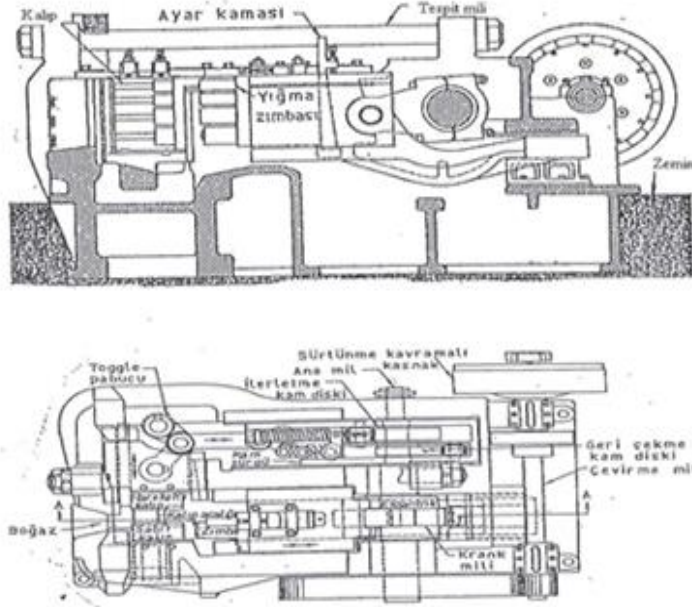
Şekil 2.17: Vidalı pres (direk elektrik tahrik).

2.3.5 Sıcak yığma presleri (Yatay presler)

Yığma preslerinin hareketli başlığı yatay düzleme paralel çalışır. Bu presler, mekanik kumandalı eksantrik milli olabileceği gibi hidrolik veya pnomatik sistemli olarak da yapılmıştır.

Mekanik kumandalı yığma preslerinin hareketli (yığma) başlığı, mekanik dövme preslerinde olduğu gibidir. Ancak hareketi yatay konumdadır.

Eksantirik mil veya krenk mili hareketi, elektrik motoru yardımıyla dönen kasnak ve kavrama sisteminden alır. Bu hareketi yığma başlığına iletir. Kalıp yarım-larından biri yığma başlığına, diğeri sabit gövde üzerine monte edilir. [5]



Şekil 2.18: Yatay pres.

Çizelge 2.4: Tezgah tipi- hız aralığı arasındaki ilişki [6].

Dövme tezgahı	Hız aralığı f/sn.	Hız aralığı m/sn
Hidrolik pres	0.2 - 1.0 ^(a)	0.6 - 0.30 ^(a)
Mekanik pres	0.2 - 5	0.16 - 1.5
Vidalı pres	2 - 4	0.6 - 1.2
Serbest düşmeli çekiç	12 - 16	3.6 - 4.8
Hava takviyeli çekiç	10 - 30	3 - 9.
Karşı vuruşlu çekiç	15 - 30	4.5 - 9
HERF makineleri	20 - 80	6 - 24

^(a) Düşük hızlar ve büyük kapasiteli presler için geçerlidir.

Çizelge 2.5: Tezgah tipi- güç arasındaki ilişki [6].

Takviye düşmeli çekimler (m/kg)	Karşı vuruşlu çekimler (m/ton)	Mekanik presler (ton)	Hidrolik presler (ton)
1540	1	600	500
2310	2	900	750
3630	3	1400	1200
4770	4	1800	1500
5770	5	2160	1800
7220	6	2700	2250
9700	8	3600	3000
12000	10	4400	3700
16000	13	6000	5000
19100	16	7000	5850
23900	20	8700	7300
30400	25	10000	8300
50070	40	--	15000

2.4 Dövme Kusurları

Dövme yöntemiyle üretilen parçaların döküm ve talaşlı imalat yöntemiyle üretilen parçalara göre daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Fakat her üretim sürecinde olduğu gibi dövmede de üretim esnasında bazı hatalar oluşacaktır. Önemli olan bu hataların oluşma mekanizmalarının anlaşılıp, kök sorununa inilmesi ve çözümün orada gerçekleştirilmesi, sonrasında ise gerekli koruyucu önlemlerin alınmasıdır.

Uygun şartlar altında birçok üretim hatasını bertaraf etmek mümkündür; fakat maliyet baskısı ve kısa sürede üretme zorunluluğu üretim süreçlerini limitlerde çalışmaya zorlamaktadır. Bu durum da hatalara sebep olabilmektedir. [22]

Optimum tasarım şartlarının sağlanamaması veya tasarımın mükemmel uygunlukla üretime yansıtılamaması ve bazı malzeme kaynaklı problemler bu hataların oluşmasına sebep olmaktadır. Üretimin muhtemel uygunsuz şartlarına dirençli bir proses dizaynı bu hataların oluşmasında en büyük engeli teşkil edecektir. [24]

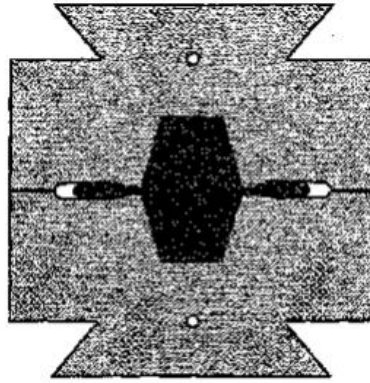
İyi bir dövme süreci elde etmek için malzemenin ya da ön şeklin dizaynı ile nihai ürünün kalıp dizaynının bahsedilen dirençlerin en az olacağı akış yolunu tayin edecek şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu duruma dikkat edilmemesi ve ön

şekil ve bitirme arasındaki uyumsuzluklar da bu hataların oluşmasına neden olmaktadır.

Şekilsel hataların köklerine inilmesi ve daha tasarım aşamasında sorunların çözülmesi sağlam ve güvenilir bir kalıp elde etmek, hatasız bir dövme mamül elde etmekte en önemli yoldur. [25]

2.4.1 Kalınlık değerinin istenilen ölçüden fazla olması

Daha sıklıkla kalıptan kaynaklı olarak görülen problemlerdendir. Kalıptaki işlemenin belli oranlardan fazla olması sonucu oluşur. Tasarım esnasında belirlenen çapak hattı kavramı da bu oluşumda etkilidir. Çapak hattı optimal değer altında belirlenirse alt ve üst kalıp için yeterli yaklaşma oranı elde edilemeyecek ve parça kalınlığının istenen düzeyden fazla olmasına sebep olacaktır. Optimal çapak hattı dizaynıyla giderilebilir. Yanlış tezgah seçimi, kesim sırasında belirlenen parametrelerin hatalı olması(ağırlık, en, boy) veya tavlama esnasında malzemenin fırında az tutulması da bu tarz problemlere sebep olabilmektedir. [13]



Şekil 2.19: Kalıp-kalınlık ilişkisi.

2.4.2 Kalınlık değerinin istenilen ölçüden az olması

Kalıp işlenmesi esnasında veya dizayn aşamasında kalıp boyutları istenilen ölçüde ayarlanamadığı zaman görülür. Kalıp açısında istenilen şartlar sağlandığı halde(şişmenin önlenmesi, uygun derinlik gibi) hala görülüyorsa malzemenin kesim değerleri ve fırındaki tavlama süresi önemlidir. Eğer malzeme uygun tav süre ve sıcaklığının üzerinde tavlansa veya kesim boyu istenilen koşullardan az olursa meydana gelebilir. [16]

2.4.3 Malzeme yürümesi

Kalıp içinde dövme esnasında kör nokta diye tabir edilen bölgelere malzemenin dolmasında problemler oluşabilir. Gravür dizaynı ve kalıp geometrisi bunu sağlayacak şekilde bir tasarım yapılmalıdır. Aynı zamanda malzemenin uygun dövme sıcaklığında dövme sıcaklığına tabi tutulması da bu problemi kaldırmakta önemli bir etkidir. [17]

2.4.4 Doldurmama

Ön dövmenin yetersizliği ve ezmenin tam yapılamaması malzemenin kalıbı tam dolduramamasına neden olur. Dövülecek malzemenin et kalınlığının az olması da probleme sebebiyet verir. İyi bir yağlamanın olmayışı da doldurmamaya neden olabilir. Ayrıca malzeme gramajının yetersiz olması, tavının düşük olması ve ocakta malzemenin yanarak bir kısmının tufal olarak malzemeden ayrılması da bu problemin nedenlerindendir. [18, 22]

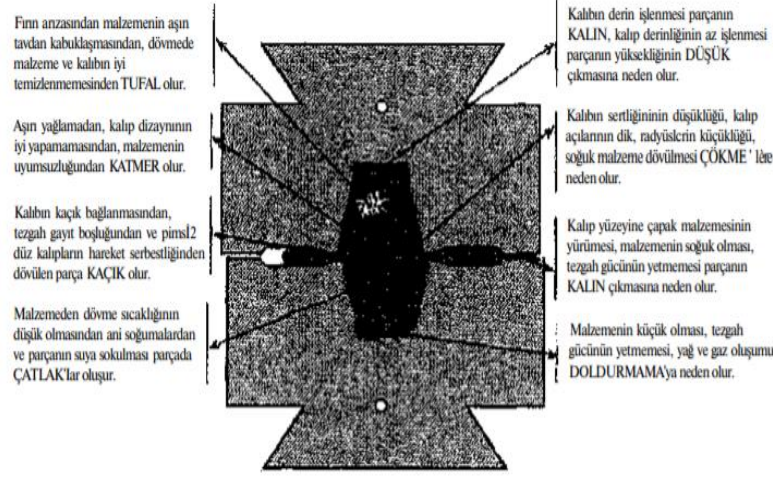
Sebepler aşağıdaki gibidir:

- Fazla tufallı oluşu
- Malzeme yetersizliği
- Ön şekil uyumsuzluğu
- Çapak cebi kalınlığı
- Malzeme tavının düşük olması
- Yağlamanın uygun olmaması
- Çapak hattının yerinde uyumsuzluk
- Parçaya göre tezgah gücünün yetersiz olması
- Kalıbın radyüsünün uygun olmaması

2.4.5 Tufal ve yüzey kalitesi

Malzemenin cinsine göre tavlama sıcaklık ve süreleri optimal olarak belirlenir. Sıcak dövme prosesinde tavlama operasyonu kaliteye etki eden önemli değerlerdendir. Malzemenin ısıtılmasıyla yüzeyinde çepeçevre oluşabilen tufal yüzey kalitesini negatif etkiler. Kullanılan fırının yakıt cinsi dahi tufalin oluşumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple çeşitli tufal temizleme yöntemleri kullanılmaktadır.

Manuel hava tutma ve otomatik tufal temizleyiciler kullanılarak giderilmesi mümkündür. Parça şekli, kullanım amacı ve geometrisine göre de tufal toleransları belirlenir ve bu toleranslar dahilindeki tufallar kalite standartları içerisinde. [22]



Şekil 2.20: Bazı dövme hataları.

2.4.6 Sertlik

Dövme prosesinden sonra, parça kendi kendine soğuması esnasında sertleşebilir. Bunun oluşumunda dövme makinesinin bulunduğu ortamın izole durumu, maruz kaldığı hava akımı vb. sebepler etkilidir. Bu sebeple üretilen parçalar belli kapalı ortamlarda muhafaza edilip, uygun kasa, palet, sepet gibi yardımcı ekipmanlarla aktarılmalıdır. Ayrıca dövme işleminin düşük sıcaklıklarda bitirilmesinden dolayı da parça sertleşecektir. [11,12]

2.4.7 Tane büyümesi

Malzemenin dövme sıcaklığı malzeme cinsine göre değişiklik gösterecektir. En optimal koşulların belirlenmesi çeşitli teorik ve pratik hesaplara dayanır. Mekanik özelliklerin kalitesini belirlemek açısından, seçilen dövme sıcaklığı etkilidir. Optimal değerlerden daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında tane büyümesi sonucu mukavemet ve tokluk benzeri özelliklerde azalma görülür. Bu sebeple şekil alabilme sıcaklığı alt ve üst sınırlarda sabitlenmeli ve pirometre cihazı veya otomatik ölçüm sistemleriyle kontrol edilmelidir. [5, 23]

2.4.8 Katmer

Malzemenin iki ayrı akış yönünden gelerek birbiri üzerine katlanması olayıdır. Dövme prosesinde en önemli ıskarta nedenlerinden biridir. Çeşitli nedenlerden oluşabilir:

- Kalıp radyüslerinin küçük olması
- Malzemedeki kesim bozukluğu
- Malzeme tavrının uygun olmaması
- Malzemenin uygun ağırlıkta olmaması
- Ön şekil ve bitirme operasyonları arasındaki uyumsuzluk
- Ön şekil işleminde kaçıklık olması
- Malzeme akışını sağlayacak yeterli açının olmaması
- Hatalı yağlama yapılması
- Kalıpların bağlanma hatası
- Tezgah kızaklarının çok boşluklu olması
- Ön şekil kalıbındaki çatlaklar
- Çekiçlerde kalıp bağlama kamalarının gevşek oluşur.

