

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ROTİL PARÇASININ SOĞUK DÖVME ÇEKİRDEK KALIBI ÜZERİNDEKİ  
GERİLMELERİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ**

**Yaman GÜLER**

**Danışman  
Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**



**MANİSA-2021**

**Yaman GÜLER**

**ROTIİL PARÇASININ SOĞUK DÖVME ÇEKİRDEK KALIBI ÜZERİNDEKİ  
GERİLMELERİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ**

**2021**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Yaman GÜLER**



# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ .....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Plastik Şekil Verme .....	3
2.2. Dövme .....	5
2.2.1. Soğuk Dövme .....	6
2.3. Kullanılan Kalıplara Göre Dövme İşlemleri .....	9
2.3.1. Açık Kalıpta Dövme .....	9
2.3.2. Kapalı Kalıpta Dövme .....	9
2.3.2.1. Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme.....	9
2.3.2.2. Kapalı Kalıpta Çapaksız Dövme .....	10
2.4. Soğuk Dövme Prosesleri .....	11
2.4.1. Upsetting(Şişirme-Yığma) .....	11
2.4.2. İleri ve Geri Akıtma .....	12
2.4.3. İleri Tüp-Boru Akıtma .....	14
2.4.4. Geri Bardak Akıtma .....	14
2.4.5. Açık Kalıpta İleri Akıtma .....	14
2.5. Takım Çelikleri.....	15
2.5.1. Sıcak İş Takım Çelikleri .....	16
2.5.2. Soğuk İş Takım Çelikleri .....	16
2.5.3. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkileri Ve Kullanım Oranları .....	17
2.6. Isıl İşlem .....	19
2.6.1. Sertleştirme .....	19
2.6.2. Menevişleme .....	20
2.7. Tahribatsız Muayene Yöntemleri.....	21
2.7.1. Gözle Muayene .....	22
2.7.2. Penetrant İle Muayene .....	22
2.8. Tahribatlı Muayene Yöntemleri .....	25
2.8.1. Çekme Deneyi .....	25
2.8.2. Çentik Darbe Deneyi .....	26
2.8.3. Sertlik Deneyi .....	27
2.9. Sonlu Elemanlar Analizi .....	28
2.10. Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Hasar Çeşitleri.....	30
2.10.1. Sürtünme .....	31
2.10.2. Aşınma .....	33
2.10.2.1. Abrasif Aşınma.....	33
2.10.2.2. Adhesif Aşınma .....	35
2.10.3. Yorulma Aşınması .....	36
2.10.4. Yağlayıcı Etkisi .....	38

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	39
3.1. Materyal.....	39
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Takım Çelikleri .....	39
3.2. Yöntemler .....	42
3.2.1. Kalıp İmalatı.....	42
3.2.2. Tahribatsız Muayene Uygulamaları.....	47
3.2.3. Tahribatlı Muayene Yöntemleri.....	48
3.2.4. Sonlu Elemanlar Analizi ile Uygulama Aşamaları .....	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	52
4.1. Malzeme Bilgisi .....	52
4.2. Sonlu Elemanlar Kalıp Analizi Sonuçları .....	52
4.3. Yüzey Pürüzlülük Testi .....	56
4.4. Tahribatlı Test Sonuçları .....	56
4.5. Tahribatsız Test Sonuçları.....	57
4.6. Metalografik İncelemeler .....	58
4.7. Kalıp Baskı ve Maliyet Çalışmaları .....	66
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	71

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<b>HCl</b>	Hidroklorik Asit
<b>MoS<sub>2</sub></b>	Molibdenyum Di Sülfid
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Nitrik Asit
<b>TM</b>	Tahribatsız Muayene



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Plastik Şekil Verme Gerilmeleri (a) Çekme (b) Basma (c) Kayma ...	3
Şekil 2.2. Açısal Distorsiyon.....	5
Şekil 2.3. Soğuk Dövme Operasyonları.....	7
Şekil 2.4. Üst ve Alt Kalıp Arasında İş Parçasına Uygulanan Çapaklı Dövme Örneği .....	9
Şekil 2.5. Simülasyon Destekli Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme Örneği .....	10
Şekil 2.6. Erkek ve Dişi Kalıp Arasındaki İş Parçasına Uygulanan Çapaksız Dövme Örneği.....	10
Şekil 2.7. Simülasyon Destekli Kapalı Kalıpta Çapaksız Dövme Örneği .....	11
Şekil 2.8. İş Parçasına İdeal Koşullarda Uygulanan Şişirme İşlemi .....	12
Şekil 2.9. İş Parçasına Sürtünme Etki Ettiğinde Şişirme İşlemi .....	12
Şekil 2.10. İleri Çubuk Akıtma Yönteminin Şematik Olarak Gösterimi .....	13
Şekil 2.11. Soğuk Dövmede İleri ve Geri Akıtma Proseslerinin Gösterimi .....	13
Şekil 2.12. Soğuk Dövmede Proseslerinin Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 2.13. Menevişleme – Sertlik Grafikleri (a) Caldie (b) Unimax (c) Formvar (d) Orvar2m.....	21
Şekil 2.14. Ön Temizleme İşlemi.....	23
Şekil 2.15. Penantrasyon Aşaması .....	23
Şekil 2.16. Ara Temizlik Aşaması .....	24
Şekil 2.17. Geliştirici Aşaması.....	24
Şekil 2.18. Çekme Numunesi (a) Boru Çekme Numunesi (b) Silindirik İçi Dolu Parça Çekme Numunesi .....	25
Şekil 2.19. Kırılma Türleri (a)Gevrek Kırılma (b)Sünek Kırılma .....	26
Şekil 2.20. Kafes Yapıları Farklı Malzemelerde Sünek – Gevrek Geçiş Sıcaklığı .....	26
Şekil 2.21. Çentik Darbe Numune Ölçüleri ve Deney Düzeneği.....	27
Şekil 2.22. Brinell Sertlik Ölçümü .....	28
Şekil 2.23. Rockwell Sertlik Ölçümü.....	28
Şekil 2.24. Simufact Forming Destekli Kalıp Analiz Örneği .....	29
Şekil 2.25. Sıklık Oranı Etkisinin Kalıp Analizinde İncelenmesi .....	30
Şekil 2.26. Çekirdek Kalıplarında Meydana Gelen Kırılma Türleri .....	31
Şekil 2.27. Kalıp Ömrüne Etki Eden Parametreler .....	31
Şekil 2.28. Kayma Sürtünmesini Oluşturan Mekanizmalar (a) Adhezyon (b) Kazıma (c) Pürüzlerin Deformasyonu .....	32
Şekil 2.29. Kayma Sisteminde Oluşan Basamaklar .....	33
Şekil 2.30. İki ve Üç Boyutlu Abrasif Aşınma .....	34
Şekil 2.31. Abrasif Aşınma Çeşitleri (a)Düşük Gerilmeli (b)Yüksek Gerilmeli (c)Oyuklu (d) cilalama .....	34
Şekil 2.32. Sıkıştırma Çemberinde Gözlenen Aşınma.....	35
Şekil 2.33. Aşınma Çeşitleri (a) Adhesif Aşınma (b) Abrasif Aşınma .....	35
Şekil 2.34. Yorulma Kaynaklı Kırılma Şematik Gösterimi (a) Devamlı Etki Eden Yükler Altında Kırılma (b) Yüzey Altındaki Çatlakların İlerlemesi (c) Malzemedeki Kalıntılar ve Karbürlerin Çatlaklarda Toplanması .....	36
Şekil 2.35. Yorulma Kalıp Hasar Örneği. ....	37
Şekil 2.36. Alüminyum Alaşımlarının Dövme Esnasında Kullanılan Yağlayıcının Kuvvete Etkisi. ....	38

Şekil 3.1. V4e Kalıp Çeliği Malzemesinin Mekanik Özellikleri (a) Sertlik – Tokluk Grafiği (b) Sertlik – Akma Dayanımı Grafiği.....	39
Şekil 3.2. Sıcaklık – Tokluk Grafiği.....	40
Şekil 3.3. Rotil Kalıp Seti (a) Simülasyonda Kullanılan Kalıp Seti (b) Üretimde Kullanılan Kalıp Seti .....	41
Şekil 3.4. Çekirdek, Zarf, Zimba ve Zimba Tutucu Kalıpları .....	42
Şekil 3.5. Hammadde Halinde Bulunan Kalıp Çelikleri.....	42
Şekil 3.6. Isıl İşlem Fırınları ve Isıl İşlem Uygulanan Kalıp Çelikleri .....	43
Şekil 3.7. Caldie Malzemesine Uygulanan Isıl İşlem Grafiği.....	44
Şekil 3.8. Unimax, Formvar ve Orvar2m Malzemelerine Uygulanan Isıl İşlem Grafiği .....	44
Şekil 3.9. CNC Torna Tezgahı ve Finiş İşlenmiş Çekirdek Kalıbı.....	45
Şekil 3.10. Kalıp Çeliklerine Uygulanan Parlatma İşlemi .....	45
Şekil 3.11. Hidrolik Presto Kalıp Montajı.....	46
Şekil 3.12. Parlatılmış ve Montajlanmış Alt Grup Kalıp Seti.....	46
Şekil 3.13. Lazer Markalama ve QR Kodlama .....	47
Şekil 3.14. Penetrant Sıvı ile Kontrol (a) Ön Temizleme (b) Penetrant Sıvı Uygulaması (c) İkincil Temizleme (d) Geliştirici Uygulaması .....	47
Şekil 3.15. Test Numune Malzemeleri.....	48
Şekil 3.16. Çentik Darbe Testi Numune Ölçüleri .....	48
Şekil 3.17. Çekme Testi Numune Ölçüleri .....	49
Şekil 3.18. Proses Seçimi .....	49
Şekil 3.19. Proses Tipi Seçimi. ....	50
Şekil 3.20. Proses Boyut Seçimi. ....	50
Şekil 3.21. Çözümleme Ağacı Parametreleri .....	51
Şekil 3.22. Sonuçlanan Analiz İncelemesi .....	51
Şekil 4.1. Spektral Analiz Numuneleri (a) Caldie (b) Formvar (c) Orvar2m (d) Unimax.....	52
Şekil 4.2. Ön Gerilme Uygulanmış Rotil Kalıbı Üzerinde Oluşan Eşdeğer Gerilmelerin İncelenmesi .....	53
Şekil 4.3. Maksimum Asal Gerilmelerin İncelenmesi .....	53
Şekil 4.4. Minimum Asal Gerilmelerin İncelenmesi .....	54
Şekil 4.5. Dövme İşleminden Önce Prese Bağlı Kalıp Seti .....	55
Şekil 4.6. Kalıp Bileşenleri Üzerinde Oluşan Gerilmelerin İncelenmesi.....	55
Şekil 4.7. Çekirdek Kalıbına Uygulanan Yüzey Pürüzlülük Kontrolü .....	56
Şekil 4.8. Çentik Darbe Testi Uygulanmış Test Numuneleri.....	57
Şekil 4.9. Penetrant Sıvı Uygulaması (a) Caldie (b) Formvar (c) Orvar2m .....	58
Şekil 4.10. Unimax Malzemeden İmal Edilen Kalıp Çeliğine Penetrant Sıvı Uygulaması .....	58
Şekil 4.11. Çentik Darbe Testi Numunelerinin Makro İncelenmesi (a) Caldie (b) Caldie (c) Orvar2m (d) Orvar2m (e) Unimax (f) Unimax (g) Formvar (h) Formvar .....	59
Şekil 4.12. Makro İncelenen Kalıp Kesiti (a) Kesit Alınan Kalıp (b) Dik Kesit (c) Yatay Kesit.....	60
Şekil 4.13. Dikey Kesit İncelemesi (a) Formvar (b) Orvar2m (c) Unimax (d) Caldie .....	61
Şekil 4.14. Yatay Kesit İncelemesi (a) Formvar (b) Orvar2m (c) Unimax (d) Caldie .....	61
Şekil 4.15. SEM Numuneleri .....	62



Şekil 4.16. Formvar Malzemenin Topografik ve EDX İncelemeleri.....	63
Şekil 4.17. Caldie Malzemenin Topografik ve EDX İncelemeleri .....	63
Şekil 4.18. Orvar2m Malzemenin Topografik ve EDX .....	64
Şekil 4.19. Orvar2m x200 Mikroyapı Kıyaslama (a) Isıl İşlem Uygulanmış (b) Isıl İşlem Uygulanmamış .....	64
Şekil 4.20. Unimax x200 Mikroyapı Kıyaslama (a) Isıl İşlem Uygulanmış (b) Isıl İşlem Uygulanmamış .....	65
Şekil 4.21. Caldie x200 Mikroyapı Kıyaslama (a) Isıl İşlem Uygulanmış (b) Isıl İşlem Uygulanmamış .....	65



## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1. 16MnCr5 Kimyasal Kompozisyonu .....	39
Tablo 3.2. V4E Kalıp Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu.....	39
Tablo 3.3. Sertlik ve Akma Dayanımı .....	40
Tablo 3.4. Unimax Takım Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	40
Tablo 3.5. Farklı Sertlik Değerlerinde Orvar2m Malzemenin Akma ve Çekme Dayanımı .....	41
Tablo 3.6. Formvar Kalıp Çeliğinin Mekanik Özellikleri .....	41
Tablo 3.7. Kalıp Malzemelerinin Isıl İşlem Değerleri .....	43
Tablo 4.1. Kalıp Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonu.....	52
Tablo 4.2. Parlatma İşlemi Sonrasında Kalıp Yüzey Pürüzlülük Değerleri .....	56
Tablo 4.3. Kalıp Malzemelerinin Sertlik, Basma Dayanımı, Tokluk Değerleri .	57
Tablo 4.4. Kalıp Malzemelerinin Baskı Sayısı .....	66
Tablo 4.5. Kalıp Maliyeti .....	66
Tablo 4.6. Gerekli Kalıp Adeti ve Maliyeti .....	67
Tablo 4.7. Kalıp Sök-Tak Maliyeti .....	67
Tablo 4.8. V4E-Caldie Maliyet ve Verimlilik Tablosu .....	67

## TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hülya DURMUŞ'a, çalıőmalarımın tüm aőamalarında destek olan EKO ENDÜSTRİ KALIP OTOMOTİV PLASTİK VE SPOR ALETLERİ SANAYİ DİŐ TİC. LTD. ŞTİ' ye, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Yaman GÜLER  
Manisa, 2021



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ROTİL PARÇASININ SOĞUK DÖVME ÇEKİRDEK KALIBI ÜZERİNDEKİ GERİLMELERİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Yaman GÜLER

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

Soğuk dövme, iş parçasına oda koşullarında basma kuvveti uygulayarak kalıp denilen iş takım çelikleri arasındaki formun verilmesinin sağlandığı plastik şekil verme yöntemidir. Rotil gövdesi parçasının soğuk dövme prosesi oda sıcaklığında gerçekleştiğinden yüksek dövme kuvvetleri meydana gelmektedir. İş parçası ve kalıp temas yüzeyindeki basınç yüksek olduğundan, kalıp seti bileşenlerinin yüksek mekanik özellikler göstermesi istenmektedir. Rotil gövdesi parçasının soğuk dövme ile üretiminde kullanılan kalıpların ömürleri üretim maliyetlerine etki eden önemli faktördür. Kalıp maliyetlerini en aza indirmek, doğru kalıp malzemesi seçimi ile mümkündür.

Bu çalışmada üç operasyonda üretilen rotil gövdesinin soğuk dövülmesi esnasında en çok kırılan kalıp bileşeni olan çekirdek kalıbı incelenmiştir. En çok kırılmanın yaşandığı, üretim verimliliğinin en düşük olduğu son operasyonda kullanılan kalıp bileşenlerine ve iş parçasına sonlu elemanlar analizi uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında kalıp çekirdeğinde patentli isimleri Caldie, Unimax, Formvar ve Orvar2m soğuk ve sıcak iş takım çeliklerine yüksek sıkılık uygulanarak kullanılmıştır. Aynı şartlarda imal edilen kalıp ve test numunelerine tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile test uygulanmıştır. Isıl işlemler ve ısıl işlemsiz takım çeliği numunelerine metalografik incelemelerde bulunulmuştur. Kalıp çeliklerine uygulanan testlerin sonuçları ve rotil gövdesi üretiminde kullanılan kalıpların ömürleri arasında ilişki kurulmuştur. Sonlu elemanlar analizi destekli gerçekleşen bu çalışma sonucunda malzeme seçimi, ısıl işlem ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Kalıp maliyetinin düşük, üretim verimliliğinin ise yüksek olması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Soğuk Dövme, Sonlu Elemanlar Analizi, Kalıp, Isıl İşlem, Malzeme**

**2021, 71 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc.Thesis**

### **FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE STRESSES ON THE COLD FORGED CORE DIE OF THE ROTILE PART**

**Yaman GÜLER**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Metallurgy and Material Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hülya DURMUŞ**

Cold forging is a plastic forming method by applying the pressing force to the workpiece under room conditions, where the form between work tool steels called die is given. Cold forging process of the workpiece takes place at room temperature, high forging forces occur. The pressure on the workpiece and die contact surface is high, die set components are required to exhibit high mechanical properties. The service life of the dies used in the production of the ball joint body with cold forging is an important factor affecting the production costs. It is possible to minimize die costs by choosing the right die material.

In this study, the core die which is the most broken die component during the cold forging of the ball joint body produced in three operations was examined. Finite element analysis is applied to the die components and workpiece used in the last operation, where the most breakage is experienced and the production efficiency is the lowest. Within the scope of this study, patented names Caldie, Unimax, Formvar and Orvar2m cold and hot work tool steels were used in the die core by applying high shrink fit ratio. Die and test samples manufactured under the same conditions were tested with destructive and non-destructive testing methods. Metallographic examinations were made on samples of heat treated and non-heat treated tool steel. A relationship has been established between the results of the tests applied to the die steels and the lifetimes of the dies used in the production of ball joints. As a result of this study, which is supported by finite element analysis, material selection, heat treatment and mechanical properties were determined. It is ensured that die cost is low and production efficiency is high.

**Keywords: Cold Forging, Finite Element Analyz, Heat Treatment, Material**

**2021, 71 pages**

## 1. GİRİŞ

Soğuk dövme basit bir anlatımla, demir veya demir dışı iş parçasının oda koşullarında kalıplar yardımıyla istenilen formun verildiği plastik şekil verme yöntemidir. İş parçasının dar toleranslarda üretilebilmesi, seri üretime uygun olması, minimum talaş kaldırma ile iş parçasının son hale getirilebilmesi, iş parçasına sıcak dövmede olduğu gibi dövme öncesi ısıl işlem için ekstra enerji gerekmemesi, iş parçası yüzeyinin yüksek kalitede çıkması, dişli gibi karmaşık ve hassas parçaların dövülebilmesi, ısıl işlem uygulaması olmadığı için iş parçasında hacim kaybının minimum seviyede olması gibi soğuk dövmenin birçok avantajı vardır.

Soğuk dövme sektörü günümüzde hızlı bir şekilde gelişme göstermektedir. Uzay ve uçak sanayi, otomotiv sanayi gibi kritik öneme sahip sektörlerindeki parça ihtiyacının yükselmesi ile soğuk dövme sektörünün de önemi artmaktadır. Bu artış soğuk dövme sektöründeki firmaların arasındaki rekabeti de arttırmakla beraber ülkemizde az sayıda bulunan soğuk dövme firmalarının mevcut konumlarını koruyabilmeleri, pazar paylarını büyütebilmeleri için en düşük maliyet ile en yüksek kalitede üretim yapmaları gerekmektedir.

Soğuk dövme maliyetlerinde kuşkusuz ki en önemli parametre kalıp maliyetleridir. Soğuk dövme yöntemiyle üretilen parçaların kalıp maliyeti ilk ürünün maliyetine oranla çok daha yüksektir. Karmaşık, dövülmesi güç parçaların üretimi esnasında kalıpların düşük ömür göstermesi üretimin düşük verimde gerçekleşmesine sebep olmakta veya firmaya çıkan yüksek kalıp maliyetlerinden dolayı parçanın soğuk dövme yöntemiyle üretilmesinden vazgeçilmektedir. Bunun yerine çoğu küçük firma sürekli kalıpları söküm ve takım yaparak üretimi düşük verimlilikle gerçekleştirmektedir.

Soğuk dövmede, kalıplar üzerinde oluşan gerilmeler oldukça yüksektir. Bu nedenle, şekillendirme kuvvetlerini ve gerilmelerin tahmini, kalıp tasarımı ve makine seçimi için çok önemlidir. Bu gerilme ve genlemeler, kalıp geometrisi, ekstrüzyon hızı, yağlama, iş parçası malzemesi ve kütük boyutlarından etkilenir[1]. Sonlu elemanlar analizi yazılımları desteği ile soğuk dövmede kalıplar üzerinde oluşan gerilmeler, doğru kalıp malzemesi seçimi, gerekli pres seçimi, sürtünme katsayısı tespiti ve birçok bilgiye gerçeğe en yakın şekilde ulaşmamıza yardımcı olur. Sonlu elemanlar analizi uygulamaları metal şekillendirme sektöründe olmazsa olmaz durumuna gelmiştir. Firmaların rekabet ortamında olduğu koşulda sonlu elemanlar analizi kullanımını proseslerin her adımının kontrollü ve verimli olmasında önemli bir faktördür.

Bu tez çalışmasında;

1. En çok kalıp kırılmasının yaşandığı son operasyona sonlu elemanlar analizi ile kalıp analizi uygulanması,
2. Kalıp analizi çıktısı olarak patentli ismi V4e olan çekirdek kalıbı yerine farklı malzeme seçimi,
3. Seçilen Caldie, Unimax, Formvar, Orvar2m malzemelerinden kalıp imalatı,
4. Kalıplara belirlenen ısıl işlem rejimlerinin uygulanması,
5. Kalıpların gerçek üretim ortamında denemesi ve tahribatsız muayene uygulamaları,

6. Seçilen Caldie, Unimax, Formvar, Orvar2m numunelere mekanik test uygulamaları,
7. Test numuneleri ve kalıplara metalografik inceleme yapılması,
8. Metalografik inceleme, mekanik test sonuçları ve baskı ömür kıyaslaması sıralamasıyla gerçekleşmiştir.

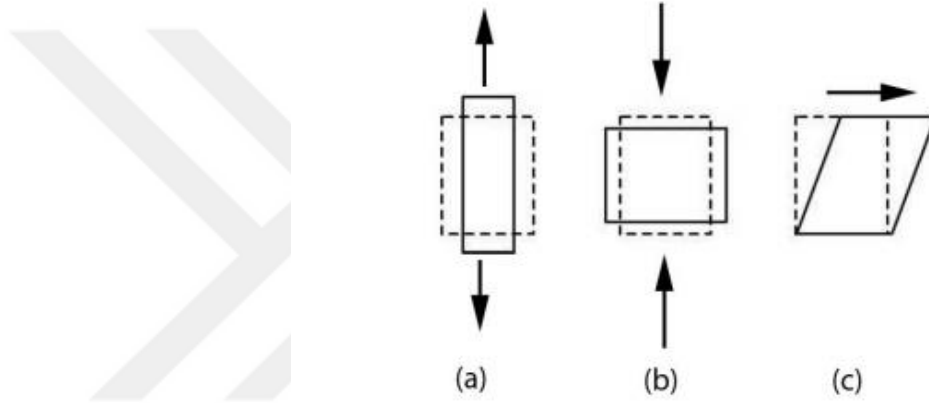
Bu tez çalışmasının amacı, sonlu elemanlar analizi desteği ile gerçekleşen rotil kovani parçası üretimi esnasında erken kırılan maliyeti çok yüksek olan kalıpların baskı ömrünü uzatarak üretim verimliliğini arttırmak ve üretim maliyetlerini azaltmaktır.



## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Plastik Şekil Verme

Katı iş parçasının kimyasal kompozisyonunda ve hacminde değişime neden olmadan ilk şeklinin istenilen son şekle dönüştürmek için uygulanan üretim yöntemleri plastik şekil verme olarak adlandırılır. Plastik şekil verme yöntemleri, kütleli ve sac şekillendirme olarak ikiye ayrılır. Kütleli şekillendirme uygulamalarına haddeleme, dövme, ekstrüzyon, tel ve çubuk çekme metodları örnek olarak verilebilir. Sac şekillendirme uygulamalarına kesme, bükme, derin çekme metodları örnek olarak verilebilir. Kütleli şekillendirme ve sac şekillendirme işlemlerinde iş parçası üzerinde kayma, basma ve çekme gerilmeleri etki eder. Bu gerilmelerinin birkaçının etkileri aynı anda da etki edebilir. Bu tez çalışmasında kütleli şekillendirme metodlarından olan dövme ve soğuk dövme detaylı anlatılacaktır [2].



Şekil 2.1. Plastik şekil verme gerilmeleri (a) Çekme (b) Basma (c) Kayma

Gerilme, bir kesite herhangi bir kuvvet etki ettirildiğinde o kesitte birim alana düşen kuvvete denir. Şekil 2.1’de plastik şekil verme esnasında etki eden üç gerilme şekli gösterilmiştir. Şekil 2.1 (a)’da gösterilen çekme gerilmesi dik yönde kuvvetin uygulanması nedeniyle meydana gelir. Uygulanan kuvvet malzemeyi kendi yönünde uzatır. Gerilme değeri, uyguladığımız kuvvetin miktarı ile sabit kalsa da, kesit alanının büyüklüğüne bağlı olarak da değişebilir. İş parçasını kesit alanındaki en küçük değişimin olması bile malzeme üzerindeki gerilmelerin olmasına neden olabilir. Şekil 2.1 (b)’de gösterilen basma gerilmesi ise iş parçası malzemesini sıkıştırarak ve dik yönde kuvvet uygulayarak meydana gelir. Şekil 2.1’de (a ve b) görsellerinde gösterilen gerilme çeşitleri yüzeye dik uygulandıkları için normal gerilme olarak isimlendirilirler. Şekil 2.1 (c)’de gösterilen kayma gerilmesi ise uygulanan kuvvetin iş parçasının iki zıt yüzeyinin birbirine ters yönde ve paralel olarak kaymasını sağlamasıyla meydana gelir.

Çekme testi uygulamasında, numune iki tarafından çekilmeye başlandığında hacminde herhangi bir değişim meydana gelmezken, numune boyu uzadıkça kesit alanında daralma meydana gelir. Numunenin kesitinde meydana gelen bu daralma



sebebiyle, numunenin kesit alanına etki eden gerçek gerilme, numunede şekil değişimi meydana gelmeden önceki kesit alanıyla kıyaslandığındaki gerilmeden daha yüksek değerlerdedir.

