

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

1040 ÇELİK SÜSPANSİYON PARÇASININ DÖVME ÜRETİM PROSESİNDE
ÇIKAN HATALARIN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRMESİ

SERKAN ERİKLİLİ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Kemal NURVEREN

AĞUSTOS 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

1040 ÇELİK SÜSPANSİYON PARÇASININ DÖVME ÜRETİM PROSESİNDE
ÇIKAN HATALARIN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRMESİ

SERKAN ERİKLİLİ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Kemal NURVEREN

AĞUSTOS 2019

EK-C.1 Onay Sayfası Örneği

Serkan ERİKLİLİ tarafından Dr.Öğr.Üyesi Kemal NURVEREN danışmanlığında hazırlanan “1040 Çelik Süspansiyon Parçasının Dövme Üretim Prosesinde Çıkan Hataların Belirlenmesi ve İyileştirmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğe Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : (Doç.Dr. Necmi DÜŐÜNCELİ) (Aksaray Üniversitesi)

İmza

Üye : (Prof.Dr. Yusuf CUNEDİOĞLU) (Niğe Ömer Halisdemir Üniversitesi)

İmza

Üye : (Dr.Öğr.Üyesi Kemal NURVEREN) (Niğe Ömer Halisdemir Üniversitesi)

İmza

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../20.... tarihinde uygun görölmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT

MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

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



Serkan ERİKLİ

ÖZET

1040 ÇELİK SÜSPANSİYON PARÇASININ DÖVME ÜRETİM PROSESİNDE ÇIKAN HATALARIN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRMESİ

ERİKLİLİ, Serkan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Kemal NURVEREN

Ağustos 2019, 96 sayfa

Bu tez çalışmasında, AISI 1040 çeliğinden imal edilmiş süspansiyon parçasının sıcak dövme prosesleri gerçekleştirilmiş ve proses sırasında meydana gelen üretim kaynaklı hatalar, problem çözme tekniklerinden birisi olan balık kılçığı diyagramı yardımıyla irdelenmiştir. Bu hataların minimize edilmesi amacıyla Simufact ve VeraCAD gibi ticari isimli sonlu elemanlar programlarından faydalanarak yeni sıcak dövme prosesleri geliştirilmiştir. Eski ve yeni proseslerin sonuçları, çekme ve sertlik ölçme testleri ile mikro yapı analizleri gerçekleştirilerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, yapılan yeni prosesin eski prosese göre dövme hatalarını minimize ettiği ve ayrıca zamandan ve personel giderlerinden kazanç sağladığını göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Sıcak dövme, Simufact, VeraCAD, balık kılçığı diyagramı, mekanik özellikler, mikro yapı.

SUMMARY

DETERMINATION AND IMPROVEMENT OF DEFECTS IN THE FORGING
PROCESS OF 1040 STEEL SUSPENSION PART

ERİKLİLİ, Serkan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Kemal NURVEREN

August 2019, 96 pages

In this thesis, the hot forging processes of the suspension part made of AISI 1040 steel were carried out and the manufacturing related defects that could be occurred during the process were investigated with the help of fishbone diagram which is one of the problem solving techniques. In order to minimize these errors, new hot forging processes have been developed by utilizing commercially available softwares based on the solving techniques of finite elements such as Simufact and VeraCAD. The results of the old and new processes were compared by performing tensile and hardness tests and microstructure analysis. The findings show that the new process minimizes forging errors compared to the old process and also saves time and decreases manpower costs.

Keywords: Hot forging, Simufact, VeraCAD, fishbone diagram, mechanical properties, microstructure.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında çok sayıda katkısı bulunan danışman hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Kemal NURVEREN'e, deneyleri yapmamda yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Sn. Tayfun GÖNÜL, Fisun YAZICIOĞLU, Yıldray ÖZKAN ve bölüm müdürüm Sn. Oğuz ÖZSOY'a ve de desteklerini her zaman eksik etmeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 Dövmenin Temelleri	3
1.3 Dövme Çeşitleri ve Uygulamaları	7
1.3.1 Açık kalıpla dövme.....	7
1.3.2 Kapalı kalıpla çapaklı ve çapaksız dövme.....	12
1.3.3 Dövme işlemini etki eden faktörler	14
1.4 Sıcak Dövme İşleminde Görülen Dövme Hataları	18
1.4.1 Şekil hataları	19
1.4.2 Doldurmama	19
1.4.3 İçe çekme.....	20
1.4.4 Kalıp aşınması veya deformasyonu.....	21
1.4.5 Kalıp kaçıklığı	21
1.4.6 Çapak fazlalığı.....	22
1.4.7 Eğilme.....	23
1.4.8 Yüzey hataları.....	24
1.4.9 Malzeme kaynaklı veya iç hatalar	28
1.5 Dövme Tezgahları.....	32

1.5.1 Enerji sınırlı dövme tezgahları	33
1.5.2 Kuvvet sınırlı tezgahlar	36
1.5.3 Kurs sınırlı tezgahlar	37
1.6 Sıcak Dövme Kalıplarının Tasarımı	38
1.6.1 Kalıp dizayn ilkeleri	40
1.6.2 Kalıp tipinin seçimi	41
1.6.3 Ön dövme (kademelendirme)	42
1.6.4 Kalıp ayırma çizgisini belirlenmesi	44
1.6.5 Eğim açısı	45
1.6.6 Çekme ve işleme paylarının belirlenmesi	46
1.6.7 Boyut ölçüleri ve toleranslar	47
1.6.8 Kenar ve köşe yuvarlatmaları	49
1.6.9 Çapak boşluk boyutları	50
1.6.10 Kalıp kılavuzlama tipi	53
1.6.11 Kalıp malzemesi seçim	54
BÖLÜM II MATERYAL VE METOT	55
2.1 Süspansiyon Sistemi	55
2.2 Süspansiyon Parçasının Dövme Prosesinin İncelenmesi	56
2.3 Süspansiyon Parçasının Dövme Prosesinde Meydana Gelen Hatalar	58
2.4 Süspansiyon Parçasının VeraCAD ile Rekvalls Model ve Kalıp Tasarımı	64
2.4.1 Paso sayısı kontrolü	65
2.4.2 Kesit geçişlerinin belirlenmesi	66
2.4.3 Ezme oranlarının düzenlenmesi	67
2.4.4 Merkezleme kanallarının tanımlanması	68
2.4.5 Rahatlama açılarının tanımlanması	68
2.5 Süspansiyon Parçasının Rekvalls Modelinin Dövme Simülasyonu	72
2.5.1 Metal şekillendirmede sonlu elemanlar yöntemi	72

2.5.2 Simufact programı ile dövme simülasyonu	72
2.6 Süspansiyon Parçasının Mekanik ve İç Yapılarının İncelenmesi	76
2.6.1 Süspansiyon parçasının numune malzemesi ve hazırlanışı	76
2.6.2 Süspansiyon parçasının numune malzemesi ve hazırlanışı	78
2.6.3 Süspansiyon parçasının numunelerin sertlik ölçümü	79
BÖLÜM III BULGULAR VE TARTIŞMA	81
BÖLÜM IV SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR	93
ÖZ GEÇMİŞ	96



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dövme yöntemlerinin karşılaştırması	4
Çizelge 1.2. Dövme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	5
Çizelge 1.3. Karbonlu çeliklerin dövme sıcaklıkları	5
Çizelge 1.4. Açık kalıplarda dövmenin avantajları ve dezavantajları	7
Çizelge 1.5. Diğer dövme uygulamaları	13
Çizelge 1.6. Kalıp yağlarından beklenen özellikler.....	15
Çizelge 1.7. Dövme doldurmama hatası ve çözüm önerileri.....	20
Çizelge 1.8. İçe çekme hatası ve çözüm önerileri	21
Çizelge 1.9. Kalıp aşınması veya deformasyonu hatası ve çözüm önerileri	21
Çizelge 1.10. Kalıp kaçıklığı hatası ve çözüm önerileri.....	22
Çizelge 1.11. Çapak fazlalığı hatası ve çözüm önerileri	23
Çizelge 1.12. Eğilme hatası ve çözüm önerileri	23
Çizelge 1.13. Kat hatası ve çözüm önerileri.....	25
Çizelge 1.14. Tufal izleri hatası ve çözüm önerileri.....	26
Çizelge 1.15. Sıvanma hatası ve çözüm önerileri.....	27
Çizelge 1.16. Kazıma hatası ve çözüm önerileri	28
Çizelge 1.17. Malzeme kaynaklı veya iç hatalar	28
Çizelge 1.18. Ölü bölge hatası ve çözüm önerileri.....	29
Çizelge 1.19. Tane sınırı ergime hatası ve çözüm önerileri	30
Çizelge 1.20. Kayma bantları hatası ve çözüm önerileri.....	31
Çizelge 1.21. Yüzey çatlakları hatası ve çözüm önerileri	32
Çizelge 1.22. Çekiç tezgahlarının avantajları ve dezavantajları.....	34
Çizelge 1.23. Friksiyon tezgahlarının avantajları ve dezavantajları.....	35
Çizelge 1.24. Hidrolik preslerin avantajları ve dezavantajları	36
Çizelge 1.25. Mekanik preslerin avantajları ve dezavantajları.....	37
Çizelge 1.26. Boyuna hadde tezgahların avantajları ve dezavantajları	38
Çizelge 1.27. Çapak oluşumuna göre çeşitli kalıp türleri.....	41
Çizelge 1.28. Dövme çekiçleri kalıplarına uygulanan tek taraflı eğim açıları	46
Çizelge 1.29. Malzemenin cinsine göre kalıba uygulanacak tek taraflı eğim açıları	46
Çizelge 1.30. Bazı çelik türlerinde ve tav sıcaklıklarına göre verilecek çekme payları	47

Çizelge 1.31. Boyut toleransları	48
Çizelge 1.32. Kenar ve köşe yuvarlatmaları.....	49
Çizelge 1.33. Çapak boşluğu çeşitleri	50
Çizelge 1.34. Çapak geçiş aralığı tablosu.....	52
Çizelge 1.35. Ağırlığa göre ip katsayı tablosu.....	52
Çizelge 1.36. Çeşitli kalıp kılavuzlama tipleri	53
Çizelge 1.37. Sıcak takım çeliklerinin özelliklerine göre karşılaştırılması	54
Çizelge 2.1. Araçlara etki eden kuvvetler.....	55
Çizelge 2.2. Süspansiyon parçasının iş akış prosesi ve taşıma mesafesi.....	57
Çizelge 2.3. Simufact programı kullanım alanları.....	72
Çizelge 2.4. Simufact programı ile analiz	73
Çizelge 2.5. Temel simülasyon için girdiler.....	76
Çizelge 2.6. TS 138 A Standardına göre hazırlanan numune ölçüleri	77
Çizelge 3.1. Yeni proses mesafeleri	82
Çizelge 3.2. Süspansiyon parçalarından beklenen minimum mekanik özellikler.....	83
Çizelge 3.3. Eski ve yeni prosesler için mekanik test sonuçlarının karşılaştırılması	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Üretim yöntemlerine göre malzemenin iç yapısı	6
Şekil 1.2. Açık kalıpla dövme yöntemleri (a) ve uygulamaları (b)	7
Şekil 1.3. Açık kalıpta sürtünmeli yığıma işlemi	8
Şekil 1.4. Açık kalıpta uzatma işlemi (a) ve uygulama (b)	8
Şekil 1.5. Dişi kalıp ve zımba.....	9
Şekil 1.6. Açık kalıpta yarma işlemi.....	9
Şekil 1.7. Açık kalıpta basamak yapma işlemi.....	10
Şekil 1.8. Bükme işlemi sonunda malzemedeki değişim	10
Şekil 1.9. Burma işlemi ve sonucundaki değişim.....	11
Şekil 1.10. U şeklindeki bir parçanın dövme kademeleri.....	11
Şekil 1.11. Kapalı kalıpta çapaklı dövme	12
Şekil 1.12. Kapalı kalıpla dövülen örnek parçalar.....	13
Şekil 1.13. Çeşitli yağlamanın türlerini gösteren Stribeck eğrisi	15
Şekil 1.14. Basmada birim şekil değiştirme	16
Şekil 1.15. Yüksek sıcaklıklarda yapılan şekil değiştirme işlemlerindeki etkisi.....	18
Şekil 1.16. Dövme hataları	19
Şekil 1.17. Yanlış tasarım nedenli kat hatası (a), ışık altında görülen kat hataları (b)...	25
Şekil 1.18. Dövme tezgahlarının sınıflandırılması	33
Şekil 1.19. Çekiç tezgahının (a) ve karşı vuruşlu çekiçlerin şematik gösterimi (b).....	34
Şekil 1.20. Friksiyon (vidalı pres) tezgahının şematik gösterimi	35
Şekil 1.21. Şematik hidrolik pres tezgahı (a) ve üretilen büyük bir parça (b).....	36
Şekil 1.22. Mekanik pres tezgahının şematik gösterimi.....	37
Şekil 1.23. Boyuna hadde tezgahının şematik gösterimi.....	38
Şekil 1.24. Dövme parçasının tasarlanmasında ve geliştirilmesindeki önemli faktörler	39
Şekil 1.25. Kalıpta dövmeye ilişkili dikkate alınacak özel bazı tasarım faktörleri	39
Şekil 1.26. Rotilli kol şekli ve kullanıldığı yer (a) ve rotilli kolun 3B modeli (b).....	40
Şekil 1.27. Biyel kalıp seti.....	42
Şekil 1.28. Ön dövmeli üretilen dövme parçaları.....	43
Şekil 1.29. Kesit taşıma yöntemi ile ön şeklin belirlenmesi.....	44
Şekil 1.30. Kalıp ayırma çizgisi örnekleri (a) ve süspansiyon parçasının K.A.Ç. (b)....	45

Şekil 1.31. Süspansiyon parçasına verilen eğim açıları.....	45
Şekil 1.32. Kenar ve köşe yuvarlatmaları.....	49
Şekil 1.33. Çapak boşluğu tanımları.....	52
Şekil 2.1. Süspansiyon sistemi	56
Şekil 2.2. Ürünün spagetti diyagramı	58
Şekil 2.3. Eğilme hatası için yapılan balık kılçığı diyagramı.....	59
Şekil 2.4. Doldurmama hatası için yapılan balık kılçığı diyagramı	60
Şekil 2.5. Kat hatası için yapılan balık kılçığı diyagramı.....	61
Şekil 2.6. Eğilme hatası için izlenecek akış.....	62
Şekil 2.7. Eski çapak kesme ve delme kalıbı.....	62
Şekil 2.8. Yeni sıcak kalibre delme ve çapak kesme delme kalıbı.....	63
Şekil 2.9. Dövme doldurmama ve kat (katmer) hatası için izlenecek akış.....	64
Şekil 2.10. Süspansiyon parçasındaki kesit geçişleri	67
Şekil 2.11. Ezme oranlarının düzenlenmesiyle elde edilen homojen parça genişliği.....	68
Şekil 2.12. Süspansiyon parçasının kütle ağırlık dağılım analizi	69
Şekil 2.13. Süspansiyon parçasının haddelenmiş ürün tasarımı	70
Şekil 2.14. Süspansiyon parçasının şekillendirme adımları	70
Şekil 2.15. Süspansiyon parçasının iki ve üç boyutlu geometrisi	71
Şekil 2.16. Süspansiyon parçasının üç boyutlu makara geometrisi.....	71
Şekil 2.17. Simufact programı ara yüzü	73
Şekil 2.18. Simülasyon parçalarından alt kalıp (a), üst kalıp (b) ve rekvals model (c)..	75
Şekil 2.19. TS 138 A'ya göre standart bir çekme test numunesinin temsili gösterilişi..	77
Şekil 3.1. Yeni proses ile üretilen numunelere ait çekme deneyi diyagramı.....	83
Şekil 3.2. Sertlik değerlerinin değişimi	85
Şekil 3.3. Yeni proses sonrası (a), Simufact ile analiz sonrası (b) çapak oluşumları.....	87
Şekil 3.4. Simufact analiz sonuçlarına göre etkili gerilme dağılımı.....	88
Şekil 3.5. Simufact analiz sonuçlarına göre etkili gerilme dağılımı.....	88
Şekil 3.6. Simufact analiz sonuçlarına göre etkili plastik gerinim dağılımı.....	89
Şekil 3.7. Sıcaklığa göre ön dövme (a) ve son dövme esnasında (b) malzeme akış hızı 90	

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1.1. Kalıbı doldurmama hatasının parçadaki görünümü.....	19
Fotoğraf 1.2. İç çekme hatasının şekillenme sonuna doğru oluşumu	20
Fotoğraf 1.3. Kalıp aşınması sonucu geometri bozulması.....	21
Fotoğraf 1.4. Parçadaki kaçıklık.....	22
Fotoğraf 1.5. Parçadaki çapak fazlalığı	22
Fotoğraf 1.6. Hatalı bir parçada görülen eğilme durumu	23
Fotoğraf 1.7. Aşırı deformasyona uğramış olan makas.....	24
Fotoğraf 1.8. Tufalin temizlenmeden dövme yapılması sonucu oluşan kötü yüzey	26
Fotoğraf 1.9. Sıvanma yüzey hatası.....	27
Fotoğraf 1.10. Kazınmış yüzey hatası	28
Fotoğraf 1.11. Ekstrüzyon işleminde ölü bölge hatası	29
Fotoğraf 1.12. Tane sınır ergimesi hatası optik mikroskop (sol) ve SEM (sağ).....	30
Fotoğraf 1.13. Kayma bandı hatası.....	31
Fotoğraf 1.14 Yüzeyde görülen çatlak hatası	31
Fotoğraf 2.1. Mevcut dövme proses aşamaları ve çıkan ürünler.....	57
Fotoğraf 2.2. Doldurmama (a), kat hatası (b) ve eğilme hatası (c).....	58
Fotoğraf 2.3. Süspansiyon parçasında meydana gelen eğilme hatası	59
Fotoğraf 2.4. Dövme doldurmama hatası	60
Fotoğraf 2.5. Kat (katmer) hatası.....	61
Fotoğraf 2.6. Yeni sıcak kalibre delme ve çapak kesme delme kalıbını görünümü.....	63
Fotoğraf 2.7. Süspansiyon parçasının paso sayısı	66
Fotoğraf 2.8. Takisawa marka CNC torna tezgahı	77
Fotoğraf 2.9. Çekme testi cihazı (a), çekme testi diyagramı (b).....	78
Fotoğraf 2.10. Numune hazırlama işlemleri	79
Fotoğraf 2.11. Olympus BX51M model mikroskop.....	79
Fotoğraf 2.12. Numunelerin sertlik ölçme işlemi	80
Fotoğraf 3.1. Süspansiyon parçaları	81
Fotoğraf 3.2. Şahmerdan (a) ve rekvals (b) ile ön şekillendirme prosesleri.....	82
Fotoğraf 3.3. İç yapı görüntüleri.....	86
Fotoğraf 3.4. Eski ve yeni proses ile üretilen parçaların çapak oluşumları.....	86

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Gelişen dünya ile rekabetin her alanda arttığı günümüz koşullarında, firmaların bu rekabet koşullarına dayanabilmesi için üretimin en verimli şekilde yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Endüstride sıcak dövme işlemi ile üretilen parçalar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sıcak dövme özellikle yüksek şekillendirme enerjisi gerektiren parçaların üretiminde en çok kullanılan imalat yöntemlerinden biridir. Sıcak dövme yönteminde kullanılan kalıpların uygun bir şekilde tasarımı, artan rekabet ve azalan doğal kaynak açısından düşünüldüğünde büyük önem arz etmektedir. Tahmin edileceği üzere en pahalı yöntem deneme yanılma yöntemidir. Tasarıma bağlı olarak oluşan dövme hataları ile yılda binlerce ton hammadde israf edilmekte ve hurdaya atılmaktadır. 1 ton çeliğin üretimi için yaklaşık 1.1 ton demir cevheri, 630 kilogram kömür ve 55 kilogram kireç taşına ihtiyaç vardır. Bu israfın engellenmesi ile enerji ve hammadde de büyük tasarruflar sağlanabilir.

Günümüzde hemen her alandaki firmalar daha ekonomik, hatasız ve kaliteli bir şekilde üretilmiş parçaları tercih etmektedir. Sıcak dövme işleminde hatasız mamül üretebilmek için olası hataları önleyici tedbirler almak gerekir. Dolayısı ile bu çalışmada dövme yöntemlerine kısa bir bakışın ardından sıcak dövme proseslerinde karşılaşılan hatalar ve bunları ortadan kaldırmaya ve üretimi iyileştirmeye yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

Caporalli vd. (1998) yaptıkları “sıcak dövme tasarımı için uzman sistem” adlı çalışmalarında, dövme kalıplarının tasarımında ve özellikle karmaşık yapıya sahip parçaların dövme işleminde yazılım kullanmanın yararlarından bahsetmektedirler. Yazılım kullanmak suretiyle zamandan büyük oranda tasarruf sağlandığı vurgulanmaktadır.

Dövme üzerine Behrens vd. (2007) tarafından yapılan Ar-Ge çalışmalarında bilgisayar destekli mühendislik ve fiziksel modelleme tekniklerinin önceden uygulamansı sayesinde dövme kalıbı tasarımcısının ulaşılabilir toleransları iyileştirerek, kalıp ömrünü arttırarak,

akış hatalarını tespit edip iyileştirerek ve parça özelliklerinin nasıl olacağını önceden tahmin ederek maliyetleri düşürebildiği belirtilmektedir.

Mevcut simülasyon programları dövme sektöründe faydalı bir rol üstlenme açısından belirli bir olgunluk seviyesine ulaşmıştır. Bununla birlikte, halen geliştirilmesine de ihtiyaç olduğu bir gerçektir. Doğru sonuçlar için doğru verilerin girilmesi de önem arz etmektedir (Bramley vd., 2000).

Sıcak dövmede, başarısızlığın ana nedenlerinden biriside kalıp aşınmasıdır. Bir bileşenin son aşamasında kullanılan kapalı sıcak dövme kalıbının aşınma analizinde, dövme prosesinin simülasyonu yapılmıştır. Sonlu hacim metoduna dayalı ve aşınma derinliğinin sabit bir aşınma katsayısı ile değerlendirildiği bir yazılım ortaya konmuştur. Öncelikli olarak elde edilen sayısal sonuçlar, deneysel çalışma sonucu aşınmış kalıbın ölçüm sonuçları ile mukayese edilerek, kalıp yüzeyindeki farklı noktalar için aşınma katsayısı değerlendirilmiştir. Yüksek değerlerde gerilmelerin meydana geldiği bölgelerde, kalıpların plastik deformasyonunun da dikkate alınması bilindiği üzere önem arz etmektedir. Çalışma sıcaklığının, temas basıncının, kayma hızının ve temas süresinin aşınma derinliğine büyük etkilerinin olduğuda bulgular arasındadır (Abachi vd., 2010).

Çakır ve Nas (2016) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak dövme ile şekillendirilmiş AISI 1040 imalat çeliği kullanılmış ve sıcak dövme işleminin malzemenin mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Orta karbonlu olan AISI 1040 imalat çeliği 20 mm çapına indirgenilene kadar sıcak dövme işlemine tabi tutulmuştur. Sıcak dövme işlemi sonrasında malzemelere sertlik ölçme ve çekme testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak sıcak dövme işlemi uygulanmayan malzemenin mekanik özellikleri, sıcak dövme işleminin uygulandığı malzemeye göre daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Sıcak dövme işlemi ile malzemenin sertlik değerinde, akma, gerilme ve kopma dayanımında artış olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak inceleme esaslı yapılan bir literatür araştırmasında, Çin'de otomobil ve motosikletlerde kullanılan bağlantı kollarının geleneksel dövme metodlarından ziyade yeni hassas dövme teknolojileri ve ekipmanları ile üretildiğinden bahsedilmektedir (Wang ve He, 2004). Bağlantı çubuklarının üretiminde ön form için haddelemede üç boyutlu çeşitli yazılım uygulamalarının kullanımı, otomatik kütük besleme ve sıcaklık

kontrol sistemi kullanımı ve kesme, zımbalama ve kalibrasyon işlemlerini birleştiren bileşik kalıp kullanımı ile dövme parçası kalitesinin geliştirilebileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Ohio Devlet Üniversitesi'nden, Vazquez ve Altan (2000), bağlantı çubuğunun çapaksız üretimi ile ilgili kalıp tasarımında simülasyon kullanmışlardır. Bu çalışmada, sayısal modellemenin gerçek kalıplar ve ekipman ile denemeler yapmaya göre daha ucuz olduğu, bilgisayar destekli tasarımda kalıplar üzerinde değişiklik yapmanın daha ucuz ve ayrıca daha fazla zaman tasarrufu sağladığı, sonuçların gerçek denemelere göre çok daha hızlı alınabildiği, çapaksız dövmede önemli bir miktarda malzeme tasarrufu sağlandığı vurgulanmıştır.

Takım çatlamasına hasar mekaniği yaklaşımı ve takım çeliklerinin alt-sınır sünekliğinin incelenmesi ile birlikte optimum ön form tasarımı kullanılarak kalıp ömrünün önemli bir miktarda artırılmasının mümkün olduğu Lapovok (1998) tarafından yapılan çalışmada ifade edilmektedir.

Kalıp imalatı konusunda önemli parametreler ve gelecekteki gelişmelerle ilgili olarak Altan vd. (2010) tarafından yayınlanan bir çalışmada, üretim ve teslimat sürelerinin azaltılmasına önem atfedilmektedir. Ayrıca yazılım kullanmanın üretim ve gelişme sürecini olumlu etkileyeceği vurgulanmaktadır.

Bu çalışmada, AISI 1040 çeliğinden imal edilmiş süspansiyon parçasının sıcak dövme prosesleri gerçekleştirilmiş ve proses sırasında meydana gelen üretim kaynaklı hataların minimize edilmesi üzerine durulmuştur. Bu amaçla Simufact ve VeraCAD gibi ticari isimli sonlu elemanlar tekniği ile çalışan yazılımlardan faydalanılarak yeni bir proses türü öne sürülmüştür. Eski ve yeni proseslerin sonuçları, çekme ve sertlik ölçme gibi mekaniksel deneyler ve ayrıca mikro yapı analizleri de yapılarak karşılaştırılmıştır.

1.2 Dövmenin Temelleri

Dövme işlemi, darbe veya basınç altında kontrollü bir plastik deformasyon sağlanarak metale istenen şekli verme, tane boyutunu küçültme ve mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla uygulanan bir plastik şekil verme yöntemi olarak tanımlanır. Dövme

sıcaklıklarına göre sıcak, ılık ve soğuk dövme olarak uygulanabilmektedir. Sıcak dövme işlemi malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde yapılan dövme işlemidir. Ilık dövme ise malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının hemen altında yapılan dövme işlemidir. Oda sıcaklığı civarında yapılan dövme işlemine soğuk dövme denir. Malzemenin mutlak ergime sıcaklığı Kelvin (K) cinsinden T_e ve şekil verme sıcaklığı da T ile gösterilirse genel olarak şu şekilde dövme işlemleri tanımlanabilir (Atabey, 2006).

$T/T_e < 0.3$ → soğuk dövme

$T/T_e = 0.3-0.5$ → ılık dövme

$T/T_e > 0.5$ → sıcak dövme

Bu üç şekil verme yöntemi dövme sıcaklığının yanı sıra dövülen parçaların şekilleri, metal kalitesi, ön işlemlerin gerekliliği, yüzey pürüzlülüğü ve kalıp ömrü gibi değişkenler içinde birbirlerinden farklılıklar içermektedir. Bu üç metal dövme işlemi arasındaki kıyaslaması Çizelge 1.1’de verilmiştir (Başoğlu, 2006).

Çizelge 1.1. Dövme yöntemlerinin karşılaştırması

	Sıcak Dövme	Ilık Dövme	Soğuk Dövme
Dövme sıcaklığı	Genelde > 950 °C	Genelde 650 °C – 900 °C	Oda sıcaklığı
Parça şekli	Bütün şekiller	Genelde eksenden simetrik	Eksenden simetrik
Metal kalitesi	Genelde hepsi	Karbon: hepsi Diğer alaşımla: $< \% 10$	Düşük alaşımlı çelikler ($C < \% 0.5$, diğer $< \% 3$)
Ön işlemler	Gereksiz	Gerekli olursa yağlama	Fosfatlama, yağlama
Yüzey pürüzlülüğü	> 100 Rz	< 50 Rz	5-20 Rz
Kalıp ömrü	yaklaşık 5000 adet	yaklaşık 10000 adet	yaklaşık 20000 adet

Bu üç yöntemin avantajları ve dezavantajları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Dövme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları

Sıcak	Ilık	Soğuk
Avantajları: <ul style="list-style-type: none">• Karmaşık parça üretimi• Yüksek ağırlıkta parça üretimi• Yüksek deformasyon oranı• Düşük kalıp yükleri	Avantajları: <ul style="list-style-type: none">• Soğuk ve sıcak avantajlarının birleşimi• Daha yüksek deformasyon oranı• Daha düşük kalıp yükleri	Avantajları: <ul style="list-style-type: none">• Yüksek ölçüsel hassasiyet• Yüksek ürün dayanımı• Çok iyi yüzey kalitesi• Düşük fire miktarı• Bitmiş ürün
Dezavantajları: <ul style="list-style-type: none">• Cüruf oluşması (düşük yüzey kalitesi)• Düşük hassasiyet• Kalıp ön ısıtma ihtiyacı• Yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme gerekliliği	Dezavantajları: <ul style="list-style-type: none">• Kalıp ön ısıtma ihtiyacı• Yüksek sıcaklığa dayanıklı kalıp malzemesi gerekliliği• Hassas parçalar için ekstra kalibrasyon ve istasyon ihtiyacı• Daha düşük yüzey kalitesi	Dezavantajları: <ul style="list-style-type: none">• Yüksek kalıp yükleri• Düşük ağırlıklı parça üretimi• Çok istasyonlu pres ihtiyacı• Düşük deformasyon oranı

Alüminyumdan zirkonyuma kadar hemen hemen bütün metaller dövülerek şekillendirilebilir. Genellikle basit karbonlu ve az alaşımlı çelikler kullanılmaktadır. Karbonlu çeliklerin dövme sıcaklıklarının kıyaslaması Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Karbonlu çeliklerin dövme sıcaklıkları

Yüzde karbon miktarı	Maksimum dövme sıcaklığı	
	Karbonlu çelikler	Alaşımlı çelikler
0.01 C	1290 °C	1260 °C
0.02 C	1270 °C	1250 °C
0.03 C	1260 °C	1232 °C
0.04 C	1250 °C	1232 °C
0.05 C	1232 °C	1232 °C
0.06 C	1204 °C	1232 °C

Çizelge 1.3. (Devam) Karbonlu çeliklerin dövme sıcaklıkları

0.07 C	1190 °C	1204 °C
0.09 C	1150 °C	-
1.10 C	1100 °C	-

Dövme işleminin sağladığı üstünlükler:

- Döküm yapısında bulunabilecek boşluk, toplanma vb. iç yapı hataları ortadan kalkar veya azalır. Böylece sıkı bir doku elde edilmektedir (Şekil 1.1).
- İç yapıdaki lif oluşumu, parçanın çalışma ve yükleme şekline göre düzenlenir (lif yönlenmesine ilişkin mukavemet özelliğinden yararlanarak daha uzun ömürlü ve dayanımlı parçalar elde etmek mümkündür ve böylece küçük kesitli ve hafif parçalar elde edilir).
- Seri üretime çok elverişli olup işçilik süresi azalır. Parçaların hep aynı boyut ve toleranslar ile üretimi mümkün olur (dar tolerans limitleri ve yüzey düzgünlüğü sonucu hem malzemeden hem de talaşlı imalat işçiliğinden tasarruf sağlanır).
- Parça büyüklüğü yönünden de yöntem oldukça esnek olup birkaç gramdan ton mertebesine kadar parçalar üretilebilmektedir (Örnek: 10 m'lik boylara kadar uçak kanadı parçası vs.).
- Yüksek mukavemet özellikleri yanında fiziksel özellikler de (ısıl, korozyon, sürtünme dayanımı, vs.) iyileşir.
- Dövme işlemi sonradan uygulanacak işlemlere iyi bir uyum göstermektedir (dövme parçalarda gözeneklilik ve yapı hatalarının bulunmayışı ince taneli ve düzgün dağılımlı yapı şekli bu parçaların kolayca kaynak edilmesini ve talaşlı işlenebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca dövme parçalar, ısıl işlemlerin her türlü ile yüzey kaplama ve montaj gibi işlemlere de uyum göstermektedir (Odabaş, 2011).