Kalıpta katmer oluşumunu önlemek için aşağıdaki işlemler uygulanabilir:[26]

- Kalıpta malzeme akış radyüslerini gereği kadar büyük tutmak gerekir.
- Malzeme giyotin makasta kesiliyorsa kesim yüzeylerinin düzgünlüğüne çapaklı ve aşırı yanma olmamasına dikkat edilir. Bu hataları gidermek için iki bıçak arasındaki mesafe malzemeye göre ayarlanır. Kesme ağızlarının düzgün ve taşlanmış olmasına dikkat edilir. Malzemenin makasta kesime uygun sertlikte olmasına bakılır.
- Malzeme tavrının uygun olması çok önemlidir. Fırın derece ve göstergeleri kontrol altında tutulmalıdır. Alır tavlı ve aşırı soğuk malzeme katmer nedeni olabilir.
- Dövme parçada ilk etapta hesap neticesinde elde edilen kg ve boya göre deneme yapılarak alınan netice sonucu keism kararı verilir.
- Ön şekil ve son şeklin birbirine göre uyum durumları kesit kontrolüyle tam olarak sağlanmalıdır.
- Malzeme akışını sağlayan açılarının küçük olması nedeniyle oluşan katmeri önlemek için açılarda ve geçiş radyüslerinde artırma gidilmelidir.

- Ön şeklin kaçık olması bitirme operasyonunda katmere neden olacağından ön şeklin kaçıklığı ayarlanmalıdır. Fakat ön şekil ve son şekil aynı kalıp üzerindeyse kalıp tahsis edilmelidir.
- Kalıp yağlama işlemine dikkat edilmelidir. Fazla yağ kullanıldığında derin olan gravürlerde biriken yağ tam olarak yanmadığı için hacim oluşturur. Bu durum da katmere neden olabilir. Kalıplar gerektiği şekilde bağlanmazsa her seferinde farklı yerlerde aldığı malzemeyi parça üzerine yapıştırarak katmere neden olur. Kamalar veya bağlantı elemanları daha rijit bağlanarak bu hata önlenir.[6,24]

2.4.9 Çatlak

Dövme parçaları yüksek oranda emniyet parçalarının temelini oluşturur. Otomotiv sektöründe krank mili, mil, aks, aksön, muylu, biyel kolu, dingil gibi parçalar dövme yöntemiyle üretilir. Bu sebeple dövme yüzeyinde oluşan çatlak veya kılcal deformasyonlar tespit edilmelidir. Proaktif olarak ise bu çatlakların hiç oluşmaması için dövme malzemenin tedarikçisinden montajına kadar süren süreçte takibinin yapıp bu problemli parçaların önüne geçilmesinin sağlanması gerekir. Üretimden gelen laminasyon problemleri kesim prosesi öncesinde tespit edilmelidir. Ayrıca uygun olmayan dövme sıcaklıklarında yapılan işlemlerde de malzemenin maruz kaldığı deformasyon sonucu iç ve dış yüzeylerinde çatlaklar görülebilmektedir. Aynı şekilde uygun olmayan darbe kuvveti kullanılarak dövülmeye çalışılan parçalar sonucu da çatlaklar oluşabilmektedir. Bunun için parçanın büyüklüğüne göre vuruş kuvveti seçilmelidir. [5,6]

2.4.10 Kaçıklık

Alt ve üst kalıbın gravür eksenlerinin üst üste gelmemesi olayıdır.

- Pim boşluklarının çok olması
- Geçme kalıplarda tutucu ve kalıplardaki eksen uyumsuzluğu
- Tezgah kızak boşluklarının çok olması nedeniyle zaman içinde pim vb. yapıları aşındırarak kaçıklık oluşturması
- Eksen düzensizliği sonucu oluşur.

2.4.11 apak oluşumu

apak kesme kalıbının ölçülerinin büyük olması, aşınması ve kısmi kırılması parça üzerinde apak kalmasına neden olur. apak kesme kalıbının parçaya uymaması ve tezgaha iyi bağlanmaması da apak sorununu ortaya çıkarır. Bu problem kalıpların tadılan ile ortadan kalkar. Operatörün parçayı kalıba tam oturtamaması, seri basımlarda kalıpta apak parçalarının birikmesi ve st kalıp ile alt kalıbın boşluklu olması da apak problemine yol açar. [3]

2.4.12 Çökme

Kalıptaki şekil değişimleri, kalıbın uygun sertlik değerine ulaşamaması ve malzeme tav sıcaklığının yetersiz oluşuyla görülen deformasyonlar çökmeye sebep olur. şişmeler, kalıp sertliğinin az olması ve soğuk malzeme dövülmesi nedeniyle kalıpta meydana gelen deformasyonlar dvlecek parçalar üzerinde çökmelere sebebiyet verebilir. Kalıbın tahsis edilmesi ile bu problem önlenir. [14]

2.4.13 Sıyırma

apak kalıbında kesme açısı olmaması veya yetersiz oluşu, parçanın apak kalıbına düzgün konulmaması ve apak kalıbı ölçülerinin yetersiz olmasıyla oluşabilecek hatalardandır.

2.4.14 şekil ve boyut hataları

Hatalı kalıp dizaynı, ayar ve aşınması nedeniyle meydana gelir. n şekillendirme, yağlama ve parça temizliği de boyuta etki ederler. Kalıp dizaynı ve dövme tezgahının kapasitesinin parçaya uygunluğu boyut ve malzeme özellikleri açısından en önemli faktörlerdir. [22]

2.4.15 Flambaj

Malzemenin yığma oranının çok büyük olmasından dolayı meydana gelen bir kusurdur. Özellikle yatay preslerde şişirme tipi işlerde rastlanır. Koni ve operasyon hesaplarının gözden geçirilerek, gerekirse operasyon ilave edilerek çözülür. [23]



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Ekipmanlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan ekipmanlar ikiye ayrılmıştır. Bunlardan ilki malzemenin üretilmesinde kullanılan tezgah, makine ve fırınlardır. İkincisi ise üretilen parçanın kontrolünün sağlanmasında kullanılan cihazlardır.

3.1.1 Dingil ve dişli üretiminde kullanılan ekipmanlar

3.1.1.1 Dingil üretiminde kullanılan ekipmanlar

Kesim işlemleri için Behringer marka dairesel testere kullanılmıştır. Dövme tavlama fırınları olarak Elind marka fırın kullanılmıştır. Dövme işleminde DG-40 olarak tabir edilen karşı vuruşlu çekiç kullanılmıştır. Çapak kesme işleminde 2500 tonluk hidrolik pres kullanılmıştır. Isıl işlem fırını kontinü tip hat olan Sistem Teknik marka fırındır. Kumlama makinesi Endümak marka askılı kumlamadır. Doğrultma tezgahı Mae marka hidrolik doğrultma tezgahıdır.

3.1.1.2 Dişli üretiminde kullanılan ekipmanlar

Kesim işlemi için Behringer marka dairesel testere kullanılmıştır. Elind marka indüksiyon fırınları kullanılmıştır. Eğme operasyonunda Lasco marka recpres tezgahı kullanılmıştır. Vidalı pres ise Schöler markadır. Kumlama tezgahı ise Endümak marka askılı kumlamadır. Kullanılan tezgahlar ve makineler ile ilgili fotoğraflar 4. bölümde verilmiştir.

3.1.2 Üretilen parçaların kontrolünde kullanılan ekipmanlar

Üretim esnasında gereken bazı kontroller ve oluşan üretim sonrasında ise kalitenin kontrol edilmesi amacıyla bazı ölçüm ve testler gerçekleştirilmiştir. Bütün bu ölçümlerin kontrolünde aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır:

3.1.2.1 Atomik absorpsiyon spektrometresi

Atomik adsorpsiyon spektroskopisi (AAS), gaz halindeki ve temel enerji düzeyinde bulunan atomların, UV ve görünür bölgedeki ışığı absorplaması ilkesine dayanır. Işıma şiddetindeki azalma, ortamda absorpsiyon yapan elementin derişimi ile doğru orantılıdır. Atomik absorpsiyon spektroskopisinde metallerin çoğu ile az sayıda ametal analiz edilir. Atomik absorpsiyon spektroskopisinde element, elementel hale dönüştürüldükten sonra buharlaştırılır ve kaynaktan gelen ışın demetine maruz bırakılır. Aynı elementin ışın kaynağından gelen ışınları absorplar. Sulu numune, alev içine bir yükseltgen gaz karışımı ile püskürtülür. AAS'nin temel çalışma prensibi, gaz halindeki atomların ışığı absorplamasına dayandığı için hazırlanan çözeltinin gaz halindeki atomlarına dönüştürecek bir atomlaştırıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Atomik adsorpsiyon spektrofotometrisi, elementel analizlerde kullanılan önemli bir araçtır. Aran elementler, o elemente has dalga boyundaki ışığı soğurması yardımıyla bulunmaktadır. Katot lambada, aran elementin dalga boyu genelde elementin kendisinin uyarılması ile elde edildiği için, örnekteki miktarlar için keskin sonuçlar verebilmektedir. Genellikle metaller için kullanılır. AAS, kimyasal işlem laboratuar analizlerinde kullanıldığı gibi, günlük hayatta su kirliliği, toprak kirliliği ve hava kirliliği oluşturan elementlerin limit miktarları doğrultusunda uyumluluk analizleri için de kullanılmaktadır.

3.1.2.2 Sertlik ölçme cihazı

Üretilcek malzemenin istenilen sertlik değerlerini sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek amacıyla ilgili numunelerden sertlik alınmıştır. Sertlik almada kullanılan cihaz şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Sertlik ölçme cihazı.

3.1.2.3 Çekme testi cihazı

Üretilen malzemenin çekme test değerlerini elde etmek için yapılan bu işlemde şekil 3.2'deki cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Çekme testi cihazı.

3.1.2.4 Optik pirometre

Malzeme sıcaklıklarının kontrolünde otomatik ölçüm sisteminin yanı sıra manuel olarak optik pirometrelerle de ölçüm sağlanmıştır. Pirometre bir yüzeyin sıcaklığını ölçmek için kullanılan uzaktan algılama yapabilen bir termometre türüdür. Pirometrelerin platin dirençli, ısıl çiftli, optik yada ışıyım esaslı çalışan çeşitleri vardır. Platin dirençli termometreler ve ısılçift ilkesiyle çalışan pirometrelerin, sıcaklığı ölçülecek cisme temas ettirilme gerekliliği vardır. Optik ve ışıyım esaslı çalışan pirometreler ise uzaktan kullanılabilir. Optik pirometreler ısıyı, hedef yüzeyin parlaklığını içindeki ısıyı bilinen başka bir akkor parlaklık ile karşılaştırarak ölçerler.



Şekil 3.3: Optik pirometre.

3.1.2.5 Manyetik çatlak kontrol ekipmanı

Manyetik çatlak kontrol tezgahı olarak TMM marka manyetik çatlak kontrol cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz tahribatsız muayene yöntemlerinden olan MT(Manyetik Test) metodunu esas alarak malzeme üzerindeki süreksizlikleri tespit etmeye yarayan bir cihazdır.



Şekil 3.4: Manyetik çatlak kontrol cihazı.

3.2 Kullanılan simülasyon programı (Transvalor-ForgeNxT)

FORGE® NxT, soğuk ve sıcak şekil verme prosesleri için geliştirilmiş bir yazılım çözümüdür. Fransız yazılım şirketi TRANSVALOR'un geliştirdiği yazılım; otomotiv, havacılık, savunma sanayi, enerji, sağlık vb. gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır.

FORGE® NxT yardımıyla açık ve kapalı kalıpta dövme, yüzey haddeleme, halkalı haddeleme, dönel haddeleme, hidrolik presle şekillendirme, ekstrüzyon, sürtünme kaynağı, kademeli dövme, cam şekillendirme, tel çekme, derin çekme, sac metal şekillendirme, delme ve kesme, süperplastik şekillendirme ile bazı geleneksel olmayan sıcak şekillendirme prosesleri simüle edilebilir. Aynı zamanda bazı ısıt işlemler ile soğuk şekillendirme prosesleri de yazılımın simüle edebildiği konular arasındadır.

3.3 Yöntemler

Dingil ve dişli parçaların her ikisi için de üretim yöntemi olarak kapalı kalıpta çapaklı dövme tercih edilmiştir. Dingil üretiminde dövme ana makinesi için çekiç kullanılmıştır. İlk proses adımından son basamağa kadar birçok simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar taslak çekme, eğme, dövme, çapak kesme ve ısıtıl işlem prosesleri için tekrar tekrar yapılmıştır. En optimal koşullar(minimum hata veya hata sıfırlamak) simülasyonlar gerçekleştirilmiştir ve 4. Bölüm olan deneysel çalışmaların yorumlanması bölümünde en iyi simülasyon sonuçları gösterilmiştir.

Dişli üretiminde de ana dövme makinesi olarak vidalı pres tercih edilmiştir. Ezme, ön şekil ve dövme-bitirme proseslerinde simülasyonlara başvurulup oluşan hataların minimize edilmesi amaçlanmıştır.



4. SİMÜLASYON VE DENEYSEL SONUÇLAR

Simülasyon ve deneysel çalışmalar iki farklı tip parça üretimi için gerçekleştirilmiştir.

4.1 Dingil Üretimi

Dingil üretimi birçok proses aşaması olan bir üretim prosesidir. Birçok aşaması olduğu için her prostedeki parametre değişkenlerinden ötürü parça üzerinde tahmin edilebilir-edilemez birçok hatanın oluşması muhtemeldir. Bu hataların yok edilmesi veya minimize edilebilmesi için belirlenen dingil üzerinde bir ön etüd yapıp ilgili boyutlar belirlenmelidir. Bunun sonrasında üretim akış diyagramı oluşturulup her bir üretim adımında kritik noktalar incelenmeli ve gerekli görülen yerlerde simülasyonlarla sonuç alınıp en optimal koşullar değerlendirildikten sonra pratik üretime geçilmelidir.