Malzeme üzerindeki gerçek gerilme, kesit alanındaki daralmaya bağlı bu değer artışı göz önüne alınarak ifade edilebilmektedir. Yine de, daha pratik olması nedeniyle, çoğu zaman malzemenin kuvvet uygulanmadan önceki kesit alanı ölçülüp, sanki alanda bir değişim olmuyormuş gibi, kuvveti bu ilk kesit alanına bölerek gerilmeyi ifade etmek de mümkündür. Her ne kadar gerçek gerilme değerlerini vermese de, pratik olması nedeniyle, bu şekilde hesaplanan gerilmeye mühendislik gerilmesi denir. Malzemenin kuvvet uygulanmadan önceki kesit alanı  $A_0$ , malzeme üzerine etki eden yük de  $P$  ile gösterilirse, mühendislik gerilmesi denklem 2.1'deki gibi ifade edilebilir. [3]

$$\sigma_e = \frac{P}{A_0} \quad \text{Denklem 2.1}$$

Çekme numunesinin kesit alanındaki değişimden de gerilme hesabı yapılmaktadır. Kesit alanı farkıyla hesaplanan gerilmeye, malzeme üzerindeki gerçek değerleri vermesinden dolayı gerçek gerilme denir. Kesit alanının o anki değeri  $A_i$  olarak gösterilirse gerçek gerilme değeri şöyle hesaplanır;

$$\sigma = \frac{P}{A_i} \quad \text{Denklem 2.2}$$

Gerçek gerilme ve mühendislik gerilmesi arasında çevrim yapılabilir. Gerçek gerilme hesaplamasında kullanılan anlık değere test sırasında eldesi zor olabilir.

$$\sigma = \sigma_e(e + 1) \quad \text{Denklem 2.3}$$

Gerinim yani strain ifadesi iş parçasına yük uyguladıktan önce ve yük uyguladıktan sonra şekil değişimi oranını verir. İş parçasına uygulanan plastik şekil verme işlemi, iş parçasının ilk ve son boyutlarındaki değişimle tarif edilir. Çubuk numune iki ucundan çekildiğinde, toplam uzama miktarı ilk uzunluğa oranlanırsa mühendislik gerinimi hesabı ortaya çıkar. Denklem 2.4'de mühendislik gerinimi hesabı gösterilmiştir. Çubuk numuneye çift taraflı çekme esnasında çubuğun anlık değişimleri göz önüne alınarak hesaplanır ise gerçek gerinim hesabı yapılır. Denklem 2.5'de gerçek gerinim hesabı gösterilmiştir. Şekil değiştirme çekme ve basma uygulamalarında;

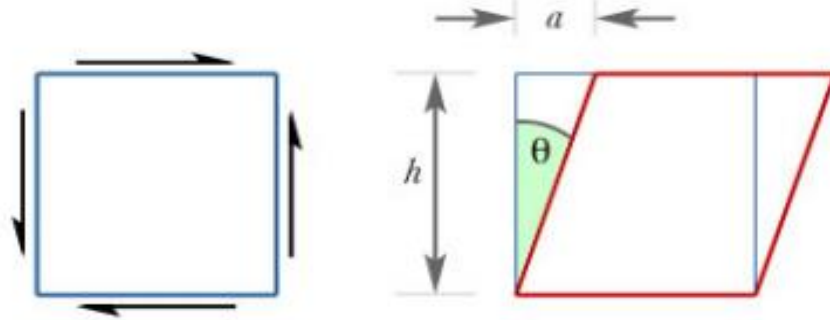
$$e = \frac{l-l_0}{l_0} \quad \text{Denklem 2.4}$$

$$e = \ln \frac{l_f}{l_0} \quad \text{Denklem 2.5}$$

Gerçek gerinimi değeri çubuk numuneye yapılan test esnasında takibi kolay olmayabilir. Bunun için gerçek ve mühendislik gerinimleri birbirine çevrilebilmektedir. Denklem 2.6'da denklemde gerçek ve mühendislik gerinimleri arasında ki bağıntı;

$$e = \ln(1 + e) \quad \text{Denklem 2.6}$$

ile ifade edilir,  $\varepsilon$  değeri çekme uygulamalarında pozitif, basma uygulamalarında negatiftir. Gerilmeye olduğu gibi kuvvetle uygulandığında aynı yönde gerinim oluşuyorsa normal strain olarak isimlendirilir. Gerinimde Şekil 2.2'de ki gibi kayma kuvveti etkisi varsa malzeme üzerinde açılma şekil değişimi veya açılma distorsiyon meydana gelebilir. Böyle oluşan şekil değişimine kayma gerinimi denir [3].



Şekil 2.2. Açılma distorsiyon [3]

## 2.2. Dövme

Dövme, kontrol altında uygulanan kuvvet ve basınç altında plastik şekil verme mekanizması ile metale istenen formun verilmesi, tane boyutlarında küçülme ve incelmeye sağlanması, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan bir plastik şekil verme yöntemidir. Plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan dövme soğuk, sıcak ve ılık olarak yapılabilir. Malzemenin mutlak erime sıcaklığı  $T_e$  ( $^{\circ}\text{K}$ ) ve şekil verme sıcaklığı da  $T$  ile gösterilirse, genel olarak  $T/T_e < 0,3$  ise soğuk şekil verme,  $T/T_e = 0,3-0,5$  aralığında ise ılık ve  $T/T_e > 0,6$  ise sıcak plastik şekil verme olarak isimlendirilir [4].

Sıcak dövmede işparçası, akış gerilimini ve dövme basınçlarını azaltmak için yeniden kristalleştirme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda, örneğin çelikler için 1290 ila 1470 F (700 ila 800 C) sıcaklığa kadar ısıtılır. Soğuk dövmede işparçası deformasyon başladığında oda sıcaklığındadır [5].

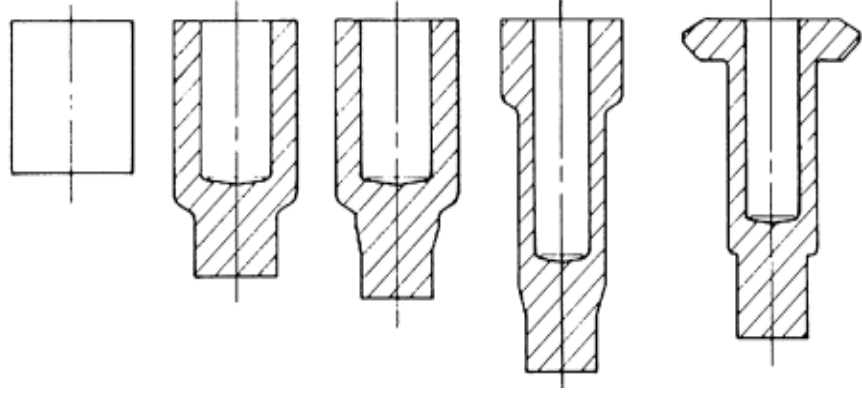
Dövme, işparçasına iki veya daha çok kalıp kullanımı ve yüksek basma kuvvetlerinin kontrollü uygulanması ile gerçekleşir. M.O 4000'li yıllardan beri sıcak dövme metodu kullanılmaktadır. Günümüzde hala aktif ve önemli üretim yöntemlerinden biri olan sıcak dövme mukavemet gerektiren kompleks parçaların üretiminde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan soğuk dövme metodu ülkemizde yeni gelişmekte olan bir üretim yöntemidir. İş parçasının yeniden kristalleştirme sıcaklığının altında veya oda sıcaklığında şekillendirildiği dövme yöntemidir. Son zamanlarda soğuk dövme ile üretimde yapılan çalışmalar sonlu elemanlar analizi desteğiyle gerçekleşmektedir.

Ülkemizdeki ve sanayileşmiş ülkelerdeki dövme tesislerini teknolojik açıdan kıyasladığımızda, büyük ölçekli dövme tesislerimizin yüksek sanayileşme oranına sahip ülkelerdeki tesislere yaklaştığı hatta benzerlik gösterdiği gözlenirken, orta ve küçük ölçekli tesislerin daha geride kaldığı gözlenmektedir. Büyük ve bazı orta işletmeler dünyadaki gelişmelere paralel olarak CAD, CAM, CAE programlarını kullanıp, modern malzeme kontrol ve ölçme laboratuvarlarına sahipken, bu imkanlara sahip olmayan ve hatta kalifiye elemandan yoksun çok sayıda küçük ve orta ölçekli dövme tesislerinin kaliteli üretim sorunları yaşadığı görülmektedir [3].

### **2.2.1. Soğuk Dövme**

Soğuk dövme, dar geometrik toleranslar arasında mukavemetin yüksek istendiği makine, bağlantı elemanı gibi parçaların üretiminde kullanılıp seri üretim olanağı sağlayan metal şekillendirme yöntemidir[6]. Soğuk dövmede, ön hazırlık formundan veya ara aşama formunda ilk ısıtma olmadan oda sıcaklığında iş parçasının dövülmesi olarak tanımlanır. Soğuk dövme, soğuk metalin sıkıştırma kuvvetleri altında plastik olarak çeşitli şekillerde aktığı özel bir dövme işlemi türüdür. Soğuk dövme ve soğuk ekstrüzyon terimleri çoğu zaman birbirinin yerine kullanılır. Ekstrüzyon, kalibre, kafa formu verme, damgalama ve dövme yöntemleri vardır. Bu işlemler genellikle mekanik veya hidrolik preslerde gerçekleştirilir. İlk geometriye göre nispeten daha karmaşık olan son geometriyi elde etmek için Şekil 2.3'de gösterildiği gibi birkaç adımda dövme işlemi yapılır. Basit şekildeki bir tablet veya kütük ile başlayan dövme prosesi nihai ürün olan son operasyondaki daha kompleks nihai ürüne dönüşür [5].



**Şekil 2.3.**Soğuk dövme operasyonları [5]

Şekil 2.3’de operasyon adımları gösterilmiştir.İlk operasyonda zımba ile iç çap formu oluşturulmuştur.İkinci operasyonda eş zamanlı olarak ileri çubuk ve geriye ekstrüzyon yapılmıştır.Üçüncü operasyonda ileriye doğru ekstrüzyon yapılmıştır. Dördüncü operasyonda geri bardak akıtma yöntemi kullanılmıştır.Nihai ürün beşinci operasyonda flanş ezilerek son form verilmiştir [5].

Soğuk dövme işlemlerinde daha yüksek dövme kuvveti gerekmesine rağmen, plastik deformasyon gevrekleşmesi nedeniyle son ürünün mekanik özelliklerinden iyileşme görülmekte, net shape forming olarak adlandırılan dar toleranslarda herhangi bir ek işleme gerek kalmadan son ürün eldesi sağlanmaktadır.Soğuk dövme işlemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri ise yüksek dövme kuvvetleri ve ağır sürtünme koşullarından dolayı meydana gelen abrazyon sebebiyle dövme kalıplarında düşük çevrim sayılarında meydana gelen hasar ve kırılmalardır [6].

Demir ve demir dışı malzemelemelerin soğuk dövme uygulaması, malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı altında veya oda koşullarında gerçekleşir. Basma kuvvetlerinin işparçasına kontrollü uygulanmasıyla şekil verilmesi sağlanır. Soğuk dövme esnasında işparçası malzemesinin iç yapısında ikizlenme, kayma ya da hem ikizlenme hem kayma mekanizmaları gerçekleşebilir. Demir veya demir dışı iş parçası üzerinde bu mekanizmaların gerçekleşmesi sonucunda yeniden şekillenmeye karşı göstereceği mukavemet artar. Şekillenmeye karşı gösterilen mukavemet sonucunda soğuk şekillenmede malzemenin mekanik özelliklerinde dövme işlemi öncesine göre farklılaşmalar oluşmaktadır. İşparçasında mekanik özelliklerden olan sertlik ve mukavemette artış olurken, süneklikte azalma meydana gelir. Demir ve demir dışı işparçası malzemelerde malzemenin maksimum şekillendirilebilirlik sınırının üstüne çıktığı durumlarda işparçasında çatlama, yarıma, yırtılma gibi süreksizlikler meydana gelebilir.

Demir ve demir dışı işparçası malzemelerinde soğuk dövme sonucunda mukavemet ve sertliğinde artışın meydana gelmesi pekleşme sonucunda olur. İşparçasında oluşan yüksek deformasyon sertleşmesi sonucunda çeşitli ısıl işlem uygulamaları ile müşterinin istediği yada standartlara uygun mekanik özellikleri sağlanır.

Soğuk dövme yöntemi ile otomotiv parçası, bağlantı elemanı imalatında sağlanan avantajlardan bazıları şunlardır:

- İş parçasına dövme operasyonu öncesinde sıcak dövmedeki gibi ısıtmak için enerji gerekmez,

- İş parçası net forma yakın üretildiği için talaşlı imalatta minimum fire verilir,

- Dövme uygulaması sonucunda çıkan iş parçası yüzeyi yüksek kalitelidir,

- Çok düşük toleranslarda ürünler çıkarılabilir,

- Sıcak dövme sonrasında iş parçasının yüzeyindeki tufal soğuk dövme uygulaması sonucunda oluşmaz,

- Soğuk dövme sonucunda iş parçasının sertlik ve dayanımında yüksek deformasyon ve dislokasyon artışı sonucunda yükselme meydana gelir,

- Soğuk dövmede kullanılan kalıp setlerindeki kalıpların hızlı değiştirilebilmesi, kalıp bağlama sürelerinin diğer yöntemlere göre daha kısa olması nedeniyle seri üretime daha uygundur,

- Yüksek üretim hızlarına uygundur,

- İş parçasındaki liflerin sürekliliği bozulmaz. Bunun sonucunda daha iyi mekanik özelliklere sahip parçalar üretilir,

- Malzeme liflerinin sürekliliği bozulmaz böylece malzemenin dayanımı daha iyi olur,

- İş parçasında meydana gelen akış hareketleri kontrol edilebilir.

Soğuk dövme uygulamalarının dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Dövme prosesinde iş parçası ısıtılmadığı için iş parçası ve kalıp yüzeyinde yüksek temas basınçları meydana gelir,

- Dövme prosesi boyunca iş parçası malzemesi sertleşmesi sebebiyle yüksek kalıp basınçları ortaya çıkar,

- Müşterinin istediği son forma ulaşabilmek için iş parçasının birçok istasyondan geçmesi gerekebilir,

- Yüksek pres kuvvet ve strokları gerekebilir,

- İş parçasında ara tavlama gerekebilir,

- Kalıp maliyeti yüksektir.

## 2.3. Kullanılan Kalıplara Göre Dövme İşlemleri

### 2.3.1. Açık Kalıpta Dövme

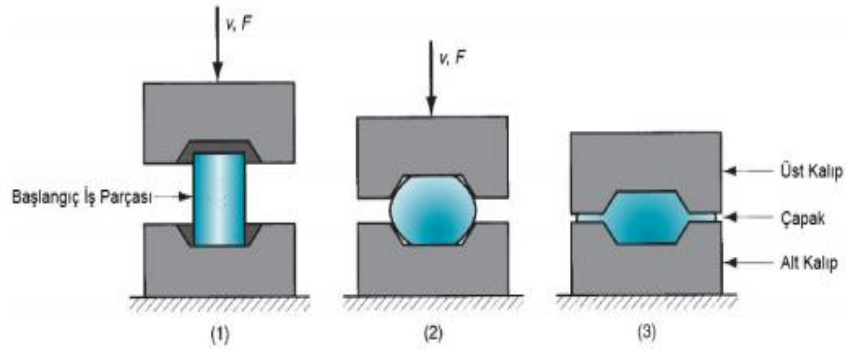
Dövme işlemleri arasında uygulaması en basit yöntemdir. Genellikle basit geometrili parçalarda veya fiçilaştırma operasyonlarında uygulanır. Alt ve üst birbirine paralel iki düzlemsel kalıp arasında gerçekleşir. İşparçası uygulanan basma kuvveti ile şekillendirilir. Soğuk dövme operasyonlarında kaba şekillendirme uygulamalarında kullanılır. Üretim adedi az olan ve kapalı kalıp yatırımının yüksek olduğu parçaların üretiminde uygulanabilir.

### 2.3.2. Kapalı Kalıpta Dövme

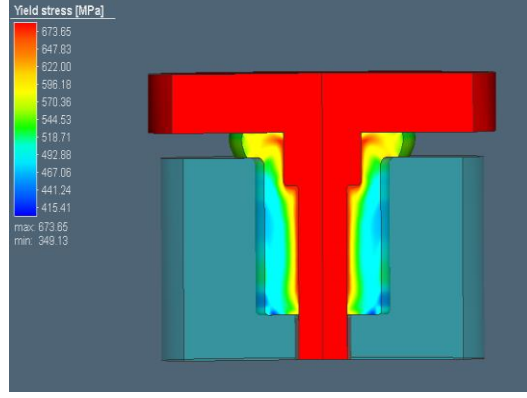
Dövme uygulamaları arasında sıklıkla kullanılan diğer bir yöntem kapalı kalıpta dövmedir. Kapalı kalıpta dövme uygulamalarında malzemenin gidebileceği kısımlar sınırlı olduğu için kapalı kalıpta dövme işlemi öncesinde hacim hesaplamalarına dikkat edilmelidir.

#### 2.3.2.1. Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme

Geometrisi daha karmaşık parçaların dar toleranslı üretiminde kullanılan dövme türüdür. İşparçası alt ve üst kalıpların arasında kalan formu alır. Bu tez çalışmada kullanılan dövme türüdür. Malzeme alt ve üst kalıpların arasındaki boşluğa kaçarak çapağı oluşturur. Bu yöntem seri üretime uygun, hızlı bir üretim türüdür.



Şekil 2.4. Üst ve alt kalıp arasında iş parçasına uygulanan çapaklı dövme örneği [7]

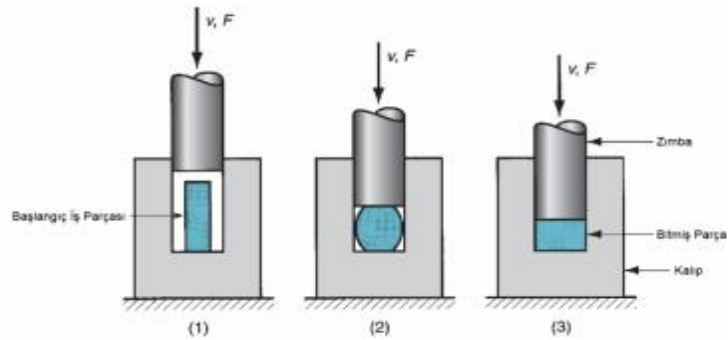


**Şekil 2.5.** Simülasyon destekli kapalı kalıpta çapaklı dövme örneği

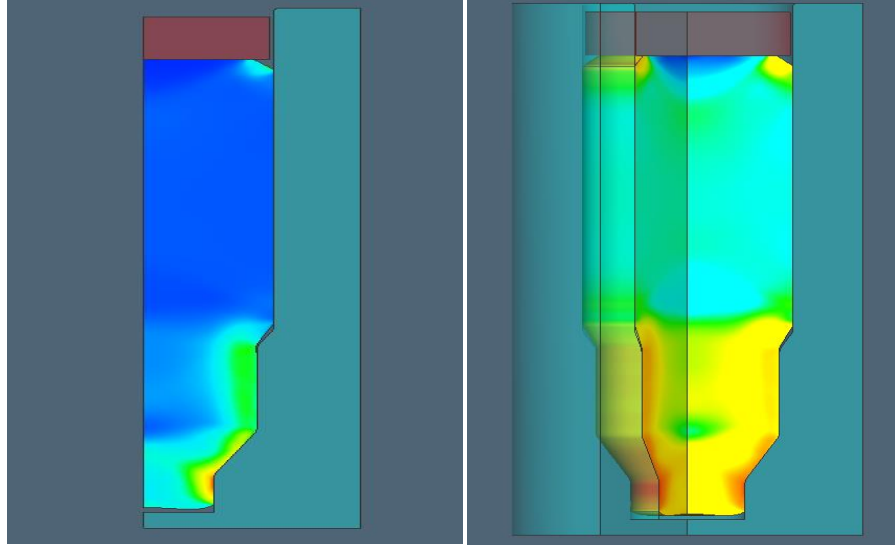
Şekil 2.4’de kapalı kalıpta çapaklı dövme şematik gösterilmiştir. Kapalı kalıpla dövme uygulamalarında, kullanılan işparçasının hacminin doğru hesaplanması çok önemlidir. İşparçasının hacmi kalıp boşluğunu doldurmalıdır. Bu tür uygulamalarda sonlu elemanlar analizi kullanılması hakim ve kalıp doldurma hatalarının önüne geçebilmektedir. Kapalı kalıpta dövme uygulamalarında genellikle müşterinin istediği ölçü ve formlara tek operasyonda getirilemez. Bu yüzden parça çoklu istasyondan geçer ve son hale getirilir. Bu tür uygulamalarda genellikle aynı kalıp setleri kullanılacak şekilde tasarlanır.

### 2.3.2.2. Kapalı Kalıpta Çapaksız Dövme

İşparçası genellikle dişi ve erkek kalıp arasında şekillendirilir. Bu uygulamada malzemenin kaçabileceği boşluklar yoktur. Soğuk dövme kalıplarında kalıp maliyetini azaltmak ve operatör güvenliği için malzemenin kaçabileceği ve çapak oluşumuna sebep olabilecek 0.05mm ve 0.2mm arasında güvenlik payları bırakılabilir. Bu yöntemle üretilen parçalara talaşlı imalata gerek kalmadan netforma yakın ölçülerde şekil verilir. Kapalı kalıpta çapaksız dövme uygulamalarında kalıplar arasında şekillendirilen işparçasının hacmi çok hassas ayarlanması gerekmektedir.



**Şekil 2.6.** Erkek ve dişi kalıp arasındaki işparçasına uygulanan çapaksız dövme örneği [7]



**Şekil 2.7.** Simülasyon destekli kapalı kalıpta çapaksız dövme örneği

## 2.4. Soğuk Dövme Prosesleri

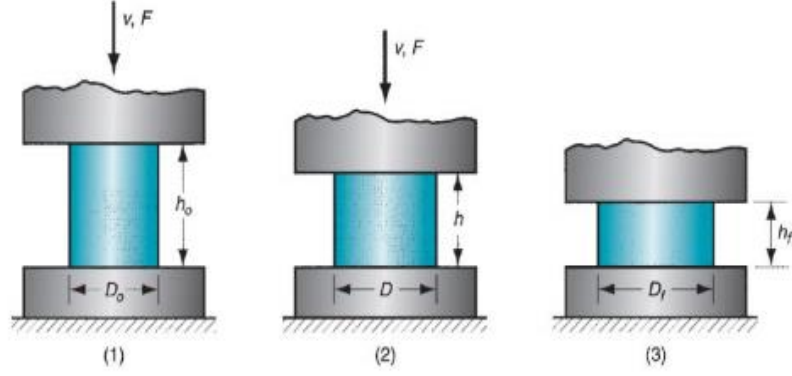
Soğuk dövme prosesleri beş bölümde anlatılmıştır.

### 2.4.1. Upsetting(Şişirme-Yığma)

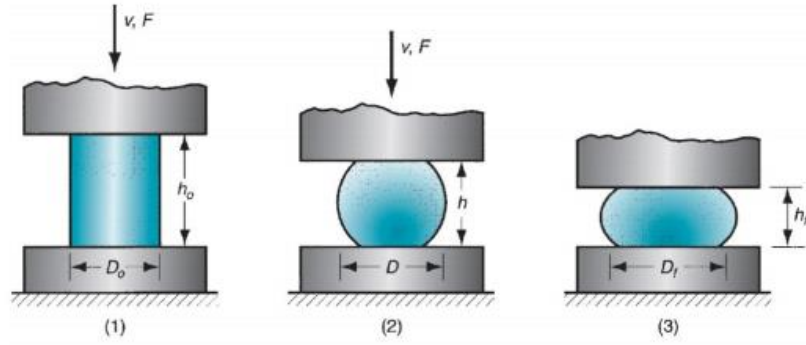
Upsetting yöntemi, fiçilaştırma, şişirme veya yığma olarak da adlandırılan açık kalıpta uygulanan bir şekil verme uygulamasıdır. Soğuk dövmede genellikle iş parçasının paralel düzlemsel plakalar arasında yüksekliğinin azaltılırken çapının genişletildiği şekil verme işlemidir. Fiçilaştırma işlemi aşırı düşük sürtünme katsayısı gibi koşullarda yani ideal koşullarda uygulandığında Şekil 2.8’de görüldüğü gibi yükseliği azalarak çapı büyür. İş parçasının ortasında herhangi bombeleşme meydana gelmez. Fiçilaştırma işlemi sürtünme katsayısının normal olduğu yani gerçek durumda uygulandığında iş parçasının ilk boyu ideal durumdaki gibi kısılırken çap büyümesi bombeleşerek gerçekleşir. Gerçek durumda yapılan fiçilaştırma işleminde malzeme paralel plakalara dik doğrultuda akmaya çalışırken sürtünme ve kısmen soğuma sebebiyle kalıp iş parçası temas yüzeylerinde engellendiğinden malzemenin orta kısımlarına yönelerek fiçilaşma gerçekleşir.

Şişirme yada fiçilaştırma olarak adlandırılan bu uygulamalar, birçok şekilde gerçekleştirilen temel bir deformasyon işlemidir. Vida, somun, perçin, rotel, rot mili kovanı gibi parçaların üretilmesinde sıkça kullanılmaktadır [7].





Şekil 2.8. İş parçasına ideal koşullarda uygulanan şişirme işlemi [7]

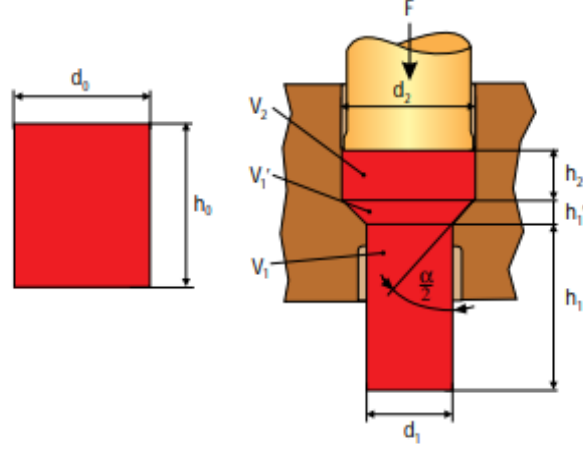


Şekil 2.9. İş parçasına sürtünme etki ettiğinde şişirme işlemi [7]

#### 2.4.2. İleri ve Geri Akıtma

İleri akıtma uygulamalarında iş parçası çap ölçüsü daha küçük çap ölçüsüne dönüştürülür. Prese bağlı olan üst kalıp setinde bulunan düz formu zımba kalıbı ile iş parçasına kalıp boşluğunun formu verilir. Bu yöntemle iş parçasında et kalınlığı düşürme, silindirik formda oyuklar ve farklı formda oyukların oluşturulması gerçekleşir. Dörtgen, altıgen, sekizgen formlar ileri ekstrüzyon ile gerçekleşir. İleri çubuk akıtma yada ileri çubuk ekstrüzyonu işleminde hacimde değişim gerçekleşmez.

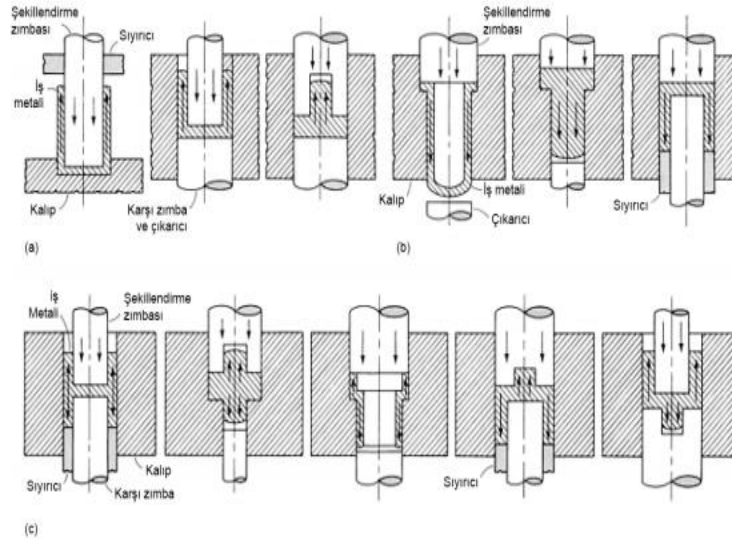
Akıtma uygulaması esnasında duvar sürtünmesinin bir sonucu olarak, başlangıçta kullanılan iş parçasının boy/çap oranı 2'den büyük olmamalıdır. Eğer bu değerden büyük çıkarsa serbest veya açık kalıp ekstrüzyonu ek bir ekstrüzyon işlemi olarak kullanılmalıdır. Buna ek olarak iş parçasının kalan kısmında boy/çap oranı 0,5'ten küçük olmamalıdır. İçeri çekilme gibi istenmeyen durumlara yol açabilir [8].



Şekil 2.10.İleri çubuk akıtma yönteminin şematik olarak gösterimi [8]

Gerçek ekstrüzyon uygulamasında, üstte bulunan zımba ve işparçası zıt yönde uzar. İşparçasının formu zımba kalıbı ve çekirdek kalıbı arasında kalan boşluğun formu olur. Bu uygulama soğuk dövme operasyonlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulanacak kuvvet ileri ekstrüzyon ile kıyaslandığında %25-30 daha az kuvvet gereklidir.

Gerçek ekstrüzyon uygulamasında, malzeme üst zımba ile ters yönde akar. İşparçası ya zımba ile kalıp arasında kalan boşlukta şekillenir ya da zımbanın içindeki boşlukta şekillenir. Gerçek ekstrüzyon, dairesel iç ve dış çapları, yuvarlak köşeli kareleri, çoklu dış çapları ve çoklu iç çapları üretmek için kullanılır. Gerçek ekstrüzyonda, ileri ekstrüzyonda gerekenden % 25-30 daha az ekstrüzyon kuvveti gereklidir.



