



# Alternatif Yöntemler ile Özel Burç Parça Üretimini Simülasyon Destekli Araştırılması

Alper Baygut<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>BOLT AR-GE (BOLT Bağlantı Elemanları San. Tic.A.Ş), Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4775-1066), [alper.baygut@bolt.com.tr](mailto:alper.baygut@bolt.com.tr)

(İlk Geliş Tarihi 22 Şubat 2023 ve Kabul Tarihi 25 Ağustos 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1255048)

**ATIF/REFERENCE:** Baygut, A. (2023). Alternatif Yöntemler ile Özel Burç Parça Üretimini Simülasyon Destekli Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (51), 142-152.

## Öz

Hammadde temini, seri üretim adetlerinde yaşanan problemleri en aza indirgeyebilmek ve alternatif hammadde arayışları ile düşük maliyetli üretimin gerçekleşmesi için ürün özelinde imalat yöntemi geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada; tüm kesit formları talaşlı imalat yöntemi kullanılarak üretilen özel bağlantı elemanının, alternatif üretim yöntemi olan soğuk dövme uygulaması ile talaşlı imalat destekli üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Alternatif tasarımlar değerlendirildiğinde özel burç bağlantı elemanının dış kesitindeki segman kanalı ve iç dış formu haricindeki tüm formların soğuk dövme prosesiyle üretimi için bilgisayar destekli simülasyon programı (simufact.forming) kullanılarak ürün-kalıp tasarımları oluşturulmuştur. Tasarımı yapılan ürün sonlu elemanlar yöntemi ile simüle edilmiş, tasarım doğruluğu incelenmiş ve prototip ürün üretilmiştir. Talaşlı imalat destekli soğuk dövme uygulaması ile yaklaşık %54 oranında hammadde tasarrufu ve dakikada 6 kat üretim artışı sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik Şekil Verme, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Talaşlı İmalat, Soğuk Dövme

## Simulation Supported Investigation of Special Bushing Parts Production with Alternative Methods

### Abstract

Product-exclusive process method development studies are carried out to minimize the problems experienced in the supply of raw materials, serial production numbers and to search for alternative raw materials and to realize low-cost production. In this study, the special fasteners, all cross-section forms of which are produced using the machining method, have been produced with the aid of machining with the cold forging application, which is an alternative production method. Considering alternative designs were evaluated, product - die designs were created using a computer-aided simulation program (simufact.forming) for the production of all forms except the piston ring channel and the internal thread form on the outer section of the special bushing fastener by cold forging process. The designed product was simulated with the finite element method, the design accuracy was examined and the prototype product was produced. Raw material savings was approximately 54% and 6 times per minute production rate increase was achieved by the machining supported cold forging application.

**Keywords:** Plastic Forming, Finite Element Method, Machining, Cold Forming.

\* Sorumlu Yazar: [alper.baygut@bolt.com.tr](mailto:alper.baygut@bolt.com.tr)

## 1. Giriş

Günlük ve endüstriyel ihtiyaçlarda kullandığımız makine, araç ve ekipman parçaları; döküm, talaşlı imalat, plastik şekil verme, toz metalurjisi gibi, farklı imalat yöntemleri ile üretilmektedir. Uygun kesiciler (takımlar) kullanılarak, istenilen ölçüsel standartlarda ürün elde edilme sürecine talaşlı imalat adı verilir (Duman, 2020).

Bir diğer yöntem olan plastik şekillendirme, malzemenin kimyasal kompozisyonunda ve hacminde değişikliğe sebep vermeden malzemeye farklı formda şekil verme yöntemidir. Plastik şekil verme yöntemi ile demir dışı metallere (Cu, Al, Zn ve bunların alaşımları) ek olarak, alaşımlı çelikler ve karbon çelikleri de şekillendirilebilir (Çapan, 1996).

Katı halde bulunan metalin şekillendirilmesi esnasında yırtılma, kopma ve kırılma gibi olumsuzluklar ile karşılaşılması için malzemenin soğuk dövülebilme yeteneği ve buna ilave olarak şekillendirme için ihtiyaç duyulan yük, basınç ve kuvvet seviyelerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Dövme işleminin başarılı sonuçlanması için malzeme özelliklerinin ve dövme parametrelerinin birbirine uyumlu olarak seçimi çok önemlidir (Çapan, 1996).

İş parçasının form verilmek için hazırlanmış kalıbın içinde sıkıştırılarak kalıp formunu aldığı şekillendirme türüne “soğuk şekillendirme” ya da “soğuk dövme” denir. Soğuk dövme yönteminde; ortam sıcaklığında metallere şekil vermek amacıyla metalin plastik özelliklerinden faydalanılır. Talaşlı imalat yönteminde, işlem süreleri daha uzun olması sebebiyle soğuk dövme yöntemine göre birim zamanda üretilen ürün adet sayısı çok daha düşüktür. Ayrıca parçadan çok fazla miktarda talaş kaldırılmakta ve bu da hammadde maliyetini yükseltmektedir. Günümüzde piyasa şartları göz önünde bulundurulduğunda ürün maliyetlerinin ve işleme sürelerinin düşürülmesi açısından soğuk dövme yöntemi, talaşlı imalat yöntemine göre avantajlı konumdadır. Ayrıca talaşlı imalat yöntemi ile üretilen parçaların lif yapılarında kesmeler söz konusu iken, soğuk dövme yönteminde liflerin kesilmeye uğramadan yönlendirilmesi sebebiyle parçanın mukavemet değerlerinde artış söz konusudur.