Bu uygulamada dingil üretimi için dövme yöntemlerinden “Kapalı kalıpta çapaklı dövme” yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan malzeme 42CrMo4’tür. Üretilmesi istenin parçanın modeli üzerinden ağırlık hesabı yapılarak dövme ağırlığı değeri bulunur. Dövme ağırlığı bu parça için 99 kg’dır. Dövme ağırlığı üzerinden ampirik formüllerle belirlenmiş olan katsayılar ile çarpılarak tahmini kesim ağırlığı bulunur. Aslında kesim ağırlığı, dövme ağırlığı ve hurdaya gidecek çapağın ağırlığının toplamıdır. Yapılan hesaplamalar sonucu kesim ağırlığı 139 kg olarak bulunmuştur. $M=d.V$ formülünden ($M=d.l.a^2$) a değeri belirlenir. (M-toplam ağırlık, d-özkütle, V parça hacmi, l kesim boyunu ve a kare kesidin bir kenarının uzunluğunu göstermektedir.)

Kare kesit kenar uzunluğu 110 mm olarak belirlenmiştir. Kare kesitin değeri üzerinden kesim boyu elde edilir. Bu boy da 1530 mm olarak bulunmuştur. Böylece üretilmesi istenen dingilin boyutlarına en yakın kare malzeme seçilmiştir ve bu malzeme 110 mm x 110 mm kesitinde ve l= 1530 mm boyundadır.

Kesit ve boyut belirlendikten sonraki aşama dingilin proses aşamalarını belirlemek ve gerekli görülen yerlerde çeşitli simülasyonlar yapmak olmuştur. Belirlenen değerlerle gerekli görülen aşamalarda her aşamada en optimal değeri bulmak amacıyla her kademede en az 8'er tane simülasyon yapılmış ve ilgili şekillere bu simülasyonlardan en optimum sonucu verenler konulmuştur. Proses akışı aşağıdaki gibidir:

- Kesim
- Dövme tavlama
- Taslak çekme
- Eğme
- Dövme
- Çapak kesme
- Isıl işlem
- Kumlama - Çapak Taşlama
- Doğrultma
- Manyetik çatlak kontrol
- Taşlama

4.1.1 Kesim

Kesim işleminde dairesel testere kullanılmıştır. Dairesel testerede girilen malzeme cinsi, boyu, kesit değeri sonucu tezgah tarafından belirlenen optimal hızlarda kesim işlemi gerçekleşmektedir. Bu bölümde oluşabilecek potansiyel hatalar aşağıdaki gibidir:

- Kesim ağırlığının az olması sonucu doldurmama hatası görülebilir.
- Malzeme ile ilgili bilgiler yanlış belirlendiğinde tezgah tarafından kesim eğrisi vb. hatalar oluşabilir.

4.1.2 Dövme tavlama

Dövme tavlama için indüksiyon ve doğalgaz fırınları kullanılmaktadır. Bu çalışmada doğalgaz fırın tercih edilmesinde üretilecek parçanın büyük kesitli ve

hacimli malzeme olması belirleyici olmuştur. Fırın dövme işleminden yaklaşık 8 saat önce yakılmış ve istenen sıcaklık değerine ulaşmıştır. Parçanın tavlanaacağı sıcaklık ve süre, parça kesitine göre belirlenmiştir. Tav sıcaklığı bu parçaya göre 1200°C ve süresi ises 13 dk olarak belirlenir. Tabi parametreler belirlenirken yüzelde tufal oluşmasını engelleyecek değerler seçilmelidir. Tercihlerde bu göz önüne alınmıştır.



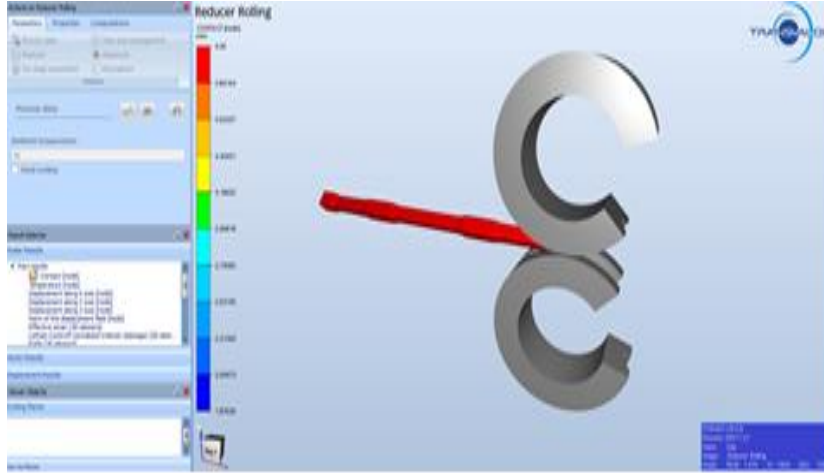
Şekil 4.1: Doğalgazlı tav fırını.

Tavlamada görülebilecek potansiyel hatalar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Malzemenin istenilen sıcaklık değerinin üzerinde tavllanması sonucu yüzey bozukluğu ve doldurmama görülebilir. Bu durum dövme tezgahından veya kalıptan kaynaklanan bir problemten ötürü malzemenin planlanan süreden uzun olarak fırında kalmasıyla oluşur.
- Malzemenin yetersiz tavllanmasıyla birlikte de katmer, doldurmama ve kalınlığın fazla olması gibi problemler oluşabilir. Bu durum da fırında oluşan bir arızadan ötürü olabilir. Sıcaklık problemleri optik pirometre yardımıyla keşfedilir.
- Heterojen tavlama sorunu ile birlikte direk olarak ıskarta oluşabileceği gibi doldurmama ve katmer de görülebilir. Heterojen tavlama fırın bazlı oluşan bir hatadır. Optik pirometre ve göz kontrol ile keşfedilir.

4.1.3 Taslak çekme

Parça boyutları belirlendikten sonra tasarım aşamasında hacim hesabı yapılmıştır ve yapılan hacim hesabına göre taslak çekme operasyonu simüle edilmiştir. Simüle değerleri olarak makara dönme hızı 30 rpm alınmıştır.

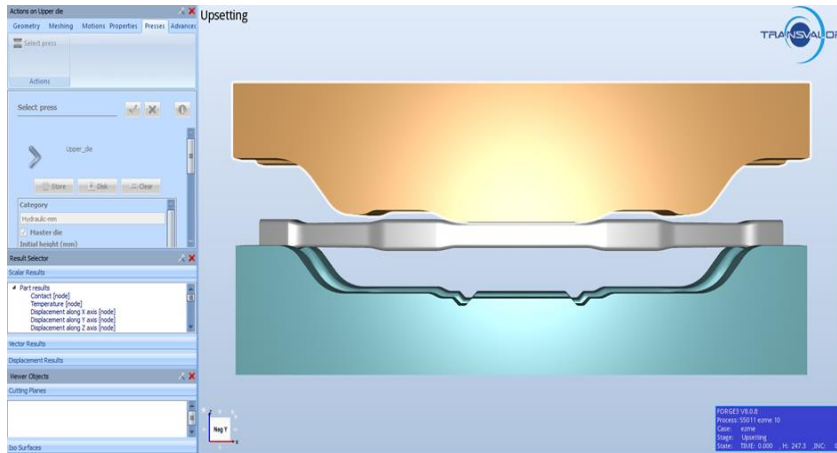


Şekil 4.2: Taslak çekme.

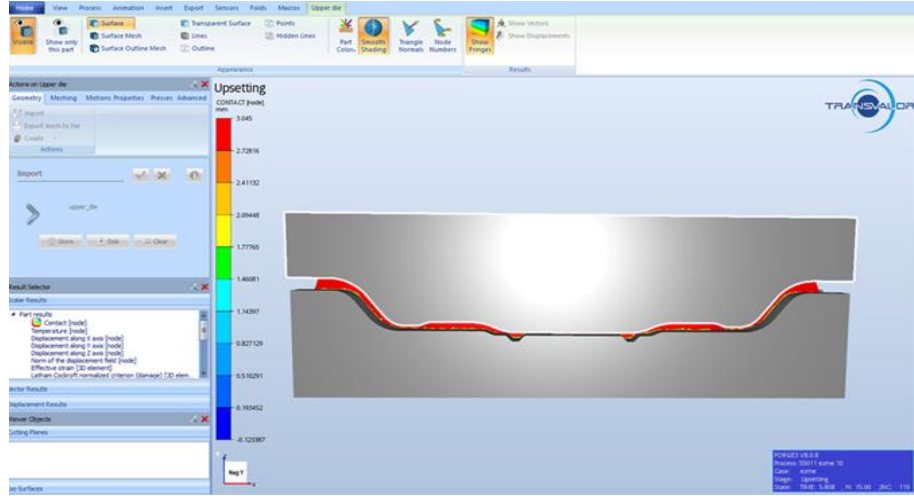
Simülasyonlar sonucu yapılan analizlerden sonra taslak çekme operasyonu reckvals tezgahında gerçekleştirilmiştir.

4.1.4 Eğme

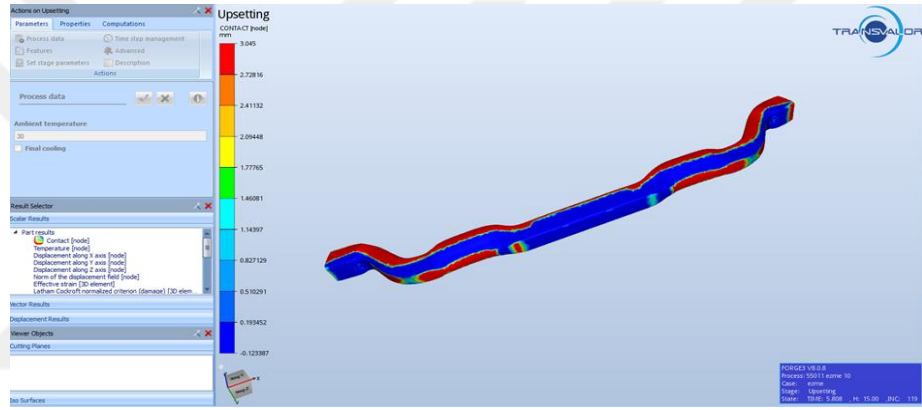
Taslak çekilen parça eğme kalıbına koyulur. Eğme operasyonundan sonra ana dövme işlemine geçileceği için eğme değerleri ve sonunda oluşacak şeklin durumu kaliteli üretim için çok önemlidir. Bu aşamada dizayn ve kalıp kaynaklı hatalar ile kalıba oturmama problemi görülebilir. Bu sebeple bu hataları anlamak amacıyla teorik eğme değerleri simülasyon sonucuyla belirlenir. Belirlenen simülasyon sonuçlarına göre Recpres tezgahında, tezgah hızı 40 m/sn olarak alınır. Parçanın kot farkını sağlayacak kadar olan eğme yüksekliği belirlenir. Bu parça için yükseklik değeri 85 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.3: Eğme.



Şekil 4.4: Eğme operasyonu son aşama.



Şekil 4.5: Eğme operasyonu sonucu oluşan şekil.



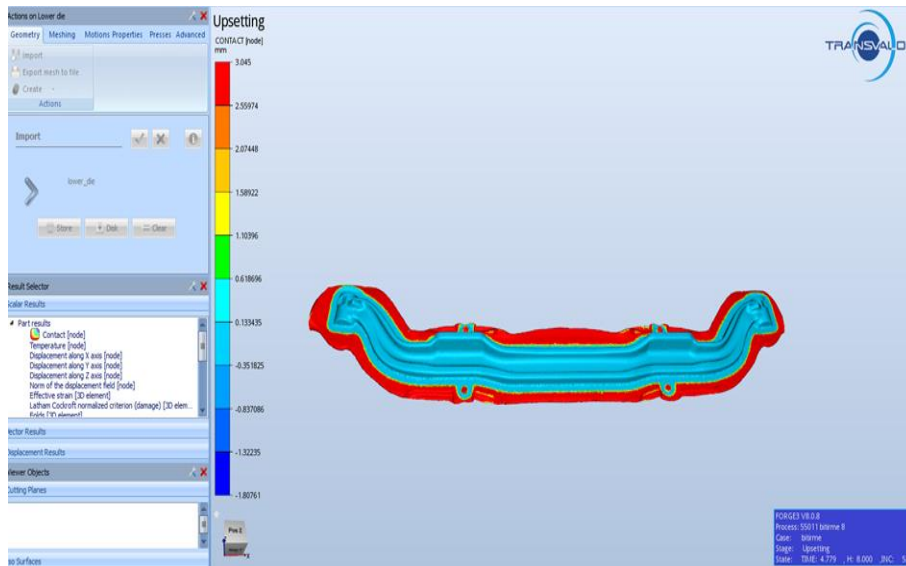
Şekil 4.6: Recpres genel görünüm.

