Araştırma Makalesi
Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Cilt 4, Sayı 2

Geliş Tarihi: 14.06.2021
Kabul Tarihi: 02.11.2021

dergipark.gov.tr/bufbd

Bağlantı Elemanı Üretiminde Şekil Verme Yöntemindeki Bağımlı ve Bağımsız Değişkenlerin İncelenmesi

Alper BAYGUT*, Murat MERMER, Semih Çağlar TAŞ

BOLT AR-GE Merkezi

Anahtar Kelimeler

Soğuk Dövme, Kalıp Analizi, Soğuk Şekillendirme, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Özet

Bu çalışmada, ürün üretiminde soğuk şekil verme için bağımsız değişkenlerden olan malzeme ve kalıp geometrisine, işlem hızına ve deformasyon miktarına, bağımlı değişkenlerden ise deformasyon esnasındaki malzeme akışına ve boyut hassasiyetine odaklanılmıştır. CAD yazılımları ile ürünün operasyonları için gerekli tüm kalıp tasarımları üç boyutlu ortamda gerçekleştirilmiş olup simülasyon programına aktarımı yapılarak detaylı mesh yapısı oluşturulmuştur. Hammadde (tel) olarak işleme başlanılmış ve istasyonlar arası şekillenen ürün aktarımı yapılarak nihai sanal ürün elde edilmiştir. Elde edilen veriler ile farklı optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Hammadde stress-strain diyagramları incelendiğinde, ürünün kalıpta daha yüksek adetlerde üretilebilmesi amacıyla simülasyon destekli yapılan optimizasyon çalışmalarıyla nihai üründe deformasyon ile oluşan strain değeri yaklaşık %18 değerinde azaltılmış ve buna bağlı olarak kalıp gerilmelerinin yaklaşık %40 azaldığı ve kalıp performansının arttığı görülmüştür.

Investigation of Dependent and Independent Variables in Forming Method in Fastener Production

Kerwords:

Cold Forming, Die Analysis, Finite Element Method

Abstrtact

In this study, material and die geometry, which are the independent variables for cold forming in product production, processing speed and deformation amount, and the dependent variables, material flow during deformation and size sensitivity are focused. With CAD software, all the die designs required for the product's operations were made in three-dimensional environment, and a detailed mesh structure was created by transferring it to the simulation program. Processing was started as raw material (wire) and the product was transported by shaping between stations and the final virtual product was obtained. Different optimization studies were made with the data obtained. When the raw material "stress-strain" diagrams were examined, it was observed that the strain value formed by the deformation in the final product was reduced by about 18% with the simulation-supported optimization studies in order to produce the product in higher quantities in the die, and accordingly the die stresses decreased by about 40% and the die performance increased.

1 GİRİŞ

Soğuk dövme malzemenin plastik şekil alma özelliği kullanılarak uygulanan bir üretim yöntemidir. Sac ve kütle şekil vermek olarak iki grupta sınıflandırılan bu yöntem ayrıca uygulanan kuvvet çeşidine göre de beş farklı alt gruba ayrılmaktadır [1,2]. Bu üretim alternatifi; hammadde sarfiyatının az olması, dar toleranslı ölçülerin elde edilmesi, ürün üzerinde istenmeyen (tufal, takım izi vb.) yapıların oluşmaması, yığın üretime uygun olması gibi avantajlar nedeni ile bağlantı elemanı üretiminde genellikle tercih edilen yöntemdir.

*e-Posta: alper.baygut@bolt.com.tr

Soğuk dövme için en uygun maliyetli parça ağırlığı 5 kg ve altıdır. Malzeme seçimi olarak değerlendirildiğinde; düşük alaşımlı ve karbonlu çeliklerden 300 ve 400 serisi paslanmaz çeliklere, bazı alüminyum alaşımları, pirinç ve bronza kadar çeşitlilik göstermektedir [3].

Örneğin net ağırlığı 350/400 gr olan bir iş parçası için soğuk dövme hammadde gramajı değişmezken sıcak dövme yöntemi ile üretimde 800/900 gr ve talaşlı imalat yöntemi ile üretimde 1000 gr hammaddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Verilen gramaj örnekleri parçanın farklı kesitlerinin ölçülerine göre değişkenlik göstermektedir. Üretim hızı olarak değerlendirildiğinde soğuk dövme uygulamasının işlem hızı talaşlı imalat uygulamasına göre %70 - %80 oranında avantajlı olmaktadır. Soğuk dövme ile parça üretimi sağlanan bu faydalarla birlikte özellikle yığın üretimde tercih edilme sebebidir [4-7].