Şekil 2.11. Soğuk dövmede ileri ve geri akıtma proseslerinin gösterimi [9]

### 2.4.3.İleri Tüp-Boru Akıtma

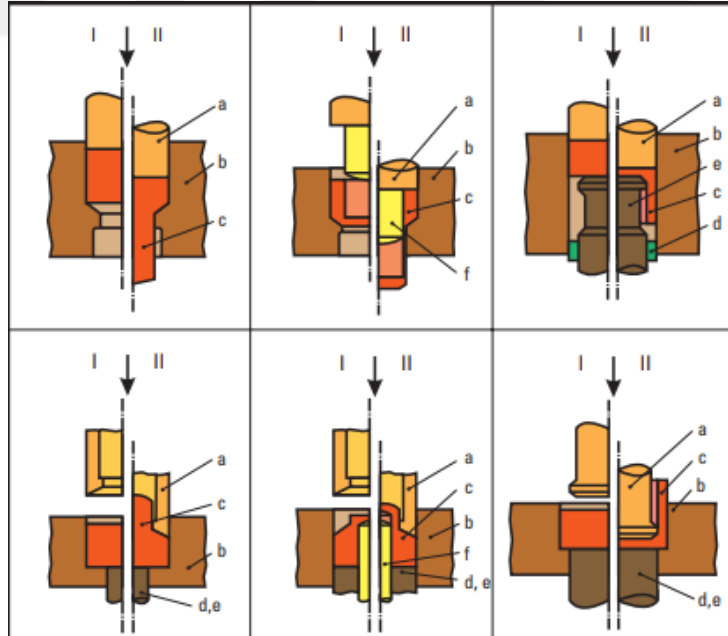
İleri tüp ekstrüzyonu, bir zımba veya silindirden düşük duvar kalınlığı başlangıcına sahip iç formu zımba yada silindir şeklindeki bir parçanın üretilmesini içerir.Üretilen parçanın dış formu kalıp boşluğu verirken parçanın iç formu zımba ile verilir.Eğer mandrel delgiye kalıcı olarak monte edilmişse, buna hareketli mandrel adı verilir. Malzeme akışı sonucunda, mandrelde kritik gerilme gerilimi seviyelerine yol açabilecek ek sürtünme kuvvetleri oluşur.

### 2.4.4. Geri Bardak Akıtma

Katı bir kütük ve tablet işparçasından (ince cidarlı) bir boru parçası üretilir.Parçanın dışşeklini kalıp boşluğu verirken, zımba ile parçanın iç formu verilir. Kalıp ve zımba arasında ince cidar oluşur.Çelik işparçasının geri bardak ekstrüzyonunda, zımbanın boy/çap oranı 3 ila 3,5 arasında olmalıdır. Aksi takdirde zımbada flambaja sebep olabilir [8].

### 2.4.5. Açık Kalıpta İleri Akıtma

İndirgeme ilkesi, kalıp tasarımına gelince ileri çubuk ekstrüzyonu için kullanılan benzerdir.Fakat, ileri çubuk ekstrüzyonunun aksine, kütük ya da tablet işparçası malzemesi ring kalıbının yüzeyine doğru bastırılmamıştır. Bu şekilde sınırlı derecede deformasyon gerçekleşir [8].



Şekil 2.12.Soğuk dövme proseslerinin şematik gösterimi [8]

Şekil 2.12'deki şemayı incelediğimizde; birinci şekil ileri çubuk akıtma, ikinci şekil ileri tüp-boru akıtma, üçüncü şekil ileri bardak akıtma,dördüncü şekil geri çubuk akıtma, beşinci şekil geri tüp-boru akıtma,altıncı şekil ise geri bardak akıtma

proseslerini göstermektedir. Harflerle gösterilen kısımlarda, (a) zımba, (b) kalıp, (c) işparçası, (d) ejektör, (e) çıkarıcı ve (f) mandreli göstermektedir.

## 2.5. Takım Çelikleri

Hammadde halinde bulunan işparçasının ürüne dönüştürülmesinde kullanılan yüksek alaşımlı veya alaşımlı çelik grubuna takım çelikleri denilir. Takım çeliklerinde istenilen özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- Homojen iç yapıya sahip olması,
- Aşınma direncinin yüksek olması,
- Çekme dayanımının yüksek olması,
- Akma dayanımının yüksek olması,
- Sünekliğin yeterli seviyede olması,
- Sertlik değerinin yüksek olması,
- Tokluk değerinin yüksek olması,
- Kalıp çeliğine uygulanan ısı işlem sonrasında sertlik dağılımının homojen olması.

Yüksek alaşımlı kimyasal bileşimleri, yüksek mekanik özellikleri, zorlu şartlarda kullanıma uygun olması gibi birçok önemli özelliğe sahip olan takım çelikleri diğer çelik sınıflarına kıyasla daha zengin içeriklidir. Mekanik, termal, kimyasal ve tribolojik yüklemeler altında çalışan takım ve kalıp çeliklerinden öncelikle beklenen özellikler, sertlik, aşınma dayanımı ve tokluktur. Takım çelikleri, oksidasyon ve korozyona karşı gösterdiği yüksek direnç ile ön plana çıkabilmektedir.

Takım çeliklerinde uzun süredir martenzitik matris kullanılmakta olup, taşıyıcı görevi nedeniyle de bu matrisin yüksek derecede sertleşmesi gerekir. Su verilmiş durumda matris sertliği öncelikle karbon miktarına orantılıyken, menevişlenmiş durumda karbür oluşturu elementlerinde rolü belirginleşir. Pratikte kullanım sıcaklığına göre alaşımlama ve ısı işlem değiştirilerek optimal uygulama karakteristiği elde edilir. Örneğin ledeburitik soğuk iş takım çeliklerinde matris içinde az bir miktarda kromca zengin karışık karbür çökeltileri düşük sıcaklık uygulamaları için yeterlidir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan yüksek hız çeliklerinde ise molibden ve vanadyumca zengin karışık karbürlerle çökelti sertleşmesi maksimize edilmeye çalışılır. Aynı şekilde sıcak iş takım çeliklerinin yapısında bulunan krom, molibden ve vanadyum gibi elementlerin miktarlarının belirli oranlarda değiştirilmesi, malzemeye yüksek sıcaklıkta sertliğini muhafaza edebilme ve meneviş dayanımı gibi özellikler katar [10].

Kullanım alanlarına göre takım çelikleri sınıflandırılmaktadır. Takım çelikleri geleneksel yöntem olan ingot metalurjisi ve toz metalurji yöntemleriyle üretilmektedir. Karbür oluşturu elementlerden faydalanılır. Bütün takım

çeliklerinde sertleştirme işlemleri martenzitik dönüşüm ile gerçekleşmektedir. Takım çelikleri birbirleri arasında farklılık göstermektedir. Bu farklılığın sebebi yapıda bulunan alaşım elementlerinin sebep olduğu karbür çeşitleri, miktarı ve dağılımıdır.

Kullanım alanına göre takım çelikleri aşağıdaki gibi gruplanır:

- Sıcak iş takım çelikleri,
- Soğuk iş takım çelikleri,
- Plastik kalıp çelikleri,
- Yüksek hız takım çelikleri,
- Toz metalurjisi.

Dünyada takım çeliklerinin diğer çelik türlerine göre toplam üretimi yaklaşık %8'dir. Plastik şekil verme proseslerinde sıkça kullanılan takım çeliklerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Kimyasal kompozisyonlarının çok geniş aralıklarda değişebilmesinden dolayı kimyasal kompozisyona göre sınıflandırma yapılmamaktadır. Kullanıldığı proseslerdeki sıcaklık ve proses çeşitine bağlı olarak sınıflandırma yapılmaktadır. Bu yüzden takım çeliklerinde aynı kimyasal kompozisyona sahip malzemeler farklı isimlerle isimlendirilebilir [11].

### 2.5.1. Sıcak İş Takım Çelikleri

Demir dışı ve demir içerikli iş parçalarının genellikle 300-800°C sıcaklıklar arasında iş parçasına şekil verilmesinde kullanılan takım çeliği sınıfıdır. Dövme, enjeksiyon, ekstrüzyon, kesme gibi proseslerde sıklıkla kullanılır. Kalıpcılık ve imalat gibi sektörlerde sıklıkla kullanılır.

### 2.5.2. Soğuk İş Takım Çelikleri

Kullanım alanına göre iyi bir aşınma dayanımı ve tokluk göstermesi için alaşımlandırılmıştır. Ayrıca işlenebilirlik ve ısı işlem sırasında boyutsal stabilite özellikleri de bu çeliklerden beklenen özellikler arasındadır. Genellikle oda sıcaklığı ile 250°C'ye kadar olan çalışma sıcaklıklarında kullanılır. Bu çeliklerde yüksek sıcaklıklara dayanım aranan bir özellik değildir. Soğuk iş takım çelikleri üç blüme ayrılır:

- 1) Tok soğuk iş takım çelikleri,
- 2) Sert soğuk iş takım çelikleri,
- 3) Karbürce zengin soğuk iş takım çelikleridir.

Ayrıca, alaşımsız takım çelikleri, yüksek hız çelikleri, aşınma dayanımlı levhalar, sement çelikleri, ıslah çelikleri, nitrasyon çelikleri ve toz metal takım çelikleri soğuk iş uygulamalarında kullanılmaktadır.

Sertlik, aşınma dayanımı ve tokluk soğuk iş takım çeliklerinde kullanım alanına göre etki eden önemli parametrelerdir. Soğuk dövme ile üretim esnasında sürekli aşınmaya maruz kalan kalıp bileşenlerinde, tokluk özelliğine bakmadan

yüksek karbür içeren ve yüksek sertliğe ulaşabilen takım çelikleri tercih edilmektedir.

### 2.5.3. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkileri ve Kullanım Oranları

Takım çelikleri, üretim ve kullanım oranı bakımından diğer grup çeliklere göre düşük bir yüzdeye sahip olsa da , üretim ve hizmet sektörünün vazgeçilmezidir. Takım çeliklerinin sınıflandırılması çeliklerin kimyasal kompozisyonuna göre değil kullanılan sıcaklıklarına göre sınıflandırılır. Takım çeliklerinin sınıflandırılması DIN 17350 standardına göre yüksek hız, sıcak iş ve soğuk iş takım çelikleri olarak yapılmıştır. Sınıflandırması yapılmış bu takım çeliklerini birbirinden ayıran en kritik özellikleri sertlik ve bu sertliğin temperleme sıcaklığı ile değişmesidir [11].

Çeliğin yapısında bulunan alaşım elementlerini ve çeliğe etkilerini genel hatları ile şu şekilde sıralayabiliriz.

**Karbon (C ) :** Karbon, çeliğin yapısında bulunan temel alaşım elementidir. Çeliklerin mekanik özellikleri üzerinde en önemli etkiyi karbon oranı belirler. Karbon oranının artması akma ve çekme mukavemetini arttırırken, şekillendirilebilirliği, yüzde uzama miktarını azaltmaktadır. Karbon oranı düşük çeliklerin 270-350°C şekillendirilmesi esnasında mavi gevreklik denilen problem gelebilmektedir. Küçük çaplı atomlara sahip olan karbon ve azot gibi elementler hızlı bir şekilde yayılır. Yayınan karbon ve azot atomları dislokasyonları kilitler ve malzemenin akma sınırında yükselmeye sebep olur. Meydana gelen yükselme sonucunda malzeme gevrek davranış gösterir.

**Silisyum (Si) :** Genellikle oksijen giderici olarak çeliklerde kullanılır. Silisyum elementi çeliğin çekme, akma dayanımını arttırır. Elastikiyet arttırıcı özelliği vardır. Bu sebeple yay çeliklerinde kullanılmaktadır. Silisyum oranının azalması çelikte tufal oluşumunun artmasına sebep olur.

**Fosfor (P):**Fosfor elementi çeliğin yapısına eklendiğinde, çeliğin mukavemetini ve talaşlı imalat ile işlenebilirliğini arttırırken, yüzde uzama ve eğme özelliklerini azaltır. Fosfor, çeliğin üretim aşamasında yapıda kalan bir elementtir ve yapıdan olabildiğince uzaklaştırılmalıdır. Çelikte soğuk kırılma sebeptir.

**Kükürt(S):** Kükürt elementi, çeliğin mukavemetinde etkisi neredeyse yoktur. Çeliğin içinde kükürt oranı arttıkça malzemenin tokluğunu ve sünekliğini önemli bir ölçüde azaltır. Kükürt oranının yüksek olması parçaların talaşlı imalat ile işlenebilirliğini arttırmaktadır. Çeliğin üretimi esnasında demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Oluşan bu faz düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ergimesi sebebiyle sıcak kırılma sebeptir. Çeliğin üretimi sırasında kükürdün mangan ile etkileşimi sağlanarak olumsuz etki önlenir. Soğuk dövme işparçasının iç yapısında bulunan FeS bileşimi deformasyon etkisiyle parçada çatlağa sebep olabilmektedir.

**Krom(Cr):** Paslanmaz çeliklerde temel alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Çeliğin yapısına eklenen krom, oksidasyon ve korozyon direnci sağlar. Çeliğin sertleşebilme yeteneğini artırır.

**Nikel(Ni):** Nikel oranının artması, çeliklerde darbe dayanımında artışa sebep olmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde en önemli alaşım elementlerinden birisidir. Çeliğin yapısında bulunan nikelin östenit kararlaştırıcı özelliği vardır. Nikel oranı, östenitik paslanmaz çeliklerde %7-%20 arasındadır. Kafes yapısı oda sıcaklığında bile YMK'dır,

**Molibden(Mo):** Tane büyümesini önler, çeliğin sertleşebilme kabiliyetini artırır.Meneviş gevrekliğini giderir.Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tane sınırlarında karbür çökmesi meydana gelir, bu da kırılma hızına neden olur.Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır.Ayrıca molibden çeliklerin sürünme dayanımını ve aşınma direncini yükseltir.

**Kobalt (Co):** Takım çeliklerinde, sıcak sertliğin kararlılığını sağlayan alaşım elementidir.

**Tungsten (W):**Çeliğin aşınmadayanımını arttıran, karbür yapıcı etkisi olan alaşım elementidir. Soğuk iş takım çeliği türü olan yüksek hız çeliklerinde genellikle kullanılmaktadır.

**Vanadyum(V):**Çelikte yarattığı tane küçültme etkisi ile malzemenin mekanik özelliklerini oldukça artırır.Ayrıca takım çeliklerinin sertleşebilme özelliğini artırır. Çeliğin iç yapısında karbür yapıcı olarak görev alır.

**Titanyum(Ti):**Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır.Ancak bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir.Mikro alaşımlı çeliklerde mikro alaşım elementi olarak kullanılır.

**Alüminyum(Al):**Çeliğin yapısında oksijengiderici etkisi vardır. Akma ve darbe dayanımını arttırıcı etki gösterir. Tane küçültücü etki sağlar.Nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir.

**Kalay (Sn):**Kükürt elementi gibi akma ve çekme dayanımlarını etkilemez. Düşük ergime sıcaklığı sebebi ile sıcak haddeleme esnasında yırtılma gibi istenmeyen durumlara sebep olabilir.

**Bakır(Cu):**Bakır çeliğin yapısına eklendiğinde mukavemet ve korozyon direncini artırır, fakat yüzde uzamayı ve şekillendirilebilirliği azaltır.

**Azot(N):**Çeliğin yapısında genellikle istenemeyen bir elementtir.Kırılğanlığına neden olur, eğme özelliklerini olumsuz yönde etkiler.Nitrasyon işleminde kontrollü olarak çeliğe difüzyon olan azot, alaşım elementleri ile bileşik oluşturur. Oluşan bileşik neticesinde malzeme yüzeyinde sertlik ve aşınma dayanımı artar.

Hammadde halinde gelen soğuk iş takım çeliklerinin başlangıç sertlikleri yüksektir. Isıl işlem uygulamasında 200°C üzerinde sertliği hızlı bir şekilde düşer. Bir diğer kalıp çeliği çeşiti olan sıcak iş takım çeliklerinde ise temper öncesi sertliği düşüktür. Isıl işlem uygulaması boyunca 600°C'ye kadar bu sertlik sabit kalır. Yüksek hız çeliklerinde ise temper öncesi sertlik yüksekken, bu sertlik yüksek sıcaklıklara kadar etkilidir. Sıcak iş ve yüksek hız çeliklerinde 500-600°C temper sıcaklıklarda sertlikte artış meydana gelir. Alaşım oranı yüksek olan sıcak ve yüksek hız çeliklerinde bulunan vanadium, wolfram ve molibdenyum elementlerinin karbür çökeltileri meydana getirmesi sertlikteki artışa sebep olur.Oluşan karbürler çökeltileri sayesinde 500°C üzerinde gerçekleşen proseslerde kullanım sağlanır [11].

## **2.6. Isıl İşlem**

Metal malzemelerde ısıl işlem uygulaması malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için uygulanan prostestir. Isıl işlem metalurjik bir süreç olup belirlenen sıcaklıkta uygulanması sonucu faz değişimi gerçekleştirilerek yapılır. Çeliklere faz değişimi uygulandıktan sonra ani soğutma işlemi uygulanır. Ani soğutma sayesinde granüller oda sıcaklığında termodinamik açıdan denge fazı olmayan bir faza hapsolmuş olur.Bu faz genellikle malzemenin daha spesifik mekanik özellikler gösterdiği bir fazdır [12].

Sertleştirme işlemi sonucunda malzemenin sertliğindeki artış ile aşınma dayanımında artarken malzeme daha gevrek yapıya geçtiği için malzemedeki tokluk düşer.Sertleştirme işlemi sonucunda mekanik özelliklerde hem olumlu hemde olumsuz sonuçlar meydana gelir.Malzemenin kullanılacağı alana göre uygun tokluk-sertlik oranını bulmak gerekir.Isıl işlem sırasında; sıcaklık, zaman ve atmosferin eş zamanlı kontrolü ile uygun şartlar sağlanarak istenilen nitelikteki malzeme üretilmiş olur.

### **2.6.1. Sertleştirme**

Çeliğin sertleştirilmesi östenitleştirme sıcaklığına çıkartma işlemidir. Bu prosteste çelik HMK yapıda olan ferritik fazdan ön ısıtmalı olarak sıcaklık yükseltilerek YMK yapı olan östenit fazına dönüştürülür.Sertleştirme prosesinde çelik A1 ve A3 sıcaklıklarının üzerine ısıtılarak yani östenitleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak kristal yapının değişmesine imkan verecek kadar aynı sıcaklıkta tutulması ardından ani soğutma işlemiyle martenzitik faza dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşir.Oluşan yapı çok sert ve kırılğandır.Martenzitik yapı oluşumu sonrasında takım çeliğinin dayanımı, akma noktası gibi mekanik özellikleri artar.



Çelik sertleşebilir özellikte olmalı, martenzit oluşturacak kadar kısa bir sürede hızla soğutulması gerekmektedir. Çelik, ostenit bölgesine kadar ısıtılmalıdır. Soğutma ortamının sıcaklığı, çeliğin Ms sıcaklığının altında olmalıdır [12].

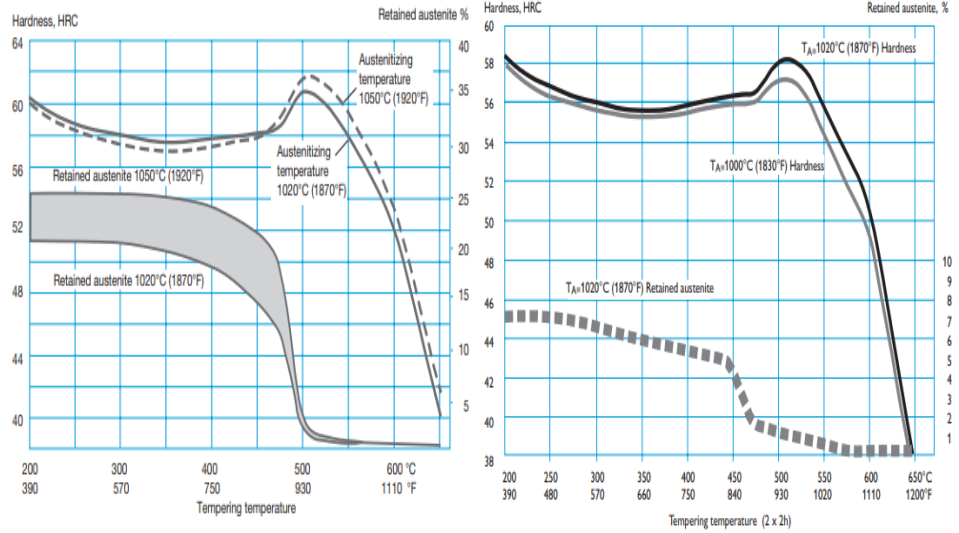
Oda sıcaklığında meydana gelen kristal kafes yapıları için çıkış yapısı östenittir. Ostenit YMK yapıya sahip olup Ferrit HMK yapıya sahiptir. Bu fazda östenit ölçüsü  $3.63A$  iken ferrit  $2.86A$ 'dır. Ostenit değerinin daha yüksek oluşu, daha çok karbon atomunun gama kristalleri içerisinde barınmasını sağlar. Oda sıcaklığında östenite rastlanmaz ve soğutma hızına bağlı olarak başka bir yapı değiştirir. Yavaş soğutma olursa östenitin bünyesinde çözünmüş olan karbon rahatlıkla dışarıya çıkabilir ve yapı ferrit+sementit karışımına dönüşür. Hızlı soğutma olursa, sıcaklığın ani düşmesiyle birlikte, gama kristalleri içerisindeki karbon atomları yerlerinde kalmak istemeyerek yapı dışına çıkmak isteyeceklerdir. Fakat zaman bunun için yeterli değildir. Zamanın çok kısa oluşu karbon atomlarını kafesin içine hapseder ve karbonun zoraki bulunduğu bu yapıya "martenzit yapı" denir [11].

Martenzit, HMT kristal kafes yapısındadır, bu yapıda birim kafesin iki boyutu (a) eşit uzunlukta, üçüncü boyutu (c) ise karbonun hapsedilmesi sonucu biraz uzamıştır. HMT yapının boyutlarındaki oran (c/a) çeliğin içerdiği karbon miktarına bağlı olarak artar ve en fazla 1.08 değerine ulaşır. Martenzit sertliğinin asıl nedeni çeliğin kristal yapısındaki bu değişimdir. Martenzitin yoğunluğu östenitten daha azdır. Dolayısıyla dönüşüm sırasında bir hacimsel artış ve genişleme oluşur. Doğal olarak bu gelişme ile birlikte yüksek iç gerilmeler oluşur. İç gerilmeleri fazla olan bu yapının şekil değiştirme yeteneği çok az, sertliği ise kullanılamayacak kadar yüksektir. Soğutma ortamının sıcaklığı, çeliğin Ms' nin altında olmalıdır [11].

### 2.6.2. Menevişleme

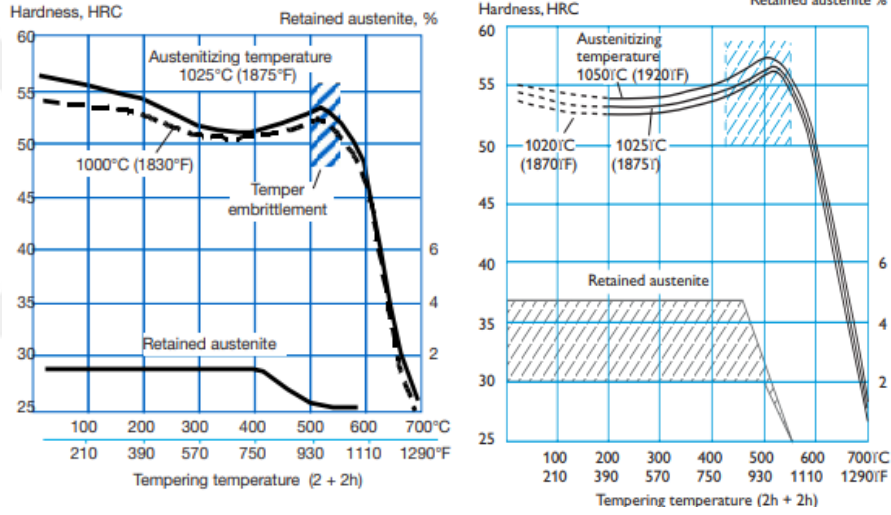
Ferritik YMK yapıdan, HMK östenitik yapıya dönüştürülmüş yapının östenit sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulur. Soğutma işlemi su, yağ, hava ortamlarında soğutulabilir. Hızlı soğutma sonucunda oluşan çok sert ve gevrek yapıda olan martenzitin darbe direnci düşüktür. Hızlı soğutma uygulanması sonucunda yapıda yüksek iç gerilmeler oluşur. Martenzit fazı demir-karbon diyagramında bulunmayan yarı kararlı fazdır ve hızlı soğutma sonucunda oluşan bu faz TTT diyagramı ile gösterilir. Menevişleme uygulaması sonucunda, sertleştirilmiş çelikte tokluk arttırılabilirken iç gerilmeler azaltılır. Hızlı soğutma sonucunda oluşan martenzit yapı ötektoid sıcaklığın altında bir süre tutularak menevişleme uygulanır.

Bu tez çalışmasında kullanılan soğuk iş ve sıcak iş takım çelikleri olan Formvar, Unimax, Orvar2m ve Caldie malzemelerinin İsveç menşeli üretici firmasının yayınladığı menevişleme sıcaklığı- sertlik grafikleri aşağıdaki gibidir.



(a)

(b)



(c)

(d)

**Şekil 2.13.** Menevişleme sıcaklığı - sertlik grafikleri a)Caldie b)Unimax c)Formvar d)Orvar2m [13]

Sertleştirme işlemi uygulanmış çeliklere menevişleme uygulandığında çekme ve akma sınırlarında çok değişim meydana gelmezken kopma uzaması, kesit daralması, darbe dayanımı gibi malzemenin şekil değiştirilebilirlik karakteristikleri artar.

## 2.7. Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Tahribatsız muayene malzeme üzerinde kalıcı şekil değişikliği meydana getirmeden gerçekleşen inceleme metodudur. Tahribatlı muayene yöntemleriyle kıyaslandığında malzemelerin daha hızlı kontrol edilebilmesi yaygın kullanımına neden olmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemleri algılama ve nüfuziyet olarak iki çeşittir. Nüfuziyet şeklinde gerçekleşen muayenede, nüfuz edici eleman incelenecek malzemedeki süreksizliklerden içeri girerek süreksizliklerin

bulunmasını sağlar. Diğer yöntem algılama da ise nüfuz ediciden aldığı bilgileri test operatörünün algılayacağı sonuçlar haline getirir. Radyografik muayene yöntemi örneğinde radyografi filmi algılayıcı radyasyon ise nüfuz edicidir. Sonuç olarak alınan filme uygun kimyasallar uygulandıktan sonra test operatörünün göz ile algılayabileceği sonuçlar ortaya çıkar. Aşağıda dokuz ana daldan oluşan tahribatsız muayene çeşitleri sıralanmıştır [14];

1. Radyografik muayene yöntemi,
2. Ultrasonik muayene yöntemi,
3. Manyetik parçacık muayene yöntemi,
4. Penetrant sıvı muayene yöntemi,
5. Girdap akımmuayene yöntemi,
6. Gözle muayene yöntemi,
7. Sızdırmazlık muayene yöntemi,
8. Replika testi,
9. Tahribatsız sertlik testi,

İlerleyen bölümde sadece bu çalışmada kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri açıklanmıştır.

### **2.7.1. Gözle Muayene**

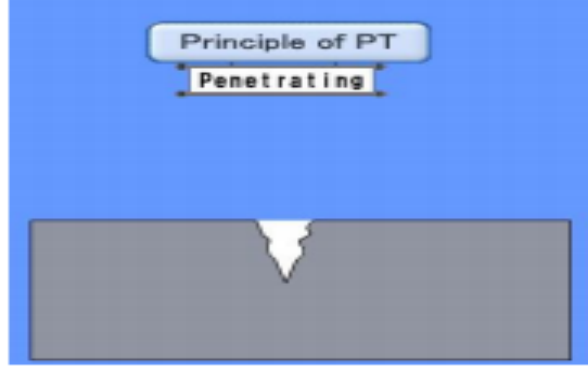
Soğuk dövme prosesinde gözle sıklıkla hem kalıp hem de işparçası üzerinde inceleme yapmak çok önemlidir. Kalıp yüzeyinde oluşabilecek çatlak, pürüz gibi süreksizlikler sonucunda iş parçasının hatalı basılmasına sebep olarak işletmenin zarara iş yapmasına sebep olabilirken kırık kalıpla imalatın devam etmesi operatör içinde hayati bir risk taşıyabilir. Kalıp yüzeyinin iyi olması her zaman yüzey kalitesinin iyi olduğu anlamına gelmesede bazı dış hata belirtilerinin erken tespit edilmesine ve soğuk dövme prosesinde hızlı bir kontrol sağlar.

Aydınlatma gözle muayene sırasında en etkisi parametredir. EN 970 standartına göre minimum 350lx şiddette aydınlatma gereklidir. Genellikle 500-1000lx aydınlatma şiddeti tavsiye edilmektedir. Soğuk dövme kalıplarında genellikle büyüteç veya stereo mikroskop kullanılmalıdır [14].

