

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

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

**PASLANMAZ ÇELİK BAĞLANTI ELEMANININ SİMÜLASYON
DESTEKLİ SOĞUK DÖVME PROSES TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ**

Alper BAYGUT

**Danışman
Doç. Dr. Osman ÇULHA**



MANİSA-2019

**Alper
BAYGUT**

**PASLANMAZ ÇELİK BAĞLANTI ELEMANININ SİMÜLASYON DESTEKLİ SOĞUK
DÖVME PROSES TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ**

2019

Tez Sırtı Örneği

TEZ ONAYI

Alper BAYGUT tarafından hazırlanan "**PASLANMAZ ÇELİK BAĞLANTI ELEMANININ SİMÜLASYON DESTEKLİ SOĞUK DÖVME PROSES TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ**" adlı tez çalışması/...../2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Doç. Dr. Osman ÇULHA**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Ahmet TÜRK**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Faruk EBEOĞLUGİL**

Dokuz Eylül Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

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

Alper BAYGUT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Açık Sistemde Form Verme	3
2.2. Kapalı Sistemde Form Verme	4
2.2.1. Kapalı Sistemde Çapaklı Form Verme	4
2.2.2. Kapalı Sistemde Çapaksız Form Verme.....	5
2.3. Sonlu Elemanlar (Simülasyon) Metodu ile Şekillendirme Uygulamaları.....	9
2.4. Paslanmaz Çelikler	14
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	17
3.1. Materyal.....	17
3.1.1. Paslanmaz Çelik.....	17
3.1.2. Soğuk Dövme, Ovalama Kalıpları ve Kalıpların Yüzey Kaplamaları.....	19
3.1.2.1. Takım Çelikleri	20
3.1.2.2. Tungsten Karbür.....	23
3.1.2.3. Kalıp Yüzey Kaplamaları.....	26
3.1.3. Yağlayıcı Özellikleri.....	27
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi (Simulasyon Çözümü).....	29
3.2.1.1. Simufact.Forming ile Simulasyon Çözüm Adımları.....	30
3.2.2. Soğuk Dövme Presleri	38
3.2.3. Ovalama (Dış Oluşturma – Yiv Açma) Presleri	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	42
4.1. Kimyasal Kompozisyon	42
4.2. Simulasyon Destekli İmalat.....	43
4.2.1. Operasyon Tasarımı	43
4.2.2. Kalıp Tasarımı	44
4.2.3. Simulasyon Çalışması.....	47
4.2.3.1. Elasto - Plastik Malzeme Özelliklerinin İrdelenmesi	51
4.2.3.2. Lif Yapıları.....	56
4.2.4. Prototip Üretimi	59
4.2.4.1. Simulasyon Destekli Tasarım Ölçüleri ile Prototip Ölçülerinin Karşılaştırması.....	62
4.3. Metalografik İnceleme.....	65
4.3.1. Makro İnceleme	65
4.3.1.1. Simulasyon ile Prototip Makro İnceleme Karşılaştırılması	67
4.3.2. Mikro İnceleme.....	69
4.4. Sertlik Testi	70
4.5. Çekme Testi.....	71
4.5.1 Simulasyon ile Prototip Akma Mukavemeti Karşılaştırılması	73
4.6. Tork Testi	74
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	76

5.1. Sonuçlar.....	76
5.2. Gelecek Planı.....	77
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	81



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Açık Sistemde Form Verme Prosesi	4
Şekil 1.2. Kapalı Sistemde Çapaklı Form Verme Prosesi.....	4
Şekil 1.3. Kapalı Sistemde Çapaksız Form Verme Prosesi	5
Şekil 1.4. a)Direkt Ekstrüzyon b)İndirekt Ekstrüzyon c)Kafa Şişirme d)Tel Çekme Prosesi	5
Şekil 3.1. Tek Parça ve Parçalı Kalıp Tasarımı	19
Şekil 3.2. Takım Çeliği ömrünü belirleyen etmenler	21
Şekil 3.3. EN ISO 4957 ye göre 1.2344 ‘ün Temperleme Grafiği.....	22
Şekil 3.4. EN ISO 4957 ye göre 1.3343 ‘ün Temperleme Grafiği.....	23
Şekil 3.5. WC ün sertlik ve Kırılma Tokluğu İlişkisi	24
Şekil 3.6. Bağlantı Elemanı Üretiminde Kullanılan Tungsten Karbür Parça Örnekleri	25
Şekil 3.7. Kaplanmış ve Kaplanmamış Kesme Kalıpları	27
Şekil 3.8. Operasyon Numuneleri Tasarımı	28
Şekil 3.9. Mühendislik Tasarım Döngüsü.....	29
Şekil 3.10. Simufact.forming 15.0 Proses Çeşitleri	31
Şekil 3.11. Simufact.forming 15.0 Çözüm Parametre Örnekleri	31
Şekil 3.12. Simufact.forming Proses Seçme Ekranı	32
Şekil 3.13. Simufact.forming Alt Proses Seçme Ekranı	33
Şekil 3.14. Simufact.forming Ana Ekranı	33
Şekil 3.15. Simufact.forming Parametre Seçimi Ekranı	34
Şekil 3.16. Simufact.forming Parametre Seçimi Tamamlama Ekranı	35
Şekil 3.17. Simufact.forming Parametre Taşınması Sonrası Görüntü	35
Şekil 3.18. Simufact.forming Konumlama Ayarı	36
Şekil 3.19. Simufact.forming Manuel Pozisyonlama Ayarı	36
Şekil 3.20. Simulasyon Başlangıç Konumu Atanması	37
Şekil 3.21. Simulasyon Sırasında Elde Edilen Değerler	38
Şekil 3.22. Soğuk Dövme Presi.....	38
Şekil 3.23. Altı İstasyonlu Soğuk Dövme Presi	39
Şekil 3.24. Soğuk Dövme Presi Çalışma Prensipleri	40
Şekil 3.25. Ovalama Sistematiği	41
Şekil 3.26. Ovalama Makinası ve Ovalama Tarağı.....	41
Şekil 4.1. Kullanılan 304Cu Paslanmaz Çeliğin Spektral Analiz Çalışması	42
Şekil 4.2. Ürüne ait Operasyon Tasarımı	43
Şekil 4.3. Ürüne ait Kalıp Tasarımı (İki Boyut)	45
Şekil 4.4. 1. İstasyon Kafa Kalıp Grubu	46
Şekil 4.5. 1. İstasyon Ana Kalıp Grubu	46
Şekil 4.6. Ürüne ait Kalıp Tasarımı (Üç Boyut)	47
Şekil 4.7. Tel Çekme Operasyonu Simülasyonu.....	48
Şekil 4.8. Saplama Şekillendirilmesi a)Saplama Giriş b)Birinci İstasyon Çıkış	48
Şekil 4.9. Birinci İstasyon Simülasyonu Verileri.....	49

Şekil 4.10. a)İkinci İstasyon Giriş b)İkinci İstasyon Çıkış	49
Şekil 4.11. İkinci İstasyon Simülasyon Verileri.....	50
Şekil 4.12. a)Üçüncü İstasyon Giriş b)Üçüncü İstasyon Çıkış	50
Şekil 4.13. Üçüncü İstasyon Simülasyon Verileri	51
Şekil 4.14. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Akma Mukavemeti Değişikliği.....	52
Şekil 4.15. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Plastik Gerinim Değişikliği.....	53
Şekil 4.16. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Efektif Gerilim Değişikliği.....	53
Şekil 4.17. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Malzeme Akış Hızı Değişikliği.....	54
Şekil 4.18. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Malzeme Akış Hızı Değişikliği.....	54
Şekil 4.19. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Kontak Bölgeleri	55
Şekil 4.20. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Kontak Basınçları	55
Şekil 4.21. İstasyonların Dövme Yük Değerleri	56
Şekil 4.22. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Lif Yönlenmeleri	56
Şekil 4.23. 1. ve 2. İstasyon Kafa Bölgeleri Lif Yapıları.....	57
Şekil 4.24. 3. İstasyon Kafa Kesme (Çapaklama) Sonrası Lif Yapıları.....	57
Şekil 4.25. Ovalama Simulasyonu Kurgusu	58
Şekil 4.26. Ovalama Simulasyonunda Oluşan Mukavemet Değeri	58
Şekil 4.27. Prototip Üretim Kalıpları	59
Şekil 4.28. Prototip Üretimi Yapılan Soğuk Dövme Presi.....	60
Şekil 4.29. Kalıpların Yerleşimi	60
Şekil 4.30. Gerçek Kalıplar ve Kalıba ait Operasyon Numuneleri	61
Şekil 4.31.Gerçek İstasyon Numuneleri	61
Şekil 4.32. a) Birinci İstasyon b) İkinci İstasyon c) Üçüncü İstasyon Tasarım, Simulasyon ve Gerçek İstasyon Numuneleri	62
Şekil 4.33. Saplama, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri.....	63
Şekil 4.34. Birinci İstasyon, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri	63
Şekil 4.35. İkinci İstasyon, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri	64
Şekil 4.36. Üçüncü İstasyon, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri.....	64
Şekil 4.37. Makro Yapılar a) Saplama b) 1.İstasyon c) 2.İstasyon – Kafa Şişirme d) 3. İstasyon – Kesme	66
Şekil 4.38. Ovalama Prosesi Sonrası Makroyapı Analizi	67
Şekil 4.39. 1. İstasyon Simulasyon ve Gerçek Lif Yönlenmesi Karşılaştırması.....	67
Şekil 4.40. 2. İstasyon Simulasyon ve Gerçek Lif Yönlenmesi Karşılaştırması.....	68
Şekil 4.41. 3. İstasyon Simulasyon ve Gerçek Lif Yönlenmesi Karşılaştırması.....	68
Şekil 4.42. Çekirdek Mikroyapısı (200X).....	69
Şekil 4.43. Diş Bölgesi – Diş Dibi Mikroyapısı (200X).....	69

Şekil 4.44. Mikro Sertlik Değerleri (HV10)	70
Şekil 4.45. Çekme Test Cihazı Civata Çekme Düzeneği.....	71
Şekil 4.46. Gerçek Ürünün İlk Boy ve Son Boy Ölçümü	72
Şekil 4.47. 3. İstasyon ve Ovalama Prosesi Sonrası Akma Mukavemeti	74
Şekil 4.48. Kırılma Torku Testi ve Test Edilen Numuneler	75



TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Dövmeye işleminin Sıcaklığa Bağlı Karşılaştırması	6
Tablo 3.1. Malzeme Yüzde Kim. Komp. Karşılaştırma Tablosu.....	18
Tablo 3.2. EN ISO 4957 ye göre 1.2344 malzeme özellikleri	21
Tablo 3.3. EN ISO 4957 ye göre 1.3343 malzeme özellikleri	22
Tablo 3.4. Tungsten Karbür Özellikleri	24
Tablo 3.5. Örnek Soğuk Dövmeye Presi Özellikleri	40
Tablo 4.1. Çalışmada Kullanılan Hammadde Kompozisyonu.....	43
Tablo 4.2. Tasarım, Simulasyon ve Gerçek Ölçümler	65
Tablo 4.3. Gerçek Ürünün Çekme Testi Sonuçları	72
Tablo 4.4. Gerçek Ürünün Çekme Testi Öncesi ve Sonrası Boy Ölçümleri.....	73
Tablo 4.5. Gerçek Ürünün Kırılma Tork Değerleri	75

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Osman ÇULHA' ya, çalıőmalarımın tüm aőamalarında destek olan BOLT BAĞLANTI ELEMANLARI SAN. TİC. A.Ő. ' ye, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Alper BAYGUT
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PASLANMAZ ÇELİK BAĞLANTI ELEMANININ SİMÜLASYON DESTEKLİ SOĞUK DÖVME PROSES TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Alper BAYGUT

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

Danışman: Doç. Dr. Osman ÇULHA

“Soğuk Dövme” yada “Plastik Şekil Verme” hammaddenin istenen şekil verilmiş bir yapı (kalıp) içerisine pimler vasıtası ile baskı kuvveti uygulanarak, şekil verilmiş yapının formunda oluşmasını sağlayan soğuk şekillendirme şeklidir. Bir başka deyişle, metal malzemelerin oda sıcaklığında plastik şekil alabilme özelliğinden faydalanan dövme türüdür.

Paslanmaz çelik hammadde ile plastik deformasyon gerçekleştirilmesi ve günümüzdeki en güncel sayısal teknolojiler kullanılarak yeni ürün geliştirmek için simülasyon ile tasarım yapılmıştır. Gerçek üretim yapılmadan, gerekli operasyon ve kalıp tasarımları simülasyon uygulamasında çalıştırılıp gerekli görüldüğü taktirde revizyonlar yapılarak üretim ve kalıp maliyetlerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır.

Bu tez projesinde; Bolt Bağlantı Elemanları San. Tic. A.Ş. işbirliği ile birlikte, plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan soğuk dövme yöntemi kullanılarak Paslanmaz Çeliğin soğuk deformasyon (plastik şekil verme) özelliklerinin incelenmesi, üretim prosesi geliştirilmesi ve bağlantı elemanı için simülasyon destekli kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ürün ve kalıp tasarımları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Ürün geometrisinin, kalıp tasarımına bağlı olarak doğruluğunun deneme üretimleri yerine bilgisayar ortamında yapılıp gerekli görüldüğü taktirde revizyona gidilmesi kalıp maliyetlerinde ve iş planında önemli avantajlar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Plastik Şekil Verme, Soğuk Dövme, Bağlantı Elemanı, Paslanmaz Çelik

2019, 82 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESIGN AND DEVELOPMENT OF COLD FORGING PROCESS OF STAINLESS STEEL FASTENER BY SIMULATION SUPPORT

Alper BAYGUT

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Osman ÇULHA

The "Cold Forging" or "Plastic Forming" method is a cold forming method which enables the raw material to be formed in the form of a mold by applying compression force into a mold having the desired shape. In other words, it is a type of forging that takes advantage of the plastic deformation properties of metal materials at room temperature.

It is designed by using plastic deformation of stainless steel raw material and by simulation to develop new product by using the most recent date digital technologies. In simulation application, operation and mold designs are examined before production and revisions are made according to simulation results and improvements are made in production and mold costs.

In this study, with the Bolt Fasteners Co., cold deformation (plastic forming) properties of stainless steel raw material is investigated by using cold forging method which is one of plastic deformation methods, development of production process and simulation supported mold design for fastener. The product and the mold designs analyzed with using the finite element method. Simulation of the accuracy of the product geometry rather than being tested by the trial production provides advantages in the mold costs and work plan.

Keywords: Plastic Deformation, Cold Forging, Fastener, Stainless Steel

2019, 82 pages

1. GİRİŞ

Soğuk şekillendirme, hızlı üretime elverişli olması, ek olarak ısıtma gerekmemesi, üretim sonrasında yüzey kalitesinin iyi olması, hassas ölçüm toleranslarını karşılaması ve karmaşık şekilli parçaların üretilebilmesi gibi avantajlarından dolayı alternatif üretim yöntemlerine göre tercih edilmektedir. Otomotiv Endüstrisinde, yukarıdaki özelliklerden dolayı soğuk dövme ile üretilen ürünlerin kullanılması tercih sebebidir. Soğuk şekillendirme, sıcak şekillendirme ve talaşlı imalat gibi alternatif üretim yöntemlerine göre daha gelişmiş malzeme özellikleri sunmaktadır. Soğuk şekillendirme prosesi ile üretim optimizasyonunun yapılması ve ürün geometrisinde üstün mikroyapı ve mekanik özellikleri elde edilmektedir.

Soğuk dövme ile üretilmiş paslanmaz çelik bağlantı elemanları; otomotiv sektörü ile birlikte farklı sektörlerde uygulama yerindeki en önemli avantajlardan olan korozyon direnci ve ısıl direncin yanında farklı özelliklerinden dolayı da kullanılmaktadır.

Çalışmada, DIN EN ISO 3506 standardına uygun östenitik paslanmaz çelik hammadde verileri kullanılarak A2-70 mukavemet sınıfında bağlantı elemanı üretimi için proses ve operasyon tasarım simülasyonu ile birlikte uygun hammadde kullanılarak prototip üretimi de gerçekleştirilecektir. İlgili standartlar değerlendirildiğinde (DIN EN ISO 3506-1 ve EN ISO 10263-5) bulunabilirliği olan 304Cu (1.4567) hammadde ile simülasyon destekli analizler ve prototip üretim faaliyetleri yapılmıştır.

A2-70 mukavemetinde bağlantı elemanının çekme mukavemeti en az 700 MPa olmalıdır. Simülasyon verileri oluşturmak ve prototip üretim için yapılan hammadde araştırmasında ortalama 520 MPa çekme mukavemetine sahip 304Cu hammadde olduğu tespit edilmiştir. Gerekli çalışmalar bu veriler kullanılarak yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında;

1.İlgili standart kapsamında hammadde seçimi ve boyutlandırılması,

2. Proses ve ara istasyon numunelerinin simülasyon destekli tasarımı,
3. İstasyon kalıplarının ve setlerinin tasarımı
4. Ara operasyon ve kalıp tasarımlarının simülasyon destekli incelenmesi. Gerekli olduğunda kalıp optimizasyonu gerçekleştirilmesi,
5. Örnek üretimler yapılarak prototipe metalografik ve mekanik testlerin yapılması,
6. Metalografik ve mekanik testler ile karakterizasyon faaliyetleri uygulanarak prototip üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilmiştir.

Simulasyon destekli ürün ve proses tasarımı yapılan paslanmaz çelik prototip ürün üretilirken en az redüksiyon oranlı hammadde seçimi yapılmalıdır. Bu orana göre yapılan tasarım sonuçları değerlendirildiğinde hammadde boyutlandırılması kapsamında en az redüksiyona ait çap olarak yaklaşık Ø6,95 mm belirlenmiştir. Fakat tedarik edilecek bu çaptaki hammaddenin çekme mukavemet değeri ortalama 520 MPa olacağı ve bu değer yaklaşık olarak prototip ürünün de mukavemeti olacağı için üretilen prototip DIN EN ISO 3506-1 kapsamındaki mekanik gereklilikleri sağlamayacaktır. Tedarik edilen hammadde mukavemetin değerini üretimde kullanmadan önce arttırmak için deformasyon sertleşmesi yöntemi kullanılmıştır. Filmaşın hammadde Ø7,80 mm – çekme mukavemeti 520 MPa olarak tedarik edilmiş ve ortalama %20 kesit daralması olacak şekilde haddelenmiştir. Hadde işlemi sonrası üretim sırasında kullanılacak filmaşın hammaddenin çekme mukavemet değerinin ortalama 710 MPa olduğu, haddeleme süreci simülasyonu sonuçlarında ve gerçek hammadde üzerinde yapılan mekanik testlerde görülmüştür.

Tez çalışmasının amacı, Paslanmaz Çeliğin soğuk deformasyon (plastik şekil verme) özelliklerinin incelenmesi, üretim süreci geliştirilmesi ve bağlantı elemanı için simülasyon destekli kalıp tasarımı gerçekleştirilmesidir.

Bu kapsamdaki faaliyetlerin başında hammadde karakterizasyonu yapılmıştır. Ayrıca, uygulanan mekanik ve metalografik testler ile faz yapısı, tane boyutu, sertlik değeri, akma – çekme mukavemeti değeri, kırılma tork değeri belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

“Soğuk Dövme” yada “Plastik Şekil Verme” hammaddenin istenen şekil verilmiş bir yapı (kalıp) içerisine pimler vasıtası ile baskı kuvveti uygulanarak, şekil verilmiş yapının formunda oluşmasını sağlayan soğuk şekillendirme şeklidir. Bir başka deyişle, metal malzemelerin oda sıcaklığında plastik şekil alabilme özelliğinden faydalanan dövme türüdür. İşlem sırasında hammaddenin kütle ve hacim değişikliğine yol açmayan bu şekil verme prosesi, genel olarak plastik şekil verme işlemleri olarak isimlendirilmektedir. Bu yöntem; prosesin ortam sıcaklığında olması, nihai ürünün ölçülerinin dar toleranslarda üretilebilmesi, prosesin hızlı olması, işlem sırasında malzeme yüzeyinde istenmeyen tufal vb yapıların oluşmaması, nihai ürünün yüzey özelliklerinin hassas olması gibi avantajlardan dolayı karışık formlu parçalara şekil verebilmek için kullanılan bir üretim yöntemidir.

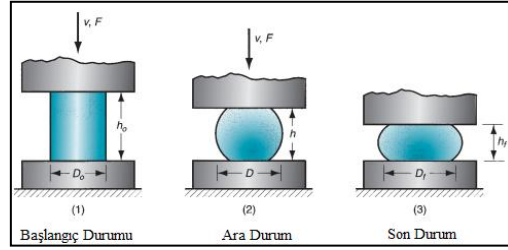
Metal malzemeye yırtılma, katlanma gibi istenmeyen olumsuz etkiler olmadan bir başka ifade ile sürekliliği bozulmadan şekil verebilmek için, o metalin plastik şekil alabilme özelliğinin iyi bilinmesi gerekir. Bununla birlikte şekil verme işlemi için gerekli pres kuvveti, pres basıncı ve pres gücünün de bilinmesi önemli bir parametredir. Yapılan dövme uygulamasında doğru sonuçları alabilmek için işlem parametreleri ve metalin özellikleri birbirine uygun olmalıdır. Seçim yaparken bu kriterler birlikte değerlendirilmelidir [1].

Geçmişe eskiye dayanan üretim yöntemlerinden olan ve endüstriyel anlamda sıklıkla kullanılan dövme prosesi; bir kuvvet (basınç) altında kontrollü plastik deformasyon sağlayarak iş parçasına istenilen formu vermek, tane boyutunu küçültmek ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile uygulanan plastik şekil verme yöntemlerindedir. Groover [2] ‘a göre kullanılan kalıp sistemi açısından açık kalıpta dövme ve kapalı kalıpta dövme olarak iki ana başlık altında incelenir.

2.1. Açık Sistemde Form Verme

Şekil verilmek istenen parça iki düz kalıp arasında basma testi yapılmış gibi sıkıştırılmaktadır. İsim olarak “Yığma” da denilebilmektedir. Uygulanan basma

kuvveti ile parçanın kuvvet eksenine boyundaki yüksekliği azalırken kuvvete dik eksenindeki kesit alanı artmaktadır [2].



Şekil 1.1. Açık Sistemde Form Verme Prosesi [2]

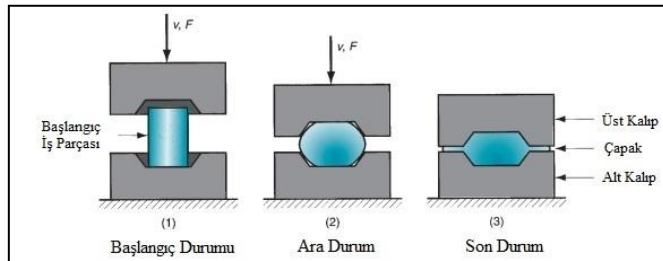
Genellikle kesiti yuvarlak geometriye sahip parçalarda yığılma oluşmaktadır. Şekil 1.1 'de sürtünmesiz ideal koşullarda, yuvarlak kesitli malzemenin açık sistemde form verilme işlemi görülmektedir [2].

2.2. Kapalı Sistemde Form Verme

Kapalı sistemde form verme iki bölüme ayrılır.

2.2.1. Kapalı Sistemde Çapaklı Form Verme

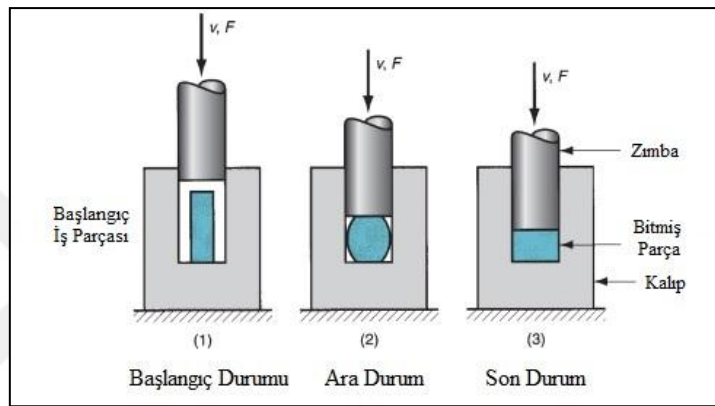
Form verilecek parçanın şeklinin tersi ölçülerinde tasarlanmış iki yarım form verme mekanizması (karşılıklı iki kalıp) arasında kuvvet uygulanarak parçanın sıkıştırılması, istenen kalıp formuna akıtılması ve formu doldurması şeklinde ifade edilebilmektedir. Proses adımları Şekil 1.2 'de gösterilmektedir [2].



Şekil 1.2. Kapalı Sistemde Çapaklı Form Verme Prosesi [2]

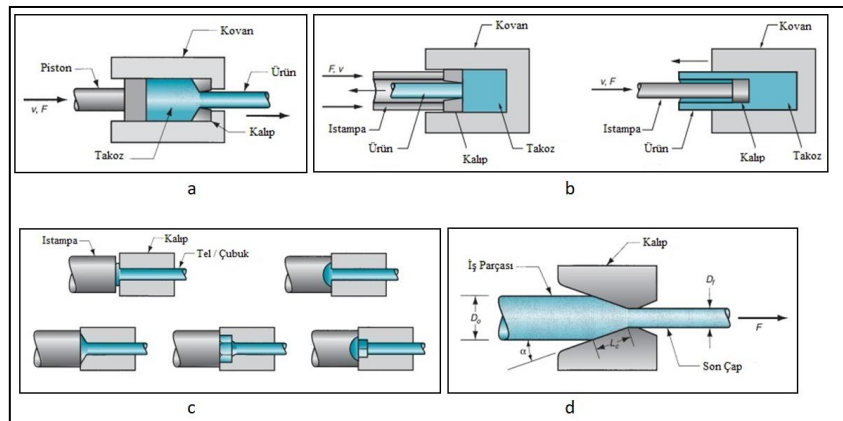
2.2.2. Kapalı Sistemde Çapaksız Form Verme

Kolay ve simetrik şekilli forma sahip malzemelerin üretimine uygundur. Dar veya hassas form verme şeklinde de ifadelendirilmektedir. Form verilecek bölge ile form alacak parça hacimlerinin birbirine çok yakın veya eşit olması bu yöntemin sağlanması gereken en önemli özelliğidir. Form verme bölgesinden malzeme akamayacağı için proses sık kontrollerle takip edilmelidir. Proses takibi kontrollü olarak yapılmadığı durumlarda form verme bölgesine – kalıba yada makinaya hasar verilme ihtimali vardır. Proses adımları Şekil 1.3 'te gösterilmektedir [2].



Şekil 1.3. Kapalı Sistemde Çapaksız Form Verme Prosesi [2]

Groover [2] 'a göre diğer plastik şekil verme yöntemlerine bazı örneklerde verilmiştir.



Şekil 1.4. a)Direkt Ekstrüzyon b)İndirekt Ekstrüzyon c)Kafa Şişirme d)Tel Çekme Prosesi [2]

Dövme prosesi kalıp sistemine göre sınıflandırılması haricinde ayrıca sıcak, yarı sıcak ve soğuk şekillendirme olarak da sınıflandırılabilir. Sıcak, yarı sıcak ve soğuk dövme yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 1.1 'de belirtilmiştir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı plastik şekil değiştirme yöntemi için kritik parametredir. Deformasyon, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılıyorsa soğuk dövme, yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde yapılıyorsa sıcak dövme şeklinde isimlendirilebilir [3].

Tablo 1.1. Dövme işleminin Sıcaklığa Bağlı Karşılaştırması [4]

ÖZELLİKLER	SICAK	YARI SICAK (ILIK)	SOĞUK
ÇELİK SINIFI	Hepsi	Karbon (C) istenir, diğer elementler (alaşım) < %10	Az alaşımlı çelikler (Karbon < %0.45 diğerler elementler<%3)
ŞEKİL	Alt kısımda kesme gerekmeden herhangi	Altan kesme olmadan simetrik veya dönel	Alt kısımdan kesme gerekmeden simetrik veya dönel
YÜZEY KALİTESİ	Zayıf	Normal	İyi
ARA İŞLEMLER	İhtiyaç yok	İhtiyaç yok	Yüzey fosfat kaplama ve ihtiyaç durumunda ara tavlı
ŞEKİL VERME KUVVETİ	Zayıf	Orta	Yüksek
ENERJİ İHTİYACI	Fazla	Normal	Az
ÖLÇÜ ARALIĞI	Fazla	Dar	En Dar
KALIP MALİYETİ	Az	Fazla	Fazla

“Soğuk Şekillendirme” yada “Soğuk Dövme” yöntemi; hammaddenin istenilen forma sahip bir kalıp içerisine kuvvet uygulanarak, istenen ölçüdeki form verme kalıbının ölçüsel özelliklerini almasının sağlandığı soğuk şekil verme türüdür. Soğuk şekil verme; metal malzemelerin oda sıcaklığında plastik şekil alabilme özelliğinden faydalanır. Talaşlı imalat yöntemi kullanılarak malzemeyi işlemek yada şekil vermek zaman alan ve proses sonrasında talaş çıkaran bir yöntemdir. Soğuk şekil verme yöntemi ise işleme zamanında avantaj sağlayarak birim zamanda daha

fazla malzeme oluşmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde talaş çıkmadığı için hammadde miktarında da avantaj sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı soğuk dövmeyle ilgi gösterilmektedir.

Tüm üretim yöntemlerinin arasında dövme yönteminin özel bir yeri vardır. Minimum malzeme israfı ve yüksek mekanik özellik taşıyan parçaların üretiminde kullanılması tercih edilmesinin başlıca sebeplerindendir. Dövme yöntemi işlem sıcaklığına bağlı olarak sıcak, yarı sıcak (ılık) ve soğuk dövme şeklinde uygulanabilmektedir. Hammaddenin mutlak erime sıcaklığı T_e (K) ve şekil verme sıcaklığı T ile ifade edilecek olursa; $T/T_e < 0,3$ olduğunda soğuk dövme, $T/T_e=0,3-0,5$ arasında olduğunda ılık dövme ve $T/T_e > 0,6$ olduğu durumda ise sıcak dövme oranları ile proses yapısı karşımıza çıkmaktadır [5]. Tablo 1.1. deki sınıflandırma prensibi bu formülasyona göre hazırlanmıştır.

