

SAYISAL BENZETİM YÖNTEMİYLE SOĞUK DÖVME UYGULAMALARI

Emre ERBİL*

Norm Cıvata Tic. ve San A.Ş - Mühendislik Hizmetleri Müdürlüğü AR-GE Bölümü, İzmir
emre.erbil@norm-fasteners.com.tr

Umut İNCE

Norm Cıvata Tic. ve San A.Ş - Mühendislik Hizmetleri Müdürlüğü AR-GE Bölümü, İzmir
umut.ince@norm-fasteners.com.tr

ÖZET

Norm Cıvata A.Ş. de 2003 yılından bu yana artan bir ivme ile devam eden Araştırma - Geliştirme çalışmalarında edinilen bilgi ve deneyim ile kalıp hasar analizleri ve ömür hesaplamaları etkin bir şekilde yapılmaktadır. Sonlu eleman analizleri kullanılarak soğuk dövme işleminde malzeme akışı, kalıp doldurma, katlanma oluşumu, dövme kuvvetleri, sünek hasarlar ve kalıp kırılmaları üretim gerçekleşmeden önce tahmin edilebilmektedir. Bu bilgiler ışığında tasarımda gerekli değişiklikler yapılarak, hatasız ürünün kısa ve maliyeti en düşük şekilde üretilmesi sağlanmaktadır. Bu makalede metal şekillendirme sayısal benzetim (SB) uygulamalarıyla kalıp ömürlerinin tahmini, gerek süreç tasarımında gerek kalıp tasarımında yapılan değişikliklerle kalıp ömürlerinin artırılması ve son ürüne ait sertlik dağılım tahminleri ile ilgili Norm Cıvata A.Ş bünyesinde yapılmış çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğuk dövme, kalıp yorulma ömür tahmini, sonlu elemanlar yöntemi, sayısal benzetim

Cold Forging Applications With Numerical Simulation

ABSTRACT

In Norm Fasteners Co. die failure analysis and fatigue life estimations have been done since 2003. By using Finite Element Analysis; material flow, die filling, lap formation, forging forces, ductile fracture and tool failures can be predicted before production. Necessary changes in design are made to produce defect-free product in shortest time and to lower cost. A few case studies experienced in Norm Fasteners Co. about estimation and improvement of die service life by modifications in process as well as in die design and estimation of hardness distribution of final part are presented in this paper.

Keywords : Cold forging, die fatigue life estimation, finite element method, numerical simulation

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 12.10.2010
Kabul tarihi : 23.12.2010

GİRİŞ

Ulusal sanayimizde çoğunlukla kabul gören tecrübelerle dayalı yaklaşımların yanı sıra, bilimsel çalışmaların uluslararası pazarda rekabet gücünü artıran daha etkin bir itibar kaynağı olduğu bir gerçektir. Kuramsal çalışmalar uygulanmadığı takdirde daima kâğıt üzerinde kalacağı gibi, tecrübeye dayalı yaklaşımlar da tecrübeli kişilerin işten ayrılması gibi olaylarla yok olup gidecektir. Ülkemizde giderek artan AR-GE faaliyetleriyle kuramsallık-tecrübe arasındaki köprü giderek güçlenmektedir.

Bağlantı elemanlarının soğuk dövme ile üretiminde kullanılan kalıpların ömrünün tahmin edilmesi üretim maliyetlerinin gerçekçi bir şekilde belirlenmesinde önemli bir etkidir. Özellikle daha önce soğuk dövme ile üretilmemiş veya üretimi tecrübe edilmemiş parçaların kalıp ömürlerinin tecrübeye dayalı tahmin yöntemiyle belirlenmesi oldukça zordur. Metal şekillendirme SB uygulamalarıyla yapılacak kalıp ömürleri tahmini hem kalıp ömürlerinin artırılmasıyla ilgili çalışmalarda hem de gerçekçi maliyetlendirme çalışmaları yapmak için kullanılabilir.

Özellikle 90'lı yıllarda ivme kazanan SB tekniğinin metal şekillendirme uygulamalarında kullanımıyla ilgili çalışmalar, bilgisayar teknolojisindeki gelişime paralel olarak bilgisayar destekli mühendislik uygulamalarının yaygın kullanım alanı bulmasıyla birlikte günümüzde üzerinde yoğunlukla çalışılan alanlardan bir tanesi haline gelmiştir. Ahn S.H aksenel simetrik modellerde ileri ekstrüzyon işleminde kullanılan kalıpların ömür tahmini ve hasar ilerlemesini araştırmışlardır [3]. Fu M.W sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yorulma ömür tahmininde gerilme kaynaklı ve genleme kaynaklı yaklaşımları birlikte değerlendiren daha gerçekçi bir yaklaşım geliştirmişlerdir [4]. Skov-Hansen P. kalıp analizlerinde ön-gerilme koşulunu ve sıkı geçme analizini uygulayarak sonlu elemanlar modeline dâhil etmişlerdir [5]. Bahsedilen ve benzer çalışmalar temel alınarak firmamız bünyesindeki Ar-Ge çalışmaları kapsamında yapılan deneysel ve kuramsal üretim - SB uyarlama çalışmalarıyla kalıp analizlerinin doğruluğu artırılarak, yüksek doğrulukta sonuçların elde edildiği, yaptığımız örnek çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir.

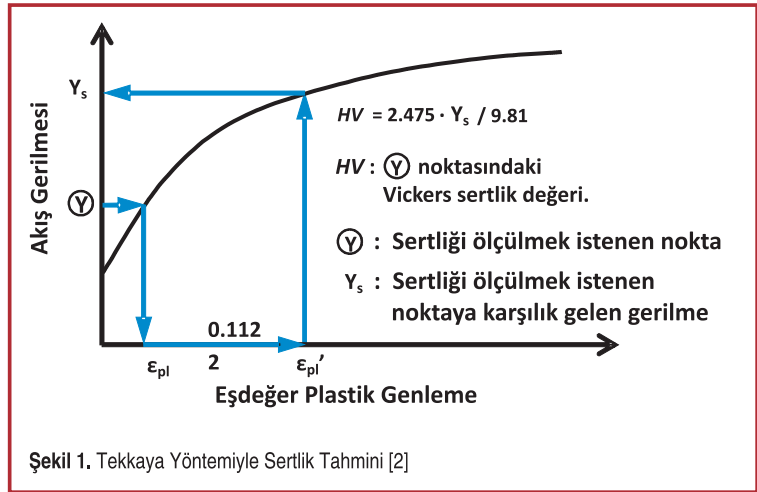
Norm Cıvata A.Ş. 2003 yılından bu yana çalışmalarında tecrübeye dayalı yaklaşımlarla, sonlu elemanlar yöntemine dayalı sayısal hesaplamalardan elde ettiği sonuçları birlikte değerlendirmektedir. Bu makalede soğuk dövme ile cıvata imalatında sayısal benzetim uygulamalarından örnek üç çalışma sunularak, sayısal benzetim yönteminin, soğuk dövme uygulamalarında oluşabilecek sorunların çözümünde

öngörülse ve çözüm odaklı bir araç olarak kullanımına dair ipuçları verilmiştir. Tüm sayısal benzetim analizlerinde "Simufact" isimli ticari sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır.

MALZEME VE YÖNTEM

Sertlik Tahmininde Tekkaya ve Tabor Yöntemlerinin Karşılaştırması

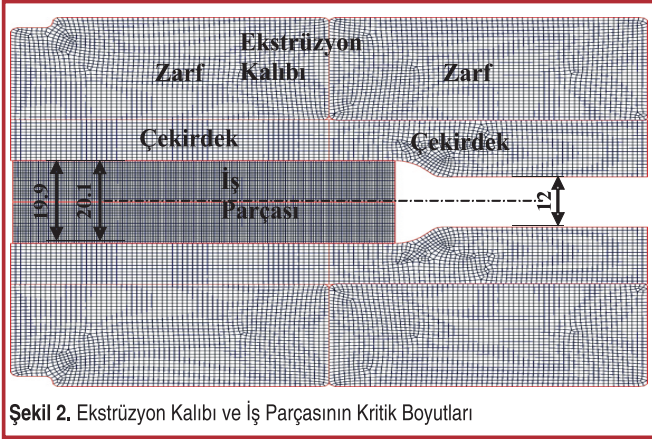
Soğuk dövme işlemi sırasında parçada artık genlemeler oluşmakta, dövülen malzeme pekleşerek sertliği artmaktadır. Soğuk dövme işleminin sayısal benzetim (SB) uygulamaları ile bilgisayar ortamına aktarılmasıyla dövülen malzemede bölgesel sertlik tahmini yapılabilmektedir. Sertlik tahminiyle ilgili birçok teori bulunmakla birlikte en klasik yöntem Tabor [1] tarafından ortaya konmuştur. Tabor'a göre bir noktadaki sertlik değeri malzemenin o noktadaki akma gerilmesi değerinin 0.295'e bölümü ile elde edilebilir. Daha güncel bir yöntem ise A.E. Tekkaya [2] tarafından geliştirilmiştir. Şekil 1'de genel prensibi verilen Tekkaya yöntemine göre, herhangi bir akış gerilmesindeki sertlik değeri, o noktadaki genlemenin 0.112 fazlasına tekabül eden akma gerilmesinin 0.25229 ile çarpılması ile elde edilir.



Ekstrüzyon Kalıplarında Ömür Tahmini: Malzeme ve Sıkı Geçme Oranının Kalıp Ömrüne Etkisi

Bu örnekte %63 alan daralması oranına sahip Şekil 2'de verilen bir ekstrüzyon kalıbı için farklı iş parçası malzemesi ve zımba ilerleme miktarlarında WC/Co kalıp çekirdeği malzemesi için yorulma ömürleri "Morrow" denklemi [6] kullanılarak belirlenmiştir. İncelenen ekstrüzyon modellerinde ekstrüzyon zımbası rijit, iş parçası elasto-plastik, çekirdek ve zarflardan oluşan ekstrüzyon kalıbı ise elastik özellikleri ile modellenmiştir. Modellerde iş parçası malzemesi olarak tavllanmış 41Cr4 ve 20MnB4, zarf malzemesi olarak H13 ve çekirdek malzemesi olarak Wc-27Co kullanılmıştır.