Dövme kontrol mekanizmaları ile (Flow Control Forming FCF) tasarlanan operasyon numunelerinin ve kalıpların her bir operasyona ait deformasyon ve şekillendirme ölçüleri kontrol edilerek dövme preslerinin malzeme üzerindeki etkisi görülmüştür. Bu etki simülasyon uygulamaları sonucu çıkan özellikler ile karşılaştırılarak parça ve operasyon tasarımlarında avantaj kazandırmıştır (Hsu vd., 1997). Metal şekillendirme işlemlerinin simülasyon uygulamalarının 1990’larda ticari anlamda kullanımı artış göstermesi ile gelişimi hız kazandı. Öne çıkan bazı simülasyon programları; Simufact Forming, Qform, Forge, Stampack, Deform şeklindedir. Metallerin şekillendirilmesinin simülasyonu ile ilgili gelişmeye yol açan ilk çalışma, ABD Hava Kuvvetleri tarafından desteklendi ve Kobayashi ile arkadaşları tarafından yürütülen sert-plastik FEM ile ilgili öncü çalışmalardan elde edildi (Kobayashi vd., 1989). Hyunkee ve Altan’ın gerçekleştirdikleri çalışmada, kütleli şekillendirme hakkındaki sektörel bilgilere ilave olarak literatürde bulunan soğuk şekillendirilmiş ürünler ile ilgili bilgiler yer almaktadır (Hyunke vd., 1996). Örnek olarak tasarlanmış bir parçanın operasyonlar arası geçişleri sırasında oluşan her bir operasyona ait ölçüsel ve mekaniksel proses sonuçları kayıt altına alınmış ve yazılımın kütüphanesine yüklenmiştir. MacCormack ve arkadaşının yürütmüş oldukları çalışmada iki-üç boyutlu kalıp ve ürün tasarım analizleri yapılmıştır (MacCormack vd., 2002).

Takım ömrünün bağlantı elemanı üretiminde dövme maliyeti üzerinde önemli bir etkisi vardır. Soğuk dövme takım maliyetleri, toplam üretim maliyetinin, standart parçalarda %10 ve özel parçalarda %40’ını kapsadığından, üreticinin rekabet gücünü artırmak için takım ömrünü iyileştirmek çok önemlidir (Bunge vd., 2000). Dövme pres kalıplarının değiştirilmesi, enerji kayıpları ve işçilik nedeniyle dövme presinin inaktif zamanını azaltmak da önemlidir. Bu noktada, metal dövme işlemlerine sonlu eleman simülasyonlarının hızlı uygulanması, kalıpların etkinliğini arttırmak amacıyla tasarım modifikasyonları yapmak için çok değerli hale gelmiştir. Metal şekillendirme endüstrisinde, araştırmalar çoğunlukla şekillendirme süreçlerinin sayısal modellenmesine odaklanmıştır (Knoerr vd., 1992).

Dövme kalıbı için kullanılacak olan malzeme ne kadar önemli ise, ürünün ve kalıpların tasarımları da bir o kadar önemlidir. Tasarımda yapılan yanlışlık ile kalıp ömrünün düşmesi söz konusudur. Yapılan tasarım yanlışlıklarının simülasyon programı kullanılarak tespit edilmesi ile üretimde karşılaşılabilecek hataların önüne önceden geçilecektir. Bu simülasyon yazılımları sayesinde gerçek üretimde makine duruş sürelerinde ve hurdaya gidecek olan parça sayısında azalma, enerji maliyetlerinde ve kalıp ömürlerinde iyileşme sağlanabilmektedir. Bu kapsamda Skov-Hansen ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş oldukları çalışmada soğuk dövme yöntemi kullanarak üretimini gerçekleştirdikleri parçanın kalıbında farklı hammadde ve farklı kalıp üretim yöntemleri kullanarak kalıp ömür analizi gerçekleştirmişlerdir (Skov-Hansen vd., 1999). Andreasa ve Merkleina’nın yapmış olduğu çalışmada soğuk dövme kalıplarında yüzey parlatma işleminin ve kalıp yüzeylerine yapılan kaplama işleminin takım ömrü ve performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir (Andreasa vd., 2014).

Kalıp ömürlerinin artması amacıyla değerlendirilmesi yapılan üç farklı yüzey işlem uygulaması sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılarak kalıp deformasyon yoğunluğunun en fazla olduğu bölgede incelenmiştir (Wagner vd., 2006). Vazquez ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise yorulma sebebiyle deforme olan tungsten karbür soğuk dövme kalıbının simülasyon ile kalıp analizi gerçekleştirilmiştir. Kalıp ömrünün artırılması için iki farklı yöntemin analiz edildiği çalışmada, ilk olarak kullanılan tungsten karbür alaşımı değiştirilerek daha sert bir malzeme kullanılmıştır. İkinci yöntemde ise farklı kalıp tasarımları simüle edilerek kalıp üzerine gelen yükler analiz edilmiştir (Vazquez vd., 2000). Geiger ve arkadaşları, plastik şekil verme uygulamalarında kullandıkları FEM analizi ile ekstrüzyon operasyonunda bulunan kalıbın boğaz bölgesinde meydana gelen yorulma direncini hesaplamışlardır (Geiger vd., 1992). FEM analizi destekli yapılan çalışmalar ile kesit formlarında değişiklikler yapılarak en az yorulma direnci için optimum form belirlenmiştir.

Soğuk dövme kalıplarının ömürlerinde kullanılan hammadde ve tasarımın uygunluğu dışında bir diğer parametre ise kalıp üretim yöntemleridir. Bu parametreyi değerlendirmek adına Lee ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş oldukları çalışmada 3 farklı türde (kafa hazırlama, altı köşe kafa formu oluşturma, dış torx ekstrüzyon) işlem gerçekleştiren soğuk dövme kalıplarının tungsten karbür çekirdek ile çelik zarfın farklı sıkı geçme oranları kullanılarak sayısal analiz yöntemi ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda kalıp üzerlerine etki eden gerilme değerleri kullanılarak her bir operasyona ait optimum sıkı geçme oranları tespit edilmiştir (Lee vd., 2009).