### **2.7.2. Penetrant İle Muayene**

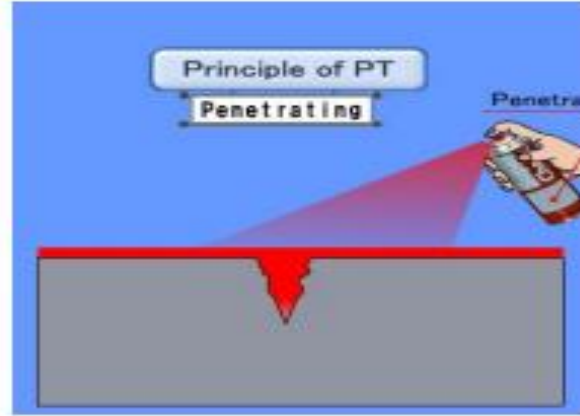
Penetrant sıvı ile muayene yöntemi, diğer TM yöntemlerine kıyasla daha ucuz ve kolaydır. Bu yöntem ile yüzeye açık çatlak, pürüz, kırık gibi süreksizliklerin tespiti için kullanılır. Muayene yönteminde, yüzeye uygulanan geliştirici üzerinde penetrant sıvı ile güçlü kontrast ile küçük hataların büyük ve rahatlıkla ayırt edilebilir şekilde görüntüler oluşturması yöntemidir.

Penetrant sıvı ile muayene yönteminde ilk aşama yüzeye uygulanan ön temizleme işlemidir. Soğuk dövme kalıplarında dövme esnasında kullanılan yağlayıcı malzemeler, kir, çapak gibi malzemeler temizlenir.



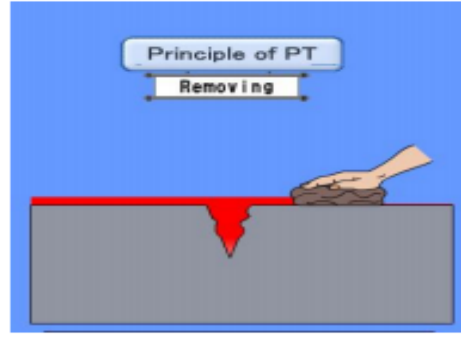
Şekil 2.14. Ön temizleme işlemi [14]

Ön temizleme aşamasından sonra penetrasyon işlemi gerçekleştirilir. Soğuk dövme kalıbının yüzeyine, yüzeyi iyi ıslatma özelliği olan penetrasyon sıvısı uygulanır. Bu yapılan uygulama fırça, bez gibi yardımcı parçalarla uygulanabilirken daldırma, püskürtme gibi yöntemlerle de uygulanabilir. Penetrant sıvı malzemesi sonraki aşamada uygulanacak olan geliştirici malzeme ile güçlü bir görsel kontrast oluşturmalıdır. Penetrasyon işlemi uygulanan yüzeye, derinliğe göre 5 ile 60 dk arasında değişebilir. Genellikle soğuk dövme kalıplarında 15-20dk süre yeterlidir.



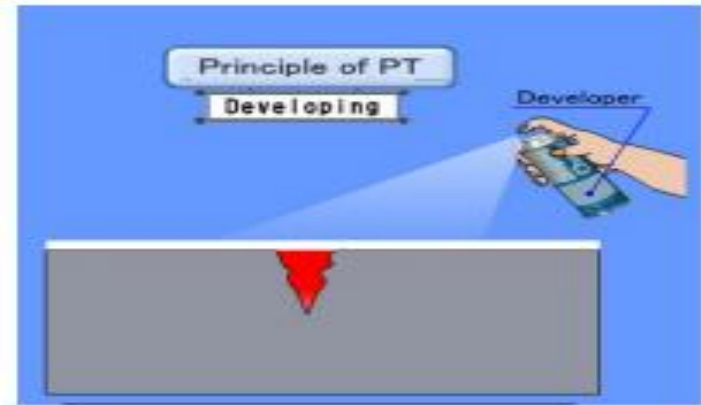
Şekil 2.15. Penetrasyon aşaması [14]

Soğuk dövme kalıplarında penetrantın uygulanmasının ardından yüzeyde kalan fazla sıvı temizlik maddesi ile dikkatlice temizlenir. Kullanılan temizleyici madde olarak su ve uygun çözücü karışımları temiz bezler yardımıyla uygulanır. Temizleme uygulaması için kullanılan çözücünün direct püskürtülerek kullanılması doğru değildir. Ardından yüzey, hava üfleyerek veya maksimum maks 50° C olacak şekilde ısıtılarak kurutulur.



Şekil 2.16.Ara temizlik aşaması [14]

Penetrant sıvı uygulaması ardından yapılan ara temizlik aşamasından sonra yüzeye ince bir film tabakası şeklinde geliştirici madde uygulanır. Burada amaç hidrofil yapıda olan penetrantla görsel kontrast oluşturmaktır.Uygulanan geliştirici madde süspansiyon halde spreyleylerle püskürterek uygulanır.Geliştirici uygulanması sonucunda soğuk dövme kalıplarında ki pürüz, çatlak, kırık gibi süreksizliklerin içinde bulunan penetrant madde geliştirici tarafından emilerek yüzeye çıkar.Bunun sonucunda süreksizlikler daha büyük bir boyutta belirlenir.



Şekil 2.17.Geliştirici aşaması [14]

Geliştirici uygulanması sonucunda yüzey belirli standartlara göre istenilen aydınlıkta incelenir. Gözle görülemeyen ultraviyole ışınımın, ışık spektrumunu içinde gözle görülebilir hale çevrilmesiyle ilave bir konstant oluşturulur.Uygulanan bu işlem neticesinde flor ışımaya yapan bölge diğer bölgelere göre daha aydınlık parıldama yapar ve olduğundan daha büyük görülür.Uygulanan penetrasyon işleminin doğruluğunun sağlanması birçok parametreye bağlıdır.Uygulanan işlemlerin sırası ve süresinin doğru uygulanması sonucu etkilemektedir.

## 2.8. Tahribatlı Muayene Yöntemleri

Malzemenin direnç ve dayanımını, malzemede kalıcı şekil değişimi meydana getirerek belirlememize yarayan muayene yöntemlerinin genel adıdır.

Bunlar;

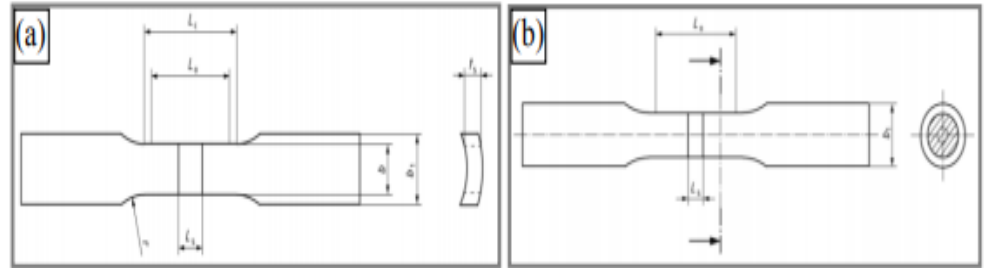
- 1-Çekme deneyi,
- 2-Basma deneyi,
- 3-Kırma deneyi,
- 4-Eğme deneyi
- 5-Çentik darbe deneyi
- 6-Sertlik deneyidir.

Tahribatlı muayene yöntemleri yukarıda sıralandığı gibidir.Sıralandırılmış olan tahribatlı muayene yöntemleri belirli standartlar içinde uygulanır ve çok geniş uygulama alanları vardır. Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan tahribatlı muayene yöntemleri açıklanmıştır.

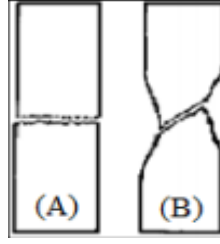
### 2.8.1. Çekme Deneyi

Malzemede belirli bir şekil değiştirme meydana gelmesi içingerekli kuvvetin hesaplanması veyamalzemeye kuvvet uygulandığındaoluşacak şekil değişiminin bilinmesi mühendislikte çok önemlidir. Bu kuvvet-şekil değiştirme arasındaki oran malzeme hangi koşullarda çalışabilir veya hangi koşullarda şekillendirebilir bize bunu gösterir.

İstenilen şekil değiştirme-kuvvet arasındaki oranı çekme deneyi ile bulanabilmektedir.Malzemenin elastik ve plastik davranışlarını statik yükler altında belirlenmesini sağlar.Diğer bir söylenimle malzemenin karakteristik değerinin belirlenmesini sağlar.Bu deney standarta uygun çekme deneyi numunesi üzerinde uygulanır. Çekme deneyinde çekme yükü malzeme kopana kadar artarak devam eder. Deney oda koşullarında yapılır.



Şekil 2.18. Çekme numunesi (a)Boru çekme numunesi b)Silindirik içi dolu parça çekme numunesi

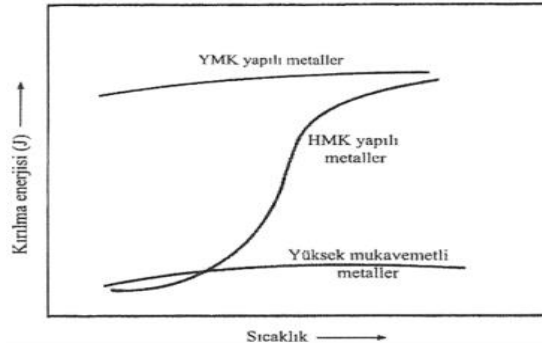


Şekil 2.19. Kırılma türleri (a) Gevrek kırılma (b) Sünek kırılma [15]

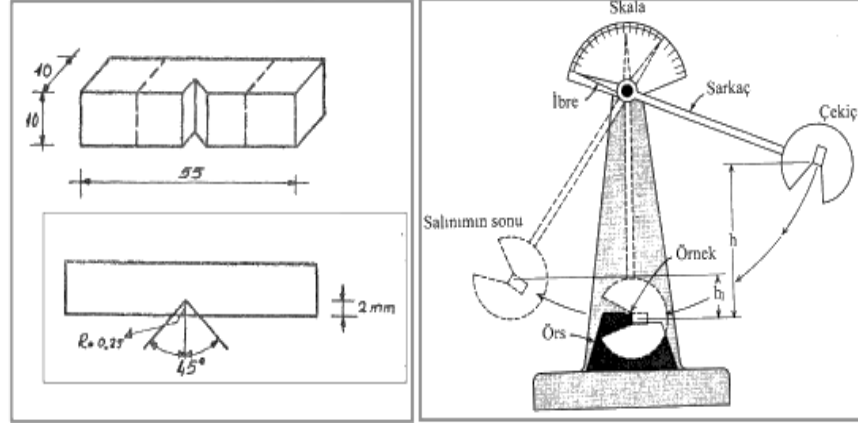
### 2.8.2. Çentik Darbe Deneyi

Günümüzde kullanılan bazı otomotiv sanayi, uzay-uçak sanayi, yapı elemanları, makina parçaları ve daha çok parça kullanım süresi boyunca darbeli yüklere maruz kalır. Bu parçaların çarpma dayanımı yavaş yükleme durumundaki statik mukavemetinden daha düşük olabilir. Bunun gibi malzemelerin kırılma enerjisini ve çarpma dayanımlarını ölçmek için darbe testi uygulanır. Darbe testi sonucunda elde edilen veriler çentik tokluğunun ölçüsü olup, malzeme seçiminde önemli faktördür. Darbe testi sonucunda çıkan veriler tasarım, malzeme seçim gibi önemli mühendislik çalışmalarında önemlidir [16].

Diğer bir anlatımla darbe deneyi malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir metottür. Dinamik zorlamalarla malzemeyi kırmak için yeterli enerji miktarını, malzemenin sünek geçiş sıcaklığının bulunmasında kullanılır. Soğuk dövme kalıp malzemelerinde en önemli mekanik özellikler çekme ve darbe testi sonuçlarıdır. Genellikle malzemelerde ki mekanik özellik ile ilgili bilgi sahibi olabilmek için çekme deneyinden alınan veriler kullanılır. YMK ve SPH kafes yapılı sistemlerde problem olmazken HMK kafes yapılı metalik malzemelerde çentik testinde farklı sonuçlar elde edilebilir. Uzama miktarı yüksek malzemelerin sünek davranış ve sünek kırılma göstereceği düşünülür. Bu düşünce SPH ve YMK kristal sistemlerde genellikle doğruluk gösterirken HMK kristal sistemlerde farklı sonuçlar verebilir. Çekme testi deneyinde sünek kırılma gösteren numune, çentik darbe testinde gevrek kırılma gösterebilir. Bu olaya düşük sıcaklıklarda daha yüksek oranda rastlanır [17].



Şekil 2.20. Kafes yapıları farklı malzemelerde sünek - gevrek geçiş sıcaklığı [17]



**Şekil 2.21.** Çentik darbe numune ölçüleri ve deney düzeneği

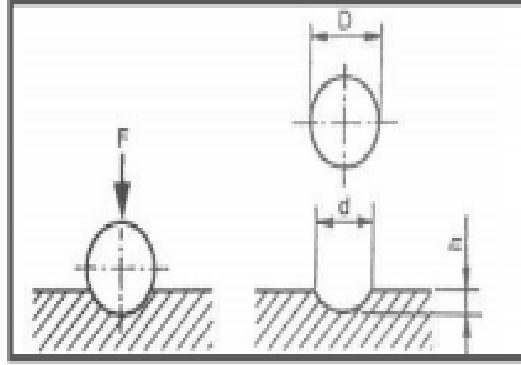
### 2.8.3. Sertlik Deneyi

Sertlik, malzemenin aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Malzemenin dislokasyon hareketi ve plastik deformasyona gösterdiği dirence bilimsel anlamda sertlik olarak ifade edilmektedir. Malzemenin yüzeyine batırılarak uygulanan uç veya kesici takım ile ölçüm yapılır. Kullanılan uçlar elmas, sertleştirilmiş çelik gibi çok yüksek sertliğe sahip malzemelerden yapılırken konik, piramit ve bilya formlarındadır.

Sertlik ölçümü gerçekleştirirken ölçme ve oturtma yüzeylerinin düzgün ve paralel olması gerekmektedir. Sertlik ölçme yöntemleri statik yük kullanarak gerçekleştiren ve dinamik yük kullanarak gerçekleştirilen olmak üzere iki çeşittir. Statik yük kullanılarak gerçekleştirilen deney yöntemleri Rockwell, Brinell, Vickers ve Knoop yöntemiyken, dinamik yükler altında gerçekleşenler shore ve Poldi çekici yöntemleridir. Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan Rockwell ve Brinell yöntemleri açıklanmıştır [16].

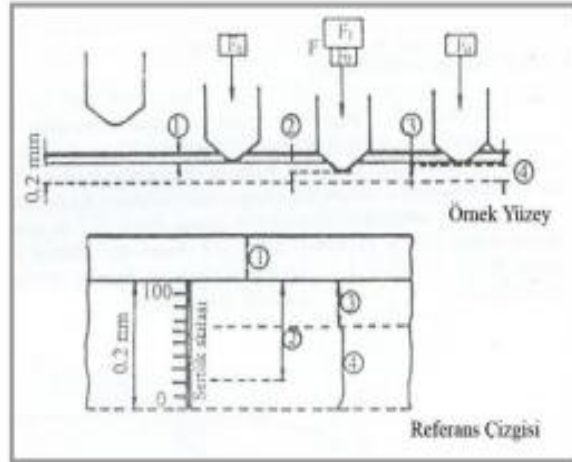
Brinell sertlik ölçüm metodunda, bilya malzemesi sertleştirilmiş çelik yada tungsten karbür uç kullanılmaktadır. Bilya uç malzemenin yüzeyine 5-15 sn arasında bastırılarak uygulanır. Uygulama sonrasında malzeme yüzeyinde izin çapı ölçülür. Şekil 2.22’de Brinell sertlik uygulaması görülmektedir [16].





Şekil 2.22. Brinell sertlik ölçümü [16]

Rockwell sertlik ölçüm metodunda ise batıcı uç malzemenin yüzeyine 10kg gibi düşük yükü uygulanır. Uygulama sonrasında izin dip noktası başlangıç noktası olarak kabul edilir. Yüksek bir değere çıkartılıp ardından önceki değere indirilir. Uçun malzeme yüzeyinde batma derinliğinde ki değişime göre Rockwell sertliği belirlenir. Genellikle koni elmas uç kullanılır. Şekil 2.23’de gösterilen şemada Rockwell sertlik ölçüm şeması verilmiştir. Sertliği yüksek malzemelerde koni formunda elmas uç 150 kg’lık yük uygulanarak kullanılırken sonuçlar RSD-C ifadesi ile gösterilir. Yumuşak malzemelere 100kg’lık yük uygulanırken çelik bilya uç kullanılır RSD-B ile gösterilir. Bilya kullanımı ölçüm hassasiyetinin azalmasına neden olur [16].



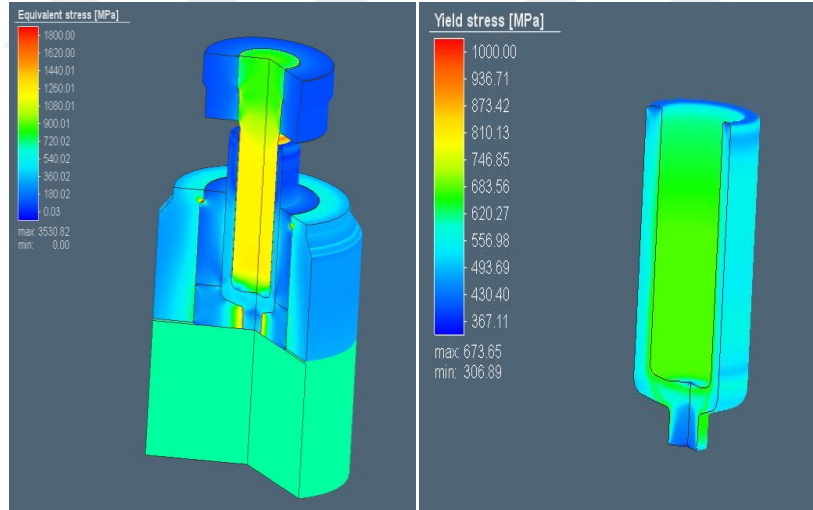
Şekil 2.23. Rockwell sertlik ölçümü [16]

## 2.9. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizinin ana fikri, karmaşık olan yapının daha basit olanıyla değiştirilmesi ile çözüme gidilmesidir. Çözüme giderken karmaşık yapının basitiyle değiştirilmesinden kaynaklı tam çözümün değil yaklaşık çözümün

bulunmasıdır. Sonlu elemanlar analizinde çözüm bölgesinin, sonlu elemanlar denilen çok sayıda birbirleriyle bağlantılı alt kısımlardan oluştuğu varsayılır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanımıyla mühendislik problemlerinin çözümü minimum sürede gerçekleştirilmesi endüstri standartı haline gelmiştir. Clough[18] sonlu elemanlar analizi terimini ilk defa kullanmıştır. Turner ve arkadaşları [19] 1950'li yıllarda sonlu elemanlar analizinde ilk gelişmelerde rol oynamıştır. Sonlu elemanlar analizinin ilk uygulamaları, 1960'lı yıllarda üretim teknolojisinin yapısal analizinde kullanılmıştır. 1970 'li yıllarda "akış formülasyonu" denilen alternatif yöntem ortaya çıkmıştır. Bu yöntem plastic deformasyondan sonra metal malzeme akışını birkaç sonlu elemanlı yazılımın temelini oluşturan sıkıştırılmaz viskoz akışkanların akışına benzer bir şekilde karakterize eder.

Soğuk dövme sektöründe sonlu elemanlar analizi olmazsa olmaz durumuna gelmiştir. Şekil 2.24' de simufact sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi yapılmış yüksek basınç tüpü incelemesi yapılmıştır. Simufact forming sonlu elemanlar analizi yazılımı ile sıcak, ılık, soğuk kütleli şekillendirme, sac şekillendirme, ısıl işlem, mekanik birleştirme, kaynak gibi uygulamalar gerçeğine en yakın şekilde bilgisayar üzerinde incelenebilir. Simufact forming yazılımı metal şekillendirme sektörüne özel olarak geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu yazılım ile soğuk dövme operasyonlarında gerekli şekillendirme kuvvetleri, iş parçasında katlanma, iş parçasının kalıbı doldurması, çapak, akış çizgileri-malzeme akışı, sıcaklık dağılımları, geri yaylanma, artık gerilme, kalıp üzerindeki gerilmeler ve daha çoğu gibi birçok parametre incelenme yapılabilir.

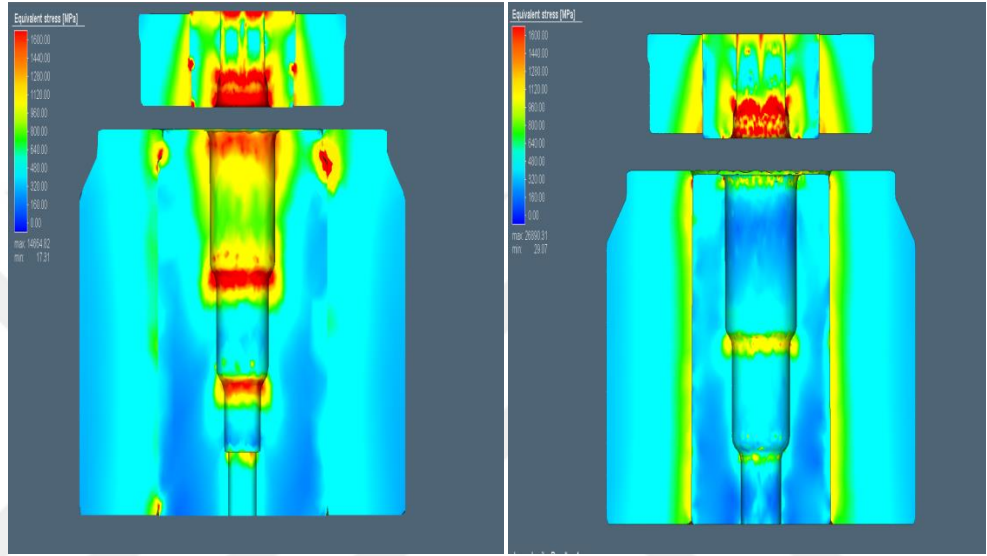


Şekil 2.24. Simufact forming destekli kalıp analizi örneği

Soğuk dövme sektöründe parçanın dövülüp dövülemeyeceğine etki eden en önemli parametre kalıp ömrüdür. Düşük kalıp ömürleri parçanın üretimi esnasında erken kırılmasından dolayı prese kalıp sök-tak işleminden dolayı üretim verimliliğinin çok düşük olmasına sebep olurken, üretim gideri olan kalıp maliyetinin de yükselmesine sebep olur. Şekil 2.25' de simufact forming yazılımı ile shaft parçasının son operasyon kalıbı üzerinde ki yükler incelenmiştir. Kalıbın dış tasarımı

değiştirilerek daha yüksek sıklık oranlarında kalıp montajı yapılmıştır. Cenk ve Umut [6] soğuk dövme kalıbında oluşan hasarı ve sebeplerini sonlu elemanlar analizi desteğiyle incelemişlerdir. Kırılma nedenlerinin belirlenmesi için kalıplar üzerinde meydana gelen mekanik gerilme dağılımlarının incelenmiştir.

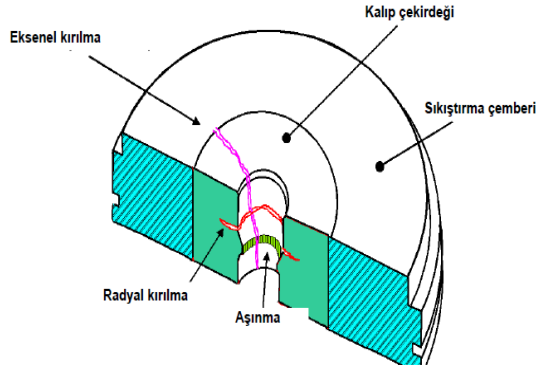
Sıklık oranını yükseltmekteki amaç, çekirdek kalıbının hasara uğrayabileceği bölgede ki basma gerilme değerlerini basma yönünde akma noktasını geçmeden yani kalıp malzemesini basma yönünde deforme etmeden olabildiğince sıkarak en yüksek ön gerilmeyi vermektir.



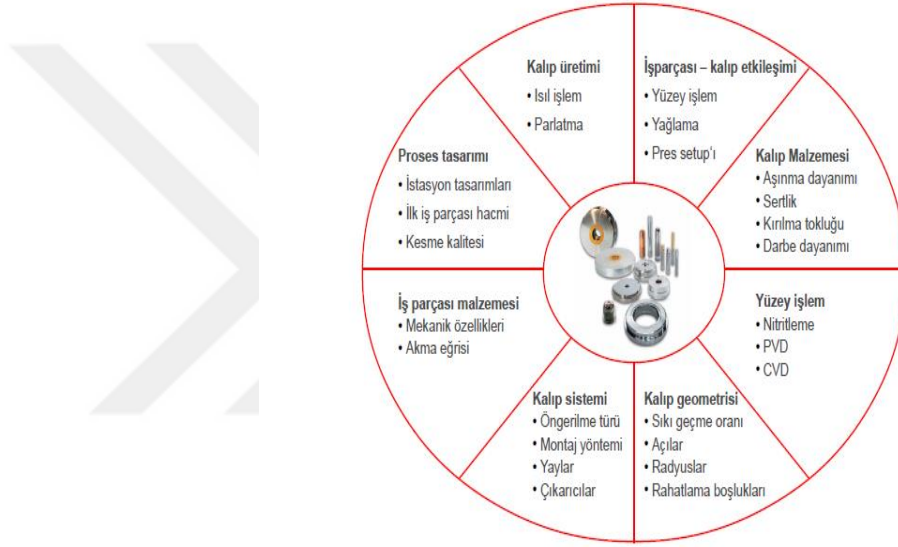
Şekil 2.25. Sıklık oranı etkisinin kalıp analizinde incelenmesi

## 2.10. Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Hasar Çeşitleri

Şekil 2.26 'da soğuk dövme çekirdek kalıplarında meydana gelen kırılma çeşitleri gösterilmiştir. Bu kırılmalar aksenal, radyal, aşınma kırılmaları olarak sınıflandırılabilir. Kırılma çeşitlerinden olan aksenal kırılma genellikle düşük ön gerilme ile montaj, yanlış kalıp malzemesi seçimi nedenlerinden kaynaklanır. Aşınma kırılmaları kalıp ve iş parçasına uygulanan yüzey işleminin kötü olması, kalıp sertliğinin düşük olması bu kırılmanın meydana gelmesinde ki başlıca nedenlerdir. Kalıp çekirdeğinde oluşan radial kırılma ise genellikle yorulma kaynaklı meydana gelir. Kalıba uygulanacak ön gerilmenin maksimum seviyede tutulması, doğru kalıp malzemesi seçimi ile bu tür kırılmaların önüne geçilebilmektedir. Literatürde soğuk dövme kalıplarında meydana gelen yorulma kaynaklı kırılmaların incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle sonlu elemanlar analizi destekli sürdürülmüştür.



Şekil 2.26.Çekirdek kalıplarında meydana gelen kırılma türleri [20]



Şekil 2.27.Kalıp ömrüne etki eden parametreler [20]

Soğuk dövme prosesinde kalıp kırılmasına sebep olan birçok parametre vardır. Kalıp malzemesinin prosese uygun mekanik özelliklere sahip olması, cnc torna veya dik işlem uygulaması sırasında kullanılan uç, işleme hızı, iş parçasına uygulanan kaplama ve sabunlama prosesleri, kalıp malzemesine PVD kaplama ile TiN, AlCrN gibi kaplama uygulanması, prosesin uygulanacağı presin seçimi ve bunun gibi birçok parametre kalıp ömrüne ciddi seviyede etki etmektedir.