4.1.5 Dövme(Bitirme)

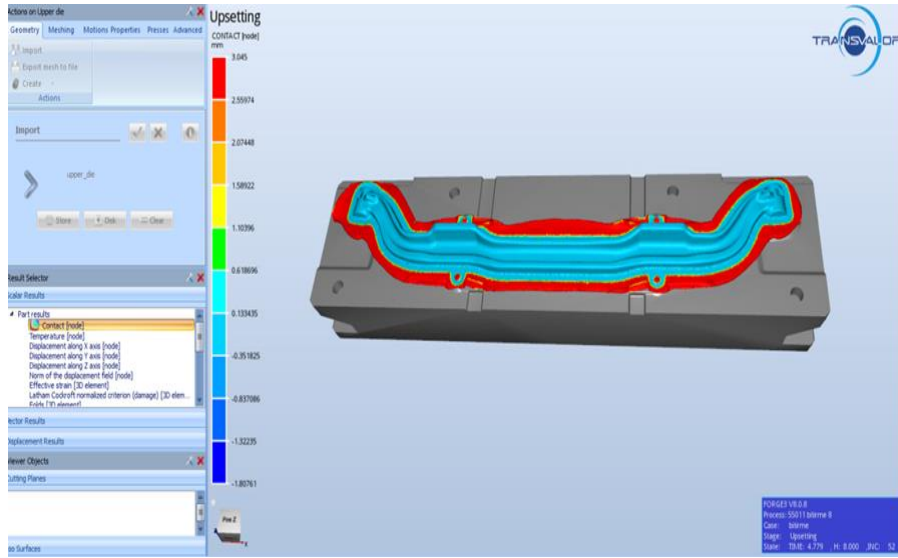
Eğme operasyonundan sonra ufak bir ara tav yapılarak eğme operasyonunda sıcaklığı düşen parça tekrar dövme sıcaklığı olan 1200°C'e getirilir ve dövme operasyonu gerçekleştirilecektir. Oluşabilecek en önemli potansiyel hatalar belirlenmiştir. Bu hatalar kısaca aşağıda belirtilmiştir:

- Hatalı taslak çekme, ezme, dizayn ve kalıp hatalarının bir veya birkaçının meydana gelmesiyle doldurmama hatası tetiklenir.
- Bu adımda hatalı taslak çekme, ezme, dizayn ve kalıp hatalarının bir veya birkaçının meydana gelmesiyle oluşabilecek bir diğer hata da katmerdir. Katmer taşlama yöntemleriyle giderilmeye çalışılır ve tolerans dahilinde istenilen ölçüler elde edilebilir. Fakat emniyet katsayısının yüksek olduğu bu tip dövme parçalarda katmer sonucu oluşabilecek çatlak vb. yapılar parçanın direk ıskarta olmasına sebep olabilir.

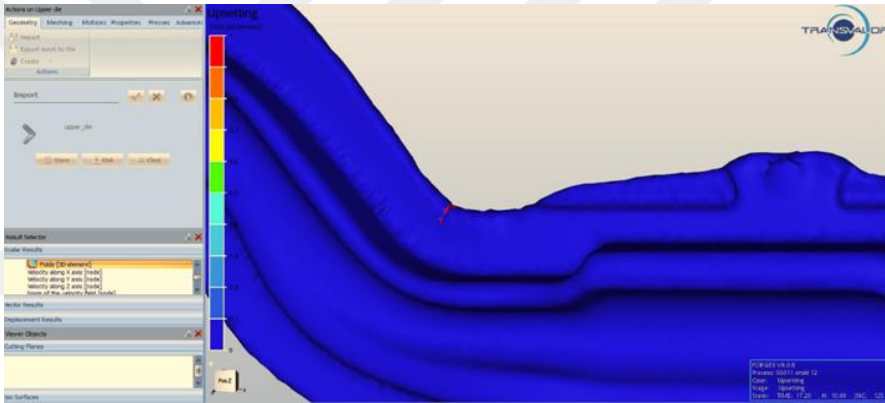
Bu ve benzeri durumlar göz önüne alınarak uygun simülasyon sonucu elde edilene kadar simülasyon işlemi 11 kere tekrarlanmıştır. Simülasyonda kalıp ağırlığı 10 ton olarak alınmıştır. Alınan en optimal verilerden sonra pratik dövme değerleri belirlenmiştir.



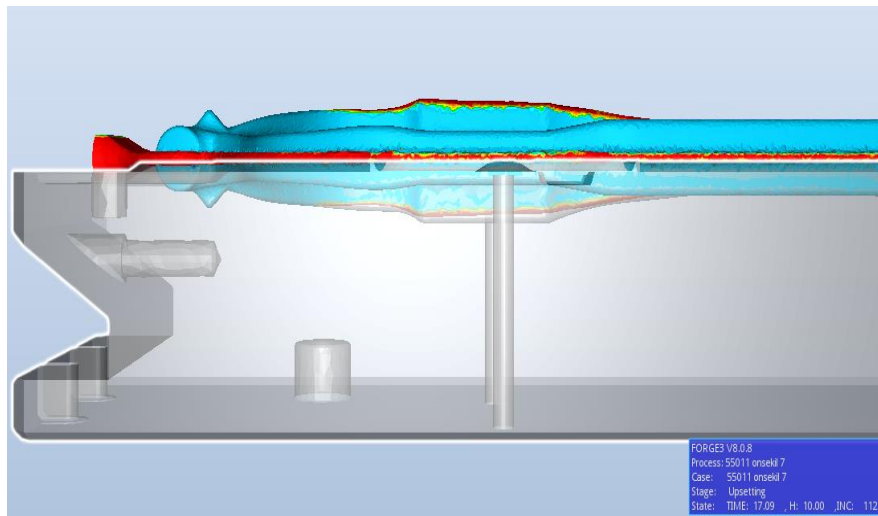
Şekil 4.7: Dövme işlemi kalıpsız görünüm.



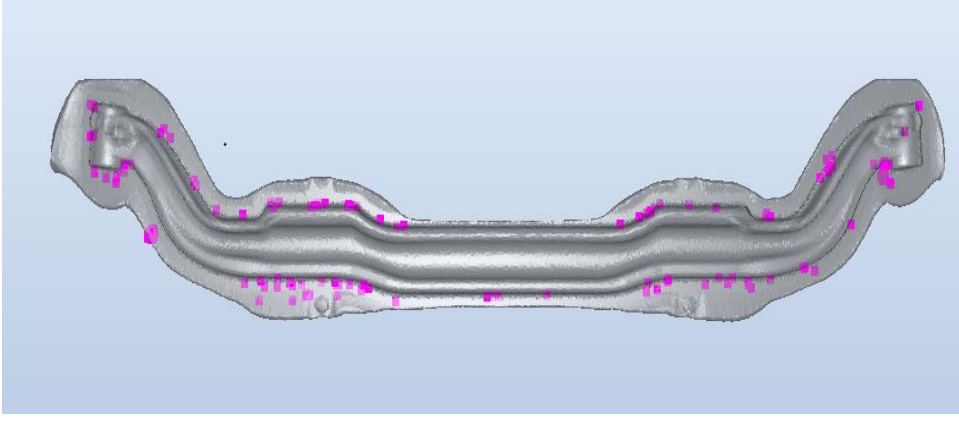
Şekil 4.8: Dövme işlemi alt kalıplı görünüm.



Şekil 4.9: Dövme işleminde katmer hatası.



Şekil 4.10: Dövme işleminde doldurmama hatası.



Şekil 4.11: Dövme işleminde yüzeysel hatalar.

Yukarıdaki Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de görülen hatalar optimal simülasyonlar dışındaki simülasyonlara örnek olarak alınmıştır. Optimal koşullar sağlanmadığında bu şekillerdeki gibi hatalar elde edilmektedir. Simülasyonlar birçok kez tekrarlanarak bu tip hataların sıfırlanması veya minimize edilmesi planlanmıştır. Neticede de diğer örnek ve şekillerde optimal simülasyon sonuçlarına ait analizler ve resimler alınmıştır.

Simülasyonlardan çıkan sonuçlar doğrultusunda karşı vuruşlu bir çekiç tipi olan DG-40 tezgahında dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tezgah ortalama 15 tonluk bir güç iletimi ile şekillendirme işlemi gerçekleştirmektedir. Darbe sayısı simülasyon sonucu olarak 4 adet belirlenmiştir. Tezgah karşı vuruşlu çekiç olduğundan tezgahın ilk darbesi ile son darbesi arası güç iletimi aynı olmamaktadır. Bu sebeple teorik olarak ilk darbe %70 enerjili, ikinci darbe %80, üçüncü ve dördüncü darbeler ise %100 kabul edilmektedir. Dövme işleminden önce kalıplar yağlanmış, darbe sonunda parça üzerine talaş atılmıştır. Böylece parçanın kalıba yapışması engellenmiştir. 4 darbede gerçekleştirilen dingil üretim işleminde ilk darbeden sonra parçanın yüzeyinde oluşacak kalıcı tufalleri azaltmak amacıyla hava tutulmuştur. Darbe tamamlandığında kalıpların arasından parça çıkarılıp, kapalı kalıpta çapaklı dövmeden dolayı oluşan çapağın kesilmesi için çapak kesme operasyonuna başlanmıştır.

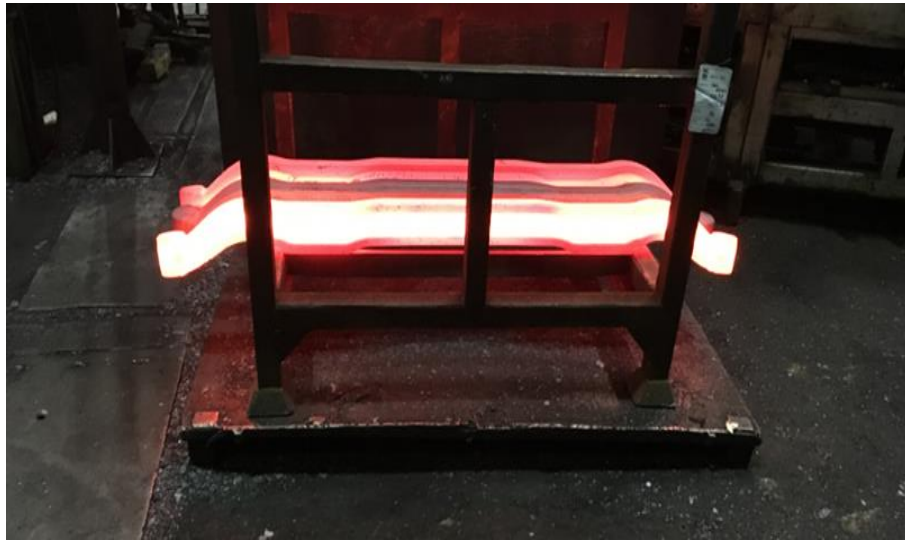
4.1.6 Çapak kesme

Çapak kesme işleminde, kalıp hatasıyla birlikte derin kesme oluşabilir. Iskartaya neden olur. Bu sebeple çekiçten çıkan malzeme hidrolik prese yerleştirilirken

kaçıklık hatası olmamasına dikkat edilmelidir. Çapak kesme formunda parça boyutunun 1'er mm dışından ölçü alınarak çapak kalıbı oluşturulur. Böylece çapak kalıbının parçaya net oturması sağlanır. Çapak kesme aşaması oluşabilecek hataları kabul etmek amacıyla simüle edilmiştir ve sonrasında belirlenen kriterler doğrultusunda hidrolik preste çapak kesme operasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.12: Çapak kesme.



Şekil 4.13: Çapak kesme işlemi sonrası dingil görünümü.



Şekil 4.14: DG-40 karşı vuruşlu çekiç - dövülme anı.

4.1.7 Isıl işlem

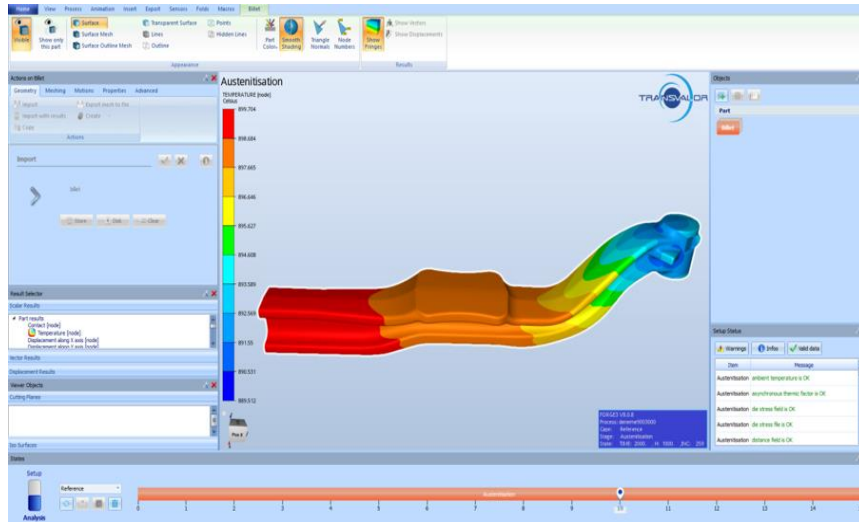
Çapak kesme işleminden sonra yapılacak olan ısıtıl işlem parçanın gerek mekanik özelliklerinin gerekse fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde çok önemli bir süreçtir.

Parçaların meneviş fırınında düşük sıcaklıkta kısa süre kalmasıyla birlikte sertlik fazla olabilir. Parçanın işlenmesinde problem oluşur.

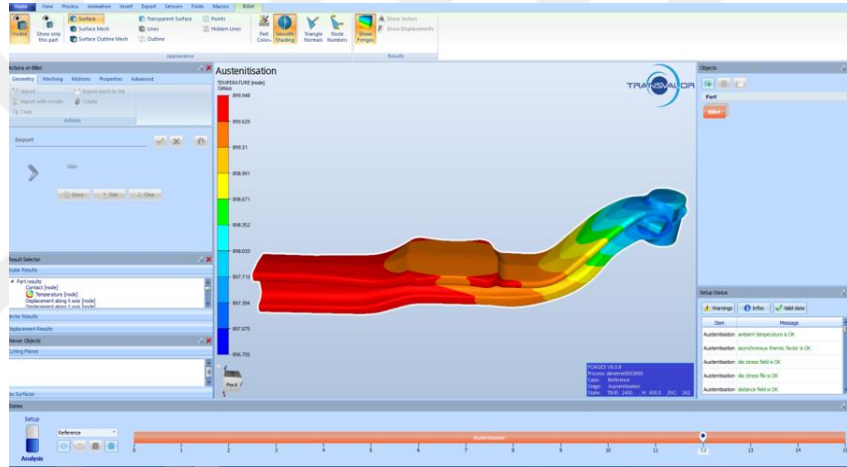
Parçanın meneviş fırınında yüksek sıcaklıkta uzun süre kalmasıyla istenilen sertlik değerinin altında sertlik elde edilebilir. Böylece uygun olmayan parça mukavemeti elde edilir.