Bu çalışmada, hammadde temini sorunlarını azaltmak ve düşük maliyetli bir üretim prosesi ortaya koymak amacıyla ürün özelinde bir imalat yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda talaşlı imalat yöntemi kullanılarak üretilen bir bağlantı elemanının, soğuk dövme yöntemiyle üretilebilirliği araştırılmıştır. Bilgisayar destekli simülasyon programı kullanılarak ürün ve kalıp tasarımları oluşturulmuş, sonlu elemanlar prensiplerine dayalı olarak çalışan yazılım aracılığıyla tasarım doğruluğu incelenmiş ve gerçek ürün imalatı gerçekleştirilmiştir. Çalışma parçasının soğuk dövme yöntemi kullanılarak üretilmesi ile hammadde tasarrufu sağlanmış ve birim zamanda üretilen ürün sayısında önemli bir artış elde edilmiştir. Ayrıca, parçanın mekanik özelliklerinin geliştirilebildiği kanıtlanmıştır. Çalışma, gerçek üretim sürecinde oluşabilecek problemleri sanal ortamda hızlı bir şekilde çözmeye kolaylığı sağlayarak önemli bir maliyet avantajı sunmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Otomotiv sektöründe kullanılan özel burç parçasının üretimi talaşlı imalat prosesi ile gerçekleştirilmekte iken, karmaşık geometriye sahip parça üretim kabiliyetinin artması ile bu iş parçasının simülasyon destekli soğuk dövme ve talaşlı imalat destekli üretilmesi için ürün - kalıp tasarım çalışmaları yapılmıştır. Yapılan tasarımlar sonucunda söz konusu parçanın üst ve alt kısımlarında bulunan iç delikler, bu bölgelerde bulunan dış çekme işlemleri ve alt kısımda bulunan segman kanal kısmı haricindeki diğer kesitler soğuk dövme prosesinde elde edilmiştir.

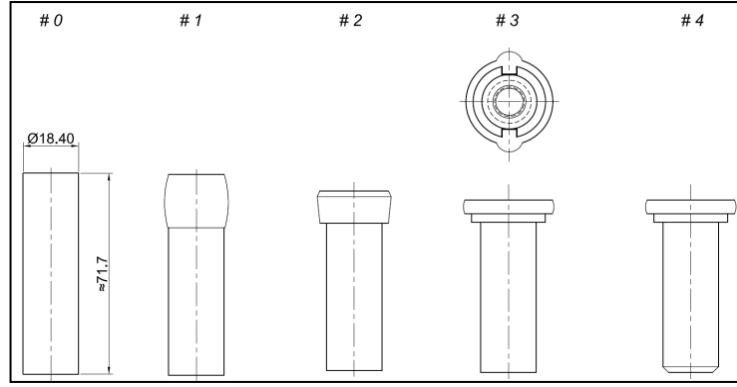
Soğuk dövme uygulamasında Tablo 1'de % kimyasal kompozisyonu verilmiş 20MnB4 (EN ISO 10263-4) hammadde kullanılmıştır.

Tablo 1. Hammadde Kimyasal Kompozisyonu (%) (Table 1. Comparison of raw material chemical composition (%))

Çelik Adı	20MnB4	
Çelik Numarası	1.5525	
C	0,18-0,23	0,21
Si (max)	0,3	0,09
Mn	0,9-1,2	1,04
P (max)	0,025	0,005
S (max)	0,025	0,009
Cr (max)	0,3	0,18
Cu (max)	0,25	0,04
B	0,0008-0,005	0,0036
Not	EN ISO 10263-4 STANDARDI	KULLANILAN

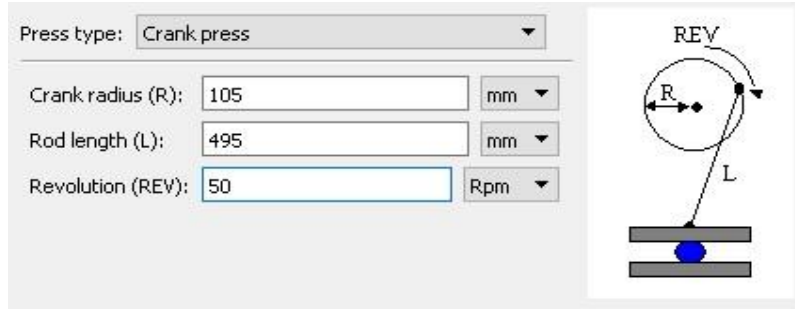
Özel burç parçası talaşlı imalat yöntemi ile üretilirken parçanın en büyük dış çapından bir miktar daha büyük çapta hammadde kullanılmaktadır. Parçanın nihai formunu oluşturmak için parça üzerinden çok miktarda talaş kaldırılmaktadır. İlk işlenmemiş hammadde kütlesi 330 g iken, iç delik delme ve segman kanalı işleme operasyonları tamamlanmamış seviyedeki talaşlı imalatta üretilen parça yaklaşık 150 g'dır.

Parçanın soğuk dövme ile yapılacak olan üretimi için yapılan tasarımda, malzemenin şekil alabilme kabiliyeti ve operasyon adımları arasındaki geçişler göz önünde bulundurulmuştur. Bu tasarım ürün üzerindeki ölçüler ve toleranslar dikkate alınarak, son operasyondan şekillendirilecek olan hammaddeye kadar her operasyonda hacim sabitliği ilkesi kullanılarak, herhangi bir malzeme kaybı olmayacak şekilde yapılmıştır. Şekil 1'deki operasyon kartında görüldüğü üzere, soğuk dövme prosesinde özel burç parçasının 4 operasyonda üretilmesi planlanmıştır.



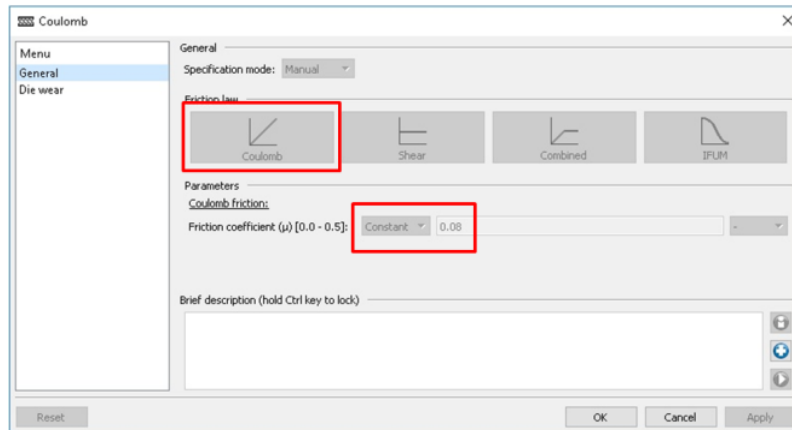
Şekil 1. Soğuk Dövme Prosesi Operasyon Kartı (Figure 1. Cold Forging Process Operation Card)