Bir metalin plastik olarak şekil alabilme özelliği iyi bilindiğinde şekil verme sırasında malzeme sürekliliği bozulmadan yırtılma, lif yapılarının katlanması gibi istenmeyen formların yada yapıların oluşmasının önüne geçilmektedir. Metalin bahsedilen özelliği ile birlikte dövme presinin özellikleri de (pres kuvveti, pres basıncı, devir sayısı vb.) şekil verme için önemli parametredir. Operasyon tasarımı ve makine seçimi yaparken malzeme ve makine özellikleri birlikte değerlendirilmek zorundadır [8].

Bağlantı elemanlarının soğuk şekillendirilmesinde, parçanın üretkenliği kalıp tasarımına ve buna bağlı olarak dövme dizisi (operasyon) tasarımına bağlıdır. Takım boyutları, malzeme seçimi veya aparatların ısıl işlemleri doğru yapılmazsa, dövme yükü altındaki arızalar kaçınılmaz olacaktır. Ayrıca yüzey kalitesi gibi üretim parametreleri de şekillendirilmiş parça yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Buda kalıpların verimsiz olmasına dolayısı ile ürün maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Civata şekillendirmede, kalıp maliyeti toplam maliyetin yaklaşık% 20 'sini oluşturur. Ayrıca, kalıp arızalanması durumunda, değiştirme sırasında üretimin durması üretim verimliliğini olumsuz etkileyerek zaman kaybına neden olur ve dolaylı maliyet artışına sebebiyet verir. Bu yüzden takım ömrünü mümkün olan en uzun ekonomik fayda elde etmek için optimum tasarım gereklidir [9].

Kalıp hasarı, soğuk dövme yöntemi ile şekil vermedeki temel tehlikedir. Kalıp (takım) değiştirmedeki yüksek maliyetlerin yanında kırılan kalıbın üretim presinde neden olabileceği hasarlar ve ayrıca iş sağlığı güvenliği anlamında da ilave risk teşkil etmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi gibi gelişmiş stres ve gerinim tahmini teknikleri kullanılarak dövme gücünden ve ayarsızlığından kaynaklı kırılmalar en aza indirilebilir. Ancak kalıp çalışmasında meydana gelecek olan ikinci bir kırılma türü olan yorulma kırılması da oluşabilmektedir. Mekanik ve termal yüklerin toplamı kritik eşik değerini aştığında kalıpta kırılma beklenmektedir [10].

Parçadan tüme yönlenme sistemine dayanan sonlu elemanlar yönteminin kullanım alanı genellikle gerilme analizleridir. Sonlu eleman olarak adlandırılan yapı; üç boyut veya iki boyutlu formların bir kesiti yada bir bölgesidir [11].

Sonlu elemanlar yöntemi kullanımı ile üretimde (metal form verme) zaman verimi, kalite artışı, maliyet düşürme gibi iyileşmeler elde edilmiştir. Simülasyon yazılımları ile soğuk şekillendirme yönteminde hammadde mikroyapı yönlenmelerini (lif akışı) görme, hataları tespit etme, takım gerilmeleri ve pres kuvvetlerini öngörmede yardımcı olunmaktadır. İstenmeyen gerilme dağılımlarının hesaplanabileceği gibi kalıpların kaç adet parça üretebileceği yada parça üretemeyecek konuma ne zaman geleceği hakkında ön bilgi de elde edilebilmektedir [12].

Simufact.forming FEM yazılımı ile soğuk şekil verme prosesinde takım hasarları incelenerek operasyon tasarımları optimize edilmiş ve kalıpların üzerinde oluşan gerilmeler en az seviyeye düşürülerek prosesin verimli olması sağlanmıştır [13]. Dövme prosesinde kalıplar üzerinde yüksek olan deformasyon kesitleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmiş, bu kesit bölgelerine üç farklı yüzey işleme prosesi ile işlem yapılmış ve kalıp verimliliği değerlendirmesi yapılmıştır [14].

Simulasyon destekli dövme prosesinde; ekstrüzyon kalıbı kullanılarak şekillendirme işlemi sırasında ekstrüzyon kalıbı boğaz kesitinde oluşan yorulma direnci hesaplanmış, kesit formunda değişikliğe gidilerek yorulma direncinin en düşük olduğu kesit formu belirlenmiştir [15]. Kesit formundaki iyileştirmelerle birlikte operasyon ve kalıp tasarımında da 2D ve 3D olarak simulasyon yazılımları kullanılmaktadır. Bu sayede soğuk dövme üretimi verimli hale getirilerek kullanım yerine uygun optimum seviyede hafif ve yüksek mukavemetli ürünlerin geliştirilmesi ve üretilmesi sağlanmıştır [16].