Parçanın yüksek sıcaklıkta uzun süre bekletilmesiyle de karbon yanması gözükabilir.

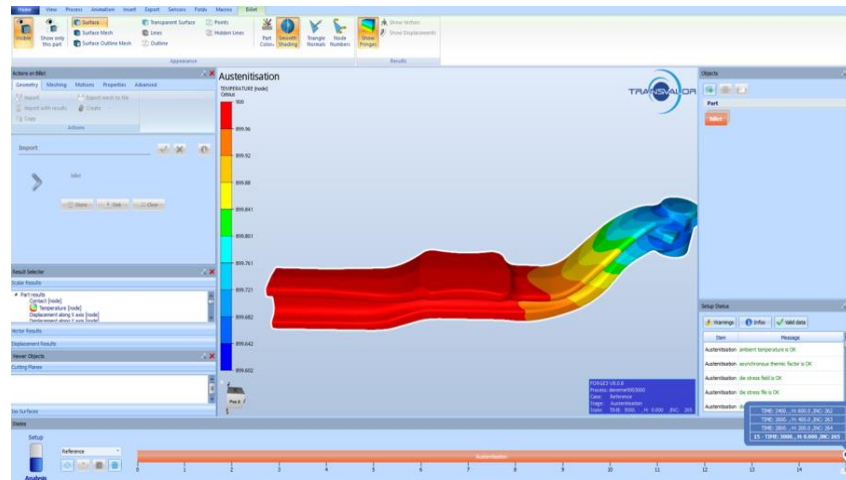
Malzemenin 42CrMo4 olduğu göz önüne alınarak parçaya yapılacak olan ısıtıl işleminin süre ve sıcaklık değeri gibi iki önemli parametresinin belirlenmesinde simülasyon sonuçları ve pratik tecrübeler önemli olmuştur.



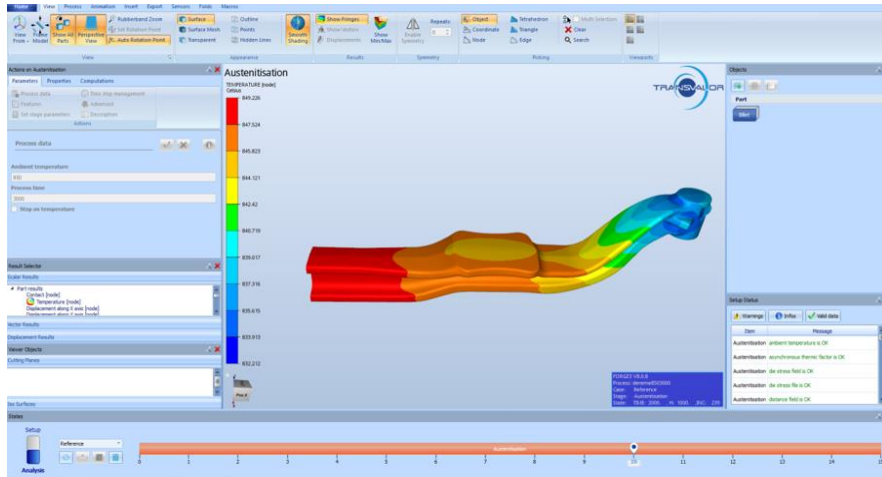
Şekil 4.15: Tavlama(900°C, 2000sn).



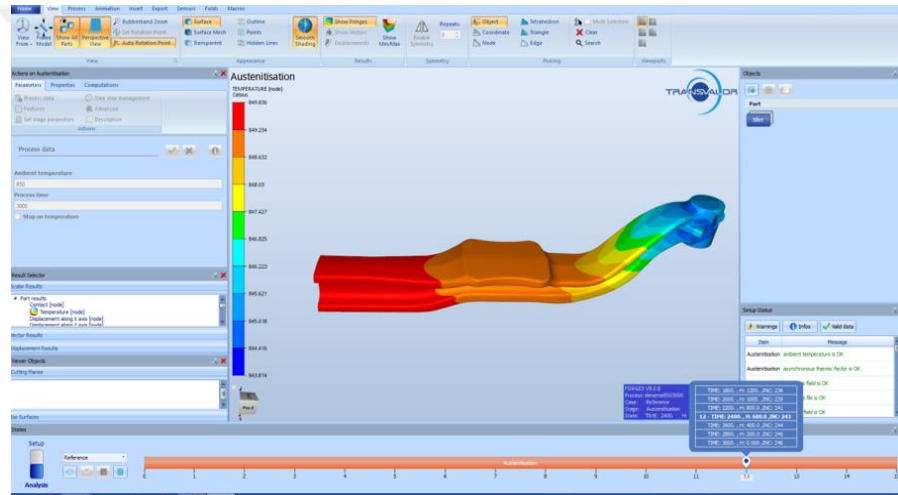
Şekil 4.16: Tavlama(900°C, 2400sn).



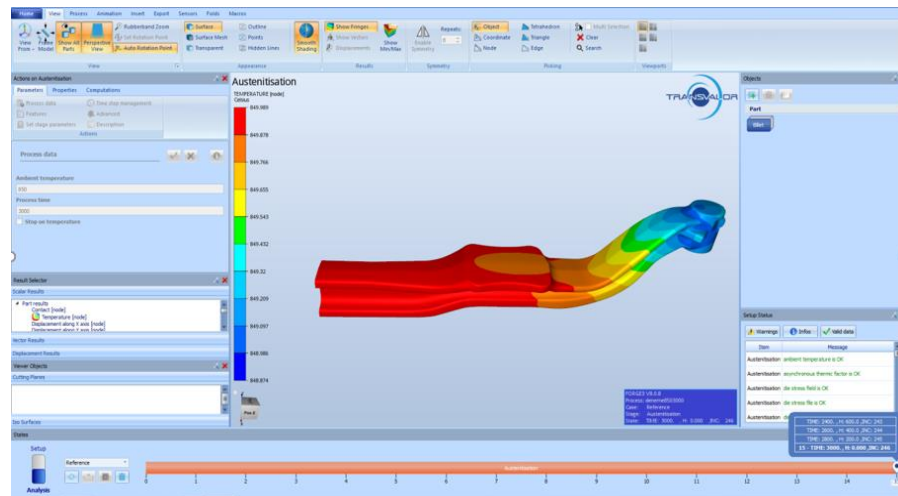
Şekil 4.17: Tavlama(900°C, 3000sn).



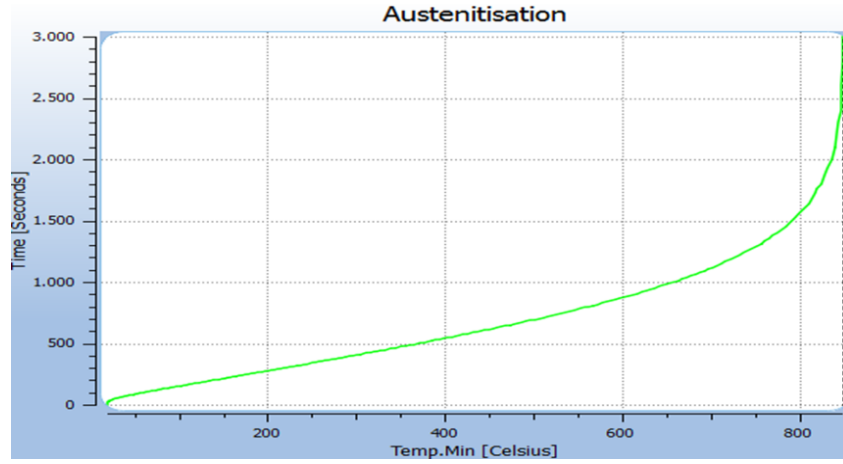
Şekil 4.18: Tavlama(840°C, 2000sn).



Şekil 4.19: Tavlama(840°C, 2400sn).



Şekil 4.20: Tavlama(840°C, 3000sn).



Şekil 4.21: Tavlama grafiği.

Yapılan analizler ve pratik uygulamalar sonucu parçanın ısıtılma şartları da aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Isıl İşlem Türü : Islah
- Tavlama Sıcaklığı: 840 derece
- Süre:50 dk.
- Soğutma Ortamı Yağ
- Parça Bekleme Süresi: 5 dk.
- Sertlik: > 440 HB
- Sertleşme Sonu Mikroyapı: %50 Martenzit
- Meneviş Sıcaklığı: 550 derece
- Meneviş Süresi: 120 dk.
- Meneviş Sonu Mikroyapı: Temperlenmiş Martenzit
- Meneviş Sonu Sertlik : Yay T. 269-321 HB, Kafa 234-321 HB



Şekil 4.22: Isıl işlem fırını

4.1.8 Kumlama

Isıl işlem sonrasında kumlama operasyonu ile gerek parçanın işlenebilirliği gerekse yüzey özellikleri iyileştirilir. Bu sebeple uygulanmaktadır. Kumlama operasyonu büyük ve uzun parçalar için askılı kumlama makinelerinde tercih edilir. Bu sebeple bu parçalar da askılı kumlama makinelerinde kumlanmıştır.



Şekil 4.23: Kumlama makinesi.

Yetersiz kumlamayla birlikte parçanın işlenmesinde problemler oluşur. Kumlama süresinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Fazla kumlama ise yüzey bozukluğu ve ıskartaya sebep olmaktadır.

Bu kumlama prosesinde de 15 dakika kumlama süresi optimal süre olarak belirlenmiştir.

4.1.9 Çapak taşlama

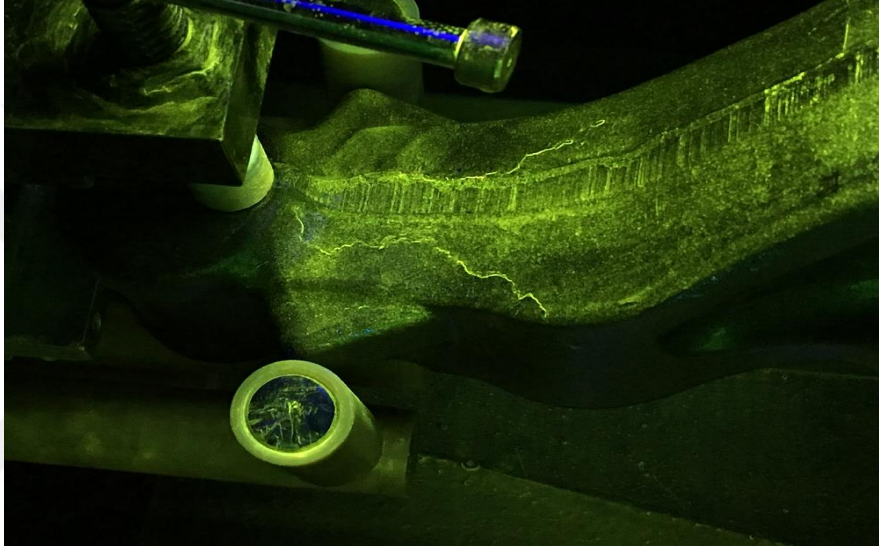
İstenilen tolerans değerini aşan oranda yapılan taşlamalar boyutsal problemlerden ötürü ıskarta, uygun oranda taşlanmaması da işleme problemi doğurmaktadır. Taşlama elle manuel olarak dövme toleransları dahilinde yapılmalıdır. Tolerans ± 1 mm değerindedir.

4.1.10 Doğrultma

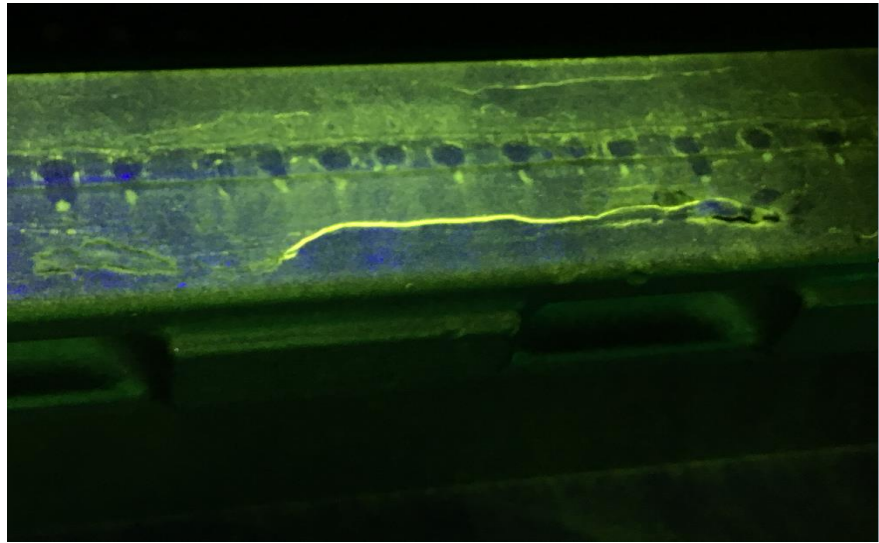
Burukluk, eğilme ve kalınlık farkı gibi değerler toleranslar içerisinde olmalıdır. Bu sebeple doğrultma işlemi yapılır.