Birinci operasyon adımında kafa formuna ön hazırlık olan kafa hazırlama işlemi öngörülmüştür. İkinci operasyon adımında kafa formu şekillendirilmiştir. Üçüncü operasyon adımında parçaya, kafa altında bulunan özel form verilmiştir. Son operasyon adımında ise parçanın uç kısmında pah kırma işlemi tasarlanmıştır. Simülasyon programı için tüm işlem adımlarına ait kalıpların katı modelleri oluşturulmuştur. Pres makine özellikleri, hammadde özellikleri, sürtünme modeli ile katsayısı ve ortam sıcaklığı gibi üretim parametreleri simülasyon programında tanımlanmalıdır. Dövmede kullanılması öngörülen pres makinesinin parametreleri Şekil 2’deki gibi programa girilmiştir.



Şekil 2. Krank Pres Özellikleri (Figure 2. Crank Press Spect.)

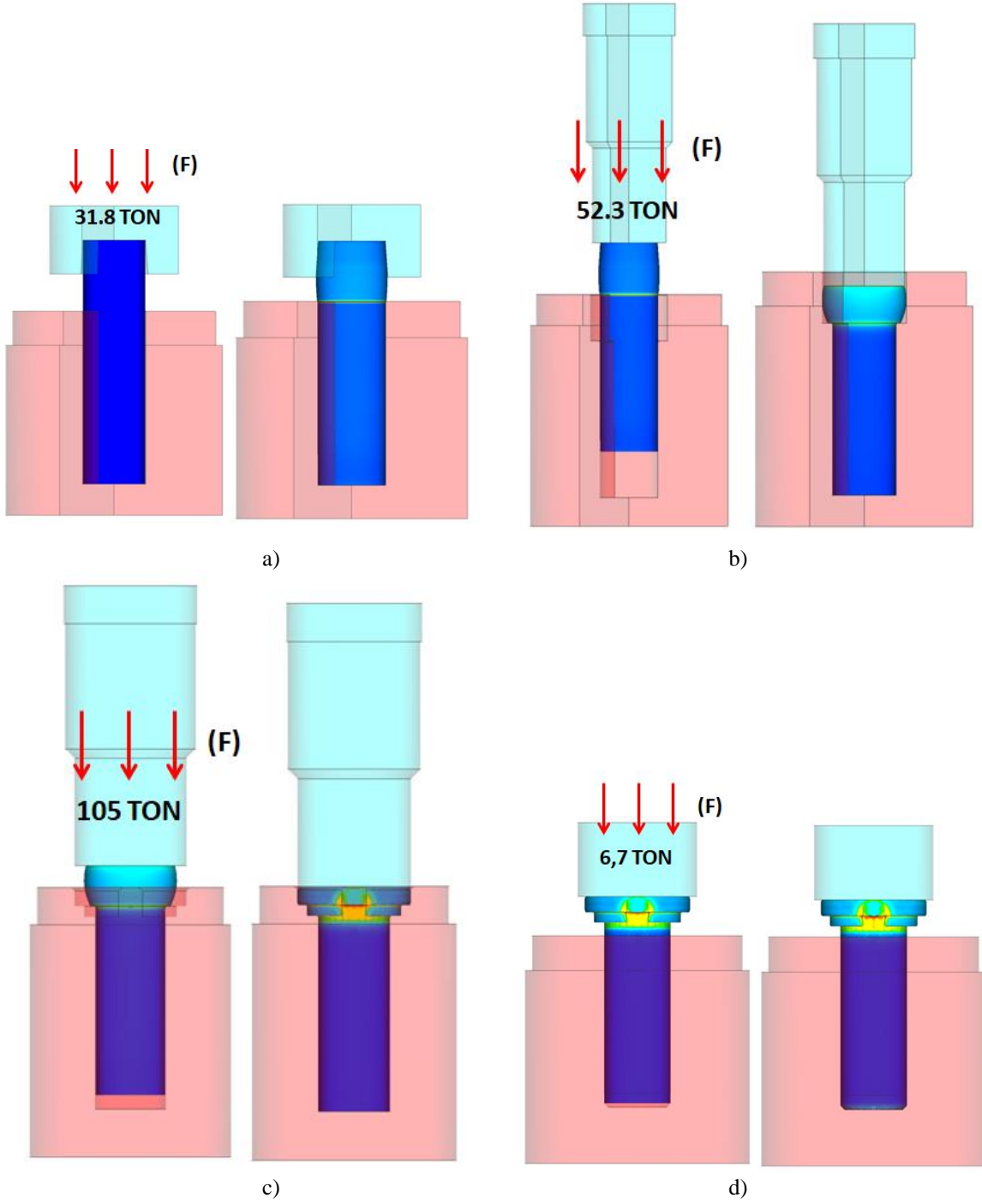
Simülasyon programında sürtünme modeli ve katsayısı için Şekil 3’te gösterilen yazılım penceresinde 0.08 Coulomb değeri girilmiştir.



Şekil 3. Sürtünme Modeli ve Katsayısı (Figure 3. Friction Model and Coefficient)