Kullanılan soğuk dövme presi krank-biyel mekanizmasına

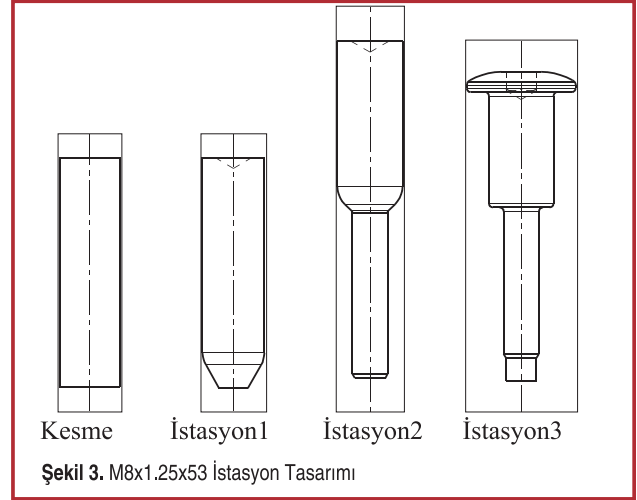


Şekil 2. Ekstrüzyon Kalıbı ve İş Parçasının Kritik Boyutları

sahip olup, krank yarıçapı 90 mm, biyel kolu uzunluğu 425 mm ve açılma hızı 125 d/d'dır. Analiz modeli iki boyutlu aksel simetriktir. İş parçası ve ekstrüzyon kalıplarında 10 düğüm noktalı Quad4 10 tipi eleman kullanılmıştır. İş parçası için kullanılan eleman sayısı 3750, ekstrüzyon kalıplarında kullanılan eleman sayısı ise 4130'dur. Sürtünme tipi ve katsayısı sırasıyla Coulomb model ve "0.09" seçilmiş, çözüm yöntemi olarak "iterative method" kullanılmıştır. Kullanılan remesh metodu ise "advancing front quad" dir.

M8x1.25x53 - Özel Cıvatası Kalıp Kırma Problemi

Bu örnekte, M8x1.25x53 özel cıvatasının üretimi esnasında 3. istasyonda sabit kalıbında düşük çevrimlerde kırılma

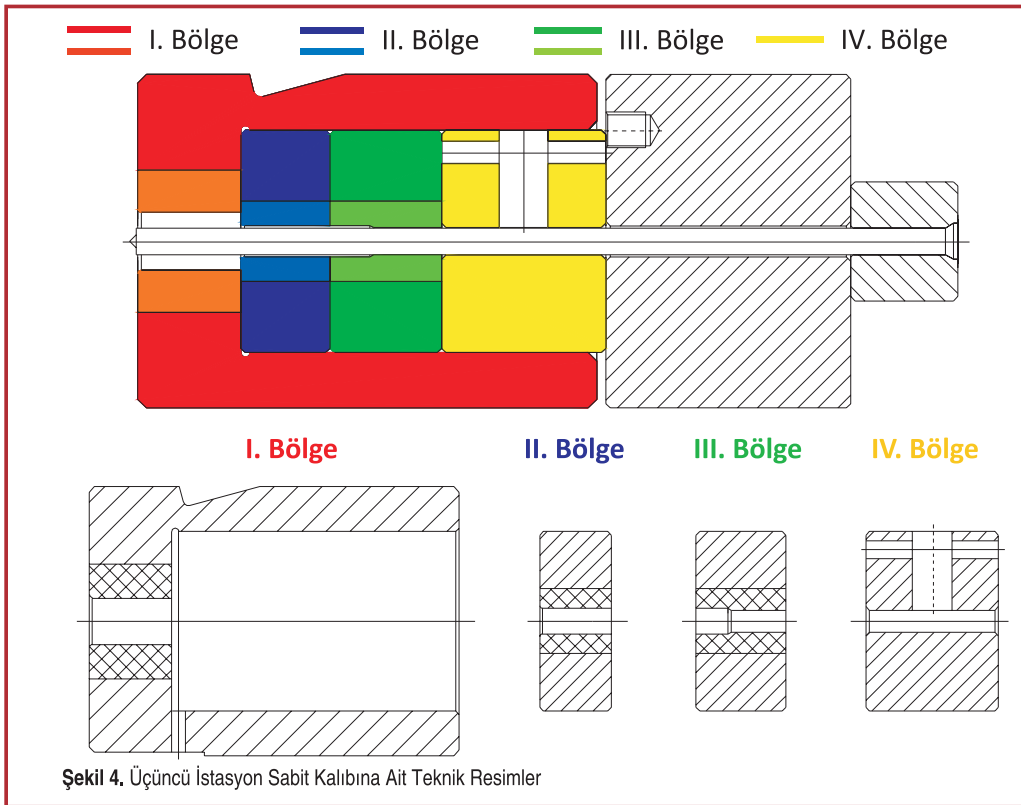


Şekil 3. M8x1.25x53 İstasyon Tasarımı

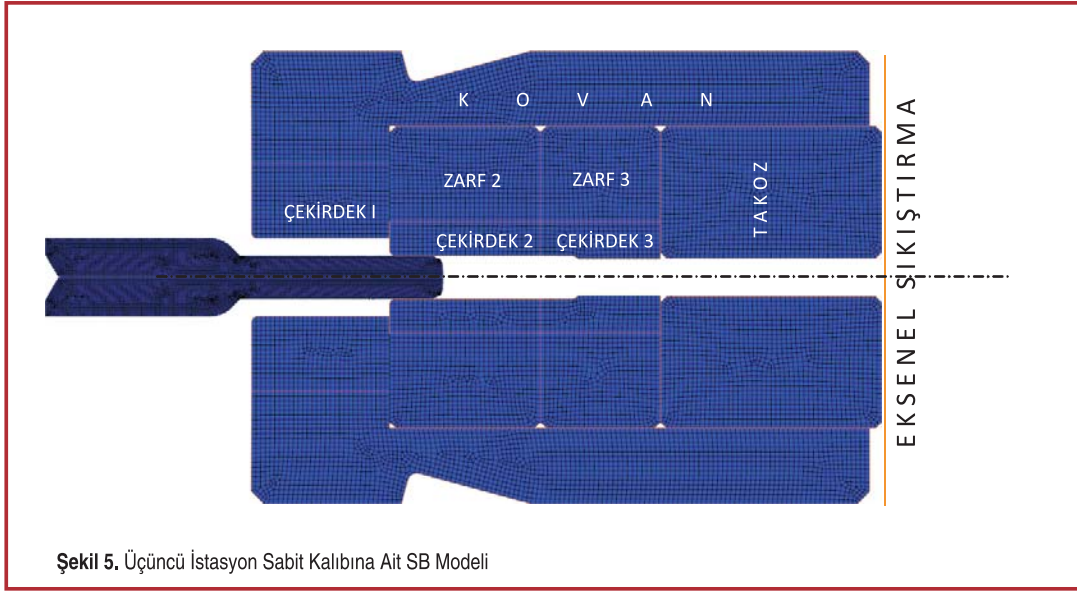
meydana gelmesi nedeniyle, hem mevcut tasarımdaki kalıp kırılmasının nedenlerini araştırmak, hem de geliştirilecek alternatif tasarımların başarısını ölçüp, ortaya çıkarabileceği muhtemel sorunları görebilmek amacıyla sonlu eleman analizleri (SEA) gerçekleştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

İstasyonlarda şekillenmesi öngörülen parçaların iki boyutlu modelleri Şekil 3'te verilmiştir.

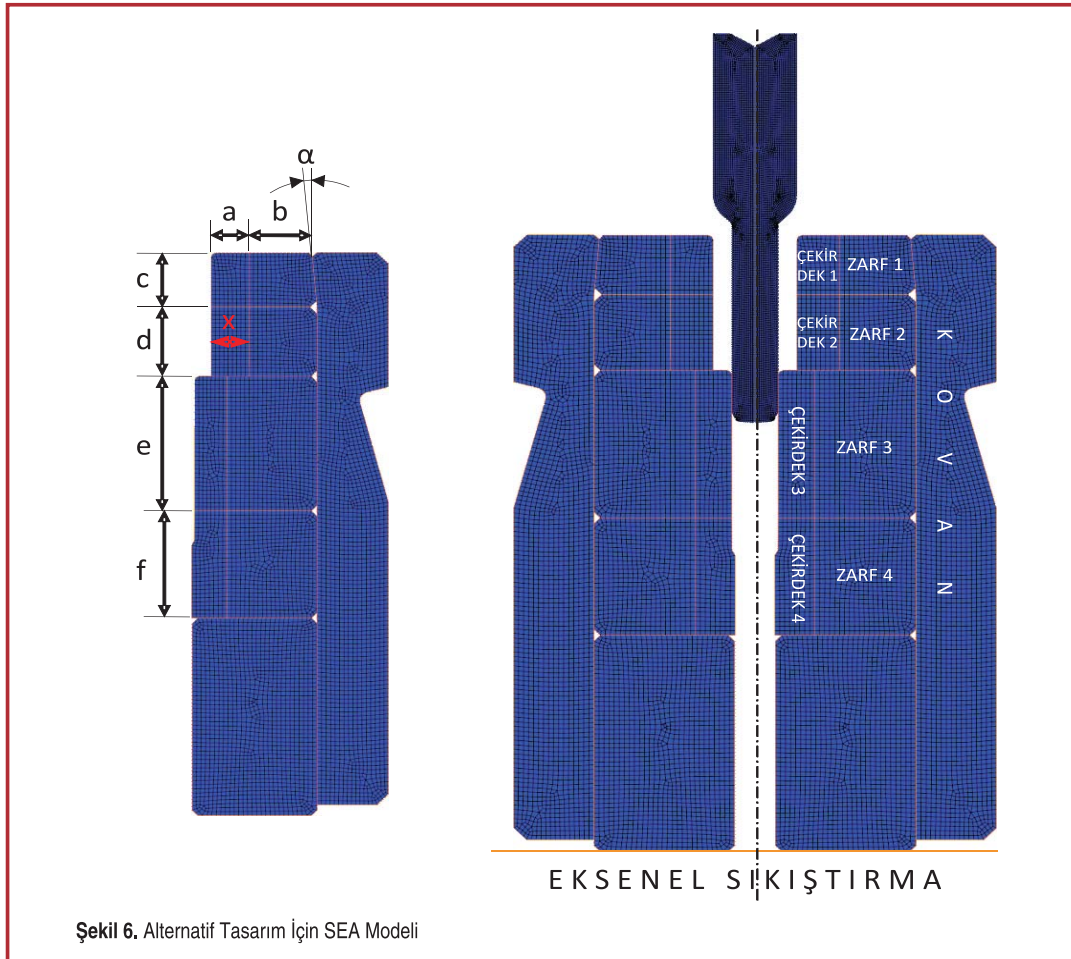
Tüm istasyonlar aksel simetrik olarak modellenmiştir. 1. ve 2. istasyonlarda kalıplar rijit olarak modellenirken, 3. istasyonda sabit kalıbın Çekirdek, Zarf ve diğer elemanlarda