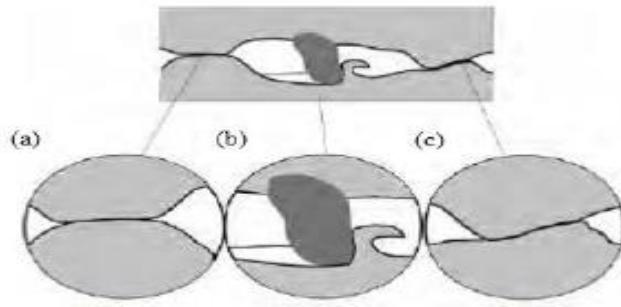
### 2.10.1.Sürtünme

İki yüzeyin birbirleri üzerinde hareketine karşı koyan dirence sürtünme denir. Aşağıda ki eşitlikte sürtünme katsayısı ( $\mu$ ), teğetsel sürtünme kuvvetinin (F), temas eden yüzeye dik olarak etkiyen normal yüke (N) bölünmesiyle elde edilir.

$$\mu = \frac{F}{N}$$

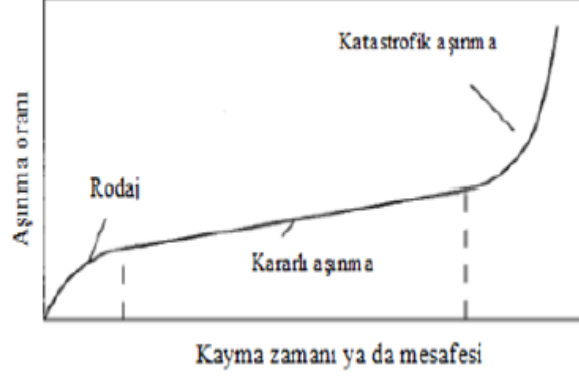
Denklem 2.7

Temas eden yüzeylerin özellikleri ve birbileyirle olan etkileşimi sürtünme kuvvetini etkiler. Kayma sürtünmesinin üç mekanizması vardır. Pulluklama mekanizması sert pürüzün veya partikülün kendinden yumuşak bir yüzeye nüfuz etmesi ile gerçekleşir. Yumuşak yüzeyde oyuk oluşursa yüzey harekete karşı direnç gösterir. Pürüzlerin deformasyonu mekanizmasında ise pürüzlerin birbirleri üzerinde kayma esnasında plastik deformasyona uğradığında harekete karşı gösterdikleri dirençte artış meydana gelir. Fakat yapılan çalışmalar neticesinde pürüzlerin deformasyonunun yüzey pürüzlülüğünde azalmaya sebep olduğunu bunun sonucu olarakta temas parametrelerinde azalma gözüktüğü bulunmuştur. Bowden ve tabor yaptıkları çalışmada kayma sistemlerinde her iki yüzeyde bulunan pürüzler temas etmeye zorlanırlar. Pürüzlerin arasında meydana gelen adhezyonun etkisiyle kaynaklanma olur. Bu yüzeylerden birisinin hareket etmesi durumunda kaynaklı bölge kırılır, fakat kayma mukavemeti harekete karşı direnç gösterir. Yaptıkları bu çalışma ile yüzeylerin özellikleri ve etkileşimlerinin sürtünme üzerindeki etkisini incelemişlerdir [21].



**Şekil 2.28.**Kayma sürtünmesini oluşturan mekanizmalar (a)Adhezyon (b)Kazıma (c)Pürüzlerin deformasyonu [21]

Yüzeylerde ki etkileşim sonucunda meydana gelen aşınma, sürtünmeden bağımsız düşünülemez. Üç mekanizma nedeniyle oluşan aşınma üç basamakta gerçekleşir. İlk gerçekleşen basamak alıştırma evresidir. Alıştırma evresinde yüzeyler arası temas başlar. Şekil 2.29 'da alıştırma evresinde görüldüğü gibi sürtünme katsayısı sabit değilken aşınma artar. Kararlı hal evresinde sürtünme katsayısı sabitken aşınma oranı düşüktür. Katastrofik aşınma da ise en yüksek aşınma hasarının meydana geldiği evredir.



Şekil 2.29. Kayma sisteminde oluşan basamaklar [21]

### 2.10.2. Aşınma

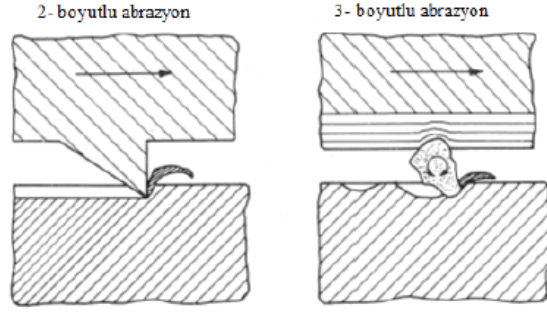
Aşınma, birbiri üzerinde hareket eden iki yüzey arasındaki temas sonucunda malzemenin yüzeyden uzaklaşması olarak tanımlanabilir. Sürtünme ve aşınma arasındaki ilişki tam anlaşılammış olsada düşük sürtünmeye düşük aşınma, yüksek sürtünmeye yüksek aşınma ifadesi yaygındır.

Aşınma kırılmalarının iki gruba ayrılabilir. Bunlar adhesif ve abrasif aşınmadır. Soğuk dövme kalıplarında bu aşınma türleri sıklıkla görülür. Bu aşınma kötü yağlama, düşük kalıp sertliği, düşük yüzey işlem performansı, yüksek deformasyon oranı, yüksek kalıp basıncı gibi parametrelerden kaynaklanabilir ve kalıpta dövülen iş parçasının şekilinin değişmesine, kalıp hassasiyetinin değişmesine sebep olabilir.

#### 2.10.2.1. Abrasif Aşınma

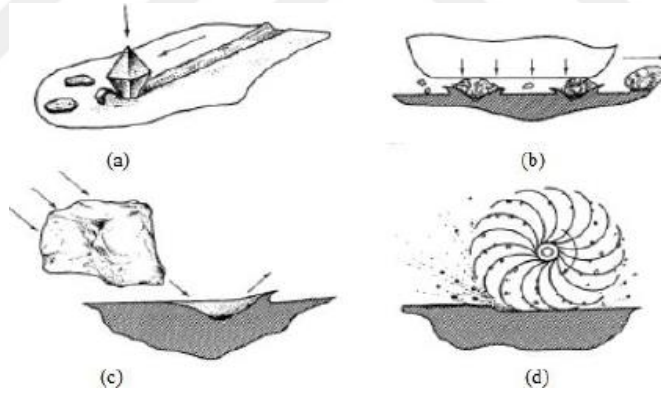
Kullanılan malzemelerden birinin sertliğinin diğer malzemedan daha yüksek sertlikte olduğunda gerçekleşir. Sert malzemedeki pürüz veya süreksizlik yumuşak malzemenin yüzeyinde deformasyon olmasına sebep olur. Bu durum sonucunda sertliği yüksek olan malzeme sertliği düşük malzemedede çizik, oyuk, yarılma gibi yüzey hatalarına sebep olabilir.

Abrasif aşınma temas şekline göre iki ve üç boyutlu aşınma olarak çeşitlendirilebilir. Şekil 2.30'da gösterildiği gibi iki boyutlu aşınmada sert yüzey, yumuşak yüzeyde hat boyunca hareket eder. Diğer abrasif aşınma şekli olan üç boyutlu aşınmada sert malzeme yüzeyi arayüzey gibi hareket eder.



**Şekil 2.30.** İki ve üç boyutlu abrasif aşınma [21]

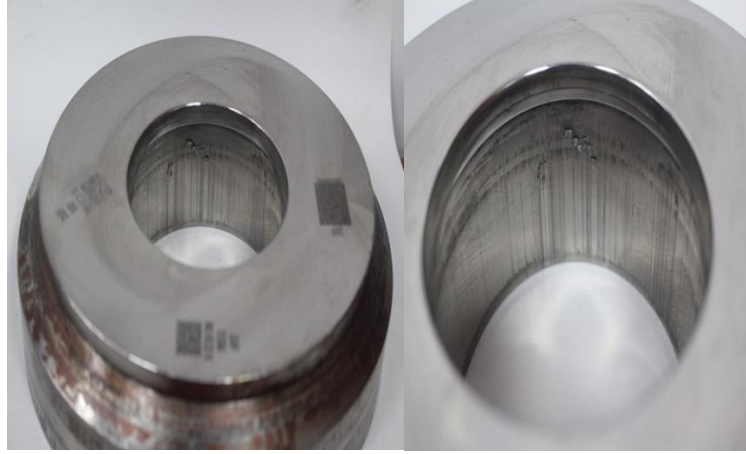
Şekil 2.31’de abrasif aşınma mekanizmaları gösterilmiştir. Düşük gerilme abrasif aşınması genel olarak çizik şeklinde gözlemlenir. Genel olarak aşındırıcı parçaların metalin yüzeyine sürtülmesi gibi düşünülebilir. Bu aşınma çeşitinde önemli parametre aşındırıcıyı parçalamayacak kadar yük uygulanmalıdır. Yüksek gerilme aşınmasında ise bunun tam tersidir. Yükler aşındırıcıyı parçalamaya yetecek şekilde yüksektir ve malzemenin yüzeyinde pekleşme meydana getirir. Oyuklu abrasif aşınma mekanizmasında ise yüksek gerilmenin sebep olduğu oyuklar meydana gelir. Kumlama veya öğütücülerde kullanılan aşındırıcı çekiçler örnek olabilir. Aşındırıcının yüzeyde sebep olduğu oyuk pekleşmeye sebep olur. Cilalama aşınma mekanizması ise mikro pürüzler, korozyon gibi yüzeylerin sıvanmasıdır. Bu mekanizma sonucunda yüzey pürüzlülüğü artar.



**Şekil 2.31.** Abrasif aşınma çeşitleri (a)Düşük gerilmeli (b)Yüksek gerilmeli  
(c)Oyuklu (d)Cilalama [21]

Malzemenin doğru seçilmesi veya yüzey işlem uygulamaları ile abrasif aşınma önlenir. PVD ile TiN, AlCrN, DLC gibi kaplamalar soğuk dövme kalıplarında abrasif aşınmayı önlemek için sıkça kullanılan kaplama çeşitlerindedir. Bunun dışına yüzeye cilalama – parlatma uygulaması, nitrürleme uygulanması da bu tür aşınmaları önlemekte kullanılabilir.





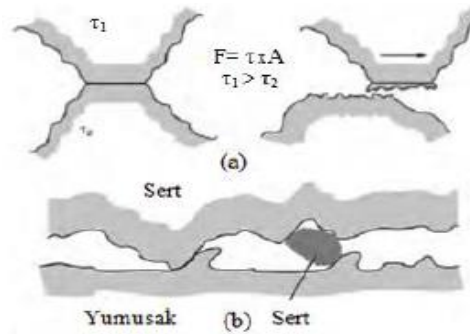
**Şekil 2.32.**Sıkıştırma çemberinde gözlenen aşınma

### 2.10.2.2. Adhesif Aşınma

Birbirine temas eden iki yüzeyin pürüzlü kısımlarında bölgesel basınç diğer bölgelere göre daha fazladır. Bölgesel basıncın yüksek olduğu pürüzlü bölgede deformasyon meydana gelir. Şekil 2.33'te görüldüğü gibi pürüzler birbirine yapışır ve bağlantı oluşur. Hareket sonucunda ise bu bağlantı kopar ve yumuşak malzemenin bir kısmı diğer malzeme üzerinde kalır.

Pürüzler arasında meydana gelen yapışma için teoriler geliştirilmiştir. Bunlar; mekanik teori yani mikro ergime sonucunda bağ oluşumu, difüzyon teorisi atomların karşılıklı olarak difüze olması, elektronik teori elektron alış verişi sonucunda elektronik bağ oluşması, adsorbe olma teorisi van der Waals bağları gibi ikincil bağlar ile oluşması teorileridir [21].

Soğuk dövme kalıplarında görülen adhesif aşınmayı önlemek için birbirinden farklı kalıp malzemeleri kullanılmalıdır. Proses süresince sürtünme katsayısını düşürmek için olabildiğince yüzeyler parlak olmalıdır ve yağlayıcı kullanılmalıdır. Kalıp yüzeyine kaplama uygulanması da adhesif aşınmayı önleyici faktörlerdendir.



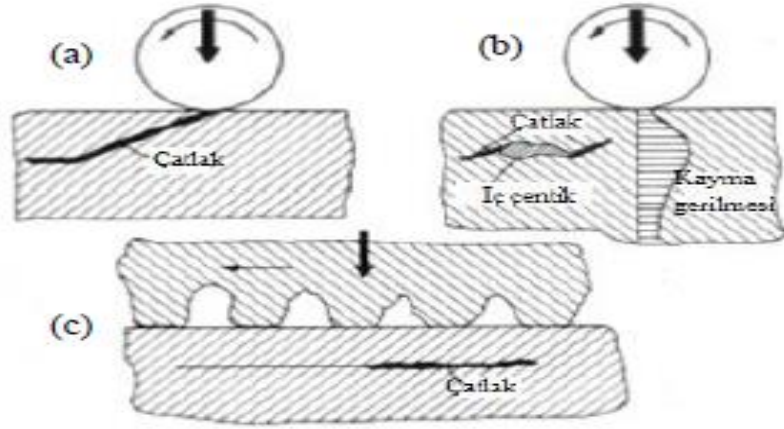
**Şekil 2.33.**Aşınma çeşitleri (a)Adhesif aşınma (b)Abrasif aşınma [21]



### 2.10.3. Yorulma Kırılması

Yorulma, makina elemanlarında değişken zorlamalar altında oluşan hasardır. Yorulma kaynaklı kırılmalar kalıp yüzeyinde yinelenen yüklerin etkisiyle çatlama ve kopma şeklinde görülen kırılma çeşitidir. Bu değişken yüklerin maruz kaldığı kalıplar, kalıp malzemesinin akma dayanımından daha düşük gerilmelerde kırılabilir. Yorulma kırılması kalıp yüzeyinde çatlağın başlaması ve ilerlemesi ile gerçekteşir. Yorulma kırılması kalıp yüzeyinde basma ve çekme yüklerinin etkisiyle oluşurken kalıp hammalzemesi üretiminden kaynaklı yada sonradan oluşan süreksizliklerin çentik etkisi yaratması ile kırılma desteklenir. Kalıp malzemesinin iç yüzeyinde oluşan çatlak ilerleyerek dış yüzeye kadar ulaşabilir. Proses boyunca yağlayıcı kullanımı ile kalıp yüzeyinde oluşan çatlaklara yağlayıcı dolar ve sürekli tekrar eden basma kuvveti ile hidrostatik basıncın etkisiyle çatlak büyür ve daha da ilerler. Şekil 2.34 (a) 'da yorulma modelinin şematik gösterimi bulunmaktadır.

Bir diğer yorulma modeli ise çatlak kalıbın içindedir. Dövme esnasında uygulanan aşırı yüksek yük ile malzemenin yapısındaki kalıntı yada büyük karbürler yüzeyin altında çatlakların oluşmasına neden olur. Kalıp malzemesinde adhesif ve abrasif aşınma etkisiyle çok düşük yüklere maruz kalması durumunda bile çatlak oluşumuna sebep olabilir. Şekil 2.34 (b) ve (c)'de yorulma modelinin şematik gösterimi bulunmaktadır.



**Şekil 2.34.** Yorulma kaynaklı kırılma şematik gösterimi (a)Devamlı etki eden yükler altında kırılma (b)Yüzey altındaki çatlakların ilerlemesi (c)Malzemedeki kalıntılar ve karbürlerin çatlaklarda toplanması [21]

Soğuk dövme kalıp malzemelerinde yorulma hasarını meydana getiren süreksizliklerin oluşum sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Yanlış kalıp malzemesi seçimi,
- 2- Malzemenin haddeleme, dövme, döküm gibi yöntemlerle üretimi esnasında iç yapısında süreksizlikler meydana gelebilir,
- 3- Kalıp bileşenlerinin montajı esnasında montajın yanlış yapılması çizik, iz gibi süreksizlere sebep olabilir,

- 4- Kalıp malzemesine yüksek temas basıncı uygulanması sonucu yüzey yorulması, yüzey çatlaması meydana gelebilir,
- 5- Delik, enine kesit gibi gerilmelerin yığıldığı bölgelerde süreksizlikler meydana gelebilir.

Yorulma hasarının gerçekleştiği bölgede çatlağın yönü ve ilerleme hızında o bölgedeki gerilme ve malzeme yapısı etkiliyken sıcaklık, çevre ve frekansta çatlağın hareketinde önemli bir faktördür. Yorulma hasarına sebep olan çatlakların büyüme yönü ve çekme gerilmeleri birbirine dik doğrultuda oluşur.



**Şekil 2.35.**Yorulma kalıp hasar örneği

Şekil 2.35' de devamlı etki eden yüklerin ve kalıp-iş parçası arasında kalan hava boşluğunun sebep olduğu yorulma kırılmasıdır. Kalıptaki radyus bölgesinde hava sıkışması çatlak başlangıcına sebep olmuştur ve zamanla ilerleyerek kalıbın radial kırılmasına sebep olmuştur.

Analiz ve tasarım çalışmalarında kullanılan üç temel yorulma yaklaşımı vardır.

Bu yaklaşımlar;

- Gerilme-ömür yaklaşımı,
- Şekil değiştirme-ömür yaklaşımı,
- Doğrusal- elastik çatlak başlangıcı yaklaşımıdır.

Yukarıda bahsedilen yaklaşımların hepsi N-çevrim sayısının hesaplanmasında kullanılır.N < 1000 olduğu durumda düşük çevrim sayılı, N >1000 olduğu durumda yüksek çevrim sayılı olarak yorulma adlandırılır.

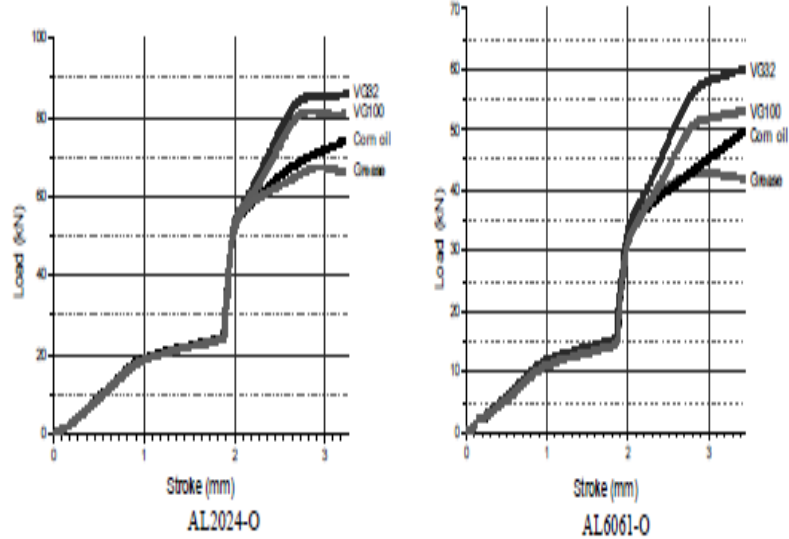
Gerilme- ömür metodu yüksek çevrimli yorulma durumunu iyi açıkladığı ve kullanımı açısından kolay bir metot olduğu için yüksek çevrimli yorulma

uygulamalarında yaygın kullanım alanına sahiptir. Şekil değiştirme-ömür yaklaşımı, plastik deformasyonun yoğunlukta olduğu düşük çevrimli yorulma uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Lineer-elastik kırılma mekaniği metodu, tespit edilmiş bir çatlakın mevcut olduğunu kabul eder ve gerilme şiddetine göre çatlak ilerlemesini tahmin eder [22].

Soğuk dövme kalıplarına uygulanan talaşlı imalat uygulamaları kalıbın yorulma direnci üzerinde önemli faktörlerdendir. Kalıba uygulanan torna, freze, taşlama, kumlama gibi uygulamalardan sonra iş parçasının temas ettiği kalıp yüzeylerine uygulanan cilalama ve parlatma uygulamaları ile yüzeyde talaşlı imalat sonucu oluşan artık gerilmeler giderilebilir. Parlatma uygulanması sonucunda kalıp yüzeyinde çatlama sebepleri olan pürüzler azaltılarak kalıbın baskı ömrünün arttığı bilinmektedir.

#### 2.10.4. Yağlayıcı Etkisi

Soğuk dövme prosesi sırasında kullanılan yağlayıcılar iş parçasının istenilen forma getirilmesinde gerekli kuvvetlerin düşürülmesinde önemli faktörlerden birisidir. Kullanılan yağlayıcı cinsine göre sürtünme katsayısı oranı düşeceğinden son formu vermek için gerekli şekil verme kuvveti azalmaktadır. Jung ve arkadaşları [23] yaptıkları çalışmada alüminyum parçaların dövme esnasında farklı yağlayıcı kullanarak oluşacak kuvveti incelemişlerdir. Çalışma esnasında gres, mısır yağı, vg32 ve vg100 yağları kullanmıştır. Şekil 2.36'da alüminyum parçaların dövme esnasında gresin yağlayıcı olarak kullanılması sonucunda daha düşük dövme yükleri meydana gelmiştir.



Şekil 2.36. Alüminyum alaşımlarının dövme esnasında kullanılan yağlayıcının kuvvete etkisi [23]

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Çalışmada Kullanılan Takım Çelikleri

Bu çalışma kapsamında üretilen rotül gövdesi malzemesi olarak, kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1’de verilen yüksek aşınma dayanımı ve sert yüzeye sahip, çekirdekte ise daha tok ve yumuşak özelliğe sahip 16MnCr5 sementasyon çeliği kullanılmıştır.

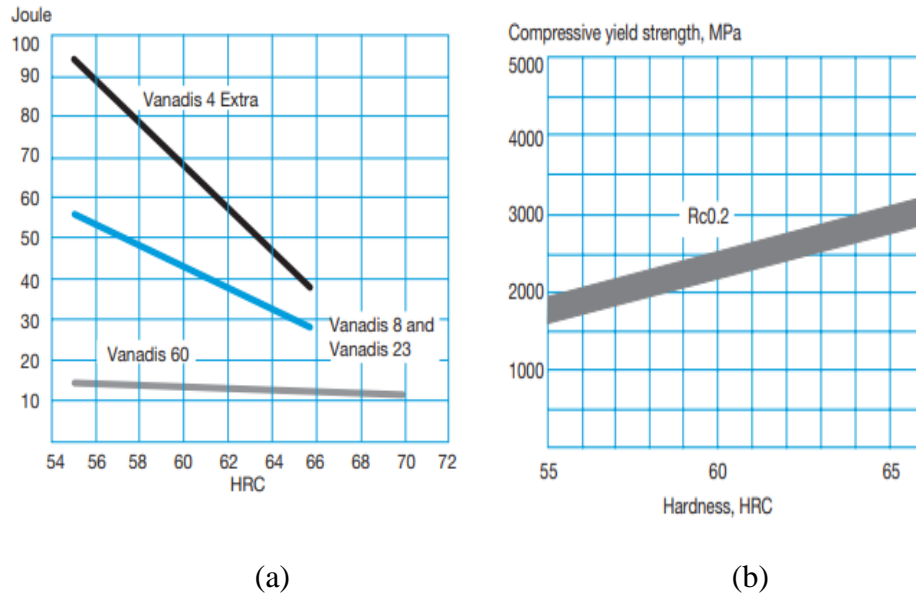
**Tablo 3.1.** 16MnCr5 kimyasal kompozisyonu

Malzeme	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Pmax(%)	Smax(%)	Cr(%)
16MnCr5	0,14-0,19	0,04	1,00-1,30	0,035	0,035	0,8-1,10

Sonlu elemanlar analizi destekli yapılan bu çalışma öncesinde, çalışmanın konusu olan çekirdek kalıbının malzemesinde toz metalurji yöntemiyle üretilen yüksek maliyetli V4e kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi Tablo 3.2’de verilen V4e malzeme yüksek sertleştirilebilirliğe, iyi abrasif-adhesif aşınma dayanımına ve yüksek süneklik özelliklerine sahip malzemedir. Toz metalurji yöntemiyle üretilen V4e malzemesinin mekanik özellikleri Şekil 3.1 ‘de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** V4E kalıp malzemesinin kimyasal kompozisyonu

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%V
V4E	1,4	0,4	0,4	4,7	3,5	3,7



**Şekil 3.1.** V4e kalıp çeliği malzemesinin mekanik özellikleri (a) Sertlik – tokluk grafiği (b) Sertlik – akma dayanımı grafiği

Geleneksel yöntemle üretilen Caldie soğuk iş takım çeliği çatlama ve tırnak atmaya karşı dirençli, yüksek aşınma dayanımına, iyi işlenebilirlik özelliklerine sahip bir malzemetablodir. Malzemenin bazı sertlik değerlerine göre sahip olduğu akma dayanımları Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

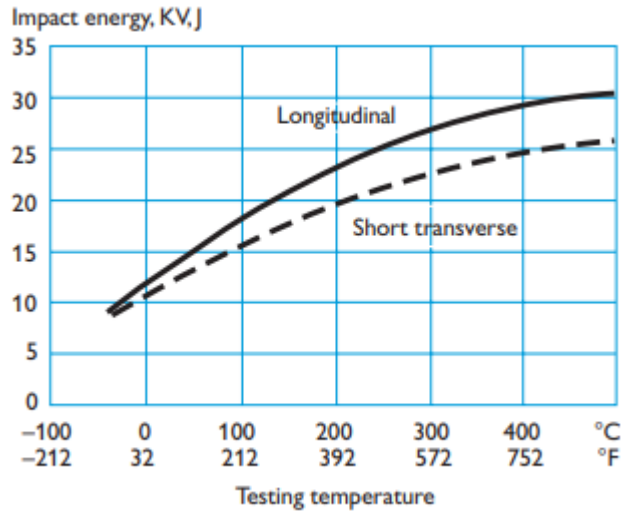
**Tablo 3.3.**Sertlik ve akma dayanımı

Sertlik (HRC)	Akma Dayanımı (MPa)
58	2230
60	2350
61	2430

Çalışmada kullanılan geleneksel yöntemlerle üretilen krom, molibden ve vanadyum alaşımlı çeliği Unimax ise tüm eksenlerde yüksek tokluk ve yüksek aşınma dayanımına sahiptir. En yüksek 58 HRC sertlik alabilen malzemenin bazı mekanik özellikleri Tablo 3.4'de, sıcaklığa göre tokluk grafiği Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.4.** Unimax takım çeliğinin mekanik özellikleri

HRC	Akma Dayanımı(MPa)	Çekme Dayanımı(MPa)	%Uzama
54	1720	2050	9
56	1780	2150	8
58	1800	2280	8



**Şekil 3.2.** Sıcaklık – tokluk grafiği

Orvar2m yüksek sıcaklığa dayanıklılığı nedeniyle sıcak dövme uygulamalarında tercih edilmektedir. Soğuk dövme uygulamalarında genellikle sıkıştırma çemberi veya diğer adıyla zarf kalıplarında tercih edilmektedir. Tablo 3.5'de çekme ve akma dayanımları verilmiştir.

**Tablo 3.5.** Farklı sertlik değerlerinde Orvar2m malzemenin akma ve çekme dayanımı

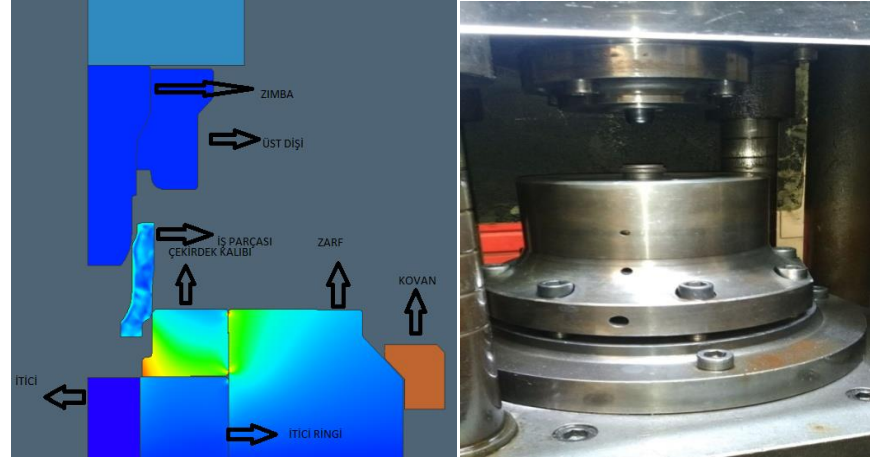
HRC	Akma Dayanımı(MPa)	Çekme Dayanımı(MPa)
45	1280	1420
52	1520	1820

Formvar sıcak iş takım çeliği geleneksel yöntemle üretilen bir kalıp çeliğidir. Orvar2m kalıp çeliğine göre daha düşük tokluk ve daha yüksek akma dayanımına sahiptir.

**Tablo 3.6.** Formvar kalıp çeliğinin mekanik özellikleri

Sertlik (HRC)	Akma Dayanımı(MPa)	Çekme Dayanımı(MPa)
48	1380	1640
52	1560	1900
54	1720	2100

Rot gövdesi, rotül gövdesi, salıncak mili, cıvata gibi çeşitli bağlantı elemanlarının üretim yönetimi olarak kullanılan soğuk dövme kalıp setleri birçok kalıp bileşeninden oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan açık kalıp setinde parçanın iç formunu veren üst grup bileşenleri yukardan aşağıya sıralırsa zımba ve üst dişiden oluşmaktadır. Rotül gövdesi parçasının dış ölçülerini veren alt grup kalıp bileşenlerinde çekirdek, itici ringi, itici, zarf ve kovan isimleri olan kalıp bileşenleri kullanılmıştır.