Soğuk dövme yöntemi gereği malzemenin mikro özelliklerinde bazı değişiklikler olmaktadır. Dövme etkisinden dolayı malzeme sertliği ve mukavemeti artar (deformasyon sertleşmesi), süneklik azalır, tanelerin formları kuvvete bağlı olarak sürekli değişir. Bununla birlikte bir malzemeye soğuk dövme ile şekil verebilmek için ihtiyaç duyulan kuvvet veya basınç, aynı formun sıcak dövme ile oluşturulmasına kıyasla daha fazladır. Soğuk dövmede ise, sıcak dövmeyle göre daha küçük ölçü toleransları ve daha iyi bir yüzey özellikleri elde edilir. Soğuk şekil değiştirmede operasyonlar arasında şekil alabilirliğin azalması (süneklik düşer), malzemenin istenen forma ulaşmadan yırtılma – yığılma – katlanma gibi hasarlara uğramasına sebep olabilir. Tasarım faaliyeti sırasında böyle bir durum ön görülürse, malzeme soğuk şekil değişiminden sonra yeniden kristalleşme tavlamasına tabi tutulur. Tavlama sonrası, tekrar dövme öncesi mekanik özelliklere sahip olan malzemeye soğuk form verilerek üretime devam edilir. Tane boyutu morfolojisi standart eş eksenli dağılıma sahip olan çok kristalli metalik malzemelerin soğuk şekil verme uygulaması sonrası, deformasyon yönünde akış çizgileri oluşmaktadır. Tanelerin küçülmesi ve aynı zamanda deformasyon ekseninde yönlenmesinden dolayı mikroyapı değişmekte, mekanik özelliklerin kuvvet ekseninde en yüksek değerlere ulaşması sağlanmaktadır. Çok kristalli malzemenin oda sıcaklığında gerçekleştirilen soğuk dövme prosesi ile birim hacimdeki dislokasyon miktarı arttırılmakta ve aynı zamanda pekleşme (deformasyon sertleşmesi) oluşmaktadır.

Böylelikle başlangıçta soğuk şekil verilmiş olan malzemenin sünekliğinin azalması, mukavemetinin ve sertliğinin artma olarak karşımıza çıkmaktadır. Soğuk deformasyon sonrası meydana gelen bu olay, malzemenin izotropik özelliklerine etki ederek özellikle mekanik ve fiziksel özelliklerde anizotropik davranış göstermesine neden olmaktadır. Operasyon veya istasyon olarak tariflenen şekillendirme adımlarında azalma ve proses dizaynında değişiklikler, istasyon başına gerekli olan dövme kuvvetini, kalıp basıncını, malzeme akışını, strain dağılımı ve sertlik değerlerini etkilemektedir [3].

Temelde iki grup olarak sınıflandırılan soğuk dövme işlemleri kütle şekillendirme ve sac şekillendirme olarak isimlendirilebilir. Belli bir et kalınlığına sahip içi boş formların oluşturulması mantığı ile sac formlar şekillendirilirken, saplamanın (iş parçasının) yüksek kuvvetler ile karışık formlara sahip kalıp şeklini alması kütle şekillendirme ile gerçekleştirilmektedir. Uygulanan kuvvet çeşidine göre plastik form verme yöntemlerini farklı beş gruba ayırabiliriz [6-7].

Elastik davranış, 0,005 birim şekil değiştirme miktarına ulaşıncaya kadar sürmektedir. Deformasyon miktarı bu değerden fazla olursa, birim şekil değişim miktarı ile artık gerilme arasındaki orantılı değişim ortadan kalkar (Hooke Kanunu - Denklem 6.5 geçerliliğini yitirir) ve malzemeye o noktadan sonra uygulanan kuvvet ortadan kalksa da kalıcı yani geri dönmeyen deformasyon, plastik deformasyon oluşur [6]. Soğuk dövme, metallerde plastik deformasyon özelliğini kullanarak şekillendirme yapan bir üretim yöntemidir.

Geleneksel şekillendirme yöntemleri ile şekil verilemeyen malzemeler için elektromanyetik ve lazer şok şekillendirme prosesleri üzerinde durulmuş ve çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır [8].

Bu yöntemler gelecekte şekillendirme prosesi dizayn edilirken üretim hızı baz alındığında önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca metal şekillendirme yöntemlerinin gelişimi ve üretim sırasında incelenecek parametrelerin değerlendirildiği çalışmalarda, üretim yöntemleri karşılaştırılmış ve günümüze kadar gelen süreçler değerlendirilmiştir [9].

2.3. Sonlu Elemanlar (Simülasyon) Metodu ile Şekillendirme

Uygulamaları

Soğuk dövme prosesinde ürün ve kalıp tasarımı yaparken; hammadde çapı, ürün operasyon geçişleri, ekstrüzyon - redüksiyon oranı, parçanın boyu, yağlayıcı kullanımı ve yağlayıcı yapısı vb özellikler önem arz etmektedir. Bunların etkileri kalıp ömürlerine ve kalıp kırılmalarına sebebiyet vermektedir. Soğuk dövme prosesinde maliyetin yaklaşık %20 lik kısmı kalıp gideridir. Simulasyon destekli proses, ürün ve kalıp tasarımı yaklaşık kalıp maliyetinin düşmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca, kalıp bozulması gibi istenmeyen durumlarda, kalıp değişimi sırasında üretimin durması da üretim verimliliğini etkiler ve zaman kaybına neden olur. Buda dolaylı olarak maliyet artışına sebebiyet verir. Takımı, en uzun ekonomik fayda elde edecek şekilde tasarlamak gereklidir.

M.Güden ve arkadaşları [10], soğuk dövme prosesinde sonlu elemanlar yönteminin önemini anlatmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında; Metal şekillendirme endüstrisinde sonlu elemanlar yönteminin kullanılması maliyet azaltma, zaman tasarrufu ve ürün kalitesinde iyileşme ile sonuçlanacağını söylemişlerdir. Plastik deformasyon yapısı ve kalıpların tasarımı, üretimden önce ve sonra modellenebilir. Bu ön çalışmalar mühendisin proses eksikliklerini kolayca tespit etmesini sağlayarak maliyet ve zaman tasarrufu sağlar. Düzenli görsel inceleme ile kolayca tespit edilemeyen homojen olmayan deformasyonları ön görmek için modelleme çalışmaları önemli olacaktır. Metal şekillendirme endüstrisinde sonlu elemanlar yönteminin bir araç olarak kullanılması maliyet düşürme, zaman tasarrufu ve ürün kalitesinde iyileşme ile sonuçlanmaktadır. Bu çalışma ile simülasyon yazılımı; soğuk dövme yönteminde malzeme akışını (lif akışı) gösterir, kusurları yakalar ve pres kuvvetleri, kalıp gerilmeleri gibi işlem parametrelerinin belirlenmesine yardımcı olur. Bununla birlikte artık gerilmelerin hesaplanabileceği, takım ömürlerinin ve kırılma zamanlarının tahmin edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Simulasyon çalışmalarının önemini anlatan E.Erbil ve arkadaşlarının [11] yaptığı diğer çalışma ise, Sonlu eleman analizleri kullanılarak soğuk dövme işleminde malzeme akışı, kalıp doldurma, katlanma oluşumu, dövme kuvvetleri, sünek hasarlar ve kalıp kırılmaları üretim gerçekleşmeden önce tahmin edilebilmesi üzerinedir. Simulasyon uygulamaları ile özellikle yüksek güvenlik derecesine sahip

olması gereken emniyet bağlantı elemanları olası üretim hatalarına karşı sayısal ortamda denenerek, malzeme akışı ile ilgili kusurlar kolaylıkla ve yüksek doğrulukta tespit edilebilmektedir. Soğuk dövme sektöründe kalıp maliyetleri toplam üretim maliyetlerinin önemli bir kısmını kapsamaktadır. Üretim esnasında öngörülemeyen düşük çevrimli kalıp kırılmaları kalıp maliyeti, işçilik maliyeti gibi toplam maliyet faktörlerinin artmasına neden olduğu gibi aynı zamanda verimliliği düşürmekte ve zaman zaman da ürünün üretilmesini imkansız kılarak firma prestijini düşürmektedir. Sayısal benzetim yöntemiyle herhangi bir ürün için tasarlanan dövme aşamaları kontrol edilerek ürünün verimli bir şekilde üretilebilmesi için gerekli düzenlemeler hızlı ve çok düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir.

E.Tekkaya ve arkadaşları [12] yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile Soğuk Ekstrüzyon Kalıplarının yorulma davranışlarını incelemiştir. Kalıpların yorulma çatlağı davranışı sonlu eleman modellemesi ile simüle edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Tipik bir aksimetrik ekstrüzyon kalıbının kalıp girişinin farklı yerlerinde etkili stres yoğunluğu faktörü sonlu eleman kod yöntemi ile hesaplanmıştır. Paris - Erdoğan yorgunluk yasasını bu hesaplanan verilere uygulayarak, çatlak büyümesi simüle edilmiştir. Çatlak büyüme hızından, ekstrüzyon kalıbının ömrü tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlarda çıkan değerlerin, deneysel belirsizlik sınırları içinde tatmin edicidir. Simulasyon verileri ile çatlak büyümesinin deneysel olarak gözlemlenen davranışı örtüştüğü görülmüştür. Çatlak başlangıç konumunun kalıp ömrüne etkisi yüksektir. Çatlak başlangıcına bağlı olarak kalıbın ömrünün, dikkate alınan ekstrüzyon kalıpları için 7.000 ila 18.000 iş parçası arasında olduğu görülmüştür.

U.İnce ve arkadaşları [13] Simufact.forming FEM analiz programını kullanarak, soğuk şekillendirme uygulamalarında kalıplarda oluşan hasarları incelemişler ve tasarımlarda istasyon geçişlerinde yaptıkları değişimler ile kalıplarda oluşan gerilim kuvvetlerinin düşürülmesini sağlamışlardır. İlk değerlendirmede farklı beş istasyon geçiş bölgesindeki hammadde yönlendirme modellenmiş, kalıplar üzerindeki hasarların oluştuğu geçiş bölgelerindeki gerilmeler ile hammaddenin kalıplara değdiği noktadaki (kontak) kuvvetler tespit edilmiştir. Flanş bölgesi, baş bölgesi ve dogpoint (uç kademesi) aynı istasyonda oluştuğu (form aldığı) için bu bölgede yüksek çekme kuvvetinin meydana geldiği görülmüş ve kalıp hasarının

yanlış istasyon tasarımından kaynaklandığı görülmüştür. Hasarı engellemek için uç kademe (dogpoint) oluşumu bir sonraki istasyona alınmış ve kademeyi oluşturmak için kullanılan hazırlık açısı değeri 40°'ye indirilmiştir. Yakpare – tek parça tasarlanan şekil verme kalıbı iki parça olarak yeniden tasarlanmıştır. Yeni tasarlanmış operasyon tasarımlarında FEM analizi yapılarak kalıplara gelen kuvvetin ortalama %70 değerinde düştüğü görülmüştür. Oluşturulmuş operasyon ve kalıp tasarımı ile yapılan gerçek üretimlerde dövme kalıplarının verimliliğinin 3.8 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Bağlantı elemanı simülasyon destekli üretim ile ilgili çalışma yapan C.Kılıçaslan ve arkadaşları [14], otomobil bijonuna ait tasarımda operasyon geçişlerindeki zımba problemi üzerinde çalışmışlardır. Bijon dövme kalıp sistemi sabit ve hareketli kalıplar içerir. Hareketli kalıp sistemi, altıgen cıvata kafasının deformasyonunu ve yarı mamülün (operasyon numunesi) içinden delinmesini sağlayan bir kalıp yayı içerir. Operasyonlar arası plastik deformasyonun sonunda, altıgen kalıp ve zımba, aynı anda dışarıya doğru zıt yönlerde hareket eder. Burada süreç boyunca malzeme akışını anlamak çok önemlidir. Pek çok metal şekillendirme simülasyon yazılımı paketi kütüphanesi kalıp yayları oluşturmayı içerir, ancak yay hareketinin tam olarak modellenmesine imkan sağlamaz. Bununla birlikte, belirli kalıp hareketlerini zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayarak karmaşık kalıp hareketleri daha kolay simüle edilebilir. Soğuk dövme uygulamalarında kullanılan sonlu eleman simülasyonlarının önemi ve etkinliği yapılan çalışmada, tekerlek-cıvata dövme sırasında ortaya çıkan benzersiz bir problem ortaya konarak gösterilmiştir. Simülasyonlar ile harcanan uzun tasarım zamanı, pres ayarındaki zaman kaybı, tüketilen enerji ve denemelerin maliyeti büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlara dayanarak yeni zımbalar üretildi ve modelleme sonuçlarının gerçek uygulama ile tutarlı olduğunu gösteren dövme denemeleri yapılmıştır. Simülasyon destekli tasarım ile delme ömrü önceki tasarıma göre dört kat artış göstermiştir.

Q.Hsu ve arkadaşları [15], çok istasyonlu dövme işlemlerinde dövme preslerinin ürün üzerindeki etkisini dövme yükü, operasyon tasarımı ve şekil değişikliği gibi parametrelerle takip edildiği akış kontrollü dövme (FCF – Flow Control Forming) süreçlerini tartışmışlar ve son şekil ölçülerine uygun yeni

tasarımlar geliştirmişlerdir. Operasyon tasarlanırken dikkat ettikleri diğer bir durum ise proses parametreleri ve kalıp tasarımlarına dayalı çok istasyonlu soğuk şekillendirme operasyonlarının analizleri yapılmasında sonlu elemanlar analiz yönteminin tasarım avantajı kazandırmasıdır.

K.Wagner ve arkadaşları [16], 2006 yılında yaptığı çalışmada sonlu eleman analiz yöntemi ile kalıpların deformasyonlarının en yoğun olduğu bölgeler tespit edilerek, kalıp ömürlerinin arttırılması amacıyla üç farklı kalıp yüzey işleme yönteminin değerlendirilmesi yapılmıştır.

1992 yılında M.Geiger ve arkadaşları [17] tarafından yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak soğuk dövme prosesinde kullanılan bir ekstrüzyon kalıbının boğaza giriş kısmında oluşan yorulma direnci hesaplanmıştır. Boğaz girişindeki formun değiştirilerek yapılan simülasyonlar ile bu bölgeye etki eden yorulma direncinin en düşük olduğu form tespit edilmiştir.

Simülasyon programları ile kalıp analizleri dışında C.MacCormack ve arkadaşları [18] çalışmalarında yapmış olduğu gibi ürünlerin tasarımı ve kalıp tasarımlarının incelenmesi de 2D ve 3D olarak yapılmaktadır. Bununla birlikte, yeni üretim süreci yani soğuk dövme yöntemi gelişmiş ve bu sayede kullanım yerinde hafiflik avantajı sağlayacak yüksek mukavemetli ürünlerin üretilmesi sağlanmıştır. Ağırlık faktörünün ön planda olduğu beyaz eşya, otomotiv sanayinde kullanılan sac hammaddelerin ince ve aynı zamanda mukavemetli olması istenmektedir. Aynı kalınlıktaki hammaddeler farklı üretim metodları kullanılarak daha mukavemetli duruma getirilmektedir. Karmaşık form yapısında olmayan bu sac şekil verme uygulamalarında kullanılan sac levhalar ile farklı şekillendirme prosesleri yardımıyla istenen mukavemetlere sahip yeni ürünler meydana getirilmektedir. Ürün tasarımı, proses tasarımı ve sinoptik çalışmaları optimizasyonu için sayısal analiz ve simülasyon uygulamalarından faydalanılmıştır. İstasyon sayısı azaltılırken üretim hızının değişkenliği de incelenmesi gereken farklı bir diğer konudur. Üretilmek istenen ürünün Süperplastik şekillendirme proses çalışmaları değerlendirildiğinde; üretilebilirlik, üretim performansı, ürün – üretim maliyeti, mevcut kaynakların verimli kullanılması, çevresel etkiler, güvenlik standartları gibi farklı parametreler kapsamında çalışmalara da rastlanmaktadır [19].

K.Hyunkee ve arkadaşları [20] çalışmalarında, dövme sanayi sektörü ve literatürde bulunan soğuk şekil verilmiş ürünler hakkında bilgiler vermişlerdir. İnceledikleri soğuk dövülmüş iş parçasının her istasyonda oluşan parça boyutları ve operasyon dizilimleri hakkında sonlu elemanlar (simulasyon) uygulamaları kullanarak analizlerini yapmışlar ve analiz sonuçlarını kullandıkları yazılımın kütüphanesine eklemişlerdir.

Sonlu elemanlar analiz yöntemi, tasarlanan ara operasyonlardan son operasyona kısaca ilk parçadan son parçaya (bütüne) gitme sistematığıne dayanmaktadır. Üç boyut yada iki boyut tasarımların bir parçası olan sonlu elemanlar yönteminin başlangıçtaki ve sonrasındaki en yaygın kullanımı gerilme analiz değerinin belirlenmesidir. Daha sonra elektrik, piezoelektrik, ısı, akışkan analizi uygulamalarında kullanılarak farklı sektörler için analiz kolaylığı sağlamıştır. Sonlu elemanlar yöntemi, 1950 senesinde ilk olarak Uzay Mühendisliği biliminde kullanımına başlanmıştır. Kullanıcılardan ilkler Uzay ve Havacılık sektöründe faaliyet gösteren; Bell Aerospace, Boeing, ve Rolls Royce firmalarıdır. 1956 yılında Turner ve arkadaşları, bu yöntemin kullanımı ve sağladığı kolaylıkları içeren ilk makaleyi yayınlamışlardır. Teknolojinin gelişmesi ile beraber 1970'lerin ortalarında sistematığı olgunlaşan bu yöntem günümüzde farklı mühendislik bilimlerinin (uçak, atom, inşaat, makine, hidrodinamik, elektrik, vb.) kullanımının yanı sıra, tıp bilimlerinde de (kalp ve damar cerrahisi, ortopedi, estetik cerrahi, vb.) kullanılmaktadır. Bu yöntemin temelinde; karmaşık ve çözümlenmesi zaman alacak problemlerin kolay ve daha hızlı çözümlenmesi için bu problemlere benzer, fakat daha kolaylaştırılmış problemlerin çözümü yatmaktadır. Çoğu zaman, basite indirgeme sonucunda doğru değer yerine yaklaşık değer bulunmaktadır. Günümüzde, bu analiz yönteminin bilgisayar uygulamalarında çalıştırılması sonucunda hemen her çözümün sınır şartları kapsamında yaklaşık sonuçları elde edilmektedir. Çözüm bölgesi; sonlu elemanlar yönteminde, birbirine bağlanmış elemanlardan ve sonlu elemanlardan oluşmaktadır. Analiz sırasında çeşitli teoriler kullanılarak çözüm değerlerine ulaşılırken, belirlenen sınır koşulları ve denge denklemlerinin uygulamaya tanımlanmasıyla yaklaşık değerler bulunmaktadır [21].

2.4. Paslanmaz Çelikler

Karbon oranı düşük krom oranı yüksek olan ve paslanmaz çelik olarak isimlendirilen çelik türü bileşiminde alaşım elementi olarak Molibden, Nikel ve Azot elementlerini de içermektedir. Paslanmaz çelik olarak kullanılması ve paslanmaması (korozyona uğramaması) için kimyasal içeriğinde en az % 12 oranında krom elementi bulunmalıdır. Östenitik, Martenzitik, Çökelme Sertleşmesi, Ferritik ve Dublex (Çift Fazlı) olarak özel isimlendirilen paslanmaz çelik ana grupları, içerdikleri alaşım elementlerine ve sahip oldukları mekanik özelliklere göre sınıflandırılmaktadır [22]. Paslanmaz çeliklerin paslanmaya – korozyona uğramaya karşı direnci yüzeyinde oluşan kalınlığı yaklaşık 1-3nm olan oksit pasif film varlığından kaynaklanmaktadır [23].

Günümüzde endüstriyel çalışma hayatında yüksek mukavemet, kolay işlenebilme ve düşük maliyet gibi avantajları nedeniyle hala en yaygın kullanılan metal alaşımı karbonlu çeliklerdir [24]. Şekil verme sırasında tokluk azalması, kalın çaplı parçalarda kesit bölgesi boyunca yapının tamamen martenzite dönüştürülememesi, darbe mukavemetinin düşük sıcaklıklarda az olması, yüksek ısılarda kısa sürede oksitlenme, korozyon dayanımlarının düşük olması gibi istenmeyen özellikleri sebebi ile, alaşımli karbonlu çeliklere ihtiyaç duyulur [25].

Paslanmaz çelikler; estetik yapıda olmaları, korozyon dirençlerinin yüksek olması, düşük ve yüksek sıcaklarda çalışabilir olmaları, şekillendirmelerinin kolay olması nedeniyle birçok alanda kullanılabilirler. Paslanmaz çelikler içerisinde en yaygın kullanılanı %70 lik bir oranla östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde en yaygın kullanılan alaşım ise AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliktir [26].

Tez çalışmasında, DIN EN ISO 3506 standardına uygun östenitik paslanmaz çelik hammadde verileri kullanılarak A2-70 mukavemet sınıfında bağlantı elemanı üretimi için proses - operasyon tasarım simülasyonu oluşturulmuş ve uygun hammadde ile prototip üretimi gerçekleştirilmiştir.

316 – 310 – 304 gibi alt grupları bulunan, antimanyetik özellikte olan ve AISI 300 serisi olarak adlandırılan östenitik paslanmaz çelikler alaşım elementlerindeki

farklılıklar ile değişik yerlerde kullanılabilir. Östenitik paslanmaz çelikler yüzde olarak 12-25 arasında krom içerirken, 8-25 arasında nikel içermektedir. İçeriğinde bulunan nikelin östenit yapıcı özelliğinden dolayı, katılma sırasında östenit faz oluşmakta ve oluşan faz oda sıcaklığının altında da görülmeye devam eder. Soğumada mikro yapıdaki östenit faz değişiklik göstermediği için bu kalite çelikler sertleştirilmezler. 300 serisi östenitik paslanmaz çeliklerden en çok kullanılan 18/8 çeliği olarak isimlendirilmiş yüzde olarak 18 krom ve 8 nikel içeren cinsidir. Kullanım yerine göre ihtiyaç durumunda içeriğe molibden elementi ilave edilerek korozyona karşı direnci artırılabilir.

Bu çelik türünün avantajlarından bazıları:

1. Karbon çeliği ve az alaşımlı çeliklere göre ısı iletim katsayısı 1/3 oranındadır.
2. Karbon çeliği ve az alaşımlı çeliklere göre ısıl genleşme katsayısı 1,5 kat fazladır.
3. Elektrik iletim direnci alaşımsız ve karbonlu çeliklere göre 5 ile 7 kat arasında fazladır.

Bahsedilen bazı avantajlar farklı proses uygulamalarında dikkat edilmesi gereken kritik kontrol noktalarını oluşturmaktadır. Örneğin bu şekilde Cr ve Ni içeren parçaların kaynak prosesinde parça üzerinde çekme özelliği oluşmaktadır. Çekme etkisinden dolayı kaynak dikiş bölgesinde meydana gelen gerilmeler çatlak oluşumuna sebebiyet verir. Bu içerikteki paslanmaz çeliğin iki tarafında yapılan kaynak işleminde sıcak çatlak meydana gelme olasılığı yüksektir. Metalurjik olarak değerlendirildiğinde bu fiziksel etkinin yanında bazı malzeme özelliklerinde Ni ve Cr içeren östenitik paslanmaz çeliğin kaynağını zorlaştırmaktadır. Kaynak sırasında mikroyapıda oluşan karbür çökmesi ve delta ferrit fazıdır. Yüzey merkezli kübik yapıdaki östenitik paslanmaz çeliklerin şekil verilebilirlikleri, korozyon dirençleri ve süneklikleri mükemmeldir. Dayanım, yoğun katı eriyik mukavemetleşmesi sonucu oluşmaktadır. Ferritik paslanmaz çeliğin soğuk dövme prosesi ile deformasyon sertleşmesine uğraması östenitik tipe göre daha az olabilir. Darbe direnci olarak değerlendirildiğinde düşük ıslarda östenitik çeliklerin özellikleri çok iyidir. Ferromanyetik olmayan bu çeliklerin içeriğinde bulunan Cr ve Ni oranları maliyet yükselmesine sebep olmaktadır [27].

Normal şartlarda yüzey merkezli kübik ve östenitik faz yapısında oldukları için östenitik paslanmaz çelikler ısı işlem prosesi ile çoğunlukla sertleştirilemezler. Fakat bu alaşımlar soğuk deformasyonla dayanımları oldukça arttırılabilir. Örneğin tip 301 alaşımının akma dayanımı soğuk deformasyonla 276 MPa ‘dan 1380 Mpa ‘a çıkartılabilir [28].



3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Ar-Ge ve tasarım faaliyetlerinde simulasyon ve farklı analiz çözümleri, yapılan tasarım operasyonlarının doğruluğunun tespiti ve gerekli ise geliştirilmesi için uygulanan önemli metodlardır. Simulasyon uygulaması; gerçek üretime geçmeden önce malzeme şeklindeki değişimleri, malzeme üzerindeki yük – sıcaklık – gerilme dağılımlarını, operasyonlar arası boyutsal değişimleri ve bunlara benzer mekanik ve metalurjik özelliklerin değişimlerinin bize gösterebilmekte ve ön bilgi vermektedir. Dövme (sıcak – soğuk), haddeleme, ekstrüzyon, sac şekil verme gibi özel şekil verme konularını içeren simulasyon çözümleri ile birlikte kaynak prosesi ve proses sonrası oluşan bölgedeki mekanik - metalurjik değişimleri ön görecektir farklı uygulamalarda bulunmaktadır. Soğuk şekil verme tasarımı aşamasında öncelikle ürün ölçüsel olarak hacim sabitliğine göre tasarlanır. Bu ölçüler kalıp tasarımına taşınır ve kalıp formları tasarlanır. Ürün ve kalıp tasarımı simülasyon uygulaması kullanılarak analiz edilirse tasarımda hata var ise gerçek üretime geçmeden önce hatalar tespit edilir ve gerekli değişiklikler yapılabilir. Bu sayede üretim ve kalıp maliyetlerinin yanında verimlilikte de avantaj sağlanacaktır. Ürün tasarımından kalıp tasarımına gidilmesi oluşacak operasyon numunelerinin ölçülerini etkilemekte ve kalıpta ölçüsel bir sorun varsa tasarım hatası olarak görülmektedir.

3.1.1. Paslanmaz Çelik

Mikroyapısında yeteri kadar Ni bulunan paslanmaz çelik normal şartlarda östenit yapıdadır. Yapıda %18 Cr ve %8 Ni bulunan paslanmaz çelikler östenitik paslanmaz çeliklerdir. Kullanım yerine ve şekil alabilirlik olarak düşünüldüğünde bu çelikler mikro mekanik, dövülebilirlik, metalurjik ve korozyon özellikleri olarak iyi bir uygulama alanı sunarlar. Düşük ısılarda da şekil alabilirlikleri ve mukavemetleri yüksektir. Östenitik paslanmaz çeliklere ısı işlem prosesi uygulanmaz, ısı işlem ile sertleştirilemezler. Sertleştirme veya mekanik özelliklerdeki artış için soğuk şekil verme uygulamaları kullanılabilir [26].

Çalışmada malzeme verileri oluşturulurken, paslanmaz çelik bağlantı elemanı genel şartnamesi olan ve kimyasal kompozisyon aralığı Tablo 3.1 'de verilen DIN EN ISO 3506 standardını kapsayacak şekilde dövülebilir paslanmaz çelik bağlantı

elemanları hammadde standardı olan EN ISO 10263 – 5 kapsamına uygun olan filmaşın hammadde kullanılmıştır. Proje kapsamında kullanılan hammadde, simülasyon sonucu çıkan proses dizaynına uygun olacak şekilde haddelenmiş olacaktır.

DIN EN ISO 3506 - 1 standardında, östenitik tip paslanmaz çelik bağlantı elemanlarının mukavemet özellikleri A1/A2/A3/A4/A5 ve mukavemet değerleri de 50/70/80 olabileceği gösterilmiştir. Kullanım yerine ve istenen mekanik özelliklere göre mukavemet ve hammadde seçimi yapılmalıdır. Çalışmada A2-70 sınıfı paslanmaz çelik bağlantı elemanı incelenecektir.

Tablo 3.1. Malzeme Yüzde Kim. Komp. Karşılaştırma Tablosu

Çelik Grubu	Muk. Öz.	C en fazla	Si en fazla	Mn en fazla	P en fazla	S en fazla	Cr	Ni	Cu en fazla	STD.
Östenitik	A2	0,1	1	2	0,05	0,03	15 – 20	8 – 19	4	DIN EN 3506
	A2	0,04	1	2	0,045	0,03	17 – 19	8 – 10,5	3 – 4	EN ISO 10263 - 5

Tablo 3.1 'e göre X3CrNiCu18-9-4 (1.4567) hammadde kullanılacaktır. Alaşım elementi olarak bulunan bakır, deformasyon sertleşmesi oranını düşürmekte ve plastik deformasyonda kolaylık sağlamaktadır [29].

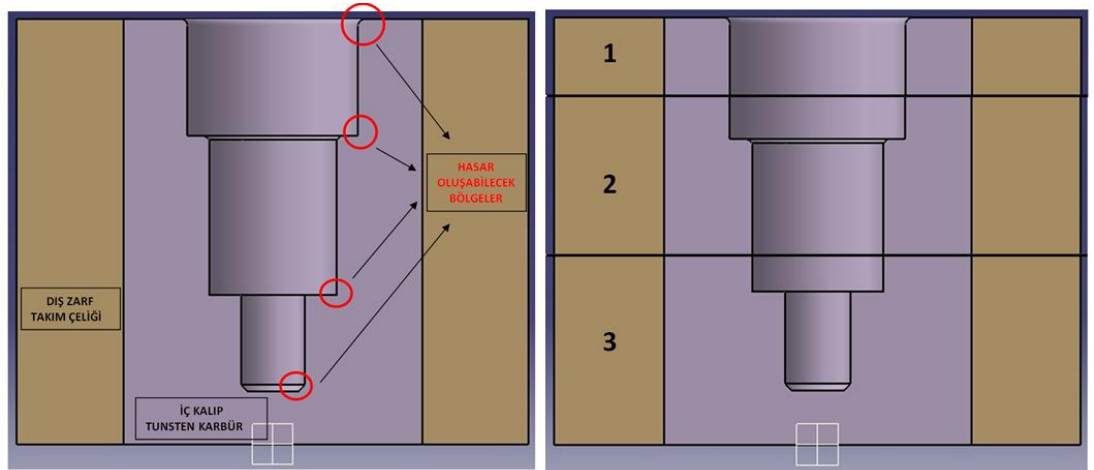
A2 – 70 mukavemetinde bağlantı elemanının çekme mukavemeti en az 700MPa olmalıdır. Simülasyon verileri oluşturmak için yapılan hammadde araştırmasında ortalama 525 MPa çekme mukavemetine sahip 304Cu hammadde olduğu tespit edilmiştir. Geleneksel tasarım aşamalarına göre saplama çapı Ø6,95 mm olarak ön görülmektedir. Hazır olarak Ø6,95 mm çaplı tedarik edilen ara tavlı paslanmaz hammaddenin çekme mukavemeti A2 – 70 'e uygun olmadığı için, alınan hammadde deformasyon sertleşmesi kullanılarak sertleştirilmek istenmektedir.