Şekil 4. Üçüncü İstasyon Sabit Kalıbına Ait Teknik Resimler



Şekil 5. Üçüncü İstasyon Sabit Kalıbına Ait SB Modeli



Şekil 6. Alternatif Tasarım İçin SEA Modeli

oluşacak gerilmeleri inceleyebilmek amacıyla tüm sabit kalıp elemanları elastik özellikleri ile modellenmiştir. Plastik şekil değiştirme sonucu oluşan gerilme-genleme değerlerinin

etkisini de hesaba dâhil etmek için istasyonlardan çıkan ara ürünler, üzerlerindeki artık gerilmeler ile birlikte bir sonraki istasyona aktarılmaktadır. 3. istasyonda bulunan zımba

geometrisi, eşdeğer efektif alan hesaplanarak aksel simetrik olarak modellenmiştir. Üçüncü istasyon sabit kalıbına ait teknik resimler Şekil 4'teki gibidir.

Mevcut tasarımda 3.istasyon sabit kalıbında Şekil 5'te gösterilen Çekirdek 1 bölgesinde şekillendirme sırasında kırılma olmaktadır. Şekil 5' te verilen 3. istasyon sabit kalıbı

çekirdek malzemesi WC-27Co'dır. Zarf, takoz ve kovan malzemesi ise H13 takım çeliğidir.

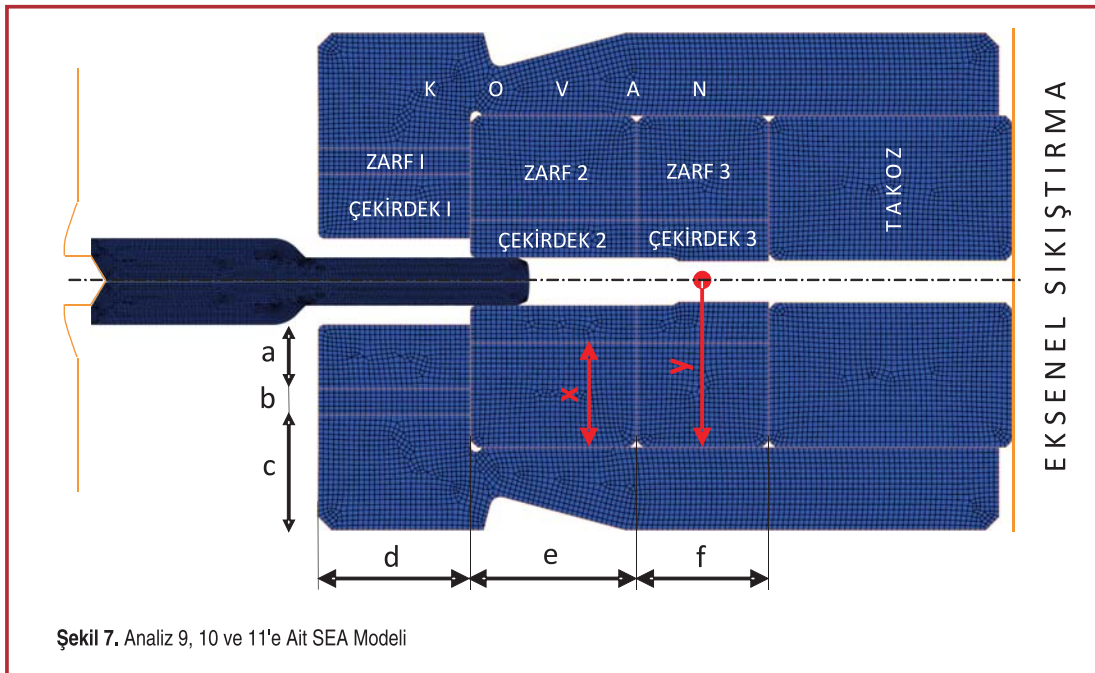
Çekirdek 1 ile Kovan arasındaki sıkı geçme değeri pratik olarak bilinmediğinden Çekirdek 1 ve Kovan arasında muhtemel sıkı geçme değerleri olabilecek 0.1 (% 0.313), 0.16 (% 0.5) ve 0.2 mm (% 0.625) değerleriyle üç farklı SEA yapılmıştır. Çekirdek 2-Zarf 2 ve Çekirdek 3-Zarf 3 arasındaki sıkı geçme değerleri her bir SEA için en uygun değer olan 0.078 mm (% 0.433) olarak alınmıştır. Ayrıca kalıp vida ile sıkılarak aksel olarak sıkılaşacağından kalıba tüm SB uygulamalarında 0.2 mm aksel sıkıştırma uygulanmıştır. Mevcut tasarıma alternatif olarak 5°lik konik kalıpların kullanıldığı tasarıma dayanarak yapılmış SB modeli Şekil 6 ve Tablo 1'de verilmiştir. Kullanılan malzemelerin özellikleri ve sürtünme tipi, katsayısı, çözüm türü, remesh tipi gibi

Tablo 1. Tasarıma Ait Ölçüler (Şekil 6)

Analiz No	a	x	b	c	d	e	f	α
1	6.5	6.5	17	10	13	20	25	5
2	6.5	6.5	17	10	13	20	25	5
3	7	6.5	17	10	13	20	25	5
4	7	5	17	10	13	20	25	5
5	7	5	17	10	13	20	25	5

Tablo 2. SEA'ndeki Değişiklikler

	Çekirdek 1 - Zarf 1	Çekirdek 1 - Zarf 1	Çekirdek 1 - Zarf 1	Çekirdek 1 - Zarf 1	Çekirdek 1 - Zarf 1
Analiz No	4	5	6	7	8
Malzeme	WC-27Co-H13	H13-H13	WC-27Co -H13	WC-27Co -H13	WC-27Co -H13
Çekirdek-Zarf Sıkı Geçmesi [mm]	0.1	0.1	0.08	0.13	0.09
Çekirdek-Zarf Sıkı Geçmesi [%]	0.385	0.385	0.308	0.500	0.346



Şekil 7. Analiz 9, 10 ve 11'e Ait SEA Modeli

Tablo 3. Analiz 9, 10 ve 11'e Ait Ölçüler ve Sıkı Geçme Oranları

Analiz No	a	b	c	d	r	f	x	y	% Sıkı Geçme (Çekirdek1-Zarf1)	% Sıkı Geçme (Zarf1-Kovan1)
9	9,5	4	17,5	23	20	25	15,5	25	0.056	0.16
10	9,5	4	17,5	23	20	25	15,5	25	0.0875	0.16
11	9,5	4	17,5	23	20	25	15,5	25	0.28	0.16

temel SEA parametreleri sayfa 10'da yer alan "Ekstrüzyon Kalıplarında Ömür Tahmini: Malzeme ve Sıkı Geçme Oranının Kalıp Ömrüne Etkisi" konuda anlatılan örnek çalışmayla aynı alınmıştır. Modellerde krank-biyel mekanizmalı soğuk dövme presi kullanılmış olup, krank yarıçapı 105 mm, biyel kolu uzunluğu 410 mm ve krank açılma hızı 150 d/d'dir. İş parçası için kullanılan eleman sayısı 3855, üçüncü istasyon kalıplarında kullanılan eleman sayısı ise 5896'dır.

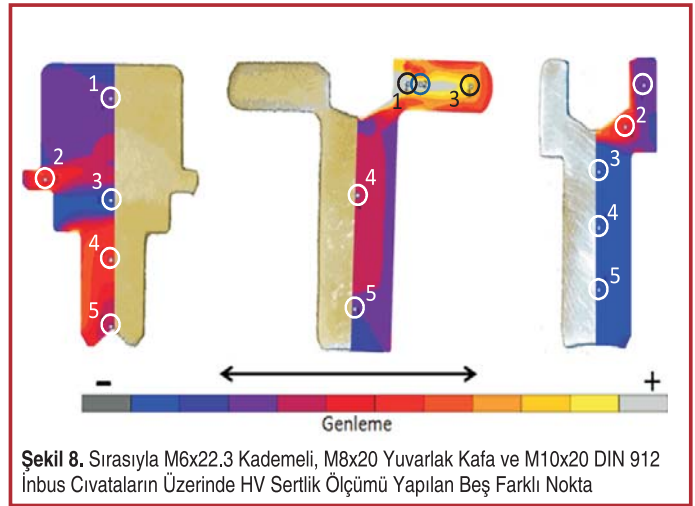
Yukarıda geometrik değişkenleri verilen modellere ilave olarak yeni bir model hazırlanmıştır. Bu modele ait görünüş ve ölçülendirmeler Şekil 7 ve Tablo 3'te verilmiştir. Bu tasarıma göre Çekirdek 1 ve Zarf 1 sıkı geçirildikten sonra, parçalar kovana sıkı geçirilecektir. 9 numaralı analizde öncelikle Çekirdek 1 ve Zarf 1 0.018 mm (%0.056) sıkı geçirilmiş, daha sonra bu parçalar kovana 0.064 mm (%0.016) sıkı geçirilmiştir. Çekirdek 3-Zarf 3 ve Çekirdek 4-Zarf 4 sıkı geçmeleri daha önceki analizlerde olduğu gibi 0.078 mm alınmıştır. Çekirdek malzemesi WC-27Co, zarf ve diğer malzemeler H13 çeliğidir. 11 adet analiz sonuçları ve yorumlanması bulgular bölümünde verilmiştir.