4.1.11 Manyetik çatlak kontrol

Ayrıca manyetik çatlak kontrol yöntemiyle de üründe oluşan kat/katmer yapıları tespit edilmiştir. Manyetik çatlak kontrol işlemi TS EN ISO 9934-1 ve TS EN ISO 23287 standartları çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Tespit edilen katmer yapılar taşlama yöntemiyle temizlenmiş ve tekrardan kontrol edilmiştir.



Şekil 4.24: Manyetik çatlak kontrol işlemi yapılan bir dingil.



Şekil 4.25: Manyetik çatlak kontrol işlemi.

4.1.12 Kalite kontrol

Ürüne kimyasal analiz uygulanmıştır. Malzeme detayı aşağıdadır:

Çizelge 4.1: Kimyasal analiz.

Ürün kimyasal analizi													
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Sn	N	O	H
0,41	0,27	0,71	0,006	0,025	1,04	0,23	0,16	0,022	0,16	0,009	0,0057	0,002	0,0001

Sertleşebilirlik kontrol edilmiştir.

Çizelge 4.2: Jominy testi.

Sertleşebilirlik(J/mm) HRC							
1,5	3	5	7	9	11	13	15
58	58	57	56	56	55	54	52
20	25	30	35	40	45	50	
48	45	42	40	39	38	38	

Isıl işlem sonrası sertlik değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.3: Sertlik değerleri.

Sertlik(ort)	Yay tablası	Kafa/boyun
HB	298	296

Çekme testi yapılmıştır. İstenen minimum değerler Yay tablası için istenen akma mukavemeti min. $R_p = 740/\text{mm}^2$; boyun bölgesi içinse min. $R_p = 665 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4: Çekme test sonuçları.

	Yay tablası	Kafa/boyun
R(N/mm²)	1004	842
R_p(N/mm²)	819	699
A(%)	16,8	14,2
Z(%)	64	57

TS EN ISO 148-1 standardına göre yapılan çentik darbe testinde ise (Charpy) Yay tablası= 78 Joule ; Boyun bölgesi= 82 Joule olarak ölçülmüştür.

4.2 Dişli Üretimi

Dişli taslağı üretiminde istenen parçaya istinaden dövme ağırlığı belirlenmiştir. Akabinde porses akışı ve parametreleri belirlenip simülasyonlardan faydalanılarak en optimal sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır.

Dişli üretiminde “Kapalı kalıpta çapaklı dövme” seçilmiştir. Dişli üretiminde çapağa giden oran diğer konuda uygulamasın yaptığım dingil üretimine göre çok azdır. Yüzey geometrisi ve dingildeki gravürlü yapı bunun en büyük etkenidir. Buna göre parçanın modeli üzerinden belirlenen dövme ağırlığı 76 kg’dır. Dövme ağırlığına istinaden belirlenen kesim ağırlığı ise 79 kg’dır. Bu ağırlık, parçanın modeli çevresinde 1,5’şar mm ek çapak payı bırakılmasının hesaplanması sonucu elde edilen ağırlıktır. Ağırlıktan yola çıkarak dövülmeye en uygun parça kesiti Ø180 çaplı yuvarlak malzemedir. Kesim boyu ise 393 mm’dir.

Kesit ve boyut belirlendikten sonraki aşama dişlinin proses aşamalarını belirlemek ve gerekli görülen yerlerde çeşitli simülasyonlar yapmak olmuştur. Belirlenen değerlerle gerekli görülen her aşamada en optimal değeri bulmak amacıyla her kademedede en az 8’er tane simülasyon yapılmış ve ilgili şekillere bu simülasyonlardan en optimum sonucu verenler konulmuştur. Simülasyon hızını artırmak için dişlinin 360° derece üzerinden 30°’lik kısmı simüle edilmiş ve sonuçlar parçanın bütününe uygulanmıştır. Proses akışı ise aşağıdaki gibidir:

- Kesim
- Dövme tavlama
- Ezme
- Ön şekil
- Dövme
- Çapak kesme
- Isıl işlem(Kontrollü soğutma)
- Kumlama
- Çapak taşlama

- Manyetik çatlak kontrol olarak belirlenmiştir.

4.2.1 Kesim

Giriş kısmında hesaplanan kesim boyu ve keside göre kesim işlemi yapılmıştır. Dairesel testereye kesim boyu, kesit ve malzeme değerleri girilerek optimal hızda kesim uygulanmıştır. Kesim boyumuz 935 mm, kesidimiz ise 180 mm yuvarlak çaplı malzemedir. Kesim işleminde aşağıdaki işlemlere dikkat edilmiştir:

Kesim ağırlığının az olması sonucu doldurmama hatası görülebilir.

Kesim ağırlığının fazla olmasıyla kat-katmer yapısı görülebilir.



Şekil 4.26: Kesim tezgahı.

4.2.2 Dövme tavlama

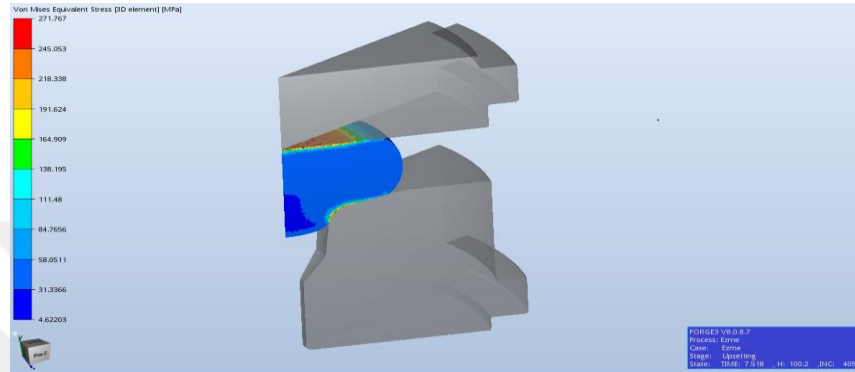
Dövme tavlama sırasında fırın olarak indüksiyon fırını kullanılmıştır. İndüksiyon fırını homojen tavlama ve az tufal oluşumundan dolayı avantajlı bir fırındır. Kullanılan indüksiyon fırınının gücü 1000 kw'tır.



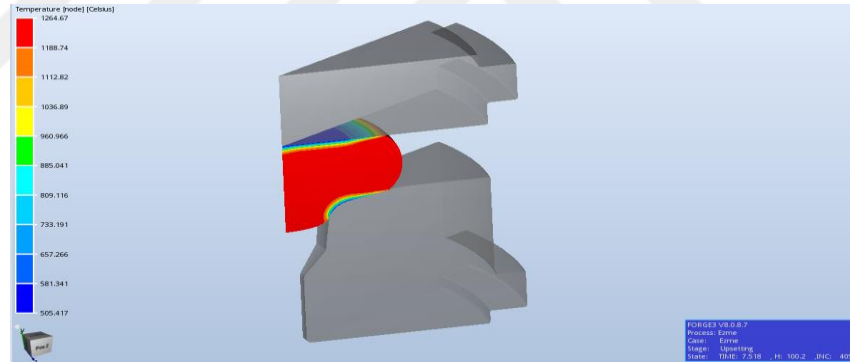
Şekil 4.27: İndüksiyon fırını.

4.2.3 Ezme

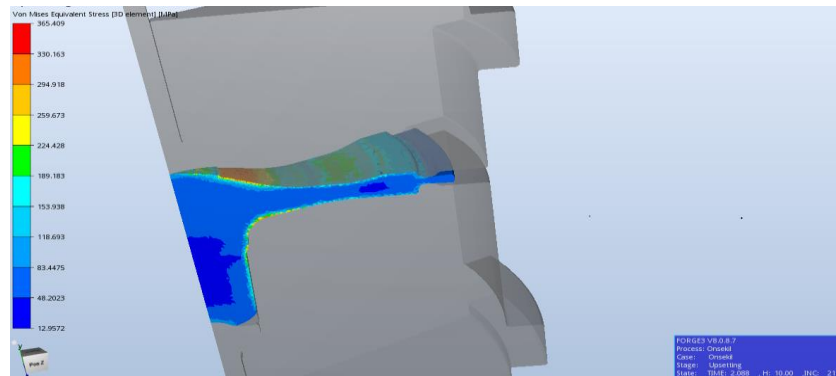
Tavlanan parça ezme kalıbına koyulur. Ezme işlemi 2500 ton gücündeki hidrolik preste yapılmıştır. Teorik ezme değerleri simülasyon sonucuyla belirlenmiştir. İlk ezme yüksekliği 400 mm, son değer ise 90 mm'dir. Buradaki amaç parça yüksekliğini azaltıp çapı istenen ölçülere yakın değere getirmektir. Böylece ön şekil öncesi parçaya uygun form verilmiş olur.



Şekil 4.28: Ezme operasyonu.



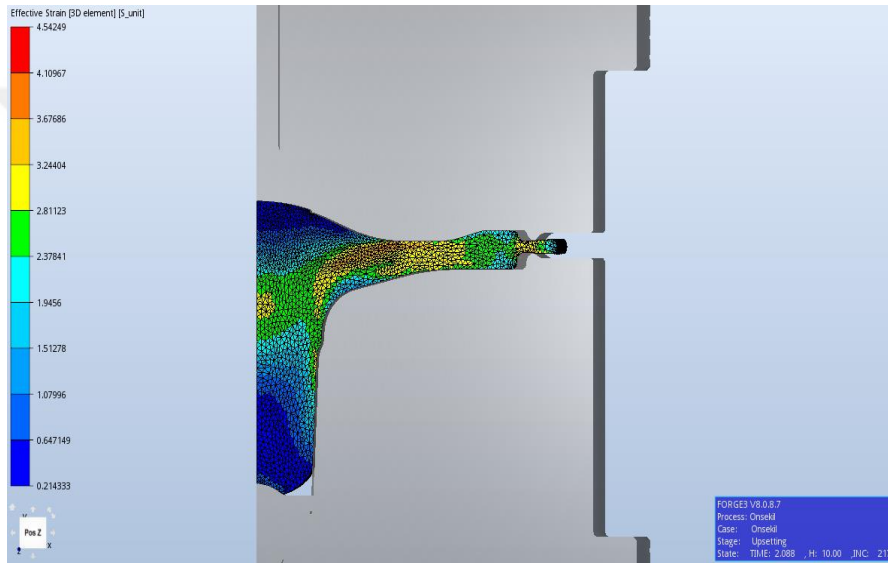
Şekil 4.29: Ezme operasyonu.



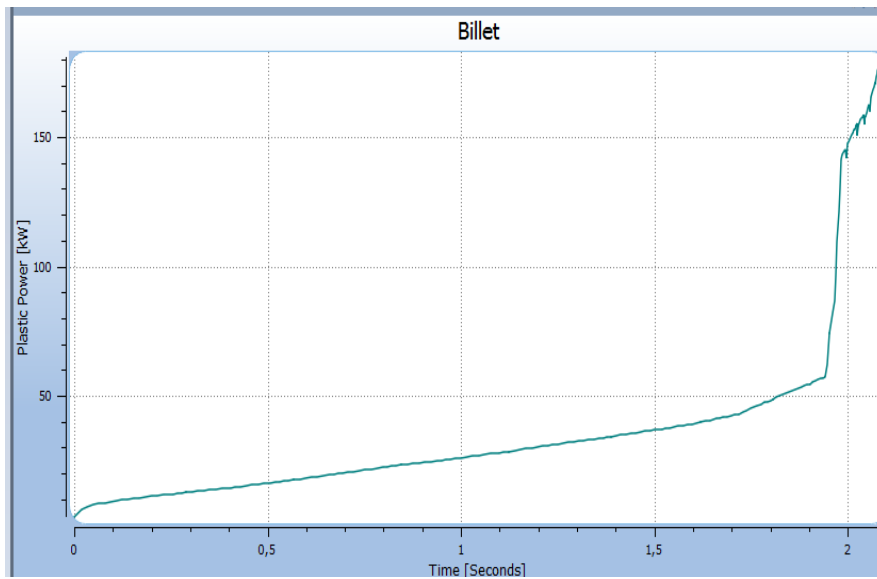
Şekil 4.30: Ezme sıcaklık dağılımı.

4.2.4 Ön şekil

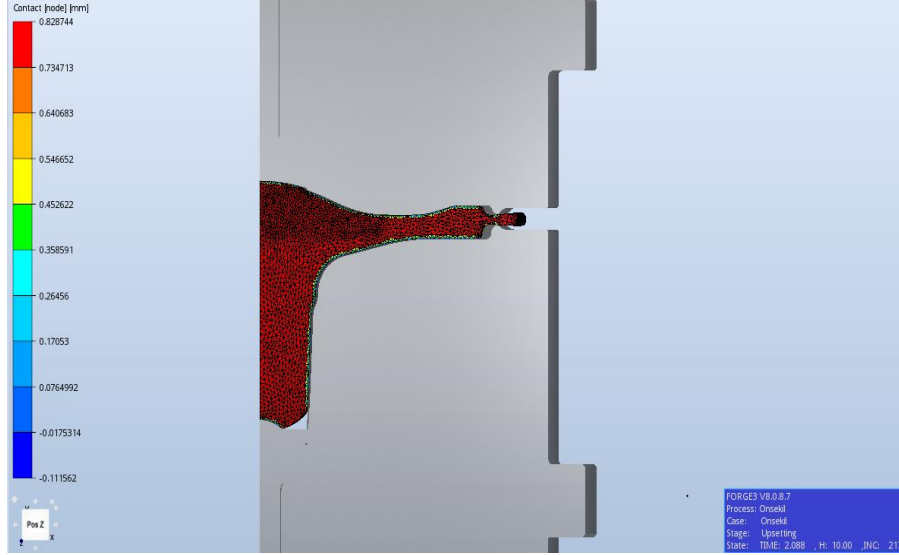
Ön şekil yapıma amacı dövme-bitirme işlemi öncesi kalıba ön bir form kazandırmaktır. Böylelikle bitirme öncesi doldurmama, katmer gibi büyük hataların azaltılması veya önüne geçilmesi amaçlanır. Aynı zamanda bitirme kalıbı ömrü de artırılmış olur, çünkü kalıba tek seferde binecek şekillendirme yükü ikiye bölünmüş olur. Ön şekil için 12800 tonluk vidalı pres kullanılmıştır. Tezgah hız değeri 40 mm/sn'dir. Ezme değerlerinde son yükseklik olan 90 mm yüksekliği başlangıç değeri olarak girilmiş ve 10 mm yüksekliğe kadar preslenmesi yapılmıştır. 10 mm değeri çapak kalınlığı değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.31: Ön şekil.