Paslanmaz çelik hammadde ile plastik deformasyon gerçekleştirilmesi ve günümüzdeki en güncel sayısal teknolojiler kullanılarak yeni ürün geliştirmek için simülasyon ile tasarım yapılmıştır. Gerçek üretim yapılmadan, gerekli operasyon ve kalıp tasarımları simülasyon uygulamasında çalıştırılıp gerekli görüldüğü takdirde revizyonlar yapılarak üretim ve kalıp maliyetlerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır. Kalıp ölçüleri o operasyondan çıkacak ürün ölçülerini yansıtacağı için tasarımdan kaynaklı ölçüsel hata ürün üzerinde görülmektedir. Bu sebeplerden dolayı, soğuk şekillendirmede simülasyon destekli ürün ve proses geliştirme faaliyetlerinde plastik deformasyon teorileri ve ürüne ait hammadde mekanik – metalurjik özellikleri dikkate alınmaktadır.

3.1.2. Soğuk Dövme, Ovalama Kalıpları ve Kalıpların Yüzey

Kaplamaları

Bağlantı elemanı üretiminde Şekil 3.1 'de görüldüğü gibi parçalı kalıplar kullanılmaktadır. Parçalı kalıp kullanımının bir takım avantajları vardır. Bunların bazıları; üretim kolaylığı, kalıp üzerine gelen yüklerin dağıtılması ve kalıp kırılması durumunda sadece kırılan parçanın değiştirilmesi sureti ile elde edilen kalıp maliyetinin düşmesidir.



Şekil 3.1. Tek Parça ve Parçalı Kalıp Tasarımı

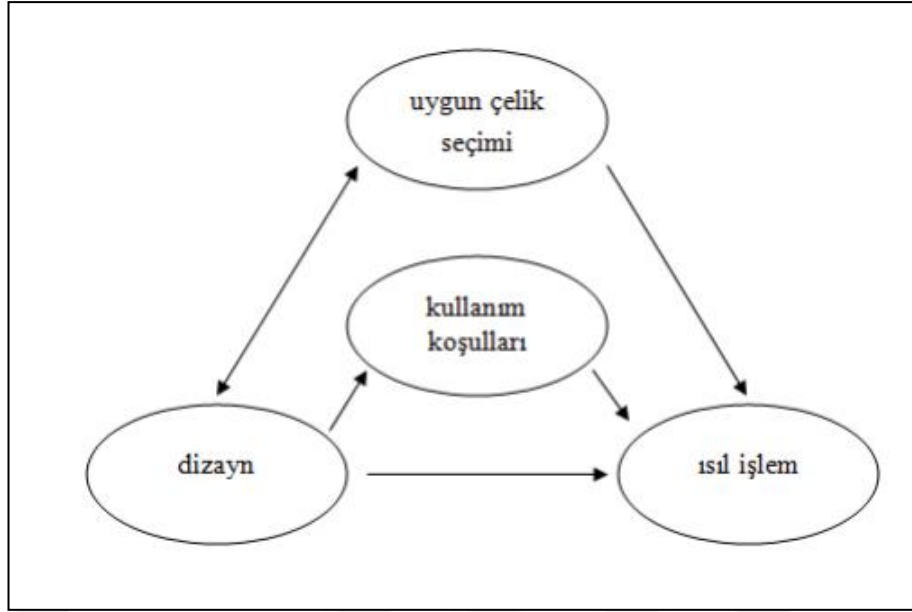
Kalıbın dış malzemesi (zarf) takım çeliği, iç malzemesi ise toz metalurjisi ile üretilen Tungsten Karbür malzemelerdir. Özellikle son istasyon grubunda kesme (çapaklama) amaçlı kullanılan takım çeliklerinin yüzeyi TiN kaplama yapılmaktadır.

Bununla birlikte soğuk dövme yöntemi kullanılarak dış (yiv) eldesi için tasarlanan ovalama prosesinde de takım çelikleri kullanılmaktadır.

3.1.2.1. Takım Çelikleri

Takım çelikleri, çelik sınıflandırılmasında ayrı bir grup olarak ele alınmakta ve o şekilde incelenmektedir. Bunun da nedeni diğer sınıflardaki çeliklere nazaran özellikle çalışma koşulları bakımından farklılık göstermeleridir. Takım çelikleri, toplam çelik üretiminin nispeten küçük bir yüzdesini oluşturmakla beraber diğer çelik mamüllerinin ve mühendislik malzemelerinin üretiminde kullanıldıkları için stratejik bir pozisyona sahiptirler[30]. Takım çelikleri sıcak ya da soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme, delme, eğme, bükme, form verme, ekstürüzyon ve benzeri yöntemlerle şekillendiren takım ve kalıpların yapımında kullanılan çelik grubudur. Yüksek nitelikte üretilen takım çelikleri, takım ve kalıp yapımı dışında spesifik özellik istenen makine parçalarının imalatında da kullanılmaktadır. Takım çeliklerinin arzu edilen özelliklerinden bazıları yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, yüksek tokluk, yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek işlenebilirlik, yüksek sertleşebilirlik ve homojen mikroyapıdır. Diğer sınıflardaki çeliklere göre daha ağır çalışma koşullarında kullanılan takım çeliklerinden, düşük veya yüksek sıcaklıklardaki kullanımları sırasında, yüksek hızlarda ve yüksek gerilmelerde deforme olmaksızın, kırılmaksızın ve aşınmaksızın sürekli aynı performansı göstermeleri istenir. Çalışma koşullarının gerektirdiği özellikler, karbonun yanı sıra bileşiminde bulunan alaşım elementleri ile sağlanır. Bu çeliklere üstün özellikler kazandıran başlıca alaşım elementleri; krom, molibden, vanadyum, volfram ve kobalttır. Bileşiminde mangan, nikel ve silisyumun yanı sıra alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi tane küçültücü elementlerde bulunabilmektedir. Empürite elementleri olan fosfor ve kükürdün en çok % 0,03 düzeyinde bulunmasına izin verilir.

Takım çeliklerinin bir servisteki kullanım ömrü, uygun çeliğin seçilmesi ve ısıl işleminin iyi olması kadar dizayn ve kullanım koşullarına da bağlıdır. Eğer bir takım çeliği mamullünde, tüm bu şartlar yerine getirilecek olursa takım çeliği mamüllü başarıyla kullanım ömrünü tamamlar. Şekil 3.2 'de takım çeliklerinin servisteki kullanım ömrünü etkileyen etmenlerin birbiriyle olan ilişkileri gösterilmektedir. Bu zincirin herhangi birinde bir bozukluk ve yanlışlık olması takım çeliği mamullünde çatlamaya ve hatta kırılmaya kadar gidebilir [31].



Şekil 3.2. Takım Çeliği ömrünü belirleyen etmenler [31]

Dövme kalıplarında dış zarf malzemesi olarak genellikle takım çeliği (sıcak iş) olarak X40CrMoV5-1 / DIN ISO 1.2344 seçilmektedir.

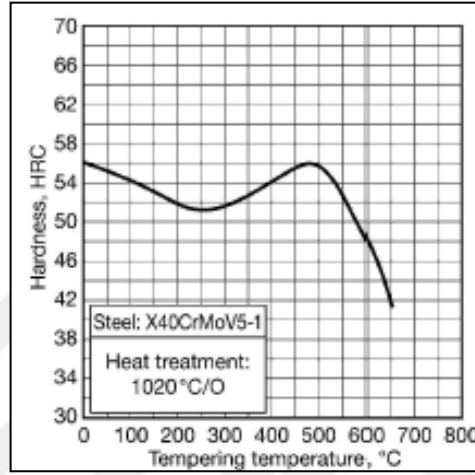
AISI H13 (DIN/ ISO 1.2344 – EN ISO 4957 ‘ye göre) standardındaki çelik, talaşlı imalat ile işlenme özelliğinin yanında; tokluk, sertlik, mukavemet, işlenebilirlik, ısıt işlem prosesinde ölçüsel kararlılık gibi çok iyi özelliklere sahiptir. Bundan dolayı sıcak şekil verme kalıp malzemesi ve kalıp aparatı üretiminde kullanılmaktadır. Sertlik uygulama yerine göre değişmektedir. Örneğin dövme kalıplarında 40-55 HRC, iken ekstrüzyon kalıplarında 43 – 52 HRC sertlikte kullanılmaktadır. Kütük kesme bıçağı yapımında ve soğuk kesme uygulamalarında da bu tür çelikler kullanılmaktadır [32].

Tablo 3.2. EN ISO 4957 ye göre 1.2344 malzeme özellikleri

Çelik Grubu	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
X40CrMoV5-1 (1.2344)	%	%	%	%	%	%
	0,35	0,80	0,25	4,80	1,20	0,85
	–	–	–	–	–	–
	0,42	1,20	0,50	5,50	1,50	1,15

1.2344 takım çeliğine ait kimyasal özellikler EN ISO 4957 standardına göre Tablo 3.2 'de gösterilmiştir. Standart kapsamında, bu çeliğe ait sertleştirme sıcaklığı $1020^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ olarak verilmiştir.

Sertleştirilen çeliğe, istenen nihai sertliğe göre temperleme işlemi yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.3. EN ISO 4957 ye göre 1.2344 'ün Temperleme Grafiği

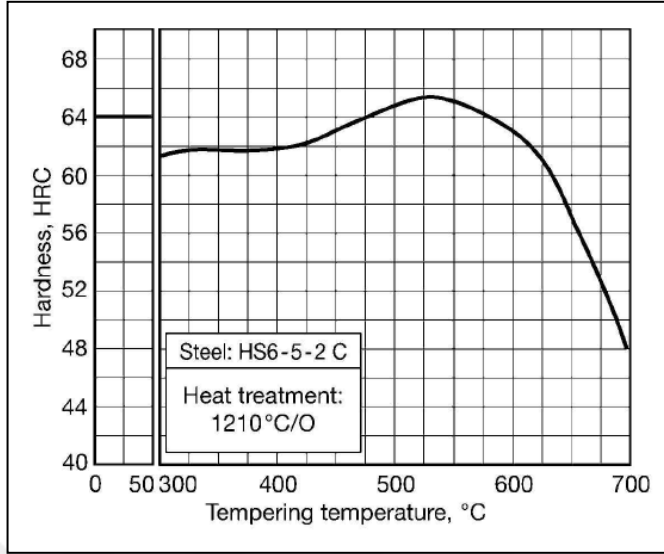
Standartta göre $1020 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ye göre yağda sertleştirilen çeliğin temperleme sıcaklıklarına göre sertliğinin değişimi Şekil 3.3 'de verilmiştir.

Plastik deformasyon yolu ile diş (yiv) oluşturmak için kullanılan ovalama tarakları yüksek hız takım çelikleri kullanılarak imal edilmektedir. Genellikle 1.3343 ve DC53 çeliği kullanılır. Bu çeliklerin alaşım elementleri ile elde edilen yüksek aşınma direnci ve tokluğu sayesinde, ovalama prosesi sırasında tarak yüzeyinde aşınmalar en az seviyededir. Proses esnasında oluşacak aşırı ısınmalara dayanıklıdır.

Tablo 3.3. EN ISO 4957 ye göre 1.3343 malzeme özellikleri

Çelik Grubu	C	Cr	Mo	V	W	Si
HS6-5-2C (1.3343)	%	%	%	%	%	%
	0,86	3,80	4,70	1,70	5,90	\leq
	0,94	4,50	5,20	2,10	6,70	0,45

Tablo 3.3 'de 1.3343 çeliğine ait EN ISO 4957 'ye göre olması istenen kimyasal kompozisyon aralığı verilmiştir.



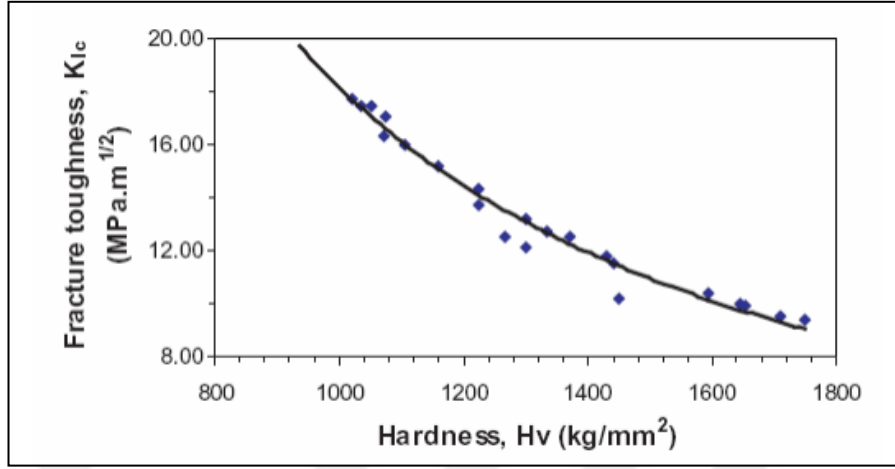
Şekil 3.4. EN ISO 4957 ye göre 1.3343 'ün Temperleme Grafiği

Standarda göre 1210 ± 10 °C ye göre yağda sertleştirilen çeliğin temperleme sıcaklıklarına göre sertliğinin değişimi Şekil 3.4 'de verilmiştir.

3.1.2.2. Tungsten Karbür

Kalıp iç parçaları, toz metalurji teknikleri (HIP) kullanılarak üretilen tungsten karbür (WC) malzeme ile yapılır. Bu malzemenin en önemli yeteneği, aşınmaya karşı birçok benzersiz ve etkileyici özelliklere sahip olmasıdır. Mekanik özellikleri çelik ile karşılaştırıldığında, basınç mukavemeti diğer herhangi bir metal veya alaşımdan daha büyüktür. Aşınma direnci 100 kat daha fazladır ve termal genleşme çeliğin yarısından daha azdır. Ayrıca, tungsten karbür termal şok dayanımı yüksek ve 650 °C 'ye kadar oksidasyon direncine sahiptir. Karbür bileşimleri, yüzeyde aşındırma ve kaynak yapmaya karşı olağanüstü dayanıklılığa sahiptir. Karbürler neredeyse kimyasal olarak inert olduğundan, ideal olarak aşındırıcı ortamlarda aşınma uygulamalarına uygundur. Civata üretimi, saniyede bir parça gibi yüksek hızlarda yapıldığı için kalıba yüksek darbe gücü yüklenmektedir. Buda, karbür insertin sertliğinin önemli bir faktör olmasını sağlar. Karbür malzemeler kırılğan bir davranış sergilemelerine rağmen, kobalt bağlayıcı içeriği artırılarak tokluk artırılabilir. Öte

yandan, WC-Co'nun aşınma direnci Şekil 3.5 'de gösterildiği gibi, sertliği ile orantılıdır ve dolayısıyla kırılma dayanıklılığı ile ters orantılıdır [33].



Şekil 3.5. WC ün sertlik ve Kırılma Tokluğu İlişkisi [33]

Bazı metal şekillendirme işlemlerinde, yüksek darbe direnci oluşmaktadır. Kalıp malzemelerinin ve kalıp içindeki tungsten karbür malzemenin bu dirence dayanması gerekmektedir. Üretim esnasında, dövme kuvveti kalıba aktarılır. Kalıp ve elmas malzemesinin kırılmayı önlemek için yeterli sertliğe sahip ve tokluğa olması istenir.

Tablo 3.4. Tungsten Karbür Özellikleri [34]

CERATIZIT grade code	ISO code	Appli- cation	Binder [m %]	Density [g/cm ³]	Hardness			Transverse rupture strength		Fracture toughness [MPa·m ^{1/2}]	Com- pressive strength [MPa]	Modulus of elasticity [GPa]	Thermal conductivity [W/mK]	Thermal expansion coefficient [10 ⁻⁶ /K]
					HV10	HV30	HRA	[MPa]	[P.S.I.]					
CTF08E			4,0	15,15	1845	1815	93,1	2050	297000	8,0	7400	650	100	4,6
CTF11E	K10	G05	5,6	14,95	1760	1730	92,7	2150	312000	9,2	7000	630	95	4,7
CTF12E	K20	G10	6,0	14,95	1640	1620	92,1	2200	319000	9,9	6400	625	100	4,7
CTF21O			10,5	14,50	1280	1270	89,2	2600	377000	11,9	5100	560	100	5,4
CTF24E	K40	G20	12,0	14,30	1330	1320	89,7	3000	435000	12,0	4900	560	95	5,5
CTF30E	>K40	G30	15,0	14,05	1250	1240	88,8	3100	450000	13,1	4600	530	90	5,7
CTF40A		G40	20,0	13,60	1070	1060	86,8	3400	493000	18,0	3900	490	90	6,4
CTF50A		G50	25,0	13,15	950	940	85,3	3400	493000	21,0	3900	450	90	6,4
CTF54A		>G50	27,0	12,95	920	910	85,0	3200	464000	22,0	3000	440	90	6,9
CTM14E			7,0	14,90	1550	1530	91,5	2600	377000	10,4	6000	615	95	5,0
CTM16O			8,0	14,85	1300	1290	89,4	2400	348000	10,8	4800	605	100	5,1
CTM17E			8,5	14,65	1420	1400	90,4	2800	406000	11,3	5300	600	95	5,1

Özellikle ekstrüzyon işlemleri için malzeme kalıp içinde kayıp şekillendiğinden dolayı yüzeyde oluşacak aşınma direncine dayanacak sertlikte

olması istenir. Bu işlemler için Tablo 3.4 'deki özelliklere göre seçilen daha az kobalt içeren tungsten karbür tercih edilir.



Şekil 3.6. Bağlantı Elemanı Üretiminde Kullanılan Tungsten Karbür Parça Örnekleri [35]

Ürün ve kalıp tasarımı sonuçlarına göre Şekil 3.6 'da gösterilen yarı bitmiş benzer şekilde tungsten karbür parçalar kullanılmaktadır. Karbürler, karbürün delik çapına göre genellikle işleme öncesi takım çeliği zarfın içine çakılır. Çakma işlemi öncesi takım çeliği ısıtılır. Isıtılan takım çeliği genişler ve hidrolik pres ile karbür iç parça zarfın içine sıkı geçme ile montajlanır. Bu işlem sıkı çakma olarak adlandırılır. Sıkı çakma işlemi tamamlanmış zarf ve karbür iç kalıp işlenmeye hazırdır. Parçalar tasarım geometrisine göre özel uçlar ile işlenir ve form ölçülerine getirilir.

Son ölçüye gelen karbürün, kullanımından önce yüzey özellikleri, yüzey kalitesi önemlidir. Son yüzey kalitesi elde etmek için honlama ve parlatma işlemleri uygulanmaktadır.

Honlama; civata şekillendirmede kullanılan kalıplarda uygulanan tipik olarak bir yüzey üzerinde gerçekleştirilen bitirme (son yüzey) işlemidir. Honlama işlemi, silindir veya fırça gibi farklı tiplerde olabilir. Her iki tip işlemde de aşındırıcı madde kullanılır. Ancak, honlama için bazı geometri sınırlamaları vardır. Ekstrüzyon kalıpları gibi kör veya kademeli delikler uygun değildir. Bununla birlikte, çok yüksek hızlarda ve düşük ilerleme oranlarında bile honlama operasyonu gerçekleştirilirken,

kalıp içindeki işlenmiş yüzey üzerinde, dövme parçanın sürtünmesini, ısı oluşumunu ve yüzey pürüzlülüğünü arttıran bir yapı olmaya devam edecektir. Oluşan bu yüzey yapısını iyileştirmek için, özel fırçalar ve macunlar kullanarak kalıp deliklerine parlatma işlemi yapılır. Parlatma işlemi, kalıp performansı ve ömrünü doğrudan etkileyen tüm kalıp üretim sisteminin en önemli adımı olarak kabul edilir. Kalıp yapan işletmelerde, en deneyimli operatörler bu operasyonu yapmaktadır. Bazı özel durumlarda, kalıbın boyutuna ve geometrisine bağlı olarak, parlatma bir iş günü bile alabilir [33].

3.1.2.3. Kalıp Yüzey Kaplamaları

Bağlantı elemanı üretiminde genellikle kesme kalıpları ve pimler Şekil 3.7 'de görüldüğü gibi TiN kaplama yapılarak kullanılır. TiN, yüzeye PVD yöntemi ile kaplanmaktadır.

Makina tasarımında - imalatında, makine gövdesi ve hareketli kısımları oluşturan tüm malzemelerin ön görülen ömür hesaplarına göre görevlerini sorunsuzca yerine getirebilmeleri beklenmektedir. Etkileşim halinde (yataklar, dişliler vb.) çalışan parçaların bir süre sonra temas yüzeyleri aşınır ve makine sisteminin koordineli şekilde çalışmamasına neden olurlar. Özellikle bu bölgelerde çalışan iş parçaları; ısıl işlem, yüzey işlem gibi özel prosesler kullanılarak çalışma ömürleri iyileştirilebilir. Bazı durumlarda yüzey kaplamaları sayesinde yüzeyde meydana gelecek aşınmalar engellenerek iş parçasının yüzey özellikleri geliştirilebilir. Yüzey kaplamaları, bir metalin yüzeyini bir metal, ametal veya bir organik madde ile kaplayarak malzemeye hem görünüş güzelliği kazandırmak hem de malzemeyi daha dayanıklı hale getirmek amacıyla yapılmaktadırlar. Çelik, yüzeylerin kaplanmasında en yaygın kullanım alanı bulmuş bir kaplama malzemesi olup PVD tekniği ile başarıyla uygulanmaktadır. PVD tekniğiyle, vakum ortamında gerçekleştirilen kaplama ile aşınmaya dayanıklı koruyucu yüzey tabakalarının oluşturulması konusunda pek çok araştırılmalar yapılmıştır. PVD prosesi kullanılarak yapılmış kaplama prosesinde bazı uygulama farklılıkları olmasına rağmen ortak ve paralel özellikler görülmüştür [36].



Şekil 3.7. Kaplanmış ve Kaplanmamış Kesme Kalıpları [36]

3.1.3. Yağlayıcı Özellikleri

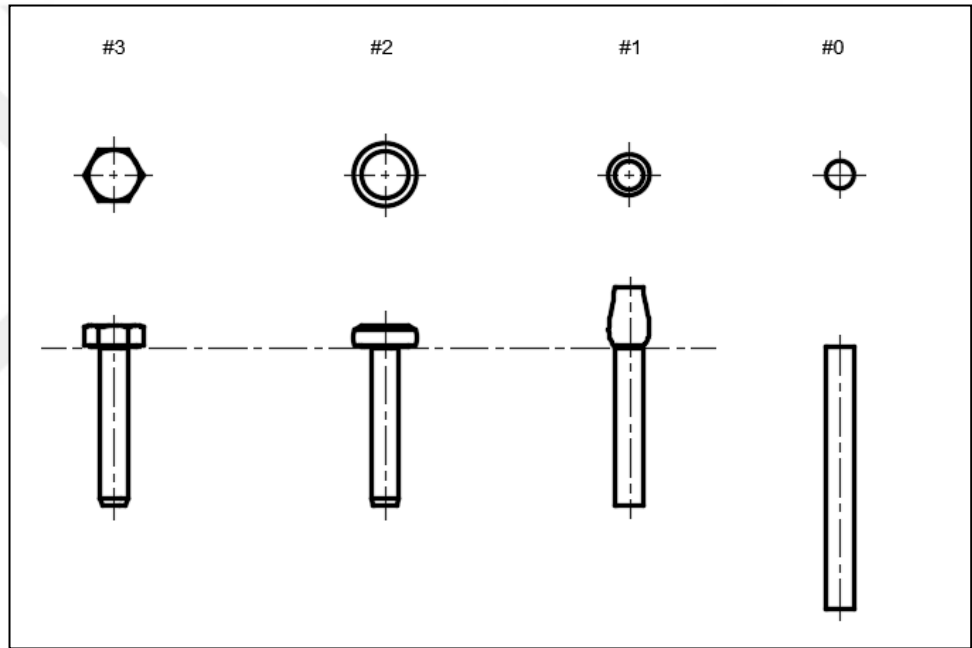
Şekil verme uygulamalarında, malzeme kalıplar arasında kalarak öncelikle kalıba temas eder ve sonrasında deformasyona zorlanarak kalıp şeklini alır. Hacim sabitliği esasına göre yapılan soğuk şekil verme işleminde, silindir iş parçasına iki düz kalıp arasında basın uygulanmaya başladığında silindir boyu azalırken çapı artma eyleminde. Baskı kuvveti etkisi ile kalıp arasında kalan malzemenin şekil alabilmesi için kalıp ile arasında oluşan sürtünme kuvvetini yenmesi gereklidir. Parçanın sürtünme kuvvetini yenmeye çalışması şekil değişimini zorlaştırmakta ve uygulanması gereken kuvveti arttırmaktadır. Şekillendirme meydana gelirken sürtünme nedeniyle daha fazla kuvvet ihtiyacı oluşmaktadır. Malzeme üzerinde sürtünme kuvvetine gösterilen direnç neticesinde oluşan gerilmeler; yırtılma, katlanmalara sebebiyet verebilmektedir. Şekil verilirken oluşan gerilme ve kayma gerilmeleri sebebi ile kalıp ömürleri düşmektedir. Kalıp içinde şekillendirme sırasında istenmeyen bu durumların oluşmaması veya en aza indirilmesi, yağlayıcı kullanılarak sürtünmenin azaltılmasına bağlıdır. Bununla birlikte yağlayıcı yüzey kalitesini arttırmakta, sıcak işlemlerde kalıp soğumasını kolaylaştırmakta, işlem sırasında-sonrasında parçanın kalıba yapışmasını engellemekte, şekil vermede ihtiyaç duyulan kuvvetin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Yağlayıcı seçiminde; yağ

kullanılacak prosesin özellikleri ve bu prosesdeki iş parçalarının özellikleri bilinmelidir [38].

3.2. Yöntem

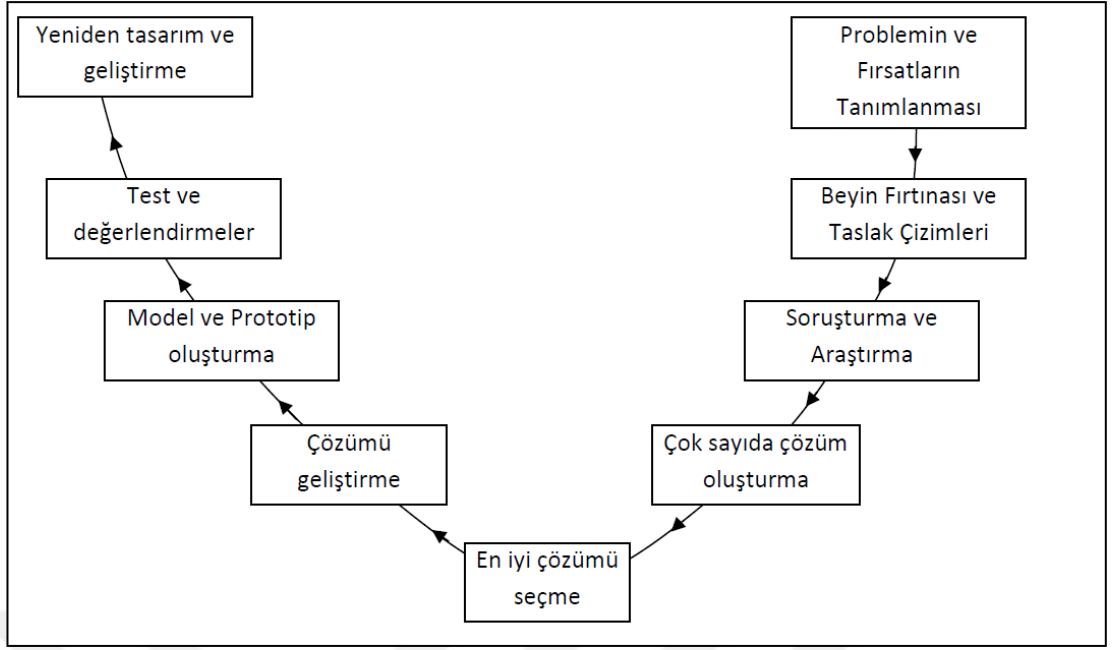
Makine veya iş parçasının, seri - prototip üretimi öncesi uygulama yerine göre tasarımının yapılması gerekmektedir. Sinoptik içinde öncelikle parça çizimi ve analizi (mekanik, metalurjik, ölçüsel) olarak iki kriter söz konusudur.

İlk kriter olan tasarım aşaması, Şekil 3.8 'de gösterildiği gibi ürüne özel hacim sabitliği esasına göre yapılmaktadır.



Şekil 3.8. Operasyon Numuneleri Tasarımı

Parça tasarımı, parçanın kullanılacağı yerdeki görevine uygun şekilde Şekil 3.9 'daki mühendislik tasarım döngüsüne göre yapılır. Tasarımda öncelikle ürün fonksiyonu ve ürün görseli gibi hususlar dikkate alınır. Fakat prototip üretimi aşamasında yapılan tasarımın ürüne birebir uyup uymayacağı belli değildir. Bunun için analizlerin ve ihtiyaç duyulan mühendislik hesaplamalarının yapılması gereklidir [39].



Şekil 3.9. Mühendislik Tasarım Döngüsü [39]

Mühendislik hesaplamaları, simülasyon – analiz çözümlenmeleri ile pratik ve hızlı şekilde yapılmaktadır.

Tasarımı yapılmış ürüne ait, Şekil 3.9 ‘de görülen operasyon numunelerine göre simülasyon çalışması yapılacaktır. Tasarımda hammadde ilk çapı, hammadde son çapı ve son çapa ait mukavemet değeri programa veri olarak işlenecektir.

3.2.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi (Simülasyon Çözümü)

İlk uygulamaları 1940 ‘lı yılların bitimine dayanan Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak yapılan analizler birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır. Kullanım alanları kısaca; Elektromanyetik uygulamaları, Yapısal uygulamalar (Dinamik analizler, lineer analizler, statik analizler, nonlineer analizler), Isı transfer çalışmaları, Akış uygulamaları, Multifizik araştırmaları (sıcaklık-akış, karma uygulamaları, akış-yapısal analizler vb) şeklinde gruplanabilir [38].

Bağlantı elemanları soğuk şekillendirmesinde kullanılan sonlu elemanlar analiz araçları, gerçek dövme makinelerinde üretim yapılmadan önce bilgisayar destekli operasyon ve kalıp tasarımlarının doğrulanmasına imkan sağlamaktadır.