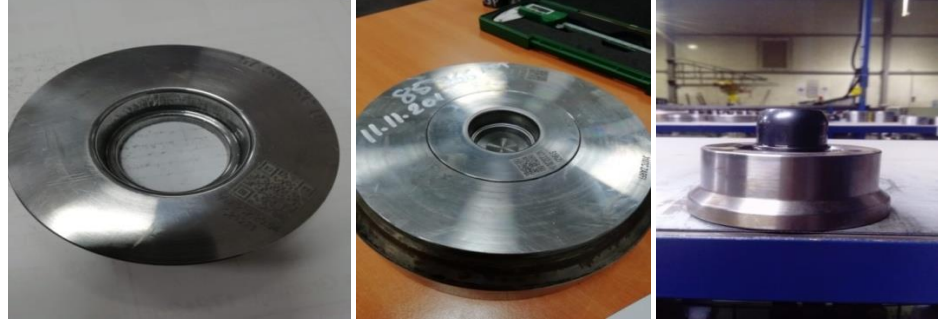


**Şekil 3.3.** Rotül kalıp seti (a) Simülasyonda kullanılan kalıp seti (b) Üretimde kullanılan kalıp seti

Bu tez çalışmasında parçanın dış formunu veren en çok kırılan çekirdek kalıbı incelenmiştir. Zarf kalıbı çekirdek kalıbına ön gerilmeli olarak montaj edilen, çekirdek kalıbında oluşan gerilmeleri azaltan kalıp bileşenidir. Zimba, iş parçasının iç



formunu verirken zımba tutucu dişi zımba kalıbına montaj edilen ve iş parçasının dış formunu veren üst grup kalıplarıdır.



Şekil 3.4.Çekirdek, zarf, zımba ve zımba tutucu kalıpları

## 3.2. Yöntemler

### 3.2.1. Kalıp İmalatı

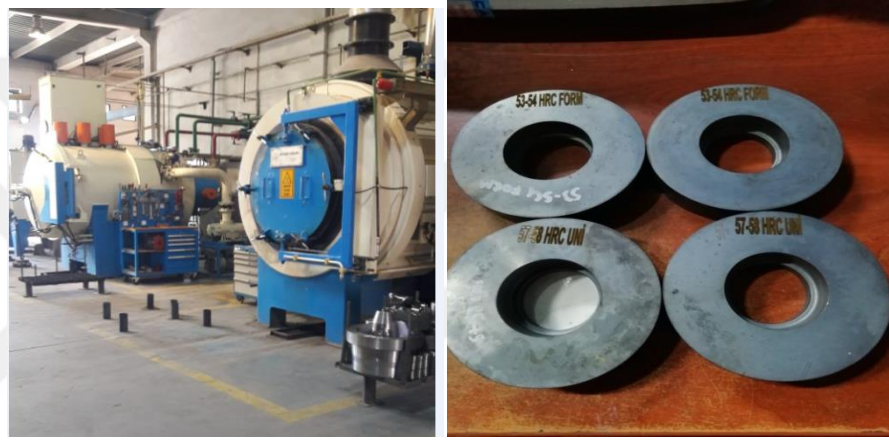
Kimyasal kompozisyonu bilinen kalıp hammaddelerine ilk uygulanan işlem kaba işlemdir. Burada kalıp malzemesi son ölçülerine göre 1mm paylı işlenir. Buradaki amaç malzeme yumuşakken son ölçülere olabildiğince yaklaşımdır. Kaba işlemin ardından kalıplar ısıtma işlemine gönderilmiştir. Kalıp malzemeleri için ısıtma işlemi ön ısıtma, östenitleştirme, su verme, menevişlemeden oluşur.



Şekil 3.5.Hammadde halinde bulunan kalıp çelikleri

Birinci aşama olan ön ısıtma kısmında kalıp çeliği östenitleştirme sıcaklığına üç aşamada ön ısıtılarak uygun sıcaklığa ulaştırılır. Kademeli olarak gerçekleştirilen bu ön ısıtma uygulaması uygun şekilde yapılmaması sonucunda çelikte çarpılmaya sebep olabilir. Uygulanan ön ısıtma prosesinde iç gerilmelerinin engellenmesi için ön ısıtma yavaş ve kontrollü yapılır. Östenitleştirme, yani sertliğin verildiği aşamada ise, çelik östenitleştirme sıcaklığında YMK yapıya sahip ferritik fazdan HMK yapıya sahip östenit fazına dönüşmeye başlar. Östenitleştirme uygulaması sırasında sıcaklık

sabit tutulur.Bu aşamada karbon atomları yayınarak östeniti oluşturur ve katı çözelitye geçer.Sonraki aşama olan su verme prosesinde ise östenit yapıda olan yapının ani olarak soğutulmasıdır.Soğutma esnasında kafes içinde karbon atomları hapsedilir.Kafes kenarları aşırı sıkılıktan dolayı bombeleşerek çeliğin sertleşmesine sebep olur.Bu aşamada soğutma işleminin yavaş yapılması sonucunda karbon atomlarının kafes dışına çıkmasına sebep olabilir.Bunun sonucunda ise kalıp çeliğinin sertliğinin düşük olmasına neden olur.Sonraki aşama olan menevişleme prosesinde ise kalıp çeliğinin gevrek HMT yapısı, tok martenzit yapıya dönüşür.Uygulanan meneviş sıcaklığının çok yüksek sıcaklıkta yapılması spnucunda yapıdaki karbon atomlarının uzaklaşmasına sebep olur bunun sonucunda kalıp çeliğinin sertliğinin düşüşüne sebep olur.Kalıp çelikleri genellikle üç menevişlemeden geçer.Üç kere yapılan menevişleme sonucunda kalıp çeliğinin sertliğinde artış ve optimum düzeyde tokluk sağlanır. Yapıda ki kalıntı östenit oranı en aza indirilir.



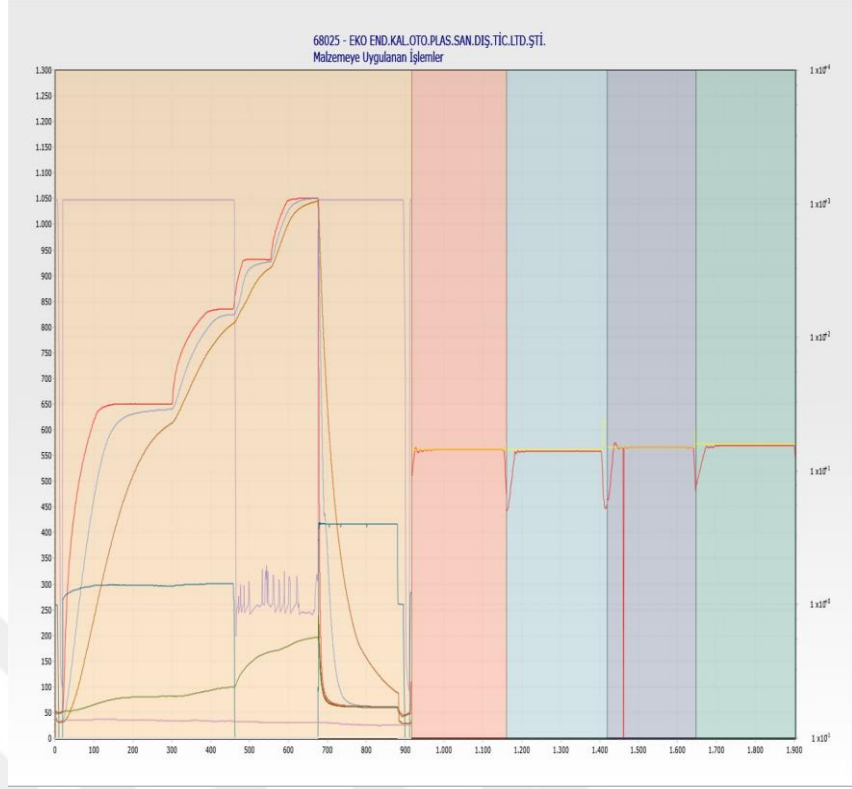
**Şekil 3.6.**Isıl işlem fırınları ve ısıl işlem uygulanan kalıp çelikleri

Tablo 3.7.'de ön ısıtma, östenitleşme, su verme ve menevişleme sıcaklıkları verilen kalıp malzemelerine ısıl işlem yapılmıştır.

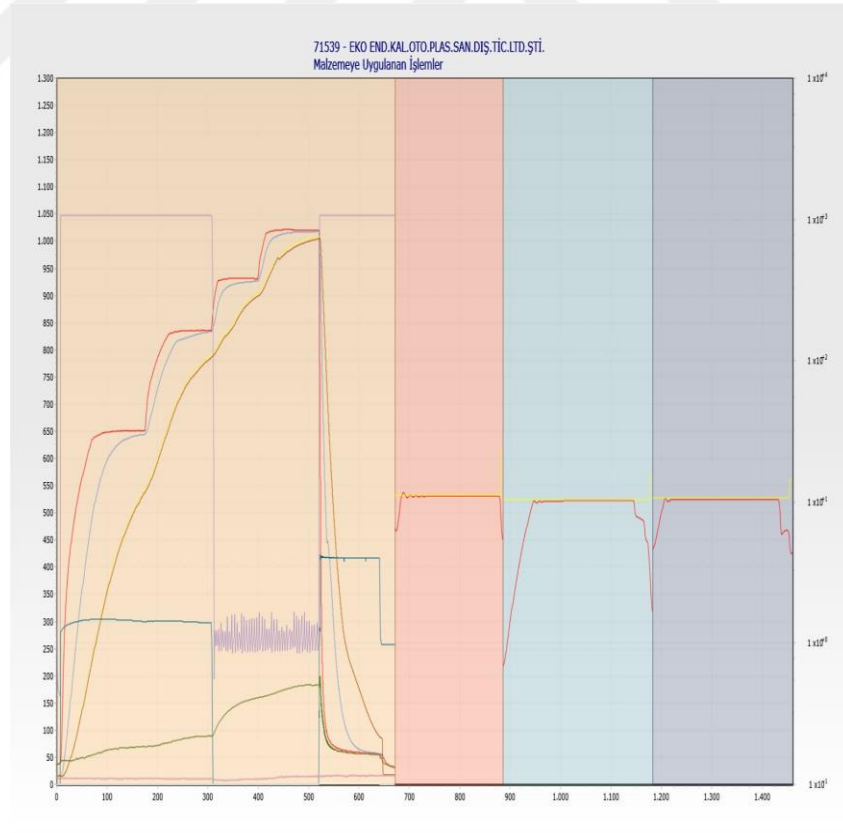
**Tablo 3.7.** Kalıp malzemelerinin ısıl işlem değerleri

Malzeme	Ön ısıtma(°C)	Östenitleşme(°C) /dk	Su Verme	Menevişleme(°C)
Caldie	1-600-650°C 2-850-900°C	1050°C / 30dk	Basıncılı gaz (3 bar)	500-540°C /4 kez menevişleme
Unimax	1-600-650°C 2-850-900°C	1000°C/ 30dk		500-540°C/3kere menevişleme
Formvar	1-600-650°C 2-850-900°C	1000°C/ 30dk		500-540°C/3kere menevişleme
Orvar2m	1-600-650°C 2-850-900°C	1000°C/ 30dk		500-540°C/3kere menevişleme





Şekil 3.7. Caldie malzemesine uygulanan ısıtım işlem grafiği



Şekil 3.8. Unimax, Formvar ve Orvar2m malzemelerine uygulanan ısıtım işlem grafiği

Bu tez çalışmasında kullanılan kalıp çeliklerine Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 ki ısıtma işlem rejimleri uygulanmıştır. Kalıp malzemeleri önce üç kademede ön ısıtma ile östenitleme sıcaklığına yükseltilmiştir.Sabit sıcaklıkta tutulup ani soğutulma ardından Formvar, Unimax ve Orvar2m malzemeye üç kez, Caldie kalıp malzemesine dört kez menevişleme uygulanmıştır.Menevişleme işlemleri araları iki saat oda koşullarında soğutularak gerçekleştirilmiştir.Kalıp malzemelerine, alabilecekleri en yüksek sertlik değerleri olacak şekilde ısıtma işlemi yapılmıştır.

Isıtma işlemi uygulanmış kalıp çelikleri son ölçülere getirilmek için finiş işleme alınır. CNC torna tezgahında ısıtma işlemi sonrası çıkan tufal ve kaba işleme sonucunda bırakılan 1mm pay işleme ile alınır ve kalıbın son ölçüleri verilir.



**Şekil 3.9.** CNC torna tezgahı ve işlenmiş çekirdek kalıbı

Kalıp çeliklerine uygulanan tornalama işleminden sonra kalıpların yüzeyinde meydana gelen işleme çizik ve pürüzleri gidermek için çekirdek kalıbının iş parçası ile temas ettiği yüzeylere parlatma işlemi uygulanmıştır



**Şekil 3.10.** Kalıplara uygulanan parlatma işlemi

Elmas pastalar kullanımıyla yapılan parlatma işlemi kabadan inceye doğru yapılmıştır. 50 mikrondan 15 mikrona elmas pastalar kullanılmıştır. Parlatma işlemi ardından kalıp yüzeyi alkol ile temizlenmiştir.



**Şekil 3.11.** Hidrolik preste kalıp montajı

Parlatma işleminden sonra kalıp montaj işlemi yapılmıştır. Bu aşamada alt grup ve üst grup bileşenleri 150ton gücü olan hidrolik preslerde montajlanmıştır. Kalıplar arasında %6 sıklık değeri kullanılmıştır. Kalıplar arasında sürtünme azaltıcı, kuru ve yüzeye tutunan toz MoS<sub>2</sub> kullanılmıştır.



**Şekil 3.12.**Parlatılmış ve montajlanmış alt grup kalıp seti

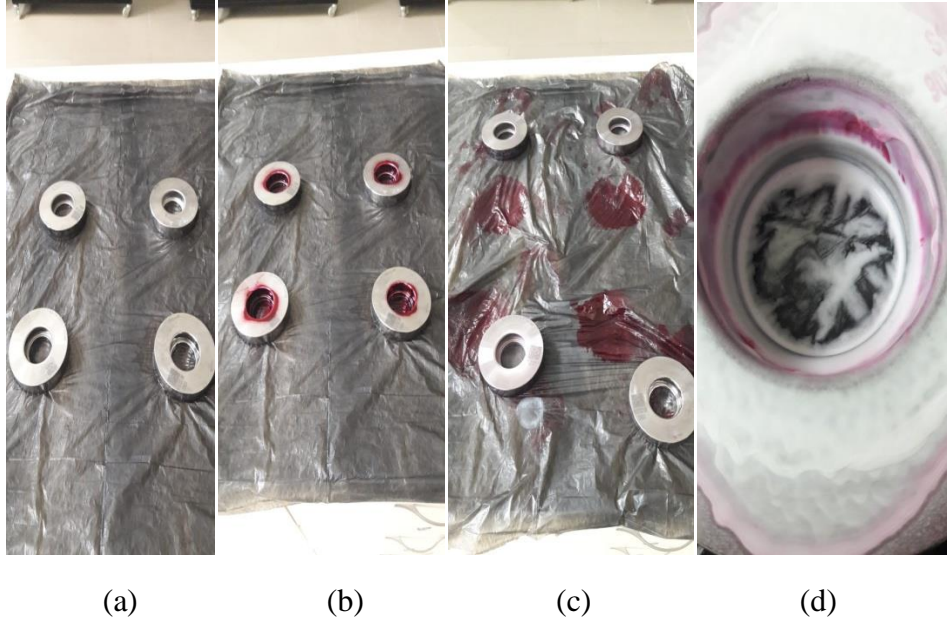


**Şekil 3.13.** Lazer markalama ve QR kodlama

Parlatma ve montaj işleminden sonra kalıp ömrü takip edilmesi için lazer markalama cihazında her kalıbın kendine ait olan kodu kalıp yüzeylerine kodlanmıştır. Böylece ERP yazılımları ile kalıp ömrü takip edilmiştir.

### 3.2.2. Tahribatsız Muayene Uygulamaları

Rotil parçasının son formunu veren çekirdek kalıbının üzerinde oluşan çatlakların tespiti için kalıba penetrant sıvı uygulanmıştır. Dövme esnasında çekirdek kalıbı sürekli olarak gözle kontrol edilmiştir. Parçanın üretimi esnasında çekirdek kalıbında oluşan çatlak, parçanın alt kısmında iz ve çapak yapmaya başlamıştır. İşlevini tamamlayan dört farklı malzemeden yapılan çekirdek kalıplarına Şekil 3.14’de ki sırayla yüzey temizleme, 15 dk süren penetrant sıvı uygulaması, ikincil temizleme ve ardından 15 dk süren geliştirici uygulaması yapılmıştır.



**Şekil 3.14.** Penetrant sıvı ile kontrol (a)Ön temizleme (b)Penetrant sıvı uygulaması (c)İkincil temizleme (d)Geliştirici uygulanması

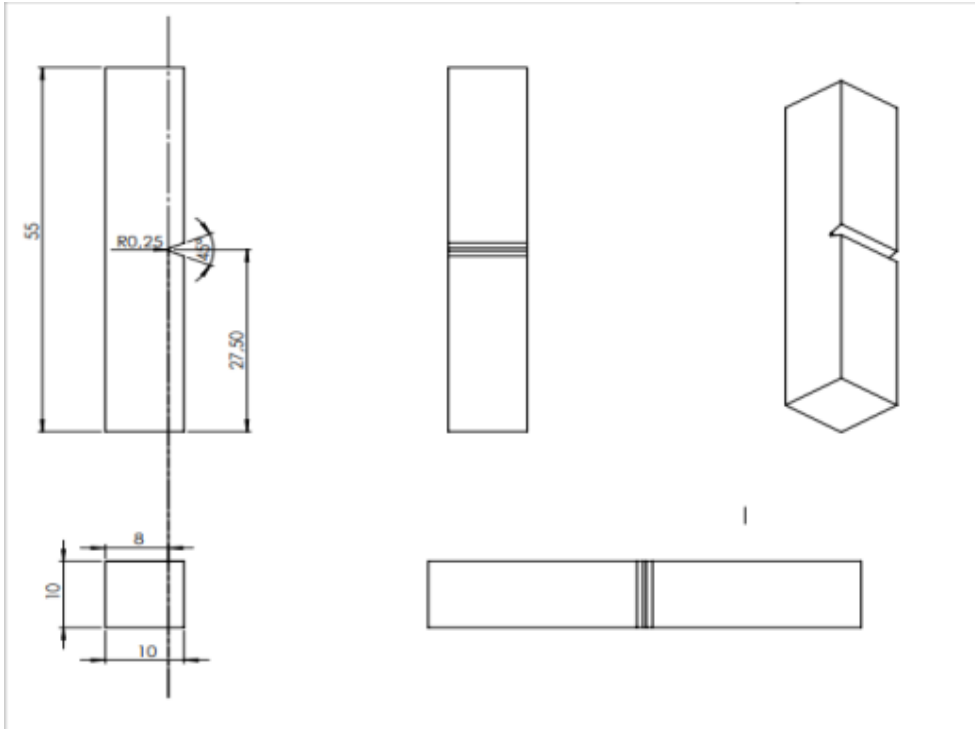


### 3.2.3 Tahribatlı Muayene Uygulamaları

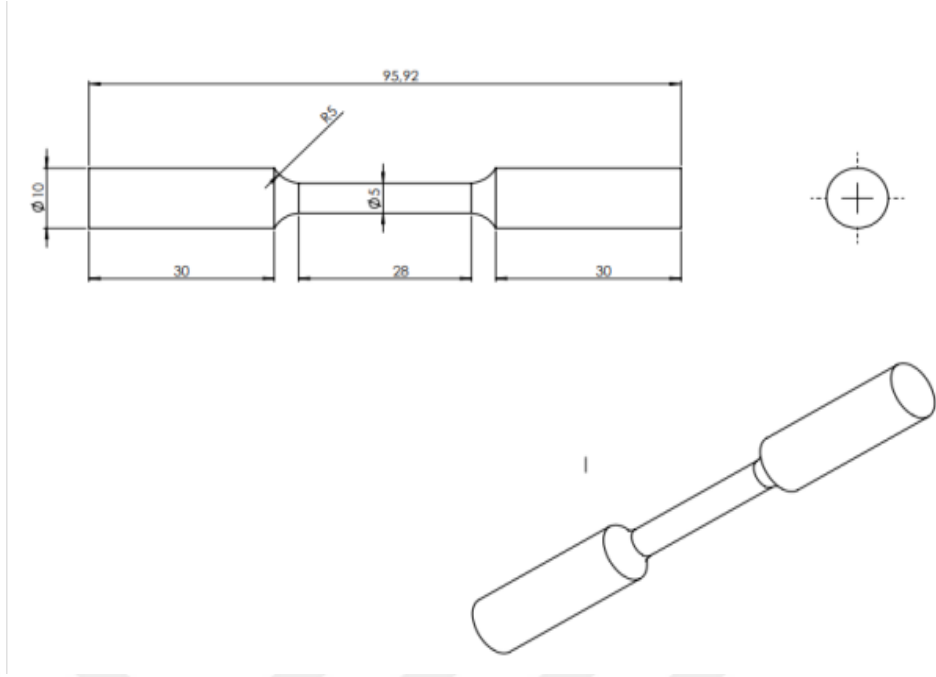
Kalıp malzemeleri ve test numuneleri aynı fırın ve aynı rejimde ısıl işlem görmüştür. Çekme testi için  $\varnothing 22 \times 500$  ölçülerde malzeme kullanılmıştır. Çekme testi ile malzemelerin akma, çekme ve kırılma değerleri belirlenmiştir. Çentik testi için lama malzeme kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda tokluk değerleri belirlenmiştir. Test numunelerine ısıl işlem sonrasında Rockwell-C sertlik testi uygulanmıştır.



Şekil 3.15. Test numune malzemeleri



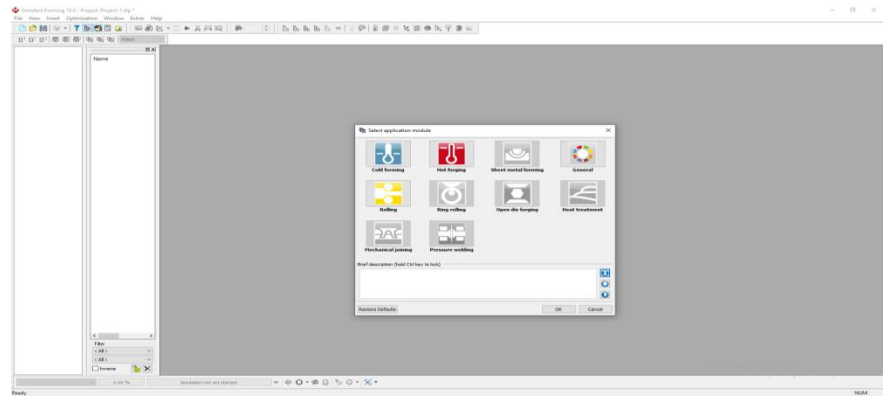
Şekil 3.16. Çentik darbe testi numune ölçüleri



Şekil 3.17. Çekme testi numune ölçüleri

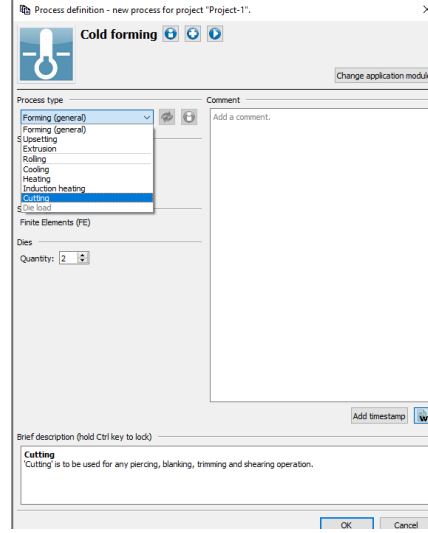
### 3.2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Uygulama Aşamaları

Simufact Forming yazılımı ile; soğuk, sıcak, ılık dövme ve birçok plastic şekil verme uygulaması analiz edilebilmektedir. Simufact Forming’de ilk adım yapılacak şekil verme prosesinin seçilmesidir. Şekil 3.18’de gösterildiği gibi proses seçimi gerçekleştirilir. Soğuk dövme uygulaması için seçim ekranında bulunan cold forming prosesi seçilir.

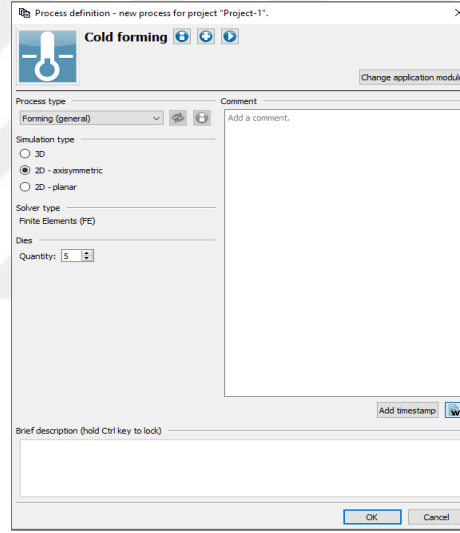


Şekil 3.18. Proses seçimi

Analizi yapılacak uygulamaya göre Şekil 3.19’da gösterildiği gibi dövme genel, kafa şişirme, kesme, kalıp yükü ve diğer seçeneklerden uygun olan seçilir. Şekil 3.20’de belirtildiği gibi parçanın geometrisine göre 2D veya 3D çözümleme boyutu seçilir.

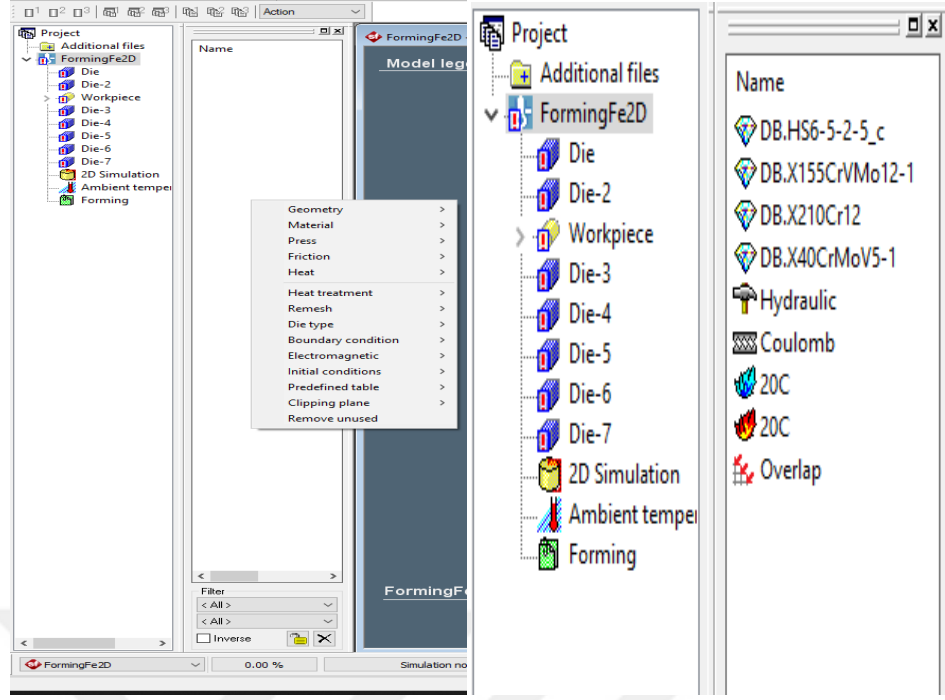


Şekil 3.19. Proses tipi seçimi



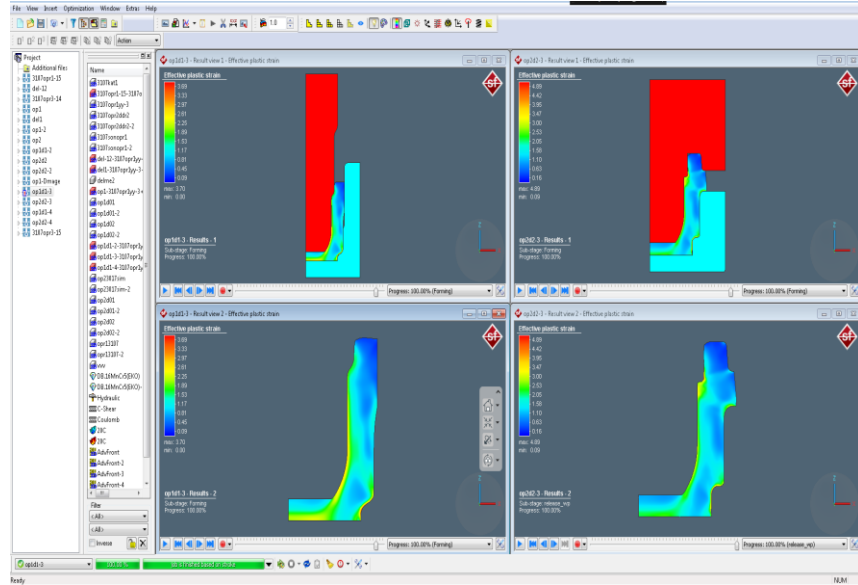
Şekil 3.20. Proses boyut seçimi

Bu çalışmada proses tipi olarak dövme genel, proses boyutu olarak 2D seçilmiştir. Analizde çözümlene ağacında kullanılacak olan parametreler sırayla belirlenir. Bu aşamada iş parçası ve kalıp için malzeme seçimi, sürtünme katsayısı, sıcaklık, pres, mesh, sıkı geçirme değeri, civata sıkma torku seçilir. Kalıp katı modelleri çizim programından .igs formatında alınır. Gerekli parametreler Şekil 3.21’de gösterildiği gibi hazırlanır.



**Şekil 3.21.** Çözümleme ağacı parametreleri

Parametre ve kalıpların yerleşimi yapıldıktan sonra iş parçasına form verecek kalıpların ne kadar hareket edeceği belirlenir. Eksik yada yanlış olmaması için model kontrol edilir. Şekil 3.22’de görüldüğü gibi analiz tamamlandıktan sonra kalıp üzerinde oluşan gerilmeler, malzeme üzerinde oluşan gerilmeler, gerekli pres gücü, malzeme üzerindeki akış çizgileri gibi bir çok sonuç elde edilir.



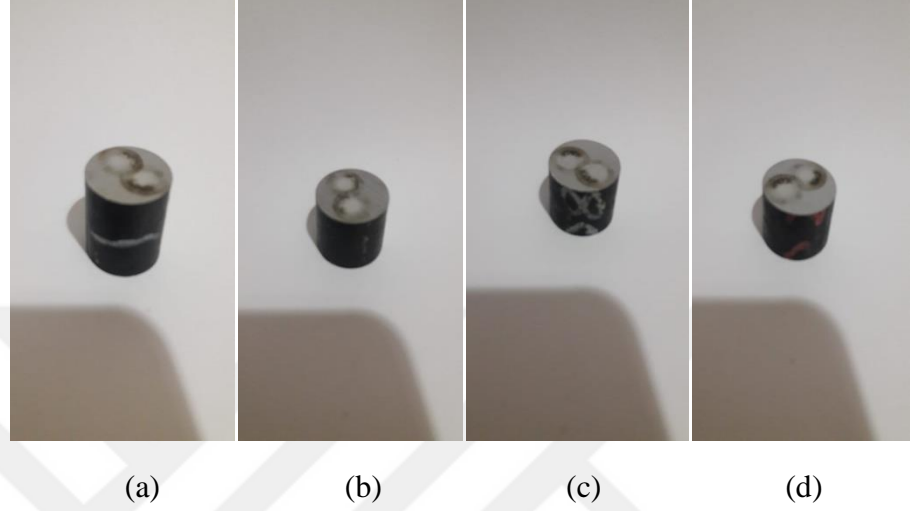
**Şekil 3.22.** Sonuçlanan analiz incelemesi



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Malzeme

Rotil parçasının son formunun verildiği, tez çalışmasının odak noktası olan çekirdek kalıbında kimyasal kompozisyonları Tablo 4.1’de verilen sıcak ve soğuk iş takım çelikleri kullanılmıştır.Şekil 4.1’de ki parçaların kimyasal bileşenleri spektral analiz ile belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Spektral analiz ile incelenmiş kalıp hammaddeleri (a) Caldie  
(b) Formvar (c) Orvar2m (d) Unimax

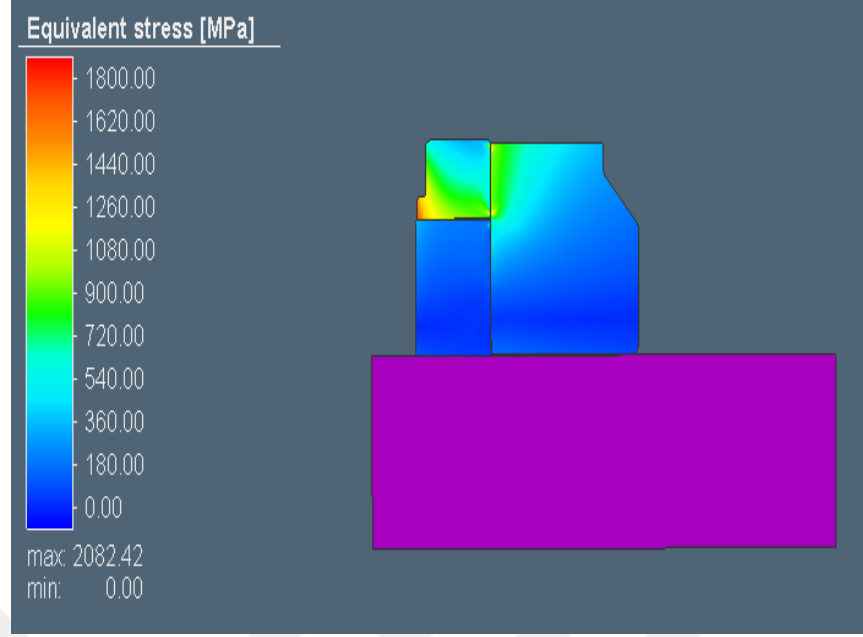
Tablo 4.1. Kalıp çeliklerinin kimyasal kompozisyonu

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%V
Caldie	0,7	0,2	0,5	5,0	2,3	0,5
Unimax	0,5	0,2	0,5	5,0	2,3	0,5
Formvar	0,35	0,2	0,5	5,0	2,3	0,5
Orvar2m	0,4	1	0,4	5,3	1,3	0,9

Yapılan bu tez çalışmasında soğuk dövme sektöründe kullanımı yaygın olan Orvar2m, Formvar, Unimax ve Caldie soğuk ve sıcak iş takım çelikleri kullanılmıştır.

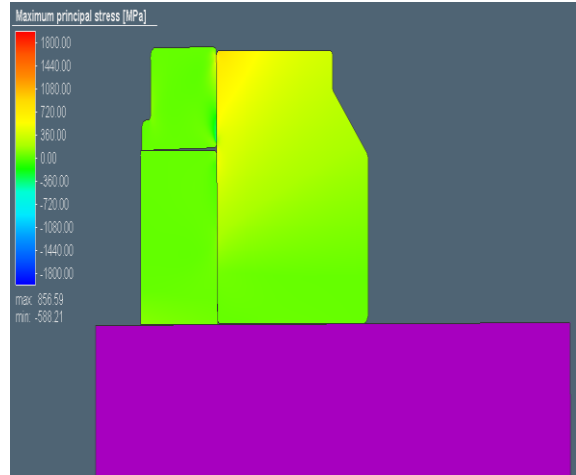
### 4.2. Sonlu Elemanlar Kalıp Analizi Sonuçları

Bu tez çalışmasında ilk aşama olarak soğuk dövme ile çoklu operasyonla imal edilen rotel parçasının imalat esnasında kalıplarda oluşan gerilmeler sonlu elemanlar analizi ile belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi ile kalıplar üzerindeki efektif gerilmeler, minimum asal gerilmeler, maksimum asal gerilmeler, çevresel gerilmeler incelenmiştir.



**Şekil 4.2.** Ön Gerilme uygulanmış rotill kalıbı üzerinde oluşan eşdeğer gerilmelerin incelenmesi

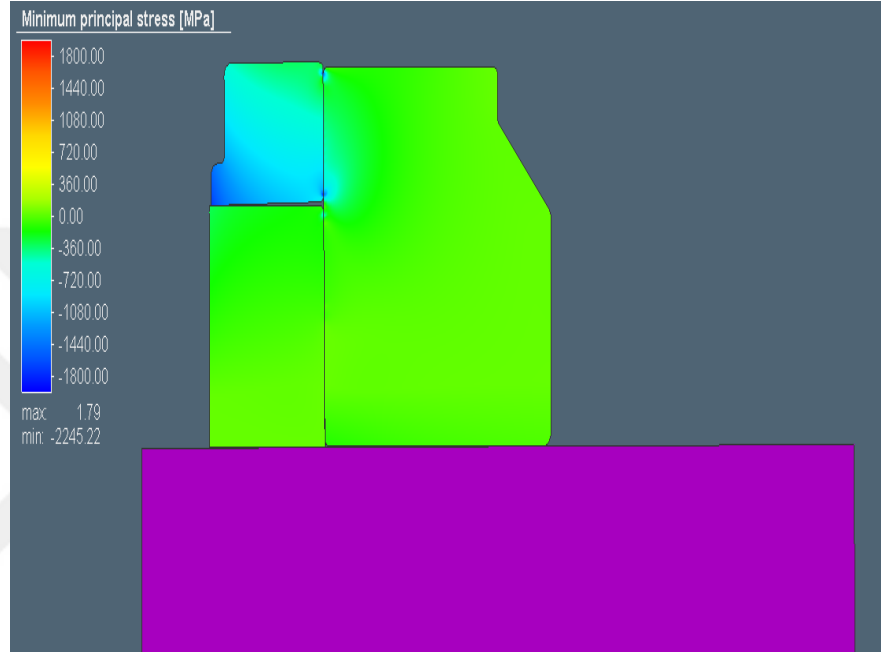
Ön gerilme uygulanmış çekirdek ve zarf kalıpları Şekil 4.2’de incelendiğinde çekirdek kalıbının en üstünde bulunan radyustan başlayan kısımda eşdeğer gerilme değeri yaklaşık 622MPa, orta kısmında yaklaşık 1000 MPa ve en alt kısımda yaklaşık 1500 MPa yük gözlenirken zarf kalıbının çekirdek kalıbına temas ettiği yüzey boyunca yaklaşık 900 MPa yük gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.3.** Maksimum asal gerilmelerin incelenmesi

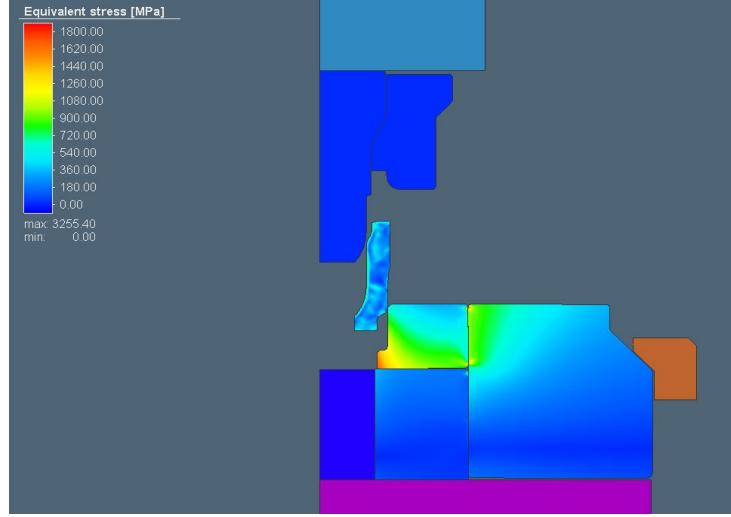
Maksimum asal gerilme ile öncelikle zarf kalıbı üzerinde oluşan çekme gerilmeleri incelenmiştir. Ön gerilme uygulanmış çekirdek ve zarf kalıpları Şekil 4.3’de incelendiğinde çekirdek kalıbının en üstünde bulunan radyustan başlayan

kısımda maksimum asal gerilme değerleri yaklaşık 5 MPa, orta kısmında yaklaşık 30 MPa ve en alt kısımda yaklaşık -2 MPa yük gözlemlenmiştir. Çekirdek kalıbında çekme yönünde deformasyona sebep olacak değerler bulunmamıştır. Zarf kalıbında ki gerilmeler incelendiğinde en yüksek gerilmeler çekirdek kalıbının temas ettiği yüzeyde belirlenmiştir. Zarf kalıbı malzemesi akma dayanımı 1500MPa olan 1.2344 kullanılmıştır. Zarf üzerinde bulunan yüksek değerler 700MPa-350MPa arasındadır. Sonuç olarak çekme yönünde zarf ve çekirdek kalıplarında deformasyona sebep olabilecek değerler oluşmamıştır.



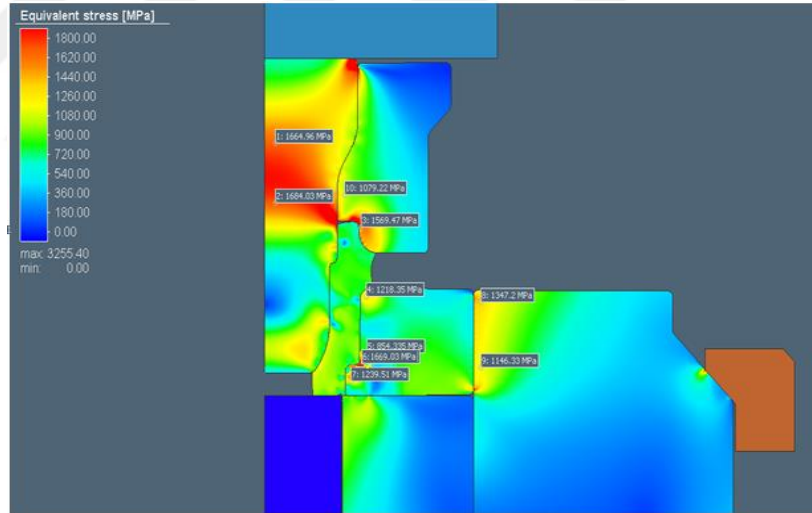
Şekil 4.4. Minimum asal gerilmelerin incelenmesi

Minimum asal gerilme ile çekirdek kalıbı üzerinde oluşan basma gerilmeleri incelenmiştir. Ön gerilme uygulanmış çekirdek ve zarf kalıpları şekil 4.4'da incelendiğinde çekirdek kalıbının en üstünde bulunan radyustan başlayan kısımda minimum asal gerilme değerleri yaklaşık -650MPa, orta kısmında yaklaşık -1140 MPa ve en alt kısımda yaklaşık -1650 MPa yük gözlemlenmiştir. Gözlemlenen çekirdek kalıbında basma yönünde deformasyona sebep olacak değerler bulunmamıştır.



**Şekil 4.5.** Dövme işleminden önce prese bağlı kalıp seti

Ön gerilme verilen alt grup kalıplar sonlu elemanlar analizinde belirlenmiş civata sıkma kuvvetleriyle tork anahtarı, civata ve kovan kalıbı yardımıyla prese bağlanır, merkezleme yapılır. Prese bağlanan kalıp seti Şekil 4.5’de gösterildiği gibidir.



**Şekil 4.6.** Kalıp bileşenleri üzerinde oluşan gerilmelerin incelenmesi

Dövme işleminin bittiği, üst grup kalıp bileşenlerinin geri çekilmeden en yüksek gerilmelerin olduğu durumda ki gerilmeler Şekil 4,6’da ki gibidir. Şekilde bulunan kalıp seti yukarıdan aşağıya incelendiğinde gerilmelerin maksimum olduğu anda üst grup kalıp setinde bulunan zımba kalıbı üzerinde 1000 MPa- 1700 MPa arasında gerilmelerin meydana geldiği, zımba tutucu kalıbında ise iş parçasıyla temas ettiği noktada maksimum gerilmelerin görüldüğü bu değerlerin ise 1300MPa-1600MPa arasında olduğu görülmüştür. Üst grup kalıplarında deformasyona sebep olacak gerilme değerleri gözlenmemiştir. Alt grup kalıp setinde bulunan ve bu tez

çalışmasında farklı malzemelerle denemeler yapılan ring kalıbı üzerinde ki gerilmeler incelendiğinde ise 500 MPa- 1700 MPa arasında gerilmelerin oluştuğu gözlenmiştir. Ring kalıbında oluşan gerilmelerin genelini, denemelerde kullanılmış olan Unimax, Orvar2m, Caldie, Formvar malzemelerinin akma gerilme değerlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.6'da 6 numaralı bölgede meydana gelen gerilmenin kalıp üzerinde kalıcı deformasyona sebep olacağı tespit edilmiştir. Zarf kalıbında ise maksimum ön gerilmeli sıkıştırılmasından kaynaklı yaklaşık 1400MPa değerlere kadar çıkan gerilmeler oluşmuştur. Bu değerler zarf kalıbı malzemesinin akma gerilmesi değeri altında kalmasına rağmen maksimum değere yakındır.

### 4.3. Yüzey Pürüzlülük Testi

Finiş işleme ile ölçüye getirilen çekirdek kalıplarına, montaj öncesinde parlatma işlemi uygulanmıştır. Farklı malzemelerden yapılan çekirdek kalıplarının yüzey pürüzlülük kontrolleri Şekil4.7'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Ard arda aynı parametrelerde parlatılan çekirdek kalıplarının yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Çekirdek kalıbına uygulanan yüzey pürüzlülük kontrolü

Tablo 4.2. Parlatma işlemi sonrasında kalıp yüzey pürüzlülük değerleri

Malzeme	Yüzey Pürüzlülük Değerleri(Ra µm)
Caldie	0,046
Unimax	0,042
Formvar	0,049
Orvar2m	0,044

### 4.4. Tahribatlı Test Sonuçları

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilen ısı işlem rejimlerine göre yapılan ısı işlem sonucunda malzemelere Rockwell sertlik test i ve çentik darbe testi yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda çıkan değerler Tablo 4.3'de gösterildiği gibidir. Şekil

4.8’de çentik darbe testi yapılmış test numuneleri gösterilmektedir.



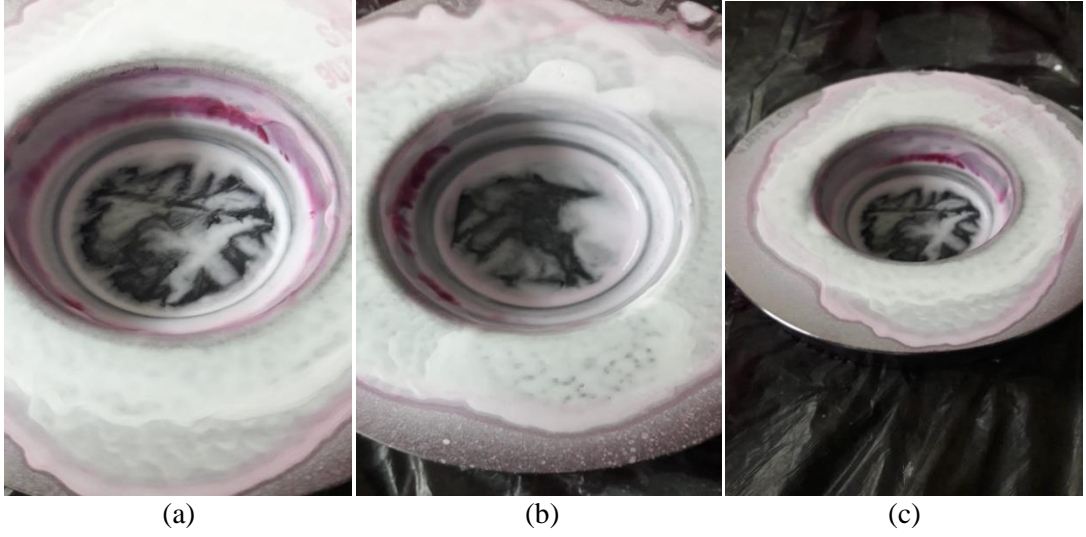
Şekil 4.8. Çentik darbe testi uygulanmış test numuneleri

Tablo 4.3. Kalıp malzemelerinin sertlik, basma dayanımı, tokluk değerleri

Malzeme	Sertlik (HRC)	Basma Dayanımı(MPa)	Tokluk(J)
Caldie	60	2400	12
Unimax	57	1800	24
Orvar2m	52	1480	8
Formvar	54	1620	10

#### 4.5. Tahribatsız Test Uygulamaları

Kalıp çeliklerinin radyus bölgesinde oluşan çatlaklar penetrant sıvı ile incelenmiştir. İncelemeler sonucunda Caldie, Formvar, Orvar2m malzemelerden imal edilen çekirdek kalıplarında çatlakların radyus bölgesinde başlayıp kalıbın dış kısmına kadar devam ettiği görülmüştür. Unimax malzemesinde herhangi çatlak oluşmadığı belirlenmiştir. Kalıbın kullanılamaz hale gelmesinde ki sebep gövde çap ölçüsünün büyümesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.9. Penetrant sıvı uygulaması (a)Caldie (b)Formvar (c)Orvar2m

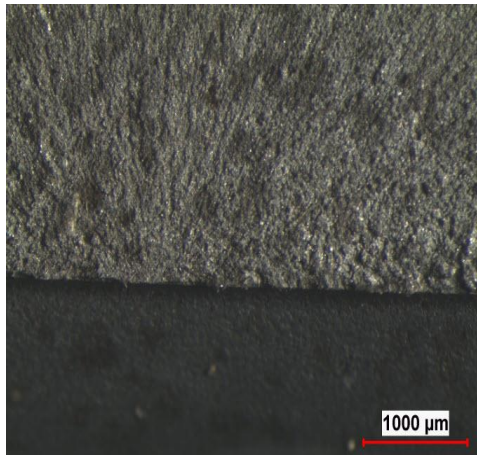


Şekil 4.10. Unimax malzemeden imal edilen kalıp çeliğine penetrant uygulaması

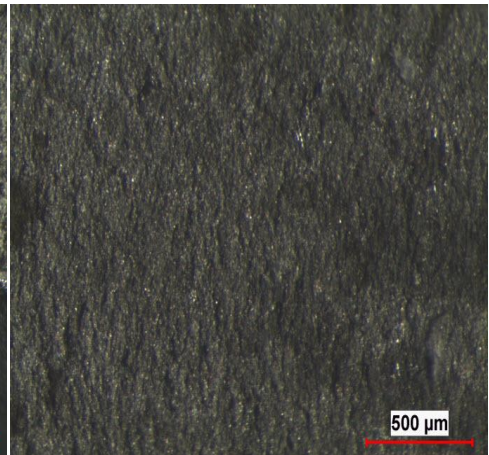
#### 4.6. Metalografik İncelemeler

Metalografik çalışmalar makro ve mikro ölçekte gerçekleştirilmiştir. Makro incelemelerde stereo mikroskop ile çentik darbe testi numunelerinin kırılan yüzeyleri incelenmiştir. Şekil 4.11’de farklı ölçeklerde incelenen kırılan yüzeyler malzemenin tokluğu hakkında bilgi vermektedir.

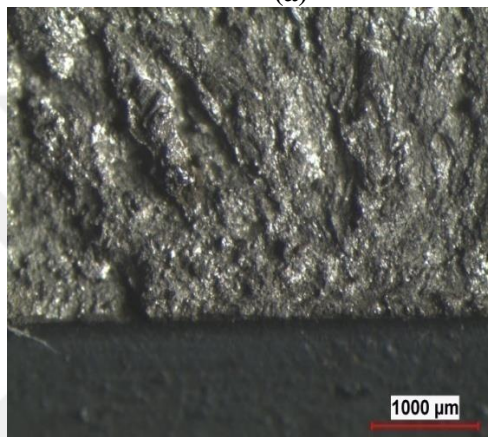




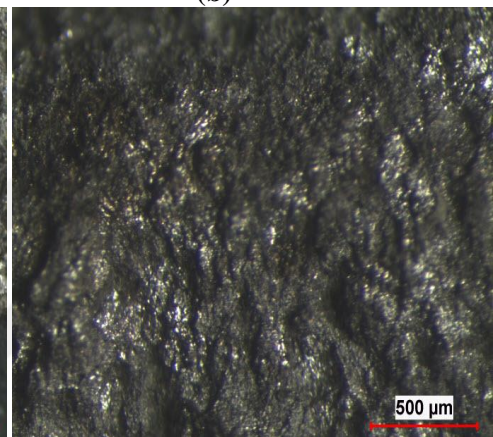
(a)



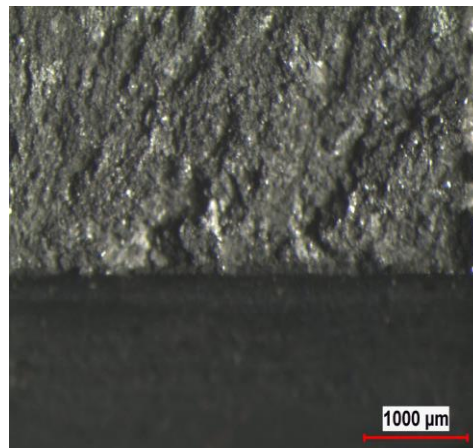
(b)



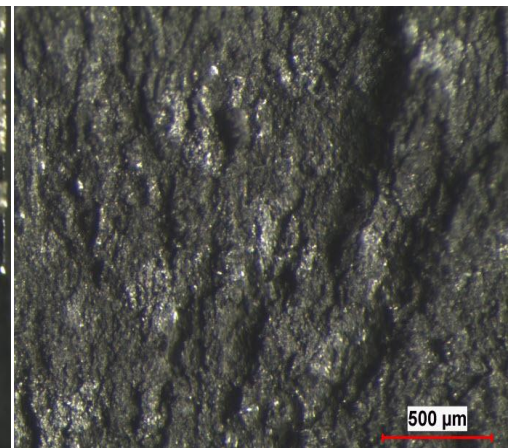
(c)



(d)

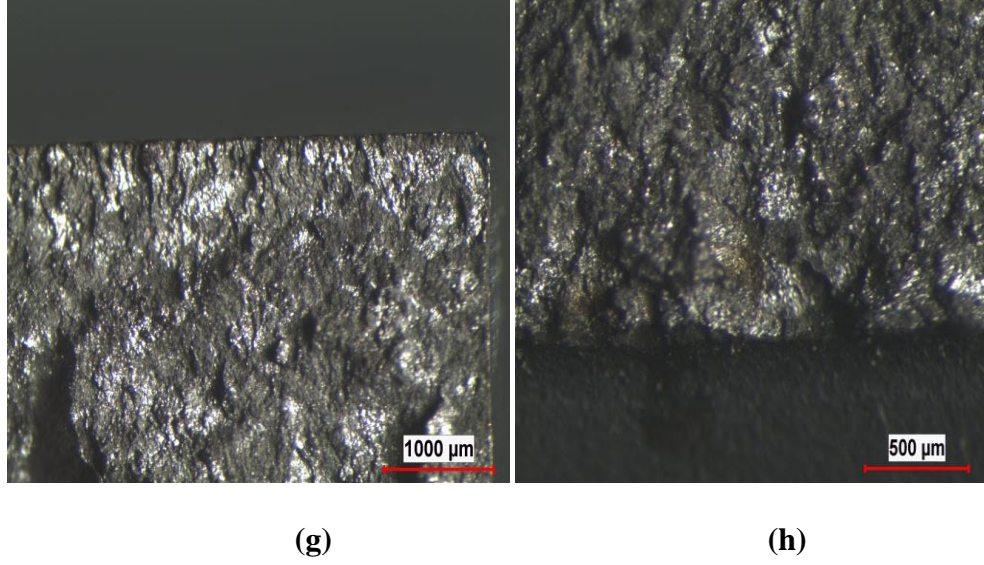


(e)



(f)

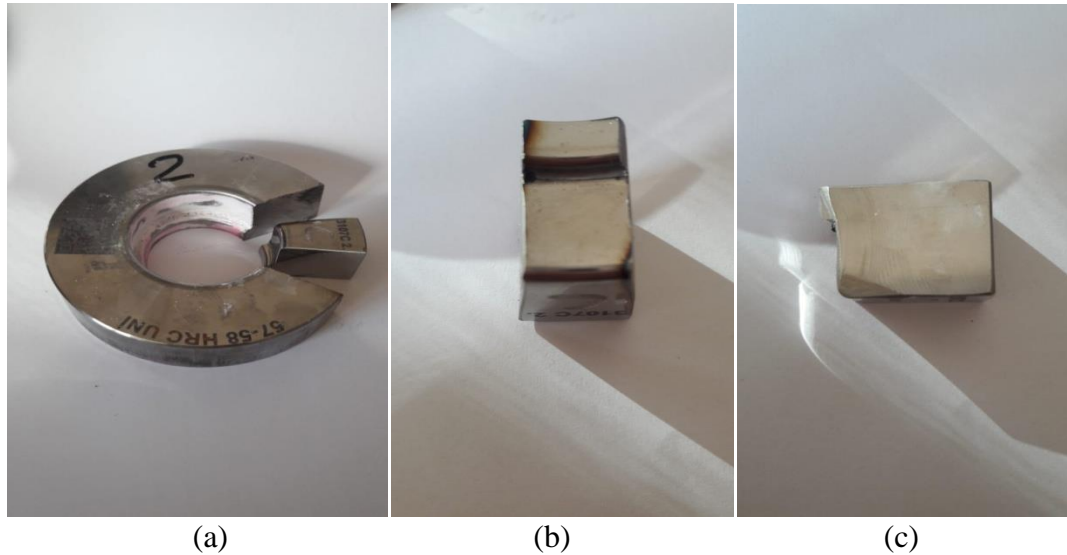




**Şekil 4.11.** Çentik darbe testi numunelerinin makro incelenmesi (a)Caldie (b)Caldie (c)Orvar2m (d)Orvar2m (e)Unimax (f)Unimax (g)Formvar (h)Formvar

Kırık yüzeyler incelendiğinde Caldie malzemede girinti çıkıntının daha az olduğu görülmektedir. Unimax ve Orvar2m malzemelerde girinti ve çıkıntılarının daha çok olduğu görülmektedir. Buradan Caldie malzemenin tokluğunun diğer malzemelere göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Stereo mikroskopla yapılan diğer incelemedekirılan kalıplardan Şekil 4.12’de ki gibikesit alınarak kırılan radyus bölgesi incelenmiştir. İncelemeler dikey ve yatay olarak yapılmıştır. Kalıpların dikey incelemeleri Şekil 4.13 ‘de gösterilirken, yatay incelemeleri Şekil 4.14 ‘de gösterilmiştir.