BULGULAR

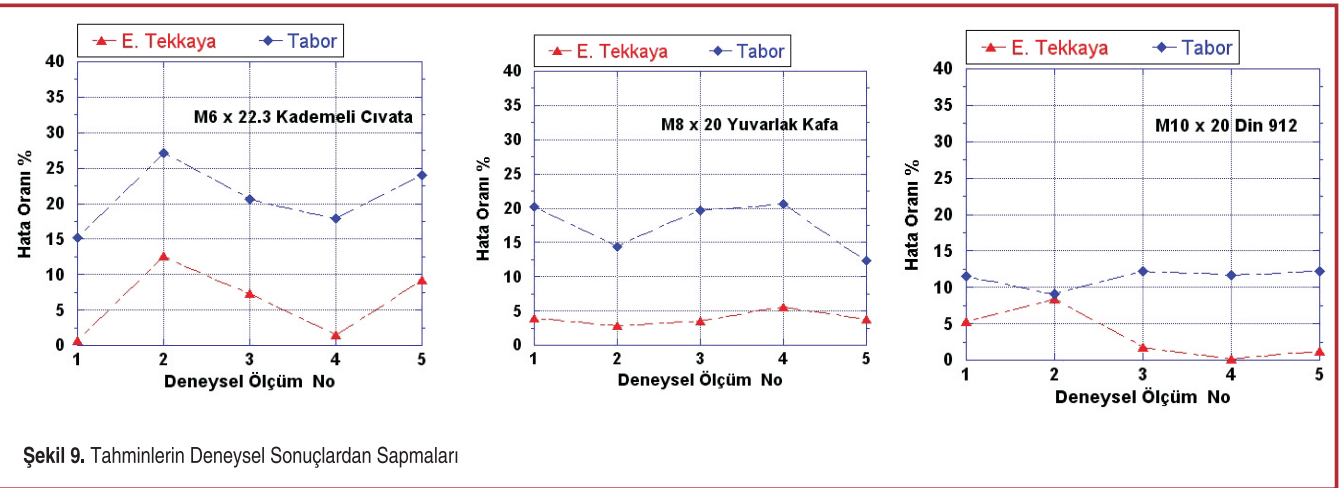
Sertlik Tahmininde Tekkaya ve Tabor Yöntemlerinin Karşılaştırması

Tabor ve Tekkaya yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla

M6x22.3 kademeli, M8x20 yuvarlak kafa ve M10x20 DIN 912 inbus civataların üzerlerinden belirlenen beş farklı noktada Vickers sertlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 8). Söz konusu ürünlerin SB uygulamalarıyla aynı noktalar için Tabor ve Tekkaya yöntemlerine göre sertlik tahminleri yapılarak, deneysel sonuçlarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Süreç SB uygulamasıyla iki yöntemle göre yapılan tahminlerin deneysel değerlerle karşılaştırılması ile ilgili sapma eğrileri Şekil 9'da verilmiştir. Tabor yöntemiyle deneysel sonuçlar arasındaki sapmaların yaklaşık %20-25 mertebesinde olduğu tespit



Şekil 8. Sırasıyla M6x22.3 Kademeli, M8x20 Yuvarlak Kafa ve M10x20 DIN 912 inbus Civataların Üzerinde HV Sertlik Ölçümü Yapılan Beş Farklı Nokta



Şekil 9. Tahminlerin Deneysel Sonuçlardan Sapmaları

edilirken, Tekkaya yöntemine göre sapmaların %5-10 civarında kaldığı görülmüştür.

Ekstrüzyon Kalıplarında Ömür Tahmini: Malzeme ve Sıkı Geçme Oranının Kalıp Ömrüne Etkisi

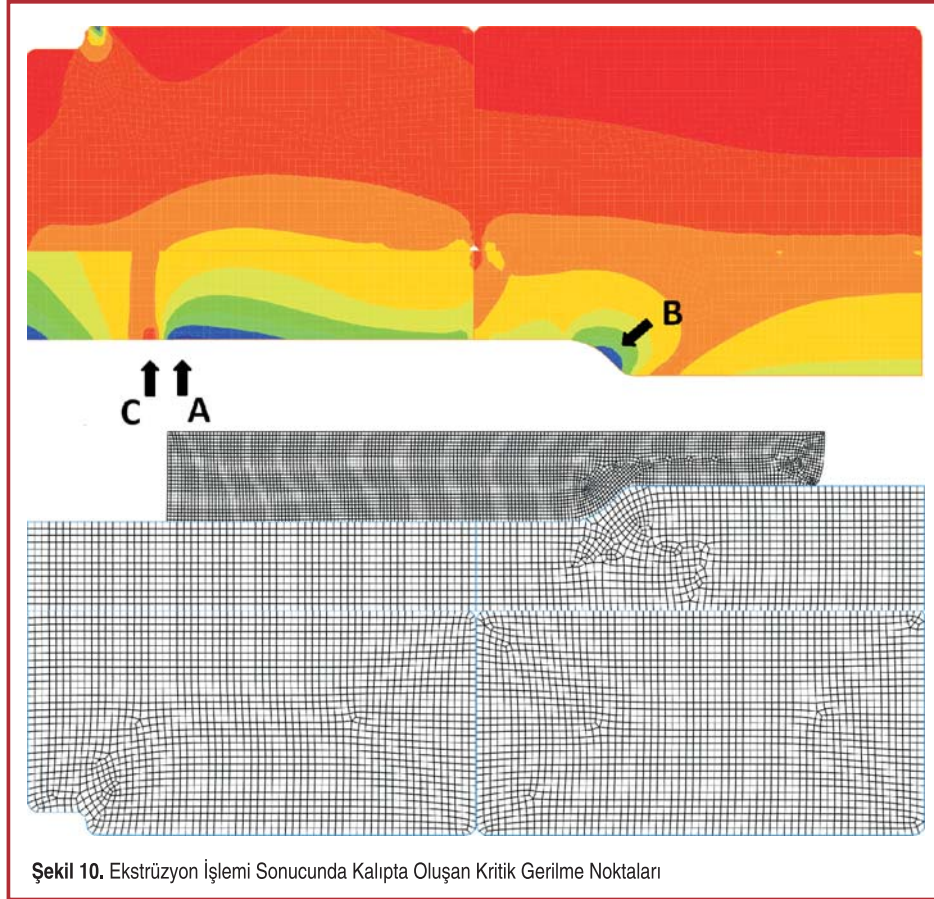
20MnB4 ve 41Cr4 malzemelerinin 13.8 ve 18.6 mm ileriye

çubuk ekstrüzyonu için %0.4, %0.5 ve %0.6 sıkı geçme oranlarındaki ekstrüzyon kalıbı ömür eğrileri çıkarılmıştır. Ekstrüzyon işlemi sonucunda ekstrüzyon kalıbı çekirdeğinde oluşan kritik gerilme noktaları Şekil 10'da verilmiştir. Kalıp üzerinde oluşan kritik gerilmeler incelendiğinde kırılmanın öncelikle B noktasından olacağı

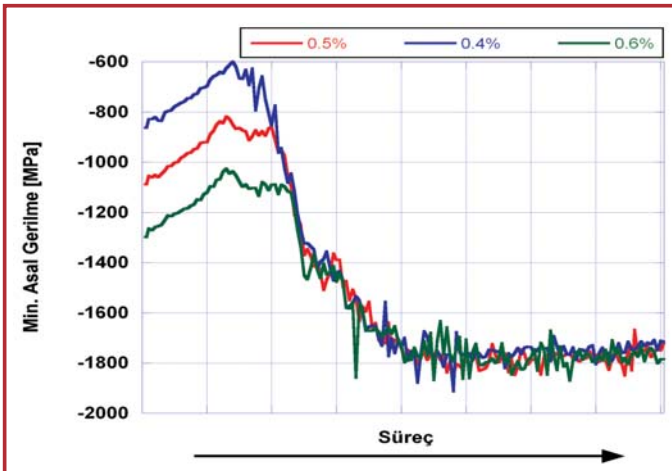
tespit edilmiştir. 20MnB4 malzemesinin 18.6 mm ileriye çubuk ekstrüzyonu için farklı sıkı geçme oranlarında Şekil 10'da verilen "B" noktasına ait gerilme akışı Şekil 11'de verilmiştir. Benzer şekilde her durum için gerilme akışı eğrileri çıkarılmıştır.

Sonuç olarak elde edilen 20MnB4 ve 41Cr4 malzemelerinin ileriye çubuk ekstrüzyonu için %0.4, %0.5 ve %0.6 sıkı geçme oranlarındaki ekstrüzyon kalıbı ömür eğrileri Şekil 12'de verilmiştir.

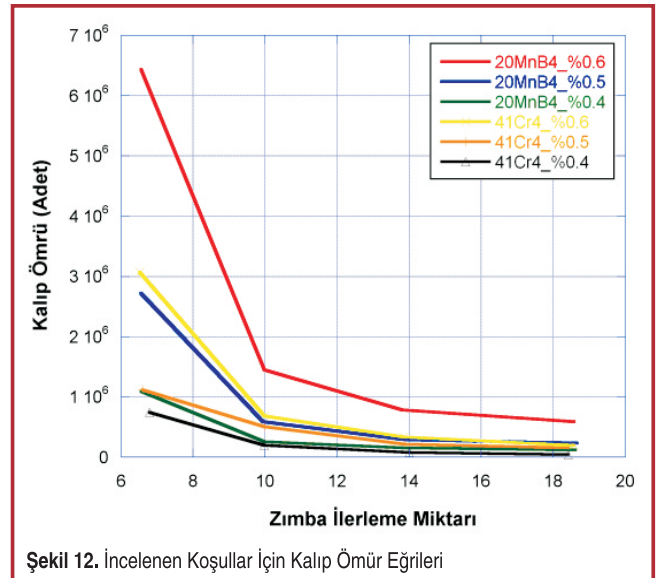
Bu çalışma ile kalıp ömürlerinin tahmin edilmesinin yanı sıra ekstrüzyon kalıplarındaki sıkı geçmelerin kalıp ömürleri üzerindeki etkisinin malzeme yumuşadıkça arttığı sonucu da elde edilmiştir.