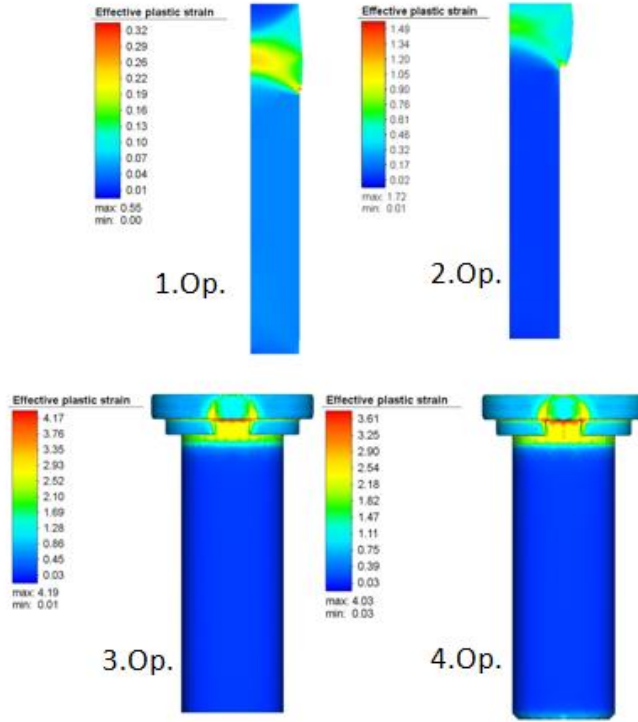
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Operasyon ve kalıp tasarımı tamamlanmasının ardından simülasyon programı ile yapılan tasarımın doğrulanması amaçlanmıştır. Değerlendirme sonrasında herhangi bir olumsuz sonucun simülasyon programında tespit edilmesi gerçek üretim aşamasında tespit edilmesinden çok daha avantajlıdır. Bu şekilde ayar sürelerinde, kalıp maliyetlerinde ve ayar hurda miktarının azaltılmasında fayda sağlanacaktır. Şekil 1’de oluşturulan operasyon ve kalıp tasarımı, Simufact Forming programına aktarılmış, yazılım kütüphanesinden 20MnB4 malzeme seçilmiş ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her bir operasyonda gerekli olan dövme yükü Şekil 4’de gösterilmiştir. Dört operasyon için toplamda yaklaşık 200 ton dövme yükü gerekli olduğundan makine seçiminde bu değer dikkate alınmıştır.



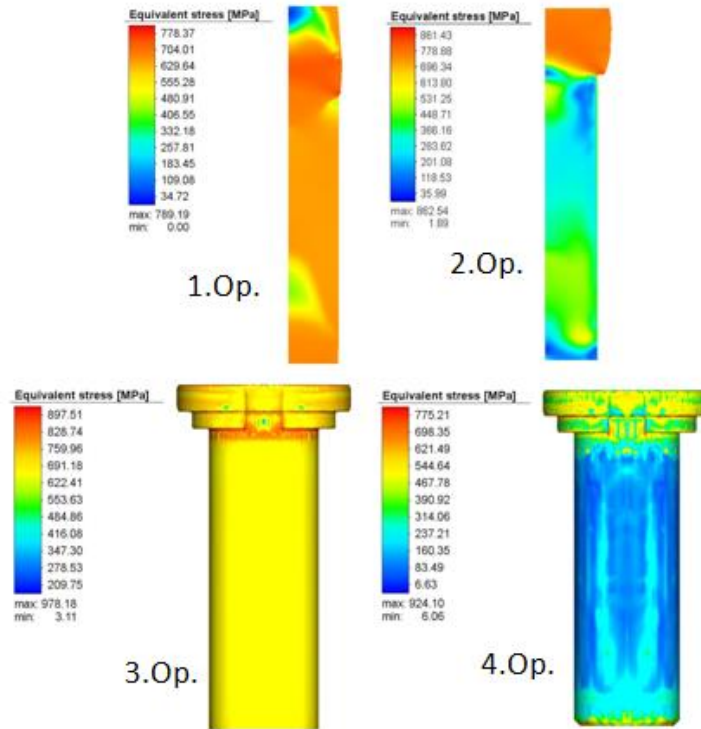
Şekil 4. Operasyonların Simülasyon Sonuçları a)1. Operasyon b)2. Operasyon c) 3. Operasyon d)4. Operasyon  
(Figure 4. Operation Simulation Results a)1. Operation b)2. Operation c)3. Operation d)4. Operation)

Dövme yükleri ile efektif plastik şekil değişimi (Effective Plastic Strain) değerleri Şekil 5’de gösterilmiştir. Buna göre, operasyonların deformasyon miktarı sırası ile 0,3, 1,4, 3,9 ve 0,7 olarak görülmüştür.



Şekil 5. Operasyonların Efektif Plastik Şekil Değişikliği Değerleri (Figure 5. Effective Plastic Strain Distributions of Operations)

Şekil 6'da verilen operasyonlara ait eşdeğer gerilme (equivalent stress) değerleri incelendiğinde, gerilim miktarları sırası ile skalada en yüksek seviye 730, 815, 780, ve 415 MPa ölçülmüştür.



Şekil 6. Operasyonların Eşdeğer Gerilim Değerleri (Figure 6. Equivalent Stress Distributions of Operations)

Soğuk dövme prosesinin simülasyonunda deformasyon miktarı, gerinim, kalıp ile iş parçası kontak yüzey bölgeleri, malzeme akış hızı ve iş parçasını şekillendirmek için gerekli olan dövme kuvvet miktarı gibi sonuçlar prosesi değerlendirmek adına büyük önem arz etmektedir (Zhuang vd., 2017; Abhari, 2017). Deformasyon miktarı, hızı ve sıcaklığına bağlı olarak, malzemenin mukavemetinde artış elde edilirken, şekil alabilirlikte azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle deformasyon miktarının incelenmesi önem arz etmektedir (Baygut vd., 2022). Ayrıca, plastik şekil verme işleminde malzeme akış hızı da önemli parametreler arasında yer almakta ve iş parçasının mukavemeti üzerinde etkili olmaktadır (Çapan, 2003). Dövme kuvveti malzemede plastik deformasyonun



gerçekleşebilmesi ve mekanik özelliklerin geliştirilebilmesi için kritik faktörlerden biridir. Bu faktörün plastik deformasyonun meydana gelebilmesi, mekanik özelliklerin geliştirilebilmesi ve kalıp ömrünün azalması gibi olumsuzlukların önlenmesi için en uygun şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir (Kılıçaslan vd., 2016).