Dolayısı ile simülasyon destekli üretim ile ciddi maliyet ve kalite avantajı elde edilmektedir.

Piyasada sonlu elemanlar yönetimi ile çözüm yapan birçok ticari analiz – simülasyon programı vardır. Örnek vermek gerekirse; Simufact.Forming, DEFORM, FORGE, Q-FORM, ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, MARC, PAM-STAMP bunlardan bazılarıdır.

Tez çalışması kapsamında Simufact.Forming programının soğuk dövme modülü kullanılarak analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

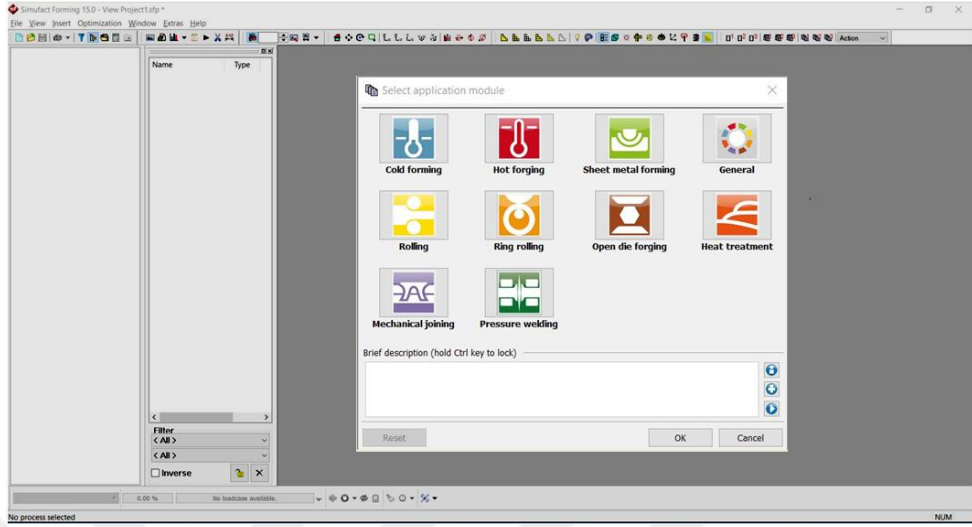
Simufact, Simufact Engineering GmbH tarafından özellikle şekillendirme endüstrisi için geliştirilmiş bir simülasyon programıdır. Şirket 1995'te Almanca konuşulan pazardaki metal şekillendirme endüstrisi için danışmanlık şirketi olarak kuruldu. O zamanlar FEMUTEC Engineering adıyla bilinen genç şirket, daha sonra MSC.Software'ın Almanca konuşan bölgeler için özel distribütörü oldu ve MSC.SuperForm ve MSC.SuperForge simülasyon çözümlerini devam ettirdi. 2007'nin başında, şirket MSC.Software'dan bütün üretim simülasyonu bölümünü devraldı ve o zamandan beri son derece uzmanlaşmış pazarda uluslararası yazılım şirketi rolünü oynamaktadır. 2008'de, şirket, adını Simufact Engineering olarak değiştirdi. Şirketin ortağı MSC.Software'den gelen köklü simülasyon çözümleri MSC.SuperForm ve MSC.SuperForge'un istikrarlı bir gelişmesi olarak, her iki tamamlayıcı teknoloji de şekillendirme teknolojisinin tüm zorlukları ile baş edebilecek tek ve güçlü Simufact programında bir araya getirildi [40].

3.2.1.1. Simufact.Forming ile Simulasyon Çözüm Adımları

Simufact programı kullanılarak yapılan; sıcak şekil verme, ılık dövme, soğuk dövme, sac metal şekil verme, kaynak uygulaması, ısıl işlem çalışmaları gerçek sonuca çok yakın şekilde simüle edilmektedir.

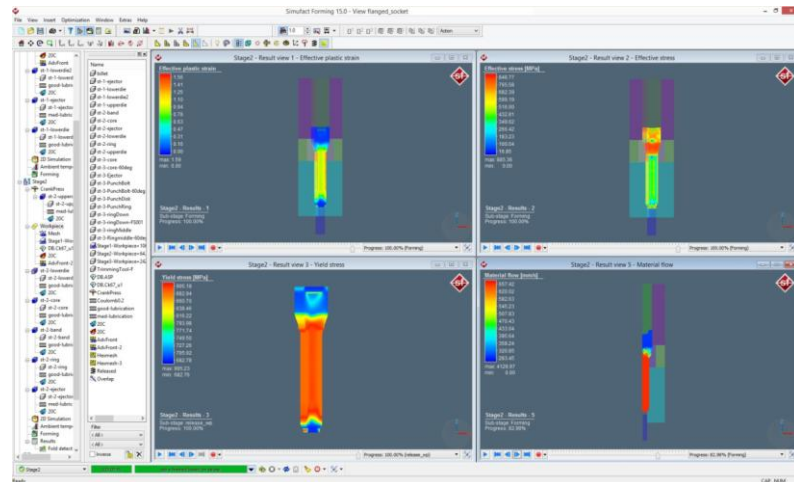
Simufact programının alt programlarından birisi olan simufact.forming ile Şekil 3.10 'da gösterilen program ara yüzündeki proses türü seçilerek; Sıcak, Soğuk, ılık şekil verme uygulamaları ve bu uygulamalara ait kalıplar, Özel formlu dövme kalıpları (Sıkı geçmeli – ön gerilmeli - ekstrüzyon), Sac - Profil – Yüzük şekil verme

uygulamaları, Perçinleme, Isıl işlem gibi prosesler tercihe ve ihtiyaca göre 2D veya 3D olarak - sıcak, ılık veya soğuk olarak analiz - simüle edilebilir.



Şekil 3.10. Simufact.forming 15.0 Proses Çeşitleri

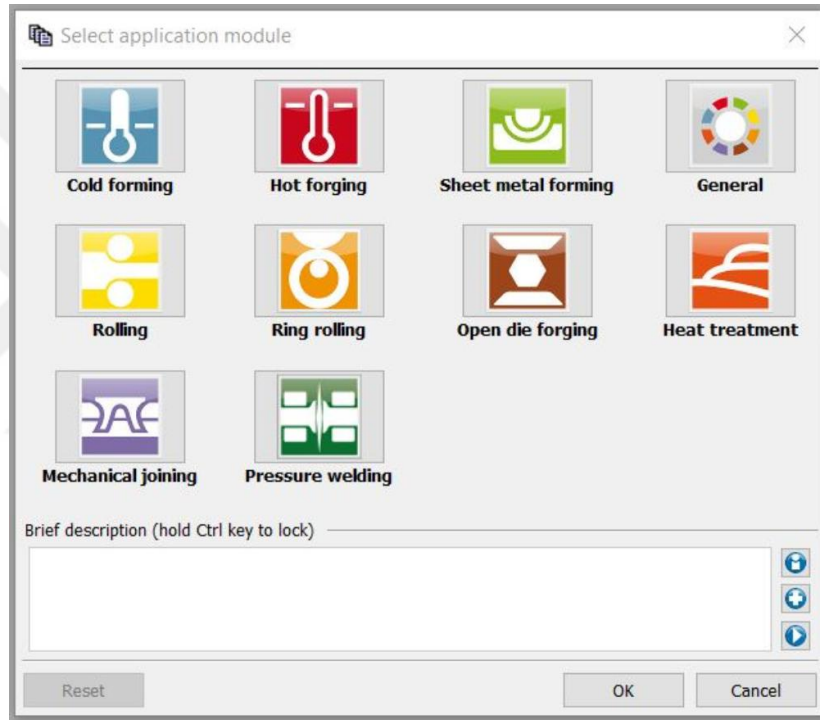
Simufact.forming programı ile yapılan çözümleme bittiğinde Şekil 3.11 'da bazı örnekleri verilen; Malzeme akışı (Kalıp doldurma, Katlanma, Akış çizgileri), Şekillendirme kuvveti, Sıcaklık dağılımı, Kalınlık değişimi, Geri yaylanma, Gerilme – genleme dağılımı, Sünek kırılma, Artık gerilmeler, Kalıba etkiyen yük dağılımı, Kalıp gerilmeleri, Kalıp deformasyonu, Aşınma, Mikroyapı (Tane büyüklüğü, Faz transformasyonu, Sertlik) parametreleri incelenebilmektedir.



Şekil 3.11. Simufact.forming 15.0 Çözüm Parametre Örnekleri

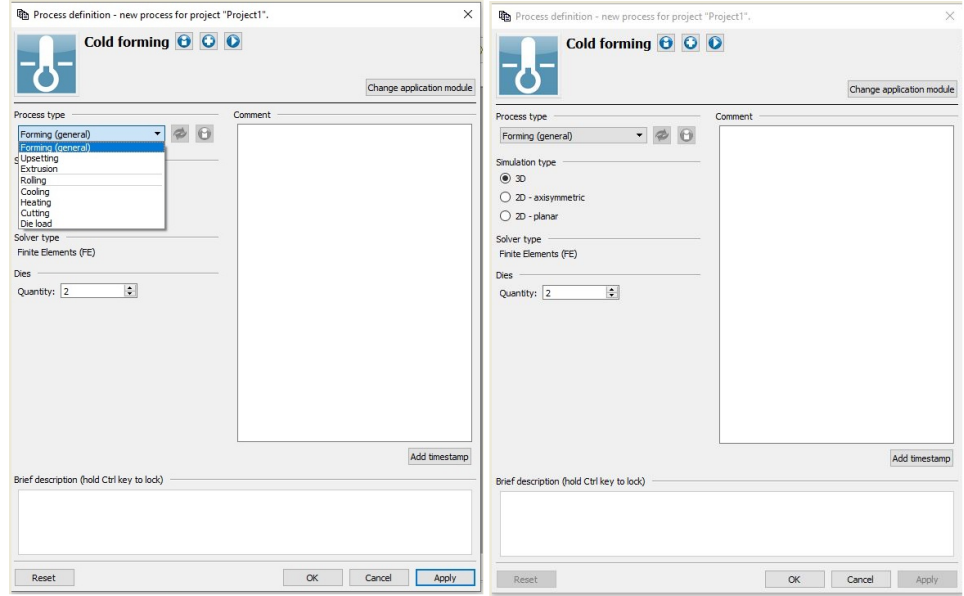
Öncelikle, simülasyon destekli tasarlanmak istenen protoipe ait katı model çizileri oluşturulmalıdır. Çalışmada tasarlanacak prototip ürüne ait tüm kalıplara ve operasyon numunelerine ait katı model çizimleri CATIA programı kullanılarak çizilmiş, çizimler .stp uzantısı ile kayıt altına alınmıştır.

Simufact programında, simülasyon kurgusu yapmak için program açıldığında çıkan ana ekrandan ilk olarak New Project sekmesi seçilmelidir. Sekme tıklandığında, Şekil 3.10 'da görülen ve hangi uygulamada çalışılacağı seçileceği ekran karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.12. Simufact.forming Proses Seçme Ekranı

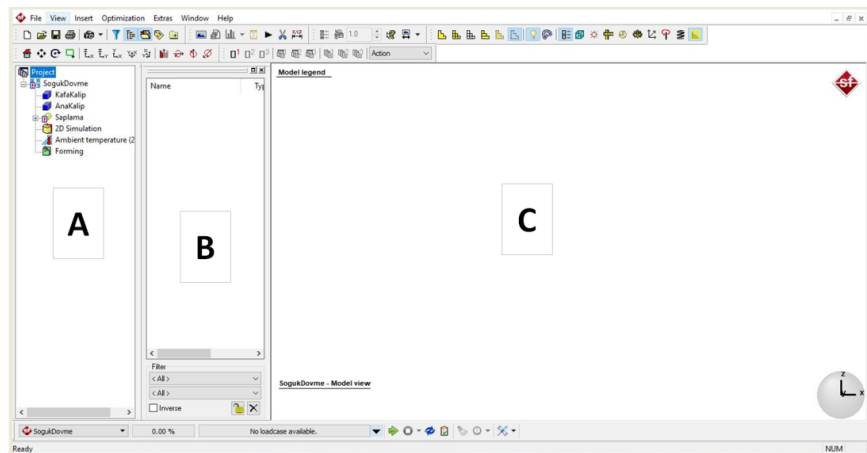
Çalışma kapsamında, prototip ürün soğuk dövme yöntemi kullanılarak üretilmek istendiği için Şekil 3.12 'de gösterilen uygulama seçme ekranında Cold Forming uygulaması seçilmelidir.



Şekil 3.13. Simufact.forming Alt Proses Seçme Ekranı

Soğuk Dövme uygulaması seçildikten sonra Şekil 3.13 de gösterilen ekran üzerinden; proses tipi (genel dövme, ekstrüzyon, ovalama vb) ile soğuk şekil verme uygulamaları, simulasyon tipi ile çözümleme boyutu (2D, 3D), yapılacak çözümleme için sonlu elemanlar analiz tipi ve çözümlemede kullanılacak kalıp sayısı belirlenmelidir.

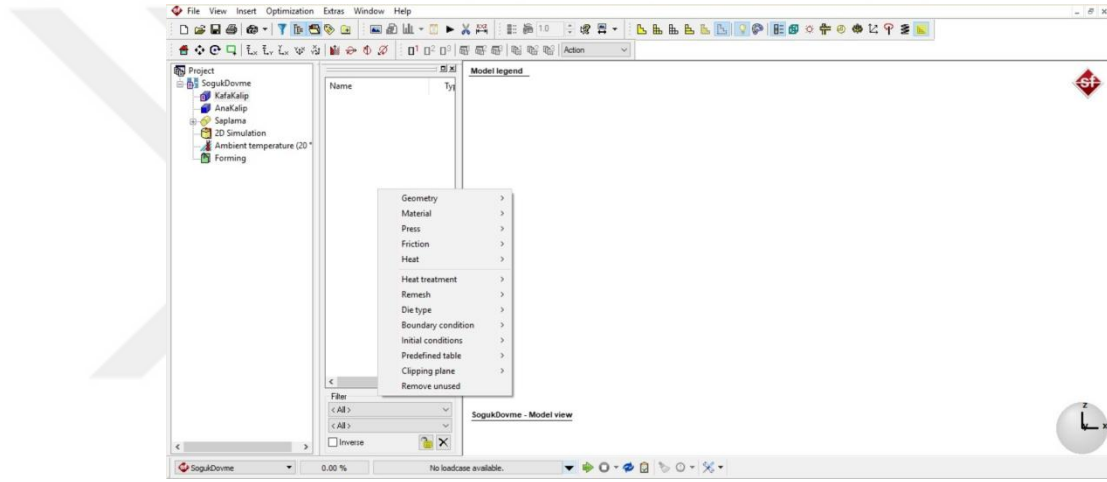
Çözüm parametreleri belirlendikten sonra Şekil 3.14 ‘de gösterilen ana ekran karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.14. Simufact.forming Ana Ekranı

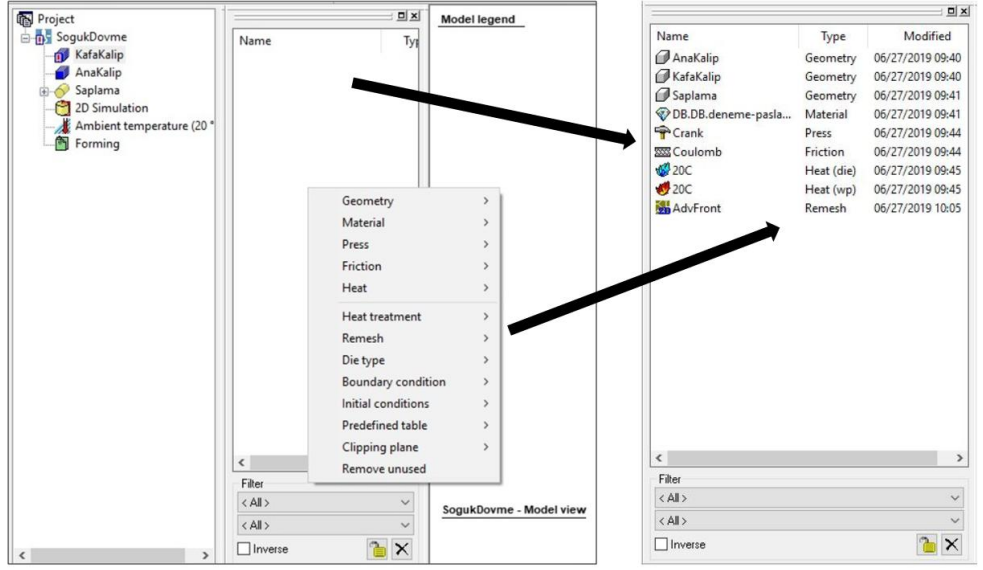
Ana ekran üzerinde, oluşturmak istenilen simülasyonun Şekil 3.13 'de kurgulanmış seçimden gelen ana başlıklar otomatik olarak gözükmektedir. Ana ekran Şekil 3.14 'de görüldüğü gibi üç ana bölümden meydana gelmektedir. Çözümleme kurgusunun oluşturulduğu - diğer bir ifade ile çözümleme ağacı - (A) bölümden (Şekil 3.13 'den gelen), çözümleme için gerekli parametrelerin ekleneceği (B) bölümden ve çizimlerin - çözümleme işleminin görüneceği (C) pencereden oluşmaktadır.

Kurgulama aşamasında çözümlemede kullanılacak olan parametreler Şekil 3.15 de gösterildiği gibi envanter bölgesinde sağ tıklanarak seçilmelidir.



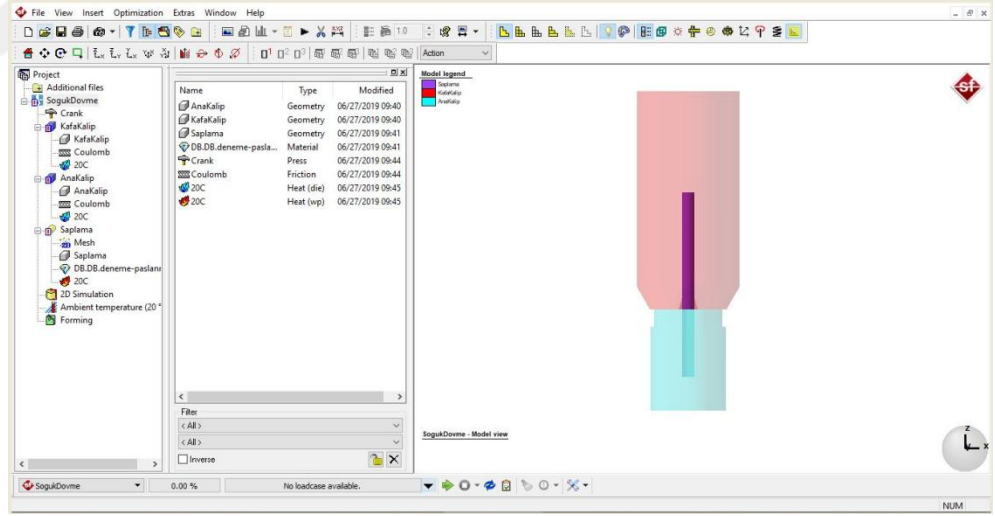
Şekil 3.15. Simufact.forming Parametre Seçimi Ekranı

Bu ekranda sırası ile geometri (katı modeli .stl formatında çizilmiş; kalıplar, iş parçası vb seçimi), malzeme, pres çeşidi, sürtünme, mesh ve sıcaklık seçimi yapılmalıdır. Çalışma kapsamında seçilen parametreler Şekil 3.16 'da görülmektedir.



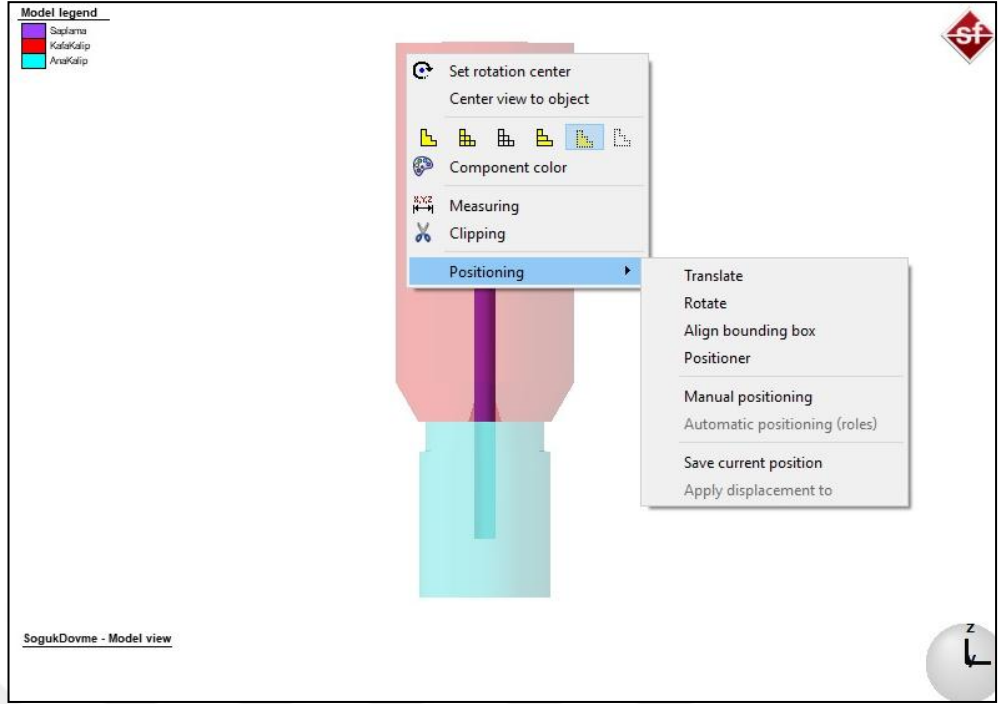
Şekil 3.16. Simufact.forming Parametre Seçimi Tamamlama Ekranı

Parametre seçimi tamamlandıktan sonra ilgili parametreler, çözümlenme ağacında bulunan kendisine ait özelliğin üzerine taşınır.



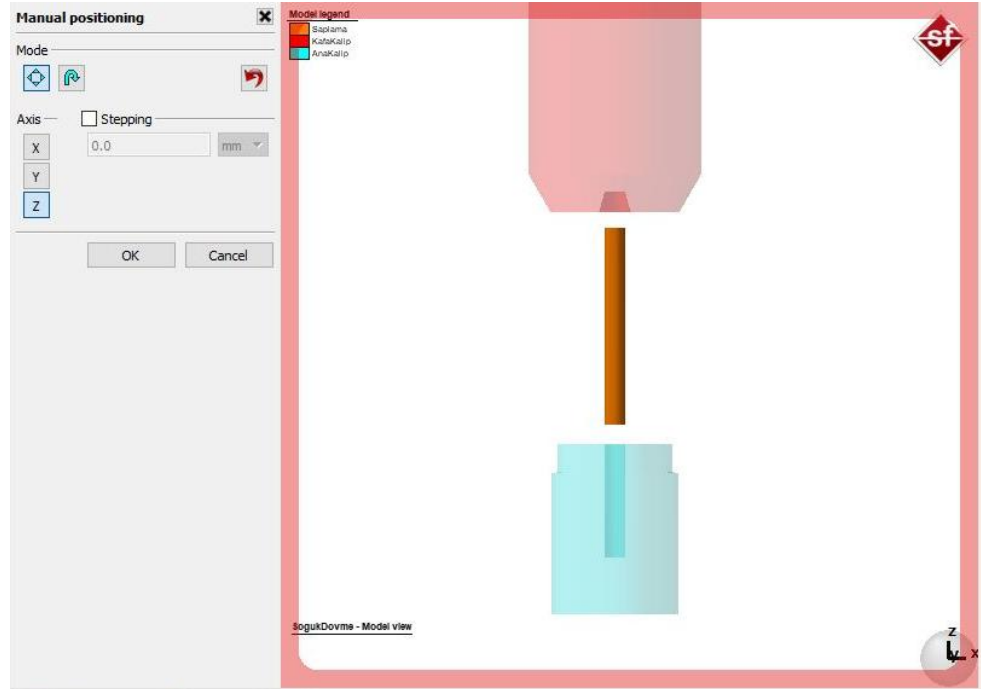
Şekil 3.17. Simufact.forming Parametre Taşınması Sonrası Görüntü

Taşıma sonrası kalıplar ve iş parçası çözümlenme ekranında Şekil 3.17 'de gösterildiği gibi meydana çıkar. Simulasyona başlamadan önce kalıpları ve iş parçası olan saplamayı konumlandırmak gereklidir.



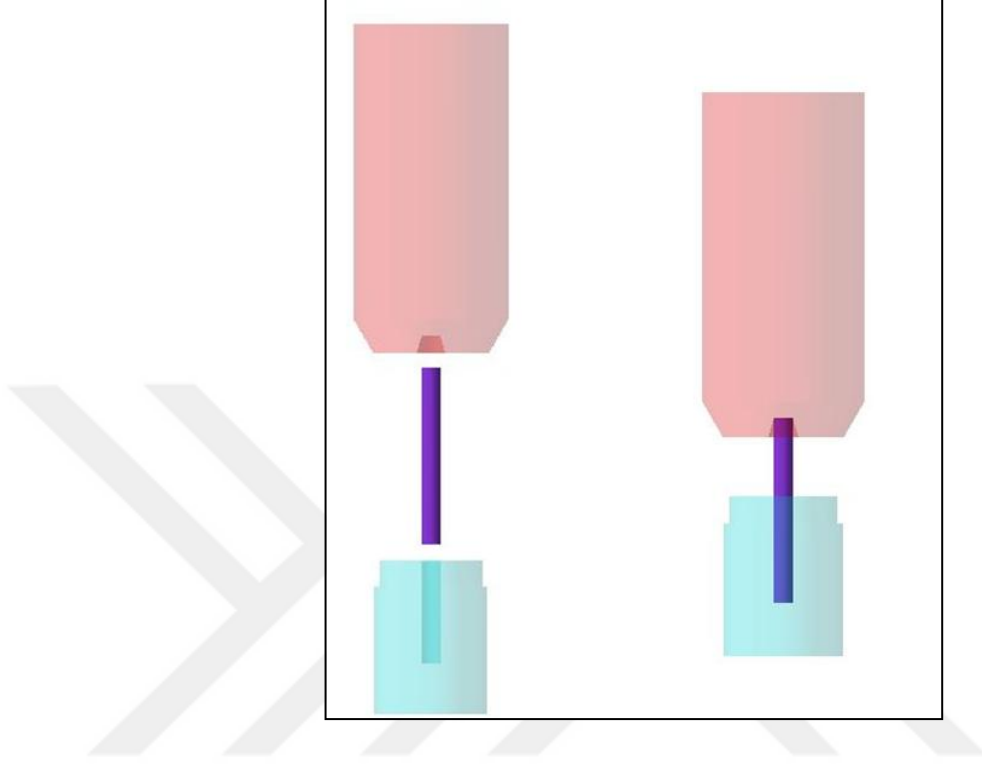
Şekil 3.18. Simufact.forming Konumlama Ayarı

Saplama üzerinde sağ tıklanarak çıkan, Şekil 3.18 ‘de gösterilen ekran ile Şekil 3.19 ‘da gösterilen ilgili eksen üzerinde manuel pozisyonlama yapılır.



Şekil 3.19. Simufact.forming Manuel Pozisyonlama Ayarı

Manuel pozisyonlama ile birbirlerinden ayrılan (Şekil 3.20) kalıplar ve saplama Şekil 3.18 'de gösterilen positioner komutu ile simulasyon öncesi birbirlerine dokundurulmalı ve başlangıç konumu atanmalıdır.



Şekil 3.20. Simulasyon Başlangıç Konumu Atanması

Parametre girişi, konumlandırma tamamlandıktan sonra simulasyon çalıştırılabilir. Fakat öncelikle ana ekranda bulunan model check komutu ile eksik kalan yada yanlış kurgulanmış bölümlerin ön kontrolü yapılabilir. Bu sayede düzeltilmesi gereken kısımlar, analiz öncesi kontrol edilmiş ve simulasyon eksiksiz başlamış olur.

Kurgulanan simulasyon ile Şekil 3.21 de görülen parametrelerin sonuçları elde edilmektedir.



Şekil 3.21. Simulasyon Sırasında Elde Edilen Değerler

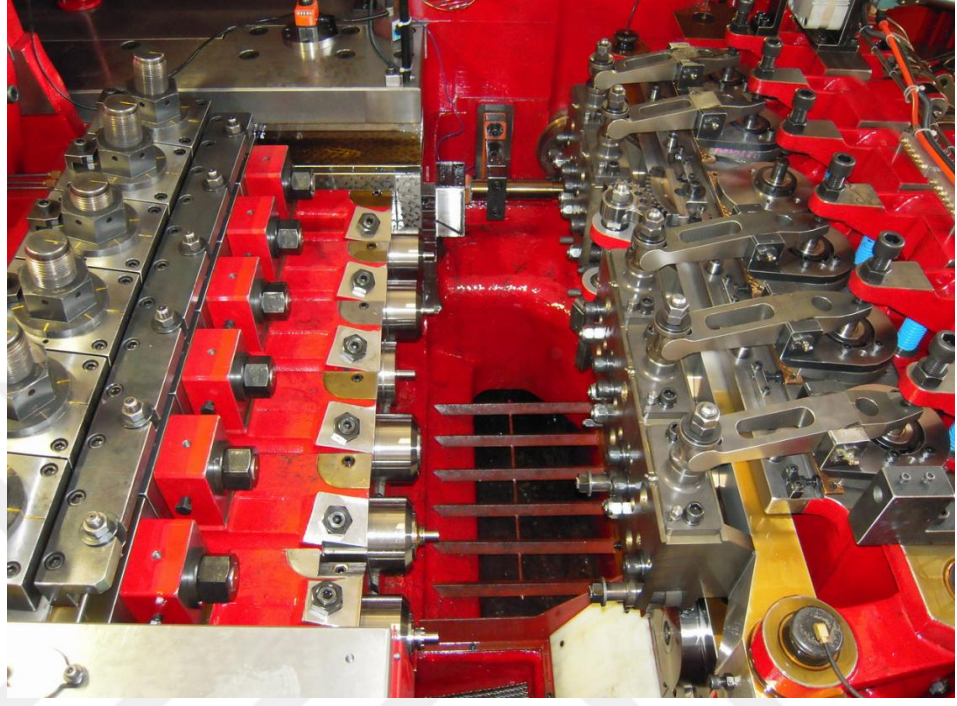
3.2.2. Soğuk Dövme Presleri

Bağlantı elemanları, iş parçasını ardışık istasyonlarda plastik deforme edecek şekilde tasarlanmış preslerde üretilmektedir. Parçanın şekline ve tasarımına bağlı olarak Şekil 3.22 'de görüldüğü gibi istasyon sayısı bir ile yedi arasında değişir.