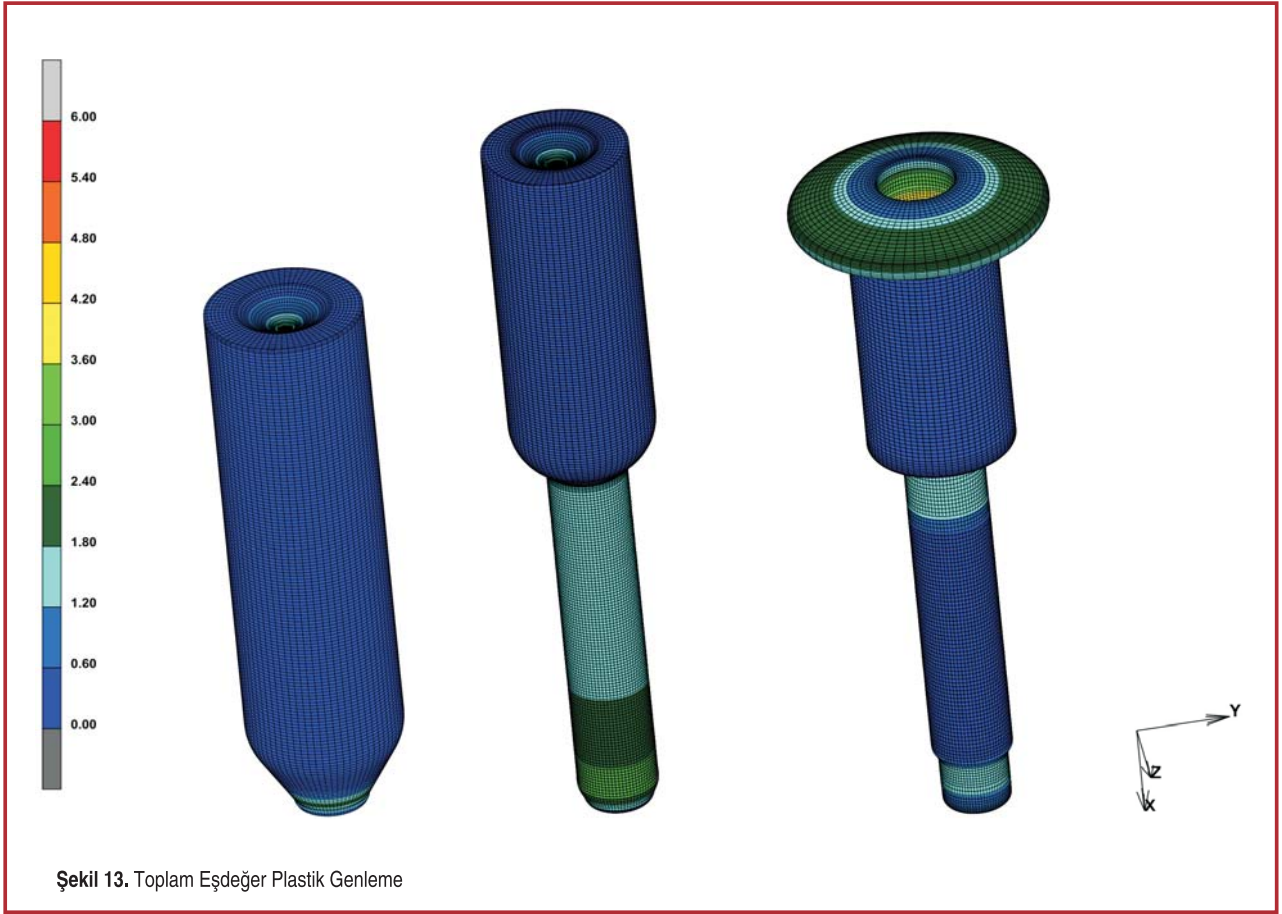
Şekil 10. Ekstrüzyon İşlemi Sonucunda Kalıpta Oluşan Kritik Gerilme Noktaları



Şekil 11. 18.6 mm İleriye Çubuk Ekstrüzyonu İçin Farklı Sıkı Geçme Oranlarında En Küçük Asal Gerilme Akışı



Şekil 12. İncelenen Koşullar İçin Kalıp Ömür Eğrileri

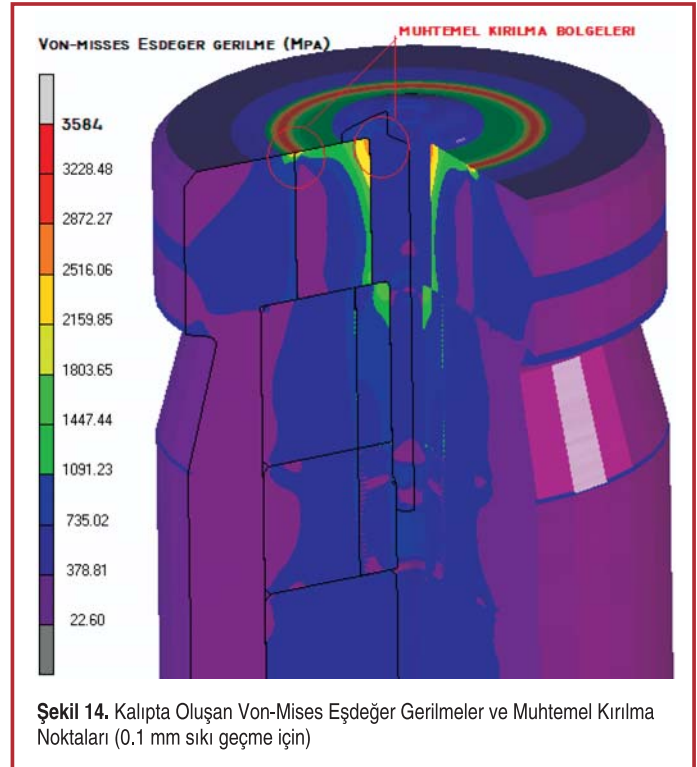


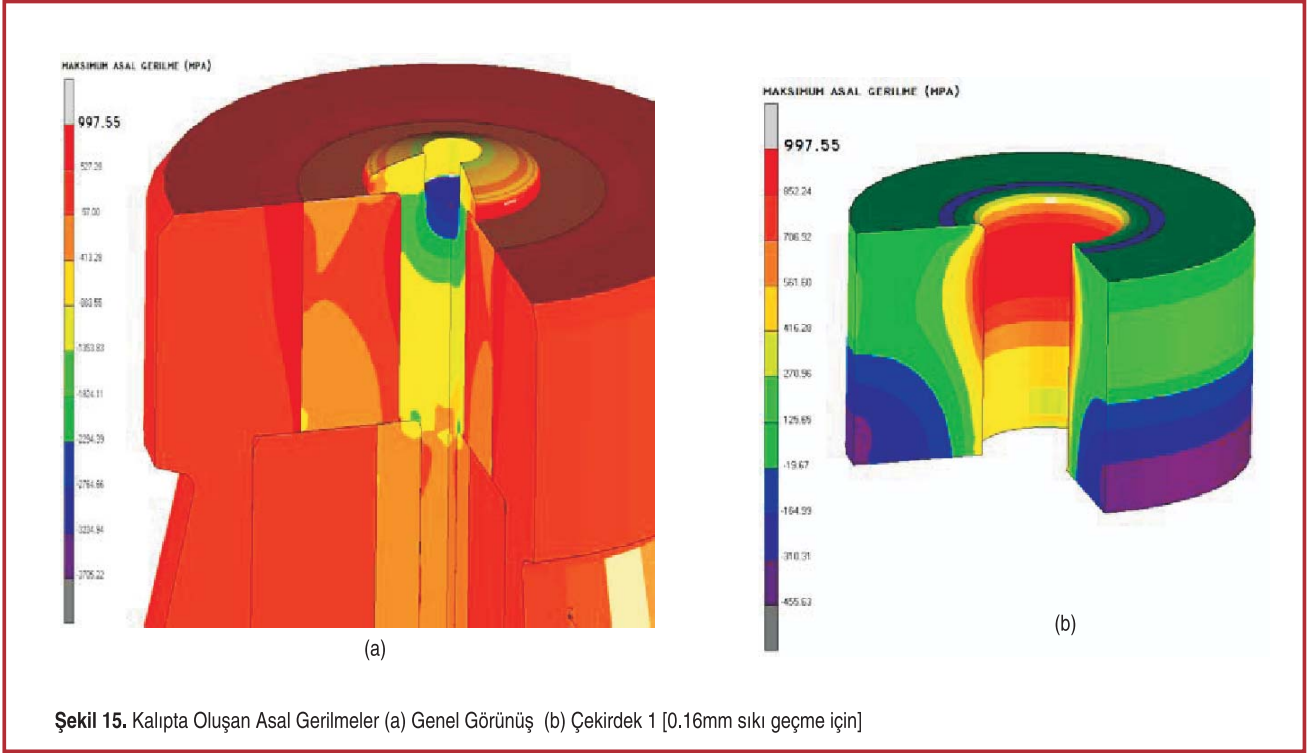
M8x1.25x53 - Özel Cıvatası Kalıp Kırma Problemi

İlk üç istasyonda şekillenen parçalar, oluşan toplam eşdeğer plastik genlemelerle birlikte Şekil 13'te verilmiştir.

Çekirdek 1 - Kovan % 0.313'lük sıkı geçme oranı için kalıp parçalarında ortaya çıkan en büyük asal gerilmeler Çekirdek 1 ve Kovan için dayanım sınırının altında tespit edilirken, Şekil 14'te gösterilen von-Mises eşdeğer gerilmelerinin parçaların dayanımlarının üzerinde olduğu tespit edilmiştir. En büyük von-Mises eşdeğer gerilme değerleri Çekirdek 1 için 3584 MPa, Kovan için 2619 MPa'dır. Söz konusu sıkı geçmede hem Çekirdek 1'in hem de Kovanın Şekil 14'te gösterilen bölgeden kırılması beklenmelidir.

İkinci analizde daha önce de belirtildiği gibi Çekirdek 1-Kovan %0.5'lik sıkı geçme oranı ile analiz yapılmıştır. SEA sonucunda kalıp parçalarında oluşan en büyük asal gerilmeler Şekil 15'te görülebileceği gibi Çekirdek 1'de oluşan en büyük asal gerilmenin azamî değeri 997 MPa'dır. Söz konusu çekirdek malzemesinin bu büyüklükteki çeki yüklerinde düşük çevrimlerde kırıldığı bilinmektedir. Kırılma Şekil 15b'de görüldüğü gibi Çekirdek 1'in iç-üst kısmında olacaktır.





0.2 mm'lik sıkı geçme için yapılan SEA'de görülmüştür ki kovan üzerinde kırılmaya neden olabilecek 1327 MPa değerinde von-Misses eşdeğer gerilmesi oluşmaktadır. Çekirdek 1 üzerinde ise herhangi bir kritik gerilme oluşmamaktadır.