Simülasyon çalışmaları ile gerçek üretim yapmadan operasyon ve kesit tasarım alternatifleri, proses parametreleri gibi farklı varyasyonlar denenerek gerçek üretim öncesi veri elde edilmesi ile tasarım avantajı

sağlanmış olmaktadır [17,18]. Önceki yıllarda dövme ürünler ile dövme endüstrisi hakkında sektör ve pazar çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Bununla birlikte prototip bir parça için (soğuk dövme) operasyon numuneleri hakkında mekanik, metalurjik ve ölçüsel deney sonuçları (kesit formları, lif yönlenmeleri, sertlik vb.) incelenerek elde edilen proses bilgileri bilgisayar yazılımın veri bankasına eklenmiştir. Bahsi geçen ve simülasyon destekli olarak kullanılan asistan program proses tasarımında operasyonlara ait üretim adetleri (devir sayısı, adet/dakika) ile birlikte operasyonlara ait tasarımların oluşturulması gerçekleştirmektedir [19].

Üretim yöntemindeki bazı değişiklikler ile kalınlıkları aynı olan malzemelerin mukavemetlerinde artış elde edilebilmektedir. Genellikle düz şekilli olan bu ürünler (levha, plaka vb.) yığın üretimde istenen özelliklerde yeni ürünler olmaktadırlar. İstenen farklı özellikleri aynı kesitte elde edilmesi için simülasyon ve modelleme yöntemi kullanılmıştır. Proses hızı da tasarım yaparken değerlendirilmesi istenen parametredir. Performans, maliyet, üretilebilirlik, enerji ve kaynakların verimli kullanılması, güvenlik ve çevresel etkenler ile birlikte dizayn edilen proseste üretim hızına bağlıdır [6].

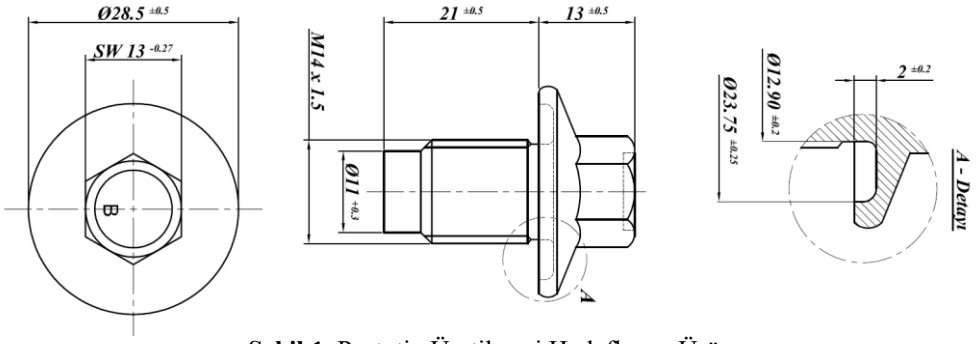
Çalışma ürünü olan, otomotivde tapa cıvatası olarak adlandırılan bağlantı elemanının kafa altı conta çukur bölgesinin oluşturulmasının ürün için en kritik yer olduğu belirlenmiş, ürünün kritik ölçülerine göre üretimini tüm parametrelere göre sağlayabilmek adına sonlu elemanlar yöntemiyle simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon çalışmalarından önce alternatif tasarımlar oluşturularak simüle edilmiş ve optimum tasarım (operasyon ve kalıp) çıktıları elde edilerek prototip üretim faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen bağlantı elemanının, simülasyon yazılımı kullanılarak yapılan dövme prosesine ait kalıp – operasyon (istasyon) tasarımları ile klasik tasarım yönteminde karşılaşılabilecek olumsuz durumların (dövme sorunları, kalıpların kırılmaları yada verimsiz çalışması, vb.) önüne geçecek optimum tasarımın elde edilmesi hedeflenmiştir.

2 MATERYAL VE METOD

Soğuk şekil verme uygulaması ile bağlantı elemanları üretiminde genellikle tecrübesel bilgiler kullanılarak tasarım yapılmaktadır. Günümüzde farklı kesitlerin tasarımında maliyet artışı olmaması için tasarım doğruluğunun ön görülmesi önem arz etmektedir. Tasarımda oluşacak herhangi bir hata ile seri üretim planlamasının yapılamaması yada ertelenmesi ile birlikte kalıp ömürlerinin ön görülememesi de istenmeyen bir durumdur. Simulasyon destekli tasarım ile bu ve bunun gibi olumsuz durumların önüne geçilmesi mümkündür. Simulasyon destekli gerçekleştirilen tasarım süreçlerinde istasyonlara ait dövme yükleri, malzeme şekil alabilirliği, lif yönlenmeleri, kalıp üzerinde oluşabilecek gerilmeler, temas yüzeyi ve termal özellikleri önceden belirlenebilmektedir [20].

Sayısal benzetim yöntemiyle soğuk dövme uygulamalarının yapıldığı bir çalışmada simufact.forming analiz programındaki sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasında sapmalar olduğu görülmüştür [21]. Sapmanın sebebinin, girilen verilerin bir kısmının çözüm süresini kısaltması için basitleştirilmesinden kaynaklanabileceği öngörülmüştür.