Şekil 1.1. Üretim yöntemlerine göre malzemenin iç yapısı

1.3 Dövme Çeşitleri ve Uygulamaları

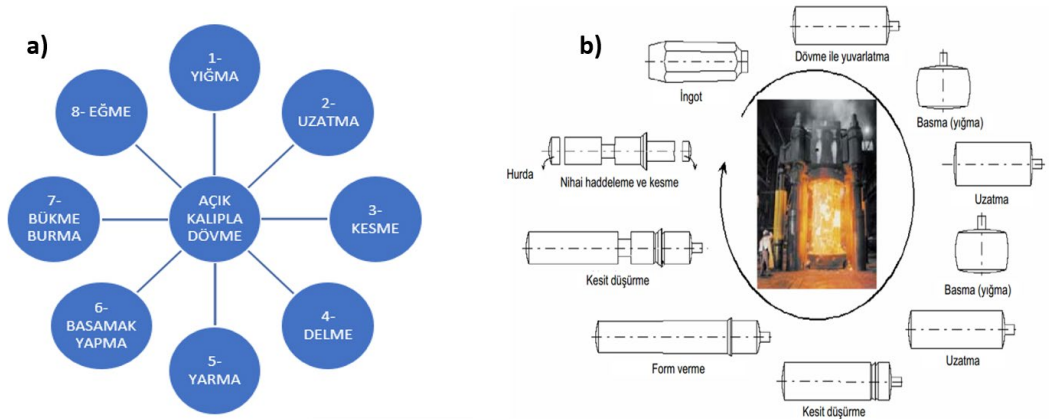
1.3.1 Açık kalıpla dövme

Açık kalıpla dövme, malzemenin düzlemsel veya basit şekilli kalıplar arasında dövüldüğü bir sıcak şekil verme yöntemidir (Odabaş, 2011). Çizelge 1.4’de açık kalıplarda dövmenin avantajları ve dezavantajları anlatılmıştır.

Çizelge 1.4. Açık kalıplarda dövmenin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar:	Dezavantajlar:
Kapalı kalıp dövülmesi mümkün olmayan büyük boyutlu parçalar üretilir.	Açık dövme kalıplarıyla üretilecek parçanın boyutları ve ağırlığı tav fırınlarına, taşıma sistemine ve dövme işlemini gerçekleştirecek diğer yardımcı ağırlara bağlı olarak sınırlanır.
Mekanik özellikler iyileşir.	Açık dövme kalıplarıyla üretilecek parçaya arzu edilen biçimin verilebilmesi için, dövme işlemini yapacak operatörün bilgi ve beceriye sahip olması gerekmektedir.
Çok küçük boyutlu parçalar düşük kalıp maliyeti ile üretilirler	Ayrıca, karışık biçimli parçaların üretiminde kullanılacak açık dövme kalıplarının maliyeti yüksektir.
Üretim çok kısa zamanda olur	

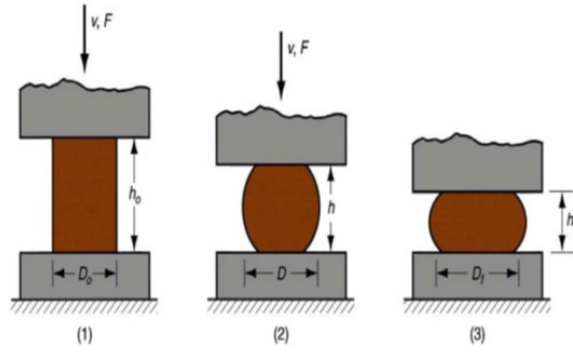
Açık kalıpla dövme yöntemleri ve uygulaması Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Açık kalıpla dövme yöntemleri (a) ve uygulamaları (b)

Yığıma

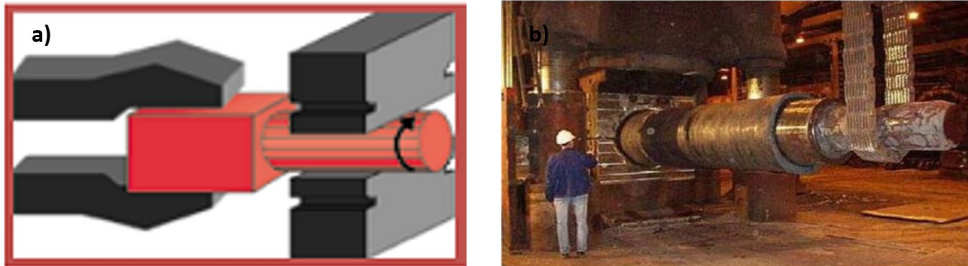
Küçük ve kısa parçalara eksenleri yönünde kuvvet uygulayarak, boylarının kısalması ve genişliklerinin artması işlemidir. Şekil 1.3’de görülen bu işlemde (2)’de iş parçası üniform bir şekilde deformasyona uğratılmıştır. Bu durum, sürtünmenin sıfır olduğu çok özel koşullarda sağlanabilir. Gerçek operasyonlarda ise (3)’de görüldüğü gibi fiçilaşma meydana gelir. Sürtünmeden dolayı meydana gelen fiçilaşma yağlamayla, ısıl etkiyle gerçekleşen fiçilaşma ise kalıpların ısıtılmasıyla indirgenebilir veya tamamen ortadan kaldırılabılır (Yiğitarıslan, 2009).



Şekil 1.3. Açık kalıpta sürtünmeli yığıma işlemi

Uzatma

İş parçasının uzunluğunu artırmak ve aynı zamanda kesitini küçültmek maksadıyla uygulanan bir işlemdir. Uzatmada iş parçasının eni de bir miktar büyür (yayıma). Yayılmayı gidermek için iş parçası 90° döndürülerek tekrar dövülür. Takım ağzı ne kadar dar olursa birim yüzeye isabet eden basınç da o kadar büyük dolayısıyla o kadar tesirli olur (Şekil 1.4) (Yiğitarıslan, 2009).



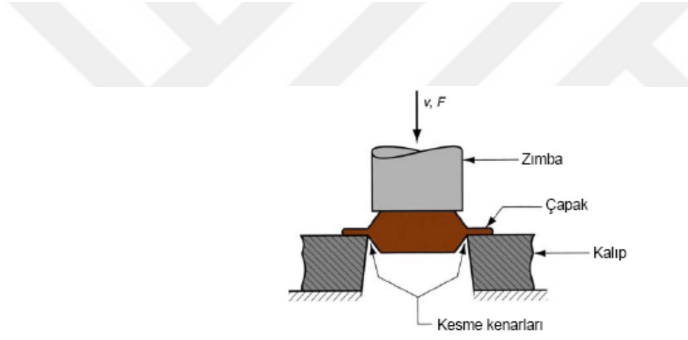
Şekil 1.4. Açık kalıpta uzatma işlemi (a) ve uygulama (b)

Kesme

Bir kütük özel kesme takımını ile kesilerek birden çok parçaya ayrılabilir. Sıcak kesmede 20° , soğuk kesmede ise 60° 'lik kesme açısı kullanılır. Büyük ve kalın parçalar şahmerdan altında kesilir. Kesme altlıklarının kullanılmasıyla, kesme daha kolaylıkla yapılabilir (Yiğitarıslan, 2009).

Delme

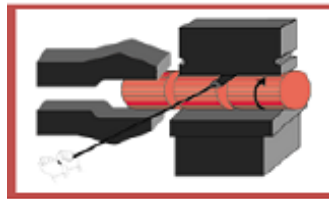
Bu işlemle iş parçaları bir zımba vasıtası ile boydan boya delinebileceği gibi kör delikler de açılabilir. Delme işlemi, zımbanın aşağı doğru hareket etmesiyle dişi kalıp içerisinden geçerek malzemenin temas ettiği bölgeleri basma kuvveti etkisi ile gerçekleşir (Şekil 1.5) (Yiğitarıslan, 2009).



Şekil 1.5. Dişi kalıp ve zımba

Yarma

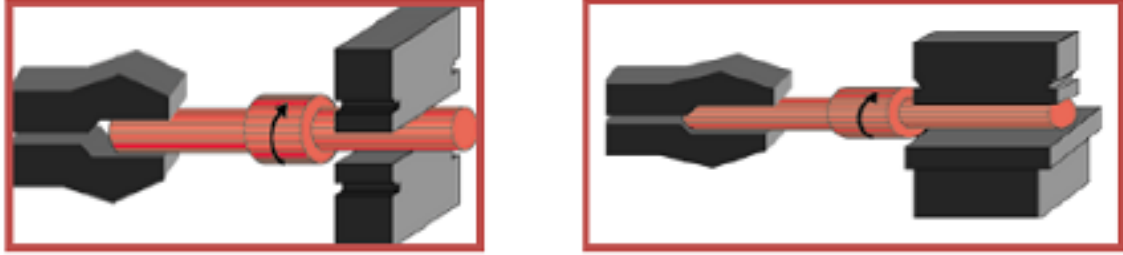
İş parçaları üzerinde çeşitli maksatlarla çentiklerin açılması gerekebilir. Bu işlem, yarma kesikleri vasıtasıyla çekiç veya şahmerdanlarla gerçekleştirilebilir (Şekil 1.6) (Yiğitarıslan, 2009).



Şekil 1.6. Açık kalıpta yarma işlemi

Basamak Yapma

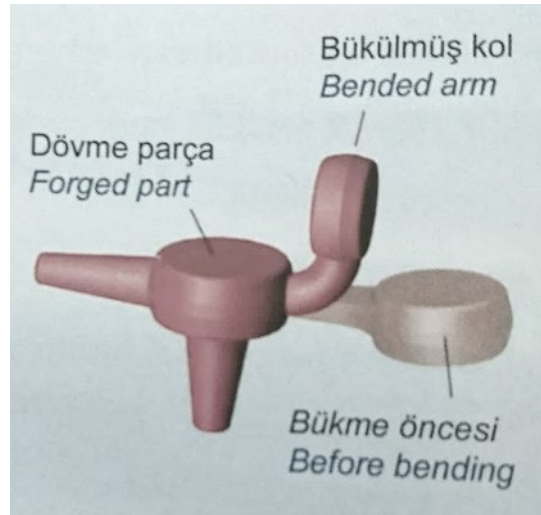
Basamak yapma, iş parçası üzerinde çeşitli kalınlıklar (kademe) meydana getirme işlemidir. Genellikle çekiçle veya şahmerdan ile yapılır. Tek taraflı veya çift taraflı yapılabilir (Şekil 1.7) (Yiğitarıslan, 2009).



Şekil 1.7. Açık kalıpta basamak yapma işlemi

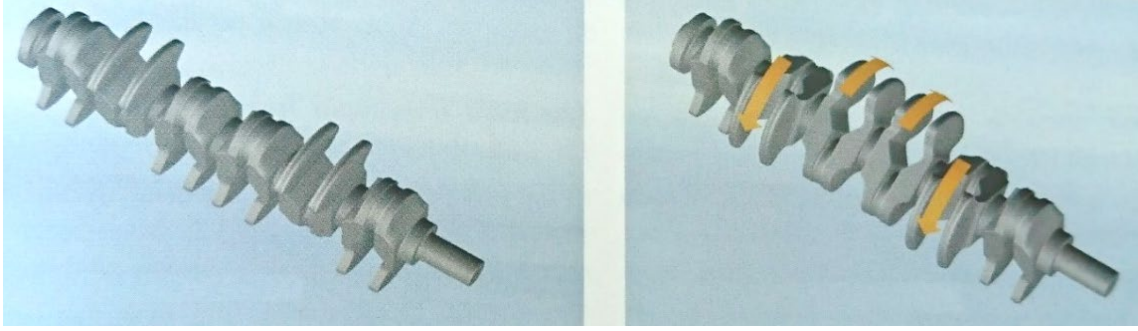
Bükme burma

Bükme işlemi taslak parçasına nihai şeklini vermek için son şekillendirme için kullanılır. Bükme sırasında geometrik unsurlar farklı geometrik konumlara getirilir (Şekil 1.8) (Yiğitarıslan, 2009).



Şekil 1.8. Bükme işlemi sonunda malzemedeki değişim

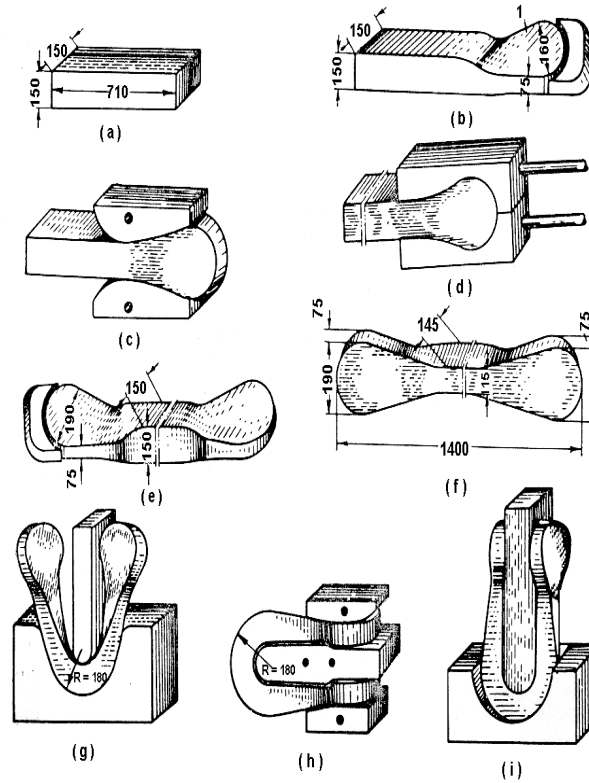
İş parçasını bir taraftan sabitleyerek diğer taraftan aksenal doğrultuda döndürülmesi olayıdır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Burma işlemi ve sonucundaki değişim

Eğme

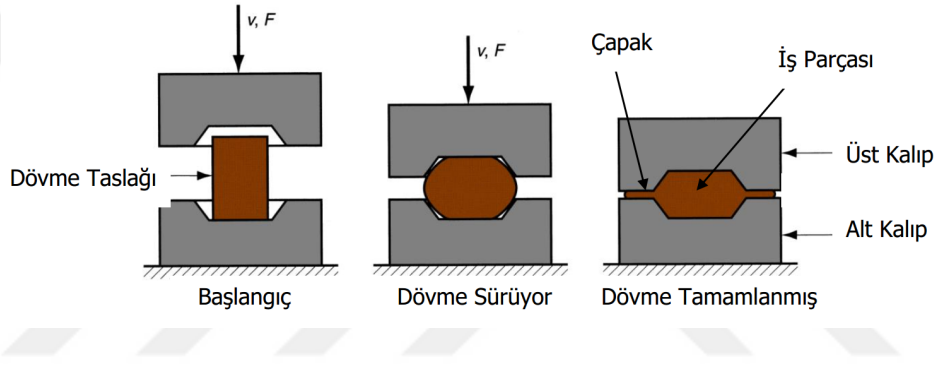
Eğme bir parçanın sıcak vaziyette serbest olarak eğilmesidir. Bu işlemde malzemenin iç kısmında kalan lifler büzülür, dış kısmında kalan lifler ise uzar. Değişmeyen ölçü sadece malzemenin ortasından geçen ve nötr eksen denilen bölgedir. Şekil 1.10'da eğme işlemi için çeşitli örnekler verilmiştir (Yiğitarıslan, 2009).



Şekil 1.10. U şeklindeki bir parçanın dövme kademeleri

1.3.2 Kapalı kalıpta çapaklı ve çapaksız dövme

Kapalı kalıpta çapaklı dövme işlemi sıcak olarak uygulanan bir işlemdir. Genellikle iki parçadan üretilen kalıp kapandığı zaman arada kalan gravür, üretilmek istenen parçanın şeklindedir. Şekil 1.11’de görüldüğü üzere işlenmiş bir kalıp ile metal akışı kontrol altına alınarak istenilen boyutlarda bir parça elde edilir. Bu işlem esnasında az miktarda bir malzeme kalıbın dışına çıkmaya zorlanır ve bu şekilde kalıp kapandıkça çapak inceler. Çapak çok çabuk soğur ve deformasyona karşı aşırı bir direnç gösterir ve bu şekilde kalıbın içindeki basıncı arttırarak metalin kalıbın dolmayan yerlerine doğru akma eğiliminde olmasını sağlayarak eksiksiz dolmaya yardımcı olur (Serim, 1975).



Şekil 1.11. Kapalı kalıpta çapaklı dövme

Kapalı kalıpta dövmenin avantajları;

- 1) Açık dövme kalıplarına oranla kapalı dövme kalıplarıyla üretilen parçalar arzu edilen biçim ve toleranslar içerisinde dövülebilir.
- 2) Ayrıca kapalı dövme kalıplarıyla üretilen parçaların kalıp içerisindeki dövme hadde yönü kontrol edilebildiği gibi dövülen parçaların mekanik özellikleri de artar.
- 3) Kapalı dövme kalıplarıyla üretilen parçanın malzemesi, kalıplama boşluğu hacmine uygun olarak yuvarlak, kare ve altıgen çubuklardan kesilir.
- 4) Ayrıca kalıpta çapak boşluğu varsa çapak boşluğu hacmine uygun miktardaki malzeme esas kalıplama hacmine ilave edilir.
- 5) Kapalı dövme kalıplarıyla 100-150 gramdan bir kaç ton ağırlığa kadar artabilen çok çeşitli parçalar dövülebilir (Şekil 1.12) (Odabaşı, 2011).



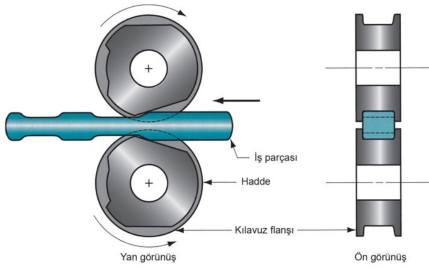
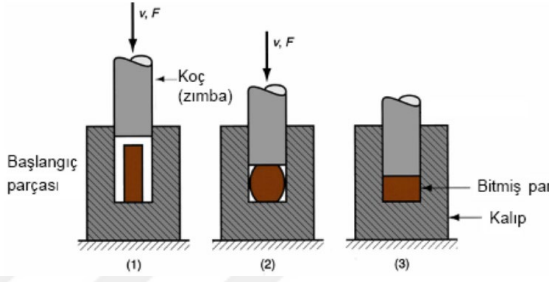
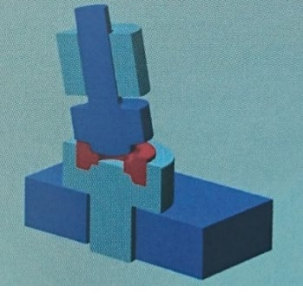
Şekil 1.12. Kapalı kalıpla dövülen örnek parçalar

Diğer dövme uygulamaları ise Çizelge 1.5’de verilmiştir (Yığıtarıslan, 2009).

Çizelge 1.5. Diğer dövme uygulamaları

<p>1- Yatay dövme: Bu yöntemde hammaddenin bir kısmı veya tümünde kesit yüzeyi büyütülür. Sıcak ve soğuk olarak uygulanabilir.</p>	
<p>2- İzotermal dövme: Bu yöntemde kalıplar ve dövme malzemesi sıcaklıkları birbirine yakın tutulur. Bu metot, daha çok süper plastik alaşımlarda uygulanır. Hidrolik presler kullanılır.</p>	
<p>3- Radyal dövme: İki veya daha çok sayıda kalıbın radyal hareketi ile dövme işlemidir. Sıcak ve soğuk uygulanabilir.</p>	

Çizelge 1.5. (Devam) Diğer dövme uygulamaları

<p>4- Dövme haddeleri şekillendirme: Uzun ve ince parçaların dövülerek üretilmesinde ön şekillendirme işlemi olarak uygulanan bu yöntem sıcak dövme iş parçası uygun şekilde hazırlanan haddelerin arasında geçirme işlemidir.</p>	
<p>5- Hassas dövme: Metalin bir tarafından uygulanan kuvvetle herhangi bir malzeme kaybı olmadan kalıp boşluğunu doldurması işlemidir. Soğuk veya sıcak olarak uygulanabilir. Ham madde hacmi çok dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.</p>	
<p>6- Orbital dövme: Malzemenin, yörüngesel hareket yapan bir üst ve herhangi bir rotasyon hareketi olmayan bir alt kalıp arasında dövülerek şekillendirilmesidir.</p>	

1.3.3 Dövme işlemi etki eden faktörler

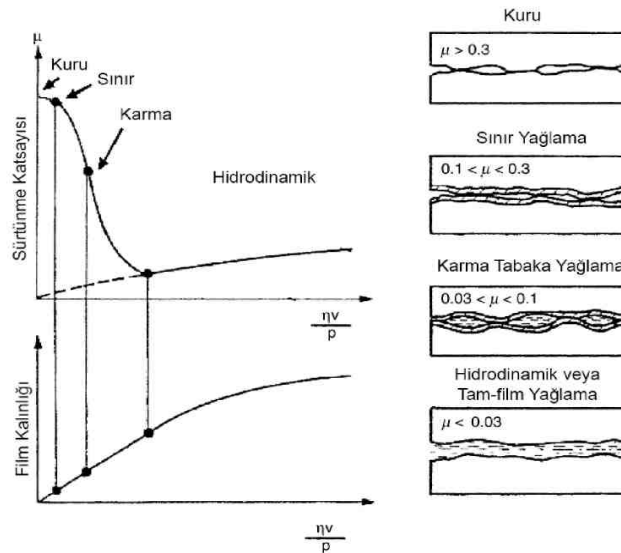
Kalıp yağları

Plastik şekillendirmenin her yönteminde olduğu gibi dövme ile şekillendirmede de kalıp yağlarının kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Sıcak veya soğuk olarak basma kuvvetleri etkisinde şekillendirilmesi sırasında kullanılan bu yağlar dövme yükünü, kalıp sıcaklığını ve kalıp aşınmasını azaltmak, metal akışının düzgünlüğünü sağlamak, iş parçasının veya tufalin kalıba yapıştığı hallerde ve dövme malzemesinin oksitlere sıkıca yapıştığı durumlarda bunları ayırmak için kullanılır. Adiloğlu'na (2008) göre kalıp yağlarının kullanılması ve kalıp yağlarından beklenen özellikler özet olarak Çizelge 1.6'da verilmiştir.

Çizelge 1.6. Kalıp yağlarından beklenen özellikler

Yağlama	Ayırma	Soğutma	Koruma
Kalıp yüzeyini iş parçasının daha kolay akabileceği hale getirerek, kalıp boşluğunu tamamen doldurmasını sağlamak	İş parçasının dövme işlemi sonrasında kalıptan kolayca ve zarar görmeden ayrılmasını sağlamak	Kalıp üzerinde iş parçası kaynaklı oluşan ısıyı gidererek, termal çatlama ve yüksek sıcaklık aşınmalarını önlemek veya geciktirmek.	Kalıp dayanıklılığını ve ömrünü (iç yapısal olarak) olabildiğince yüksek tutarak en ekonomik dövme prosesine ulaşmada katkıda bulunmak

Metal şekillendirmede, sürtünme koşullarını etkileyen dört temel yağlama tipi vardır. Bunlar; kuru koşullar (yağlayıcı yok), sınır yağlama, tam-film yağlama veya hidrokinamik koşullar ve karma tabaka yağlamadır. Şekil 1.13'deki Stribeck eğrisi, yağlamanın çeşitli türlerinde sürtünme katsayısını (μ) yağlayıcı viskozitesinin (ν), kayma hızının (v) ve normal basıncın (p) kombinasyonunun bir fonksiyonu olarak göstermektedir (Karadağlı, 2011).

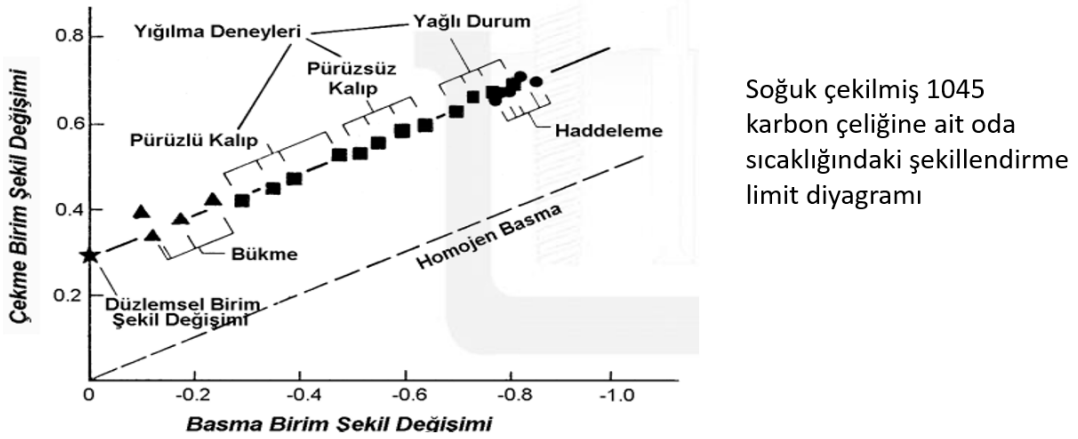


Şekil 1.13. Çeşitli yağlamanın türlerini gösteren Stribeck eğrisi

Düz kalıplarda iyi sonuçlar veren yağlayıcılar, kapalı kalıplarla her zaman iyi sonuçlar vermezler. Çünkü bu iki tipin gereksinimleri benzer değildir. Düz kalıplardaki ana gereksinim, yanal malzeme akışının lehine olan düşük sürtünme katsayısıdır. Fakat çoğu kapalı kalıpta yanal akış, kalıbın dikey olarak dolmasını sağlamak için özellikle engellenir. Sonuç olarak, kapalı kalıplar için ideal yağlayıcı, kalıp boşluğunun dikey yüzeylerinde minimum sürtünme ve çapak boşluğuna yakın yerlerde maksimum sürtünmeyi sağlamalıdır (Karadağlı, 2011).

Sürtünmenin etkisi

Bütün plastik şekil verme işlemlerinde iş parçası ile takımlar veya kalıplar arasında sürtünme vardır. Bu nedenle, malzeme akışı engellenir ve hasara eğilim oluşur. Sürtünme değerinin artışı ile iş parçası yüzeyinde hasar oluşumu daha az şekil değişiminde gerçekleşir. Yağlama ile sürtünmenin kontrolü metallere plastik şekil vermede işleminde önemlidir. Eğer sürtünme düşükse, basma birim şekil değiştirme - çekme birim şekil değiştirme doğrusaldır. Yüksek şekil değişimlerinde ilişki doğrusal değildir ve eğim yükselir (Şekil 1.14) (Karadeniz, 1997).



Şekil 1.14. Basmada birim şekil değiştirme

Dövme sıcaklığı

Dövme sıcaklığı arttıkça şekil değiştirme kabiliyeti artar, plastik gerilme azalır ve böylece metalin kalıbı doldurma kabiliyeti artar. Ancak aşırı ısıtma daha önce görüldüğü gibi aşırı

tane büyümesine veya bazı hallerde ikinci faz ergimesine neden olabileceğinden zararlı olabilir.

Kalıp sıcaklığı ve yüzeyi

Kalıpların ısıtma işlemi ile kalıp doldurma özelliği iyileşir ve dövme basıncı azalır. Kalıpların termal şoka girmesi (kılcal çatlaklar oluşması) engellenir. Kalıp ömrünü iyileştirir. Kalıp sıcaklığı 100-300 °C kadar ısıtılır. Bu sıcaklıklarda sıcaklıklar da su ve yağ esaslı yağlayıcılar yetersiz kalabilir. Grafit esaslı yağlayıcılar kullanılabilir (Karadeniz, 1997).

Tane boyutunun etkisi

Metalik malzemelerin dövülebilirliğine etki eden parametrelerden tane boyutu için genel bir yaklaşım, ince taneli yapıların yüksek kırılma tokluğu ve süneklik özelliklerine sahip olmasına karşılık mukavemetlerinin yüksek olması nedeniyle plastik şekil değişimi için daha büyük gerilme gerektiğidir (Karadeniz, 1997).

Gerilme halinin etkisi

Metal malzemelerin dövülebilirliğini tanımlamada faydalanılan mukavemet ve süneklik değerleri şekil değişimi süresince uygulanan gerilme hallerinden etkilenmektedir. Bunun nedeni, hasara neden olan gerilme değerinin tek eksenli, çift eksenli ve üç eksenli olması durumuna göre değişim göstermesi ve hasar oluşum mekanizmalarına etki etmesidir (Karadeniz, 1997).

Şekil değiştirme hızının etkisi

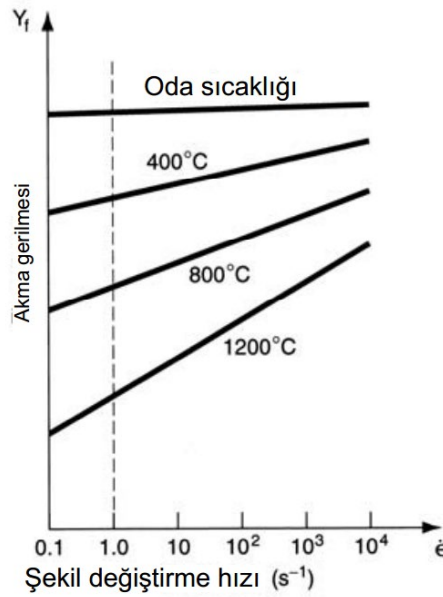
Tarif olarak şekil değiştirme hızı $\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt$ şeklinde ifade edilir. Dövülebilirlik deneylerinde önemli bir değişken olup kontrolü zor olmaktadır. L boyundaki ve h yüksekliğindeki bir silindirin yığılmasında gerçek birim şekil değiştirme hızı ($\dot{\epsilon}$):

$$\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt = (l/h) \times (dh/dt) = v/t \quad (1.1)$$

t = zaman

v = takım hızı

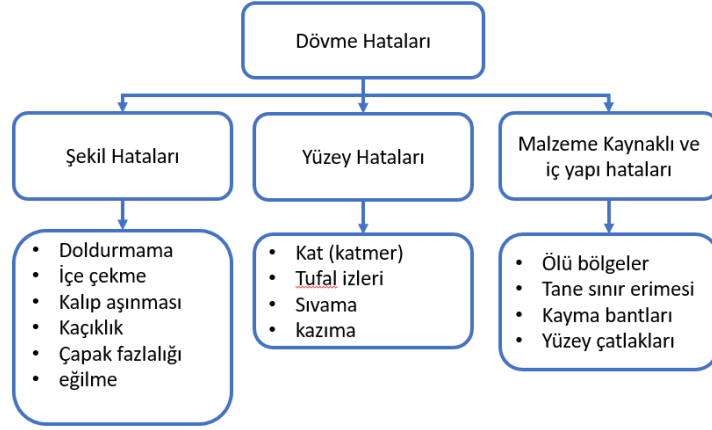
Metal malzemelerin dövülebilirliği üzerine birim şekil değiştirme hızının etkisi işlem sıcaklığına göre farklılık göstermektedir. Oda sıcaklığında yapılan şekil değiştirme işlemlerindeki etkisi nisbeten önemsizdir. Fakat çok yüksek birim şekil değiştirme hızları için bu geçerli değildir ve hasar daha az şekil değişiminde gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan şekil değiştirme işlemlerindeki etkisi Şekil 1.15’de görüldüğü gibi daha belirgin olmaktadır (Vural, 2005). Birim şekil değiştirme hızı işlemi gerçekleştiren gerilme değerleri üzerinde de etkili olmaktadır. Genel olarak hızın artışı ile akma dayanımı ve hasara neden olan gerilme değeri artmaktadır (Karadeniz, 1997).



Şekil 1.15. Yüksek sıcaklıklarda yapılan şekil değiştirme işlemlerindeki etkisi

1.4 Sıcak Dövme İşleminde Görülen Dövme Hataları

Dövme sırasında doğabilecek hataların önceden bilinerek, tasarımı bu hataları doğurmayacak şekilde oluşturulması hem zaman hem de maddi kayıpları en aza indirmesi bakımından son derece önemlidir. Bu sayede verimliliğin ve kalitenin artırılması yanında dövme maliyetinin düşürülmesi de sağlanmış olacaktır. Dövme parçalarda görülen en sık hatalar aşağıda üç sınıfta ele alınmıştır (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Dövme hataları

1.4.1 Şekil hataları

Sıcak dövme işleminde belli başlı geometrik kusurlar vardır. Çoğu şekil hatalarının ana sebebi yetersiz süreç ve ön şekillendirilmedir. Tasarım safhasında dövme sürecini etkileyen faktörler iyi bilmesi gerekir.