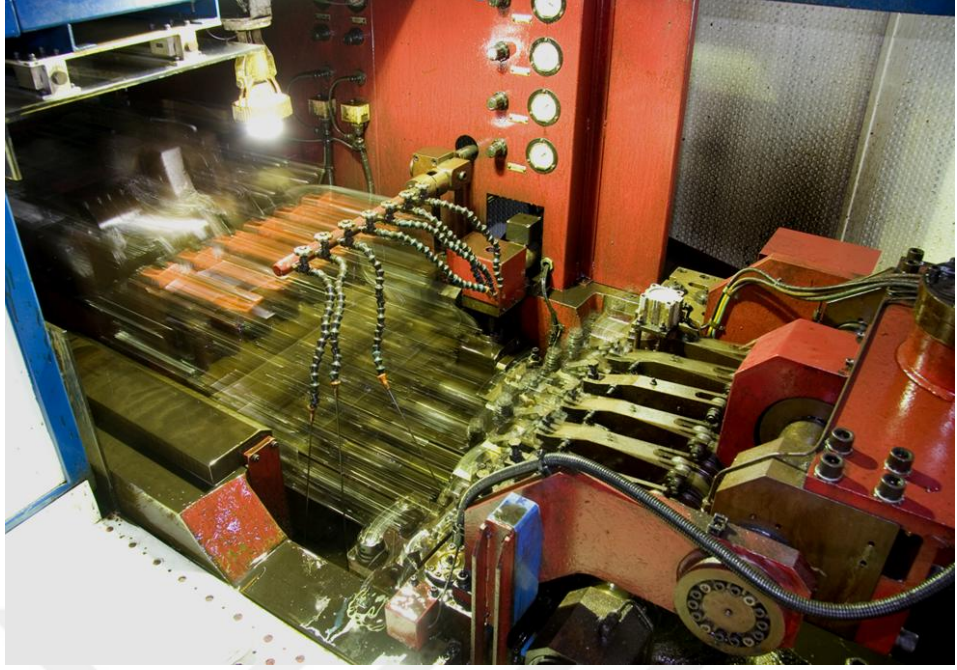
Şekil 3.22. Soğuk Dövme Presi

Şekil 3.23 'de altı istasyonlu soğuk dövme presi görülmektedir. İstasyon sayısı, karşılıklı olarak kaç adet kalıp grubu olduğunu ifade etmektedir. Parçanın karmaşıklığına göre istasyon sayısı değişmektedir.



Şekil 3.23. Altı İstasyonlu Soğuk Dövme Presi

Bu makineler, ana şaftta kavramalar ile bağlanan bir elektrik motoru tarafından tahrik edilir. Tahrik olan krank kolu mekanizması Şekil 3.24 'de görüldüğü gibi dönme hareketini doğrusal harekete dönüştürür. Her şekillendirme istasyonu için, sırasıyla sabit ve hareketli blok (kızak) üzerine monte edilmiş bir çift kalıp bulunmaktadır.



Şekil 3.24. Soğuk Dövme Presi Çalışma Prensibi

Makine seçimi yapılırken ürüne ait bazı özellikler de önemlidir. Örneğin, Tablo 3.5 'de soğuk dövme preslerine ait bazı özellikler verilmiştir.

Tablo 3.5. Örnek Soğuk Dövme Presi Özellikleri

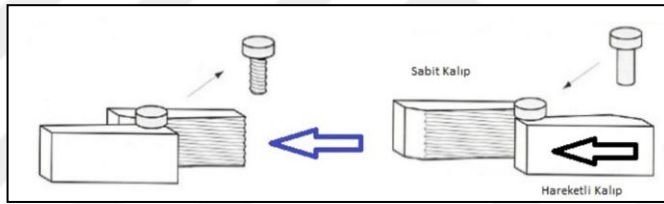
DÖVME İSTASYON SAYISI	adet	3	4	5	6
DÖVME YÜKÜ	Ton	115	120	230	260
TEL KESME ÇAPI (MAX)	mm	Ø15	Ø15	Ø18	Ø27
TEL KESME UZUNLUĞU(MAX)	mm	140	145	185	140
ÜRETİM ADEDİ (MAX)	ad/dak	140	150	100	105
KAFA SIYIRICI BOYU(MAX)	mm	20	26	33	50/65
KALIP SIYIRICI BOYU(MAX)	mm	102	102	280	120
ANA KALIP ÇAP VE BOYU	mm	Ø86 X 135	Ø60 X 130	Ø100 X 195	Ø100 x 280
VURUCU YATAĞI ÇAP VE BOYU	mm	Ø60 X 130	Ø60 X 130	Ø75 X 160	Ø85 x 215

Dövme presi seçimi yaparken; ürün tasarımına göre operasyon sayısı, ürün hammadde çapına göre pres gücü – kesme çapı, ürün uzunluğuna göre çıkarıcı boyu, ürün geometrisine göre üretim adedi vb. ihtiyaçlar değişiklik göstermektedir.

3.2.3. Ovalama (Diş Oluşturma – Yiv Açma) Presleri

Ovalama prosesi, malzemenin plastik şekil alma özelliğinden faydalanılarak yapılan soğuk şekil verme işlemlerinden bir tanesidir. Talaşlı imalat gibi parça kopartılması yerine özel işlenmiş ve ısıl işlem yapılmış ovalama tarakları arasında parçanın dönmesi ile civata diş formu verilmesi işlemidir. Mühendislik hesapları gereği diş oluşturulacak bölgenin çapı ile oluşacak dişin diş üstü çapının ölçüsü farklıdır. Ovalama çapı, diş üstüne göre daha düşüktür. Kalıpların sertliği ovalanacak malzemeden daha yüksektir. Ovalanacak parça, basınç yardımı ile tarakların arasına sürülür. Parça tarakların özel formu arasında plastik olarak akarak, kalıp formunu yani istenen diş formunu alır [41].

Parçanın taraklar arasına girişi, hareketi ve diş oluşma sistematığı Şekil 3.25 'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.25. Ovalama Sistematığı

Şekil 3.26 'da görüldüğü üzere makine üzerine montajlanmış, karşılıklı taraklar sayesinde parça diş formu almaktadır.



Şekil 3.26. Ovalama Makinası ve Ovalama Tarağı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kimyasal Kompozisyon

Kimyasal kompozisyon belirlenmesinde Arun Technology PolySpek Jnr spektral analiz cihazı kullanılmıştır. Çalışmada, 304Cu olarak isimlendirilen 1.4567 numaralı (X3CrNiCu18-9-4) paslanmaz çelik hammadde ile prototip üretim gerçekleştirilmiştir. Hammadde, dövme kolaylığı olması için ara tavlı olarak seçilmiştir. Tablo 3.1 de verilen ilgili standartlar (EN ISO 10263-5 ve DIN 3506-1) kapsamında istenen kimyasal kompozisyon oranlarına göre seçilen ve çalışmada kullanılan 304Cu hammaddenin alaşımlarının yüzdesel değerleri Şekil 4.1 de yapılmış iç spektral analiz çalışması sonuçları ve Tablo 4.1 de de tedarikçiden gelen kimyasal kompozisyon sonuçların tablosu verilmiştir.

bolt		KİMYASAL ANALİZ TEST RAPORU							ISO/TS 10004 BUREAU VERITAS Certification	
AISI 304CU, AISI-304										
Malzeme Cinsi : KROM TEL										
Malzeme Çapı : Ø 7.80										
Sarj No : 304 CU										
Sarj Adedi : 170513B07										
Kod No :										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo		
1	0.016	0.242	0.777	0.004	0.003	18.82	8.68	0.197		
2	0.017	0.243	0.765	0.004	0.002	18.76	8.53	0.189		
Avg	0.017	0.243	0.771	0.004	0.003	18.79	8.61	0.193		
SD	0.0007	0.0007	0.0085	0.0001	0.0007	0.0424	0.1027	0.0055		
RSD	4.2855	0.2916	1.1006	2.2447	28.284	0.2258	1.1931	2.8540		
	Cu	Al	Ti	V	W	Fe				
1	3.66	0.004	0.041	0.060	0.36	67.01				
2	3.62	0.004	0.042	0.058	0.36	67.21				
Avg	3.64	0.004	0.041	0.059	0.36	67.11				
SD	0.0283	0.0000	0.0008	0.0019	0.0002	0.1440				
RSD	0.7770	0.0000	1.9440	3.1652	0.0624	0.2146				

Şekil 4.1. Kullanılan 304Cu Paslanmaz Çeliğin Spektral Analiz Çalışması

Tedarikçiden alınan hammaddeye çapraz doğrulama yapmak için spektral analiz yapılmıştır. Çıkan sonuçlar tedarikçi tablosunu ile karşılaştırılmıştır. Sapmalar göz ardı edilecek seviyededir.

Tablo 4.1. Çalışmada Kullanılan Hammadde Kompozisyonu

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	% Cu
0,015	0,24	0,75	0,037	0,001	18,23	8,6	3,61

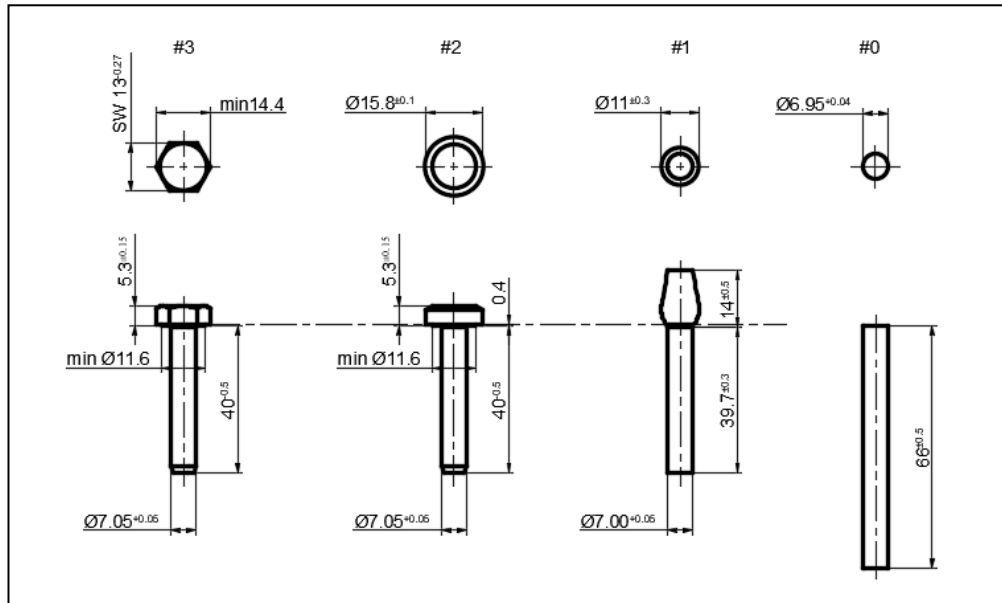
Kompozisyon içinde alaşım elementi olarak bulunan Cu, deformasyon sertleşmesi oranını düşürmekte ve plastik deformasyonda kolaylık sağlamaktadır [29].

4.2. Simulasyon Destekli İmalat

Tecrübesel olarak, hacim sabitliği esasına göre operasyon ve kalıp tasarımları tamamlanmıştır.

4.2.1. Operasyon Tasarımı

Standart altı köşe kafalı form yapısına sahip ürüne ait operasyon tasarımı Şekil 4.2 'de görülmektedir. Parça hacim sabitliği esasına göre üç istasyon olarak tasarlanmıştır. Genellikle sıvımalı olarak adlandırılan tasarımdan farklı olarak sıvımasız tasarım yapılmıştır. Buradaki fark, kullanılan hammadde çapının ovalama (diş oluşumu için gerekli çap) çapına yakın olmasıdır.



Şekil 4.2. Ürüne ait Operasyon Tasarımı

Tasarımda ovalama çapına yakın bir çapın kullanılmasındaki amaç, çalışması yapılan paslanmaz elik hammaddenin mukavemetinin standart olarak kullanılan dövme çeliklerine göre yüksek olmasıdır. Standart tasarımda yüksek olan tel çapı ilk istasyonda düşürülerek (sıvanarak) bir sonraki operasyona aktarılmaktadır. Buda deformasyon sertleşmesine sebep olmaktadır. Mukavemet ve yüzey özellikleri bakımından paslanmaz çeliğe yapılacak aynı işlem ile kalıp ömürleri ciddi anlamda azalacaktır.

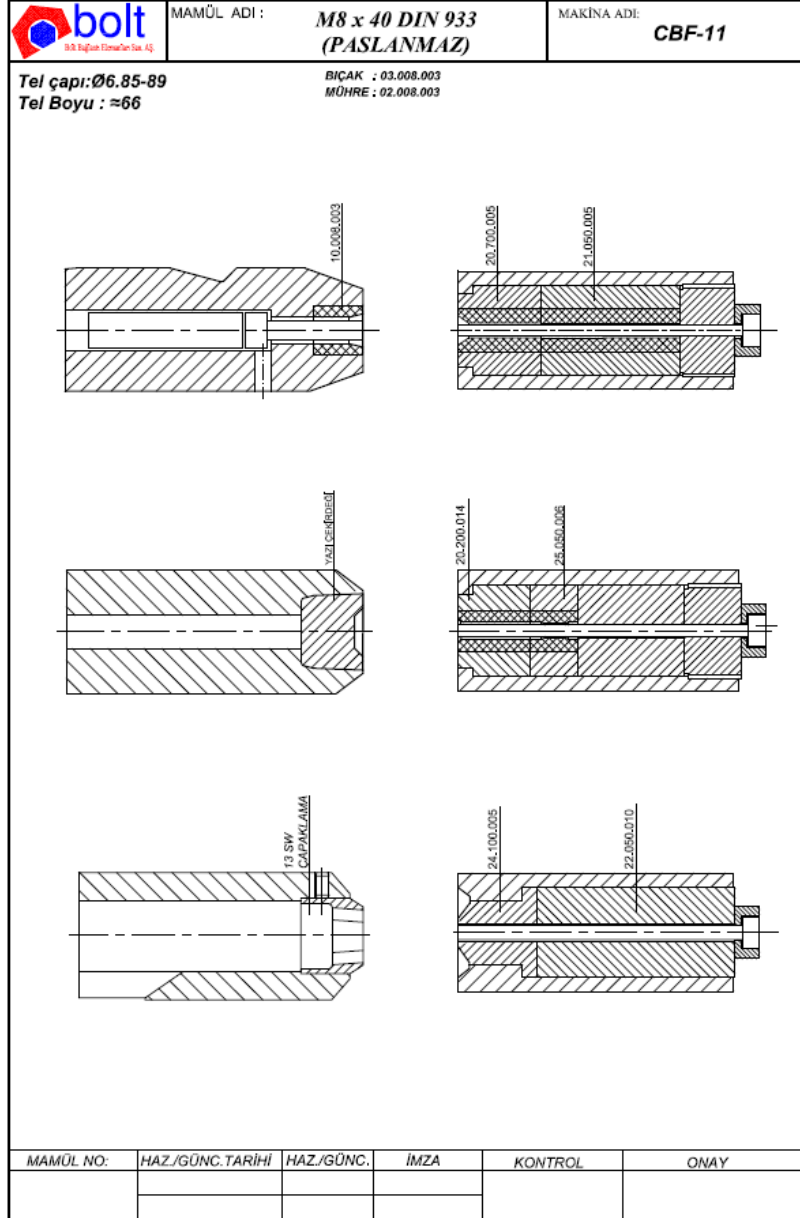
rne ait teknik özellikler incelendiğinde çekme ve akma mukavemetlerinin DIN 3506-1 standardına göre olması gerekmektedir. Tasarımda sıvama işlemi olmayacağı için üretimde kullanılacak hammadde mukavemeti direk ürün mukavemetine etki edecektir. Bu yüzden seçeceğimiz hammaddenin mukavemet değeri önem arz etmektedir.

İlk aşamada, Ø7,80 olarak ara tavlı tedarik edilen hammadde, tel çekme (haddeleme, kalibre etme) operasyonu ile yaklaşık Ø6,95 çapına indirilmiştir. alışması yapılan rn M8x1,25 anma çapına ait olduğu için tasarımda son operasyon çapının ovalama çapına gelmesi yani Ø7,05 – 7,10 çapında olması istenmektedir. Sıvamasız tasarımda,  istasyon olarak tasarlanmış ve istasyonlar arası taşınan ürünün çapı şişirilerek son istasyonda ovalama çap aralığına getirilmektedir.

4.2.2. Kalıp Tasarımı

Hacim sabitliği esasına göre yapılan tasarım faaliyetleri sonucu oluşan operasyon numunelerinin ölçüleri kalıp formlarına aktarılarak kalıp tasarımları tamamlanmıştır.

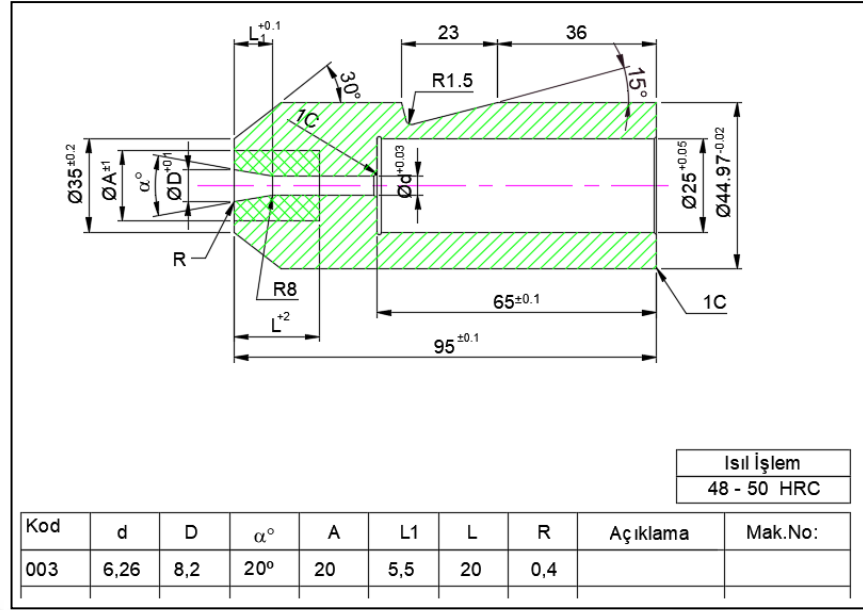
Kalıp setleri ana kalıp seti ve kafa gurubu seti olarak Şekil 4.3 'de gösterildiği gibi iki ana bölümden oluşur. Bölümler ise operasyonların tasarımlarına göre değişiklik göstermektedir. Proje kapsamında incelenen parça  operasyonlu tasarlandığından dolayı  set ana grup ve üç set de kafa grubu kalıp setlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.3. Ürüne ait Kalıp Tasarımı (İki Boyut)

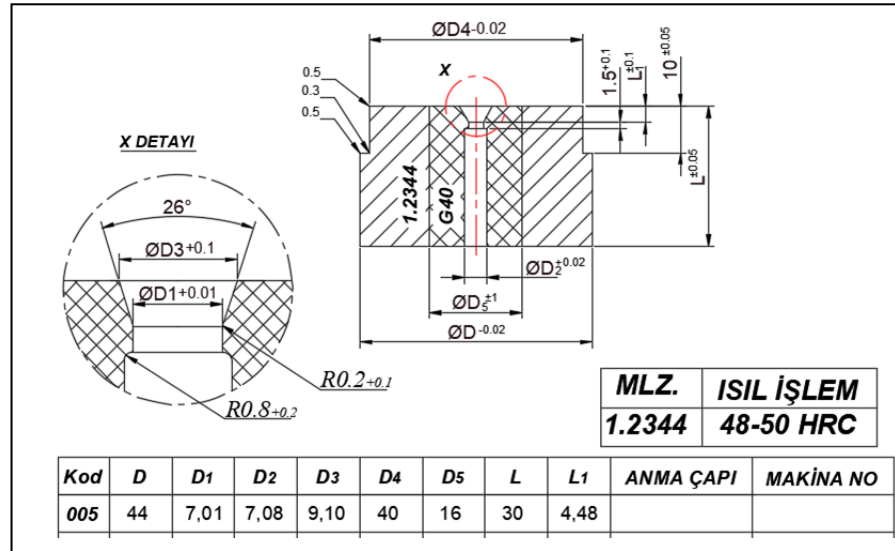
Kalıplar iki parçadan oluşmaktadır. İç parça yani ürün ölçülerini, ürün formunu oluşturan parça WC ve dış parça ise takım çeliğidir.

Kalıp yapısını birinci istasyon örneği ile incelediğimizde kafa grubu Şekil 4.4 ve ana kalıp grubu Şekil 4.5 'de gösterildiği gibi üretilecek parçaya asıl formu veren kalıp bölgesi WC (G40) malzemeden, WC desteği olan dış bölge ise takım çeliğinden (1.2344) imal edilmektedir. Bu iki malzeme birbirine sıkı geçme olarak montajlanmaktadır.



Şekil 4.4. 1. İstasyon Kafa Kalıp Grubu

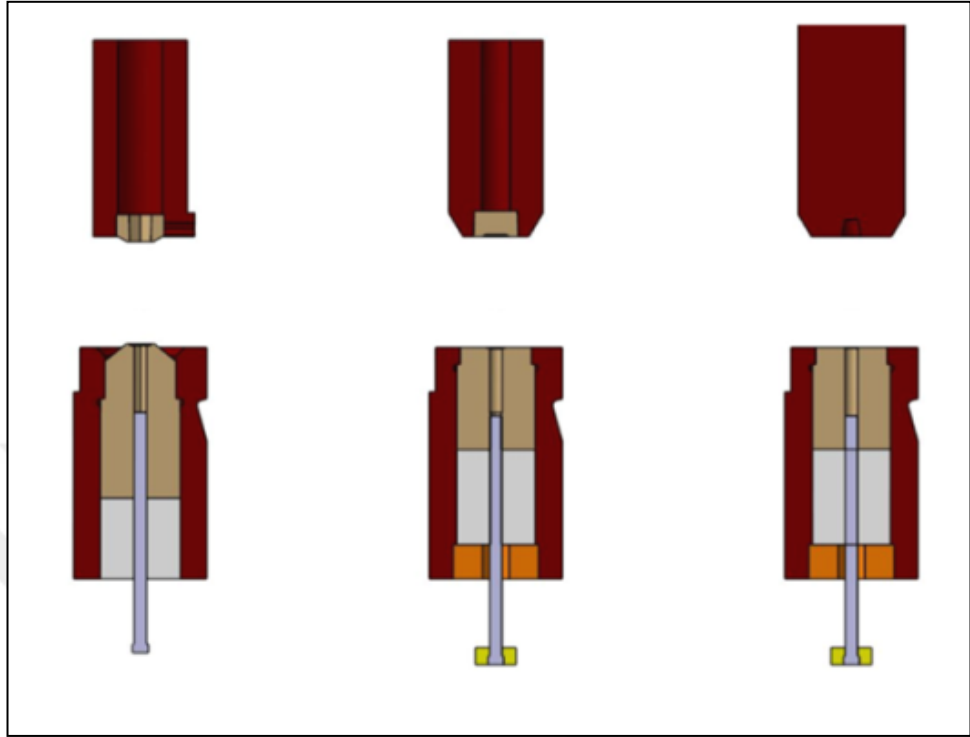
Operasyon parçası ana ve kafa grubu kalıpları arasında şekillenmektedir. Bu sebepten dolayı, kalıpların karşılıklı doğrusalığı dikkat edilmesi gereken ayar parametrelerinden birisidir.



Şekil 4.5. 1. İstasyon Ana Kalıp Grubu

2D olarak tasarıma göre hazırlanmış kalıp çizimleri, 3D ve .stl formatında Şekil 4.6 'de görüldüğü gibi çizilmiş ve simulasyon programına aktarılmıştır.

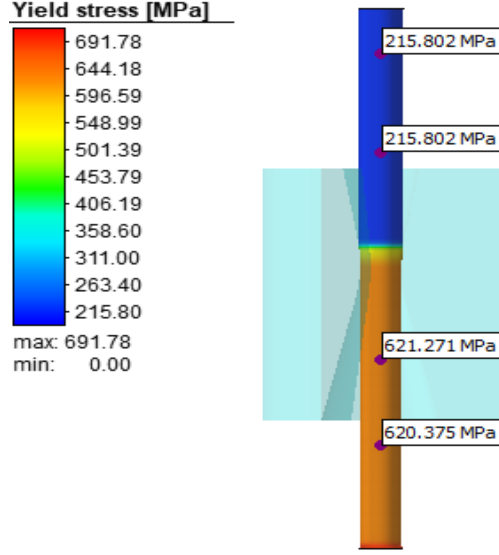
Simulasyon programı kullanılarak operasyon numunelerinin kalıplar içinde şekillendirilmesi incelenmiştir.



Şekil 4.6. Ürüne ait Kalıp Tasarımı (Üç Boyut)

4.2.3. Simulasyon Çalışması

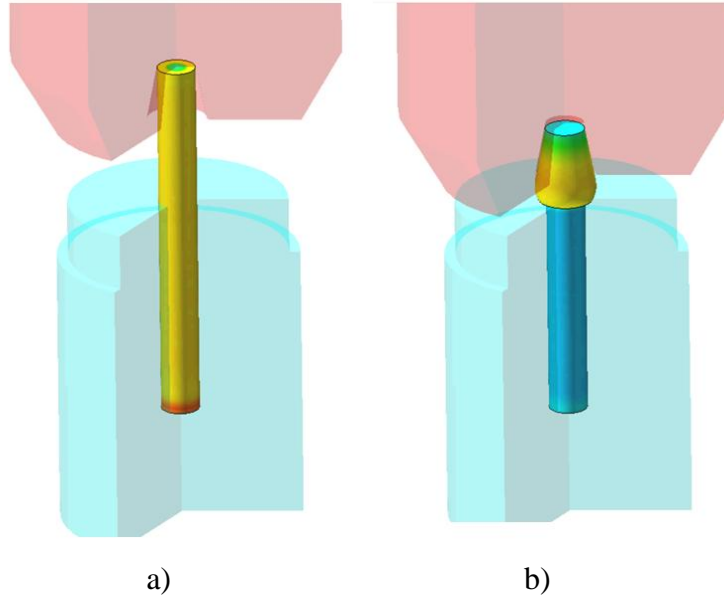
Simulasyon çalışmasının ilk aşaması hammaddeyi haddelemektir. Buradaki amacımız sıvamasız olarak tasarlanan kalıpların hammadde mukavemetine etkisinin azaltılmasıdır. Hammadde mukavemetinde tel çekme operasyonu ile Şekil 4.7 'de gösterildiği gibi artış elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Tel Çekme Operasyonu Simülasyonu

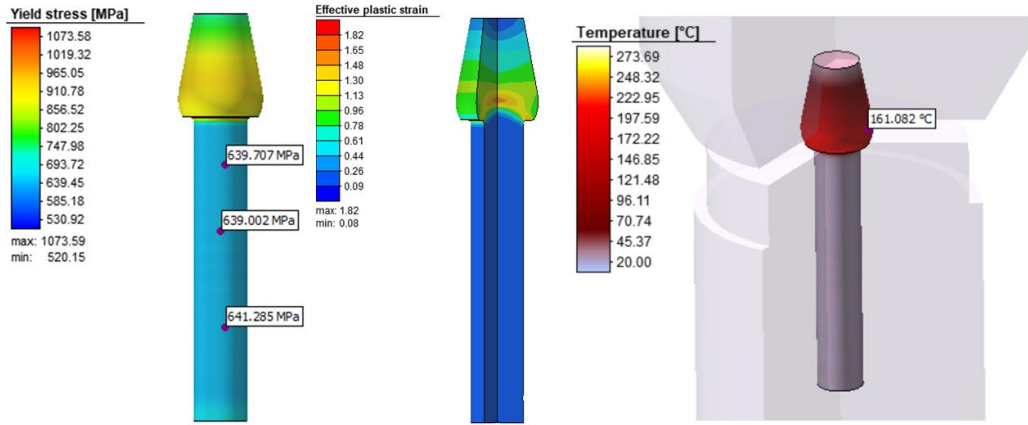
Akma mukavemeti ortalama 215 MPa olan 304Cu hammadde $\text{Ø}7,80$ 'den $\text{Ø}6,95$ e indirildiğinde akma mukavemeti ortalama 620 MPa 'a yükselmiştir.

Simule edilmiş hammadde tüm mekanik özellikleri ile birlikte; üç boyutlu olarak simulasyon programına aktarılan kalıplardan ilk istasyon kalıbına yerleştirilerek üst kalıp ile soğuk deformasyon gerçekleştirilmiştir.



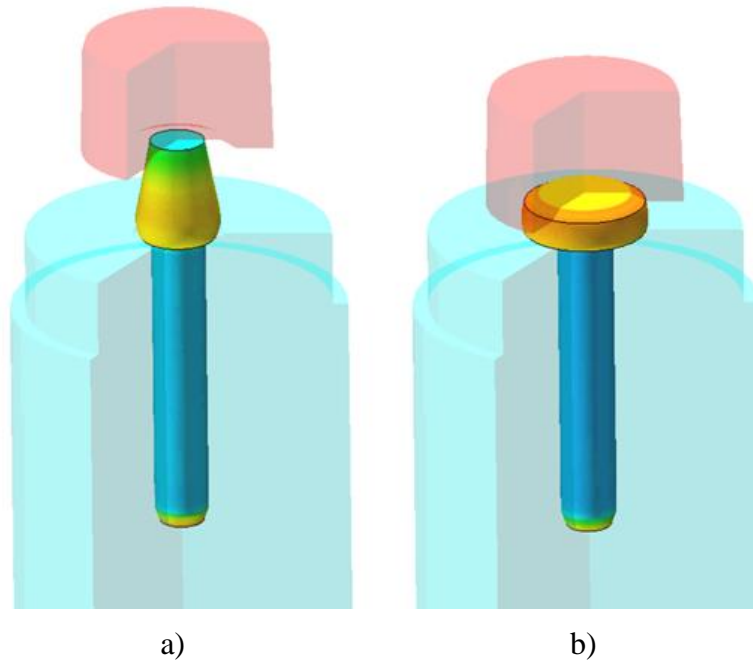
Şekil 4.8. Saplama Şekillendirilmesi a)Saplama Giriş b)Birinci İstasyon Çıkış

Şekil 4.8 'de saplamaya ait kalıp giriş ve çıkışları gösterilmektedir.