Mevcut tasarım için analiz sonuçlarının özeti Tablo 4'te

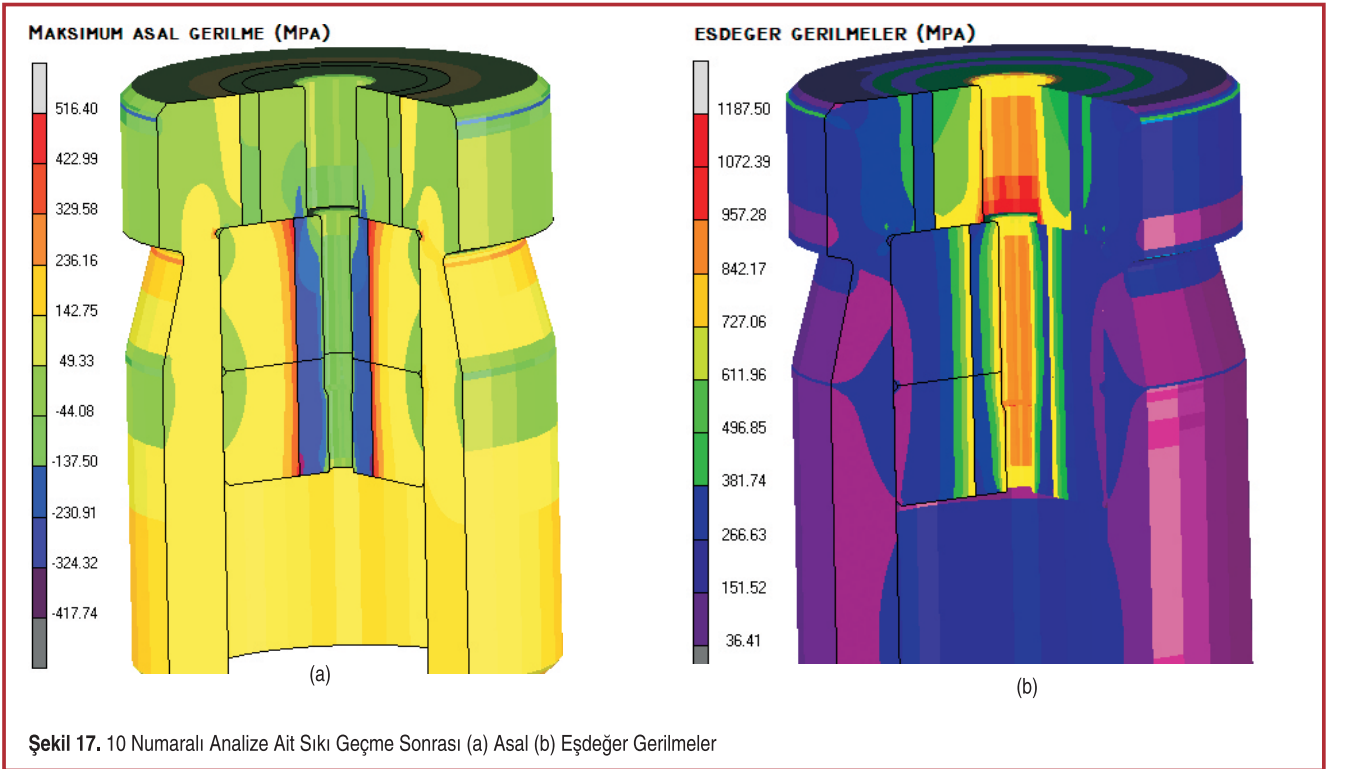
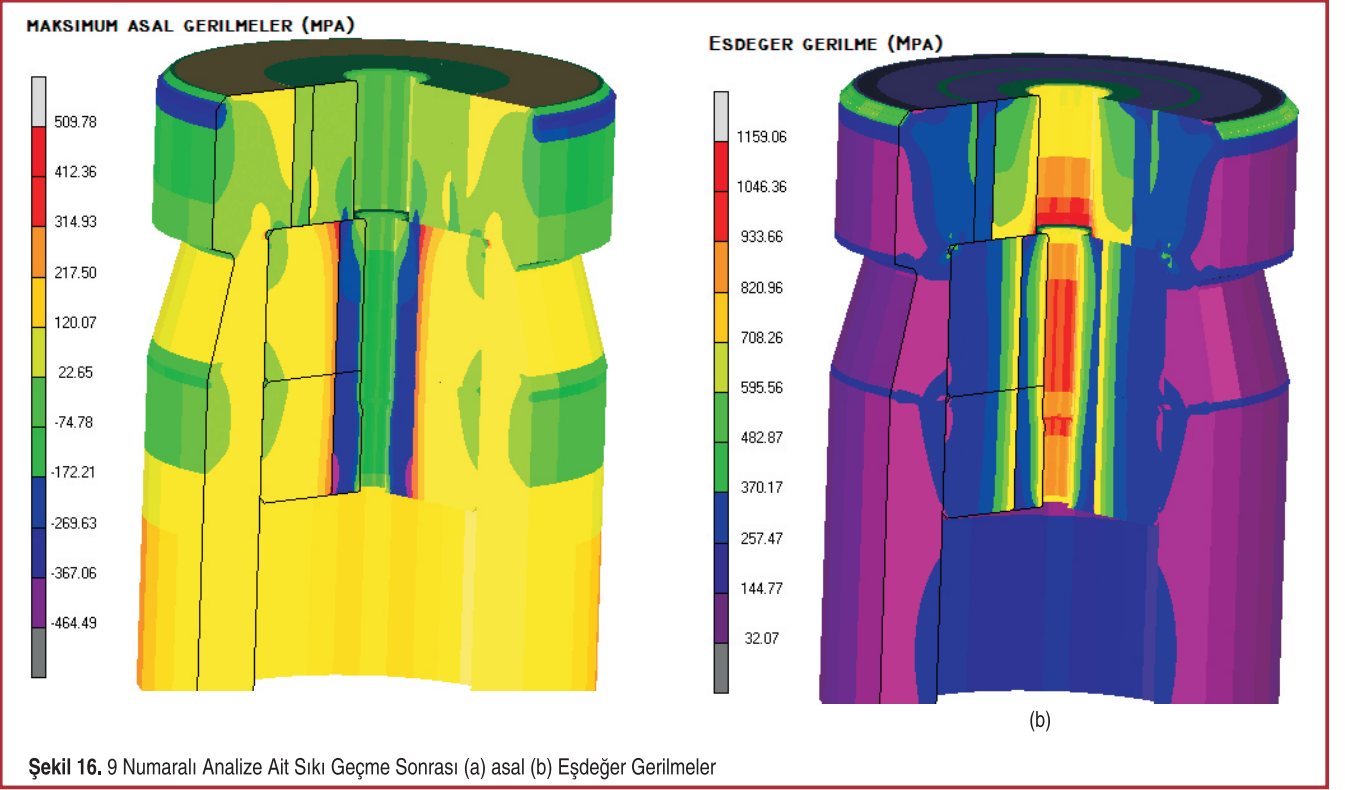
verilmiştir. Gerçek uygulamada sadece sabit kalıptaki Çekirdek 1'in iç-üst kısmında kırılma meydana geldiği tespit edilmişti; dolayısıyla SB sonuçlarıyla, gerçek koşulların en çok uyduğu sıkı geçme değeri 0.16 mm yani oransal olarak % 0.5'tir. Yapılan analiz sonuçları ayrıca şunu göstermiştir ki her üç sıkı geçme değerinde de farklı yer ve parçalarda olmakla birlikte kırılma meydana gelecektir. Sıkı geçme

Tablo 4. Mevcut Tasarımda Değişik Sıkı Geçme Değerleri İçin Sabit Kalıptaki Çekirdek 1 ve Kovan'da Oluşması Beklenen Gerilmeler

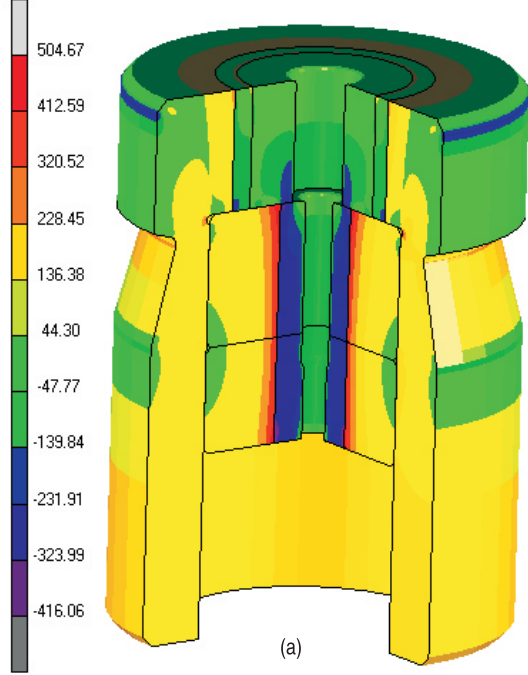
	Çekirdek 1 - Kovan	Çekirdek 1 - Kovan	Çekirdek 1 - Kovan
Analiz No	1	2	3
Malzeme	WC-27Co-H13	WC-27Co-H13	WC-27Co-H13
Çekirdek-Kovan Sıkı Geçmesi [mm]	0.1	0.16	0.2
Çekirdek-Kovan Sıkı Geçmesi [%]	0.313	0.5	0.625
Çekirdekteki En Büyük Asal Gerilme [MPa]	564	997	826
Çekirdekteki En Küçük Asal Gerilme [MPa]	-1481	-455	-550
Kovandaki En Büyük Asal Gerilme [MPa]	522	718	982
Kovandaki En Büyük Asal Gerilme [MPa]	-898	32	31
Çekirdekteki En Büyük Von-Misses [MPa]	3584	2787	2851
Kovandaki En Büyük Von-Misses [MPa]	2619	1183	1327

değerinin sonuçlar üzerinde çok etkin olduğu da tespit edilmiştir.