1.4.2 Doldurmama

Fotoğraf 1.1’den görüleceği üzere malzemenin kalıbı tam doldurmaması yüzünden oluşan şekil kaynaklı dövme hatalarıdır. Çizelge 1.7’de dövme doldurmama hatası ve bunun için çözüm önerileri verilmiştir (Makas, 2016).



Fotoğraf 1.1. Kalıbı doldurmama hatasının parçadaki görünümü

Çizelge 1.7. Dövme doldurmama hatası ve çözüm önerileri

Hata nedenleri	Çözüm önerileri
Ön dövme kullanılmaması veya ön dövmenin hatalı olması	Ön dövme işlemi yapmak ve ön dövme analizi programları kontrol ile yapmak
Tezgah gücünün yetersiz gelmesi	Gerekli güç hesaplamaları yapmak ve tezgah gerçek gücü ölçmek gerekir.
İyi yağlama yapılmaması	Otomatik yağlama sistemleri veya daha iyi yağlayıcı özelliği olan yağ ile değiştirmek
Malzeme gramajının az olması	Gerekli hammadde hesaplamalarını yapmak ve analiz ile kontrol etmek. Hassas kesme işlemi yapmak
Malzeme tav sıcaklığının az olması	Malzemeye göre istenen sıcaklığa getirmek ve sürekli kontrol etmek
Kalıp dizaynından kaynaklanan hatalar (eğim açıları, radyüs vs.)	Tablodaki verilere göre dizayn yapmak ve dövme analizi ile kontrol etmek
Gaz sıkışmaları	Özellikle köşe doldurmama gaz sıkışması ile oluşur. Ön dövme kalıbına gaz çıkma deliği konulması gerekir.
Hatalı konumlandırma	Parçaya göre kalıba dayama konulması mümkünse yapılmalı veya robotik sistemler araştırılmalı

1.4.3 İçe çekme

Ekstrüzyon dövme veya diğer işlemler esnasında büyük kesit değişimleri durumunda malzemelerde çekme hatası olabilir. Bu hata sıg bir doldurmamadan ciddi bir soğuk kaynama ile sonuçlanabilir (Fotoğraf 1.2). Çizelge 1.8’de içe çekme hatası ve bunun için çözüm önerileri verilmiştir (Makas, 2016).



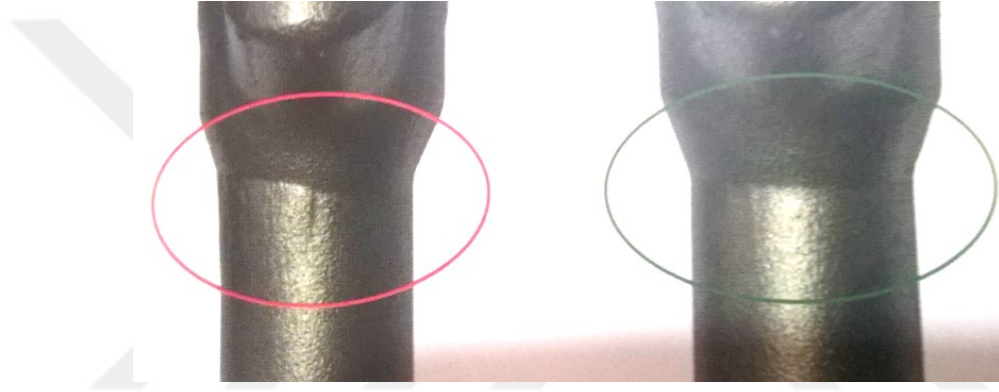
Fotoğraf 1.2. İçe çekme hatasının şekillenme sonuna doğru oluşumu

Çizelge 1.8. İçe çekme hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Yeterli malzeme hacmi kalmaması	Kalıp gravür ya da ön dövme kalıp dizaynı değişiklik yapılması gerekir.

1.4.4 Kalıp aşınması veya deformasyonu

Kalıp aşınması ve deformasyonu sonucunda dövme parçaların üzerinde görülen en tipik yüzey hatalarıdır (Fotoğraf 1.3). Çizelge 1.9’da kalıp aşınması veya deformasyonu hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur (Makas, 2016).



Fotoğraf 1.3. Kalıp aşınması sonucu geometri bozulması

Çizelge 1.9. Kalıp aşınması veya deformasyonu hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Yüksek malzeme akış hızı olması	Yüzey işlem ve sertleştirme yapılabilir. Bazı durumlarda bu işlemler kalıp kırılmasına neden olabilir. Malzeme akış hızını azaltacak süreç tasarımı yapılması gerekir.
Kalıp malzemesinin yetersiz olması	Daha uygun kalıp malzemesi ve yüzey basıncını azaltacak işlemler yapılmalı.

1.4.5 Kalıp kaçıklığı

Alt ve üst kalıbın gravür eksenlerinin üst-üste gelmemesi olayıdır (Fotoğraf 1.4). Çizelge 1.10’da kalıp kaçıklığı hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur (Makas, 2016).



Fotoğraf 1.4. Parçadaki kaçıklık

Çizelge 1.10. Kalıp kaçıklığı hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Alt ve üst kalıp boşlukları tolerans içerisinde hazırlanmaması	Alçı veya kükürt ile model kontrol edilmeli. Karışık modelleri için kalıplar tarama cihazı ile kontrol edilmeli. Toleranslar EN 10243 standardı kullanılabilir.
Kafesleme ve pimlerin aşınmış olması	Kafeslemeli ve merkezleme pimli kalıplarda kalıp boşluğu 0,2 mm'yi geçmemelidir.
Tezgâhlardaki kızak boşluğu fazla olması	Tezgâhlardaki kızak boşluğunu azaltmak

1.4.6 Çapak fazlalığı

Dövme kalıbı ile çapak makasındaki uyumsuzluktan dolayı kesilmiş parçada kalan yada fazla alınan parçadır (Fotoğraf 1.5). Çizelge 1.11'de çapak fazlalığı hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur (Makas, 2016).



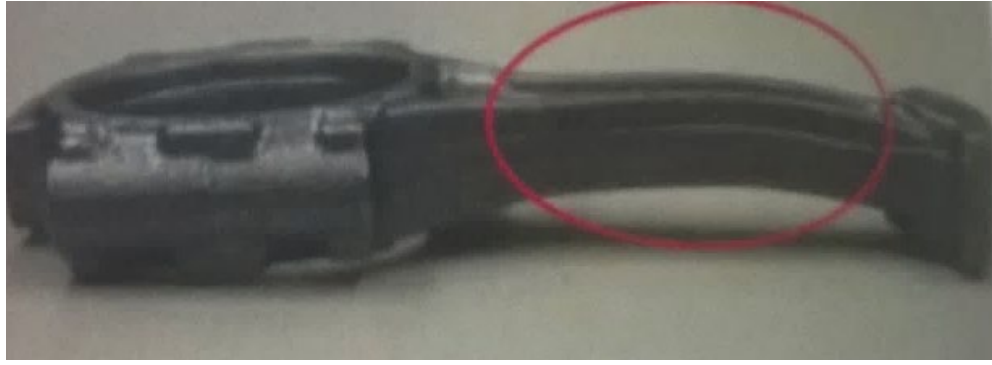
Fotoğraf 1.5. Parçadaki çapak fazlalığı

Çizelge 1.11. Çapak fazlalığı hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Dövme kalıbı ile çapak makasındaki uyumsuz olması	Kesme işleminin ideal şekilde tasarlamak (EN-10243-01)

1.4.7 Eğilme

Eğilme, dövme parçalarda genellikle çapak veya delik kesme operasyonunda meydana gelen bir olaydır. (Fotoğraf 1.6) Eğilme hatası bir eksenin diğer eksenlerden fazla uzamasıdır. Çizelge 1.12’de eğilme hatası ve çözüm önerileri verilmiştir (Makas, 2016).

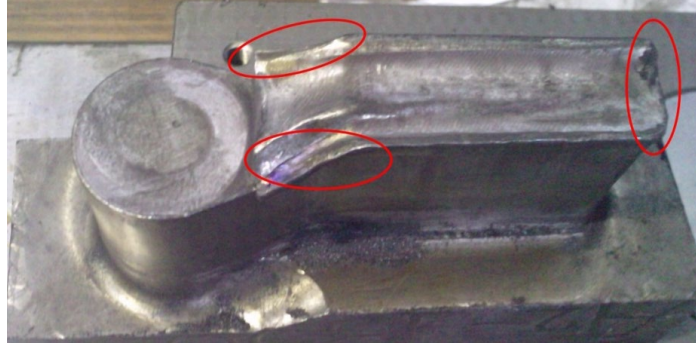


Fotoğraf 1.6. Hatalı bir parçada görülen eğilme durumu

Çizelge 1.12. Eğilme hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Makasın parçaya tam temas etmemesi veya tam oturmamasıdır.	Kesme işleminin ideal şekilde tasarlamak ve üretmek (EN-10243-01)
Makasta meydana gelen aşırı deformasyonlar.	Kesme işlemi gerçekleşen parçaların görsel kontrol frekanslarını artırmak ve kalıp avadanlıkları takip etmek.

Fotoğraf 1.7’de görüleceği üzere aşırı deformasyona uğramış olan makas sonucu eğilme, çapak bırakma gibi dövme hataları meydana gelebilir.



Fotoğraf 1.7. Aşırı deformasyona uğramış olan makas

Bazı parçalarda özellikleri itibariyle eğilme olabilir. Bu durumda parça sıcak kalibre (ütüleme) ile düzeltilmelidir.

1.4.8 Yüzey hataları

En çok rastlanan yüzey hataları şunlardır.

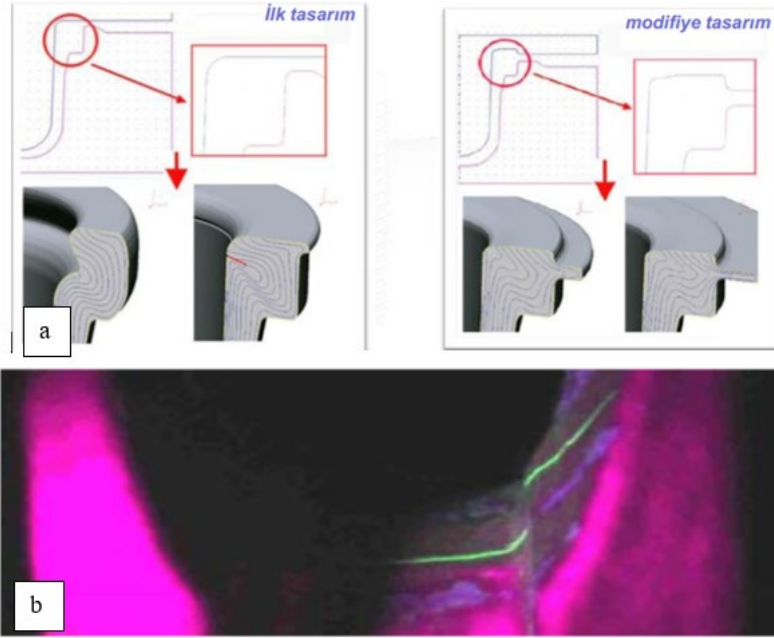
- Kat (katmer)
- Tufal izleri
- Sıvama
- Kazıma

Kat hataları (katmer)

Dövülen parçada iki ayrı hattın darbe sonucu bir araya gelip tek hat oluşturmasından meydana gelen ve istenmeyen bir durumdur. Şekil 1.17’de yanlış tasarım nedenli oluşan kat hataları ve mor ötesi ışık altında görülen kat hataları görülmektedir. En yaygın görülen yüzey hatasıdır. Kat hataları genel olarak iki sebepten oluşur (Makas, 2016).

- İş parçası yüzeyi kalıp temas halinde iken çekme gerilmesi tarafından malzeme içine doğru hareket ettirilir ve kendi kendine kapatır. Buna ters akış katlanması denir.
- İş parçası veya ön dövme yüzeyinin kalıp kenarı tarafından sıyırılması ile bölgesel kat (sıyırma) oluşabilir. Genelde bir kalıp kenarının malzemeyi önündeki bir alt yüzeye yığması ve burada bariz deformasyon şeklinde görülür.

Ön dövme tasarımı, parçanın gravür üzerinde konumlanması, yağlama kat oluşumunu önlemek için iyileştirme konularının başında gelir. Çizelge 1.13’de kat hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur.



Şekil 1.17. Yanlış tasarım nedenli kat hatası (a), ışık altında görülen kat hataları (b)

Çizelge 1.13. Kat hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Kalıp radyüslerinin küçük olması	Kalıpta malzeme akış radyüslerini gereği kadar büyük tutmak gerekir. Özellikle ön şekil kalıpları dizayn edilirken bu husus göz önünde bulundurulmalıdır. Radyüsler ne kadar büyük olursa malzemenin akışı o kadar kolay gerçekleşecektir.
Malzeme tavının uygun olmaması	Malzeme tavının uygun olması çok önemlidir. Fırın derece ve göstergeleri kontrol edilmelidir. Aşırı tavlı ve aşırı soğuk malzeme katmer nedeni olabilir.
Malzemenin akışını sağlayacak yeterli açının olmayışı	Malzeme akışını sağlayan açılarının küçük olması nedeniyle katmer önlemek için gerektiği kadar büyütülmelidir. Geçiş radyüslerinin de aynı şekilde büyütülmesi gerekir.

Çizelge 1.13. (Devam) Kat hatası ve çözüm önerileri

Hatalı yağlama yapılması	Kalıp yağlama işlemi yeteri kadar yapılmalıdır. Aksi halde fazla yağ kullanıldığında derin olan gravürlerde biriken yağ hacim oluşturur. Buda katmere ve doldurmamaya neden olur. Yağlama sadece yüzeydeki sürtünmeyi kolaylaştırmak ve malzemenin kalıpla temasını kesmek için kullanılmalıdır.
Ön şekil kalıbındaki çatlaklar, çökmeler	Ön şekilli parçalarda zamanla kalıpta oluşan çatlaklar, çökmeler ve liflenmeler bitirme operasyonunda katmer oluşturur. Bu nedenle ön şekil kalıpları sökülerek tashihe alınır.

Tufal izleri

Tufal metal yüzeyi üzerinde yüksek sıcaklıklarda oluşan oksidasyon tabakasıdır. İşleme sonrası yüzeyden silinebilecek düzeyde derinliği olan tufal izleri göz ardı edilebilir, ama işlemeyen yüzeylerde bu durum görsel olarak yüzey hatası olur (Fotoğraf 1.8). Çizelge 1.14’de tufal izleri şeklinde görülen hatalar ve çözüm önerileri verilmiştir (Makas, 2016).



Fotoğraf 1.8. Tufalin temizlenmeden dövme yapılması sonucu oluşan kötü yüzey

Çizelge 1.14. Tufal izleri hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Dövme işlemi sırasında kalıp gravürü temizlenmemesi	Dövme işleminden sonra serbest dövme, su jeti veya fırçalama ile tufal temizlenebilir.

Sıvanma

Kalıp yüzeyi ile iş parçası arasında yağlama tabakası yeterli olmadığı zaman, iş parçası malzemesinden bir katman kalıp yüzeyine yapışır. Bu yapışan katman koparak aynı parçaya yada başka parçanın yüzeyini sıvanma hatasıdır (Fotoğraf 1.9) (Makas, 2016).

Bu hata genellikle soğuk dövme ve ılık dövme gibi ciddi yüzey yağlama gerektiren işlemler yanı sıra yüksek temas basınçların altında yüksek malzeme akışı olan sıcak dövme işlemlerinde görülür. Çizelge 1.15'te sıvanma hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur.



Fotoğraf 1.9. Sıvanma yüzey hatası

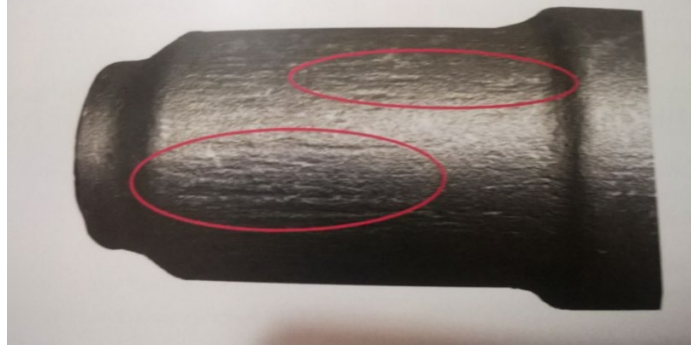
Çizelge 1.15. Sıvanma hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Kalıp ve iş parçasının yetersiz yağlanması	Uygun bir yağlama veya malzeme ve kalıp arasında düşük sürtünme sağlayan kalıp yüzey koşulları ile önlenabilir.

Kazınma

Kazınma yüzey üzerinde malzeme akışı yönünde birbirine paralel birçok derin çizik şeklinde görülen bir yüzey hatası olarak tanımlanabilir (Fotoğraf 1.10) (Makas, 2016).

Özellikle ekstrüzyon işlemlerinde, bölgesel yüksek basınçlar sert kalıpta bozulmalara sebep olur. Bu bozulmaların iş parçası üzerinde akması derin kazınmış izler oluşturur. Çizelge 1.16’da kazıma hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur.



Fotoğraf 1.10. Kazınmış yüzey hatası

Çizelge 1.16. Kazıma hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Çapak kesme ve delik delme kalıplarının bozulması	Kalıpların ömürlerinin aşılmaması. Kopan veya yapışan bozulmaların görüldüğünde kalıpların tashih edilmesi
Çok dar çıkma açıları kullanılması (Çapak hattı radyusunda oluşan çökmelerin oluşturduğu ters açılı bölgelerde kalıptan çıkarma sırasında çapak hattı altında kazıma izleri oluşur)	Kalıplara uygun çıkma açıları değerleri verilmeli

1.4.9 Malzeme kaynaklı veya iç hatalar

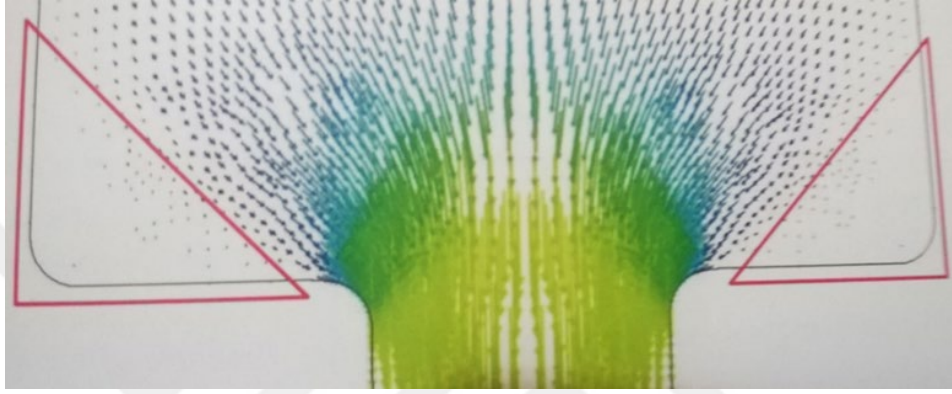
Dövmecilikte en tehlikeli hatalar olan malzeme kaynaklı veya iç hatalardır. Mikro yapı ve sünek kırılmalara sebep olabilecek malzeme sorunları şunlardır. Çizelge 1.17’de malzeme kaynaklı görülen veya iç hatalar özetlenmiştir.

Çizelge 1.17. Malzeme kaynaklı veya iç hatalar

Mikro yapı kaynaklı kusur	Sünek kırılma kaynaklı kusur
<ul style="list-style-type: none"> Ölü bölgeler 	<ul style="list-style-type: none"> Yüzey çatlaması
<ul style="list-style-type: none"> Tane sınırı ergimesi (malzeme yanması) 	
<ul style="list-style-type: none"> Kesme bantları 	

Ölü bölgeler

Dövmede az veya hiç deformasyon olmayan bölgelere ölü bölge denir. Malzeme ölü bölgede yeterince deforme edilmediği için, istenenden daha az mekanik ve mikro yapı özelliklerine sahip olur. Örneğin, dik dirsek açılı ileri ekstrüzyon işlemi (Fotoğraf 1.11). Çizelge 1.18’de ölü bölge hatasının nedenleri ve çözüm önerileri sunulmuştur (Makas, 2016).



Fotoğraf 1.11. Ekstrüzyon işleminde ölü bölge hatası

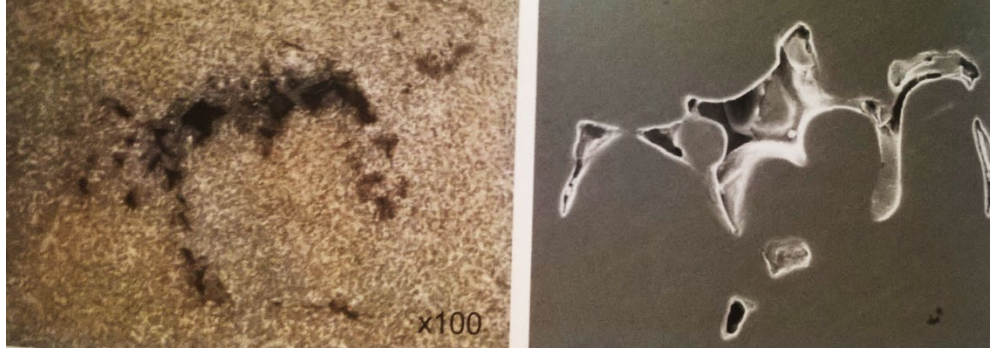
Çizelge 1.18. Ölü bölge hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Etkin gerinim değerlerinin çok düşük olması	Dövme kalıbının tekrar tasarımı yapılmalı (Daha iyi bir mikro yapı için malzeme akışını iyileştirilmesi gerekir)

Tane sınırı ergimesi (malzeme yanması)

Tane sınırı ergimesi (malzeme yanması) dövmede en tehlikeli olaydır. Dövülecek malzemeler (malzeme alışıma durumuna göre) 1100~1225 °C arasında tavlama gerekmektedir. Herhangi bir nedenle 1300 °C nin üzerine çıktığında malzemenin yüzeyden yanarak kalın taval tabakası bağlayacağı gibi iç kısmı da eriyerek akma meydana gelir. Bu şekilde dövülen malzeme fiziki görünüş dışında mekanik özelliklerini de kaybeder. Örneğin yeni başlamış tane sınırı erimesi parçanın tokluk veya yorulma ömrü gibi mekanik özellikleri kötüleştirir. Dövme imalatı ile hayati öneme haiz parçaların imal edildiği göz önüne alındığında bu işin ne kadar önemli olduğu ve nedenli tehlikeli sonuçlar

doğurabileceği açıktır (Fotoğraf 1.12). Çizelge 1.19’da tane sınırı ergime hatası nedenleri ve çözüm önerileri sunulmuştur (Makas, 2016).



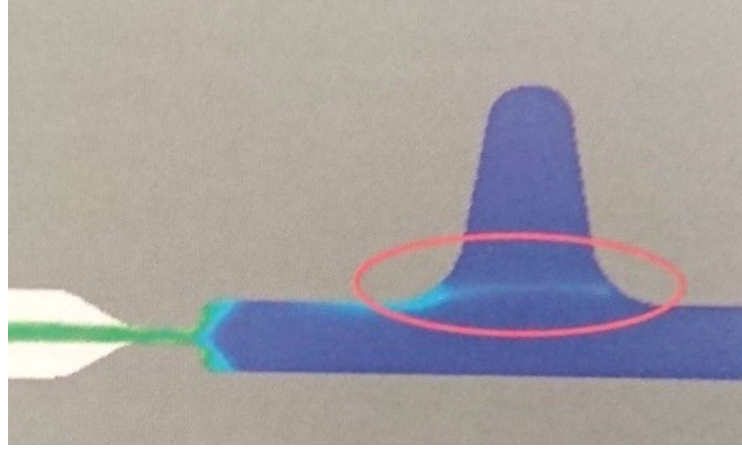
Fotoğraf 1.12. Tane sınır ergimesi hatası optik mikroskop (sol) ve SEM (sağ)

Çizelge 1.19. Tane sınırı ergime hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Malzemenin içindeki bölgesel kompozisyon farklılığı	Gelen malzemenin farklı yerlerinden numune örnekleri alarak iç yapısının kontrolü, kontrol edilmiş hammaddeleri almak ve aynı hammadde tedarikçileri ile çalışmak
Malzeme ısıtma sisteminde meydana gelen sorunlar	Fırınlara günlük, aylık ve yıllık bakımlarını yapmak. Düzenli sıcaklık kontrolleri yapmak

Kayma bantları

Dövme boyunca malzemenin en az dirençli yolu takip eder. Parça içinde geometrik veya termal koşullardan dolayı malzemenin için kayma bantları (akma yoğunlaşması) meydana gelir. Kayma bantları, alüminyum gibi deformasyon boyunca akma yumuşaması sergileyen malzemelerde daha sık görülür. Kayma bantları bazen parça yüzeyinde çatlak şeklinde gözlenebilir. Bu hata türü parçanın mekanik yük taşıma kapasitesini tamamen olumsuz yönde kötüleştirdiği için kesinlikle önlenmelidir (Fotoğraf 1.13). Çizelge 1.20’de kayma bantları hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur (Makas, 2016).



Fotoğraf 1.13. Kayma bantı hatası

Çizelge 1.20. Kayma bantları hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Parçanın ön şekillendirmesi uygun olmaması.	Daha uygun ön şekillendirme tasarımı yapmak, ön şekillendirme sayısını artırmak ve prosesi kontrol etmek, gerekiyorsa değiştirmek

Yüzey çatlakları

Dövme işlemi esnasında veya sonrasında parça yüzeyinde meydana gelen malzeme kaynaklı hatalardır. Şekil değiştirme sınırları çok geniş olan çeliklerin dövme işlemi kaynaklı yüzey çatlak oluşumu neredeyse imkansızdır. Görsel ve/veya malzeme yüzeyine penetran sıvı uygulanması ile hata tespit edilebilir (Fotoğraf 1.14). Çizelge 1.21’de yüzey çatlakları hatası ve çözüm önerileri sunulmuştur (Makas, 2016).



Fotoğraf 1.14 Yüzeyde görülen çatlak hatası

Çizelge 1.21. Yüzey çatlakları hatası ve çözüm önerileri

Hatanın nedenleri	Çözüm önerileri
Şekillendirilebilirliği zor malzemeler ve soğuk dövme işleminde	Sıcaklık, gerilme hali, gerinim hızı, ham madde mikro yapısı gibi optimum süreç koşulları çatlamaı önleyecek şekilde seçilmeli ve tasarlanmalıdır.
Sıcak dövülmüş parçalarda görülen yüzey çatlaklarının büyük kısmı dövme sonrası yapılan ıslah işleminden kaynaklıdır.	Islah işlem değişkenlerinin (parça sıcaklığı, banyo sıcaklığı, soğutma ortamı vs.) kontrol edilmeli.
Parça yüzeyinde oluşan çentikler veya soğuk kalibre işlemi	Ön şekillendirme işleminin uygun tasarlanması, mümkünse sıcak kalibre yapılması

1.5 Dövme Tezgahları

Dövme işlemlerinde makina olarak presler ve çekiçler kullanılır. Presler esas olarak mekanik, ve hidrolik olmak üzere iki ayrı tipe ayrılır. Preslerde malzemenin plastik şekil değiştirmesi statik basma kuvvetleri altında ve çekiçlere nispeten daha düşük hızlarla yapılır. Çekiçlerin uygulama alanı ise preslere kıyasla daha sınırlı olup daha çok sıcak dövme ve bazı saclara şekil verme işlemlerinde kullanılırlar. Çekiçle dövmede, plastik şekillendirme iş parçasının yüzeyine uygulanan darbelerle gerçekleştirilir. Dövme çekiçlerinin tersine, preslerde daha büyük kuvvetlere ulaşılabilir. Çapan'a (2004) göre dövme tezgahlarından fonksiyonel olarak beklentiler şunlardır;

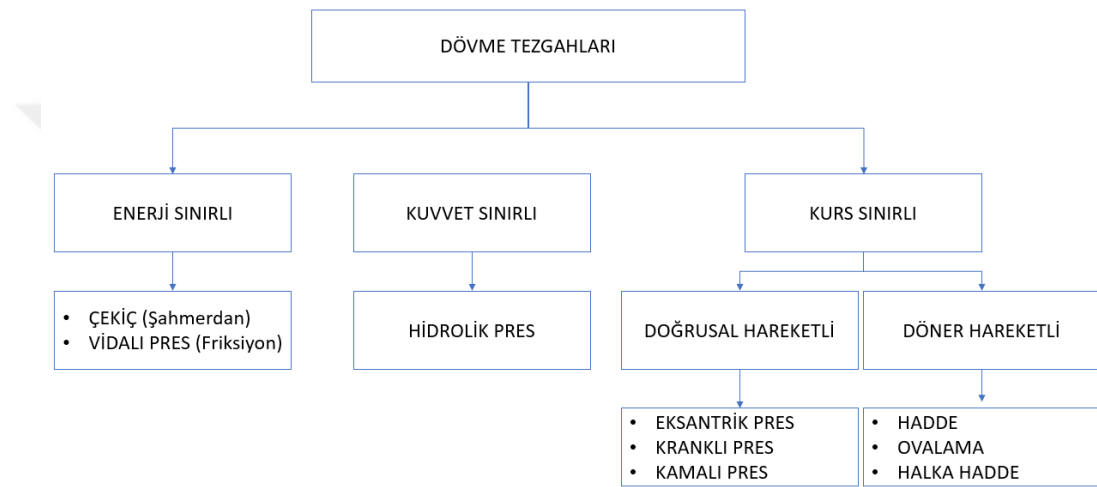
- Şekillendirme için gerekli olan yeterli dövme kuvvetini ve enerjisini sağlamak
- Şekillendirme sırasında oluşan kuvvetlere ve momentlere karşı kalıplara konumlarını hassas olarak kılavuzluk yapmak

Metal bir parçayı şekillendirmek için, deformasyon işi denilen bir iş (veya enerji) gereklidir. Bu işin büyüklüğü (W), şekillendirme kuvveti (F) ile bu kuvvetin etkin olduğu deplasmanın (s) çarpımına eşittir (Makas, 2016).

$$W= F.s \quad (1.2)$$

Dövme makinaları çalışma prensiplerine göre “kuvvet sınırlı”, “kuvvet sınırlı” ve “enerji sınırlı” olmak üzere üçe ayrılır (Şekil 1.18). Kuvvet sınırlı makinelerin şekillendirme

işlemine yapma kabiliyeti esas olarak en yüksek kuvvet kapasiteleri ile sınırlanmıştır. Örnek verecek olursak hidrolik presler kuvvet sınırlı makinelerdir. Kurs sınırlı makineleri şekillendirme işlemine yapma kabiliyeti ise kurs uzunluğu ve değişik kurs konumlarındaki yük değeri tarafından belirlenir. Kurs sınırlı makinelere örnek olarak mekanik presleri gösterebiliriz. Çekiçler ise enerjileri sınırlı makinelerdir. Bu makinelerde şekillendirme işlemi çekiç kafasının (koç) enerjisi tarafından yapılmaktadır. Çekiç gövdesi koçun hareketine kılavuzluk etmekte fakat dövme sırasında gerilmelerin etkisinde kalmamaktadır (Başoğlu, (2006).



Şekil 1.18. Dövme tezgahlarının sınıflandırılması

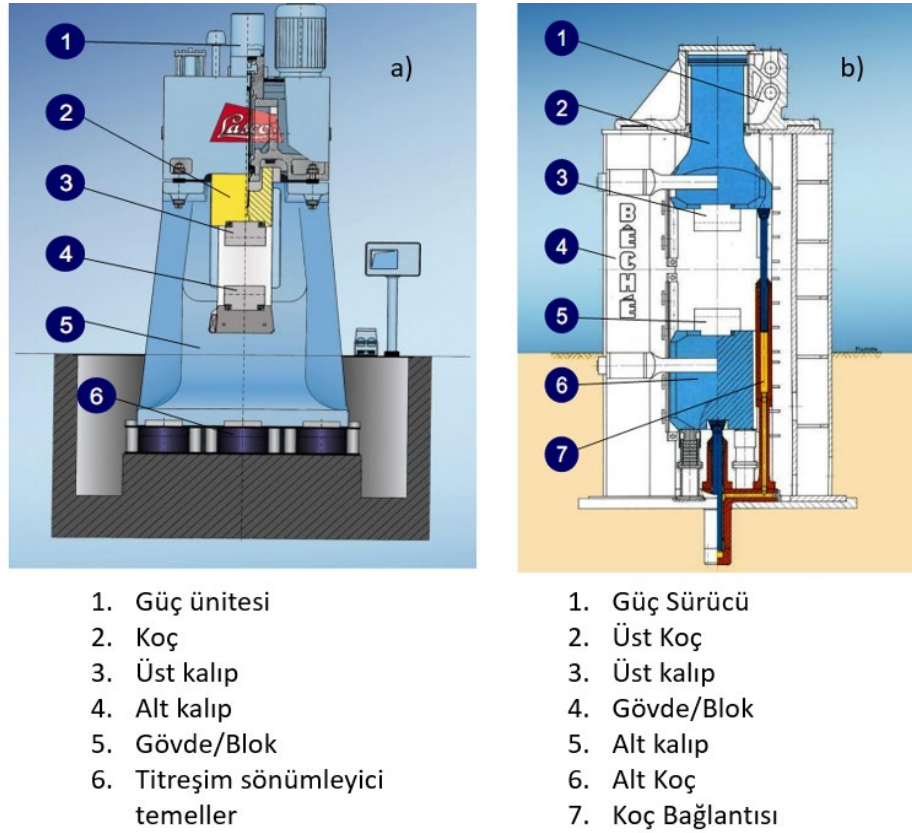
1.5.1 Enerji sınırlı dövme tezgahları

Enerji sınırlı tezgahlar, şekil verme işi için her bir darbe çevriminde tezgahın depolanmış çalışma kapasitesini kullanır, böylece tezgah gücü parça şekilleninceye kadar tüketilir. Enerji sınırlı tezgahlara örnek olarak çekiçler ve vidalı presler verilebilir (Makas, 2016).