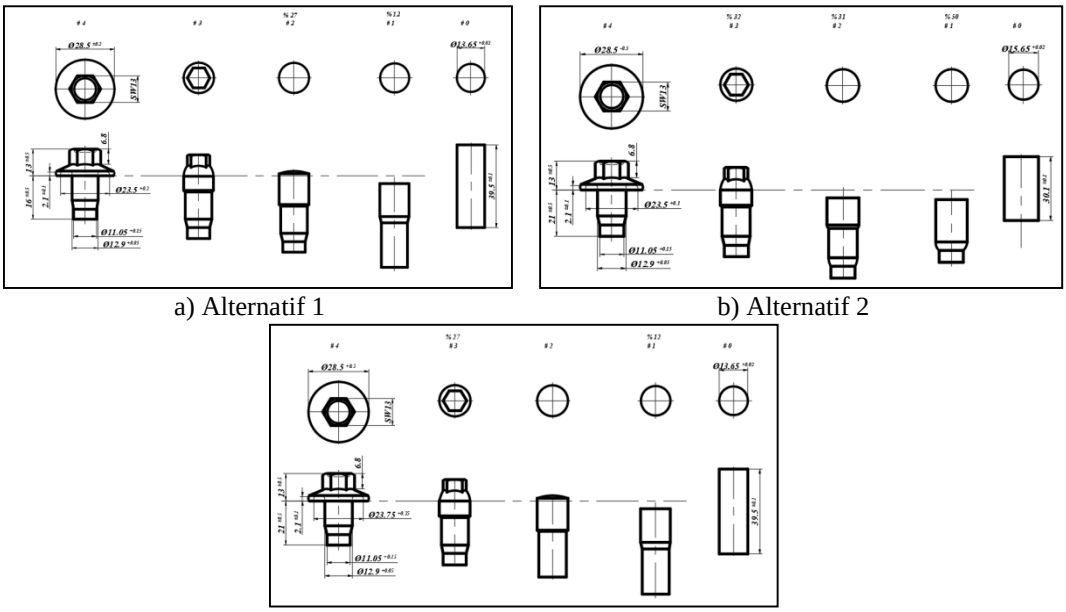
Simufact.forming sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak simülasyon destekli soğuk dövme prosesi ile üretilmesi hedeflenen ürün Şekil 1'de gösterilmektedir. Ürün kafa bölgesinde bulunan (Şekil 1) A-Detayı incelendiğinde, kafa altında kalıp vasıtası ile çukur oluşumu elde edilmek istenmektedir. Bu bölgede kalıpta oluşacak gerilmenin en fazla olması dolayısı ile kalıp hasarlarının en yüksek olması beklenmektedir.



Şekil 1. Prototip Üretilmesi Hedeflenen Ürün

Soğuk dövme prosesi ile cıvata üretiminde hacim sabitliği esası kullanılmaktadır. Operasyon tasarımı yaparken hacmin sabit kalmasına dikkat edilmektedir. Dört operasyonda üretilmesi hedeflenen Şekil 1 'deki ürün için

matematiksel tasarım kriterleri çerçevesinde sabit hacim esasına göre alternatif operasyon tasarımları ve bunlara bağlı olarak kalıp tasarımları oluşturulmuştur.



a) Alternatif 1 b) Alternatif 2

c) Alternatif 3

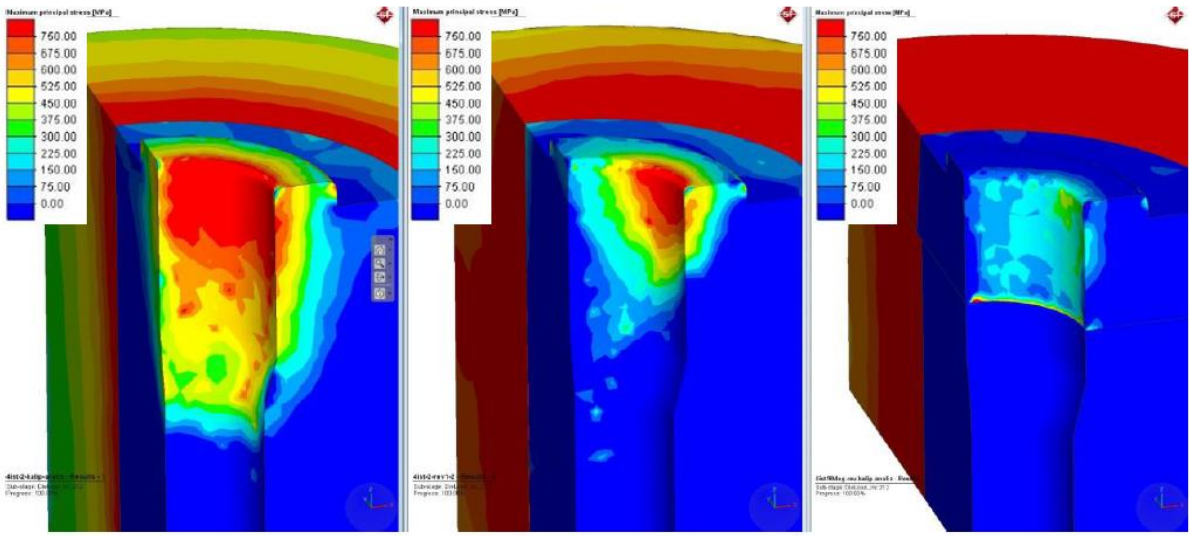
Şekil 2. Alternatif Operasyon Tasarımları