Özel burç parçasının simülasyon sonucunda kritik kesit değişim bölgelerinden alınan maksimum değerler Tablo 2’ de verilmiştir. En yüksek deformasyon miktarı 2. ve 3. operasyonlarda meydana gelmiştir. Deformasyon miktarları sırasıyla 1,4 ve 3,9 seviyesindedir. Artan deformasyon miktarına bağlı olarak, her iki operasyonda parça üzerinde oluşan gerilim miktarı artış göstermiş olup, gerilim değerleri sırasıyla 815 ve 780 MPa’dır. Deformasyon ve gerilimin bir fonksiyonu olarak, malzeme akış hızı 2. operasyon için 220, 3. Operasyon için 205 mm/s olarak gözlemlenmiştir. En yüksek deformasyonun meydana geldiği 3. operasyonda dövme kuvveti 105 ton olarak belirlenmiştir. Son operasyonda meydana gelen plastik deformasyonun 0,7 seviyesinde olması, tüm sonuçların birbiri ile ilişkili olduğu düşünüldüğünde; gerilim, akış hızı ve dövme kuvvetinin diğer operasyonlara göre düşük olmasıyla sonuçlanmıştır. 4. operasyon için bu değerler sırasıyla 415 MPa, 50 mm/s ve 6,7 ton olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Simülasyon Sonuçları (Table 2. Simulation Results)

Operasyon Adımı	Deformasyon Miktarı	Gerilim (MPa)	Akış Hızı (mm/s)	Dövme Kuvveti (Ton)
1	0.3	730	104	31.8
2	1.4	815	220	52.3
3	3.9	780	205	105
4	0.7	415	50	6.7

Simülasyon programından elde edilen sonuçlar ile yapılan tasarımın değerleri karşılaştırıldığında sınır şartları kapsamında örtüştüğü tespit edilmiştir.

Simülasyon çıktılarının uygun olduğu görülmüş ve prototip üretim faaliyetleri gerçekleştirilmiş olup Şekil 7’de görülen operasyon numuneleri elde edilmiştir.



Şekil 7. Prototip Üretim Operasyon Numuneleri (Figure 7. Prototype Production Samples of Operations)

Operasyon numuneleri tasarım ve simülasyon çıktıları ile şekil benzerliği olarak Şekil 8’ de, ölçüsel benzerlik için ise Tablo 3’ deki gibi incelenmiştir.



Şekil 8. Tasarım, Simülasyon, Üretim Görselleri (Figure 8. Design, Simulation, Production Visuals)

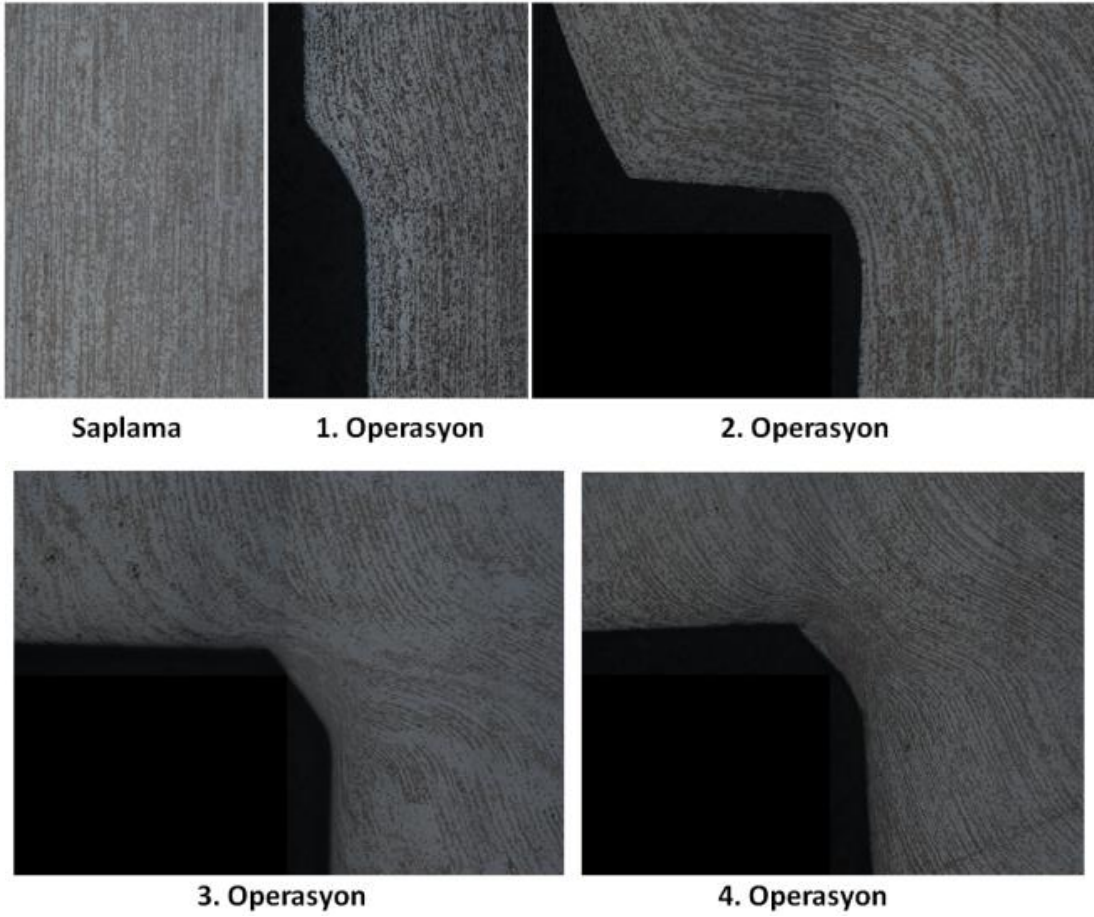
Simülasyon çalışmaları ve gerçek üretim faaliyetlerinden elde edilen numuneler üzerinde, tasarım çalışmaları dikkate alınarak karşılaştırmalı ölçüsel kontroller gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Bu kapsamda, her iki yöntemde üretilen numune geometrilerinin ölçüsel tolerans değerleri aralığında kaldığı ve tasarım çalışmalarında belirlenen ölçüler ile isterler kapsamında benzer olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle simülasyon çalışmalarından ve gerçek üretim uygulamalarında elde edilen numunelerin geometrileri sınır şartlarının içindedir.