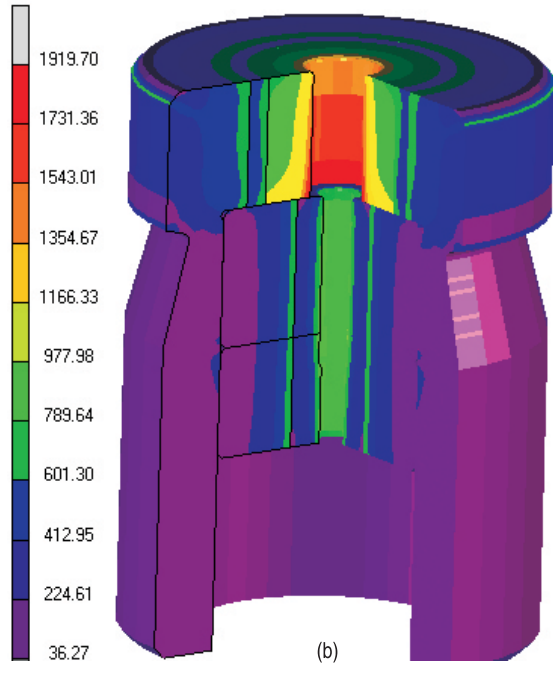
SEA sonuçları incelendiğinde bulunan kritik gerilmeler şu şekilde özetlenebilir:



MAKSİMUM ASAL GERİLME (MPA)

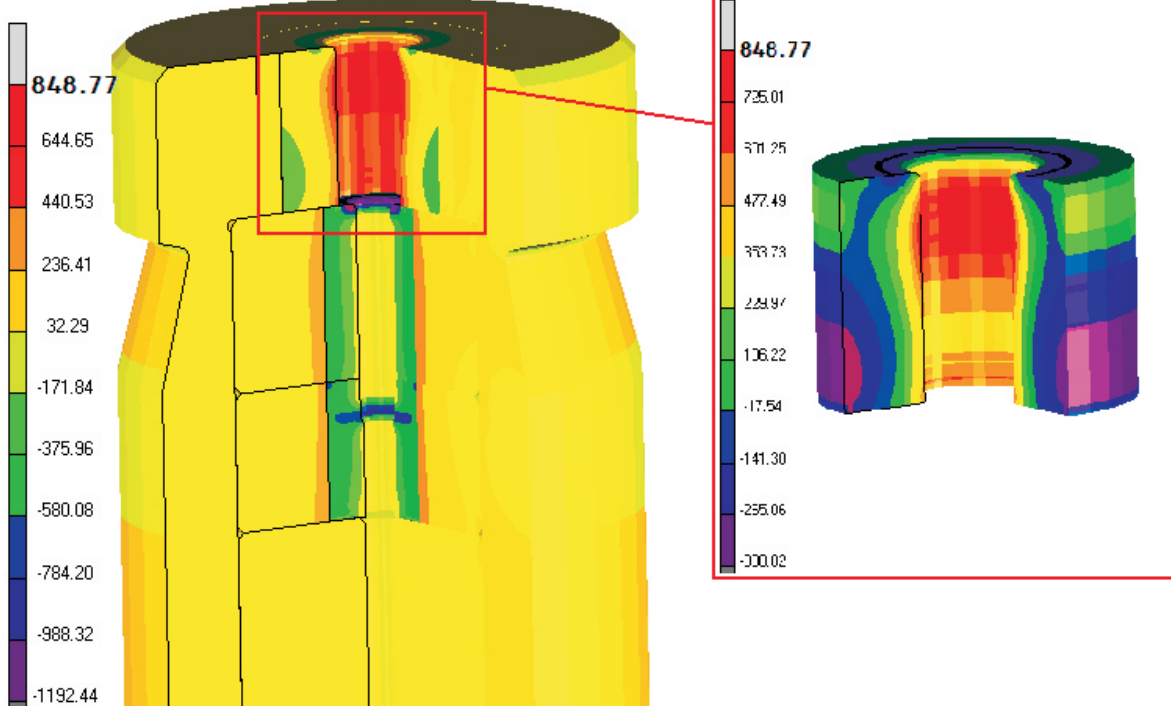


ESDEĞER GERİLME (MPA)



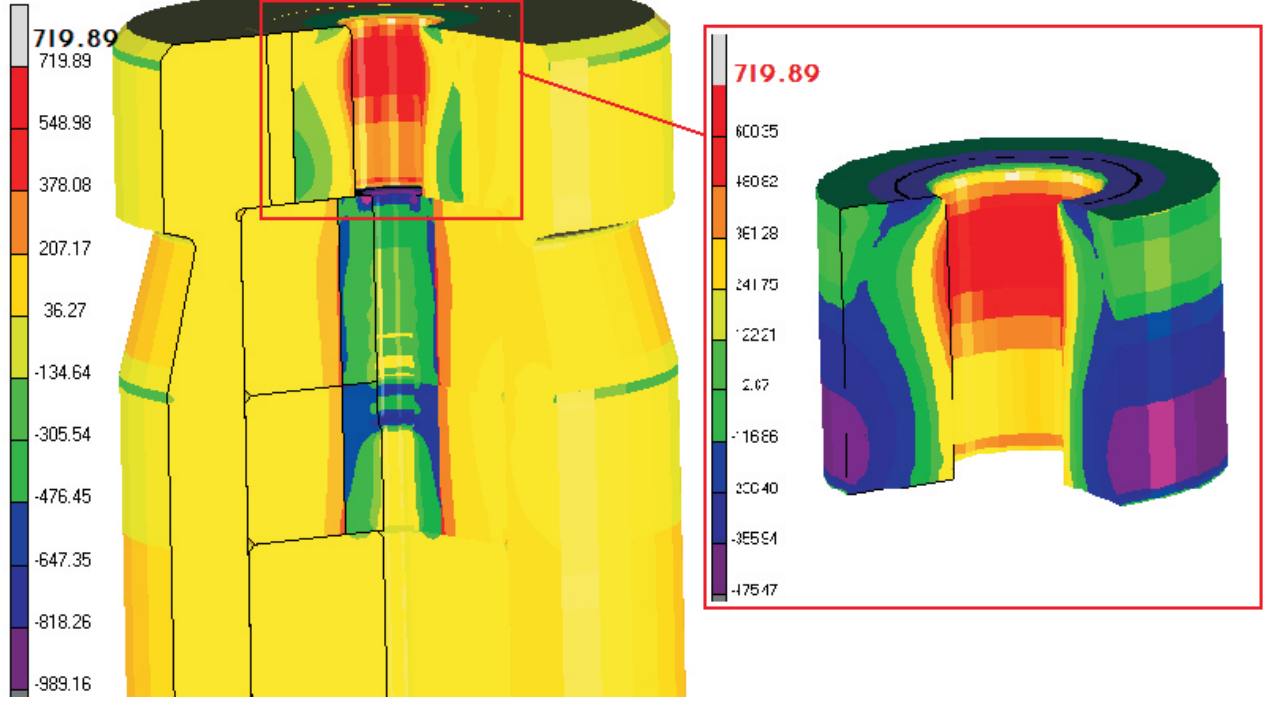
Şekil 18. 11 Numaralı Analize Ait Sıkı Geçme Sonrası (a) Asal (b) Eşdeğer Gerilmeler

MAKSİMUM ASAL GERİLME (MPA)



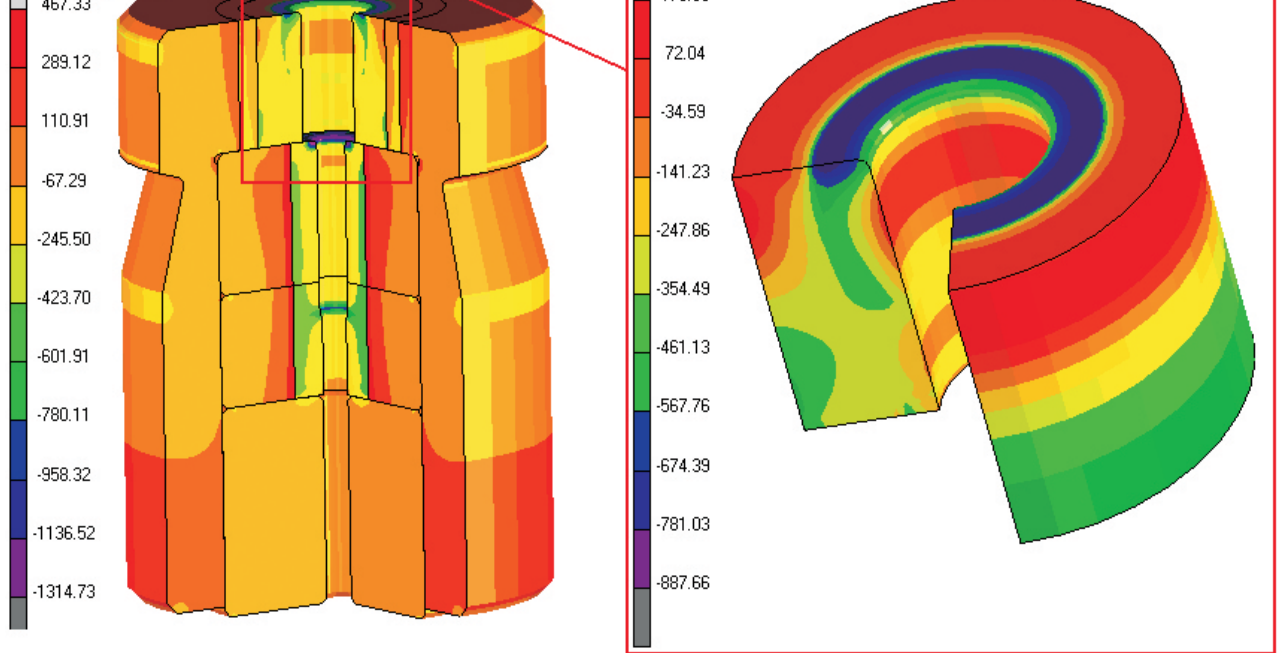
Şekil 19. 9 Numaralı Analizde Çekirdek 1 'de Oluşan En Büyük Asal Gerilmeler

MAKSİMUM ASAL GERİLME (MPA)