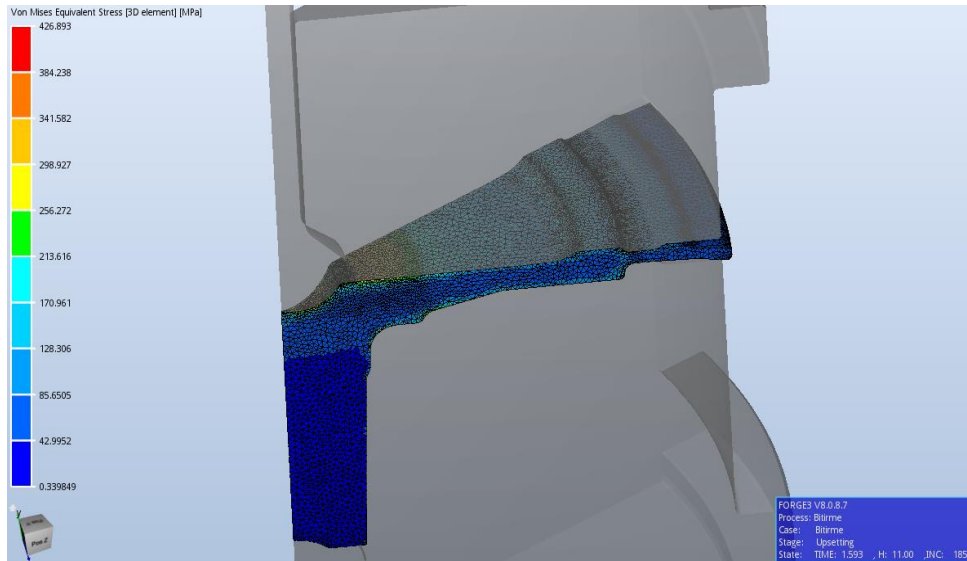
Şekil 4.32: Güç – zaman grafiği.



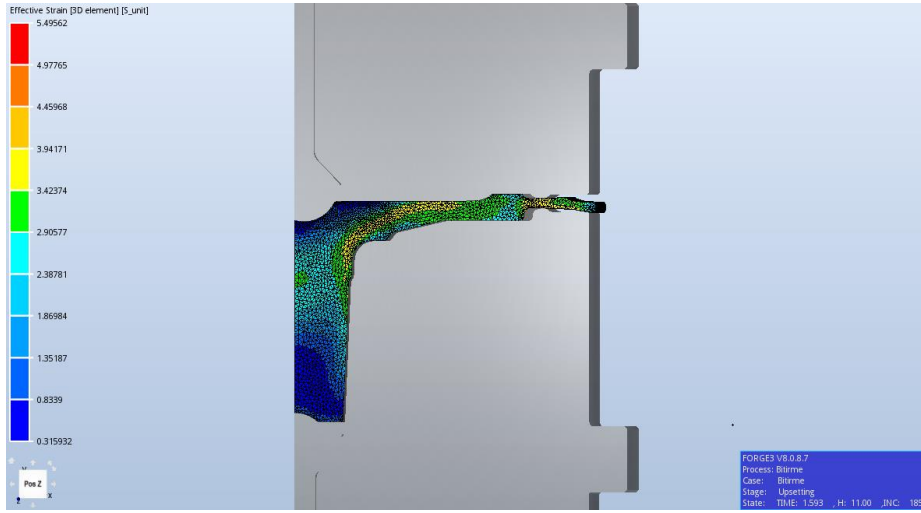
Şekil 4.33: Ön şekil doldurmama hata.

4.2.5 Dövme(Bitirme)

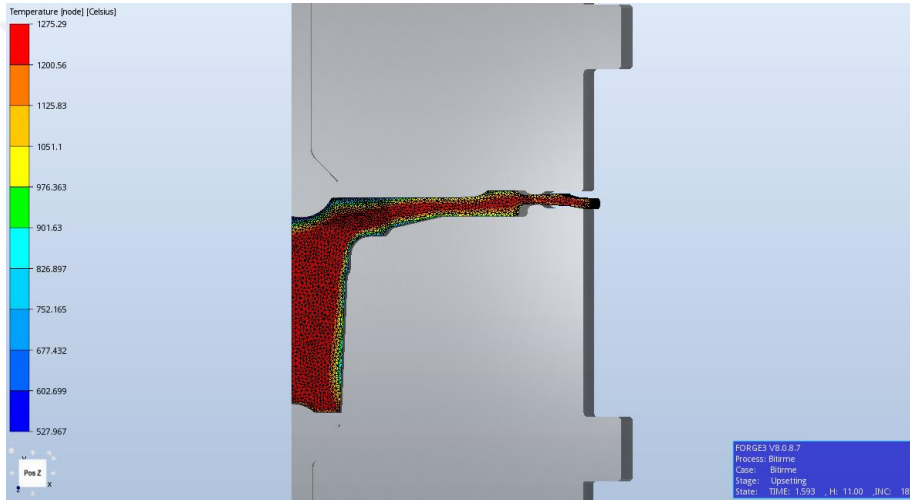
Dövme prosesinde 12800 tonluk vidalı pres kullanılmıştır. Dövme işlemi tek operasyonda yapılmıştır. İlgili dövme verilerini elde etmek amacıyla simülasyona başvurulmuş ve hatalar önlenmeye çalışılmıştır. Simülasyon verilerinde ilk yükseklik 75 mm, son yükseklik ise 10 mm alınmıştır. Tezgah hızı 40 mm/sn'dir. Simülasyon sonuçları aşağıdaki verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına istinaden tezgah parametreleri de aynı girilmiş ve dövme işlemi tek operasyonda yapılmıştır.



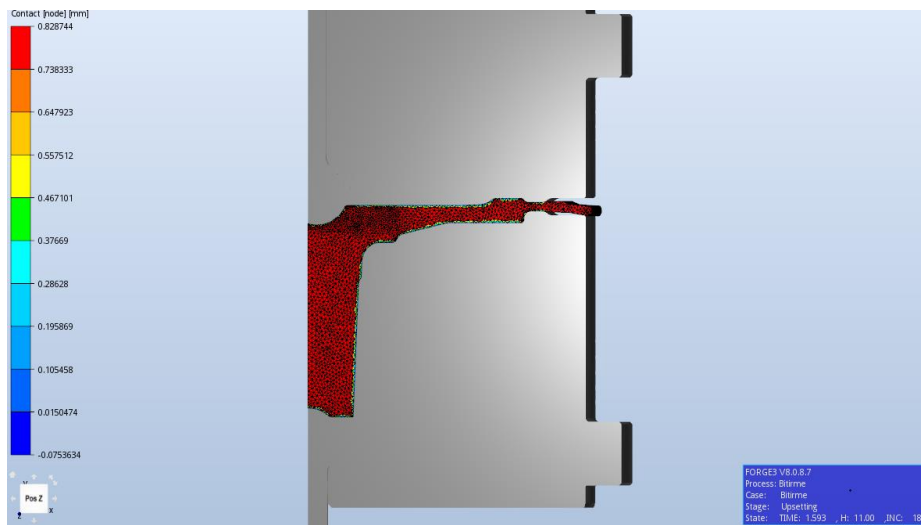
Şekil 4.34: Bitirme.



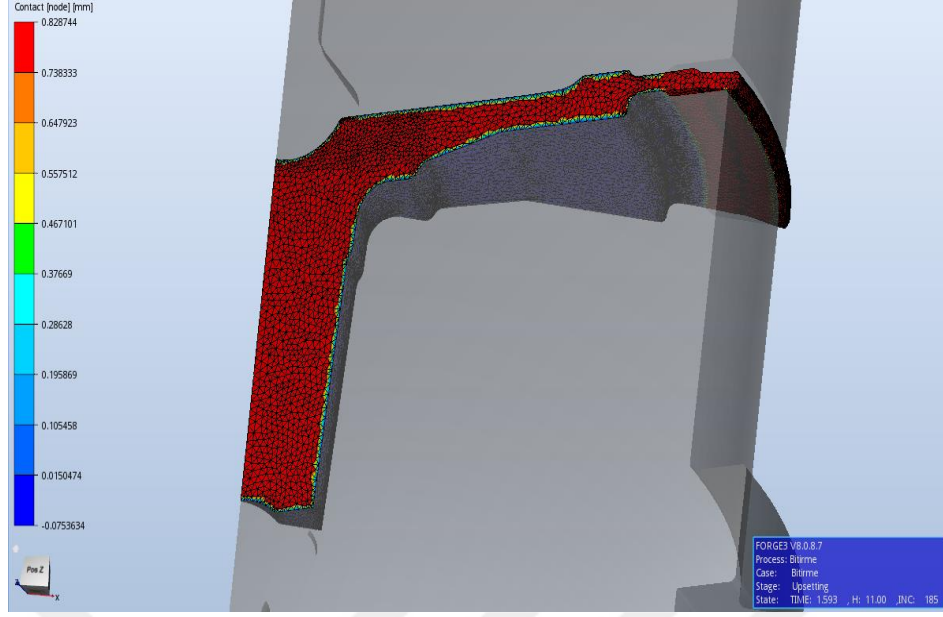
Şekil 4.35: Bitirme – gerinim dağılımı.



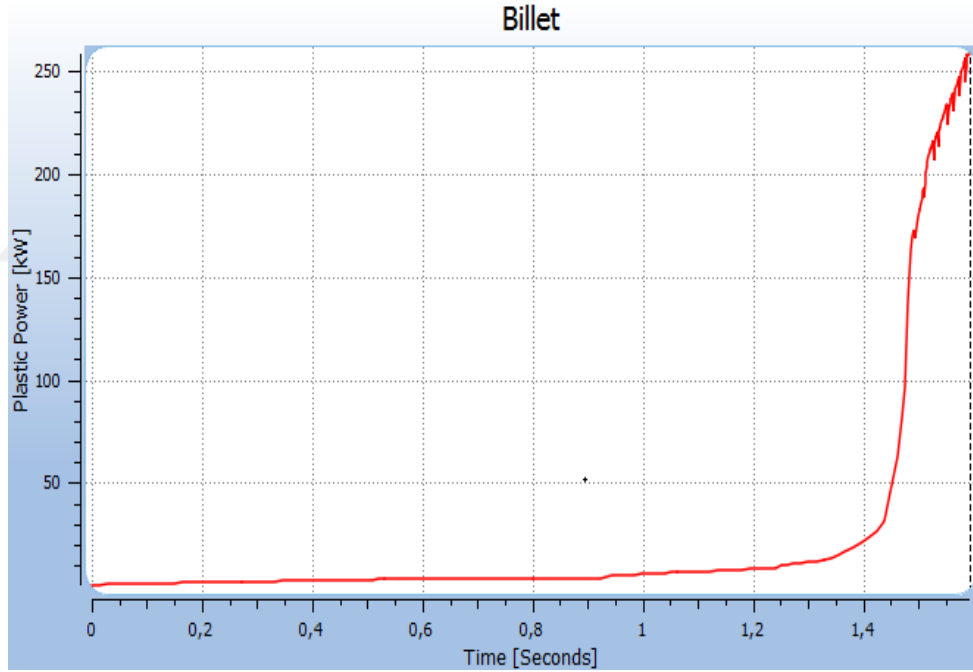
Şekil 4.36: Bitirme – sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.37: Bitirme – doldurmama hatası.



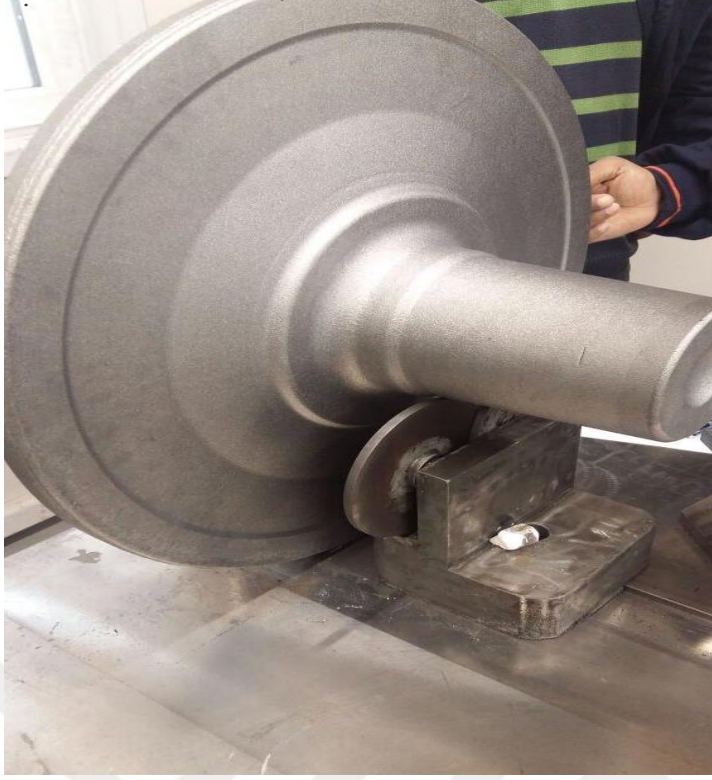
Şekil 4.38: Bitirme – doldurmama hatası-2.