Çekiçler (şahmerdanlar)

Çalışma şekillerine göre çekiçler, iki kolon arasında belirli bir yüksekliğe çıkarılan çekicinin ve kalıbın örs üzerine düşürülmesi ile dövme yapan tezgahlardır. Dövme çekiçleri şekil verme hızı diğer dövme tezgahlarına göre oldukça yüksektir. Çekiç dövme tezgahlarının parçaları Şekil 1.19a'da gösterilmiştir. Çok geniş ve ağır dövme

parçalarında karşı vuruşlu çekiçler kullanılır (Şekil 1.19b) (Makas, 2016). Çizelge 1.22’de çekiç tezgahlarının avantajları ve dezavantajları özetlenmiştir.



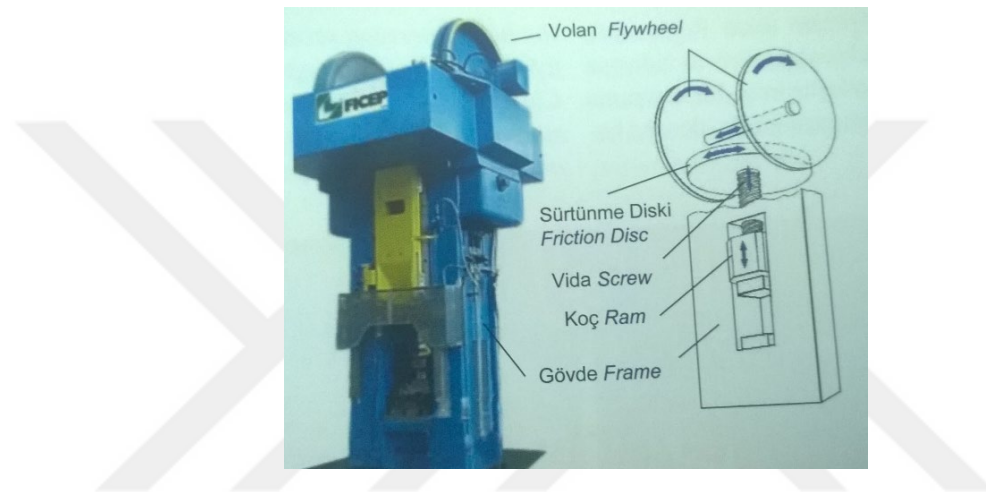
Şekil 1.19. Çekiç tezgahının (a) ve karşı vuruşlu çekiçlerin şematik gösterimi (b)

Çizelge 1.22. Çekiç tezgahlarının avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Hızlı cevrim zamanlarıyla sonuçlanan çok kısa kısa vuruş zamanları	Genellikle şekillendirme tamamlanana kadar vuruş gerektirir.
Kalıbın iş parçasını soğutmasına daha az neden olan kısa kalıp/iş parçası temas zamanı	Yüksek gürültü seviyeleri
Kalınlığın doğrudan kalıp tasarım sonucu olduğu için kalınlık proses yeterliliği iyidir.	Çekiçlerde kalıp iticileri yoktur, bu sebepten düşük kalıp açısı
Küçük çekiçlerle göreceli olarak büyük parçalar üretilebilir.	Çekiç işlemlerinde otomasyon preslere göre zordur.
Çekiçler ince parçalar daha iyi dövülebilir.	Uzun ekstrüzyon işlerinde kullanılmaz
Çapak hatlarının kalınlığı nispeten azdır.	
Nispeten daha az maliyetlidir.	

Friksiyonlar (vidalı presler)

Bu preslerde hareketini bir elektrik motorundan alan üst başlık, kare dişli çok büyük adımlı bir vida ile aşağı yukarı hareket eder ve iş parçasını şekillendirmek için gerekli olan darbeyi, hızlı bir şekilde aşağı inişi esnasında sağlar. Özellikle ince cidarlı hassas dövme ve net şekilli parçalar için friksiyonlar kullanılır. Friksiyon tezgahları ve parçaları Şekil 1.20’de gösterilmiştir (Makas, 2016). Çizelge 1.23’te friksiyon tezgahlarının avantajları ve dezavantajları özetlenmiştir.



Şekil 1.20. Friksiyon (vidalı pres) tezgahının şematik gösterimi

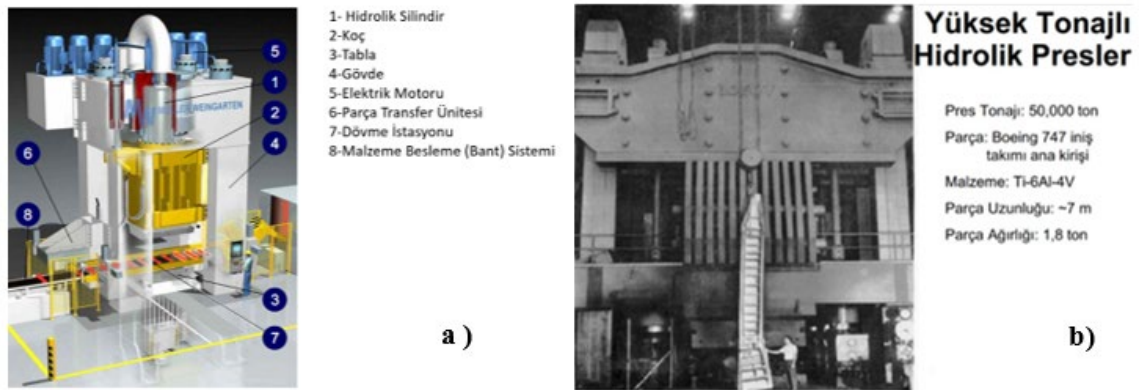
Çizelge 1.23. Friksiyon tezgahlarının avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
İnce parçalar yüksek hassasiyette dövme	Merkezden kaçık yükler için kısıtlı kullanım
Ayarlanabilir koç AÖN (alt ölü nokta)	Mekanik preslere göre daha yavaş koç hızı (eksantrik- krank)
Kalıp yükseklik ayarı gerektirmez	Diğre mekanik preslere göre zemine ve temele daha yüksek titreşim iletimi
Hassas kapalı kalıp dövme için uygundur.	Otomasyon için uygun değildir.
Termal genişmeyi telafi için koçun yeniden ayarlanmasına gerek yoktur.	
İş parçası temas zamanı kısadır, bu hidrolik preslere göre daha uzun kalıp ömrü sağlar	
Parça üzerinde birden fazla vuruş imkanı	
Yük altında koç sıkışması (bindirme) olmaz	
Hızlı ve verimli enerji kullanım imkanı	

1.5.2 Kuvvet sınırlı tezgahlar

Hidrolik presler

Silindire gelen basınçlı sıvının pistonu etkimesiyle piston ve buna bağlı koç ve de ona bağlı üst kalıp aşağı doğru hareket eder. Uygulayabildiği kuvvet piston alanı ile sıvının basıncı çarpımına eşittir. Koçun yukarı kaldırılmasında basınçlı sıvı (genelde yağ) bir yön değiştirici valf yardımıyla silindirin altına yönlendirilir ve pistonun yukarı hareketi sağlanır. Çok büyük kuvvetlerin uygulanması mümkün olmakla birlikte yavaş hareket ettiklerinden dövme işlemlerinde çok sık kullanılmazlar. Hidrolik presler sıklıkla alüminyum ve titanyum gibi deformasyon hızına duyarlı malzemelerin dövme için kullanılır (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Şematik hidrolik pres tezgahı (a) ve üretilen büyük bir parça (b)

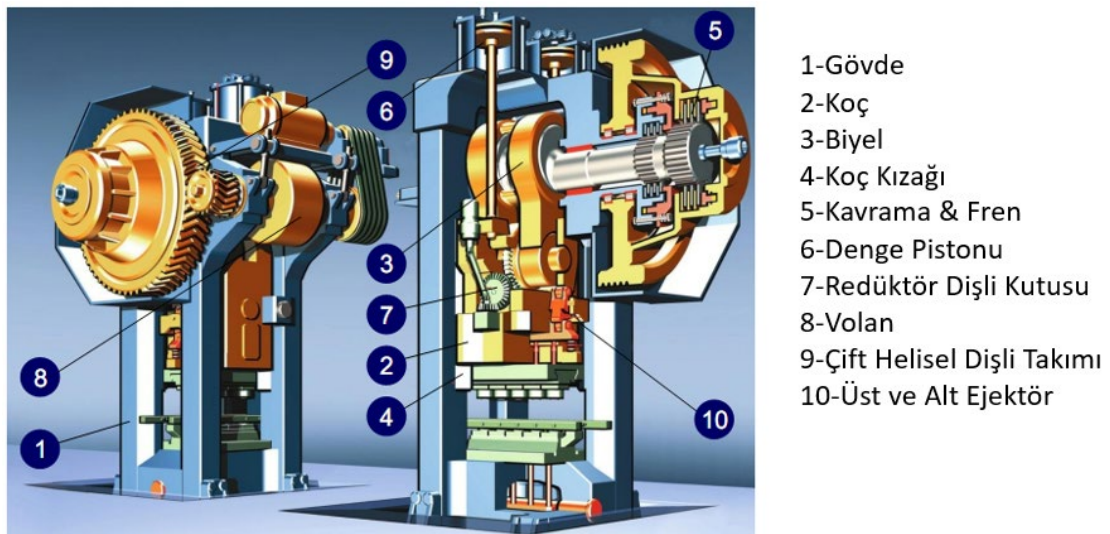
Çizelge 1.24. Hidrolik preslerin avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Baskı kuvveti ve kurs boyu, basınç kontrol vanasıyla ayarlanabilir	Hidrolik preslerin dövme başlığı hızı, diğer tezgahlara oranla daha düşüktür
Dövme işleminde parçanın şekil değiştirme özelliği kontrol edilebildiğinden, kırılabilirliği fazla olan malzemeler kolayca dövülebilir	Aynı kapasiteli mekanik preslere oranla daha pahalıdır
Darbeli ve sarsıntılı çalışmaları önlediği için çevrede bulunan diğer tezgahları etkilemez	Uzun kalıp temas süresi nedeniyle iş parçasının soğumasına yol açar
Tam veya kısmi yükte uzun süre bekletebilir	Hidrolik parçaların ömrü sınırlı ve maliyeti yüksek
En yüksek tonajlı preslerdir.	

1.5.3 Kurs sınırlı tezgahlar

Mekanik presler

Elektrik motorundan aldığı hareketi kavrama yardımıyla krank veya eksantrik miline, oradan da biyel kolu yardımıyla dövme başlığına hareket ileten sistemli dövme presleridir. Mekanik preslerin kurs boyu, diğer dövme çekiçlerinin kurs boyundan kısadır. Bu preslerin normal dövme kapasitesi 300-8000 ton arasında değişmektedir (Şekil 1.22) (Odabaş, 2011). Çizelge 1.25'te mekanik preslerin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.



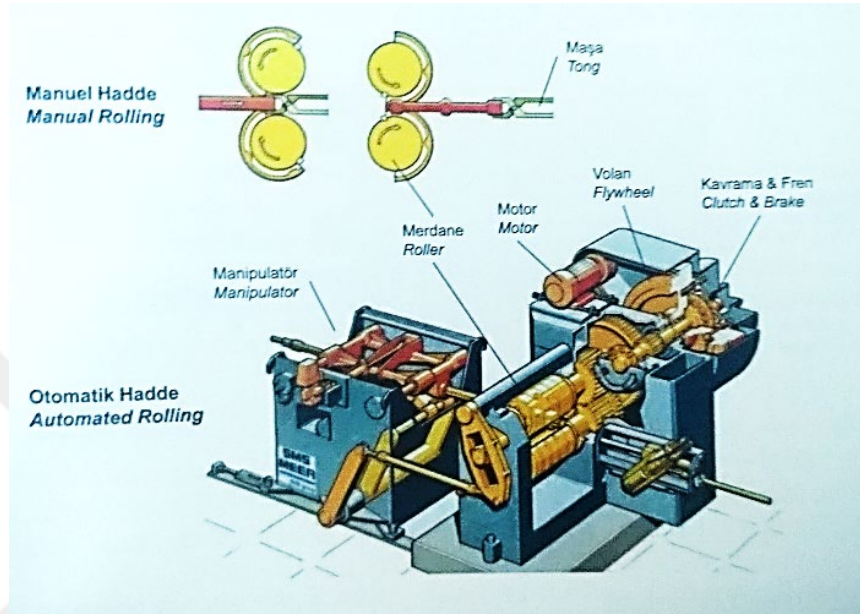
Şekil 1.22. Mekanik pres tezgahının şematik gösterimi

Çizelge 1.25. Mekanik preslerin avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Sabit kurstan dolayı koçun vuruş yükseklik pozisyonu tekrarlanabilir.	Uzun deformasyon kursu gerektiren dövme parçalar için kullanılmaz
Mekanik presler yüksek dövme adetlerine ulaşabilirler	İnce kesitlerde hızlı soğuma sonucu oluşan yüksek yükler nedeniyle ince kesitlerde tercih edilmezler
Operatörün çok fazla bilgili ve becerili olması istenmez	
Mekanik preslere otomasyon kolaylıkla uygulanabilir.	

Boyuna hadde tezgahları

Boyuna hadde, volanı tahrik eden motor, kavrama ve bir dizi dişli üzerinden iki merdaneyi harekete geçirir. Merdaneler birbirine ters yönde döner. Boyuna hadde hem kare hem de silindirik taslak parça şekillenmesi için kullanılır (Şekil 1.23) (Makas, 2016).



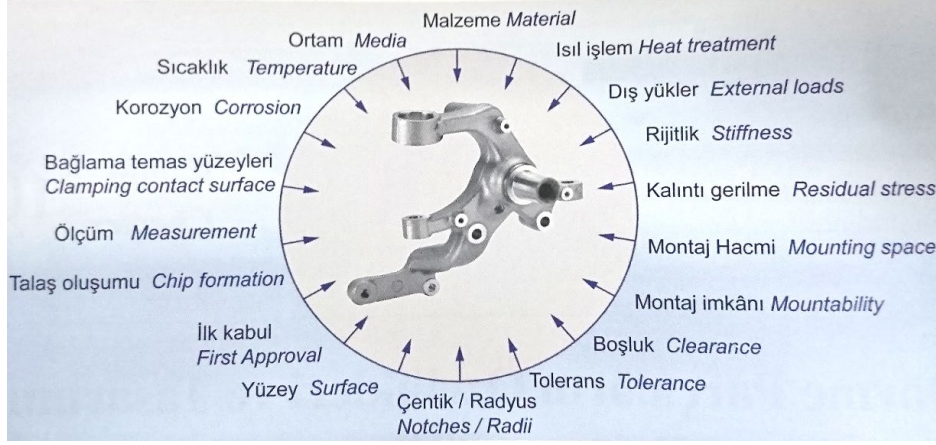
Şekil 1.23. Boyuna hadde tezgahının şematik gösterimi

Çizelge 1.26. Boyuna hadde tezgahların avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Boyuna hadde tezgahları otomasyon kolaylıkla uygulanabilir	Operatörün çok fazla bilgili ve becerili olması gereklidir.
Kalıp maliyetleri enine (ovalama) tezgahlarına göre daha düşüktür.	Boyuna hadde sadece taslak şekillendirme için kullanılır.

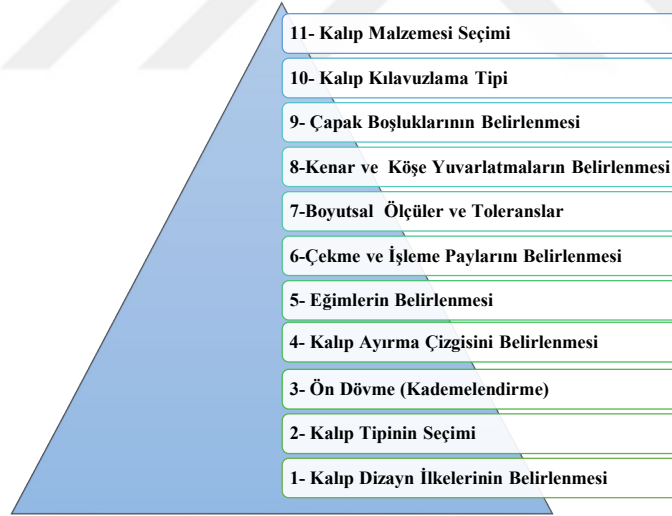
1.6 Sıcak Dövme Kalıplarının Tasarımı

Nihai bitmiş ürünün geometrisi dövme kalıbının temelini oluşturur. Dövülmüş parçalar çoğunlukla işleme sonrası montajlı bir ürünün bileşeni haline gelirler. Bu nihai ürünün özellikleri, dövme parçasının tasarlanmasında ve geliştirilmesinde kullanılacak faktörlerin temelini oluşturur. Ayrıca dövme parçasının tasarımı ve geliştirmesinde pazar ve müşteri talepleri ve yasal zorunluluklar dikkate alınmalıdır (Şekil 1.24) (Makas, 2016).



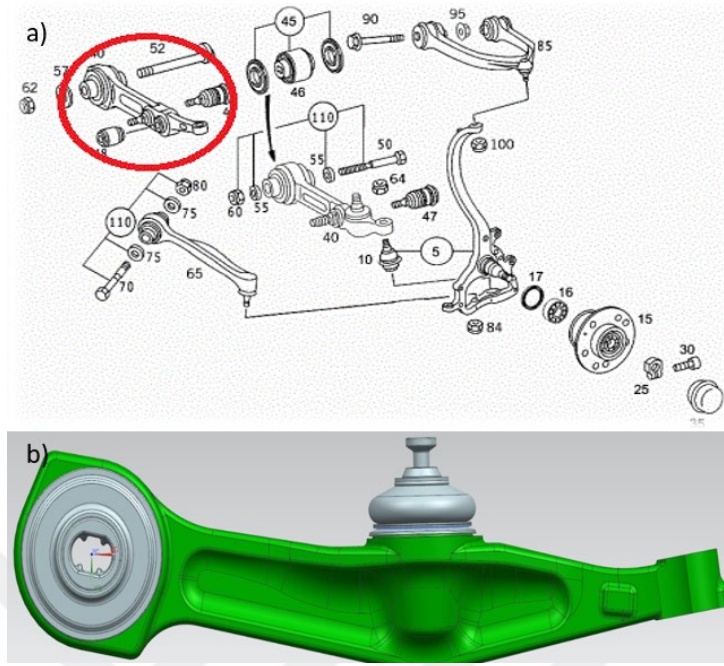
Şekil 1.24. Dövme parçasının tasarlanmasında ve geliştirilmesindeki önemli faktörler

Benzer şekilde sıcak dövme kalıbın tasarlanmasında bir çok faktör vardır ve dövme parçası ile ayrı düşünmek çoğu kez mümkün değildir. Genel metal şekillendirme prensiplerinin yanı sıra, kalıpta dövmeye ilişkili dikkate alınacak özel bazı tasarım faktörleri Şekil 1.25’de verilmiştir (Odabaş, 2011).



Şekil 1.25. Kalıpta dövmeye ilişkili dikkate alınacak özel bazı tasarım faktörleri

Dövme parçası olan rotilli kolunun şekli, özellikleri ve kullanıldığı yerler kalıp tasarımı için son derece önemlidir. Araçların süspansiyon sistemi elemanlarından olan rotilli kol, şasi ile tekerlek arasındaki bağlantıyı ve kuvvet iletimini sağlayan emniyet parçası olarak nitelendirilmektedir (Şekil 1.26).



Şekil 1.26. Rotil kol teknik resmi (a) ve üç boyutlu modeli (b)

1.6.1 Kalıp dizayn ilkeleri

Kalıp arızalarının büyük bir bölümü konstrüksiyon ve boyutlandırma hatalarından meydana gelir. Kalıbın büyük yapılması durumunda ağır, hantal, kullanışsız ve fazla malzeme kullanılmasına neden olacaktır. Kalıbın küçük yapılması ise şekil değişimine neden olacaktır. Uygun gravür konumunun belirlenememesi kalıbın ve makinenin dengesiz zorlanmasına neden olacaktır. Bu yüzden kalıbın dizaynı gerçekleştirilirken şu faktörler esas alınmalıdır:

- Dövme parça büyüklüğü ve türü
- Parça sayısı
- Eldeki makinenin özellikleri (Üretim teknolojisi ve proses yeterliliği)

Kalıpların boyutlandırılması ve tasarım için aşağıdaki bilgilere dayanır:

- Analiz
- Standartlar
- Ampirik bağıntılar
- Tecrübeler

Tasarım konusunda analiz ve tecrübeye dayalı standartlar ve ampirik bağıntılar söz konusudur. Çünkü dövmeyi etkileyen birçok faktör vardır. Bunlara birde binlerce tür dövme parçanın her biri değişik şekil ve büyüklükte olması işi daha zor hale getirmektedir. Bu bakımdan, konu hakkında kesin kurallar koymak mümkün olmamaktadır. Ancak uygulanması gereken asgari şartlar bulunmaktadır. Bu asgari şart dövme parçasının eldeki dövme tekniği uygun olması gerekir (Odabaş, 2011).

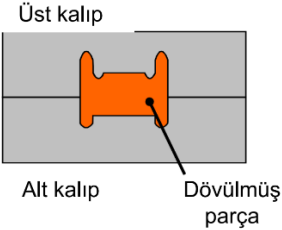
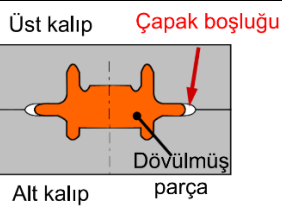
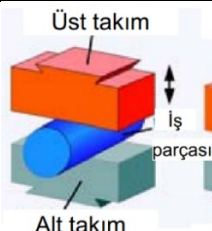
1.6.2 Kalıp tipinin seçimi

Üretilcek dövme parça için uygun bir kalıp türü seçiminde şu faktörler rol oynar:

- Parçanın şekli
- Parça sayısı
- Boyut hassasiyeti

Çizelge 1.27’de çapak oluşumuna göre çeşitli kalıp türleri gösterilmektedir (Odabaş, 2011).

Çizelge 1.27. Çapak oluşumuna göre çeşitli kalıp türleri

<ul style="list-style-type: none"> • Çapaksız kapalı kalıplar: Çapak oluşmayacağı şekilde hassas parçaların dövülmesinde, kullanılan kalıplardır. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Sınırlı çapaklı kalıp: Dövme parça üretiminde en çok kullanılan kalıp türüdür. Çapak boşluğu oluşturularak, çapağın istenen yere yığılması sağlanmaktadır. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Düz çapak yüzeyli kalıp: En basit çapak yüzeyli olan bu kalıp basit biçimli ve ölçü hassasiyeti aranmayan dövme parçalar üretilmektedir 	

1.6.3 Ön dövme (kademelendirme)

Ön dövme kalıp dizaynının ön önemli safhalarından biridir. Parçasının şekline göre ön dövme sayısını belirlemek çok önemlidir. Basit parçalar için ön dövme gerekmez. Fakat karmaşık şekilli parçalar için ön dövme gereklidir.

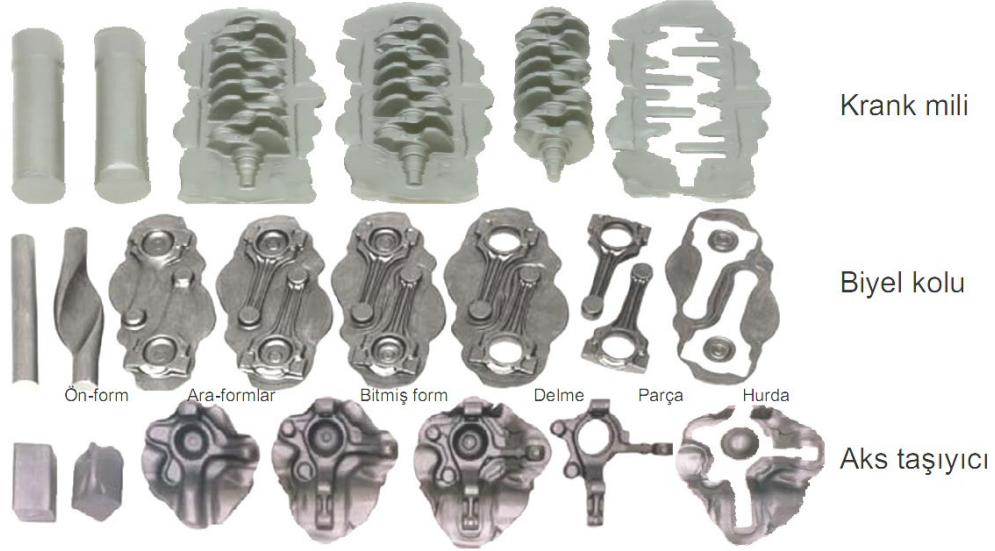
Şekil 1.27 tipik bir kalıp setini göstermektedir. Kalıbın bir yarısı çekice, diğer yarısı örse bağlıdır. Isıtılmış metal, alt kalıp boşluğunda pozisyonlandırılır ve üst kalıp tarafından dövülür. Bu kalıp seti ile malzemeye ara şekiller verilerek dövme işlemi kademelendirilir ve uygun bir malzeme dağılımı sağlanarak malzemenin kalıp içindeki akışı kolaylaştırılır. Bu sayede her kademede kalıp boşluğu tam olarak doldurulur.



Şekil 1.27. Biyel kalıp seti

Şekil 1.28’de dövme işlemi sırasıyla uzatma, toplama, kaba dövme ve son dövme olarak kademelendirilmiş ve daha sonra parçanın çapağı alınmıştır. Uzatma ve toplama malzemeyi çubuğun istenilen yerlerine yaymak için kullanılır. Uzatma, yapıldığı bölgeden malzemenin uzaklaştırılması anlamına gelir; toplama ise, malzemeyi istenilen belli bir bölgede biriktirmeyi amaçlar. Kaba dövme işleminde ise parça bloklanarak kaba bir form elde edilir. Kaba dövme kademesinden elde edilen parçanın bitmiş parçaya kıyasla biraz yüksek ve dar olması, son dövme kademesindeki şekil değişiminin başlıca basit basma ile sağlanması ve böylece çok yüksek gerilmelerin doğmamasını sağlar. Kaba

dövme gravüründe çapak kanalı yoktur. Bu nedenle kaba dövmede çapak alt ve üst kalıpların düzlemsel yüzeyleri arasında oluşur. Son dövme işlemiyle parçaya istenilen form kazandırılır (Çapan, 1999).



Şekil 1.28. Ön dövme ile üretilen dövme parçaları

Ön dövme yüzey kalitesini ve kalıp ömrünü artırır. Ön dövme kullanılmazsa oluşabilecek başlıca hatalar;

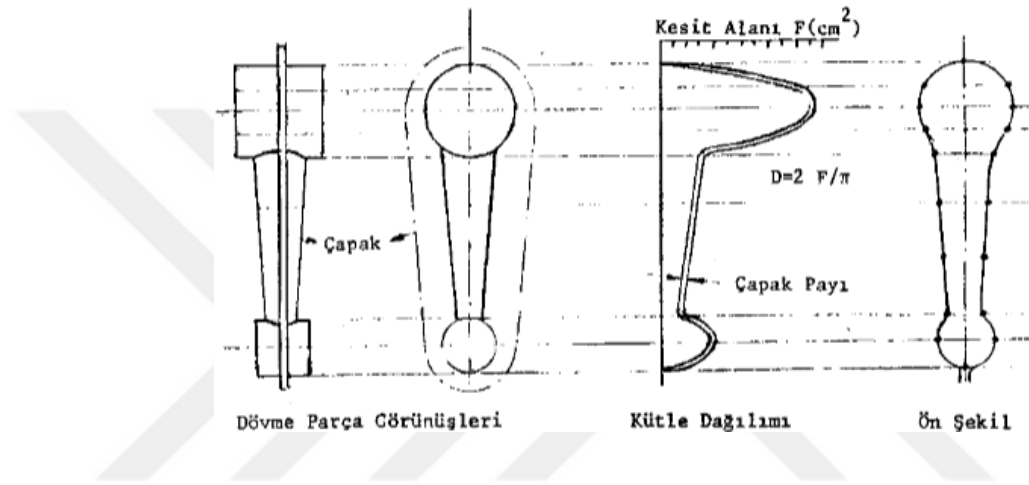
- Son dövmede kalıbı doldurmama
- Kat oluşması
- Kalıp üzerinde oluşan gerilmelerde artma dolayısıyla kalıp ömründe azalma
- Ön dövme şekli olmadığı için ilk parçanın son dövme gravürüne yerleştirilme zorluğu ve bundan dolayı oluşacak kaçıklık problemi

Tasarımcılar, ön dövme şeklini aşağıda belirtilen adımları ve tecrübeleri ile oluşturmaktadır;

- İş parçasının iki görünüşü belirli bir ölçekte çizilir.
- Çapak çevresi, çapak eni iş parçasının iki yanına en az 6 mm olacak şekilde çizilir.
- İş parçasının boyuna eksenine paralel olan XY doğrusu çizilir.
- İş parçası, şekline göre elemanlara bölünür.
- Bu elemanlara yatay çizgiler çizilir. Bu çizgilerin özellikle en büyük ve en küçük kesitlerden geçmesine dikkat edilir.

- Yatay çizgilerin geçtiği kesit yüzeyleri hesaplanır.
- Bu değerler XY düşey doğrultusundan itibaren yatay doğrular üzerine belirli bir ölçekte işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir.

Aynı işlem yatay çizgilerin geçtiği çapak kesit yüzeyleri hesaplanarak, bu yüzeylerde içinde yapılır. Çapak kesit yüzeyi, çapak eninin çapak kalınlığı ile çarpımıdır. XY referans çizgisinin her iki yanında simetrik olarak oluşan noktalar birleştirilerek ön şekil çizilmiş olur (Şekil 1.29) (Odabaş, 2011).



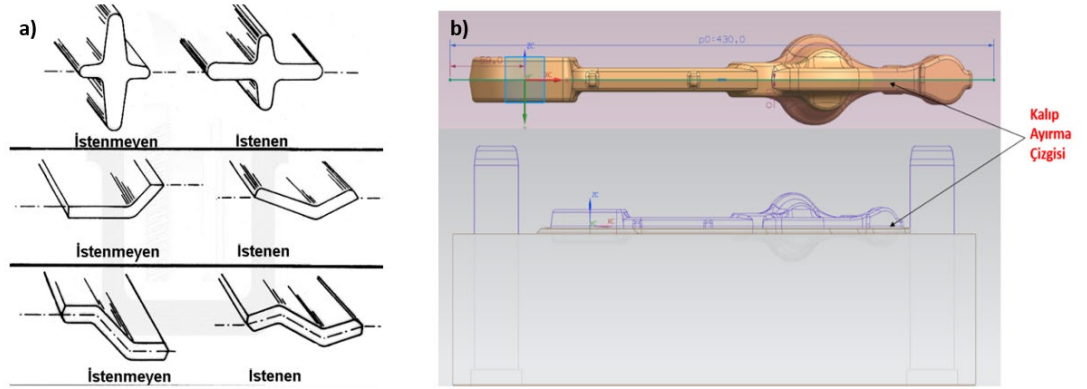
Şekil 1.29. Kesit taşıma yöntemi ile ön şeklin belirlenmesi

1.6.4 Kalıp ayırma çizgisini belirlenmesi

Kalıpların birbirinden ayıran çizgiye kalıp ayırma çizgisi denir. Kalıp ayırma çizgisi (K.A.Ç.) dövme parçasına uygun olmak zorundadır. Şekil 1.30a'da örnek kalıp ayırma çizgileri gösterilmiştir. Kalıp ayırma çizgisi belirlerken aşağıdaki unsurlar dikkate alınmalıdır.

- Vuruş eksenine dik seçilir (genellikle)
- İş parçasının geometrisi izin verdiği sürece K.A.Ç. simetrik olmalıdır.
- Metal akışını engellemeyecek şekilde olmalıdır.
- Kalıp imalatını basitleştirecek, ve kalıp maliyetimi düşük olmalı
- Çapak kesme işlemini kolaylaştıracak

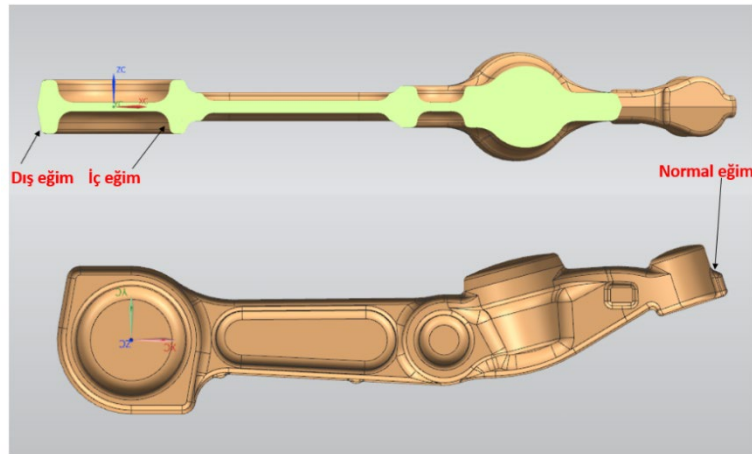
Süspansiyon parçasının kalıp ayırma çizgisi düz seçilmiştir (Şekil 1.30b).



Şekil 1.30. Kalıp ayırma çizgisi örnekleri (a) ve süspansiyon parçasının K.A.Ç. (b)

1.6.5 Eğim açısı

Kalıplanacak parçanın kalıp yarımları içerisinde kolayca çıkartılablmesini sağlamak amacıyla dik yüzeylere bir miktar verilen açıya eğim açısı verilir (Şekil 1.31). Bu eğim açısı miktarı kalıplanacak malzemenin cinsi ve parça boyutlarına bağlı olarak genellikle 3-10° arasında değişmektedir. Ayrıca kalıplanacak parçanın biçimine göre ve üst veya alt kalıp yarımlarının kalıplama derinliklerine bağlı olarak da değişir. Eğim açısı kalıp açılma çizgisinden kalıp yarımının tabanına doğru daralacak şekilde verilir. Dövme çekiçleri ve preslemede kullanılan bütün kalıplara eğim açısı verilir. Kalıplara verilen eğim açıları Çizelge 1.28 ve 1.29’da verilmiştir (Odabaş, 2011).



Şekil 1.31. Süspansiyon parçasına verilen eğim açıları

Çizelge 1.28. Dövme çekiçleri kalıplarına uygulanan tek taraflı eğim açıları

Dövme çekiçlerinde	Normal eğim açısı	Ticari amaçlı eğim açısı	Ortalama eğim açısı
Dış yüzey	$7^{\circ}\pm 1^{\circ}$	$10^{\circ}\pm 1,5^{\circ}$	$8^{\circ}\pm 1^{\circ}$
İç yüzey	$10^{\circ}\pm 1^{\circ}$	$13^{\circ}\pm 1,5^{\circ}$	$8^{\circ}\pm 1^{\circ}$

Çizelge 1.29. Malzemenin cinsine göre kalıba uygulanacak tek taraflı eğim açıları

Malzemenin cinsi	Kalıplama işlemi	Eğim açısı	Kalıplama derinliği
Alüminyum	Dövme çekiçleri	$7^{\circ}\pm 1^{\circ}$	100 mm ye kadar
		$5^{\circ}\pm 0^{\circ}$	32 mm ye kadar
	Dövme presleri	$3^{\circ}\pm 0^{\circ}$	32 mm ye kadar
		$3^{\circ}\pm 1^{\circ}$	32-56 mm arası
		$5^{\circ}\pm 1^{\circ}$	56-140 mm arası
Çelikler	Dövme çekiçleri	$7^{\circ}\pm 1^{\circ}$	75-125 mm arası
		$10^{\circ}\pm 0^{\circ}$	25 mm ye kadar
	Dövme presleri	$7^{\circ}\pm 1^{\circ}$	25-200 mm arası
Titanyum	Dövme çekiçleri	$5^{\circ}\pm 1^{\circ}$	0-175 mm arası
	Dövme presleri	$3^{\circ}\pm 1^{\circ}$	0-50 mm arası

1.6.6 Çekme ve işleme paylarının belirlenmesi

Kalıp oyuğu içinde sıcak şekillendirilen dövme parça sıcaklığı 750° - 1200° C'lik civarındadır. Dolayısıyla dökümde söz konusu olduğu gibi, parça ağırlığı ve ısı iletim katsayısına bağlı olarak işlem sonunda belirli bir soğuma hızı ile ortam sıcaklığına inilecektir. Bunun sonucu olarak da kendini çekme ile boyutsal küçülmeler ortaya çıkacaktır. O halde boyutlardaki değişimlerin karşılanabilmesi için oyulan boşluk boyutlarına bu payların eklenmesi gerekir. Kalın parçalar kalıptan çıktıktan sonrada soğumasını sürdüreceğinden, çekme payı için üst değerlerin, ince parçalar ise hemen soğuyacağından alt değerlerin seçilmesi gerekir. Bazı çelik türleri için verilecek olan çekme payları Çizelge 1.30'da verilmiştir (Odabaş, 2011).

Çizelge 1.30. Bazı çelik türlerinde ve tav sıcaklıklarına göre verilecek çekme payları

Parça malzemesi	K= $\alpha.t.10^{-4}$ (%)		
	800°C	950°C	1100°C
C35	% 0.84	% 1.16	% 1.48
C45	% 0.88	% 1.22	% 1.60
C90	% 1.24	% 1.62	% 2.03
X12Cr88Ni	% 1.50	%1.85	% 2.20

Dövme parçalarda uygulanacak talaşlı bitirme işlemi için verilecek paylar, dövülen parçanın yüzey hassasiyeti, boyutlarına, oksidasyon ve dövme karakteristikleri bağlıdır. Şahmerdanlar makineleri için verilecek payların, preslerden daha büyük tutulması gerekir. Küçük boyutlu çelik ve titanyum parçalar, orta boyutlu alüminyum ve magnezyum alaşımından dövme parçalar için ~1.5 mm pay verilebilir, orta büyüklükte dövme çelik parçalar en az 3 mm, büyük boyutlu çelik parçalar da ise 4.5~6.5 mm. pay verilmesi uygundur (Odabaş, 2011).

1.6.7 Boyut ölçüleri ve toleranslar

Boyutsal ölçüler

Kalıplanacak parçanın boyutları, geometrik özellikleri taşıyan mm değerlerle ölçülendirilir. Boyutsal ölçüler genellikle dövülecek parçanın anma ölçüleridir. Boyutları oluşturan anma ölçüleri parçanın boyu genişliği ve yüksekliğidir. Bu ölçüler, kalıplanacak parçanın tasarımını yapan kişiler tarafından belirlenir. Ancak, dövme kalıplarıyla üretilen parçalarda hiç bir zaman ölçü tamlığı sağlanamaz. Bu nedenle, üretilen parçanın anma ölçülerine ilave değerler verilir. Böylece, anma ölçülerine yakın değerlerde parçanın üretimi gerçekleştirilir. Ayrıca parçaya verilecek eğim açısı ve yerleşim konumu, kaburga veya federler, parça üzerindeki delikler, iç ve dış yüzey kavis yarıçapları da anma ölçülerine girmektedir.

Boyutsal toleranslar

Kalıplanacak parçanın boyutsal veya anma ölçülerine (+) veya (-) yönde ilave edilen kabul edilebilir ölçülere boyutsal toleranslar denir. Kalıplanacak parçanın özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırma yapılabilir (Çizelge 1.31) (Odabaş, 2011).

Çizelge 1.31. Boyut toleransları

<ul style="list-style-type: none">Uzunluk ve genişlik toleransı: Kalıplanacak parçanın uzunluğuna (boyuna), genişliğine ve çapına ilave edilen toleranstır. Tek taraflı olarak ilave edilecek ölçüler yandaki tabloda verilmiştir.	Kalıplanacak parçanın anma ölçüleri(mm)	Tek taraflı tolerans (mm)							
	-600	0,75							
	600-1800	1,5							
	1800-3600	3							
	3600 ve yukarısı	6,5							
<ul style="list-style-type: none">Kalıp aşınması toleransı: Kalıplanacak parçanın kalıp açılma çizgisi üzerindeki en büyük anma ölçülerinden uzunluk, genişlik veya çapına ilave edilen toleranstır. Malzeme faktörüyle çarpılarak bulunan kalıp aşınması toleransı, ilgili parçanın dış yüzey anma ölçü süne ilave edilir ve iç yüzey anma ölçüsünden çıkartılır. Kalıp aşınması toleransı, ilgili parçanın dış yüzey anma ölçüsüne ilave edilir ve yüzey anma ölçüsünden çıkartılır. Kalıp aşınması toleransı, merkez anma ölçülerine ilave edilmez veya çıkartılmaz.	Malzemenin cinsi	25 mm boydaki malzeme faktörü							
	Karbonlu çelikler	0,004							
	Düşük alaşımlı çelikler	0,005							
	Paslanmaz çelikler	0,006							
	Isıya dayanıklı çelikler	0,008							
	Titanyum alaşımlar	0,009							
	Alüminyum alaşımlar	0,004							
	Magnezyum alaşımları	0,006							
	Pirinç	0,002							
	Bakır	0,002							
<ul style="list-style-type: none">Eşlendirme toleransı: Eşlendirme toleransı, kalıp yarımalarının hatalı kapanması sonucu parça üzerinde meydana gelen uygun olmayan ölçü farkını gidermek amacıyla verilir.	Çapaksız parça ağırlığı (kg)								
	Malzeme Cinsi	2	2-10	10-25	25-50	50-100	100-250	250-500	500 ve yukarı
	Karbonlu ve düşük alaşımlı Çelikler	0,4	0,75	1,2	1,5	2,25	3	4	
	Paslanmaz Çelikler	0,75	1,2	1,5	2,25	3	4	4,5	
	Isıya dayanıklı ve titanyum alaşımları	0,75	1,2	1,5	2,25	3	4	4,5	
	Alüminyum ve magnezyum alaşımları	0,4	0,75	1,2	1,5	2,25	3	4	
	İşlenebilir Çelikler	1,5	2,25	3	4	4,5	6,5	8	

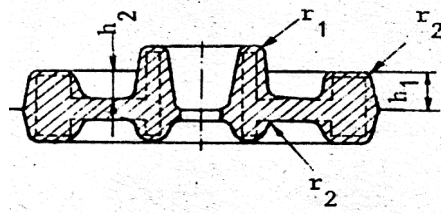
Çizelge1.31. (Devam) Boyut toleransları

	Çapaksız parça yüzey alanı (mm ²)						
	6250	1500	31250	62500	15600	31250	31250 ve üstü
Malzeme Cinsi							
Karbonlu ve düşük alaşımlı Çelikler	0,75	1,5	2,25	3	4	4,5	6,5
Paslanmaz Çelikler	1,5	2,25	3	4	4,5	6,5	8
Isıya dayanıklı ve titanyum alaşımları	1,5	2,25	3	4	6,5	8	9,5
Alüminyum ve magnezyum alaşımları	0,75	0,75	1,5	2,25	3	4,5	6,5
İşlenebilir Çelikler	2,25	3	4,5	4,5	6,5	8	9,5

• Kalıp kapanma veya kalınlık toleransı:
Kalıp yarımalarının tam olarak kapanmaması veya fazla kapanması sonucu parça kalınlığında ölçü farkı meydana gelir. Bu ölçü farkını gidermek amacıyla parça kalınlığına (+) veya (-) yönde ilave edilen toleransa, kalınlık veya kalıp kapanma toleransı denir.

1.6.8 Kenar ve köşe yuvarlatmaları

Kalıplarda keskin köşe ve yetersiz radyüsler malzeme akışını bozduğu için istemeyen bir durumdur. Çünkü radyüsler ve köşeler malzeme akışını düzenler. Keskin köşe ve yetersiz radyüsler de malzemede ters akışlar meydana gelir. Bu nedenle katmer denen dövme hatası oluşur (Şekil 1.32). Ayrıca keskin köşeli kalıpların kalıp ömrü azalır. O nedenle olması gereken kenar ve köşe yuvarlatmaları Çizelge 1.32’de verilmiştir (Odabaş, 2011).



Şekil 1.32. Kenar ve köşe yuvarlatmaları

Kenar ve köşe yuvarlatmaları dövme teknolojinizle değişebilir. Ancak bazı genel ölçüler verilebilir.


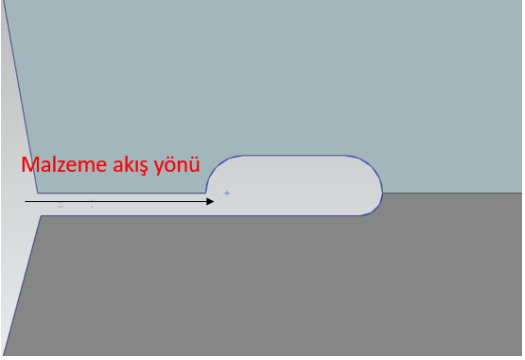
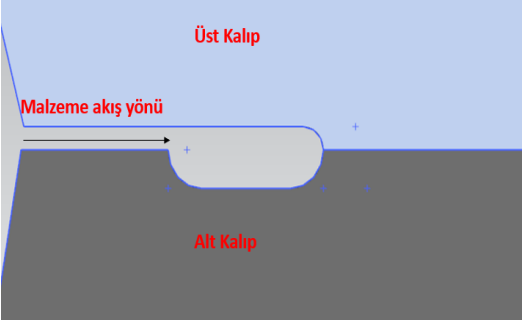
Çizelge 1.32. Kenar ve köşe yuvarlatmaları

Boyutlar h ₁ ve h ₂		Dış kenar radyüsleri (r ₁) tüm dövme parçaları için	Girinti radyüsleri (r ₂)	
			Normal	Minimum
-	25	2	4	4
25	40	3	6	5
40	63	4	10	6
63	100	6	16	8
100	160	8	25	10
160	250	10	40	16

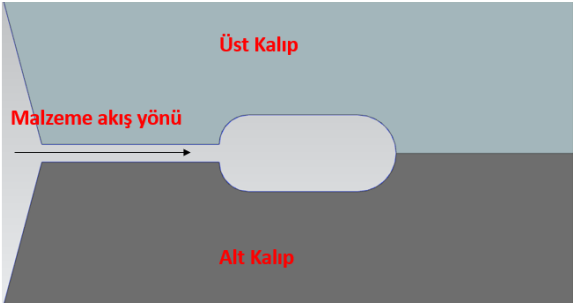
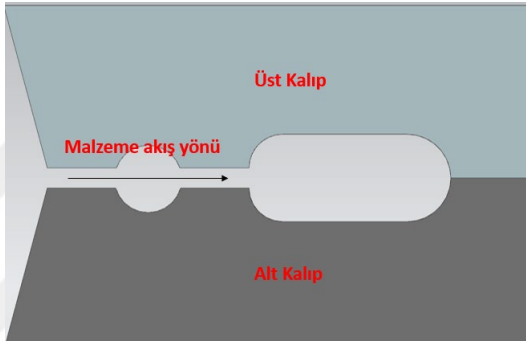
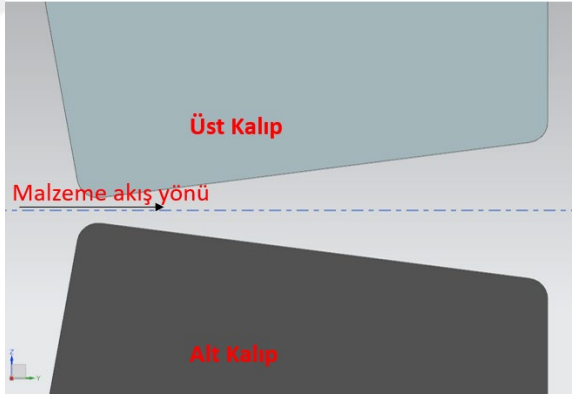
1.6.9 Çapak boşluğu boyutları

Kalıpta dövme tekniğinin gereği olarak parça hacmine eklenen çapak payının, kalıp kapanırken taşabilmesi gerekir. Bu taşma boşluğuna, çapak boşluğu denilmekte ve parça büyüklüğü ve türü, dövülen malzeme cinsi, dövme makinesi türü ve gücüne göre değişik boyut ve şekillerde düzenlenir. Kalıpta şekillendirilmek istenen boşluk hacminin, dövme parça hacminden biraz büyük tutulması, kalıp içinde basınç etkisi oluşturmakta ve kalıp daha dolmaktadır. Alttaki şekillerde çapak boşluğu ve değişik çeşitleri görülmektedir (Çizelge 1.33) (Odabaş, 2011).

Çizelge 1.33. Çapak boşluğu çeşitleri

<p>Düz çapak yüzeyli kalıplar (çatlak dövme) bu sakıncayı nispeten azaltır</p>	
<p>Bu tür kalıplar, kaba işçiliğin yeterli olduğu dövme parçalarda, şahmerdan çekici yada pres başlığının ve üst kalıp bloğunun büyük tutulduğu durumlarda ve büyük kapasiteli preslerde kullanılabilir. Ancak yukarıda değinilen sakıncaya rağmen, kaburgalı ve karmaşık şekilli parçalarda malzemenin çapak yüzeyinden akışının zorlaştırılması özellikle istenmektedir.</p>	
<p>Çapak kesme sırasında dövme parçanın, kalıba yerleştirilmesinde 180° çevirme gerekiyorsa tercih edilir.</p>	

Çizelge1.33. (Devam) Çapak boşluğu çeşitleri

<p>Şekilli büyük çapak hacimleri söz konusu olduğunda kullanılır</p>	
<p>Oyuk ile çapak boşluğunu birleştiren çapak eşiği üzerine çevresel olarak bir kanalcık açılmıştır. Çapak kesiti bu kısımda hızla soğuyarak eşiğe takılır ve akış yavaşlatılır. Böylelikle doğan tepki sonucu kalıpta yükselme sağlanır ve kaburgalı, karmaşık şekilli parçaların şekli tam olarak elde edilir.</p>	
<p>İnce kesitli ve keskin kenarlı dövme parça türlerinde tercih edilmektedir. Çünkü bu tür parçalar çabuk soğuduklarından çapağa ısı geçişi çok az olmakta ve çapak ucu daha işlem başlangıcında soğumaktadır. Böylelikle malzeme akışına karşı büyük bir direnç olduğundan, ince kesitli parçaların dövme kalıplarında çapak yüzeyinin küçük tutularak direncin azaltılması yoluna gidilir. Bu tür kalıpları kursu ayarlanabilen tezgahlar da kullanılması gerekir</p>	

Her ne kadar çapak oluşumu kalıbın tam olarak dolmasında çok önemli rol oynasa da aşırı çapak malzeme kaybı gibi sakıncaların yanında iş parçasında iç kusurların (kat, katmer) oluşmasına da yol açabilir. Aşırı çapak nedeniyle iç kusurların oluşumu özellikle dövme sırasında malzemenin, iş parçasının orta kısımlarından yanlara doğru hareket etmeye zorlanması sırasında oluşur. Çapak parametrelerinin belirlenmesinde, endüstride tecrübeye dayalı oluşturulmuş formüller kullanılmaktadır.

e ince çapak uzunluğu (mm), a ince çapak kalınlığı (mm) ve ip bir katsayı olmak üzere en yaygın kullanılan ince çapak formülü:

$$e = a \times ip \quad (1.3)$$

Şekil 1.33’de söz konusu çapak boşluğu ifadeleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.33. Çapak boşluğu tanımları

Aşağıdaki Çizelge 1.34 ve 1.35’de ise sırası ile olması gereken çapak geçiş aralıkları ve ip katsayıları verilmiştir.

Çizelge 1.34. Çapak geçiş aralığı tablosu

Dövülecek malzeme ağırlığı (kg)	a (mm)	Dövülecek malzeme ağırlığı (kg)	a (mm)	Dövülecek malzeme ağırlığı (kg)	a (mm)	Dövülecek malzeme ağırlığı (kg)	a (mm)
0.1	1	1.25	2	4	3	20	5.3
0.25	1.2	1.5	2.2	5	3.2	25	5.6
0.5	1.4	2	2.4	7.5	3.4	30	5.8
0.75	1.6	2.5	2.6	10	4	40	6
1	1.8	3	2.8	15	5	50	6,2

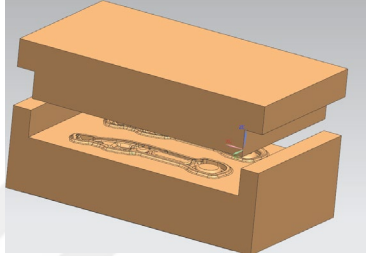
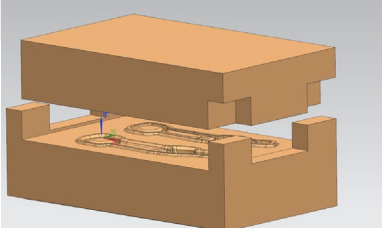
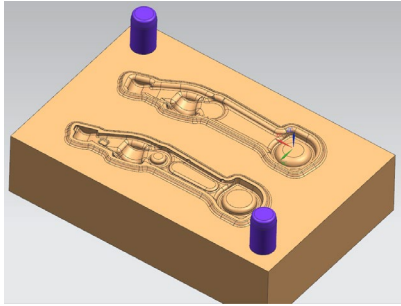
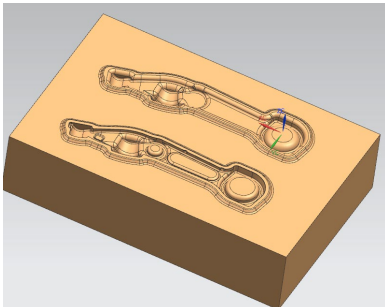
Çizelge 1.35. Ağırlığa göre ip katsayı tablosu

Dövülecek malzeme ağırlığı (kg)	ip katsayı değeri
0.1~1	4
1.25~3	3.6
4~15	3.2
15~50	2.7

1.6.10 Kalıp kılavuzlama tipi

Alt ve üst kalıbın birlikte uyum içinde çalışması ve alt-üst oyuk kenarlarının birbirleriyle tam çakışmasının sağlamak, ayrıca yanıl kuvvetleri karşılamak için kalıplara kılavuzlama uygulanır. Çizelge 1.36’da değişik kılavuzlama tipleri görülmektedir. Bu kılavuzlama dövme teknolojinize göre değişik şekillerde olabilir (Odabaş, 2011).

Çizelge 1.36. Çeşitli kalıp kılavuzlama tipleri

<p>Daha çok şahmerdanlarda boy kaçıklığı engellemek için kullanılan lata (pervaz) kılavuzlama tipi.</p>	 A 3D CAD model of a mold assembly. The upper half is a flat plate with a central cavity. The lower half is a block with a matching cavity and a raised flange (lata) around the perimeter. A blue pin is shown in the lower half, indicating its position relative to the flange.
<p>Şahmerdanlarda hem boy hem de yan kaçıklığını engellemek için kullanılan köşeli kılavuzlama tipi.</p>	 A 3D CAD model of a mold assembly. The upper half is a flat plate with a central cavity. The lower half is a block with a matching cavity and chamfered corners. A blue pin is shown in the lower half, indicating its position relative to the chamfered corners.
<p>Preslerde kalıbı merkezlemek amaçlı kullanılan pimli kılavuzlama tipi burada pim boyutları aşağıdaki bağlantılarla bulunabilir.</p> <p>Pim ucunun yüksekliği: $h=(1\sim1.5)d$</p> <p>Pimin alt kalıp içine gömülü boyu: $l=(1.5\sim2)d$</p>	 A 3D CAD model of a mold assembly. The upper half is a flat plate with a central cavity. The lower half is a block with a matching cavity. Two blue pins are shown in the lower half, one at each end of the cavity, indicating their positions for centering the upper half.
<p>Preslerde kullanılır herhangi kılavuzlama tipi kullanılmayabilir</p>	 A 3D CAD model of a mold assembly. The upper half is a flat plate with a central cavity. The lower half is a block with a matching cavity. A blue pin is shown in the lower half, indicating its position for centering the upper half.

1.6.11 Kalıp malzemesi seçim

Dövme kalıpları çok yüksek mekanik ve termal gerilmelere maruz kalırlar. Bu yüzden kalıp malzeme seçimi çok önem arz etmektedir (Odabaş, 2011).

Sıcak dövme kalıp çeliklerinde aranan özellikler şöyle olmalıdır.

- Şekil değiştirmeden sertleşebilmeli,
- Kalıplama süresince aşınmaya karşı dayanıklı olmalı,
- Büyük darbe ve basınca karşı dayanım gösterebilmeli,
- Isıdan dolayı çatlama özelliği olmamalı,
- İşlenebilirliği iyi olması

Aşağıda Çizelge 1.37’de farklı sıcak takım çeliklerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.37. Sıcak takım çeliklerinin özelliklerine göre karşılaştırılması

DIN	Yüksek sıcaklık dayanımı	Yüksek sıcaklık çatlama direnci	Yüksek sıcaklık aşınma direnci	İşlenebilme
1.2343 X37CrMoV5-1	■	■	■	■
1.2344 X40CrMoV5-1	■	■	■	■
1.2365 32CrMoV12-28	■	■	■	■
1.2367 X38CrMoV5-3	■	■	■	■
1.2714 55NiCrMoV7	■	■	■	■

BÖLÜM II

MATERYAL VE METOT

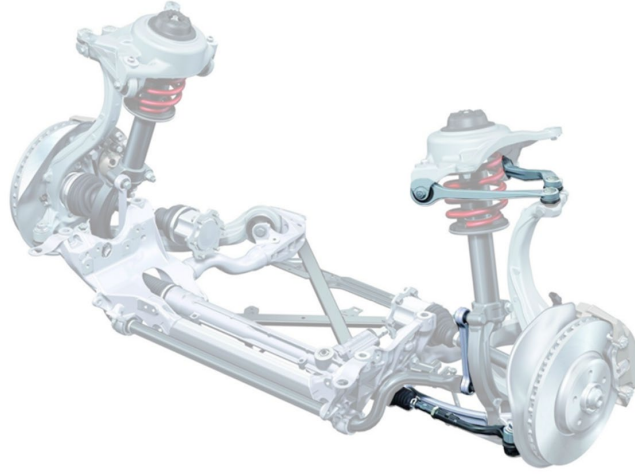
2.1 Süspansiyon Sistemi

Taşıtlarda sürüş güvenliği ve konforunun sağlanması ön düzen ve süspansiyon sistemlerinin uyum içinde çalışmasına bağlıdır. Taşıtların süspansiyonlarının ana görevi; iyi bir sürüş ve yol tutuş performansı sağlamak, dönüş esnasında direksiyon kontrolünü sağlamak ve taşıtların kontrol kuvvetlerine iyi yanıt vermektir. Süspansiyon sistemi, aynı zamanda tekerleklerden gelen yüksek frekanslı titreşimlerin yalıtımını da sağlamalıdır (Putgül ve Altıpatmak, 2016). Seyir halindeki bir araca yoldan ve havadan birçok kuvvet etki etmektedir. Bu kuvvetler Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi araçta bazı salınımlara neden olur (MEB, 2013).

Çizelge 2.1. Araçlara etki eden kuvvetler

Yan yatma: Bozuk bir yolda araç döndüğünde veya hareket halinde iken aracın bir tarafındaki yay kısalmaya başlar. Bunu sonucunda aracın gövdesi bir taraftan diğer tarafa yanal hareketler yapar.	
Zıplama: Aracın tümüyle aşağı yukarı hareketidir. Düzensiz olmayan yollarda yüksek hızlarda araç kullanıldığı zaman meydana gelir. Yaylar yumuşak olduğunda zıplama da artar.	
Sallantı: Aracın ağırlık merkezine göre ön ve arkasının aşağı yukarı hareket etmesidir. Bu sallantı özellikle, aracın pürüzlü ve kasisli, çok çukurlu stabilize yollarda kullanıldığı durumlarda meydana gelir.	
Gezme: Aracın ağırlık merkezine bağlı olarak eksenal merkezden sağa ya da sola hareketidir.	

Süspansiyon sistemi, araç şasesi ve tekerlekler arasında yer alan ve yay, amortisör, burç, çubuk, bağlantı ve kollardan oluşan bir sistemdir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Süspansiyon sistemi

2.2 Süspansiyon Parçasının Dövme Prosesinin İncelenmesi

Bu tez çalışmasında süspansiyon parçasının dövme operasyonlarını incelenmiş olup dövme prosesinde üründe meydana gelen hatalar için iyileştirme çalışmaları araştırılmıştır. Öncelikle mevcut proses ve meydana gelen hatalar incelenmiştir. Daha sonra oluşan hatalar çözmek için hızlı ve pratik olan balık kılıcı problem çözme tekniği kullanılmıştır. Bunun dışında bir çok metod uygulanabilir. Bunlar, 5 neden analizi, triz yöntemi.vb. çözüm teknikleride uygulanabilir.

Balık kılıcı tekniğin uygulanması için öncelikle bir problem belirlenir. Daha sonra belirlenen problemin temel nedenleri belirlenir. Teknik problemin çözümü için analitik bir yaklaşımla çok sayıda fikir üretmeye dayanır. Balık kılıcı kategorileri üretim için genellikle insan, malzeme, çevre, ölçme, yöntem, makine, yöntem kısımlarını içerir.

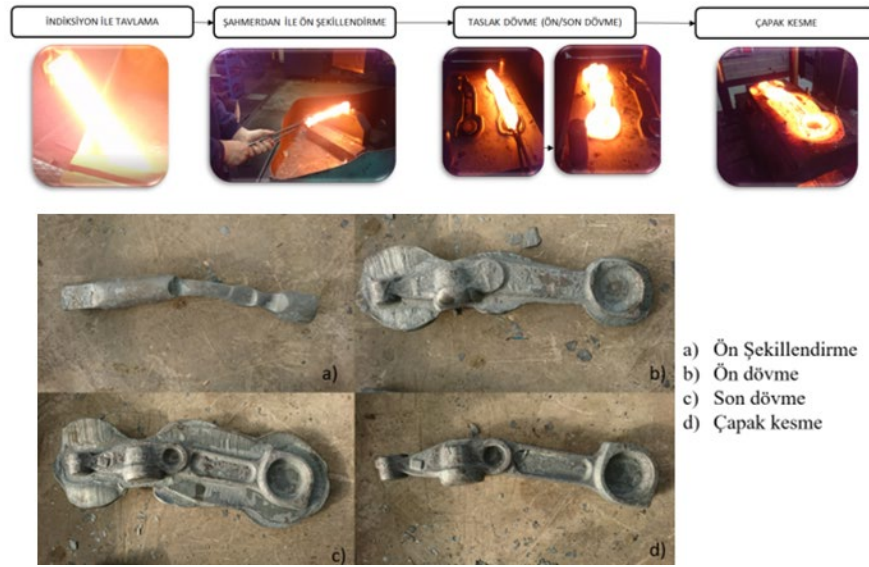
Diyagram hazırlanırken dikkate edilmesi konular şu şekilde olmalıdır.

- Sebepler araştırılırken değişik kesimlerin görüşleri alınmalıdır.
- Herkesin görüşlerini rahatlıkla, çekinmeden söyleyebileceği ortam oluşturulmalıdır.
- Sebepler yazılırken tarafsız davranmalı, çözülebilir olmalarına özen gösterilmelidir.
- Diyagram değişen şartlara göre güncel tutulması sağlanmalıdır.

Hatalar için 5 kişilik bir ekip ile balık kılıcı diyagramı oluşturulmuştur. Ekip üyeleri 2 tane dövmehanesi personeli, 2 tane kalıphane personeli ve 1 tane kalite personeli. Her

ekip üyesinin sorun için verebileceği toplam 3 puanı vardır. Her kişi hata için özgürce fikirlerini söylediler.

Her bir ekip üyesi hatanın nedenleri için puanlama yaptılar. Puanlama sonucunda hatanın düşünüyü için gerekli aksiyonlar alınmıştır. Mevcut dövme prosesi ve çıkan ürünler Fotoğraf 2.1’de gösterilmiştir. Süspansiyon parçasının iş akış prosesi ve ürün taşıma mesafeleri aşağıdaki Çizelge 2.3’de verilmiştir.

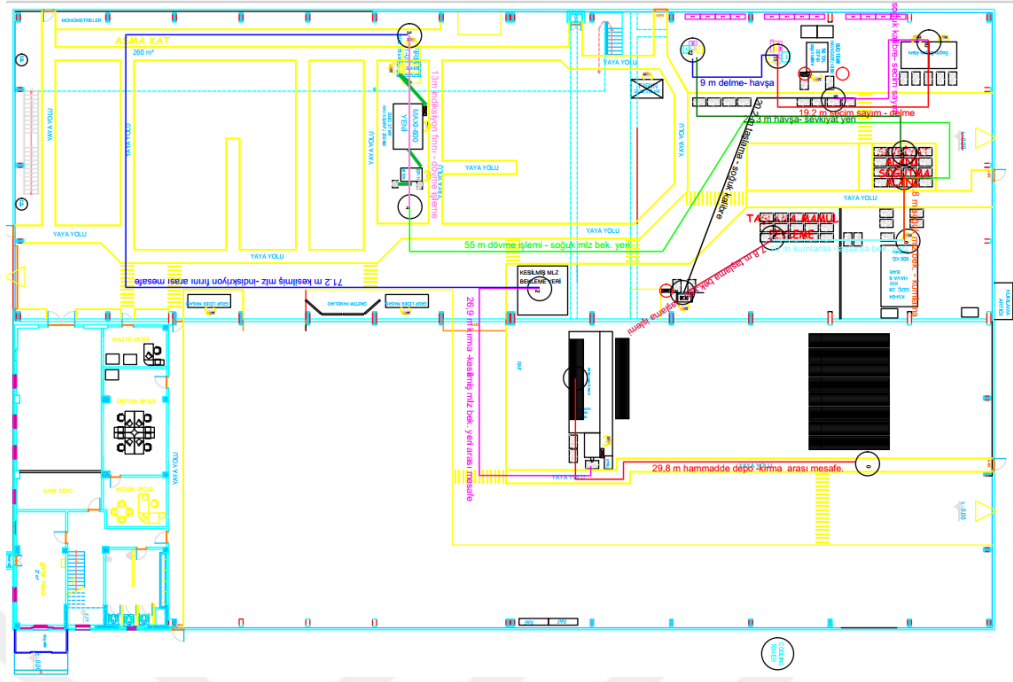


Fotoğraf 2.1. Mevcut dövme prosesi aşamaları ve çıkan ürünler

Çizelge 2.2. Süspansiyon parçasının iş akışı adımları ve taşıma mesafeleri

Dövme iş akışı adımları	Arasındaki mesafe (m)
Hammadde - Kırma	29.8
Kırma - Kesilmiş malzeme bekleme sahası	26.9
Kesilmiş malzeme bekleme sahası – İndüksiyon fırını	71.2
İndüksiyon fırını - Dövme işlemi	13
Dövme işlemi - Soğuk malzeme bekleme sahası	55
Soğuk malzeme bekleme sahası - Kumlama	4.8
Kumlama - Taşlama bekleme sahası	10
Taşlama bek - Taşlama işlemi	7.8
Taşlama işlemi - Soğuk delme	20.2
Toplam	238.7

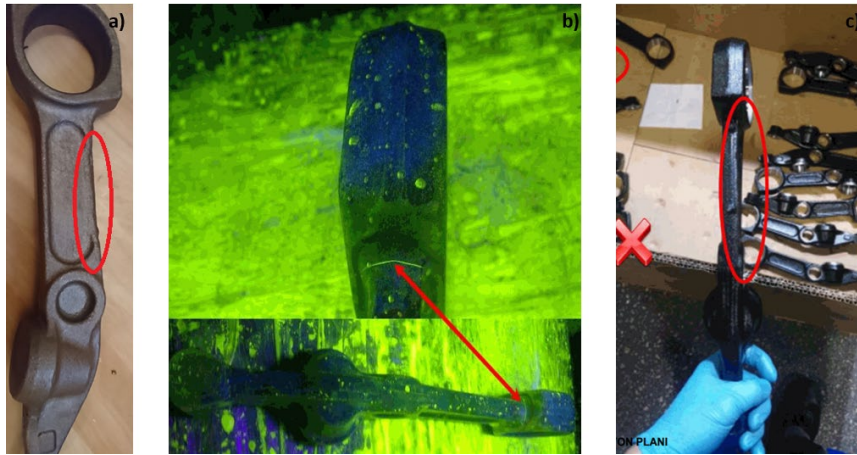
Süspansiyon parçasının spagetti diyagramı (üretimdeki izlediği yol) Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Ürünün spagetti diyagramı

2.3 Süspansiyon Parçasının Dövme Prosesinde Meydana Gelen Hatalar

Bu tez çalışmasında incelenen süspansiyon parçasının (rotilli kol) dövme prosesinde meydana gelen genel hatalar Fotoğraf 2.2’de topluca verilmiştir.



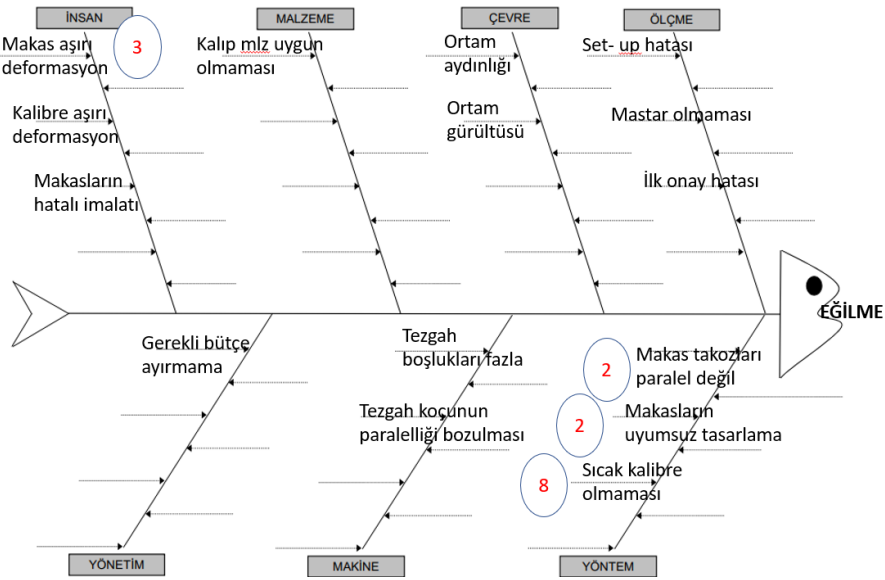
Fotoğraf 2.2. Doldurmama (a), kat hatası (b) ve eğilme hatası (c)

Süspansiyon parçasında meydana gelen eğilme hatası Fotoğraf 2.3’de gösterilmiştir. Eğilme hatasında ekip üyeleri özellikle makas aşırı deformasyonu, makas takozlarının paralel olmaması, makas ve uyumsuz tasarlanması ve sıcak kalibre olmaması vb. gibi

fikirler üretmişlerdir. En çok puanı sıcak kalibre olmaması almıştır. Oluşan hata için yapılan balık kılçığı çalışması Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.3. Süspansiyon parçasında meydana gelen eğilme hatası



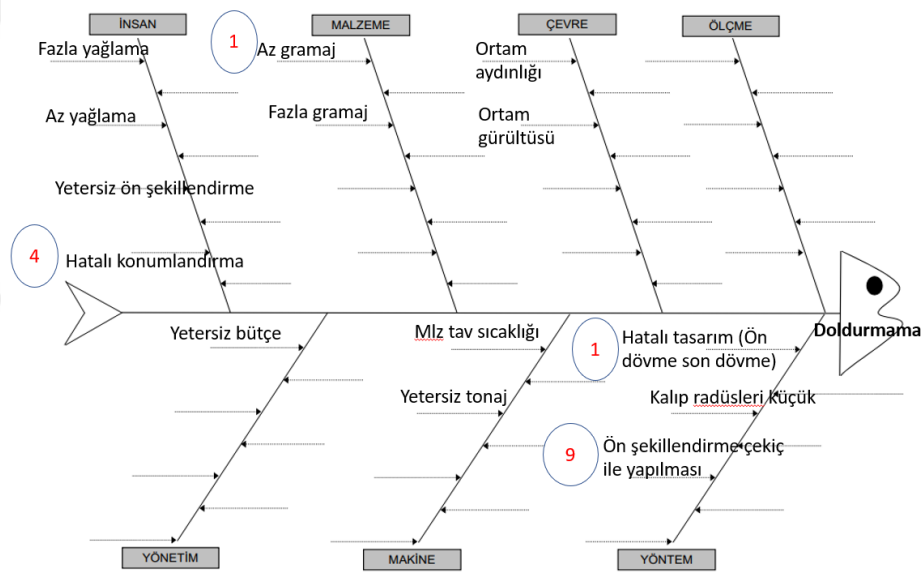
Şekil 2.3. Eğilme hatası için yapılan balık kılçığı diyagramı

Süspansiyon parçasında meydana gelen diğer bir dövme hatası ise dövme işleminde en çok karşılaşılan dövme doldurmama sorunudur. Süspansiyon parçasında meydana gelen doldurmama sorun Fotoğraf 2.4’de gösterilmiştir. Doldurmama hatası için az gramaj

kullanılması, hatalı konumlandırma, hatalı ön tasarım ve ön şekillendirmeyi çekiç ile yapması vb fikirler üretmiştir. En çok puanı ön tasarım ve ön şekillendirmeyi çekiç ile yapması olmaması almıştır Süspansiyon parçasında meydana gelen hata için yapılan balık kılıcı diyagramı Şekil 2.4’de gösterilmiştir.

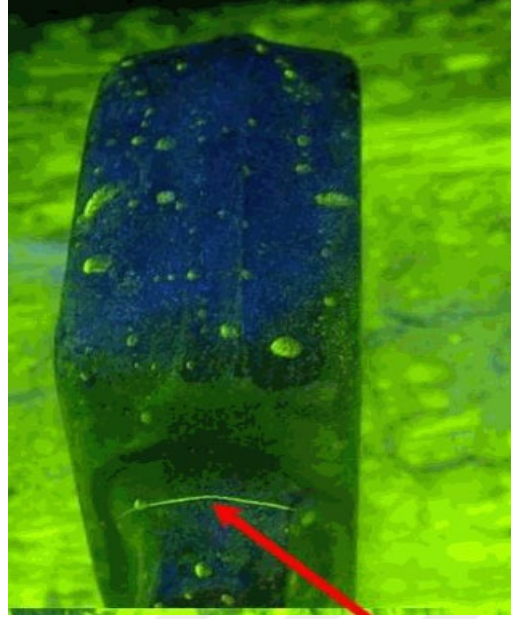


Fotoğraf 2.4. Dövme doldurmama hatası

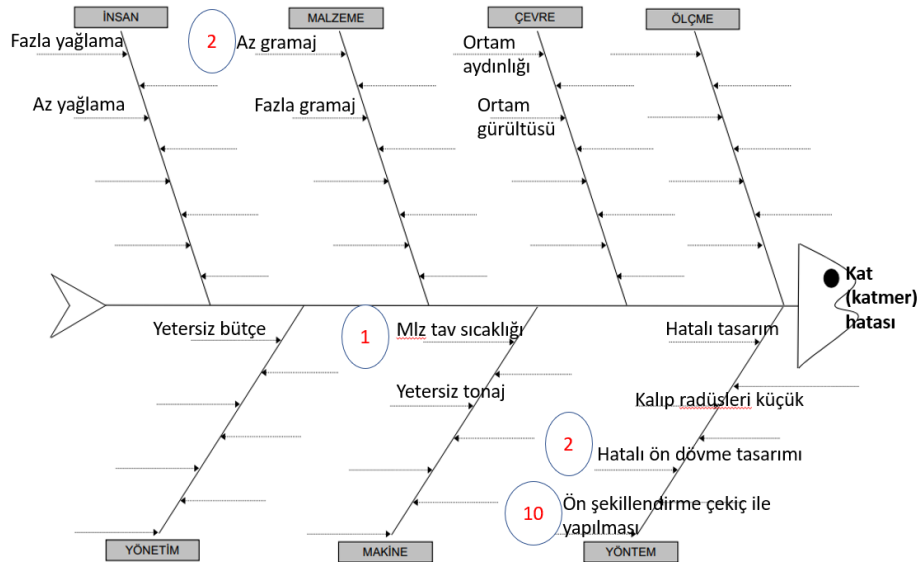


Şekil 2.4. Doldurmama hatası için yapılan balık kılıcı diyagramı

Süspansiyon parçasında meydana gelen kat (katmer) hatası Fotoğraf 2.5’de gösterilmiştir. Ekip üyeleri özellikle az gramaj, malzeme tav sıcaklığı, hatalı ön tasarım ve ön şekillendirmenin çekiç ile yapılması gibi vb fikirler üretmişlerdir. En çok puanı ön tasarım ve ön şekillendirmeyi çekiç ile yapması olmaması almıştır. Oluşan hata için yapılan balık kılıcı çalışması Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.5. Kat (katmer) hatası

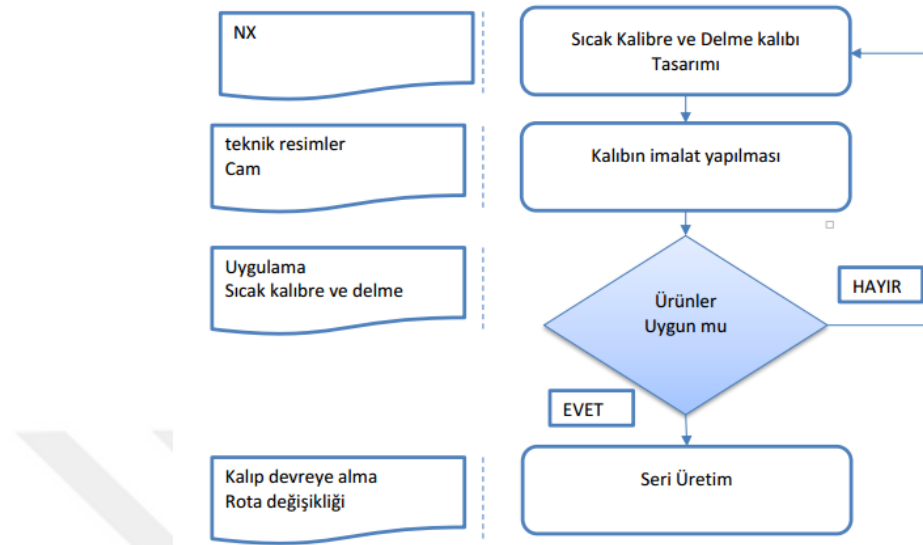


Şekil 2.5. Kat hatası için yapılan balık kılıcı diyagramı

Süspansiyon parçasında meydana gelen hatalar için oluşturulan balık kılıcı diyagramı sonucunda en çok puan alan ürünlerin ön şekillendirme çekiç ile yapılması ve sıcak kalibre olmaması olmuştur. Böylelikle sorunların kök nedeni bulunmuştur.

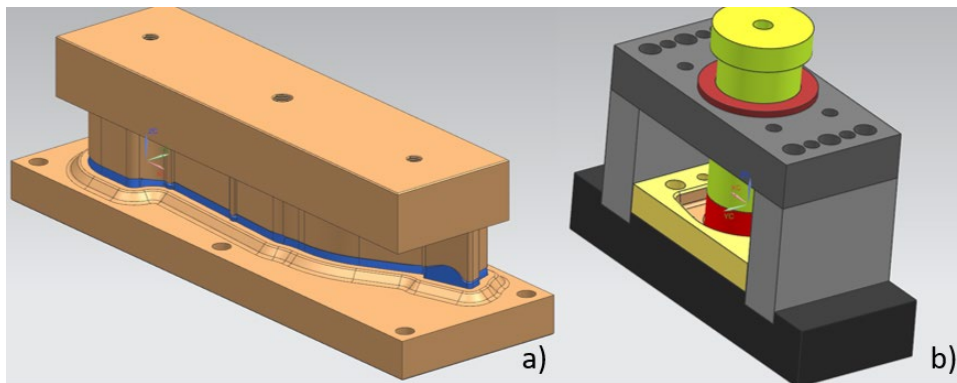
Eğilme hatası için soğuk delme operasyonu yerine operasyon birleştirme işlemi yapılarak sıcak kalibre ve delme yapılması kat ve doldurmama hatası içinde şahmerden (çekiç) ile

ön şekillendirme çekiç yerine rekvals kalıbı ile rekvals tezgahı yapılması düşünülmüştür. Eğilme hatası için izlenecek akış Şekil 2.6'da yer verilmiştir.



Şekil 2.6. Eğilme hatası için izlenecek akış

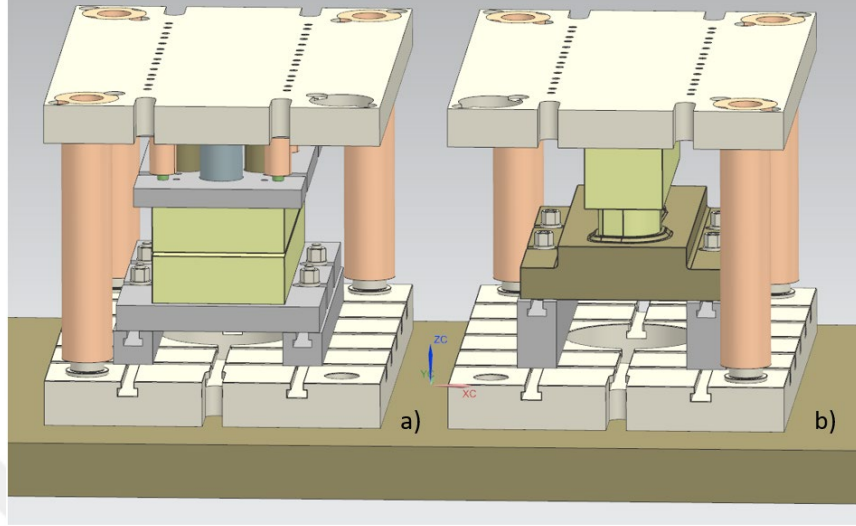
Süspansiyon parçasının sıcak delme ve kalibre yapılması için mevcut prosesinde incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda çapak kesme kalıbı tasarımı değiştirerek hem 1 operatör kazancı hemde süspansiyon parçasının üretim hareketi ve malzeme taşımaları azalacağı tespit edilmiştir. Eski çapak kesme ve delme işlemi Şekil 2.7'de verilmiştir.



- a) Eski çapak kesme kalıbı
- b) Eski delme kalıbı

Şekil 2.7. Eski çapak kesme ve delme kalıbı

Yeni tasarlanan apak kesme ve sıcak kalibre ve delme kalıbı tasarımı Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Ayrıca retimi yapılan yeni sıcak kalibre delme ve apak kesme delme kalıbını görünümü Fotoğraf 2.6’da gösterilmiştir.



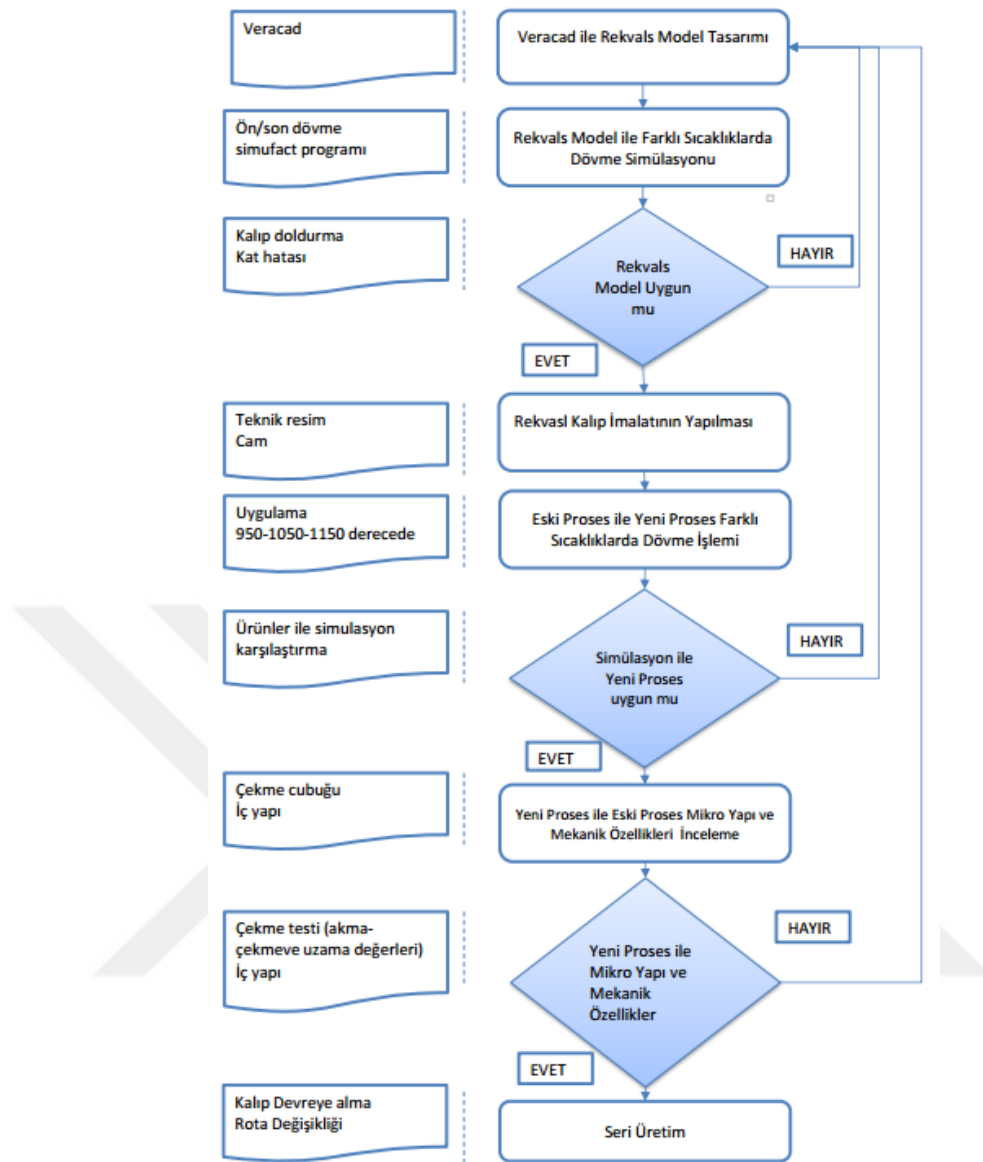
- a) Yeni sıcak kalibre ve delme kalıbı
- b) Yeni apak kesme kalıbı

Şekil 2.8. Yeni sıcak kalibre delme ve apak kesme delme kalıbı



Fotoğraf 2.6. Yeni sıcak kalibre delme ve apak kesme delme kalıbını görünümü

Dövme doldurmama ve kat (katmer) hatası için izlenecek akış Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Dövme doldurmama ve kat (katmer) hatası için izlenecek akış

2.4 Süspansiyon Parçasının VeraCAD ile Rekvals Model ve Kalıp Tasarımı

Rekvals kalıpları için VeraCAD programı kullanılmıştır. VeraCAD yazılımı, haddeleme (rekvals) prosesi ve makaraları için geliştirilmiş bir tasarım platformudur. Sıcak dövme sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmakta olan gererek haddeleme prosesi ile parçalara dövme öncesinde uygun ön form verilerek hem daha iyi kalıp doldurma elde edilir hem de çapak miktarı düşürülerek üretim maliyetleri önemli ölçüde azaltılmaktadır. Tasarımı yapılacak olan rekvals modelin iyi sonuçlar elde edilebilmesi için aşağıdaki maddelere dikkat edilmesi gerekmektedir (Netform, 2017).

- Paso sayısı kontrolü
- Kesit geçişlerinin belirlenmesi
- Ezme oranlarının düzenlenmesi
- Merkezleme kanallarının tanımlanması
- Rahatlama açılarının tanımlanması
- Çapak radyusu modifikasyonu
- Relatif hareket hesaplaması ve uzunluk telafisi

2.4.1 Paso sayısı kontrolü

Paso sayısı temel olarak ortaya çıkan ezme oranlarının büyüklüğünü etkilemektedir. Çok düşük sayıda paso kullanıldığında maksimum limit ezme oranları genelde aşılmaktadır. Bu durum fitil (fin) olarak adlandırılan şekillendirme hatasına yol açmaktadır. Çok fazla paso sayısının kullanılmasının teknik olarak bir dezavantajı olmamakla beraber proses süresini ve makara maliyetlerinin arttıracaktır. Maksimum limit ezme oranı rekvals tezgahı boyutlarına (makara dış çapına) bağlı olarak değişmektedir. Eğer makara çapı çok düşük ise limit ezme oranı yüksek, makara çapı yüksek ise limit ezme oranı düşüktür. Farklı makara çapları için aşağıda belirtilen limit ezme oranları aşılmamalıdır (Netform, 2017).

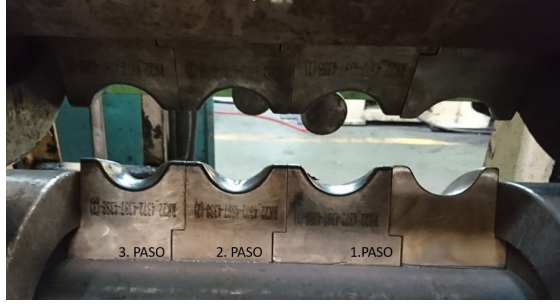
RW1 (370mm)	: < %41
RW1A (460mm)	: < %38
RW3 (920mm)	: < %33

Eğer belirtilen limitler dahilinde ezme yapılamıyorsa aşağıda belirtilen çözüm yöntemlerinden

bir veya bir kaçını uygulanmalıdır:

- Paso sayısını arttırmak
- Maksimum ezme oranını azaltmak için en düşük kesit alanını arttırmak.
- Fitil meydana gelecek bölgedeki malzeme çapağa gidecek ise fitil oluşumunu kabul göze almak

Süspansiyon parçasında paso sayısı 3 olarak hesaplanmıştır. Fotoğraf 2.7.'de gösterilmiştir.



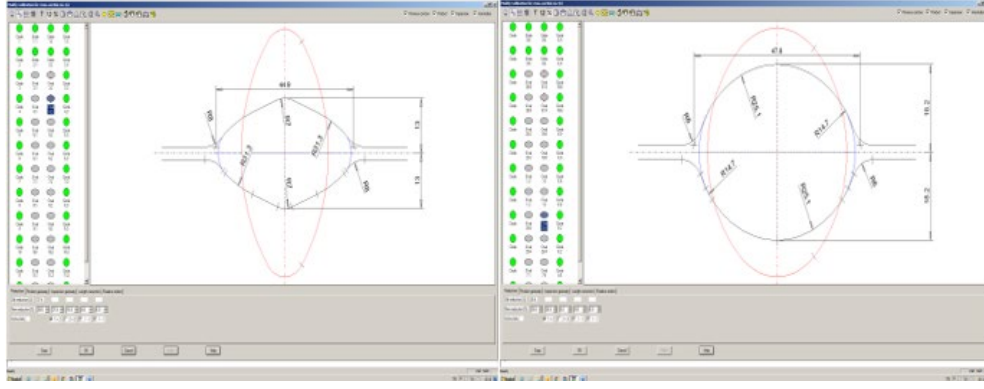
Fotoğraf 2.7. Süspansiyon parçasının paso sayısı

2.4.2 Kesit geçişlerinin belirlenmesi

Eğer kalibrasyon planı otomatik olarak oluşturulduysa, VeraCAD her kesit için kesit geçiş önerisi oluşturur. Çoğu zaman programın önerdiği geçişler değişiklik yapmadan kullanılabilir. Yine de tüm kesit geçişlerinin kontrol edilip, gerekliyse modifiye edilmesi önerilir. Bu işlemi yaparken aşağıda belirtilen çeşitli kriterler göz önünde bulundurulur (Netform, 2017).

- Çok yüksek ezme oranı gerekliliği
- Parçayı ilerletmek için gerekli minimum sürtünmenin oluşmasını garanti etmek
- Parçanın burulmasını (twisting) engellemek.

Süspansiyon parçasındaki kesit geçişleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



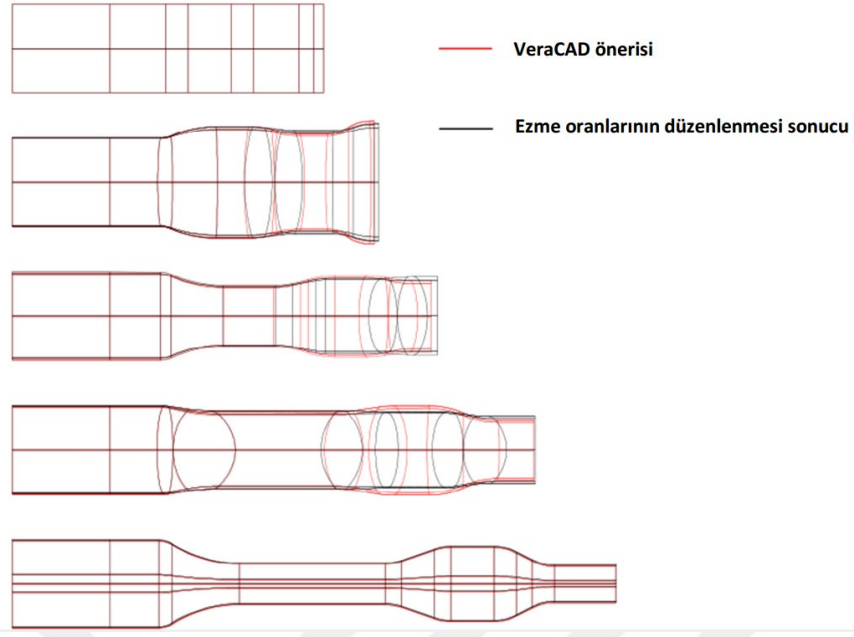
Şekil 2.10. Süspansiyon parçasındaki kesit geçişleri

2.4.3 Ezme oranlarının düzenlenmesi

VeraCAD, ezme oranlarını otomatik olarak belirlerken ezme limit değerlerinden belirli bir miktar düşük olacak şekilde hesaplamaktadır. Buradaki amaç her pasoda mümkün olan en fazla ezme yaparken şekillendirme hatalarının ortaya çıkmasını engellemektir.

Bir çok durumda ezme miktarlarını pasolar arasında yaymak gerekmektedir. Örneğin 1 ve 2 nolu pasolarda yüksek ezme yaparken 3 ve 4 nolu pasolarda göreceli olarak daha düşük ezme yapılabilir (Şekil 2.11). Ezme oranları düzenlenirken bazı kuralların göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Netform, 2017).

- Maksimum ezme oranları hiç bir pasoda geçilmemelidir. Eğer geçilmesi gerekirse limit değer çok az aşılmalıdır. Belirli kesit geçişlerinde minimum ezme oranları korunmalıdır.
- Bazı kesit geçişleri için minimum ezme oranı korunmalıdır.
- Taşıyıcı (kesit geometri değişikliği olmayan) kesitlerde %0.5-1 arası ezme uygulayarak parçayı ilerletmek için gerekli sürtünme oluşturulmalıdır.
- Şekillendirme hatalarını azaltmak için ilk pasolarda ezme oranları düşük tutulmalıdır
- Her paso için parçanın üstten görüntüsüne bakarak homojen genişlik elde edecek şekilde kesit oranları düzenlenmelidir.



Şekil 2.11. Ezme oranlarının düzenlenmesiyle elde edilen homojen parça genişliği

2.4.4 Merkezleme kanallarının tanımlanması

Bazı kesitlerde merkezleme kanallarının tanımlanması gerekmektedir. Merkezleme kanalları oval kesitli parçanın dik olarak yerleştirildiği pasoda parçanın makara içerisinde kaymasını ve parçanın burulmasını engellemektedir. Özellikle uzun ve ince parçalarda ve alüminyum malzemelerde rekvals sırasında burulma riski yüksektir. Merkezleme kanalları ayrıca parçayı makara içerisinde merkezlenmesi sağlamakta olup parçanın bükülmesini engellemektedir (Netform, 2017).