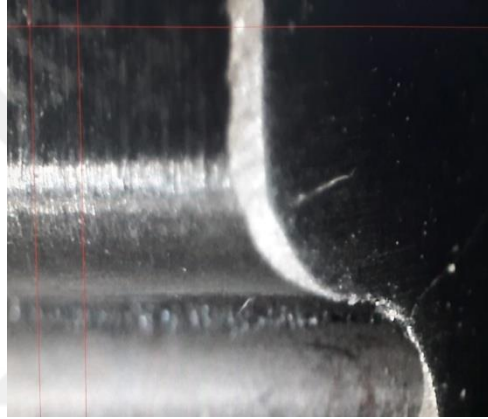
**Şekil 4.12.** Makro incelenen kalıp kesiti (a)Kesit alınan kalıp (b)Dik kesit (c)Yatay kesit



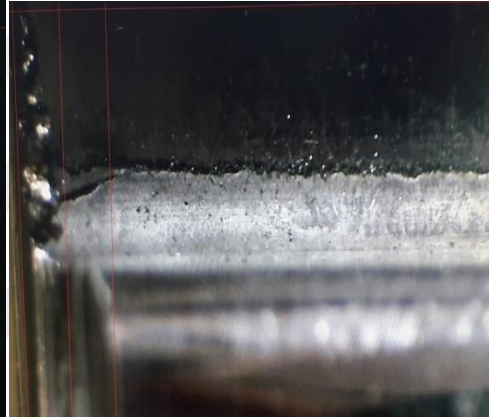
(a)



(b)



(c)

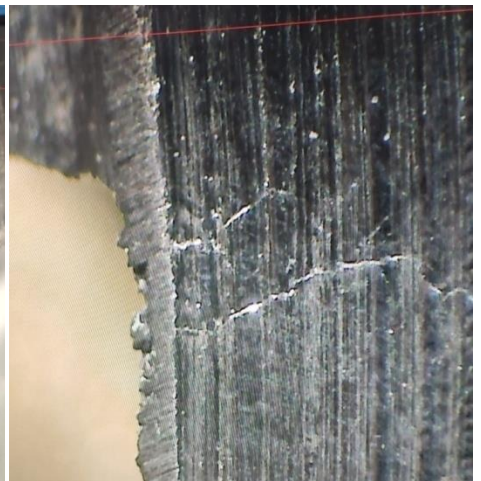


(d)

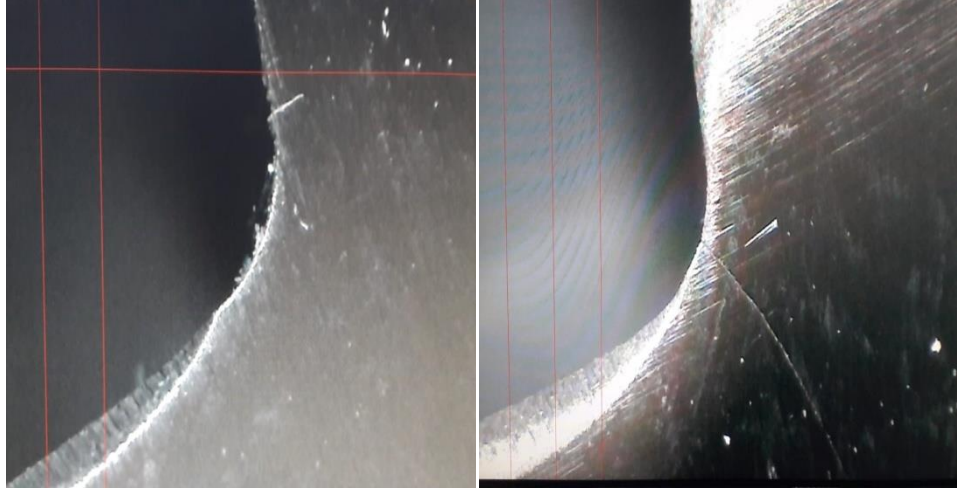
**Şekil 4.13.** Dikey kesit incelemesi (a)Formvar (b)Orvar2m (c)Unimax (d)Caldie



(a)



(b)



(c)

(d)

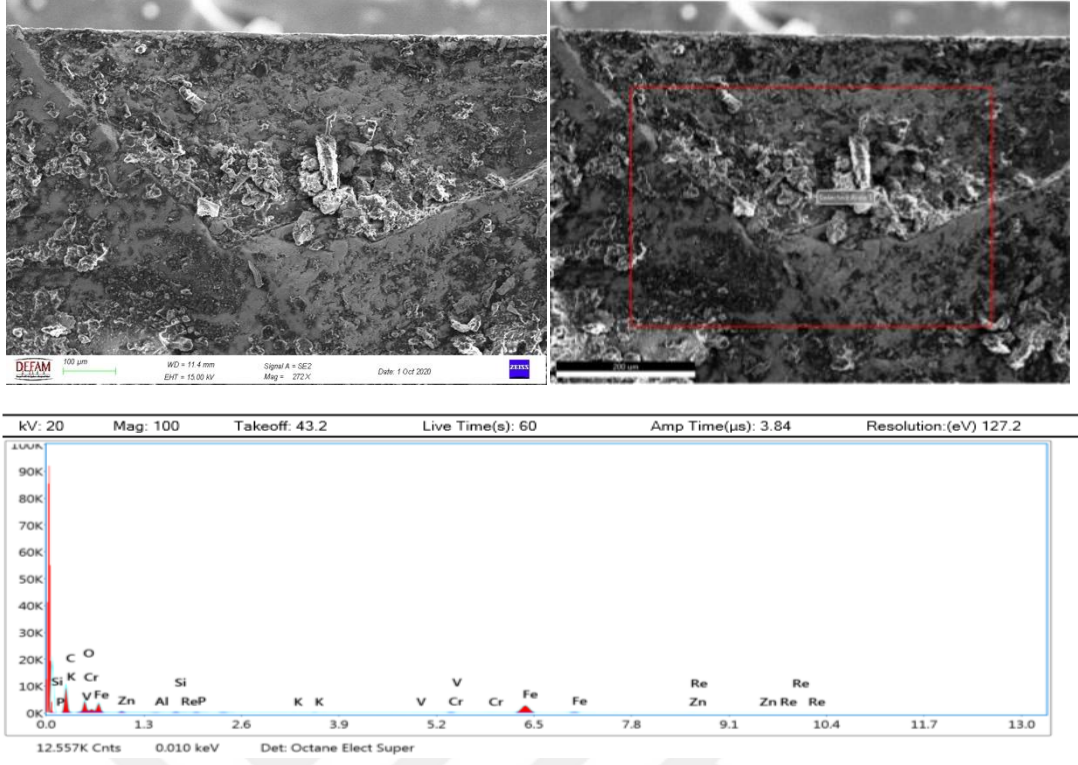
**Şekil 4.14.** Yatay kesit incelemesi (a)Formvar (b)Orvar2m (c)Unimax (d)Caldie

Kalıp çeliklerinin kırılan yüzeyleri SEM’de incelenmiştir. İncelemelerde kırılan yüzeylerde ki topografi ve kimyasal bileşimleri incelenmiştir. Uygun ölçülerde hazırlanan numunelerin SEManalizi MCBÜ DEFAM Laboratuvarın’da gerçekleştirilmiştir.

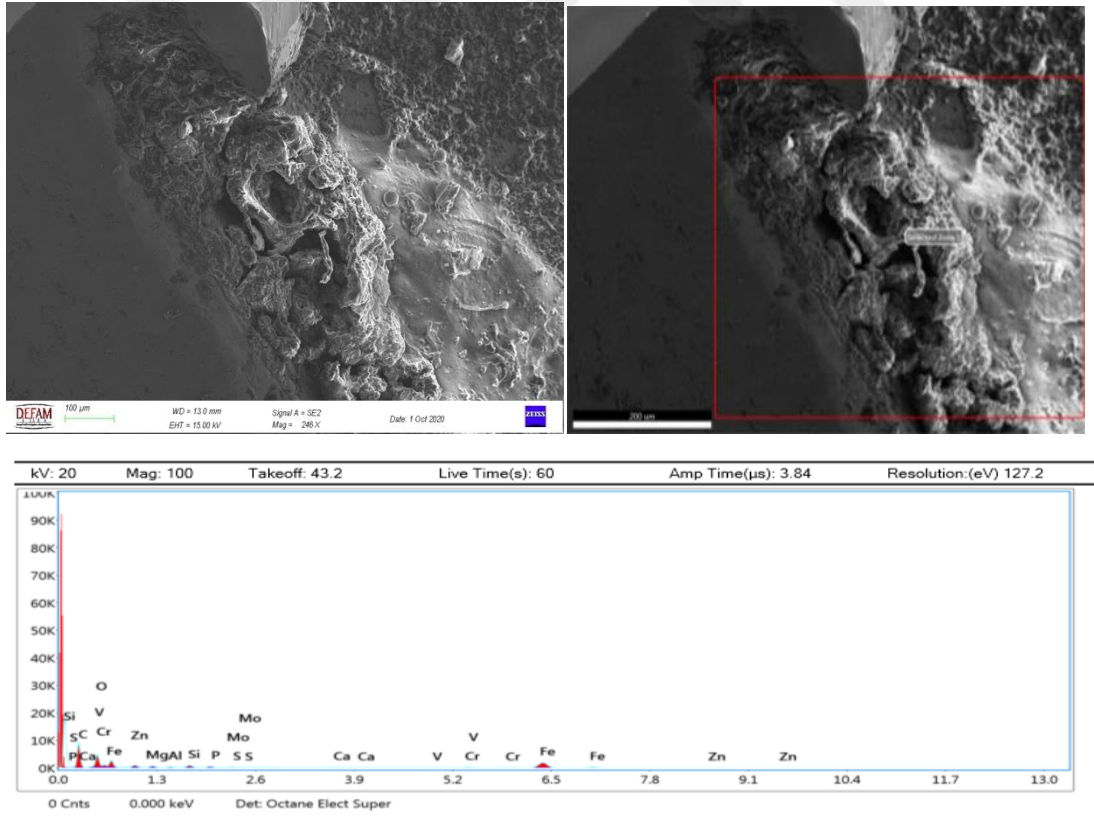


**Şekil 4.15.** Hazırlanan SEM incelemesi numuneleri

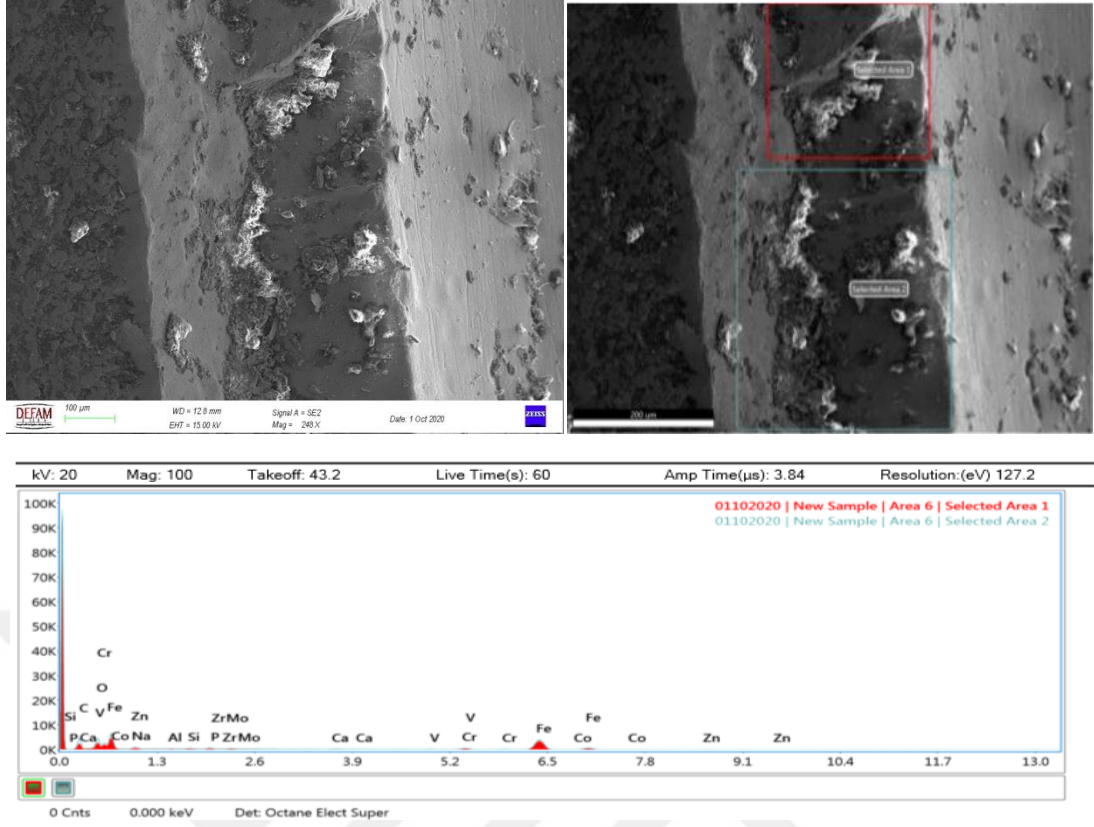




Şekil 4.16. Formvar malzemenin SEM-EDX incelemeleri



Şekil 4.17. Caldie malzemenin SEM-EDX incelemeleri



Şekil 4.18. Orvar2m malzemenin SEM- EDX incelemeleri

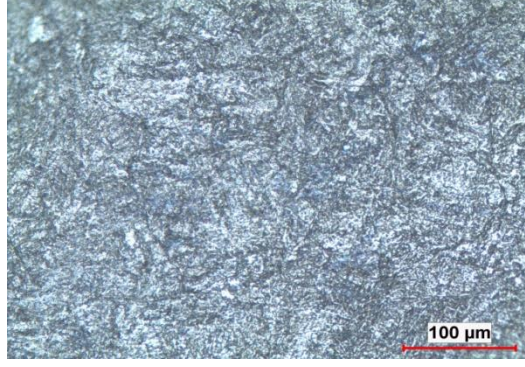


(a)

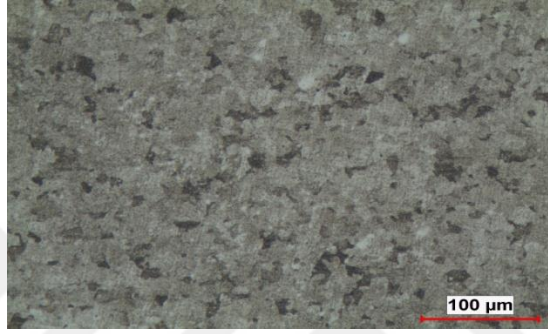


(b)

Şekil 4.19. Orvar2m X200 mikroyapı kıyaslama (a)Isıl işlem uygulanmış (b)Isıl işlem uygulanmamış



(a)



(b)

**Şekil 4.20.** Unimax X200 mikroyapı kıyaslama (a)Isıl işlem uygulanmış (b)Isıl işlem uygulanmamış



(a)



(b)

**Şekil 4.21.** Caldie x500 mikroyapı kıyaslama (a)Isıl işlem uygulanmış (b)Isıl işlem

Test numunelerine %85 Etanol, %10 HCl, %5 HNO<sub>3</sub>'den oluşan dağlayıcı 20 dk uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanması sonucunda malzemelerin hepsinde iğnemi martenzit yapı oluştuğu gözlenmiştir. İç yapıların sertleştirme ve menevişleme sonrasında homojenleştiği, çözünmeyen karbürlerin lokal olarak gri dairesel şekilde iç yapıda bulunduğu gözlenmiştir.

#### 4.7. Kalıp Baskı Sayısı ve Maliyet

Tez çalışmasının bu bölümünde farklı malzemelerden imal edilen kalıpların maliyet ve performans değerleri karşılaştırılmıştır. İmal edilen kalıplar aynı üretim koşullarında kullanılmıştır. Kullanılan kalıp çeliklerinin baskı sayıları ve maliyetler, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 'de ki gibidir.

**Tablo 4.4.** Kalıp malzemelerinin baskı sayısı

Malzeme	Baskı Sayısı
Caldie	127856
Unimax	66543
Orvar2m	37354
Formvar	104172
V4e	45000

**Tablo 4.5.** Kalıp maliyeti

Malzeme	Kg	Fiyat(€/Kg)	Malzeme Fiyat(TL)	Kaba İşleme (TL)	Isıl İşlem (TL)	Finiş İşleme (TL)	Polisaj (TL)	Toplam (TL)
Caldie	1.75	11	125	40	30	40	25	260
Unimax	1.75	12.5	150	40	30	40	25	285
Orvar2m	1.75	4.2	50	40	30	40	25	185
Formvar	1.75	8	95	40	30	40	25	230
V4e	1,75	45	510	40	30	40	25	645

Parça başına kalıp maliyeti aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır ;

$$Parça\ maliyeti = \frac{Kalıp\ Maliyeti}{Kalıp\ Baskı\ Sayısı}$$

Bu çalışma öncesinde kullanılan V4E malzemeden yapılan kalıbın parça başı maliyeti 0.015 TL'dir. Bu çalışmada kullanılan dört farklı malzeme için parça başı maliyet hesaplandığında Orvar2m 0.005 TL, Unimax 0.0042 TL, Formvar 0.0022 TL ve Caldie 0.002 TL'dir.

1 adet rotül parçasının baskı süresi 12 sn olarak ölçülmüştür. Kırılan kalıp sök-tak süreci 1 saatten hesaplanmıştır. Kalıp ömürleri kıyaslandığında V4E malzeme yerine Caldie malzeme kullanıldığında kalıp presten sökülmeden 2.84 kat daha fazla adet basarken Formvar malzeme kullanıldığında 2.31 katadet fazla basmıştır. Bu durumda rotül parçasının basılması esnasında kalıp sök tak işleminin

azalmasından dolayı üretim verimliliği arttırılmıştır. 1.000.000 adet rotıl parçası basılması için malzemelere göre gerekli kalıp adetleri Tablo 4.6’da hesaplanmıştır.

**Tablo 4.6.** Gerekli kalıp adeti ve maliyeti

Malzeme	Rotil Parçası Üretim Adeti	Parça Baskı Süresi	1.000.000 Adet Parça İçin Gerekli Kalıp Sayısı	1.000.000 Adet Parça İçin Kalıp Maliyeti	Kalıp Ömrü	Kalıp Ömründeki % Artış(V4E Malzemeye Göre Hesaplanmıştır)
Caldie	1.000.000 Adet	12 Sn	8 Adet	2080 TL	127856	%284 Artış
Formvar			10 Adet	2300 TL	104172	%231 Artış
Unimax			15 Adet	4275 TL	66543	%147 Artış
Orvar2m			27 Adet	4995 TL	37354	%17 Azalma
V4E			23 Adet	17835 TL	45000	x

Rotil parçasının üretimi esnasında kırılan kalıplar presin durmasına ve üretim verimliliğinin düşmesine sebep olmaktadır. Kalıp ömrü ve kalıp değiştirme esnasında basılamayanrotıl parçası arasındaki ilişki Tablo 4.7’de incelenmiştir.

**Tablo 4.7.** Kalıp sök-tak maliyeti

Malzeme	Parça Baskı Süresi	1.000.000 Parça İçin Yapılacak Kalıp Sök-Tak Sayısı	Kalıbı Prese Bağlama Süresi	1 Saatte Basılacak Parça Sayısı	1 Adet Parçanın Satış Fiyatı	1.000.000 adet Parçanın Üretimi Esnasında Kalıp Sök-Tak İşlemi Nedeniyle Üretilmeyen Parçaların Fiyatı
Caldie	12 Sn	8	1 Saat	300 Adet	6TL	14400 TL
Formvar		10				18000 TL
Unimax		15				27000 TL
Orvar2m		27				48600TL
V4E		23				41400 TL

Yapılan çalışmada eski kullanılan malzeme olan V4E ile en iyi kalıp ömrünü veren Caldie malzemelerin kalıp maliyeti ve üretim verimliliği kıyaslaması Tablo 4.8’de verilmiştir.

**Tablo 4.8.** V4E – Caldie maliyet ve verimlilik tablosu

Malzeme	Rotil Parçası Üretim Adeti	1.000.000 Adet Parça İçin Gerekli Kalıp Sayısı	1.000.000 Adet Parça İçin Kalıp Maliyeti	Kalıp Ömründeki %Artış(V4E Malzemeye Göre Hesaplanmıştır)	1.000.000 Adet Parçanın Üretimi Esnasında Kalıp Sök-Tak İşlemi Nedeniyle Üretilmeyen Parçaların Fiyatı
Caldie	1.000.000 Adet	8 Adet	2080 TL	%284 Artış	14400 TL
V4E		23 Adet	17835 TL	x	41400 TL



## 5.GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, çoklu operasyonla 16MnCr5 malzemeden üretilen rotül parçasının soğuk dövme işlemlerinde kullanılan çekirdek kalıbı incelenmiştir.Kalıp setini oluşturan tüm kalıpların üzerindeki gerilmeler sonlu elemanlar analizi ile belirlenmiştir.Kullanılan dört farklı malzemeye tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri uygulanmıştır. Isıl işlemlili, ısıl işlemsiz test numunelerine ve ömrünü tamamlayan kalıplara hem makro hem mikro incelemeler yapılmıştır.

Yapılan çalışmada;

- 1) Sonlu elemanlar analizinde uygulanan kalıp analizi sonucunda çekirdek kalıbında üst radyus kısmında 1200MPa, orta kademe kısmında 800MPa, orta radyus kısmında 1600 MPa, alt çapın verildiği kısımda 1300MPa kuvvet etki ettiği belirlenmiştir.
- 2) Caldie, Formvar ,Unimax, Orvar2m, V4E kalıp malzemelerine uygulanan mekanik testler sonucunda Caldie malzemenin tokluğunun diğer malzemelere göre daha düşük, sertliğinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir.Çekirdek kalıplarının baskı sayıları ve mekanik özellikleri kıyaslandığında en yüksek sertlik ve düşük tokluğa sahip Caldie malzemenin diğer malzemelere göre daha yüksek baskı sayısı verdiği belirlenmiştir. Tokluk değeri diğer malzemelere göre daha yüksek olan Unimax malzemedede ise kalıpta oluşan hasarın çatlak şeklinde değil kalıp ölçülerinin büyümesi şeklinde olduğu belirlenmiştir.
- 3) Tahribatsız uygulamalarda ise üretimde kullanılan çekirdek kalıpları incelenmiş olup Caldie, Formvar ve Orvar2m malzemedede hasar oluştuğu belirlenmiştir. Unimax malzemedede ise çatlak belirlenmemiştir.
- 4) V4e malzemesi ile en yüksek baskı sayısını veren Caldie malzemesi karşılaştırılmıştır. Caldie malzeme ile kalıp maliyeti %40 azaltılırken, baskı sayısı 2,84 kat daha artmıştır. Kırılan kalıplar nedeniyle presin durması ve kalıp sök-tak işleminin azaltılması ile üretim verimliliği Caldie kalıp malzemesinin seçimi ile arttırılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Kobayashi, S.Oh, S., Altan, T. Metal Forming and the Finite-element Method. Oxford University Press,1989,
- [2] Çakır, S. Plastik Şekil Verme ile Monte Edilen Yatak Sistemlerinde Oluşan Kuvvetlerin Saptanması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2011,153s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [3] Karadağlı, Ö. Soğuk Dövme ile Üretimde Simülasyon Uygulamaları. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Konstrüksiyon ve İmalat, Manisa, 2017, 196s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [4] Yurtdaş, S. Soğuk Dövme Kalıplarındaki Kompozit Sıkı Geçme Çemberlerin Kalıp Ömürlerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, İzmir, 2017, 96s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [5] Altan T., Gracious N., Gangshu S. Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications.ASM International, Ohio, 2004, 337s.
- [6] İnce U., Kılıçaslan C. Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Kırılma sebeplerinin Nümerik Olarak İncelenmesi. Mühendis ve Makina, 2016, 57(678). 65-71.
- [7] Groover, M.P. Fundamentals of Modern Manufacturing. Ed: Michael McDonald, Massachusetts, 2010, 395-437.
- [8] Schuler G.Metal Forming Handbook. Berlin ; New York : Springer-Verlag, 1998, 312s.
- [9] Joseph R.D., S.L Semiatin, American Society For Metals, ASM Metals Handbook, Vol. 14: Forming And Forging, 1989
- [10] Anonim, <https://www.celikmetal.com.tr/takim>, Erişim Tarihi: 02.11.2020
- [11] Özer O. 1.2344 Kalite Takım Çeliğine Alternatif Sıcak İş takım Çeliğinin Isıl İşlem Parametrelerinin Belirlenmesi ve Hadde Bıçak Uygulamalarındaki Performansının İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliğ, Karabük, 2016, 74s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [12] Anonim, [www.alper.com.tr/index.html/Isil](http://www.alper.com.tr/index.html/Isil) İşlem Bilgi Sayfaları, Erişim Tarihi: 03.08.2020
- [13]Anonim, [www.uddeholm.com/files/PB\\_caldie\\_english.pdf](http://www.uddeholm.com/files/PB_caldie_english.pdf), Erişim Tarihi: 16.10.2020
- [14] Seçim C. Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Uygulamaları. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, 2011, 132s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [15] Anonim, [malzememuh.cbu.edu.tr/db\\_images/site\\_117/file/cekme.pdf](http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/cekme.pdf), Erişim Tarihi: 09.09.2020

- [16] Çolak Z. Su Altı Kaynak Yöntemi ile BİRleştirilenn Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi.Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Karabük, 2018, 212s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [17] Anonim, [malzememuh.cbu.edu.tr/db\\_images/site\\_117/file/darbe.pdf](http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/darbe.pdf), Erişim Tarihi: 11.10.2020
- [18] Clough, R. The Finite Element Method in Place Stress Analysis. In: Anais da 2. Conference on Electronic Method. International Computation.” 1960, Pittsburgh: American Society of Civil Engineers. p. 345–378
- [19] Turner, M.; Clough, R.; Martin, H.; Topp, I.; Stiffness and deflection analysis of complex structures. J Aeronautical Sci, v. 23, n. 9. p. 805–821, setembro 1956
- [20] Aygen M. Die Stress and Friction Behaviour Analysis in Bolt Forming. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Ankara, 2006, 98s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [21] Aktaş G. Alüminyum Ekstrüzyonunda Kalıp Malzemesi Olarak Kullanılan Sıcak İş Çeliklerinin Yüzey İşlemleri ve Tribolojik Karakterizasyonu. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Kocaeli, 2014, 243s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [22] Budynas, R.G., Nisbett, J.K. Shigley’s Machine Engineering and Design, Pittsburgh: American Society of Civil Engineers. 2015, 213-221
- [23]K.H. Jung, H.C.Lee, S.H. Kang, Y.T. Im “Effect of Surface Roughness on Friction in Cold Forging” Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol.31 Issue.2, December 2008

## **ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Yaman GÜLER  
Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir, 1994  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dil : İngilizce  
E-posta : [yamanglr26@gmail.com](mailto:yamanglr26@gmail.com)

## **Eğitim Durumu**

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Met. ve Malz. Müh. Böl.  
Mesleki Deneyim : EKO Endüstri Ltd. Şti. 2018-Halen