Şekil 4.39: Güç – zaman grafiği.

4.2.6 Çapak kesme

Çapak kesme formunda parça boyutunun 1'er mm dışından ölçü alınarak çapak kalıbı oluşturulur. Böylece çapak kalıbının parçaya net oturması sağlanır. 12800 tonluk vidalı prestan çıkan parça 2500 tonluk hidrolik preste çapak kalıbına oturtulmuş ve çapak kesme yapılmıştır.



Şekil 4.40: Genel görünüm.



Şekil 4.41: Dişli genel görünüm.

4.2.7 Isıl işlem

Isıl işlem türü olarak kontrollü soğutma(fanlı soğutma) uygulanmıştır. Konveyöre beslenen dişliler tekli sıra halinde ve bant hızı, parçanın girişten çıkışına kadar 14 dk sürecek şekilde ayarlanır. Konveyör sonu 238 - 296 HB sertlik değeri elde edilmesi kontrol edilmiştir.

4.2.8 Kumlama

Parçanın güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla istenilen değerlerin sağlanıp sağlanmadığı test metodlarıyla belirlenmiştir.

4.2.9 Çapak taşlama

İstenilen tolerans değerini aşan oranda yapılan taşlamalar boyutsal problemlerden ötürü ıskarta, uygun oranda taşlanmaması da işleme problemi doğurmaktadır. Taşlama elle manuel olarak dövme toleransları dahilinde yapılmalıdır. Tolerans +1 mm değerindedir.

4.2.10 Manyetik çatlak kontrol

Manyetik çatlak kontrol yöntemiyle parçadaki süreksizlikler tespit edilmiştir.

4.2.11 Kalite kontrol

Çizelge 4.5: Kimyasal analiz.

Ürün kimyasal analizi												
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	B	Al	Cu	Sn
0,33	0,69	1,33	0,013	0,031	0,13	0,01	0,06	0,110	0,000 37	0,035	0,12	0,008

Isıl işlem sonrası sertlik değerleri ölçülmüş ve ortalama değer çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Sertlik değerleri.

Sertlik	Dişli
HB	269

Çizelge 4.7: Çekme test sonuçları.

Yay tablası	
R(N/mm²)	817
Rp(N/mm²)	569
A(%)	18,6
Z(%)	48,8

5. GENEL SONUÇLAR

Yapılan çalışmada iki farklı tip parçanın dövme yöntemiyle üretimi üzerine incelemeler yapılmıştır. Bu parçalardan ilki dingildir. Diğer parça ise dişli yataktır. İki parça da kullanıldığı yerler bakımından emniyet derecesi yüksek malzemelerdir. Bu sebeple üretimlerinin hatasız olması ve akabinde hatalı ürünlerin de çok iyi şekilde tespit edilip ıskarta edilmesi zaruridir. Dingil üretiminde dövme işlemi çekiçle, dişli üretiminde ise vidalı presle yapılmıştır.

Dingil parçasına tüm dövme prosesleri çerçevesinde inceleme yapılmıştır. Firma tarafından istenen boyutlarda ürünü elde edebilmek amacıyla dingil modeli üzerinden uygun dövme ve kesim ağırlıkları belirlenmiş ve bunun çerçevesinde kullanılacak olan çeliğin kare profildeki kesit ve boy değerlerine ulaşılmıştır. Bu işlem dövme üretimindeki en kritik adımlardan biridir. Çünkü genelleyecek olursak kesim ağırlığının az olması doldurmama hatasının sıklıkla oluşmasına, fazla olması ise malzemede katlanma oluşmasına yol açacaktır. Kesim ağırlığı belirlendikten sonra malzeme sıcak dövme yapılabilmesi için tavlınmıştır. Bu noktada tav sıcaklığı en önemli parametredir. Tabi malzeme kesidi de 110x110 olduğundan uygun kesitte bir tav süresi belirlenmiştir. Malzeme dövme sıcaklığı olan 1200°C'ye geldiğinde artık plastik şekillendirmenin dövme açısından evreleri belirlenmiştir. Dingil, şekli gereği düz yüzeyli bir yapı değildir. Boyuna bakıldığında kendi üzerinde birçok kesit değişimi ve ve gravür yapısı barındırır. Bu sebeple ilk aşama olarak uygun sıcaklıktaki malzemeye taslak çekme operasyonu ile belli bir form katıp, eğme uygulanarak bu formun açısal anlamda da karşılanması amaçlanmalıdır. Bu işlemlerde özellikle eğme yüksekliği belirlenmiş ve ön şekilsiz olarak çekiçte üretilen bu parça için ön form oluşturulmuştur. Dövme aşamasında çekiç kullanıldığı için bu noktada en önemli belirleyici darbe sayısıdır. Yapılan simülasyonlarda darbe sayıları tek tek kıyaslanıp en optimal olan darbe değeri 4 olarak belirlenmiştir. Nitekim darbe 4 adet olduğunda uygun dingil formu elde edilmiştir. Dingil bitirme işlemi tamamlandıktan sonra çapaklı üretim sonucu oluşan

apağın(hurdaya gidecek kısım) malzemeden ayrılmasına geçilmiştir. Bu işlem dingil dövme kalıbının yaklaşık 1 mm çepeçevre haliyle hazırlanmış ve nihai ürünün elde edilmesi amaçlanmış olan bir işlemdir. Dövme parametrelerinin belirlenmesinden sonra ısıtım işlem yöntemi olarak seçilen ısıtım işleminde sıcaklık ve süre değerleri optimize edilmeye çalışılmıştır. Isıtım işlem sıcaklığı olarak 840°C ve 900°C’lerde 2000 sn, 2400 sn ve 3000 sn üzerinden simülasyonlar yapılmış ve en uygun sıcaklık 840°C ve süre 3000 sn olarak belirlenmiştir. Akabinde uygun kumlama ve taşlama metodlarıyla malzeme istenen nihai hale getirilmiştir. Bütün bu parametrelerin belirlenip ürünün oluşturulmasından sonra kontrol yöntemleriyle ürünün mekanik değerleri kontrol edilmiştir. TS EN ISO 6506-1 göre yapılan sertlik ölçme sonuçlarında yay tablası 298 HB değerinde, dingilin kafa kısmı ise 296 HB değerinde bulunmuştur. TS EN ISO 6892-1 standardına göre çekme test deneyi sonuçları ve kimyasal analize bakıldıktan sonra üretim için istenen mekanik özelliklerin sağlandığı görülmüştür. Kısacası belirlenen optimal parametreler mekanik özelliklerde de optimal sonuçları doğurmuştur.

Dişli parçanın üretiminde kapalı kalıpta çapaklı sıcak dövme yöntemi kullanılmıştır. Bunpara üretiminde de dingil üretiminide olduğu gibi ilk olarak dövme ağırlığı ve akabinde kesim ağırlığı belirlenmiştir. Bu parçadaki apak oranı dingildekine nazaran daha az olacaktır. Bunun sebebi ise sahip olduğu oval form ve parça geometrisidir. Bu sebeple bu parçada hurdaya giden malzeme kaybı daha az olmuştur. Yuvarlak kesitli 180 mm çapında bir elik kullanılmıştır. Yine aynı şekilde sıcak dövme uygulayabilmemiz için dövme sıcaklığı olan 1200°C’ye kadar dövme tavlaması gerçekleştirilmiştir. Yapı dingil formundan farklı olduğu için taslak çekme uygulanmaz. Sadece ezme işlemi ile parçaya uygun form verilir ve ön şekil ile de bitirme işlemi için hazırlanır. Bu sebeple ezme kalınlığı ve ön şekil parametreleri nihai ürüne giden yolda en önemli adımlardır. Ezme kalınlığı 400 mm’den 90 mm’e kadar hareketle ve ön şekil ise 90 mm üzerinden 10 mm’ye kadar, yani apak kalınlığına giden kısım olarak ayarlanmıştır. Akabinde dövme ve apak kesme operasyonları gerçekleştirilmiştir. Isıtım işlem türü olarak kontrollü soğutma uygulandığı için ısıtım işlemine göre daha sade ve kolay bir yöntemdir. Bu sebeple bu aşamada simülasyon vb. bir durum tercih edilmemiştir. Kumlama ve taşlama işlemlerinden sonra mekanik özellikleri kontrol edilmiştir. Sertlik sonucu 269 HB olarak bulunmuştur. Çekme test sonuçları da 817 N/mm² ve 569 N/mm² değerleriyle

istenen özellikleri karşılamaktadır. Ürünün kalite sonuçları da istenen değerleri sağlamaktadır.

Böylelikle iki parça için de üretimlerinde en optimal koşullar belirlenmiştir ve bu koşullar tüm adetler için yaygınlaştırılmıştır. Kalite değerlerinin de istenen özellikte olduğu görülen parçalarda elbette ki hatalar minimize edilebilir fakat çok değişken koşulların olmasından ötürü (Bu değişkenlikte insan faktörü de önemli bir yer tutmaktadır.) sıfırlanmaları zordur. Bu sebeple hata oranını ppm mertebesinde tutmak veya max %1 oranlarında sonuçlandırmak önemlidir. Bu sonuçlara göre de istatistiksel olarak üretim değerleri başarılı olmaktadır.

Bu çalışmada dingil için çekiç ve dişli için ise vidalı preste yapılan üretimler incelenmiştir. İlerleyen çalışmalarda bir proses akışındaki parçanın optimal parametrelerini inceleyerek iyileştirmeye gidilmesinin yanı sıra ana dövme tezgahlarında da değişiklik yaparak (Örneğin aynı parçanın hem çekiç, hem vidalı pres hem de mekanik preste dövülmesi vb.) farklı dövme tezgahlarındaki koşulların da parça kalitesine etkisi incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Kayalı E.S., Ensari C.** (1986). *Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [2] **Serim İ.** (1978). *Dövme Sanayi Teknolojisi*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [3] **Çapan L.** (1987). *Dövme Teknolojisi*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [4] **Kulkarni K.M., Kalpakjian, S.** (1969). *Journal of Engineering for Industry*.
- [5] **Avitzur B., Hill, M.G.** (1968). *Metal Forming Processes and Analysis*, Newyork.
- [6] **Semiati S.L.** (1988). *Metals Handbook, Forming and Forging*, Ninth Edition, Volume 14, Ohio.
- [7] **Geleji A.** (1967). *Forge Equipment, Rolling Mills and Acessories*, Akademia Kiado, Budapeşt.
- [8] **Osman F.H.** (1981). *Computerized Simulation of Forging Process*, PhD Thesis, Leeds University.
- [9] **Fogg B.** (1976). *Forging Lubricants*, University of Salford, Metallurgia and Metal Forming.
- [10] **Sabroff, A.M., Boulger, F.W., Hennimy, H.J.** (1986). *Forging Materials And Practices*, New York.
- [11] **Sözöz, H.** (1987). *Kapalı Kalıpta Dövme Dizaynı*, Y.Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [12] **Lange K.** (1985). *Closed Die Forging of Steel-in German*, Berlin.
- [13] **Çapan L.** (2003). *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [14] **Kalpakjian S.** (1984). *Manufacturing Processes for Engineering Materials* Reading.
- [15] **Kalpakjian S., Schmid S.R.** (2001). *Manufacturing Engineering and Techlonogy*, New Jersey.
- [16] **Thusty G.** (1999). *Manufacturing Processes and Equipment*, New Jersey.
- [17] **Altan T., Soo-Ik Oh, Gegel H.L.** (1983). *Metal Forming Fundamentals and Applications* Ohio.
- [18] **Polukhin P., Grinberg B., Kantenik S., Zhadan D., Vasilyev D.** (1973). *Metal Process Engineering*.
- [19] **ASM** (1988). *Metals Handbook, Forming and Casting*, Ninth Edition, Volume 6, Ohio.

- [20] **Pekuz Y., İmrek H.**, (1999). *Dövme Proses Hataları ve Çözümleri*, Mühendis ve Makine, Cilt 43 Sayı 504.
- [21] **Url-1** < <http://www.academia.edu/9140364/D%C3%B6vme>>, erişim tarihi 12.10.2016.
- [22] **Url-2**, <<http://www.transvalor.com/en/>>, erişim tarihi 12.12.2016
- [23] **Aran A.** (2006). *Dövme Endüstrisinde Kalite Kontrol Uygulamaları*.
- [24] **Sheridan S.A.** (1972). *Forging Design Handbook*. American Society For Metals
- [25] **Pekuz Y.** (1993). *Dövme Hataları ve Çözüm Yolları*, Çelik sanayi Dergisi
- [26] **Beretta S., Blarasin A., Endo M., Giunti T., Murakami Y.** (1997). *Defect Tolerant Design Of Automotive Components*, International journal Of Fatigue, Volume 19.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Göksan BECER
Doğum Tarihi ve Yeri : 1990/ Çorum
E-posta : goksanbecer@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Lisans** : Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği