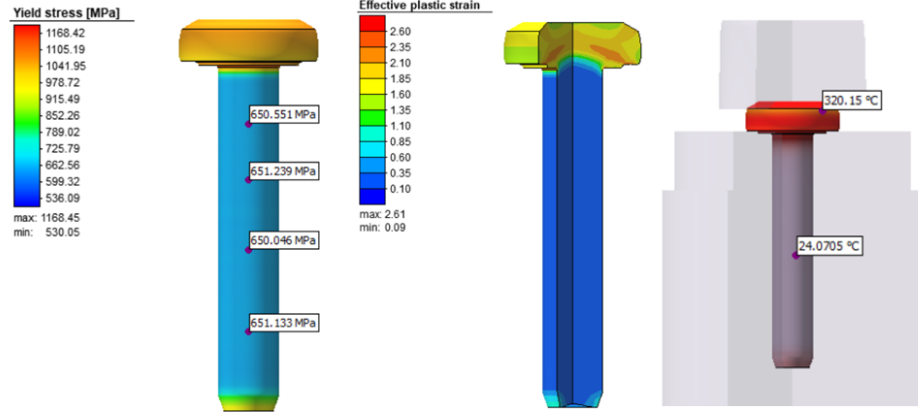
Şekil 4.9. Birinci İstasyon Simülasyonu Verileri

Birinci istasyona ait, soğuk dövme sonucunda operasyon numunesi üzerinde oluşan akma gerilmesi ve operasyon sıcaklığı Şekil 4.9 'da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere ilk istasyon çıkışında malzeme ortalama 640 MPa akma mukavemet değerine sahiptir. Birinci istasyondan çıkan operasyon numunesi mekanik ve metalurjik özellikleri ile birlikte ikinci istasyona taşınmıştır.



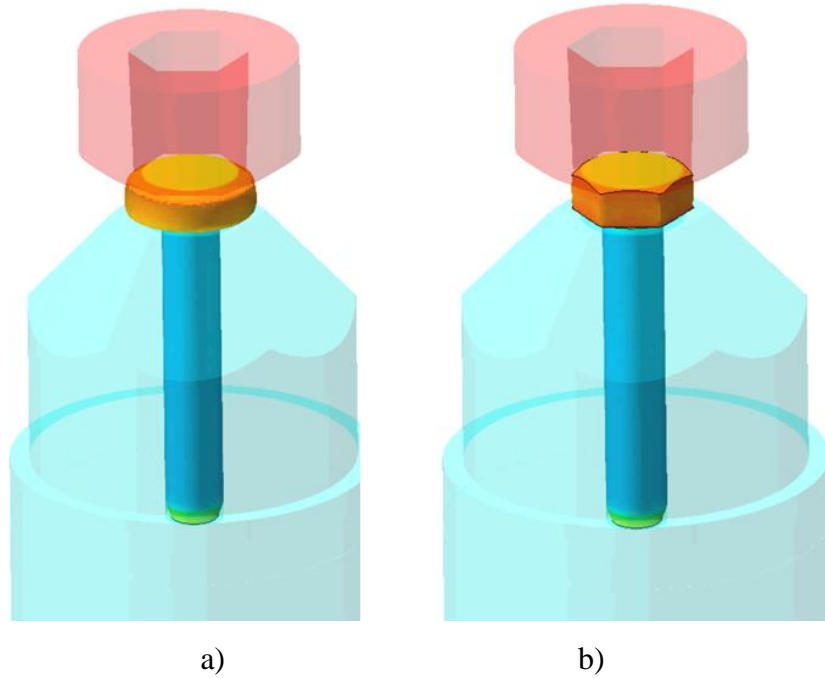
Şekil 4.10. a) İkinci İstasyon Giriş b) İkinci İstasyon Çıkış

Şekil 4.10 'de görüldüğü üzere ikinci istasyonda kafa şişirme işlemi uygulanmıştır. İşlem sonrası malzeme üzerinde oluşan mukavemet değeri Şekil 4.11 'de gösterildiği gibi ortalama 650 MPa değerindedir.



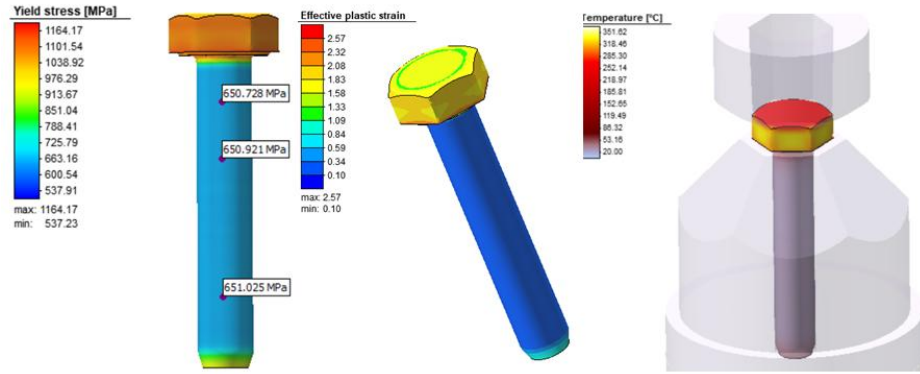
Şekil 4.11. İkinci İstasyon Simülasyon Verileri

Üç istasyon olarak tasarlanmış ürünün son istasyonunda çapaklama – kesme operasyonu Şekil 4.12 'deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12. a)Üçüncü İstasyon Giriş b)Üçüncü İstasyon Çıkış

Şekil 4.13 incelendiğinde, kesme kalıbında kesme kuvveti etkisi ile herhangi bir mukavemetsel artış gözükmemekte ve ortalama 650 MPa olarak belirlenmektedir.



Şekil 4.13. Üçüncü İstasyon Simülasyon Verileri

Simulasyon destekli tasarım sonucunda simülasyon prosesinde elde edilen operasyon numunelerinin ölçüsel ve mukavemetsel değerleri istenen standartlar kapsamındadır.

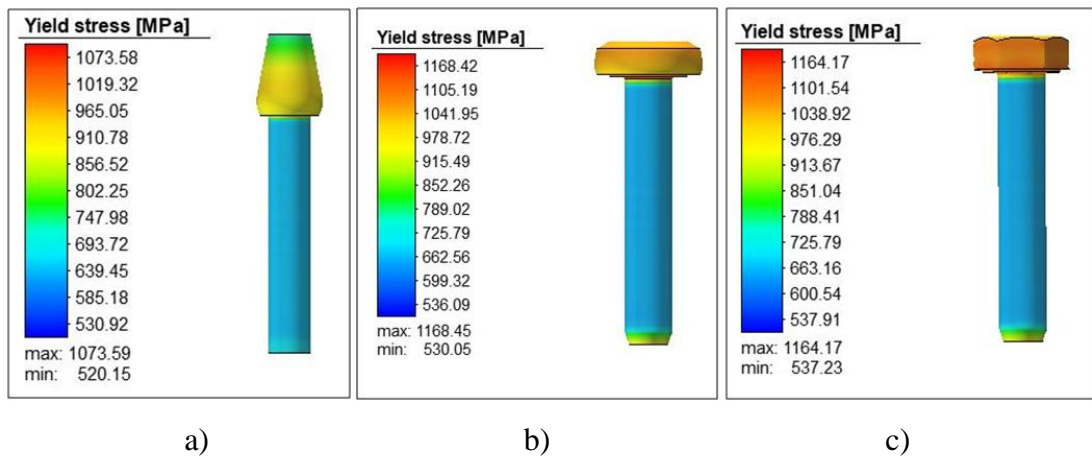
Simulasyon çalışmaları kapsamında operasyonlar arası geçişlerde mekaniksel ve ölçülebilir özellikler incelenmiştir.

4.2.3.1. Elasto - Plastik Malzeme Özelliklerinin İrdelenmesi

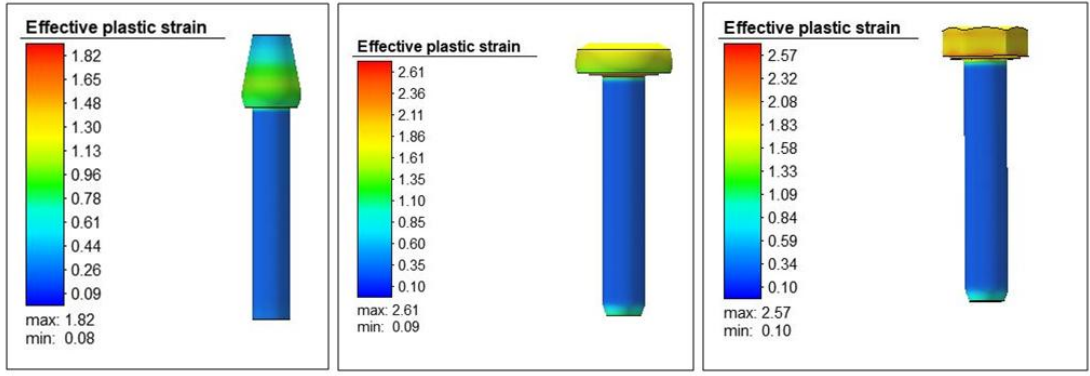
Plastik deformasyon ile form verme aşamasında tasarlanan kalıp geometrileri ve pres altyapısı dahilinde malzemenin elasto plastik davranışı önemli hale gelmektedir. Hammadde akma eğrisinin sıcaklık ve deformasyon hızı ile değişimine bağlı olarak malzeme şekillendirme aşamasındaki akma mukavemeti, efektif stres ve strain kontak basıncı ve sıcaklık gibi faktörlerin incelenmesi gereklidir. Soğuk deformasyon ile üretimde hammadde şekil alma aşamasında gerçekleşen yapısal değişimlerin en önemlisi yapıdaki dislokasyon yoğunluğuna bağlı olarak artan akma mukavemeti ve sertlik değerleridir. Pratikte soğuk deformasyona bağlı olarak dislokasyon yoğunlukları birim alanda 10^{10} seviyelerine kadar yükselmekte ve malzemenin şekil alma kabiliyetini azaltarak sertleştirmektedir. Soğuk deformasyon ile üretim bu engel dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Kullanılan hammaddelere gerekli görüldüğü durumlarda yumuşatma tavlama yapılarak iç yapıda küresel

sementit veya dislokasyon yoğunluğunu düşürme işlemleri gerçekleştirilir. Bu tez çalışmasındaki hammadde olan paslanmaz çelik, dövme sonrası mekanik özelliklere ulaşması için ön deformasyon uygulanarak çekme işlemine tabi tutulmuş ve dövme öncesi sertlik arttırılmıştır. Paslanmaz çeliğin YMK yapısı gereği kolay şekil alma kabiliyeti yapılan ön deformasyon ile sertlik artışının dövme proseslerine etkisi minimum seviyede kalmıştır.

Paslanmaz çeliğin soğuk deformasyon ile şekillendirilmesi ve bağlantı elemanına dönüştürülmesi aşamasında akma mukavemeti değişimi, efektif stres ve strain değerlerinin kalıp tasarımı ve deformasyon miktarına bağlı olarak simülasyon destekli incelenmesi, fiziksel üretim aşamasında gerekli olan proses parametrelerinin elde edilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle, operasyon adımları arası geçişte akma mukavemetindeki artışın izlenmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.14 de istasyonlar arası geçişte meydana gelen akma mukavemeti değişimi gösterilmiştir. 1. Operasyonda bağlantı elemanı kafa formu oluşmaya başlamış 3. Operasyonda ise tamamlanmıştır. Görüldüğü üzere kafa bölgesinde 700 MPa seviyesindeki akma mukavemeti 3. Operasyonda aynı bölgede 1100 MPa seviyesine çıkmıştır. Efektif strain değerlerine baktığımızda ise kafa bölgesinde 1. Operasyonda 0,70 iken 3. Operasyonda 1,8 seviyesine yükselmiştir (Şekil 4.15). Aynı bölgede 2 kattan fazla strain artışı akma mukavemetinde lokal olarak 400 MPa artışa neden olmuştur. Şaft bölgesi olarak tanımlanan gövde kısmında ise 700 MPa seviyesindedir.



Şekil 4.14. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Akma Mukavemeti Değişikliği



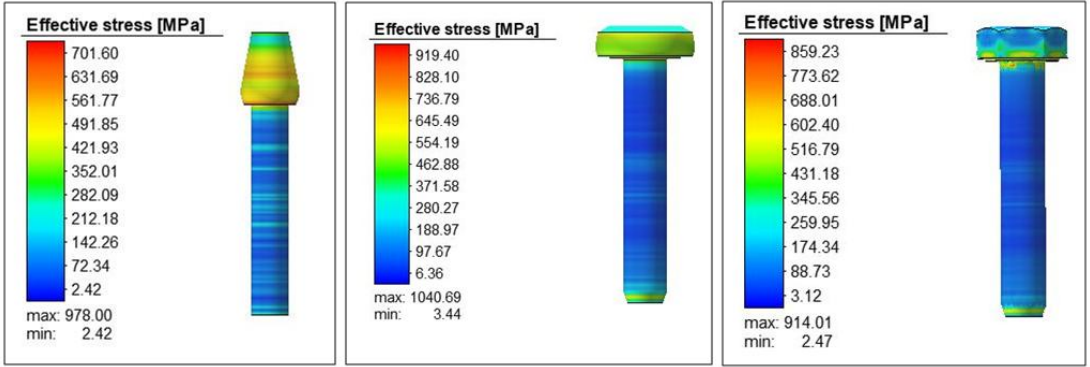
a)

b)

c)

Şekil 4.15. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Plastik Gerinim Değişikliği

Efektif stres değerleri dikkate alındığında ise operasyon şekline bağlı olarak lokal gerilme değerleri görülmektedir. Şekillendirmenin yoğunlaştığı bölgeye bağlı olarak gerilme değerleri 500 - 600 MPa değerleri arasında değişmektedir. Operasyonlarda oluşan Efektif Gerilmeler Şekil 4.16 'da gösterilmektedir.



a)

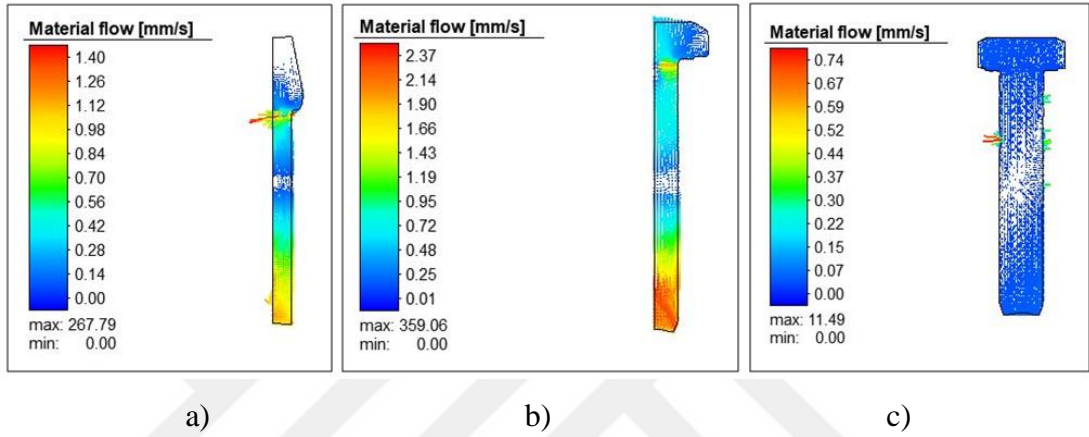
b)

c)

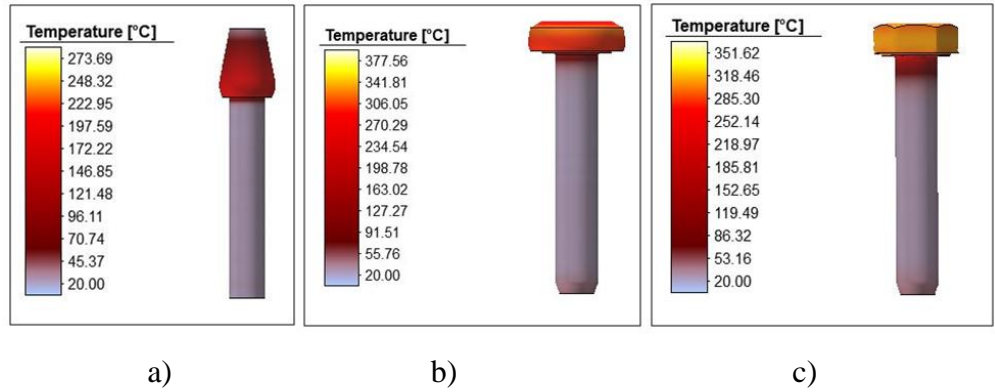
Şekil 4.16. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Efektif Gerilim Değişikliği

Mekanik preste üretim yapılacağı dikkate alarak deformasyon hızı ile malzeme akış hızı arasında bir ilişki sözkonusudur. Uygulana deformasyon hızına bağlı olarak kalıp tasarımı esasında ortaya çıkan malzeme akışı kesit değişim bölgelerinde artış göstermiş 1,8 ile 2,14 mm/sn arasında değişmektedir.

Operasyonlarda oluşan Malzeme Akış hızı Şekil 4.17 'de gösterilmektedir. Soğuk deformasyon sırasında irdelenmesi gereken bir diğer konuda oda sıcaklığında başlayan deformasyon etkisi ile yaklaşık 300 °C seviyesine ulaşmasıdır. Deformasyon sırasında ortaya çıkan enerji, ısıya dönüşmektedir. Sürtünme ve deformasyon etkisi ile artan sıcaklık değeri deformasyonun lokalleştiği kafa bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Operasyonlarda oluşan sıcaklık değişikliği Şekil 4.18 'de gösterilmektedir.



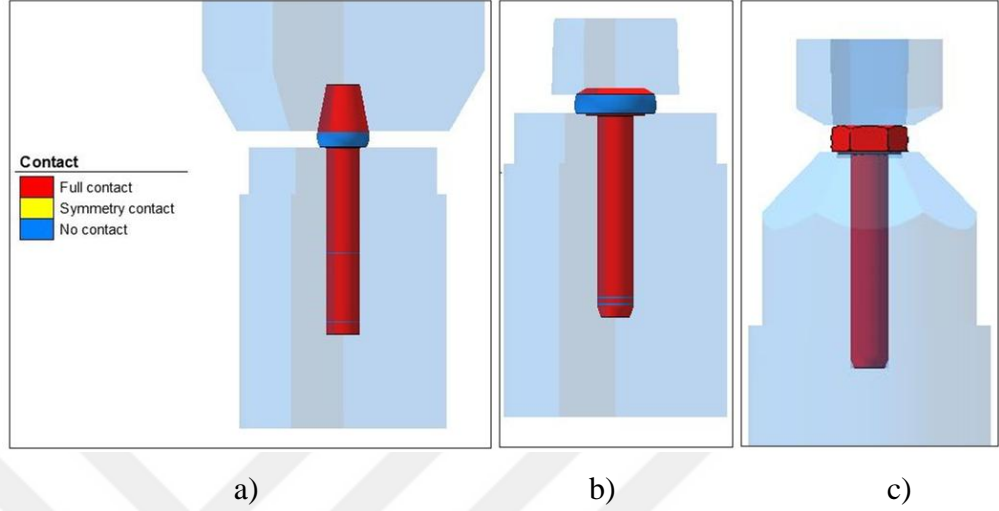
Şekil 4.17. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Malzeme Akış Hızı Değişikliği



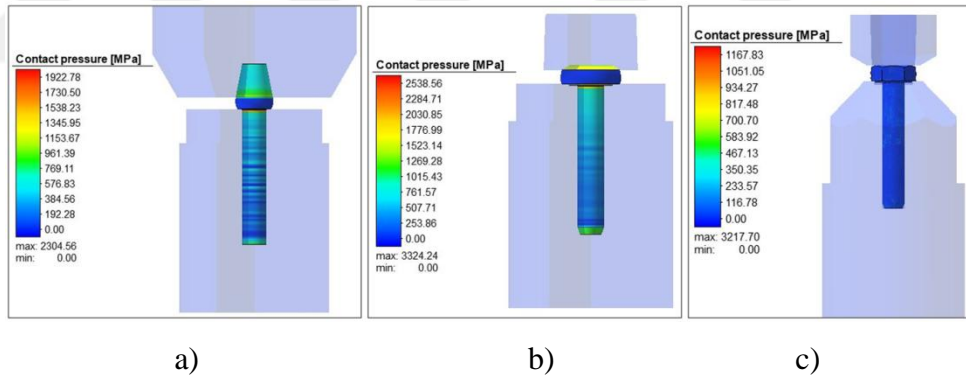
Şekil 4.18. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Malzeme Akış Hızı Değişikliği

Kalıp tasarımının doğruluğunu ve tam temas özelliklerini ortaya koymak adına kalıp ile malzemenin temas özellikleri de simülasyon ortamında incelenmiştir.

Tasarıma göre temasta olan ve olmayan bölgeler belirlenmiştir. Operasyonlarda oluşan, malzeme ile kalıp arasındaki kontak bölgeler Şekil 4.19 'de kontak basınçları da şekil 4.20'de gösterilmektedir.

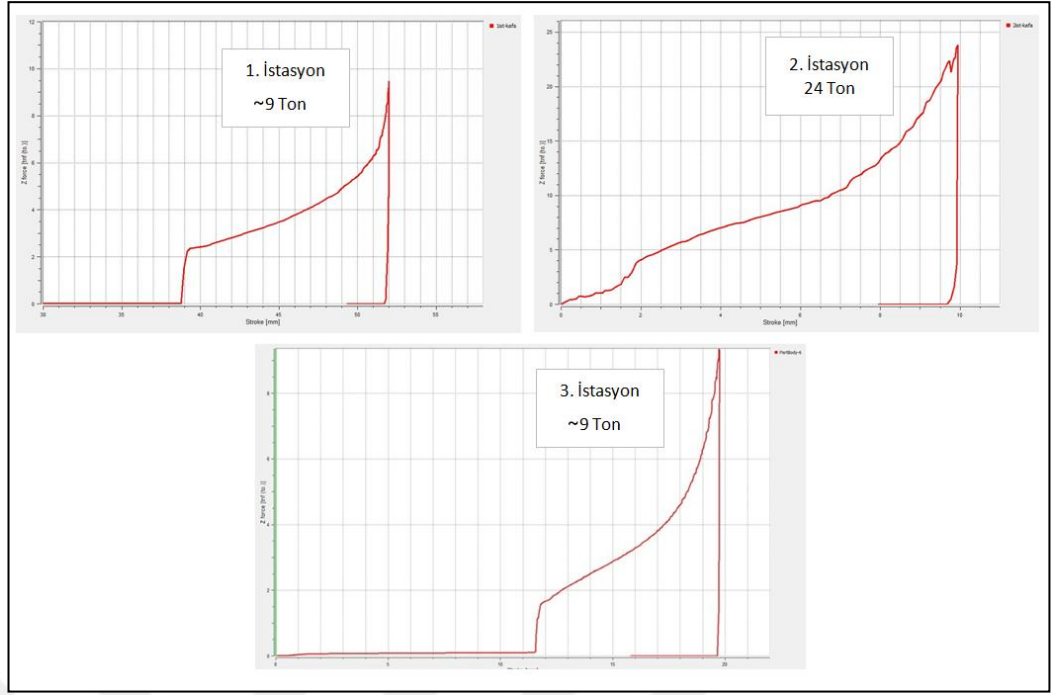


Şekil 4.19. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Kontak Bölgeleri



Şekil 4.20. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Kontak Basınçları

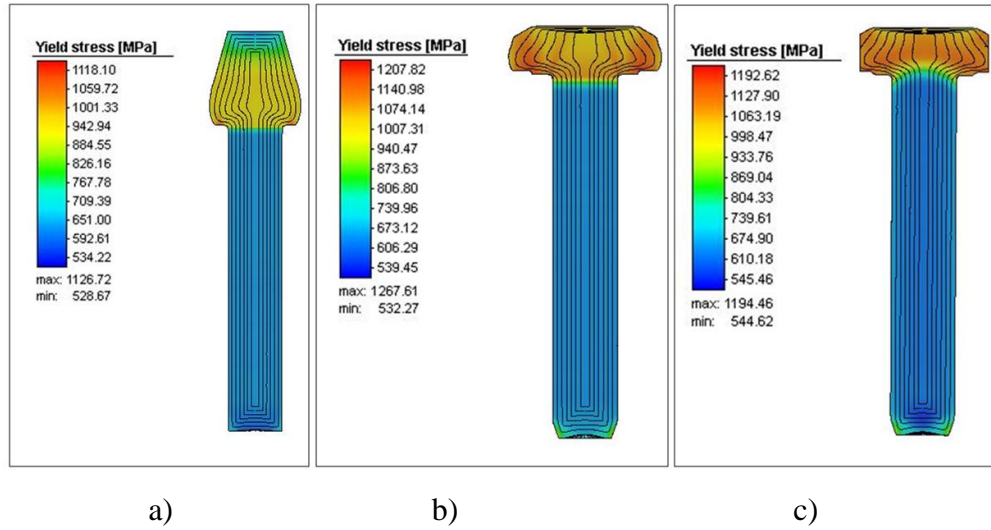
Dövme yükünün belirlenerek gerekli olan kapasite hesabının yapılması içinde kalıp tasarımına ve sürtünme davranışına bağlı olarak şekillendirme için gerekli olan kuvvet değerleri belirlenmiştir. Her bir operasyon adımına göre yük gereksinimi farklılık göstermektedir. Toplamda 3 operasyon için yaklaşık 42 tonluk bir kuvvet gereksinimi olduğu ortaya çıkarılmıştır. Operasyonların gerçekleşmesinde kullanılması gereken dövme yük değerleri Şekil 4.21 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. İstasyonların Dövme Yük Değerleri

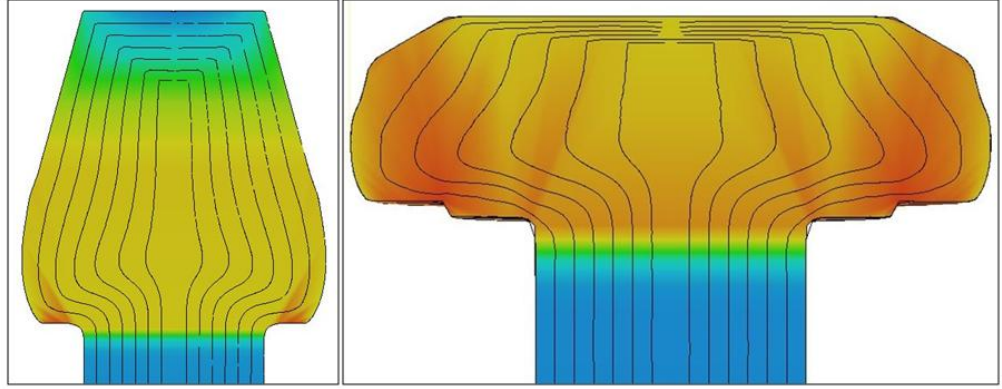
4.2.3.2. Lif Yapıları

Operasyonların sırasında malzeme mikro yapılarında meydana gelen lif yapılarının simülasyonu Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24 'de gösterilmiştir.

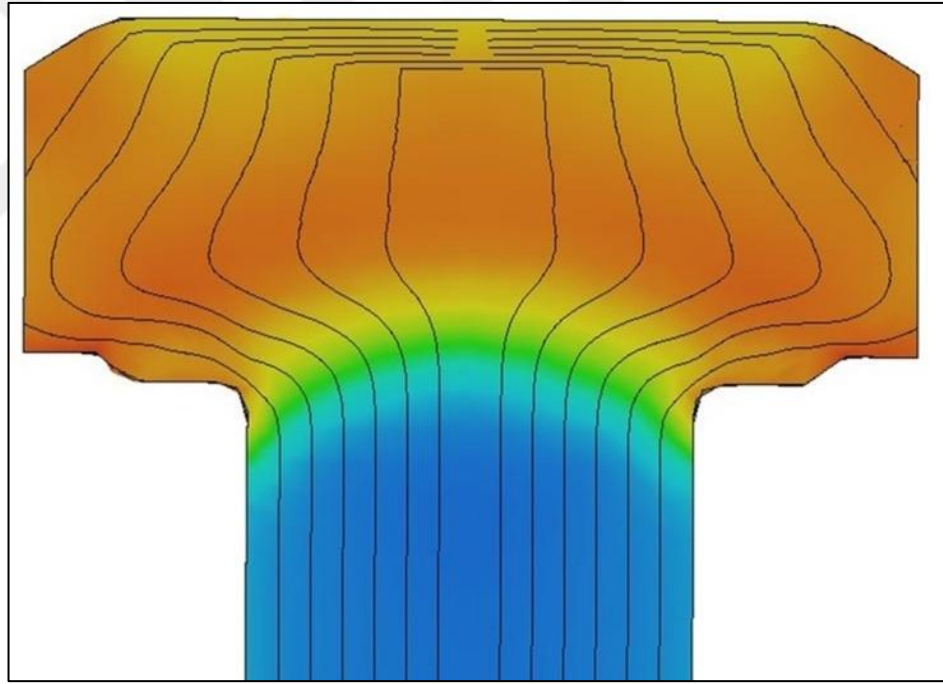


Şekil 4.22. a)1.İstasyon b)2.İstasyon c)3.İstasyon İstasyonlar Arası Lif Yönlenmeleri

Asıl şekil verilme bölgesi olan operasyonların kafa bölgelerinin lif yapıları Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 'de gösterilmiştir.