Tablo 3. İsterler, Tasarım, Simülasyon, Prototip Çıktılarının Ölçüsel Karşılaştırması (mm)  
(Table 3. Dimensional Comparison of Requirements, Design, Simulation, Prototype Outputs (mm))

Açıklama	Teknik Resim	Tasarım	Simülasyon Çıktısı	Prototip Ürün	Sonuç
A	19 ±0,1	19	19,01	19,07	Uygun
B	30 ±0,2	30	29,9	30,1	Uygun
C	59,2 ±0,2	59,2	59,15	59,21	Uygun
D	19 -0,1	18,9	18,94	18,95	Uygun
E	0,5x45°	0,5x45°	0,5x45°	0,5x45°	Uygun

Malzeme akışının optik mikroskop altında gözlemlenebilmesi için, operasyonlar sonrasında elde edilen numuneler, metalografik hazırlık işlemlerinin ardından, %3 Nital ( $\text{HNO}_3 + \text{CH}_3\text{OH}$ ) çözeltisi ile dağlanmıştır. Simülasyon ve gerçek üretim aşamasında her bir operasyonun lif akışı ve yönlendirmeleri incelenmiştir. Şekil 9'da optik mikroskop ile incelenen gerçek parça kesitlerinde herhangi bir lif katlanması, yırtılma ve bozuk lif akışı gözlemlenmemiştir.





Şekil 9. Operasyonlar Sonucu Elde Edilen Numunelerde Malzeme Akışına Ait Optik Mikroskop Görüntüleri (200X)  
(Figure 9. Optical Microscope Images of Material Flow in Specimens Obtained as a Result of Operations (200X))

Soğuk dövme prosesi ile yapılacak üretim için yapılan tasarımın simülasyonu ile doğrulanması sonucunda prototip üretim faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarım ile birlikte özel burç parçası soğuk dövme işleminde 4 operasyon adımı sonucunda nihai şekline ulaşacaktır. Yapılan üretim sonucunda her bir operasyon adımına ait görsel Şekil 7’deki gibidir.

Soğuk dövme prosesi ile üretilen özel burç parçasının ilk hammadde kütlesi ile son operasyondan çıkan nihai ürünün kütlelerinin eşit olduğu Tablo 4’te gösterilmiştir. Talaşlı imalat ile yapılan üretimde, soğuk dövme prosesinden çıkan 4. operasyon parçasının şekline ulaşabilmesi için kullanmış olduğu hammaddeden yaklaşık 180 g (330 g – 150 g) talaş kaldırması gerektiği açıkça gözükmemektedir.

Tablo 4. Talaşlı İmalat Prosesinde ve Soğuk Dövme Prosesinde Üretilen Parça Kütle Karşılaştırması (g)  
(Table 4. Comparison of Part Produced in Machining Process and Cold Forging Process (g))

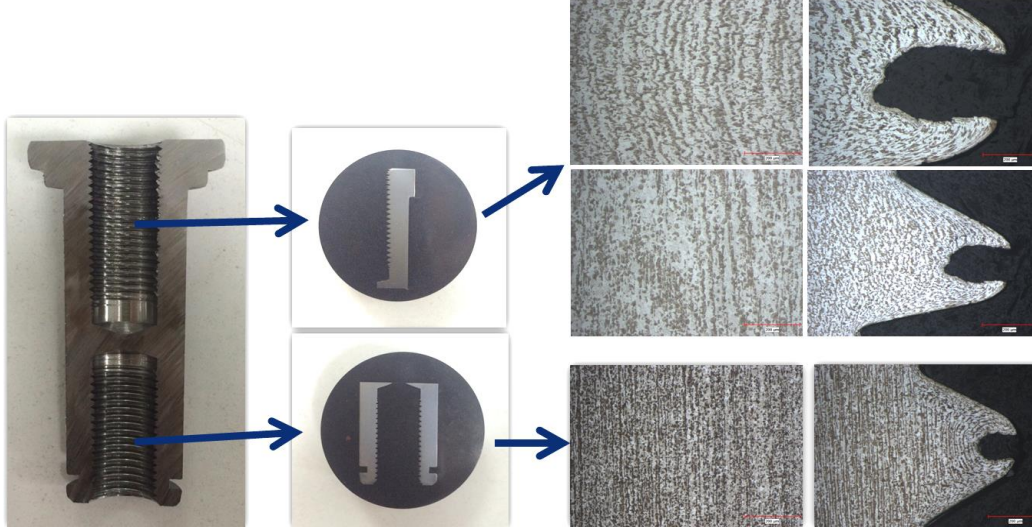
Proses	Saplama (İşlenmemiş Parça)	İç Delik Delme ve Kanal Açma İşlemi Yapılmamış Parça
Talaşlı İmalat	329,8	152,5
Soğuk Dövme	149	149

Özel burç parçasının soğuk dövme yöntemi ile şekillendirilmesi hammadde tasarrufuna ilave olarak, işlem süresinin kısalmasını sağlamıştır. Parçanın tamamı talaşlı imalat prosesi ile üretilirken 60 saniyede yaklaşık bir parça üretilmekteydi. Talaşlı imalat desteği ile soğuk dövme prosesinin üretim sürecine dahil olması sonucunda, parça soğuk dövmede dakikada yaklaşık 50 adet ürün üretilmekte; ancak parçada segman kanalının açılması, iç diş çekme ve iç delik delme işlemlerinin gerçekleşmesi için talaşlı imalat desteğine ihtiyaç duyulması sebebiyle bu işlemler için de dakikada yaklaşık 6 adet parça işlenebilmektedir. Son üretim yönteminin birim zamanda üretilen adet miktarını en yavaş proses baz alınarak değerlendirilmelidir. En son durumda nihai üründen dakikada yaklaşık 6 adet üretilmektedir.

Soğuk dövme prosesinde liflerin kesilmeden yönlenebilmesi sebebiyle parçada “deformasyon sertleşmesi” olarak adlandırılan mukavemet artışı meydana gelir. Yapılan sertlik taraması sonucunda ilgili standart olan EN ISO 18265 standardında bulunan mukavemet – sertlik çevrimlerinden parçanın mukavemet değerlerine ulaşılmıştır. Talaşlı imalat yöntemi kullanılarak üretimi

gerçekleştirilen parçanın çekirdek sertlik değeri 135 HV10 olarak ölçülmüş ve sertlik – mukavemet çevrim tablosunda 430 MPa mukavemet değerine ulaşılmıştır. Soğuk dövme yöntemi kullanılarak üretilen parçanın çekirdek sertliği ise 201 HV10 ölçülmüş ve ilgili standarttan yapılan çevrim ile 642 MPa mukavemet değerine ulaşılmıştır.