2.4.5 Rahatlama açılarının tanımlanması

Bazı kesitlerde rahatlama açısı tanımlanması gerekmektedir. Rahatlama açısının avantajları:

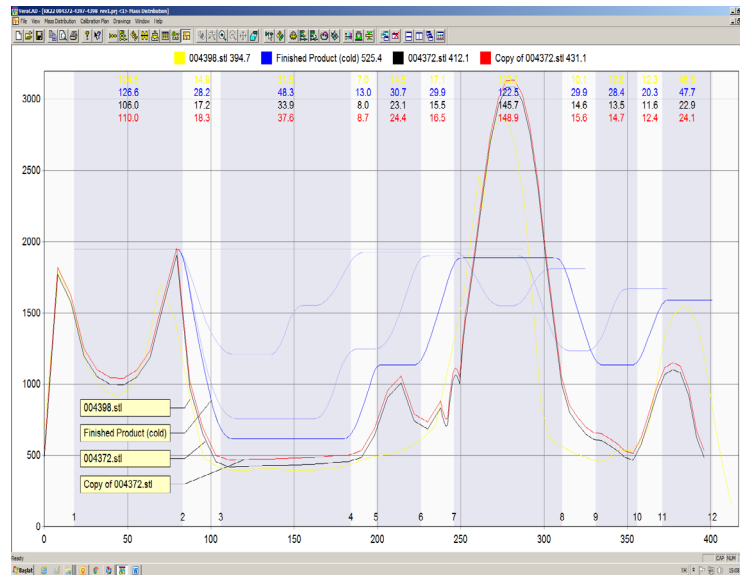
- Fital oluşumunu engeller. Eğer prostedeki ezme oranı tasarımdakinden fazla ise (eğer çapak boşluğu tasarlanandan daha az ve sıcaklık daha fazla ise yayılma öngörülenden fazla olacaktır) rahatlama açısı fazla malzemeyi taşıyabilir.
- Ham maddeden kaynaklı ölçüsel farklılıklar tolere edilir.
- Homojen parça genişliği elde etmek için alternatif yöntemdir.

Süspansiyon parçasının rekvals kalıp tasarımı VeraCAD programında 6 adımda yapılmıştır.

Adım 1: Bitmiş ürün geometrisi aktarımı: IGS, STL, EDX veya VDA formatındaki 3 boyutlu parça modeli VeraCAD'e aktarılır (VeraCAD, 2019).

Adım 2: Ağırlık dağılım analizi: Haddelme ile elde edilecek en uygun parça formunun belirlenebilmesi için bitmiş ürünün ağırlık dağılımı otomatik olarak tespit edilir. İstenen çapak miktarına bağlı olarak haddelenmiş ürün ve başlangıç malzemesi ölçüleri hesaplanır (VeraCAD, 2019).

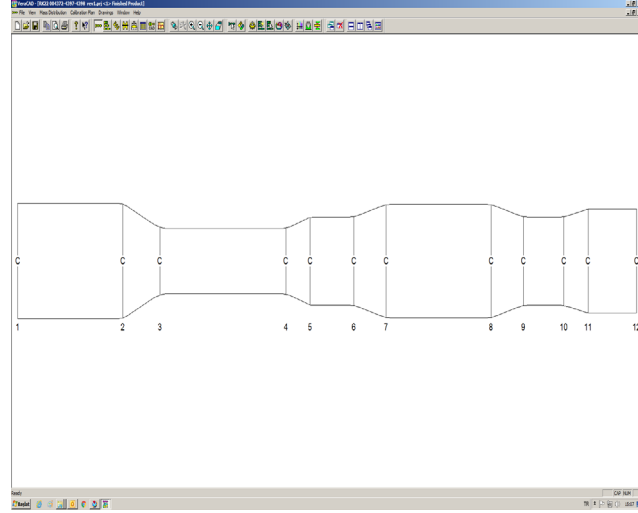
Süspansiyon parçasının kütle ağırlık dağılım analizi Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Süspansiyon parçasının kütle ağırlık dağılım analizi

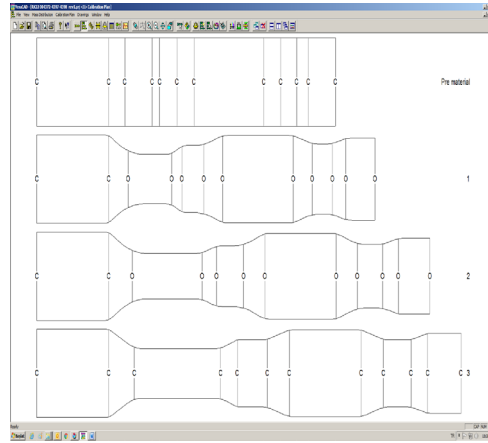
Adım 3: Haddelenmiş ürün tasarımı: Ağırlık dağılımına bağlı olarak tasarlanan parça geometrisi üzerinde kesit geometrisi (yuvarlak, kare, oval, v.b.) veya ölçüsel değişiklikler yapılır (VeraCAD, 2019).

Süspansiyon parçasının ağırlık analizi sonrası kesit geometrisini dikkate ederek parçanın haddelenmiş ürün tasarımı yapılmıştır ve Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Süspansiyon parçasının haddelenmiş ürün tasarımı

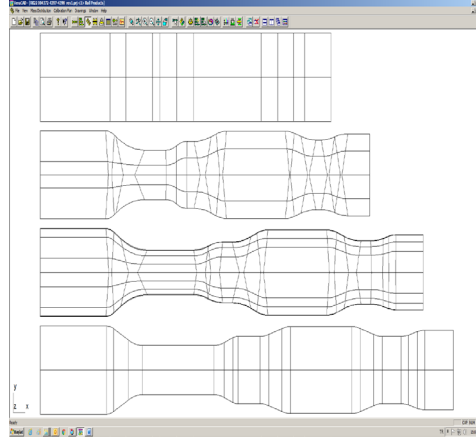
Adım 4: Şekillendirme adımları: Uygun paso sayısı program tarafından otomatik hesaplanabildiği gibi kullanıcı tarafından da belirlenebilir. Belirlenen paso sayısı için şekillendirme adımları otomatik olarak oluşturulur. Tüm ezme oranları ve diğer proses parametreleri detaylı olarak incelenebilir ve gerekli değişiklikler yapılarak tasarım optimize edilebilir (VeraCAD, 2019). Paso sayısı otomatik veracad verileri kullanılmıştır. Süspansiyon parçasının şekillendirme adımları Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Süspansiyon parçasının şekillendirme adımları

Adım 5: 2B ve 3B boyutlu parça geometrisi oluşturma: Haddelenmiş parça ve tüm ara istasyon parçalarının 2B veya 3B boyutlu modelleri oluşturulur. Bu modeller IGS, STL, EDX veya VDA formatında kayıt edilebilir (VeraCAD, 2019).

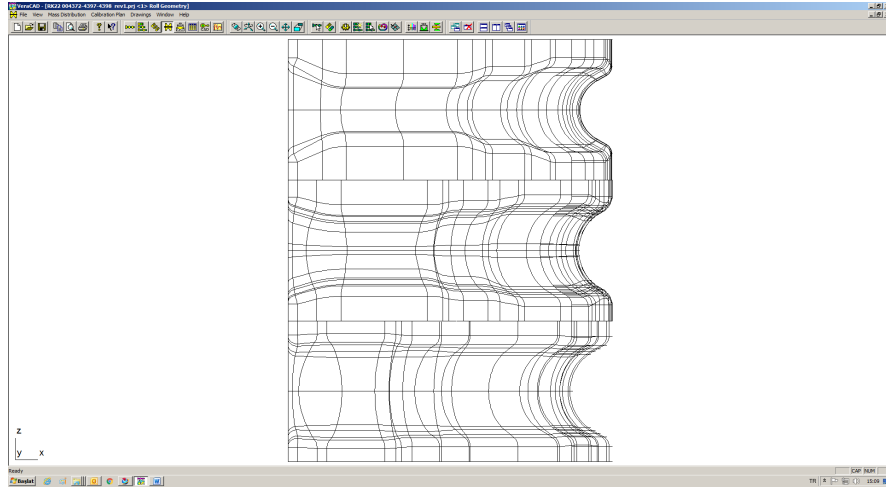
Süspansiyon parçasının 2B ve 3B geometrisi Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Süspansiyon parçasının iki ve üç boyutlu geometrisi

Adım 6: 3 boyutlu makara geometrisi oluşturma: Tüm makaraların 3 boyutlu modelleri oluşturulur. Bu modeller IGS, STL, EDX veya VDA formatında kayıt edilebilir (VeraCAD, 2019).

Süspansiyon parçasının makara geometrisi Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Süspansiyon parçasının üç boyutlu makara geometrisi

2.5 Süspansiyon Parçasının Rekvais Modelinin Dövme Simülasyonu

2.5.1 Metal şekillendirmede sonlu elemanlar yöntemi

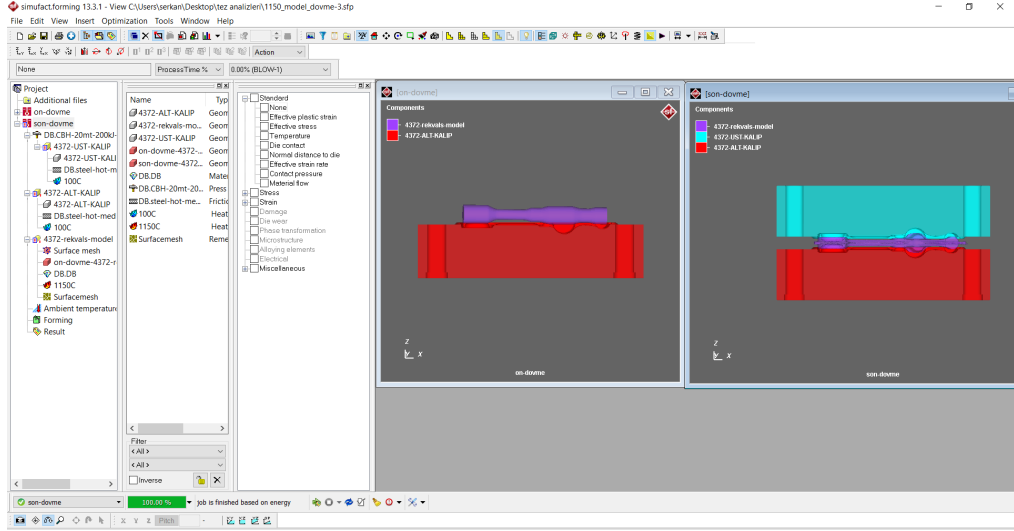
Günümüzde, yeni sonlu eleman analiz araçları, seçilmiş bir işlemin analizinin Şekillendirme makinesinde deneme yanılma yöntemi ile yapılması yerine bilgisayarda yapılmasına olanak vermiştir. Sonlu eleman analizi kullanan işlem simülasyonu, endüstride önemli maliyet ve kalite iyileştirmeleri sağlamıştır. Sonlu elemanlar yöntemi simülasyonları, kalıp üretimi öncesinde yapılan endüstriyel şekillendirme işlemlerinin performans tahmininde pratik ve etkili araçlar haline gelmişlerdir. Bugün, sonlu eleman analizi endüstriyel uygulamalarda ve akademik araştırmalarda son derece etkili bir araçtır. Sonlu elemanlar yöntemi programları metal şekillendirmede büyük deformasyonları ve termal olarak etkilenmiş malzeme akışını tahmin edebilirler. İşte bu nedenle, problem çözümünde sonlu elemanlar yöntemini kullanmak yaygındır (Karadağlı, 2014).

2.5.2 Simufact programı ile dövme simülasyonu

Simufact programları ile soğuk, ılık ve sıcak olmak üzere hacimsel ve sac metal şekillendirme simülasyonlarının, ısı işlem analizleri ve kaynak proseslerinin gerçeğe en uygun şekilde simüle edilmesi mümkündür (Çizelge 2.4). Simufact programının alt programlarından birisi olan Simufact.forming (Şekil 2.17) ile aşağıdaki prosesler tercihe ve ihtiyaca göre 2B veya 3B olarak ve sıcak, ılık veya soğuk olarak simüle edilebilir.

Çizelge 2.3. Simufact programı kullanım alanları

Simufact programı kullanım alanları	
• Soğuk, ılık ve sıcak dövme prosesleri	• Profil ekstrüzyon
• Soğuk, ılık ve sıcak dövme kalıpları	• Sac şekillendirme
• Öngerilmeli / sıkı geçmeli kalıplar	• Mekanik birleştirme (perçinleme)
• Kütleli profil haddeleme	• Isıl işlem.
• Roll form (saç profil haddeleme)	• Yüzük haddeleme



Şekil 2.17. Simufact programı ara yüzü

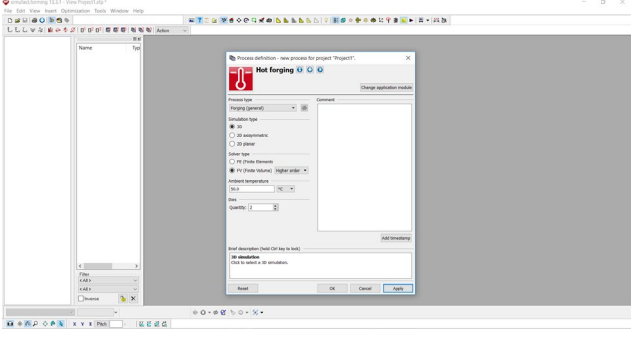
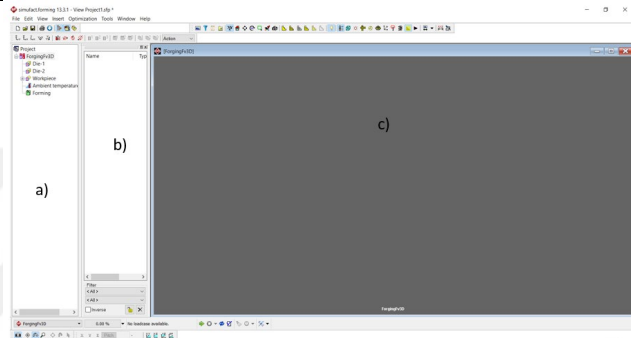
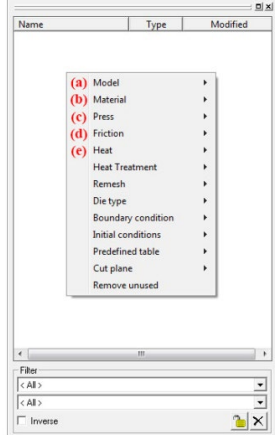
Bu tez çalışmasında kullanılan datalar Teknorot Otomotiv Ürünleri San ve Tic. A.Ş. veri tabanından alınmıştır. Yapılan sayısal analizler ile gerçekte dövme prosesi sonucu elde edilen benzerliğin en yüksek seviyede olması amaçlanmıştır. Teknik resimler ticari değer taşıdığı için tez çalışmasında sadece ölçüsüz 3B çizimler verilmiştir. Simülasyonda kullanılan parçalar alt kalıp (ön/son dövme) (Şekil 2.18 (a)), üst kalıp (ön/son dövme) (Şekil 2.18 (b)) ve rekvals model (Şekil 2.18 (c)) şeklindedir.

Süspansiyon parçasının simufact programındaki adımlar Çizelge 2.4'te gösterilmiştir. Bu çalışmada ana 5 menü kullanılmıştır.

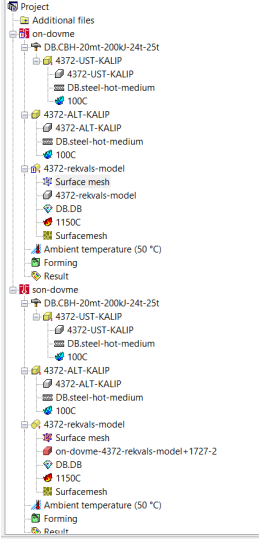
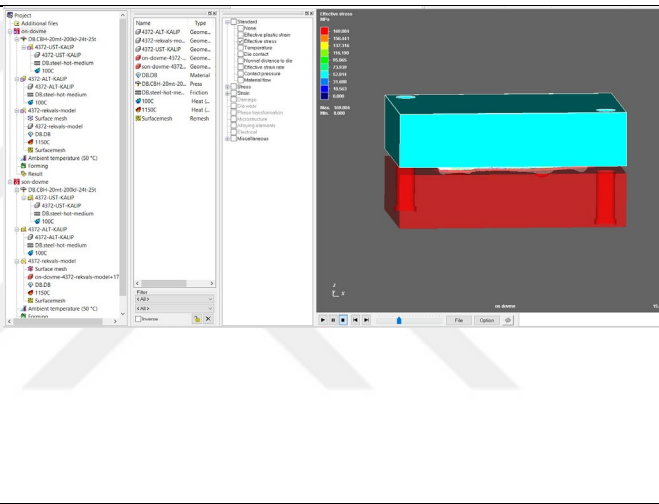
Çizelge 2.4. Simufact programı ile analiz

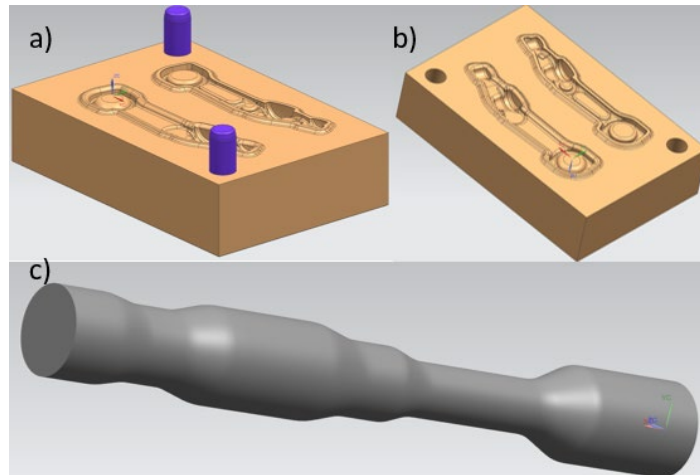
<p>Giriş ekranı: Simufact programı açıldığında boş ekran gelir. Bu ana ekranda "New Project" tuşu ile simülasyon yapılacak işlem türünün seçilebildiği bir ekran açılarak simülasyon oluşturmaya başlanır. Temel simülasyon için "hot forming" seçilmiştir (Karadağlı, 2014).</p>	
---	--

Çizelge 2.4. (Devam) Simufact programı ile analiz

<p>Seçim ekranı: Process type : Forging (general) Simülasyon type : 3B seçilmiştir.</p>	
<p>Ana ekran:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ana ekran• İşlem ağacı• Parça simülasyon görüntüleme penceresi	
<p>Envarter penceresi:</p> <p>Envarter penceresi simülasyon girdilerinin yapıldığı, bu girdilerin listelendiği penceredir. Pencere üzerinde sağ tık ile menü açılır.</p> <ul style="list-style-type: none">• Firma tarafından tasarlanan rekvals model kullanıldı.• Firma için oluşturulan malzeme kullanıldı. <p>Diğer menülerde kütüphaneden hazır veriler kullanılmıştır.</p>	

Çizelge 2.4. (Devam) Simufact programı ile analiz

<p>Simülasyon ağacı penceresi: Girdiler, simülasyon ağacı penceresine envanter penceresine sürüklenerek bırakılır. Çevre sıcaklığı “ambient temperature” kısmından değiştirilebilir. remesher: surface mesh element: type: triangle element size: 3.7 mm seçilmiştir</p>	
<p>Sonuç görüntüleme işlemi: Simülasyon işlemi bitirdikten sonra “result selection” tuşuna basarak açılan pencerede yapılan simülasyon işlemine dair gerilme, gerinim, sıcaklık, malzeme akışı, kalıp teması vb. sonuçlara ulaşılabilir.</p>	



Şekil 2.18. Simülasyon parçalarından alt kalıp (a), üst kalıp (b) ve rekvals model (c)

Süspansiyon parçasının temel simülasyon girdileri Çizelge 2.5’de yer verilmiştir.Bu girdilere göre analiz yapılmıştır. Girdiler firmaların proseslerine ve deneyimlerine göre değişik olabilir.

Çizelge 2.5. Temel simülasyon için girdiler

Kullanılan pres ve pres hızı	Kütüphaneden DB.CBH-20mt-200kJ-24t-25t seçilmiştir.
Kullanılan malzeme	1.1040
Kullanılan sürtünme katsayısı	0.4 (otomatik ve orta yağlı seçilmiştir.)
Kullanılan iş parçası ortam sıcaklıkları	950 °C / 1050 °C / 1150 °C
Kullanılan kalıp sıcaklığı	100 °C

2.6 Süspansiyon Parçasının Mekanik ve İç Yapılarının İncelenmesi

Otomotiv sektörü sürekli yükler maruz kalan parçalar için yüksek dayanım ve uygun iç yapılar çok önemlidir. Üretim prosesi, malzeme, sıcaklık, parça geometrisi gibi faktörler mekanik ve iç yapıları değişmesinde etkilidir. Parçaların mekanik özellikleri, ölçü toleransları, iç yapıları gibi özellikler kısmen şartname, standartlar ve müşteri özel istekleri ile tanımlanır.

Bu tez çalışmasında eski proses ile üretilen parçalar ve yeni proses ile üretilen parçaların farklı sıcaklıklarda mekanik özellikleri ve iç yapıları proses yeterliliği için karşılaştırılmıştır. Böylelikle yeni prosesin uygun olup olmadığı sonucuna varılmıştır. Özellikle bu gibi proses ve şekillendirme metotları değişikliklerinde yeterlilik çalışmaları firmalar tarafından ihmal edilen çalışmalardır. Bu yeterlilik çalışmaları firma kültürü için son derece gereklidir. Bu çalışmalar yapılmadığında taktirde parçada meydana gelebilecek o sorunların çözümü imkansız hale gelebilir. Bu yeterlilik çalışmaları sorun olduğunda kök sorunu bulmamızda yardımcı olabilir (Çakır ve Nas, 2016).

2.6.1 Süspansiyon parçasının numune malzemesi ve hazırlanışı

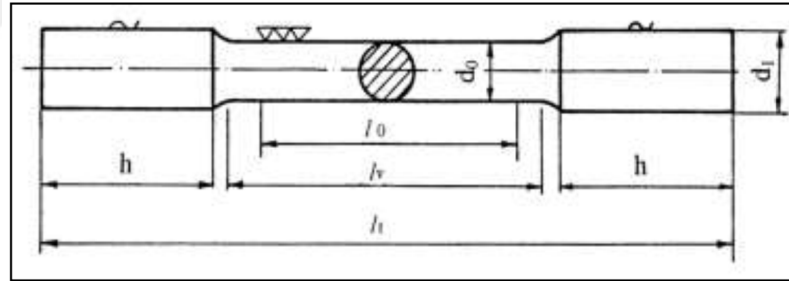
Bu tez çalışmasında 1040 çeliği kullanılmıştır. 1040 çeliğinin dövme sıcaklığı en yüksek 1250 °C derecedir. 3 farklı sıcaklıkta sıcaklıklar termal kamera ve indüksiyon tezgahındaki sıcaklık sensörleri ile kontrol edilerek 950 °C, 1050 °C ve 1150 °C sıcaklıkları için üçer adet eski proses ve yeni prosten çekme çubukları hazırlanmıştır.

Çekme çubukları TAKISAWA marka CNC torna tezgahında Fotoğraf 2.8 ve TS 138A Standardına göre hazırlanmıştır (Çakır ve Nas, 2016).



Fotoğraf 2.8. Takisawa marka CNC torna tezgahı

TS 138A'ya göre standart bir çekme test numunesi Şekil 2.19 ve numune ölçüleri Çizelge 2.7 gösterilmiştir.

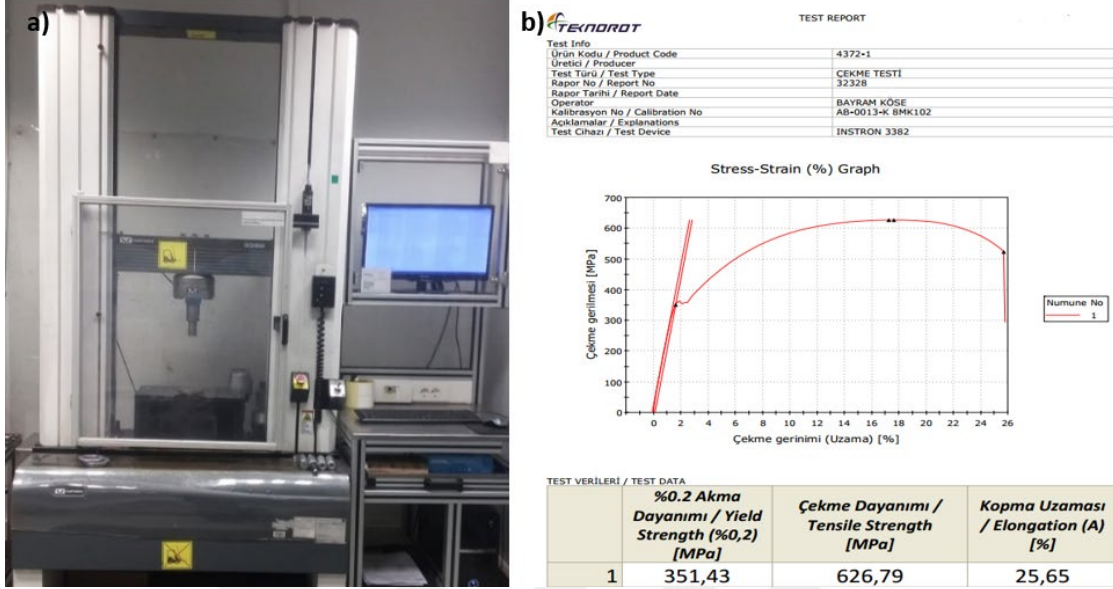


Şekil 2.19. TS 138 A'ya göre standart bir çekme test numunesinin temsili gösterilişi

Çizelge 2.6. TS 138 A Standardına göre hazırlanan numune ölçüleri

TS 138 A standardına göre hazırlanan numune ölçüleri		
do	5 mm	
lo	do x 5	25 mm
lv	do x 6	30 mm
d1	1,25 do	6.25 mm
h	30 mm	

Farklı sıcaklık ve metot ile hazırlanan süspansiyon parçasının çekme çubukları Instron marka 3382 model çekme cihazında yapılmıştır. Test cihazı Fotoğraf 2.9 (a)'da gösterilmiştir. Test sonuçları ve uzama grafiği Fotoğraf 2.9 (b)'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.9. Çekme testi cihazı (a) ve çekme testi diyagramı (b)

2.6.2 Süspansiyon parçasının numune malzemesi ve hazırlayışı

Numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılması ardında soğuyan parçalara poşet ve etiket ile numune kodlama işlemi yapılmıştır. İç yapılar incelenmesi için numuneleri dekupaj testere ile kaba kesme işlemi yapılmıştır. Daha sonra cnc tornalama işlemi yapıldıktan sonra bakalit alma ve işlemi yapılmıştır. Daha sonra kaba zımparadan ince zımparaya (180, 320, 400, 600 ve 1000 numaralı olmak üzere) doğru zımparama işlemi yapılmıştır. Malzeme numunesi hazırlama işlemi Fotoğraf 2.10'da gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.10. Numune hazırlama işlemleri

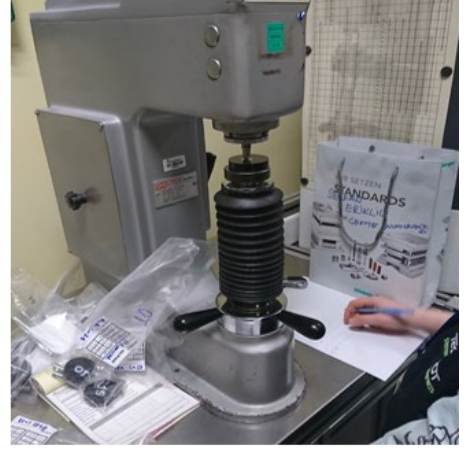
Hazırlanan numuneler nitrit asit çözeltisi ile dağlandı ve daha sonra Olympus marka BX51M model optik mikroskop kullanılarak 200x büyütme yapılarak mikro yapı görüntüleri alındı (Fotoğraf 2.11).



Fotoğraf 2.11. Olympus BX51M model mikroskop

2.6.3 Süspansiyon parçasının numunelerin sertlik ölçümü

Zımpara işleminden sonra numuneler üzerinden sertlik ölçümü yapılmıştır. sertlik ölçümü yapılmadan önce cihaz kalibre edilmiştir daha sonra sertlik ölçülmüştür. Sert ölçüm işlemi Fotoğraf 2.12’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.12. Numunelerin sertlik ölçme işlemi

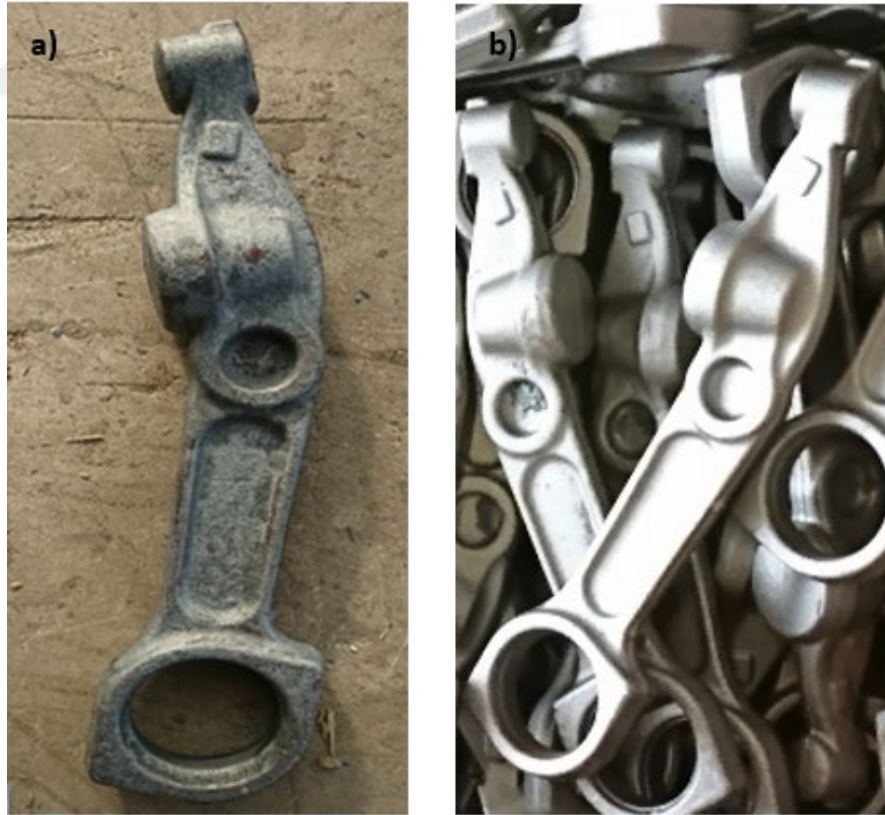


BÖLÜM III

BULGULAR VE TARTIŞMA

İmal edilen süspansiyon parçalarının üretiminde hataların minimize edilmesi amacı ile proses iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların bulguları aşağıda sırası ile verilmiş ve gerekli görülen tartışmalar yapılmıştır. Şekillerdende görüleceği üzere oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yeni prosese dayalı, iyileştirme esaslı atılan adımlar sayesinde belirgin bir şekilde daha iyi özelliklere sahip süspansiyon parçaları elde edildiği görülmektedir.

Fotoğraf 3.1 (a)'da süspansiyon parçasının dövme sırasında meydana gelen dövme kalıbını doldurmama, yüzeysel katlanma ve parça eğilmesi gibi hatalar görülmektedir. Fotoğraf 3.1 (b)'de ise yeni proses sayesinde söz konusu dövme hatalarının bariz bir şekilde ortadan kaybolduğu görülmektedir.



Fotoğraf 3.1. Süspansiyon parçaları
Eski proses ile üretim (a), yeni proses ile üretim (b)

Şekil 3.2 (a) ve (b)'de sırası ile eski ve yeni proses ile yapılan ön şekillendirme sonucu elde edilen süspansiyon parçalarına ait fotoğraflar verilmiştir. Eski proses ile yani şahmerdan vasıtası ile yapılan ön şekillendirme işlemlerinde hatalı ezilmeler ve istenmeyen katlanmalar olduğu görülmektedir. Rekvalls ile yapılan ön şekillendirme sonucu ise oldukça düzgün dövme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 3.2. Şahmerdan (a) ve rekvalls (b) ile ön şekillendirme prosesleri

Eski proses ile farklı operatörler tarafından yapılan çapak kesme ve delme operasyonlarına ilaveten ayrıca sıcak kalibre işlemi eklenerek bütün bu işlemler yeni proses ile tek bir operatör tarafından daha kısa mesafeler içerisinde gerçekleştirildi. Böylelikle Çizelge 3.1'den görüleceği üzere hem malzeme üretim mesafesi % 9 oranında azalmış hemde fazladan bir operatör kazancı sağlanmıştır.