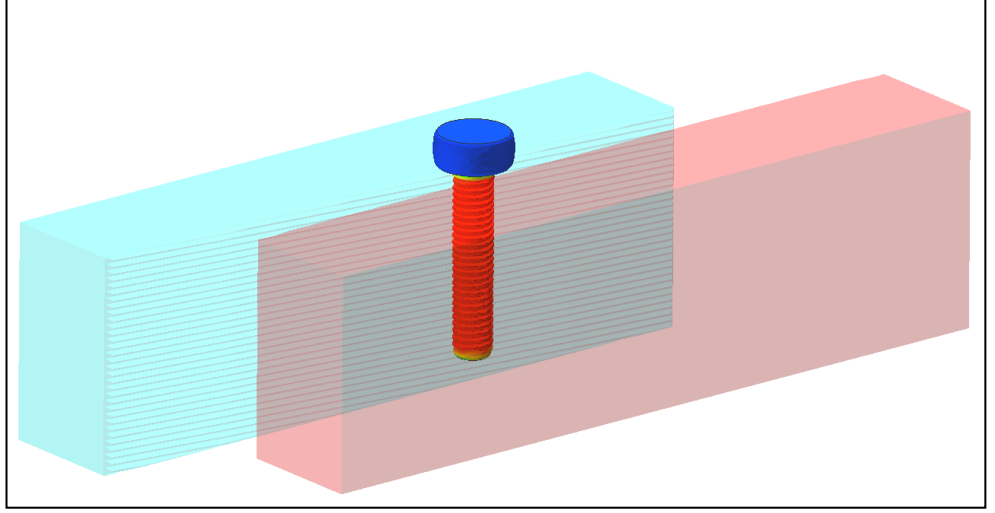


Şekil 4.23. 1. ve 2. İstasyon Kafa Bölgeleri Lif Yapıları



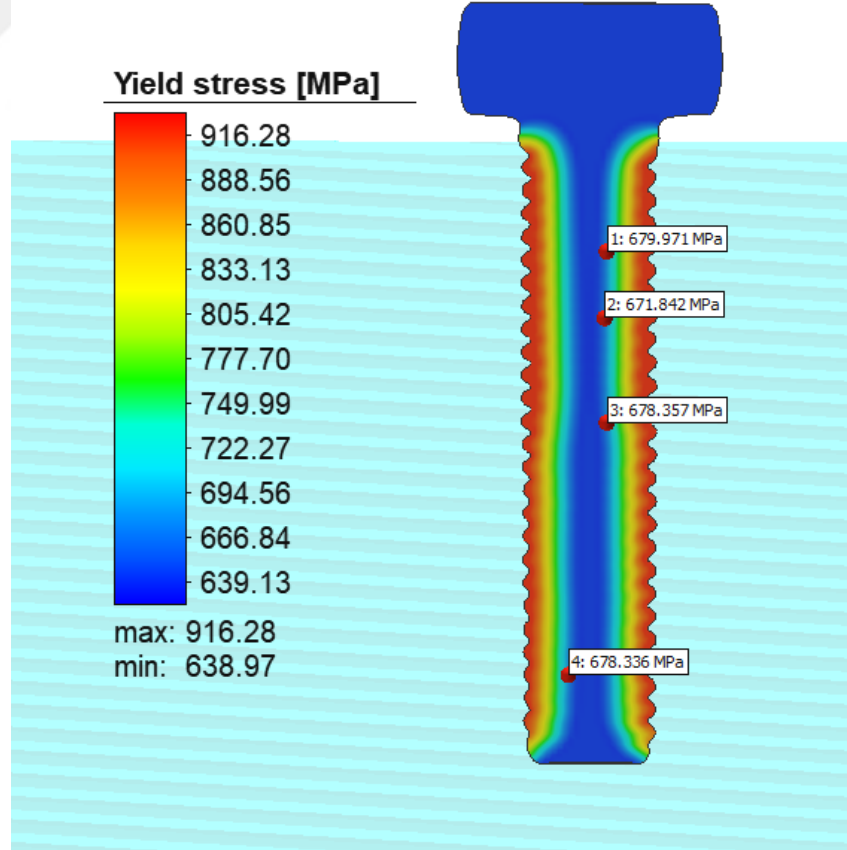
Şekil 4.24. 3. İstasyon Kafa Kesme (Çapaklama) Sonrası Lif Yapıları

Son istasyonda çapaklama prosesi olacağından ve çapaklama prosesinde mukavemette herhangi bir değişikli olmayacağı için parça ikinci istasyon formu ile Şekil 4.25 'deki gibi ovalama simülasyonu kurgulanmıştır.



Şekil 4.25. Ovalama Simulasyonu Kurgusu

Simulasyon sırasında parça kesiti alınarak öngörülen mukavemet değeri Şekil 4.26 'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.26. Ovalama Simulasyonunda Oluşan Mukavemet Değeri

4.2.4. Prototip Üretimi

Simulasyon sonuçlarına göre değerlendirilen ölçüsel ve mukavemetsel özellikler, standartlara göre uygun olduğundan dolayı prototip üretim için gerçek kalıp üretimi safhasına geçilmiştir. Tasarım aşamasında teknik resmi çizilen kalıpların gerçek imalatı yapılmış ve Şekil 4.27 de gösterildiği gibi prototip üretimi için kullanıma hazırlanmıştır.



Şekil 4.27. Prototip Üretim Kalıpları

Gerçek prototip kalıpları, Şekil 4.28 'de gösterilen üretim yapılacak dövme presin üzerindeki Şekil 4.29 'da gösterilen kalıp yataklarındaki karşılıklı yuvalarına yerleştirilerek prototip üretimi için ayar aşamasına geçilmiştir.



Şekil 4.28. Prototip Üretimi Yapılan Soğuk Dövme Presi

Yerleşim sırasında kalıpların ve pimlerin boyu, operasyon ve kalıp tasarımında elde edilen değerlere göre yapılmaktadır. Kalıpların yerleşim boyu değeri makine yüküne, pimlerin yerleşim boyu değeri ise ürün boyuna etki etmektedir. İki değer de kritik parametrelerin içindedir.



Şekil 4.29. Kalıpların Yerleşimi

Dövme prosesi sonrası sökülen kalıplar ve üretilen prototip numuneler Şekil 4.30 'da görülmektedir.



Şekil 4.30. Gerçek Kalıplar ve Kalıba ait Operasyon Numuneleri

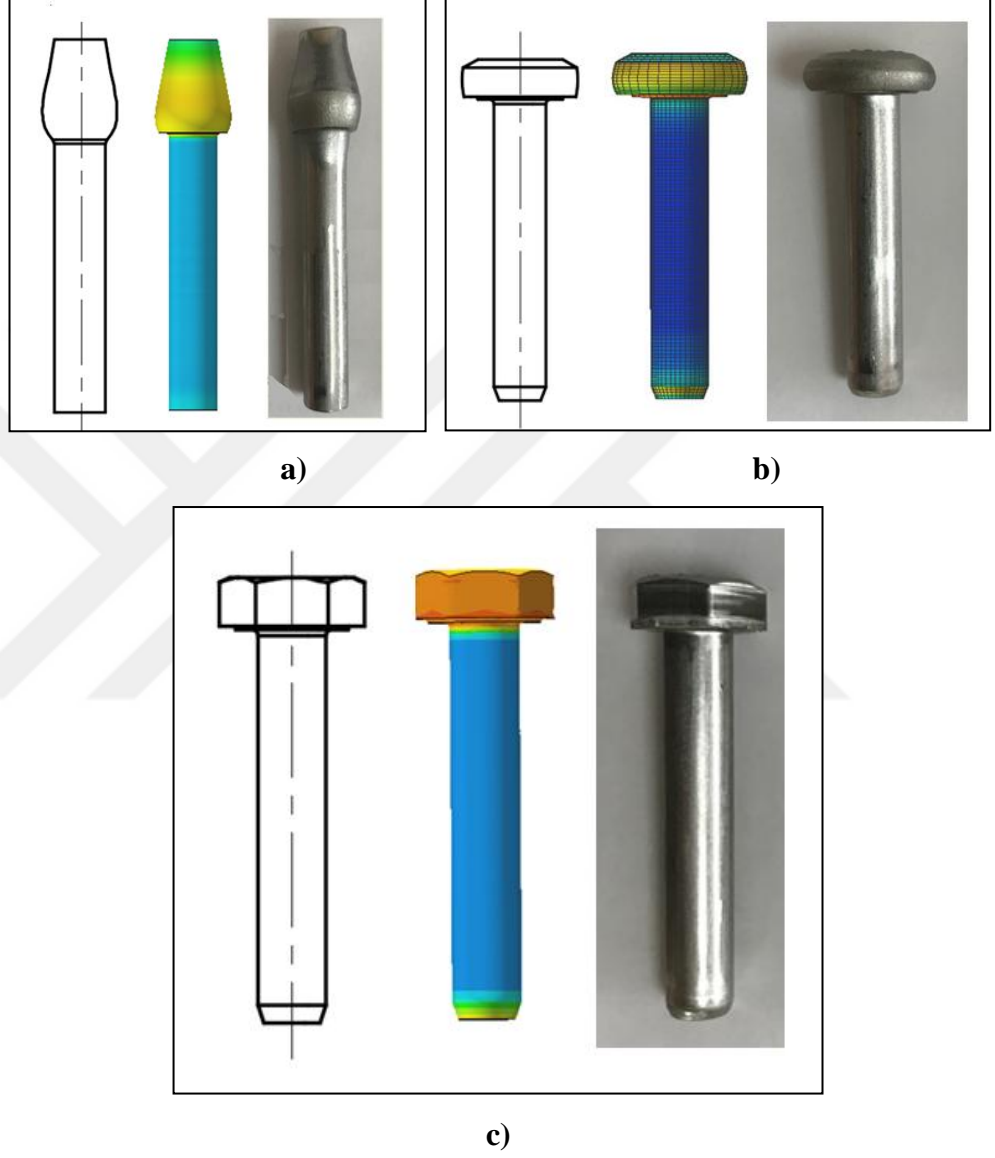
Üç istasyon olarak hacim sabitliği ilkesi ile geleneksel yöntemlerle tasarlanan prosesin simülasyon destekli analizi ile şekillendirilen istasyon numuneleri Şekil 4.31 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Gerçek İstasyon Numuneleri

4.2.4.1. Simulasyon Destekli Tasarım Ölçüleri ile Prototip Ölçülerinin Karşılaştırması

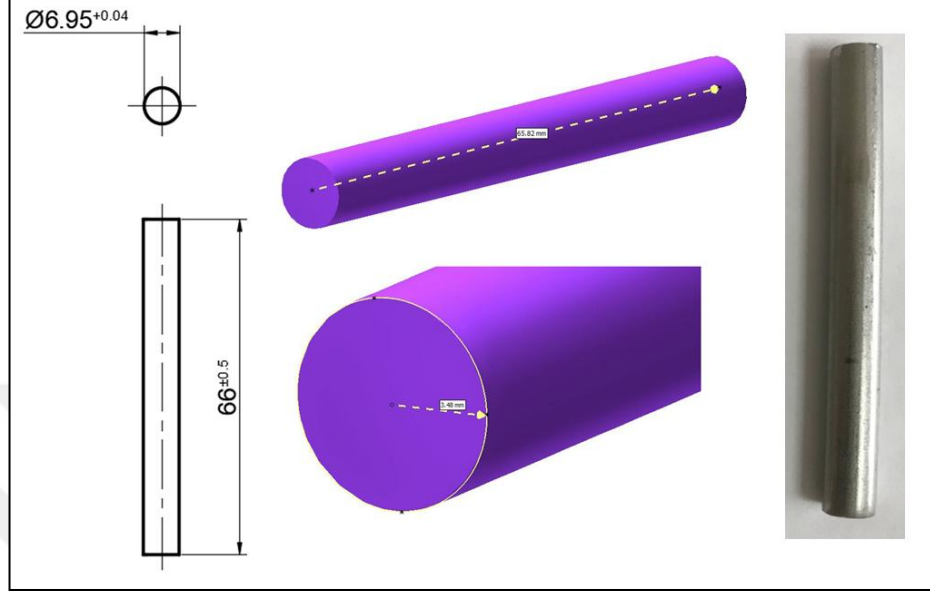
Tasarım, Simulasyon ve gerçek üretim numuneleri Şekil 4.32 'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır.



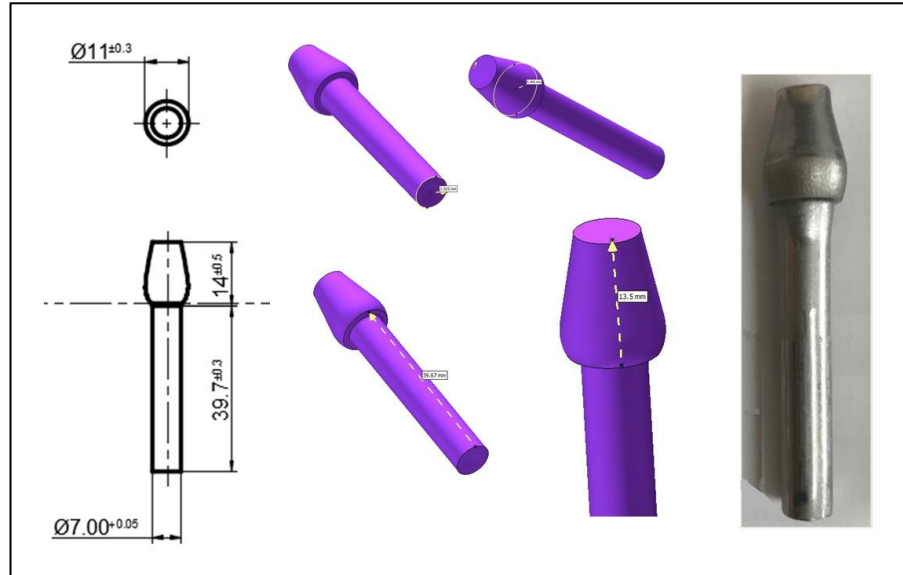
Şekil 4.32. a) Birinci İstasyon b) İkinci İstasyon c) Üçüncü İstasyon Tasarım, Simulasyon ve Gerçek İstasyon Numuneleri

Her iki proste de birbirine çok benzer operasyon numuneleri elde edilmiştir. Görsel olarak simulasyonun doğruluğunu bize göstermektedir.

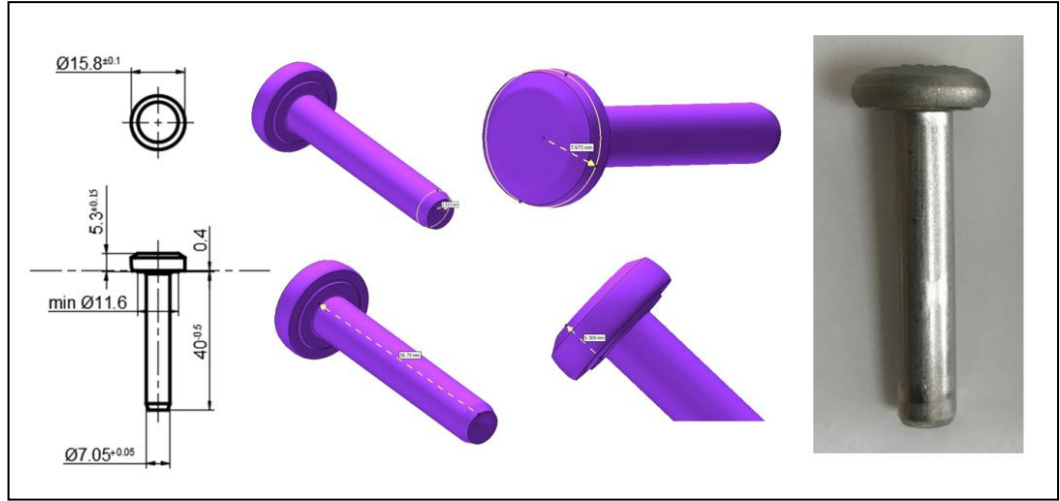
Bununla birlikte tasarım, simulasyon ve gerçek prototip üzerinden alınan ölçüler Şekil 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36 'de karşılaştırılarak Tablo 4.2 'de gösterilen karşılaştırma tablosu hazırlanmıştır.



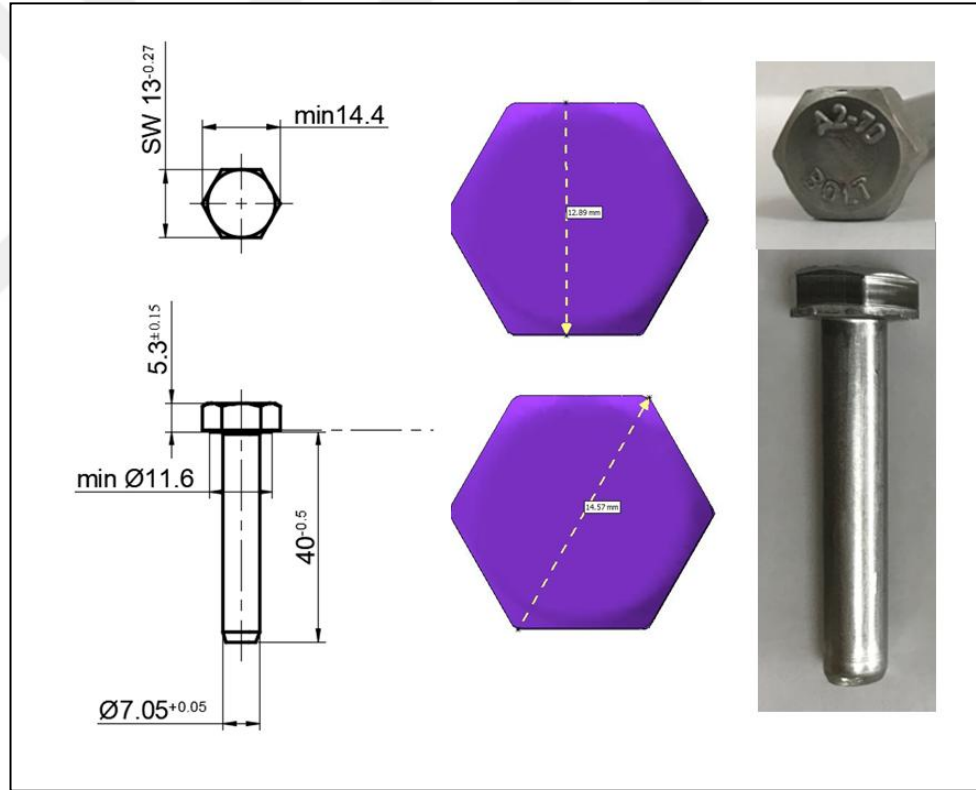
Şekil 4.33. Saplama, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri



Şekil 4.34. Birinci İstasyon, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri



Şekil 4.35. İkinci İstasyon, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri



Şekil 4.36. Üçüncü İstasyon, Tasarım ve Simulasyon Ölçüleri

Üçüncü, son istasyonda sadece kesme işlemi yapıldığı için oluşturulan Altı Köşe Formlu kafanın ölçüleri kontrol edilmiştir. Operasyon gereği ikinci istasyondan gelen ölçülerde değişiklik olmayacaktır.

Tablo 4.2. Tasarım, Simulasyon ve Gerçek Ölçüler

İSTASYONLAR	ÖLÇÜLER (mm)	Tasarımda İstenen Ölçüler	Simulasyon Sonucu	Prototip Ölçüsü
Saplama	Çap	6,95 +0,04	6,96	6,97
	Boy	66 ±0,5	65,8	65,6
1. İstasyon	Şaft Çapı	7 +0,05	7,01	7,03
	Şaft Boyu	39,7 ±0,3	39,67	39,84
	Kafa Çapı	11 ±0,3	10,99	11,21
	Kafa Boyu	14 ±0,5	13,5	13,9
2. İstasyon	Şaft Çapı	7,05 +0,05	7,06	7,07
	Şaft Boyu	40 – 0,5	39,75	39,92
	Kafa Çapı	15,8 ±0,1	15,94	15,98
	Kafa Boyu	5,3 ±0,15	5,3	5,22
3. İstasyon	AK Kafa SW Ölçüsü	SW 13 -0,27	12,89	12,86
	AK Kafa Köşegen Ölçüsü	En az 14,4	14,57	14,57

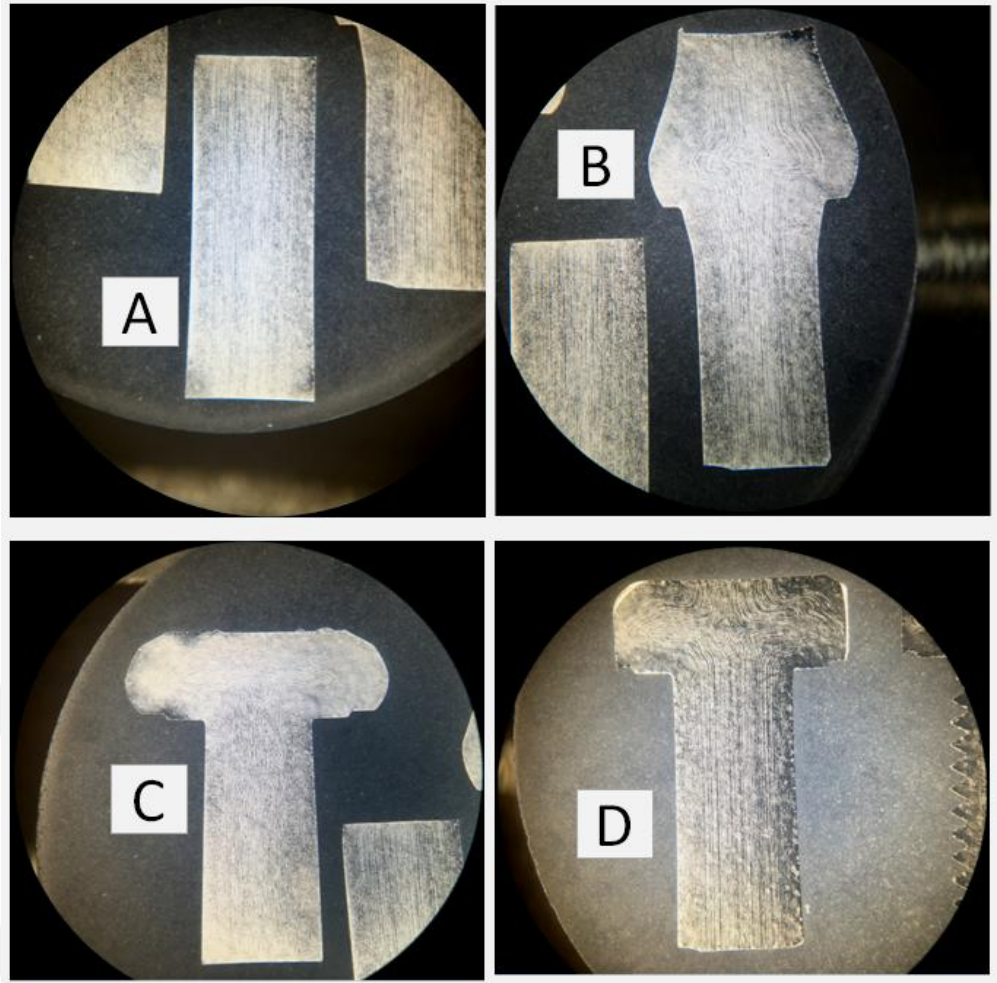
Bazı ölçüm değerlerinde yüzdesel olarak tolere edilebilir sapmalar meydana gelmiştir. Bu sapmalar genel ölçülerde bir değişikliğe sebebiyet vermeyeceği ve özellikle makine ayar sırasında istenilen değerde ölçü elde edilebilecek şekilde düzenlenebileceğinden dolayı göz ardı edilmiştir.

4.3. Metalografik İnceleme

Plastik şekil vermenin avantajı ile soğuk dövme prosesi kullanılarak üretilen parçalarda mukavemet özellikleri için lif yapısının korunması, liflerde katlanma ve yığılma olmaması çok önemlidir. Bu amaçla parçalara, makro ve mikro inceleme yapılmaktadır.

4.3.1. Makro İnceleme

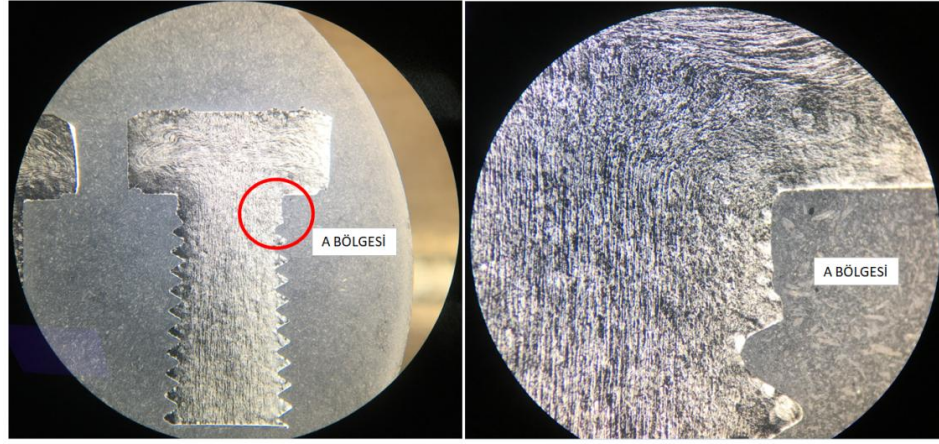
Makro dağlamamış operasyon numunelerinin yapıları, Nikon SMZ745 Stereo mikroskop kullanılarak Şekil 4.37 'de görüldüğü şekilde incelenmiştir.



Şekil 4.37. Makro Yapılar a) Saplama b) 1.İstasyon c) 2.İstasyon – Kafa Şişirme d) 3. İstasyon – Kesme

İstasyonlar arası geçişlerde her bir operasyona ait lif yapılarının makro dağılımı sonuçları incelendiğinde; liflerde kopma, yırtılma, katlanma vb istenmeyen yapıların oluşmadığı, liflerin yönlendirilerek bir sonraki istasyona geçtiği görülmüştür.

Üç istasyon olarak prototipi üretilen paslanmaz çelik cıvata bağlantı elemanının fonksiyonelliğini yerine getirebilmesi için ovalama prosesi kullanılarak diş çekim işlemi sonrası diş boşluk ve diş bölgesinin makro yapısı Şekil 4.38 'de gösterilmiştir.

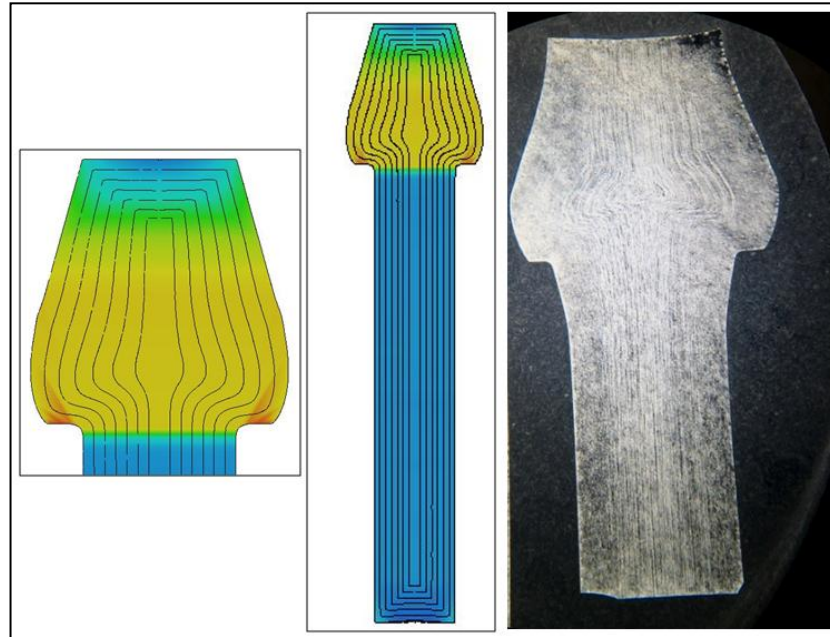


Şekil 4.38. Ovalama Prosesi Sonrası Makroyapı Analizi

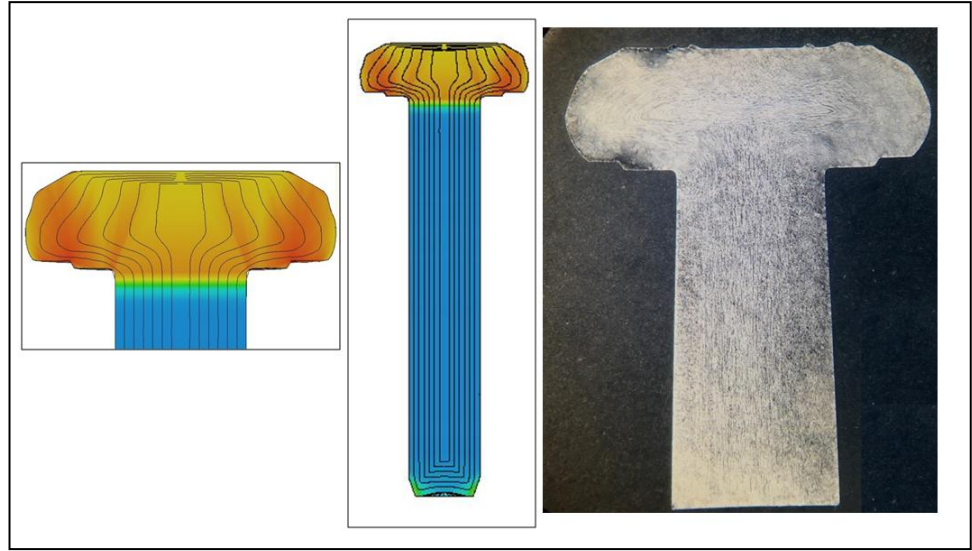
Ovalama prosesine ait lif yapılarının makro dağılımı sonuçları incelendiğinde; liflerde kopma, yırtılma, katlanma vb istenmeyen yapıların oluşmadığı, kafa altı bölgesinde yığılma gibi istenmeyen yapıları oluşmadığı görülmüştür.