Şekil 10'daki mikroyapı incelemesinde özel burç parçasının iç diş çekme işleminin bakalite alma prosesi ile kontrol edilmiştir. Diş uçlarında parçanın kılavuz çekme prosesiyle oluşturulması sebebiyle girintiler mevcuttur.



Şekil 10. İç Diş Bölgelerinin Mikroyapısı (Figure 10. Microstructure of Internal Thread)

#### 4. Sonuç

Üretim prosesinin sonlu elemanlar analiz yöntemi ile simüle edilmesi; üretim aşamasında karşılaşılabilecek olan problemlerin çok daha kısa sürede sanal ortamda giderilme kolaylığı sağlamaktadır. Böylelikle, gerçek üretim sırasında ortaya çıkan enerji, harcanan zaman ve iş gücü kaybı en aza indirilmektedir. Günümüz koşullarında hammadde ve enerji maliyetlerinin yükselmesi sebebiyle bu maliyetlerde yapılacak iyileştirmeler büyük önem arz etmektedir.

Özel burç parçasının soğuk dövme yöntemi ile üretilmesi sonucunda yaklaşık %54'lük hammadde sarfiyatının önüne geçilecektir. Piyasadaki küresel rekabet koşulları göz önünde bulundurulduğunda her bir parçanın üretim maliyetlerinde yapılacak küçük bir iyileştirme dahi büyük önem arz etmektedir. Hammadde sarfiyatının azaltılmasının yanında, üretilen parça sayısında dakikada 6 kat üretim artışı sağlanmıştır.

Simülasyon çalışmaları ve prototip üretim faaliyetleri sonucunda elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen ölçüsel kontrollerin ardından, her iki ortamda elde edilen numunelerin geometrilerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Talaşlı imalat ile imal edilen iş parçalarının çekirdek sertlik değeri 135 HV10, soğuk dövme yöntemi ile imal edilen parça için 201 HV10 olarak tespit edilmiştir. EN ISO 18265 standardına göre gerçekleştirilen mukavemet-sertlik çevrimleri ile parçaların mukavemet değerleri belirlenmiş olup, talaşlı imalat ve soğuk dövme yöntemleri ile imal edilen parçalar için bu değerler sırasıyla, 430 ve 642 MPa olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, ilgili parçanın üretiminde soğuk dövme yönteminin kullanılmasıyla, deformasyon sertleşmesi sayesinde mukavemette yaklaşık %49 oranında bir gelişme sağlamıştır.

#### Kaynakça

- Abhari, P. (2017). Numerical simulation of cold forging process with enclosed dies to avoid folding defect in forming shape, *Mechanics and Advanced Technologies*, Volume 80, pp. 71-77.
- Andreas, K., Merkleina, M. (2014). Influence of surface integrity on the tribological performance of cold forging tools, 2nd CIRP Conference on Surface Integrity, 13, 61-66.
- Baygut, A., Çulha, O., Yağcı, T. (2022). Ön deformasyona uğratılmış hammadde kullanılarak paslanmaz çelik bağlantı elemanının simülasyon destekli soğuk dövme üretimi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24(72), 689-702.
- Bunge, H. J., Pöhlandt, K., Tekkaya, A. E., Banabic, D. (2000). *Formability of Metallic Materials*.
- Çapan, L. (1996). Plastik Şekil Verme, *TMMOB Makine Mühendisliği El Kitabı*, 2, 170, pp.32-61.
- Çapan, L. (2003). *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, 144.
- Duman, M. (2020). Fikstür ve Aparatların Yazılım Otomasyonunun Talaşlı İmalat Yapan Bir Firmada Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

- Geiger, M., Hansel, M., Rebhan, T. (1992). 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, 06, pp. 143-150.
- Hsu, Quang-Cherng., Lee, Rong-Shean. (1997). Cold forging process design based on the induction of analytical knowledge , Journal of Materials Processing Technology, Volume 69, Issues 1-3, pp.264-272.
- Hyunkee, K., Altan, T. (1996). Cold forging of steel -practical examples of computerized part and process design, Journal of Materials Processing Technology, Volume 59, Issues 1-2, 15, pp.122-131.
- Kılıçaslan, C., İnce, U. (2016). Soğuk dövme kalıplarında meydana gelen kırılma sebeplerinin nümerik olarak incelenmesi, Mühendis ve Makina, 57, 678, pp. 65-71.
- Knoerr, M., Lee, J., Altan, T. (1992). Application of the 2D finite element method to simulation of various forming processes, Journal of Materials Processing Technology, 33, pp.31-55.
- Kobayashi, S., Oh, S., Altan, T. (1989). Metal Forming and the Finite Element Method, Journal of Materials Shaping Technology, 8, pp. 65-65.
- Lee, H.C., Saroosh, M.A., Im, Y.T. (2009). The effect of shrink fitting ratios on tool life in bolt forming processes, Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issues 8, pp. 3766-3775.
- MacCormack, C., Monaghan, J. (2002). 2D and 3D finite element analysis of three stage forging sequence, Journal of Materials Processing Technology, 2002, pp. 48-56, 2002.
- Skov-Hansen, P., Bay, N., Grønbaek, J., Brøndsted, P. (1999). Fatigue in cold-forging dies: tool life analysis, Journal of Materials Processing Technology, Volume 95, Issues 1-3, pp. 40-48, 1999.
- Vazquez, V., Hannan, D., Altan, T. (2000). Tool life in cold forging- an example of design improvement to increase service life, Journal of Materials Processing Technology, Volume 98, Issues 1, pp. 90-96.
- Zhuang, W., Han, X., Hua, L. (2017). Differences between traditional cold forging and cold orbital forging of a spur bevel gear”, Procedia Engineering, Volume 207, pp. 442-447.
- Wagner, K., Putz, A., Engel, U. (2006). Improvement of Tool Life in Cold Forging by Locally Optimized Surfaces, Journal of Materials Processing Technology, pp. 206-209.