Analizler değerlendirilirken özellikle kafa altı çukur bölgesine odaklanılmış ve alternatif tasarımlara ait simulasyon çalışmaları son kalıp üzerine yoğunlaştırılarak optimum tasarım belirlenmiştir.

3 BULGULAR

3.1 Simülasyon Çalışmaları

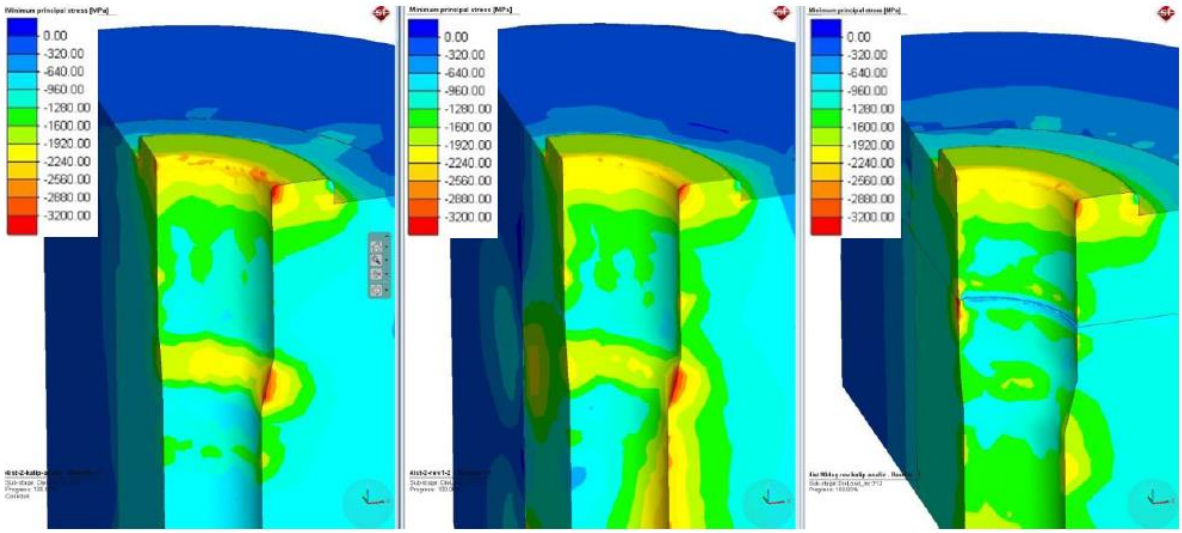
Son istasyonda; prototip kafa altında oluşturulacak çukur formu kalıp analizinde meydana gelen max asal gerilmeler Şekil 3 ‘de gösterilmektedir.



a) Alternatif 1 b) Alternatif 2 c) Alternatif 3

Şekil 3. Alternatif Tasarımlara ait Max Asal Gerilme

Ayrıca aynı bölgede oluşan min asal gerilmeler değerlendirilerek Şekil 4’de gösterilmektedir.



a) Alternatif 1 b) Alternatif 2 c) Alternatif 3

Şekil 4. Alternatif Tasarımlara ait Min Asal Gerilme

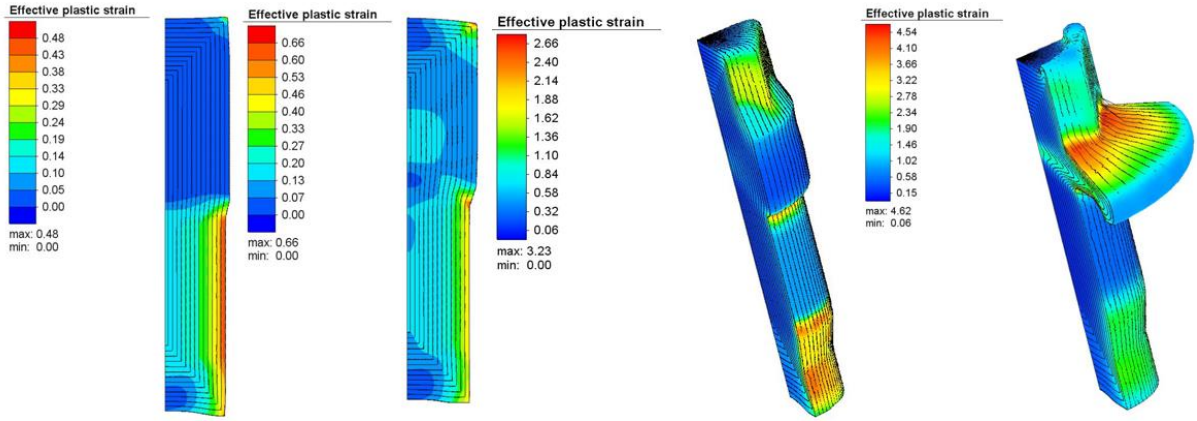
Alternatif tasarımlara ait son operasyon olan kafa altı çukur oluşum bölgesindeki ortalama max ve min asal gerilmeler Tablo 1 ‘de gösterilmektedir.

Tablo 1. Asal Gerilmeler Tablosu

Açıklama	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Max Asal Gerilme (MPa) (+)	750	650	300
Min Asal Gerilme (MPa) (-)	2.750	2.500	2.250

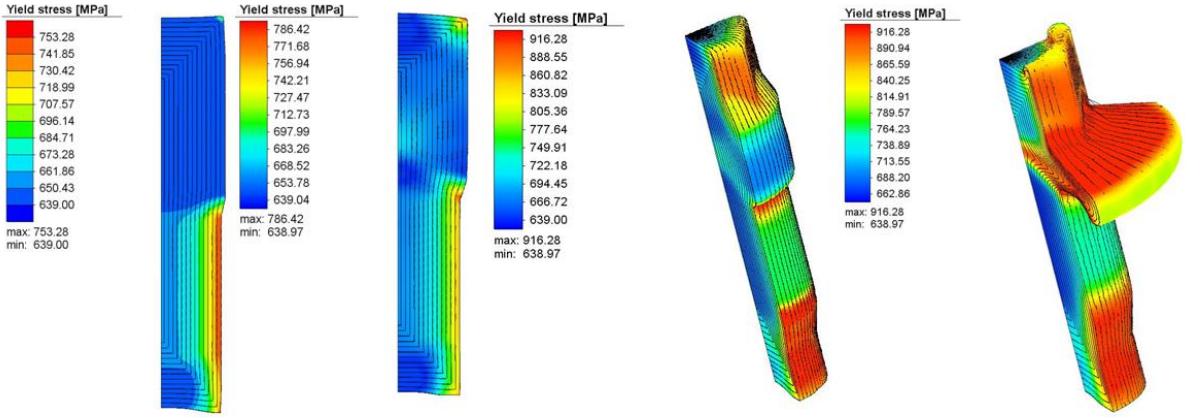
Şekil 3 ve Şekil 4’te elde edilen gerilme analizleri Tablo 1 ‘e göre değerlendirildiğinde kalıp üzerinde oluşan gerilmenin Alternatif 3 ‘de diğer alternatiflere göre en az olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı operasyon tasarım çalışmaları Alternatif 3 üzerinden devam ettirilerek her operasyon için ayrı ayrı simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Alternatif 3 ‘e ait operasyon simülasyonları yapılarak çıkan sonuçlar incelenmiştir.



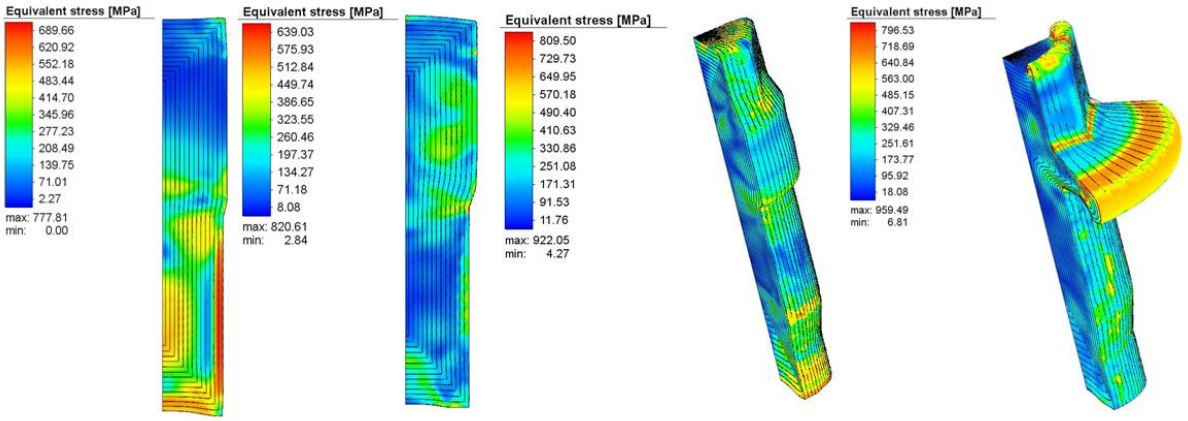
a) 1.İstasyon b) 2.İstasyon c) 3.İstasyon d) 4.İstasyon

Şekil 5. Efektif Plastik Şekil Değiştirme



a) 1.İstasyon b) 2.İstasyon c) 3.İstasyon d) 4.İstasyon

Şekil 6. Akma Mukavemeti



a) 1.İstasyon b) 2.İstasyon c) 3.İstasyon d) 4.İstasyon

Şekil 7. Eşdeğer Gerilim

3.2 Gerçek Üretim Çalışmaları

Simulasyondan çıkan veriler istenilen değerlerde olduğundan mevcut operasyon tasarımına göre prototip üretim gerçekleştirilmiştir.

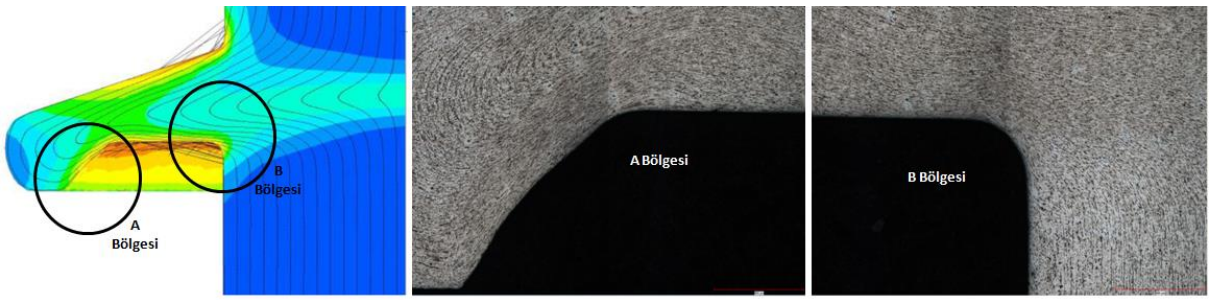
Şekil 7. Gerçek Üretim

Plastik şekil verme uygulamalarında dövme presi özellikleri de önem arz etmektedir. Simülasyon sonuçlarının doğrulu için prese ait parametrelerin eşlenik olması gerekmektedir. Simülasyon destekli yapılan optimizasyon çalışmalarında prototip ürün için en uygun devir sayısının (dakikadaki parça üretim sayısı) 60 adet/dk olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Gerçek üretimde devir sayısı 60±1 adet/dk olarak ayarlanmış ve dövme presinin bu parametre ile çalışma sürekliliği sağlanmıştır.

3.3 Simülasyon – Gerçek Üretim Karşılaştırma

3.3.1 Metalografik Karşılaştırma

Tasarım çıktıları için önemli kriterden biri malzemeye ait lif (mikroyapı) yönlenmesidir. Yapılan çalışmada son istasyona ait Şekil 8 ‘de gösterilen kafa altı çukur bölgesinde meydana gelen simülasyon ve gerçek ürün lif yönlenmelerinin karşılaştırması görülmektedir.



Şekil 8. Lif Yönlenmeleri

Şekil 8 incelendiğinde; A Bölgesi olarak isimlendirilmiş kafa altı çukur bölgesinin uç kısmı ve B Bölgesi olarak isimlendirilmiş kafa ile gövde arasındaki geçiş kısmının şekillendirilmesinde simulasyon sonucu elde edilen lif yönlenmelerinin gerçek parça ile eşleştiği görülmüştür. Liflerde herhangi bir katlanma, yırtılma ve üst üste binme gibi istenmeyen formların oluşmadığı tespit edilmiştir.

3.3.2 Ölçüsel Karşılaştırma

Teknik resim, tasarım kriterleri ile belirlenen ve simulasyon - gerçek üretim sonrası elde edilen ölçüler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ölçüsel Karşılaştırma Tablosu (Ölçüler – mm)

Açıklama	İstenen (Teknik Resim)	Simulasyon Sonucu	Gerçek Ürün
Kafa Çapı	28±0,5	28,1	28,3
Kafa altı çukur – Dış Çapı	23,75±0,25	23,8	23,9
Kafa altı çukur – İç Çap	12,90±0,2	12,8	12,9
Çukur Yüksekliği	2±0,2	2,1	2,1
Tam Boy (Kafa Altı)	21±0,5	21,2	21,3

Tablo 2 değerlendirildiğinde teknik resim sınır şartları altında simülasyon destekli yapılan üretimde istenen ölçüsel değerlerin sağlandığı görülmektedir.