4.3.1.1. Simulasyon ile Prototip Makro İnceleme Karşılaştırılması

İstasyonlar bazında makro dağılımı yapılan prototip bağlantı elemanının prototip, simulasyon çıktısı ve özellikle kafa bölgesi birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

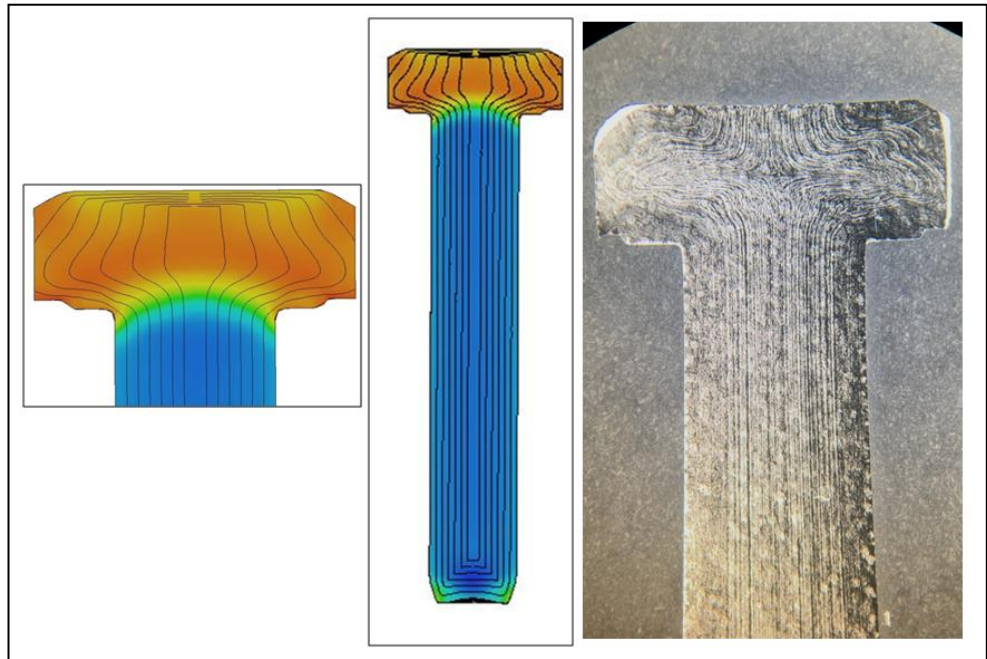


Şekil 4.39. 1. İstasyon Simulasyon ve Gerçek Lif Yönlenmesi Karşılaştırması



Şekil 4.40. 2. İstasyon Simulasyon ve Gerçek Lif Yönlenmesi Karşılaştırması

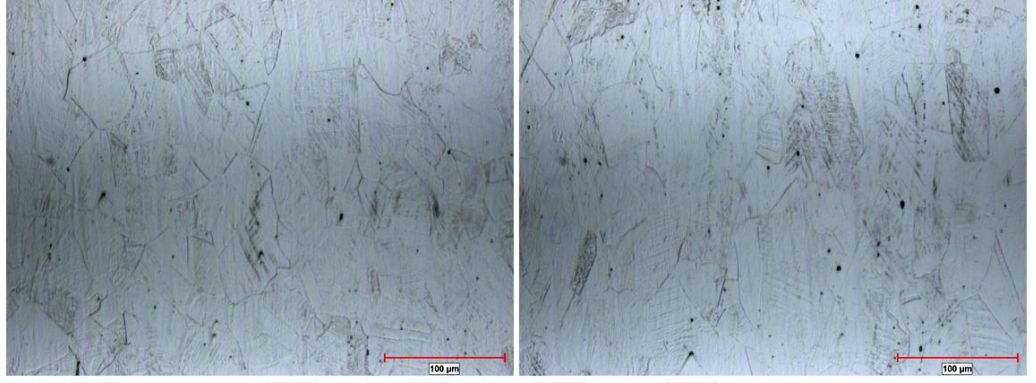
3. istasyon da kafa bölgesinde çapaklama işlemi yapıldığı için simulasyon ve prototip üretim numunelerinde liflerde Şekil 4.41 'de gösterildiği gibi kesilme meydana gelmektedir. Bu işlem proses doğası olmak zorundadır. Kafa bölgesinde meydana lif kesilmesi herhangi bir mukavemet düşüklüğüne sebebiyet vermemektedir.



Şekil 4.41. 3. İstasyon Simulasyon ve Gerçek Lif Yönlenmesi Karşılaştırması

4.3.2. Mikro İnceleme

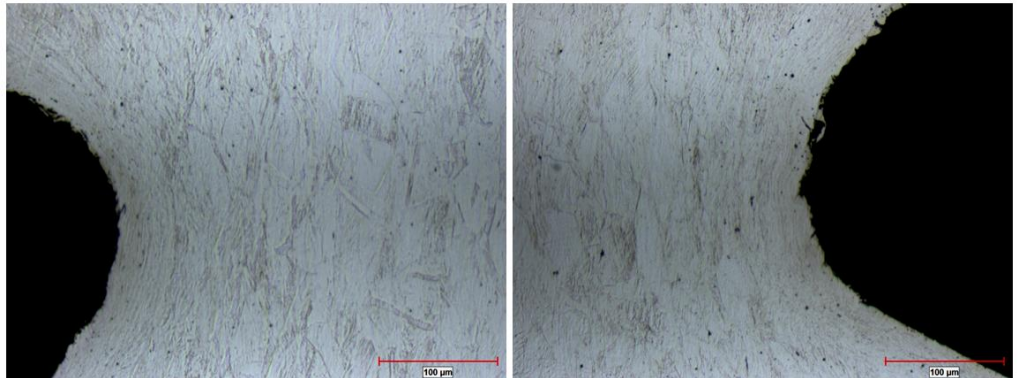
Mikroyapı analizi için %25 HNO₃ ve %75 HCL kullanılarak hazırlanmış dağlama solüsyonu ile parçalara kimyasal dağlama işlemi uygulanmıştır. Prototip parçanın çekirdek mikroyapısı Şekil 4.42 'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.42. Çekirdek Mikroyapısı (200X)

Ovalama prosesi sonrası meydana gelen mikroyapı şekil 4.43 'da gösterilmiştir. Diş oluşumu sırasında yönlenmeler gözlenmiş ve plastik şekil verme sırasında katlanma, yırtılma vb. istenmeyen oluşumlar gözlenmemiştir.

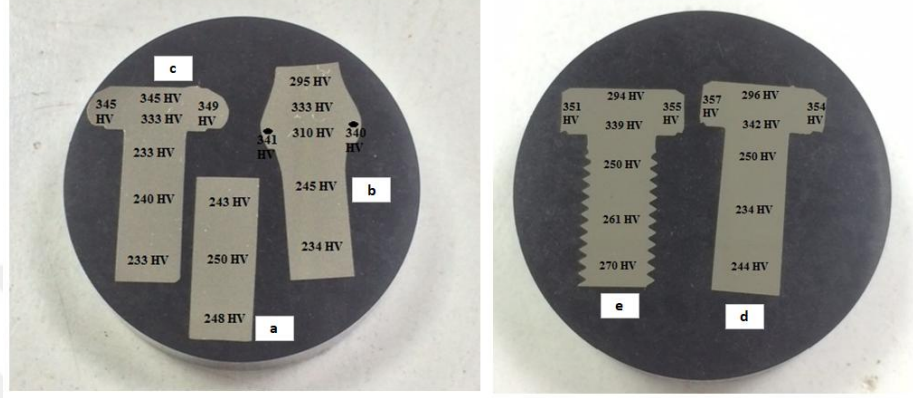
Mikroyapı, literatürde belirtilen standart östenitik paslanmaz çelik olan 304Cu ile aynı özellikleri taşımaktadır.



Şekil 4.43. Diş Bölgesi – Diş Dibi Mikroyapısı (200X)

4.4. Sertlik Testi

Prototip parçanın operasyon numuneleri bakalite alınarak, gerekli yüzey hazırlama işlemlerinin ardından (zımparalama, parlatma, dağlama), şaft ve deformasyon bölgelerinde EmcoTest Duroscan Mikro Vickers Sertlik Ölçüm cihazı kullanılarak Vickers Sertliği (HV10) ölçülmüştür.



Şekil 4.44. Mikro Sertlik Değerleri (HV10)

Şekil 4.44 'de gösterilen; a – saplama, b – birinci istasyon, c – ikinci istasyon, d – üçüncü istasyon, e – ovalama sonrası parça üzerinden sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Ovalama prosesi haricinde tüm operasyonlarda şaft bölgesinde sertlik değerleri birbirine yakındır. Bunun sebebi saplamanın tel çekme operasyonu ile sertleştirilmesi ve diğer operasyonlarda redüksiyonsuz tasarım yapılmaması neticesinde saplama sertliğinin diğer operasyonlara taşınmasından kaynaklanmaktadır. Tedarik edilen hammadde sertliği ortalama 110 HV10 iken, tel çekme operasyonu sonrası ortalama 245 HV10 değerlerine çıkmış ve operasyon geçişlerinde ortalama değer yaklaşık 250 HV10 olduğu görülmüştür. Deformasyonun yoğun olduğu birinci istasyon – hazırlama kafa bölgesinde ortalama 320 HV10 iken ikinci istasyon kafa bölgesinde ise ortalama 340 HV10 olarak ölçülmüştür.

Ovalama prosesinde plastik şekillendirme uygulaması ile diş oluştuğundan malzemede pekleşmeden (deformasyon sertleşmesi) dolayı sertlik artışı gözlemlenmiş ve shaft bölgesinde sertliğin ortalama 265 HV10 olduğu ölçülmüştür.

4.5. Çekme Testi

Çekme testleri, Zwick/Roell Z250 marka 250 KN çekme ve basma kapasitesine sahip test cihazında gerçekleştirilmiştir. Prototip üretimi tamamlanmış numune Şekil 4.45 'de gösterilmiş, özel bağlantı çenelerine sahip çekme test cihazı ile gerçek ürün formunda test edilmiştir.

Özel çeneler sayesinde, özel ölçülerde herhangi bir test numunesi hazırlanmasına gerek yoktur.



Şekil 4.45. Çekme Test Cihazı Civata Çekme Düzeneği

Deney yapılırken dikkat edilmesi gerek bazı parametreler vardır. Bunlardan biri çekme hızı bir diğeri ise dişli parçalar için değişik anma çaplarına göre kullanılması gereken kesit alanı (S_0) değeridir. DIN 3506-1 ve EN ISO 898-1 standardı kullanılarak M8x1,25 bağlantı elemanın ilgili değerleri bulunmuştur. Değerler standartta belirtildiği gibi, kesit alanı $36,6 \text{ mm}^2$ ve çekme hızı 5 mm/dakika olarak çekme test cihazının yazılımına girilmiştir.

A2-70 sınıfında paslanmaz çelik bağlantı elemanı için DIN 3506-1 standardına göre dayanması gerekli en az akma ve çekme değeri belirtilmiştir. Sağlanması gereken ve test sonucunda çıkan değerler Tablo 4.3 'de gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Gerçek Ürünün Çekme Testi Sonuçları

	İstenen (En Az)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Akma Mukavemeti (N/mm²)	450	685	685	691	689	687	699	691	694	697	694
Çekme Mukavemeti (N/mm²)	700	730	726	731	734	732	739	728	729	731	731

Tablo 4.3 'deki değerler incelendiğinde ortalama Akma Mukavemeti 690 MPa ve ortalama Çekme Mukavemetinin ise 731 MPa olduğu görülmüştür.

İncelenmesi gereken bir diğer mukavemetsel özellik ise uzama miktarıdır. DIN 3560-1 de A2-70 sınıfına göre uzama en az 0,4d mm olmalıdır. Buradaki “d” parçanın anma çapı yani 8 (M8x1,25) dir. Bu değer göz önüne alındığında uzama miktarı en az 3,2 mm (0,4x8) olması gerekmektedir.

Bunun için numaralandırılan prototipler; profil projeksiyon cihazında Şekil 4.46 'de görüldüğü gibi döndürülerek, kafa altından dış ucuna kadar beş farklı bölgeden boy ölçüsü alınmış ve çekme testinden sonra tekrar beş farklı bölgeden boy ölçüsü alınmıştır.



Şekil 4.46. Gerçek Ürünün İlk Boy ve Son Boy Ölçümü

Farklı bölgelerden alınmış boy ölçüleri, Tablo 4.4 'de gösterildiği gibi ortalamaları alınmış ve ilk boy – son boy oranına göre DIN 3506-1 standardını kapsayacak şekilde uzama hesabı yapılmıştır.

İlk boy ve son boy ortalamaları birbirinden çıkarılarak yapılan bu işlem ile standartta istenen uzama değeri Tablo 4.4 'de karşılaştırılmıştır.

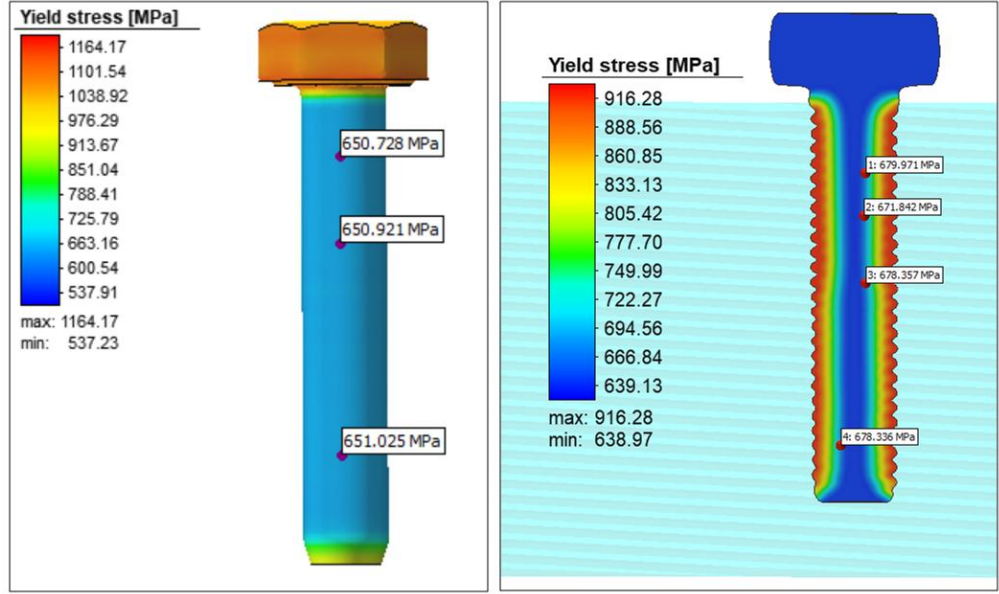
Tablo 4.4. Gerçek Ürünün Çekme Testi Öncesi ve Sonrası Boy Ölçümleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İlk Boylar (mm)	40,09	40,08	40,05	40,06	40,1	40,08	40,05	40,06	40,07	40,05
	40,05	40,05	40,1	40,1	40,07	40,05	40,08	40,07	40,05	40,1
	40,1	40,08	40,07	40,09	40,05	40,08	40,06	40,1	40,05	40,09
	40,05	40,08	40,1	40,05	40,05	40,08	40,09	40,06	40,09	40,06
	40,05	40,08	40,07	40,09	40,09	40,06	40,09	40,05	40,09	40,08
Ortalama	40,07	40,07	40,08	40,08	40,07	40,07	40,07	40,07	40,07	40,08
Son Boylar (mm)	44,48	44,5	44,46	44,46	44,47	44,46	44,47	44,45	44,46	44,49
	44,46	44,49	44,46	44,5	44,47	44,49	44,49	44,49	44,47	44,46
	44,45	44,47	44,46	44,46	44,47	44,48	44,46	44,46	44,47	44,5
	44,45	44,46	44,46	44,5	44,49	44,48	44,47	44,47	44,5	44,49
	44,45	44,47	44,48	44,47	44,47	44,49	44,45	44,46	44,46	44,46
Ortalama	44,46	44,48	44,46	44,48	44,47	44,48	44,47	44,47	44,47	44,48
UZAMA MİKTARI (mm)	4,39	4,40	4,39	4,40	4,40	4,41	4,39	4,40	4,40	4,40
% UZAMA	10,96	10,98	10,95	10,98	10,98	11,04	10,96	10,98	10,98	10,98

4.5.1 Simulasyon ile Prototip Akma Mukavemeti Karşılaştırılması

Yapılan simulasyon çalışmasında operasyon numunelerinin akma mukavemetleri, simulasyon ekranında görülebilmektedir.

Tablo 4.3 'de gerçek prototiplerin çekme testi sonucu değerleri belirtilmiştir. Simulasyon sırasında ovalama öncesi ve ovalama sonrası görülen akma mukavemet değeri Şekil 4.47 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.47. 3. İstasyon ve Ovalama Prosesi Sonrası Akma Mukavemeti

Simulasyon sonucunda son istasyon akma mukavemet değeri ortalama 650 MPa iken ovalama prosesi sonrası akma mukavemeti ortalama 675 MPa 'a yükselmektedir. Bu yükselmenin sebebi plastik şekil verme ile dış oluşturma uygulamasıdır.

Gerçek parça çekme testi sonrası akma mukavemeti değerleri Tablo 4.3 de görüldüğü üzere ortalama 690 MPa dır. Sonuçlar değerlendirildiğinde yaklaşık %2 lik bir sapma görülmektedir.

4.6. Tork Testi

Tork değeri, parçanın yerine montajı, sıkılması esnasında dikkat edilmesi gereken kritik bir değerdir. DIN 3506-1 standardı ve deney tasarımına göre, imalatçılar için sağlaması gereken en az kırılma torku değerini belirtmiştir. Bu değer belirlenirken Sandvik Belzer marka tork ölçüm anahtarları kullanılmıştır.

Kırılma – kopma torku testi Şekil 4.48 'de gösterildiği üzere, test edilmek istenen civatanın mengeneye bağlanarak tork metre yardımı ile koparılmaya çalışmasıdır.



Şekil 4.48. Kırılma Torku Testi ve Test Edilen Numuneler

Standartta, M8x1,25 cıvata için üreticinin sağlaması gereken kırılma - kopma torku en az 32 Nm olarak istenmektedir. Yapılan tork testleri Tablo 4.5 'de gösterilmiştir. Ortalama kırılma tork değeri 37,2 Nm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5. Gerçek Ürünün Kırılma Tork Değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kırılma Tork Değeri (Nm) - En az 32 Nm	37	38	36	36	37	37	38	38	38	37

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Paslanmaz çelik bağlantı elemanı üretimde proses geliştirmek için kalıp tasarımı ve paslanmaz çelik deformasyon özelliklerinin belirlenmesi için sayısal simülasyon destekli analizler gerçekleştirilmiştir. Tasarım doğrulama aşamasında prototip üretim ve testler gerçekleştirilerek aşağıda simülasyon ve mekanik özellik sonuçlarına ulaşılmıştır.

1. Simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde;
 - a. Akma mukavemeti değişimi; kafa bölgesi değerlendirildiğinde 1. operasyonda 700 MPa seviyesinde iken 3. operasyonda aynı bölgede 1100 MPa seviyesine çıkmıştır. Gövde - şaft bölgelerinde ise, 640 MPa 'dan son istasyonda 650 MPa 'a çıkmıştır. Aynı bölgede 2 kattan fazla strain artışı akma mukavemetinde lokal olarak 400 MPa artışa neden olmuştur. Şaft bölgesi olarak tanımlanan gövde kısmında ise 700 MPa seviyesindedir. Efektif stres değişimi; şekillendirmenin yoğun olduğu bölgede yani kafa bölgesinde 500 – 600 MPa arasındadır. Ovalama simülasyonu ile dış oluşturulan bölgedeki akma mukavemeti ortalama 675 MPa olarak görülmüştür.
 - b. Efektif strain değişimi; 1. operasyon kafa bölgesinde 0,70 iken 3. operasyonda 1,8 seviyesine yükselmiştir. Aynı operasyonların gövde - şaft bölgelerindeki strain değeri ise 0,25 'den 0,3 'e yükselmiştir.
 - c. Sıcaklık değişimi; soğuk şekillendirme prosesi oda sıcaklığında başlamış ve yaklaşık 300 °C 'ye yükselmiştir.
 - d. Temas basıncı değişimi; kafa altı bölgesinde yoğun olarak görülmekte ve ilk operasyonda 1800 MPa iken ikinci operasyonda yaklaşık 2350 MPa değerine yükselmiştir. Son operasyon çapaklama (kesme) operasyonu olduğu için ikinci operasyon kadar yoğun bir basınç değeri gözlenmemiştir.
2. Metalografik olarak değerlendirildiğinde; simülasyon sonuçları ile gerçek üretimdeki operasyon numunelerinin kafa ve gövde – şaft bölgelerindeki lif yönelmelerinin birbiri ile örtüştüğü görülmüştür.
3. Mekanik olarak gerçek ürün değerlendirildiğinde;

- a. Sertlik; Ortalama 250 HV10 olarak ölçülen saplama sertlik değeri, 1. operasyon kafa bölgesinde 320 HV10 'dan 2. operasyon kafa bölgesinde 340 HV10 'a ölçülmüştür. Gövde – şaft bölgesinde tüm operasyonların sertlik değeri ortalama 250 HV10 değerindedir. Ovalama sonrası gövde – şaft bölgesindeki sertlik değeri ortalama 265 HV10 olarak ölçülmüştür.
- b. Çekme Mukavemeti; ortalama 731 MPa olarak ölçülmüştür.
- c. Akma Mukavemeti; 691 MPa olarak ölçülmüştür.
- d. Tork değeri; ortalama 37,2 Nm olarak ölçülmüştür.

5.2. Gelecek Planı

Tez çalışması kapsamında simulasyon destekli üretimi gerçekleştirilen bağlantı elemanı, standart altı köşe başlı bir üründür. Proje kapsamında elde edilen teknik ve teorik kazanımlar ile paslanmaz çelik hammadde kullanılarak farklı kafa - gövde formuna sahip, karmaşık şekilli, yüksek katma değerli yeni ürünler üretilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Aran, A., Demirkol, M. İTÜ Makine Mühendisliği İmal Usulleri Ders Notları. İstanbul, 1995, 156.
- [2] Groover, M.P. Fundamentals of Modern Manufacturing. Ed: Michael McDonald, Massachusetts, 2010, 395-437.
- [3] Çapan, L. Giriş, Dövülebilirlik, Açık Kalıpta Dövme. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Seminer Notları, İstanbul, Türkiye, 1991, 5-7.
- [4] Sheljaskov, S. Current Level of Development of Warm Forging Technology. Journal of Materials Processing Technology. 1994, 46, 3-18.
- [5] Çapan, L. Metallerde Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, Türkiye, 1999, 144.
- [6] Callister W.D. Material Science and Engineering. Ed: John Wiley & Sons, Massachusetts, 2007, 975.
- [7] Dieter G.E. Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition, McGraw-Hill Book Co, London, 1988, 765.
- [8] Tekkaya, A.E. State-of-the-art of simulation of sheet metal forming. Journal of Materials Processing Technology. 2000, 103, 14-22.
- [9] Groche, P., Fritsche, D., Tekkaya, A.E., Allwood, J.M., Hirt, G., Neugebauer, R. Incremental Bulk Metal Forming. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2007, 56, 635-656.
- [10] İnce, U., Güden, M. Simulation Of The Cold Forging Process In Fastener Manufacture. III. International Scientific Technical Conference, 2008.
- [11] Erbil, E., İnce, U. Sayısal Benzetim Yöntemiyle Soğuk Dövme Uygulamaları. Mühendis ve Makina. 2010, 51(611), 9-22.
- [12] Tekkaya, A.E., Sonsöz, A. Life Estimation of Extrusion Dies. CIRP Annals. 1995, 44, 231-234.
- [13] Kılıçaslan, C., İnce, U. Civata Soğuk Dövme İşleminde Kalip Ömrünün Arttırılması: Dövme Kademe Tasarımının Etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2017, 21(5), 961-967.
- [14] İnce, U., Yavuzbarut, T. Impact of Simulations on Cold-Forging Designs. Forge. 2017, August, 16-19.
- [15] Hsu, Q.C., Lee, R.S. Cold Forging Process Design Based on the Induction of Analytical Knowledge. Journal of Materials Processing Technology. 1997, 69(1-3), 264-272.
- [16] Wagner, K., Putz, A., Engel, U. Improvement of Tool Life in Cold Forging by Locally Optimized Surfaces. Journal of Materials Processing Technology. 2006, 177, 206-209.
- [17] Geiger, M., Hansel, M., Rebhan, T. Improving the Fatigue Resistance of Cold Forging Tools by FE Simulation and Computer Aided Die Shape Optimization. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, 1992, 143-150.
- [18] MacCormack, C., Monaghan, J. 2D and 3D Finite Element Analysis of Three Stage Forging Sequence. Journal of Materials Processing Technology. 2002, 127, 48-56.
- [19] Neugebauer, R., Bouzakis, K.D., Denkena, B., Klocke, F., Sterzing, A., Tekkaya, A.E., Wertheim, R. Velocity Effects in Metal Forming and Machining Processes. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2011, 60(2), 627-650.

- [20] Hyunkee K., Altan T. Cold Forging of Steel - Practical Examples of Computerized Part and Process Design. Journal of Materials Processing Technology. 1996, 59(1-2), 122-131.
- [21] Güler, M.S., Şen, S. Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2015, 5(1), 56-66.
- [22] Mavi, A., Uzun, G. Dupleks 1.4462 Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi – Bölüm C: Tasarım ve Teknoloji. 2017, 5(3), 177-184.
- [23] Olsson, C-OA., Landolt, D. Passive Films on Stainless Steels - Chemistry, Structure and Growth. Electrochimica Acta. 2003, 48, 1093-1104.
- [24] Yang, W., Li Q., Xiao Q., Liang J. Improvement of Corrosion Protective Performance of Organic Coating on Low Carbon Steel by PEO Pretreatment. Progress in Organic Coatings. 2015, 89, 260-266.
- [25] Arrayago I., Real E. Experimental Study on Ferritic Stainless Steel Simply Supported and Continuous Beams. Journal of Constructional Steel Research. 2016, 119, 50-62.
- [26] Aran A., Temel M. A. Sarıtaş Teknik Yayınları No:1 - Paslanmaz Çelikler. Acar Matbaacılık A.Ş. İstanbul, 2004, 113.
- [27] <http://web.karabuk.edu.tr/myasar/demircelik/paslanmaz-celikler.html>, (Erişim: 10.09.2018)
- [28] Taşdemir. V. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinin İşlenebilirliğine Isıl İşlemin Etkisi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ, 2006, 89 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [29] http://www.ssina.com/download_a_file/fasteners.pdf, (Erişim:12.09.2018)
- [30] ASM Handbook Volume 1, Properties and Selection Irons Steels and High Performance Alloys, Desk Edition, Ohio, 2002.
- [31] Arslan, F.K. Soğuk İş Takım Çeliklerinde Sıfırlatı İşlem Derecesinin Mekanik Özelliklere Etkisi. Skarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2010. 118. (Yüksek Lisans Tezi)
- [32] Zeyneli, M. AISI H13 Sıcak İş Takım Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması ve İstatistiksel Proses Kontrol Metodunun Uygulanması. Erciyae Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2010, 26(4), 379-386.
- [33] Aygen, M. Die Stress And Friction Behaviour Analysis In Bolt Forming. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2006, 272. (Yüksek Lisans Tezi)
- [34] https://www.ceratizit.com/uploads/tx_extproduct/files/GD_KT_PRO-0272-0915_SEN_ABS_V1.pdf, (Erişim:12.09.2018)
- [35] <http://www.tungstencarbide-tools.com/sale-6135400-nut-forming-tungsten-carbide-cold-forging-dies-high-strength.html>, (Erişim:12.09.2018)
- [36] Öztürk, U. AISI 3343 Çeliği Kalıp Zımbalarının Kaplamasız, PVD Tekniği ile Tin ve CrN Kaplayarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2010, 109.
- [37] <http://www.ceviztakim.com/urunler.asp?katid=90>, (Erişim:12.09.2018)
- [38] Demirkol, M. İmal Usulleri – Plastik Şekil Verme Ders Notları. İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü. İstanbul, 2010, 150.
- [39] Çayiroğlu, İ. Bilgisayar Destekli Analiz Ders Notları. Karabük Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü. Karabük, 2015, 7.

[40] Karadağlı, Ö. Soğuk Dövmeye ile Üretimde Simülasyon Uygulamaları. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2014, 72. (Yüksek Lisans Tezi)

[41] Acıyan, A. Ovalam Yöntemi ile İç Vida Açma. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Ana Bilim Dalı, Konya, 2011, 75. (Yüksek Lisans Tezi)



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Alper BAYGUT
Doğum Yeri ve Yılı : Bursa, 1981
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alperbbe@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Erkek Lisesi, 1998
Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi, Met. ve Malz. Müh. Bölümü, 2005

Mesleki Deneyim

BOLT Bağlantı Elemanları San.Tic. A.Ş. 2006 - Halen

Yayınları

DURMUŞ, H., BAYGUT, A. Soğuk Dövme Yöntemi ile Üretilen Bağlantı Elemanındaki Kılcal Kafa ve Kılcal Vida Diş Yüzey Çatlaklarının Girdap Akımları Metodu ile Analizi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 2019, 4, 1, 28-36.

BAYGUT, A., BAŞDEMİR, V., ÇULHA, O. Soğuk Dövme Prosesi ile 20MnB4 Hammadde Kullanılarak Üretilen Civatanın Isıl İşlem Şartlarının Metalografik Ve Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2018, 6, 4, 837-845.

BAŞDEMİR, V., BAYGUT, A., ÇULHA, O. Soğuk Dövme Tekniği ile Bağlantı Elemanı Üretiminde Kullanılan Plastik Şekil Verme Teknolojileri. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2018, 7, 3, 18-28.

BAĞCI, T., BAYGUT, A., SÜRER, R., ÇULHA, O. Malzeme Kompozisyonunun Soğuk Dövme Prosesi Ve Son Ürün Üzerindeki Etkisinin Simülasyon Destekli Karşılaştırılması. Manisa Celal Bayar Üniversitesi 2. Uluslararası Üniversite - Sanayi İşbirliği Ar-Ge Ve İnovasyon Kongresi, Kasım 2018, Manisa

BAYGUT, A., ÇULHA, O. Plastik Şekil Verme Yöntemi İle Üretilen Olan Paslanmaz Çelik Bağlantı Elemanının Simülasyon Destekli Proses Tasarımı. Manisa Celal Bayar Üniversitesi 2. Uluslararası Üniversite - Sanayi İşbirliği Ar-Ge Ve İnovasyon Kongresi, Kasım 2018, Manisa

KARAKAYA, E., BAYGUT, A., AKTOKLUK, N., ÇULHA, O. Soğuk Dövme Yöntemi İle Üretilen Perçinin İstasyon Sayısının Azaltılması. Manisa Celal Bayar Üniversitesi 2. Uluslararası Üniversite - Sanayi İşbirliği Ar-Ge Ve İnovasyon Kongresi, Kasım 2018, Manisa

BAYGUT, A., SAKİN, A., BAĞCI, T., YAZICI, S., ÇULHA, O. Ovalama Prosesi Ve Talaş Kaldırma Prosesi Kullanılarak Oluşturulan M8x1,25 Vida Dişlerinin Mekanik Ve Metalurjik Özelliklerinin İncelenmesi. Otekon (9. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi), Mayıs 2019, Bursa

BAYGUT, A., KARAKAYA, E., AKTOKLUK, N., ÇULHA, O. Soğuk Dövme Yöntemi İle Üretilen Perçinin İstasyon Sayısının Azaltılması. Otekon (9. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi), Mayıs 2019, Bursa

BAYGUT, A., BARDAKÇI, S., BAŞDEMİR, V. Simulation Supported Process Design And Prototype Manufacturing Of Flanged External Torx Fastener. Manisa Celal Bayar Üniversitesi 1. Uluslararası Üniversite - Sanayi İşbirliği Ar-Ge Ve İnovasyon Kongresi, Aralık 2017, Manisa

BAYGUT, A., BAŞDEMİR, V., ÇULHA, O. Soğuk Dövme Prosesi İle 20MnB4 Hammadde Kullanılarak Üretilen Civatanın Isıl İşlem Şartlarının Metalografik Ve Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi. UMAS (Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu - Düzce Üniv.), Eylül 2017, Düzce

BAYGUT, A., BAŞDEMİR, V., ÇULHA, O. Soğuk Dövme Tekniği İle Bağlantı Elemanı Üretiminde Kullanılan Plastik Şekil Verme Teknolojileri. UMAS (Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu - Düzce Üniv.), Eylül 2017, Düzce