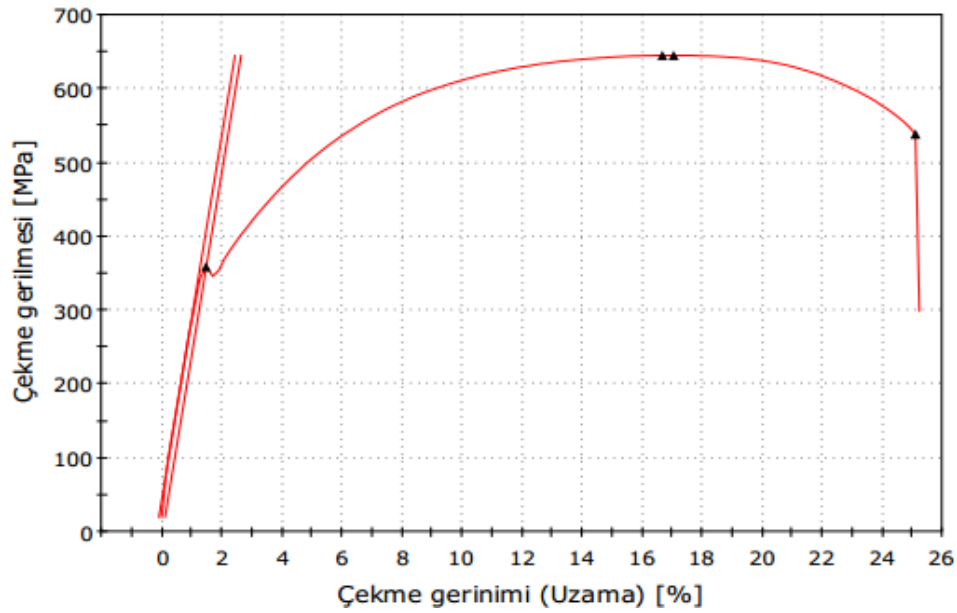
Çizelge 3.1. Yeni proses mesafeleri

Dövme iş akış adımları	Arasındaki mesafe (m)
Hammadde - Kırma	29.8
Kırma - Kesilmiş malzeme bekleme sahası	26.9
Kesilmiş malzeme bekleme sahası - İndüksiyon fırını	71.2
İndüksiyon fırını - Dövme işlemi	13
Dövme işlemi - Soğuk mlz bek.	55
Soğuk malzeme bekleme sahası - Kumlama	4.8
Kumlama - Taşlama bekleme sahası	10
Taşlama bekleme sahası - Taşlama işlemi	7.8
Toplam	218.5

Yapılan yeni proses sonucu elde edilen ürünlerde mekanik özelliklerde herhangi bir olumsuz değişiklik olup olmadığının kontrolü için 9 adet yeni proses ile üretilen parçalar çekme testlerine tabii tutulmuştur. Şekil 3.1’de yeni proses ile üretilen numuneye ait bir çekme deneyi sonucu görülmektedir. Yapılan çekme testleri sonucunda parçalardan beklenen ve Çizelge 3.2’de de sunulan minimum mekanik özellik değerlerinin karşılandığı görülmüştür. Çizelge 3.3’de ise eski ve yeni proseslere ait tüm numuneler ile yapılan çekme deneyi sonuçları özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Süspansiyon parçalarından beklenen minimum mekanik özellikler

Mekanik Özellikler	Değerler
Akma Dayanımı (MPa)	340
Çekme Dayanımı (MPa)	600
Kopma uzaması (%)	20

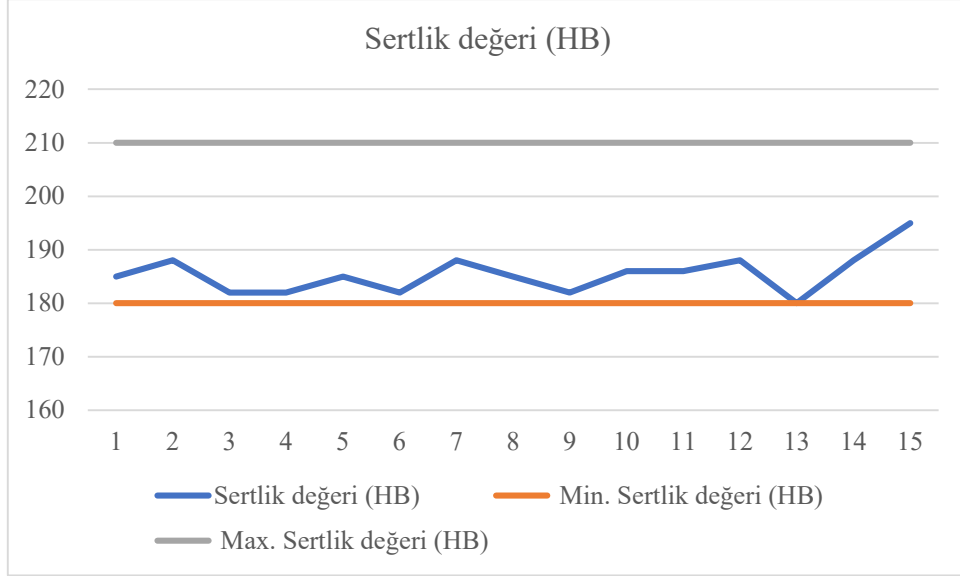


Şekil 3.1. Yeni proses ile üretilen numunelere ait çekme deneyi diyagramı.

Çizelge 3.3. Eski ve yeni prosesler için mekanik test sonuçlarının karşılaştırılması

Numune no.	Proses türü	% 0.2 akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
1	Şahmerdan eski proses 950 °C	351.43	626.79	25.65
2	Şahmerdan eski proses 950 °C	370.93	644.12	25.44
3	Rekvals yeni proses 950 °C	346.68	636.54	24.5
4	Rekvals yeni proses 950 °C	367.65	644.66	22
5	Rekvals yeni proses 950 °C	364.16	649.44	23.74
6	Şahmerdan eski proses 1050 °C	361.97	653.00	24.67
7	Şahmerdan eski proses 1050 °C	356.64	649.88	23.52
8	Rekvals yeni proses 1050 °C	355.39	646.59	24.67
9	Rekvals yeni proses 1050 °C	359.94	648.13	21.63
10	Rekvals yeni proses 1050 °C	355.43	641.93	22.78
11	Şahmerdan eski proses 1150 °C	349.51	642.52	25.85
12	Şahmerdan eski proses 1150 °C	357.72	650.49	25.27
13	Rekvals yeni proses 1150 °C	346.02	631.42	24.12
14	Rekvals yeni proses 1150 °C	359.21	644.84	25.08
15	Rekvals yeni proses 1150 °C	360.78	669.98	20.84

Farklı sıcaklıklarda dövülen süspansiyon parçalarında yapılan sertlik ölçümlerinde, sertlik değerlerinde belirgin bir fark olmadığı görülmüştür. Şekil 3.2’de görüleceği üzere numunelerin sertlik değerleri istenen değerler olan 180-210 HB arasında değişmektedir. Çizelge 3.4’de farklı sıcaklıklarda dövülmüş olan söz konusu numunelere ait elde edilen Brinell sertlik değerleri verilmiştir.

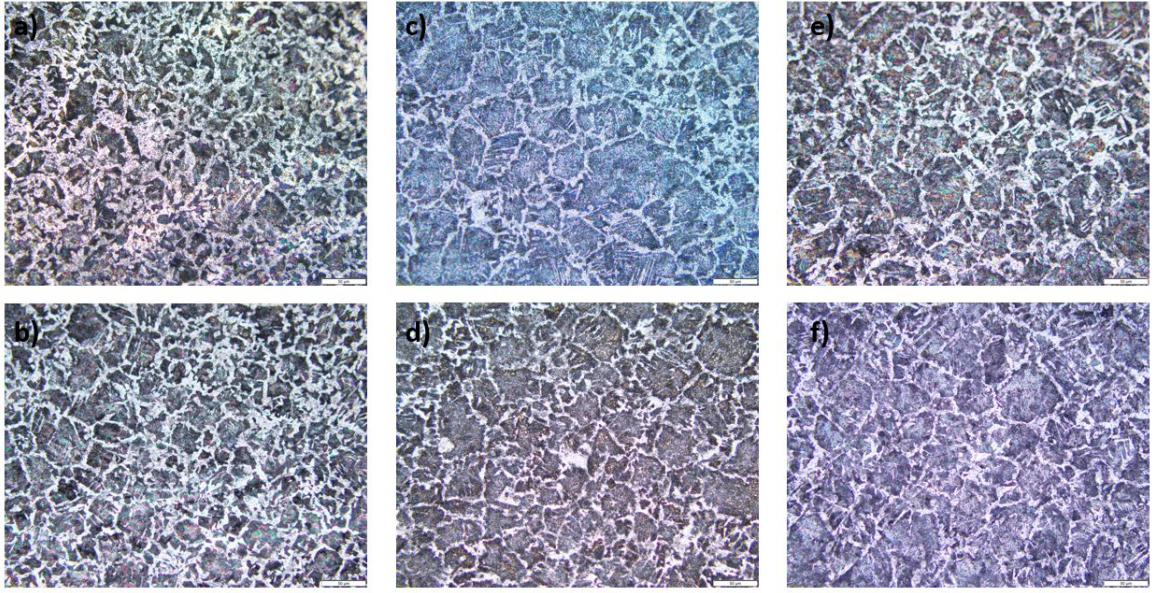


Şekil 3.2. Sertlik değerlerinin değişimi

Çizelge 3.4. Farklı sıcaklıklarda dövülmüş numunelerin HB sertlik değerleri

Numune no	Proses türü	Sertlik değeri (HB)
1	Şahmerdan eski proses 950 °C	185
2	Şahmerdan eski proses 950 °C	188
3	Rekvals yeni proses 950 °C	182
4	Rekvals yeni proses 950 °C	182
5	Rekvals yeni proses 950 °C	185
6	Şahmerdan eski proses 1050 °C	182
7	Şahmerdan eski proses 1050 °C	188
8	Rekvals yeni proses 1050 °C	185
9	Rekvals yeni proses 1050 °C	182
10	Rekvals yeni proses 1050 °C	186
11	Şahmerdan eski proses 1150 °C	186
12	Şahmerdan eski proses 1150 °C	188
13	Rekvals yeni proses 1150 °C	180
14	Rekvals yeni proses 1150 °C	188
15	Rekvals yeni proses 1150 °C	195

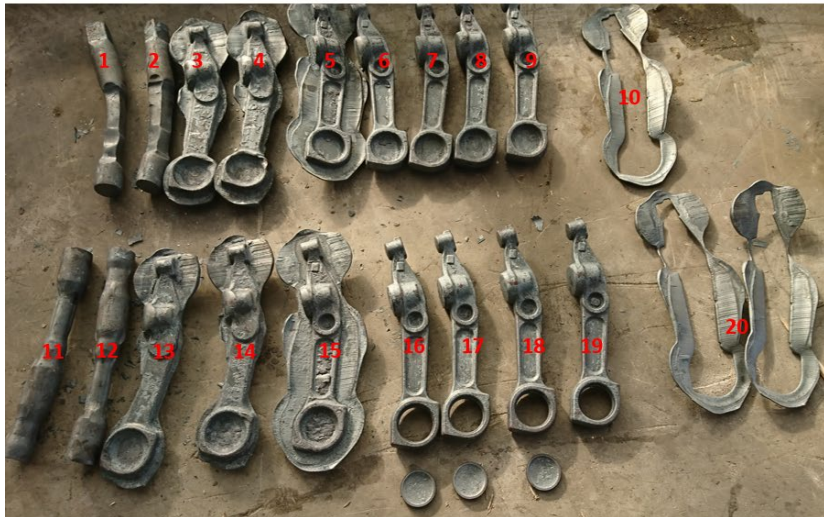
950 °C, 1050 °C ve 1150 °C şeklinde üç farklı sıcaklık değerlerinde sıcak dövülen süspansiyon parçalarından alınan mikro yapı görüntüleri Fotoğraf 3.3’de sırası ile verilmiştir. Görüleceği üzere eski ve yeni proses ile üretilen süspansiyon parçalarının mikro yapılarında olumsuz yönde bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.



Fotoğraf 3.3. İç yapı görüntüleri

950 °C eski proses numunesi (a), 950 °C yeni proses numunesi (b), 1050 °C eski proses numunesi (c), 1050 °C yeni proses numunesi (d), 1150 °C eski proses numunesi (e), 1150 °C yeni proses numunesi (f)

Fotoğraf 3.4’de eski ve yeni proses ile üretilen parçaların çapak oluşumlarını gösteren fotoğraf görüntüleri sunulmuştur. Çapak oluşumu açısından benzerlik olduğu görülmüştür.



ESKİ PROSES

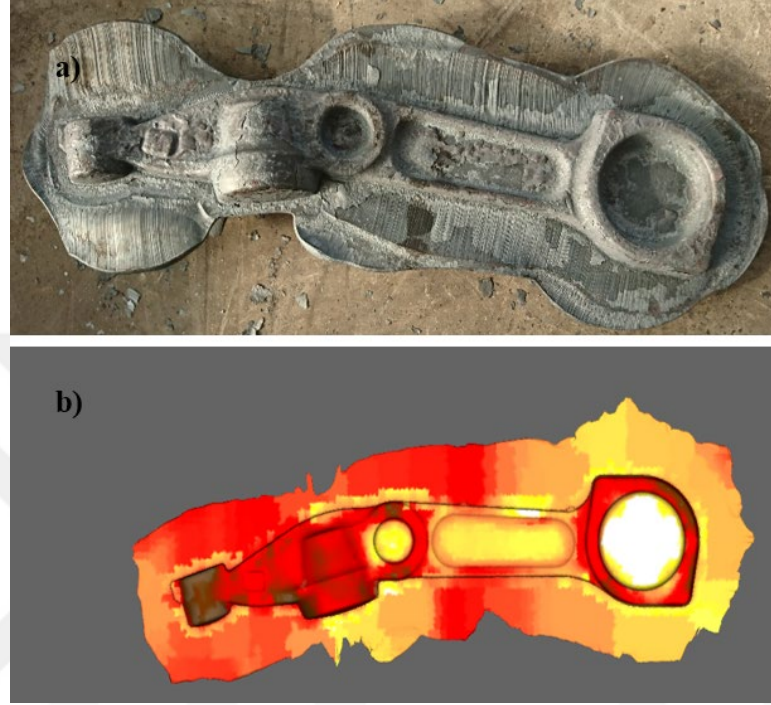
- 1) ŞAHMERDAN 1. PARÇA (1150 °C)
- 2) ŞAHMERDAN 2. PARÇA (1150 °C)
- 3) ÖN DÖVME 1. PARÇA (1150 °C)
- 4) ÖN DÖVME 2. PARÇA (1150°C)
- 5) SON DÖVME (1150 °C)
- 6) 950 °C ÜRÜN
- 7) 1050 °C ÜRÜN
- 8-9)1150 °C ÜRÜN
- 10) ÇAPAK

YENİ PROSES

- 11) REKVALS 1. PARÇA (1150 °C)
- 12) REKVALS 2. PARÇA (1150 °C)
- 13) ÖN DÖVME 1. PARÇA (1150 °C)
- 14) ÖN DÖVME 2. PARÇA (1150°C)
- 15) SON DÖVME (1150 °C)
- 16) 950 °C ÜRÜN
- 17) 1050 °C ÜRÜN
- 18-19)1150 °C ÜRÜN
- 20) ÇAPAK

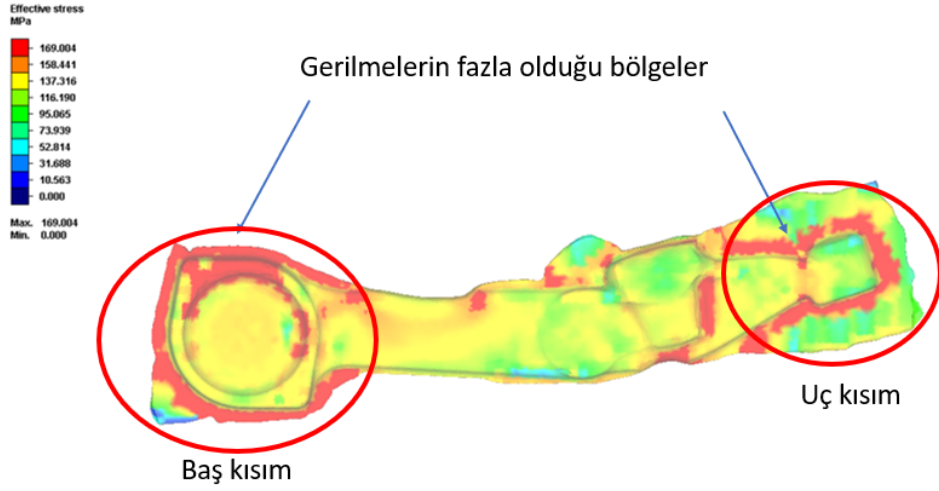
Fotoğraf 3.4. Eski ve yeni proses ile üretilen parçaların çapak oluşumları

Yeni proses ile üretilen süspansiyon parçalarının üretim öncesinde Simufact yazılımında analizi yapılmıştır. Üretilen parça ile analiz sonucu karşılaştırıldığında gerçeğine oldukça yakınlık gösteren bir analiz yapıldığı Şekil 3.3’de görülmektedir. Sonuçlar yapılan üretim öncesi analizin doğruluğunu kanıtlamaktadır.



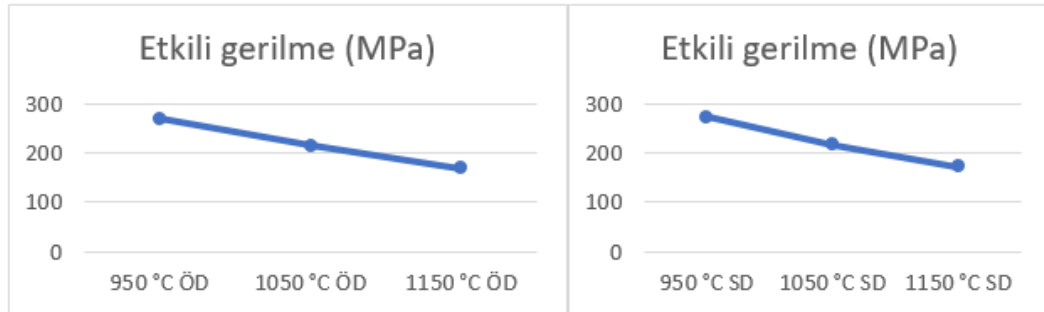
Şekil 3.3. Yeni proses sonrası (a), Simufact ile analiz sonrası (b) çapak oluşumları

Şekil 3.4’ten görüleceği üzere süspansiyon parçalarında maksimum gerilmelerin olduğu bölgeler parçaların baş ve uç kısımlarında meydana gelmektedir.



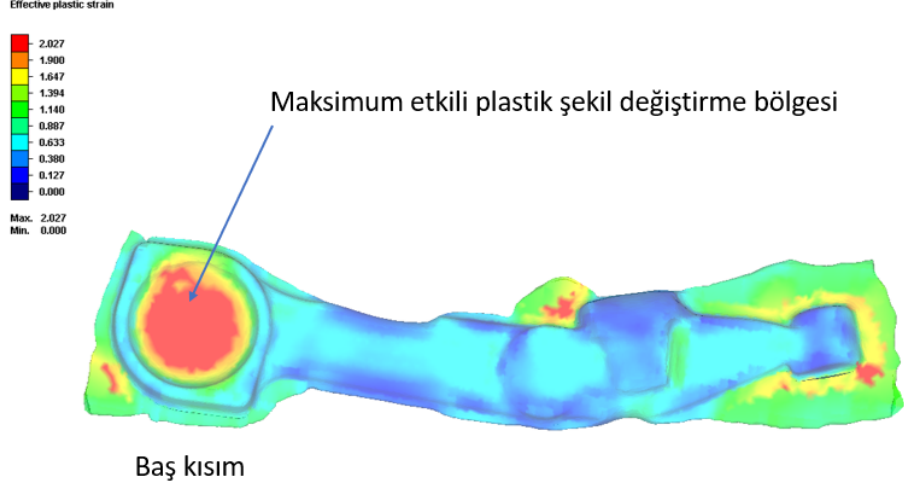
Şekil 3.4. Simufact analiz sonuçlarına göre etkili gerilme dağılımı

Süspansiyon parçasında meydana gelen gerilmelerin dövme sıcaklığı ile ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Dövme sıcaklığı arttıkça meydana gelebilecek gerilmeler azalmaktadır. Dövme sıcaklığına göre maksimum etkili gerilmenin değişimini gösteren grafik Şekil 3.5'te verilmiştir.



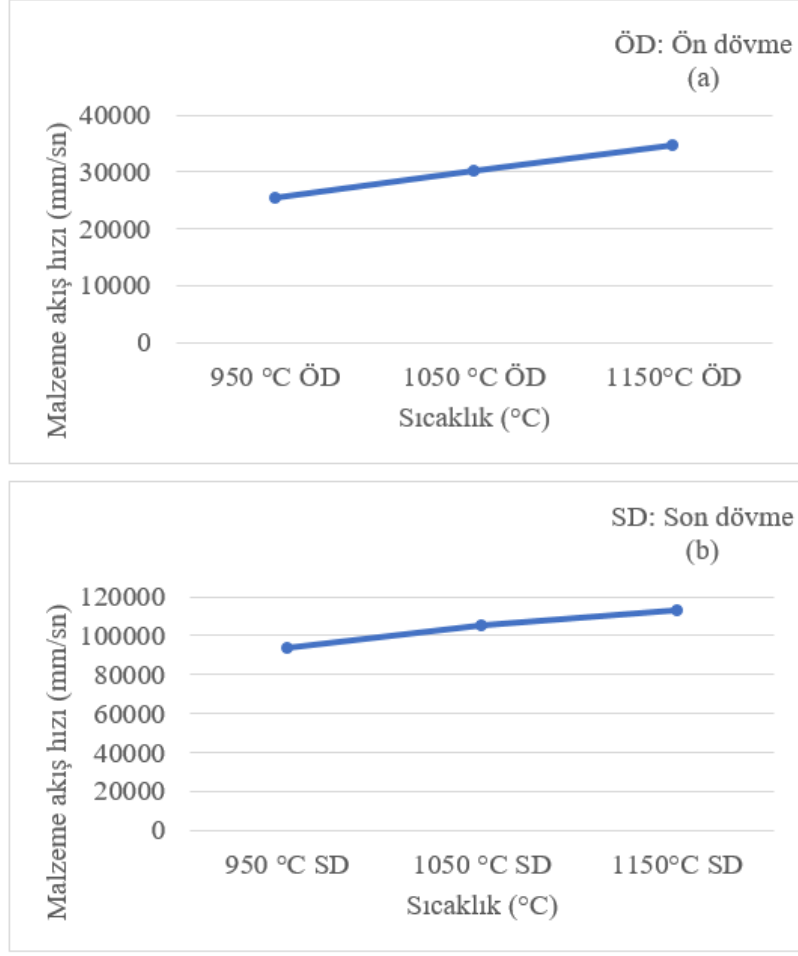
Şekil 3.5. Simufact analiz sonuçlarına göre etkili gerilme dağılımı

Simufact'de yapılan etkili plastik şekil değişimi analizleri sonucunda Şekil 3.6'dan görüleceği üzere parçanın baş kısımlarında yoğunlaşan maksimum gerilme meydana gelmektedir.



Şekil 3.6. Simufact analiz sonuçlarına göre etkili plastik gerinim dağılımı

Süspansiyon parçasının ön dövme ve son dövme esnasında dövme kalıbı içerisindeki malzeme akışı sırasıyla Şekil 3.7 (a) ve (b)'de görüleceği üzere uygulanan dövme sıcaklığına göre doğru orantılı olarak artmaktadır. Çapak oluşumunun en fazla olduğu son dövme operasyonunda malzeme akışı oldukça yüksek değerler almaktadır (Şekil 3.7 (b)).



Şekil 3.7. Sıcaklığa göre ön dövme (a) ve son dövme esnasında (b) malzeme akış hızı

Süspansiyon parçaları simetrik, düz bir kalıp ayırma çizgisine sahip kalıplar içerisinde dövüldüğü için alt ve üst kalıp yarıları eşit miktarda basma kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Elde edilen değerler Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kalıp yarılarında dövme sıcaklıklarına göre oluşan basma kuvvetleri

Basma kuvveti (kN)		
Dövme sıcaklığı (°C)	Üst kalıp (ÜK)	Alt kalıp (AK)
950 °C	25610.7	-25853.1
1050 °C	22933.6	-23095.2
1150 °C	21213.2	-21199.2

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışmasında 1040 çeliğinden imal edilmiş süspansiyon parçalarının eski yöntemle ile yapılan üretim proseslerinde görülen üretim ve operatör kaynaklı hataların minimize edilmesi amaç edinmiştir. Bu amaçla yeni bir proses tekniği ortaya atılmış ve bu yeni proses sayesinde pek çok açıdan üretime yönelik iyileştirmelerin olduğu açıkça görülmüştür. Söz konusu iyileştirmeler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Süspansiyon parçalarında dövme sırasında meydana gelen dövme kalıbını doldurmama, katlanma ve eğilme hataları yeni proses sayesinde bariz bir şekilde ortadan kaybolmuştur.
- Eski proses ile yani şahmerdan vasıtası ile yapılan ön şekillendirme işlemlerinde hatalı ezilmeler ve istenmeyen katlanmaların ortadan kaldırılması için rekvals ile ön şekillendirme yapılmıştır ve bu sayede oldukça düzgün dövme işlemleri gerçekleştirilmiştir.
- Eski proses ile farklı operatörler tarafından yapılan çapak kesme ve delme operasyonlarına ilaveten ayrıca sıcak kalibre işlemi eklenerek bütün bu işlemler yeni proses ile tek bir operatör tarafından daha kısa mesafeler içerisinde gerçekleştirildi. Böylelikle hem malzeme üretim mesafesi azalmış hemde fazladan bir operatör kazancı sağlanmıştır.
- Yapılan yeni proses sonucu elde edilen ürünlerde mekanik özelliklerde herhangi bir olumsuz değişiklik olup olmadığının kontrolü için çekme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda parçalardan beklenen minimum mekanik özelliklerin karşılandığı görülmüştür.
- Farklı sıcaklıklarda dövülen süspansiyon parçalarının sertlik ölçümleri yapılmış ve sertlik değerlerinde belirgin bir fark olmadığı görülmüştür. Numunelerin sertlik değerleri, istenen değerler olan 180-210 HB arasında değişmektedir.
- Üç farklı sıcaklık değerlerinde dövülen süspansiyon parçalarından mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Eski ve yeni proses ile üretilen süspansiyon parçalarının mikro yapılarında olumsuz yönde bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

- Eski ve yeni proses ile üretilen parçaların çapak oluşumları kontrol edilmiş ve çapak oluşumu açısından benzerlik olduğu görülmüştür.
- Yeni proses ile üretilen süspansiyon parçalarının üretim öncesinde Simufact yazılımında analizi yapılmıştır. Üretilen parça ile analiz sonucu karşılaştırıldığında gerçeğine oldukça yakınlık gösteren bir analiz yapıldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar yapılan üretim öncesi analizin doğruluğunu kanıtlamaktadır.
- Yapılan analiz sonucu elde edilen veriler,
 - süspansiyon parçalarında etkili maksimum gerilmelerin ve gerinimlerin olduğu bölgelerin parçaların baş ve uç kısımlarında meydana geldiğine işaret etmektedir.
 - süspansiyon parçalarının ön dövme ve son dövme sırasında kalıp içerisindeki malzeme akışının uygulanan dövme sıcaklığına göre doğru orantılı olarak arttığını göstermektedir. Çapak oluşumunun en fazla olduğu son dövme operasyonunda malzeme akışı oldukça yüksek değerler almaktadır.
 - süspansiyon parçaları simetrik, düz bir kalıp ayırma çizgisine sahip kalıplar içerisinde dövüldüğü için alt ve üst kalıp yarılarında eşit miktarda basma kuvvetlerinin meydana geldiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Abachi, S., Akkök, M. And Gökler, M.I., “Wear analysis of hot forging dies” *Tribology International* **43** 467–473, 2010.

Adiloğlu, S., Dövme kalıplarında kalıbın dolmasını etkileyen faktörlerin incelenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile akış analizlerinin yapılması, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2008.

Altan, T., Lillg, B. and Yen, Y.C., “Manufacturing of Dies and Molds”, Columbus, Ohio, U.S.A, 2010.

Atabey, M., Sıcak dövme kalıplarında sert dolgu kaynağı uygulamasıyla iyileştirme, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.

Başoğlu, T., Çapak boyutlarının ön dövme işleme etkisinin sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.

Behrens, B.A, Doege, E., Reinsch, S., Telkamp, K., Daehndel, H.. and Specker, A.,” Precision forging processes for high-duty automotive components”, *Journal of Materials Processing Technology*, 185 139–146, 2007.

Bramley, A.N. and Mynors, D.J, ” The use of forging simulation tools”, *Materials and Design* **21**. 279-286, 2000.

Caporalli, A., Gileno, L.A, and Button, S.T, ‘’ Expert system for hot forging design’’, *Journal of Materials Processing Technology*, 80–81, 131–135, 1998.

Çakır, G., ve Nas, E., “Orta karbonlu AISI 1040 imalat çeliğine uygulanan sıcak dövme işleminin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi”, *İleri Teknoloji Dergisi*, ISSN:2147-3455, 2016.

Çapan, L., Dövme Teknolojisi, **TMMOB Makine Müh. Odası No:128 2 Baskı**, Ankara, 2004.

Çapan, L., Metallerde Plastik Şekil Verme, **Çağlayan Kitabevi 3. Baskı**, İstanbul, 1999.

Karadağ, Ö., Soğuk dövme ile üretimde simülasyon uygulamaları, Yüksek Lisan Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, 2014.

Karadeniz, E., Çeliklerde Dövülebilirliğin burma, basma ve çekme deneyleri ile incelenmesi, Doktora Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1997.

Lapovok, R., “Improvement of die life by minimisation of damage accumulation and optimisation of preform design” **Journal of Materials Processing Technology** 80–81 608–612, 1998.

Makas, T., Sıcak Dövmeye Genel Bakış, **KANCA A.Ş 1. Baskı**, Kocaeli, 2016.

Motorlu araçlar teknolojisi süspansiyon sistemleri, **MEB Yayınları**, 2013.

Netform Mühendislik Makina Metal , VeraCAD altın kurallar, 2017.

Netform Mühendislik Makina Metal, Rekvalls Tasarım Program Eğitimi, 2017.

Odabaş, D, Kalıp Tasarım Ders Notları, **Erciyes Üniversitesi Matbaası**, Kayseri, 2011.

Putgül, Y. ve Altıparmak, D., “Taşıt süspansiyon sistemi çeşitleri ve ön düzen geometrisine etkisi”, **Politeknik Dergisi**, 195-202, 2016.

Vazquez, V., and Altan, T., “Die design for flashless forging of complex parts”, **Journal of Materials Processing Technology**, **98** 81-89, 2000.

VeraCAD, <http://www.netformmetal.com/yazilimler/veracad>, 2019.

Vural, M., “EUT231 Üretim Yöntemleri Ders Notları”,

http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66717/44730/%C3%BCretim_y%C3%B6ntemleri_giris-itu.pdf, İstanbul, 2005.

Wang, Q., and He, F., “A review of developments in the forging of connecting rods in China”, *Journal of Materials Processing Technology*, 151, 192–195, 2004.

Yiğitarıslan, E., Sıcak dövme işleminde karşılaşılan hatalar, önlenmesi ve maliyet etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2009.



ÖZ GEÇMİŞ

Serkan Erikli 03.11.1986 tarihinde Kırklareli’de doğdu. İlk ve orta öğretimini Babaeski’de tamamladı.2006 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden Haziran 2010 yılında mezun oldu. 2010-2014 yılları arasında Ditaş Doğan Yedek Parça A.Ş.’de Kalıphane Mühendisi olarak çalıştı. 2015 yılından itibaren Teknorot Otomotiv Ürünleri San ve Tic. A.Ş. firmasında Kalıp Tasarımı Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir. İlgi alanları talaşlı imalat, sıcak dövme ve sac metal şekillendirmedir.