4 SONUÇLAR

Simülasyon destekli sanal üretim çalışmalarından elde edilen çıktılar ile gerçek üretim sonunda elde edilen çıktıların birbiri ile toleranslar dahilinde örtüştüğü tespit edilmiştir. Bağlantı elemanları üretiminde sanal üretim yöntemlerinin kullanılabileceği ön görülmektedir.

Hacim sabitliğine dayalı soğuk dövme prosesinde son ürün elde etmek için farklı alternatifler kullanılabilmektedir. Fakat bu alternatiflerin uygunluğu klasik tasarım metodu ile anlaşılamamaktadır. Ölçüsel olarak aynı son ürün elde edilse de ara operasyonlardaki bilinmezler ile kalıp ömrü gibi performans kriterleri etkilenmektedir.

Alternatif tasarımlar değerlendirildiğinde; kafa altı çukur bölgesinin oluşumu sırasında aynı bölgede malzeme üzerinde oluşan plastik gerinimin 4.10 ‘dan 3.40 ‘a düşürülmesi ile ürün performansının yaklaşık olarak % 18 oranında arttığı görülmüştür. Aynı zamanda kalıp optimizasyon çalışmaları ile de son istasyon kalıp ömrü yaklaşık %40 oranında arttırılmıştır.

Kaynakça

[1] W.D. Callister, *Material Science and Enginering: An Introduction.* Amerika: 7. Basım, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, 2007.

[2] G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition*. University of Maryland, McGraw-Hill Book Co.,1998.

[3] FIA (Forging Industry Association), "Types of Forging Processes". https://www.forging.org/types-of-forging-processes. (Erişim: 10.05.2021)

[4] T. Altan, G. Ngaile, G. Shen, *Cold And Hot Forging: Fundamentals and Applications*, Chapter 2. ASM International, 2005.

[5] L. Çapan, *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, 2003.

[6] V. Başdemir, A. Baygut, O. Çulha, "Soğuk Dövme Tekniği İle Bağlantı Elemanı Üretiminde Kullanılan Plastik Şekil Verme Teknolojileri", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7 (3), 18-28, 2018.

[7] C. Mısırlı, "Yanal Ekstrüzyon ile Dişli Benzeri Parçaların İmalatı: Analiz ve Deneyler", Trakya Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

[8] A. Baygut, "Paslanmaz Çelik Bağlantı Elemanının Simülasyon Destekli Soğuk Dövme Proses Tasarımı ve Geliştirilmesi", Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

[9] M. Aygen, "Die Stress And Friction Behaviour Analysis in Bolt Forming", ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

[10] W. H. Sillekens, "*Backward can extrusion and material behaviour"*, University of Technology Eindhoven,1992.

[11] M.S. Güler, S.Şen, "Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler", *Ordu Üniversitesi Biim Teknoloji Dergisi*, Cilt:5, Sayı:1, 2015.

[12] U. İnce, M. Güden, "Simulation Of The Cold Forging Process In Fastener Manufacture", *III. International Scientific Technical Conferance*, 2008.

[13] C. Kılıçaslan, U. İnce, " Civata Soğuk Dövme İşleminde Kalip Ömrünün Arttirilmasi: Dövme Kademe Tasarımının Etkisi", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5), 961-967, 2017.

[14] K. Wagner, A. Putz, U. Engel, "Improvement of Tool Life in Cold Forging by Locally Optimized Surfaces", *Journal of Materials Processing Technology*, 177, 206-209, 2006.

[15] M. Geiger, M. Hansel, T. Rebhan, *"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, 143-150, 1992.

[16] C. MacCormack, J. Monaghan, "2D and 3D Finite Element Analysis of Three Stage Forging Sequence", *Journal of Materials Processing Technology*",127, 48-56,2002.

[17] N. Ishinaga, "An advanced press design for cold forging", *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 71, Issue 1, p.100-104, 1997.

[18] Q-C. Hsu, L. Rong-Shean, "Cold forging process design based on the induction of analytical knowledge", *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 69, Issues 1–3, p.264-272, 1997.

[19] K. Hyunkee, T. Altan, "Cold forging of steel -practical examples of computerized part and process design", *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 59, Issues 1-2, 15, p.122-131, 1996.

[20] M. Mermer, "Bağlantı Elemanları Üretiminde Ön Deformasyon Formunun Ürün Malzemesindeki Soğuk Şekillendirme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi", Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Ensitüsü, 2019.

[21] E. Erbil, U. İnce, *"Sayısal Benzetim Yöntemiyle Soğuk Dövme Uygulamaları",* Mühendis ve Makine", 611, 9-22, 2010.