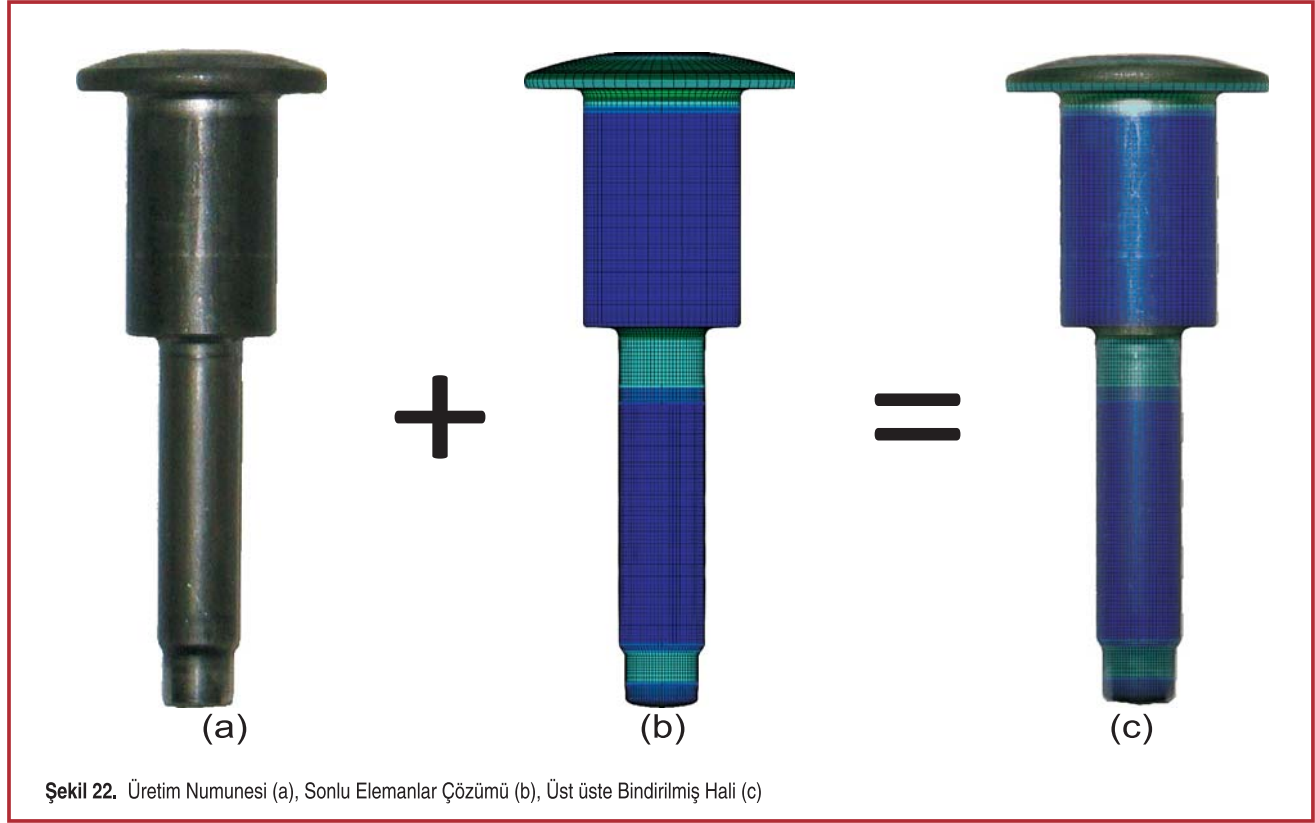


Şekil 20. 10 Numaralı Analizde Çekirdek 1 de Oluşan En Büyük Asal Gerilmeler

MAKSİMUM ASAL GERİLME (MPA)



Şekil 21. 11 Numaralı Analizde Çekirdek 1 'de Oluşan En Büyük Asal Gerilmeler



Şekil 22. Üretim Numunesi (a), Sonlu Elemanlar Çözümü (b), Üst üste Bindirilmiş Hali (c)

Analiz 4'te analiz sonuçları incelendiğinde Zarf 1 'de oluşan eşdeğer gerilmenin 1334 MPa olduğu bulunmuştur. Bu değer zarf malzemesinin plastik şekil değişimine uğrayabileceği bir gerilme değeridir. Analiz 5'te hem Zarf 1'de hem de Çekirdek 1'de oluşan sırasıyla 2200 ve 2121 MPa değerindeki eşdeğer gerilmelerden dolayı kırılma beklenmelidir. Analiz 6'da Çekirdek 1'de oluşan 1274 MPa'lık asal gerilme bu parçanın düşük çevrimlerde kırılmasına neden olacaktır. Analiz 7'de hem Zarf 1 hem de Zarf 2'de oluşan sırasıyla 2819 ve 1717 MPa 'lık eşdeğer gerilmeler bu parçaların kırılmasına neden olacaktır. Analiz 8'de ise Zarf 2 malzemesinde oluşan 1290 MPa'lık eşdeğer gerilme zarfın kırılmasına neden olacaktır. Sonuç olarak yapılan beş farklı analizde istenilen sonuçlar elde edilememiştir..

Son yapılan tasarıma göre Çekirdek 1 ve Zarf 1 sıkı geçirildikten sonra, parçalar kovana sıkı geçirilecektir. 9 numaralı analizde öncelikle Çekirdek 1 ve Zarf 1 0.018 mm (%0.056) sıkı geçirilmiş, daha sonra bu parçalar kovana 0.064 mm (%0.016) sıkı geçirilmiştir. Çekirdek 3-Zarf 3 sıkı geçmeleri daha önceki analizlerde olduğu gibi 0.078 mm alınmıştır. Şekil 16'da sıkı geçme sonrası parçalarda oluşan asal gerilme ve eşdeğer gerilme dağılımı verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde kritik hiçbir değere rastlanmamıştır. Bütün değerler söz konusu şartlar altında kritik değerlerin altında kalmaktadır. Çekirdek 1'deki en büyük çeki asal

gerilmesinin 848 MPa olduğu bulunmuştur. Bu değer çok kritik olmamakla birlikte mümkün olduğunca düşürülmesi kalıp ömrünün arttırılması açısından önemli olacağı düşünülmüş ve analiz 10 gerçekleştirilmiştir. Bu analizde 0.018 mm (% 0.056) olan Çekirdek 1 Zarf 1 sıkı geçmesi 0.028 mm'ye (% 0.0875) çıkarılmıştır. Diğer parçaların kovana sıkı geçmesi ise yine 0.064 mm'de bırakılmıştır. Söz konusu 10 numaralı analiz sonuçları incelendiğinde Çekirdek 1'de 9 numaralı analizde 848 MPa olan çeki asal gerilmesinin, 719 MPa değerine düştüğü görülmüştür. Daha fazla eniyileştirme yapılabileceği analitik hesaplarla desteklendikten sonra Çekirdek 1 ve Zarf 1 arasındaki sıkı geçme oranı 0.09 mm (% 0.28) yapılarak 11. Analiz gerçekleştirilmiştir. 11. Analiz sonuçları incelendiğinde çekirdekteki en büyük asal gerilmenin 178 MPa'a düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte 9 numaralı analizde 743 MPa olan Zarf 1 eşdeğer gerilmesi, 10 numaralı analizde 804 MPa'a, 11 numaralı analizde ise 1002 MPa'a yükselmesine rağmen hâlâ kabul edilebilir seviyededir. Şu da unutulmamalıdır ki eğer sıkı geçme değeri 0.12 mm'ye çıkarılırsa (%0.375) Zarf 1 plastik şekil değiştirecek gerilmelere maruz kalacaktır. Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18' de sırasıyla 9,10 ve 11 numaralı analizlerde sıkı geçme sonrası asal ve eşdeğer gerilmelerle, Şekil 19, 20 ve Şekil 21'de de sırasıyla 9, 10 ve 11 numaralı analizler sonucu Çekirdek 1 üzerinde oluşan asal gerilmelerin dağılımı verilmiştir.

Sonuç olarak: 11 numaralı analiz koşullarıyla üretim gerçekleştirilirse sabit kalıpta gerilmelerden kaynaklı düşük çevrim kopmaları ve kırılmaları olmayacağı kanaatine varılmıştır. Şekil 22' de önerilen kalıp modeli ile elde edilen ürünün analiz sonucu ile üretimi yapılan numune karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

SONUÇLAR

Genel olarak metal şekillendirme süreçleri, özelde ise soğuk dövme süreçlerinin sayısal benzetim yöntemi ile analizi hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de ürün kalitesini artırırken toplam verimliliği de yükseltmektedir. 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.

Bu makalede verilen çalışmalar, soğuk dövme süreçlerinde kullanılan sayısal benzetim yöntemiyle ürün özellikleri ve kalıp ömürlerinin tespiti, aynı zamanda süreç değişkenleri en iyileştirme çalışmalarının nasıl yapıldığıyla ilgili örnekleri içermektedir. Sayısal benzetim yöntemi ile deneysel ve üretim sonuçlarının birbirleriyle uyumu doğrudan sayısal benzetim yazılımı girdilerinin deneysel ve üretim koşullarını temsil edebilirliği ile ilişkilidir. Bu açıdan sayısal benzetim yazılımı girdi verilerinin deneysel çalışmalarla tespit edilmesi ve desteklenmesi özellikle kalıp ömürleri

tahminlerinde gereklidir. Sayısal benzetim yöntemlerini yedi yıldır tasarımın önemli bir aşaması olarak uygulayan firmamız sayısal benzetim yazılımı girdi verilerinin yüksek kalitede, güvenilir ve güncel olması için deneysel çalışmalarını ilk günden bugüne dek sürdürmektedir. Burada verilen örnek çalışmalar ile :

Tekkaya sertlik tahmini yöntemi %5-%10 arasında bir hata payı ile ürüne ait sertlik dağılımını tahmin etmektedir. Bu sonucun Tekkaya'nın ilgili makalesinde [2] elde ettiği sonuçlarla uyumlu olması kullandığımız sayısal benzetim girdilerinin doğruluğunun bir göstergesi olmakla birlikte, özellikle üretim ara mamül ve son ürünün herhangi bir sıcaklıkta, herhangi bir noktasındaki sertlik değerinin yüksek doğrulukta tespitini olanaklı kılmaktadır.

Kalıp ömürleri ile ilgili çalışmalarla elde edilen sonuçların üretim sonuçları ile uyumluluğu kullanılan girdilerin ve yorulma modelinin doğruluğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. **Tabor, D.** 2000. *The Hardness of Metals*, Oxford University Press, New York.
2. **Tekkaya, A.E., Lange, K.** 2000. "An Improved Relationship Between Vickers Hardness and Yield Stress For Cold Formed Materials And Its Experimental Verification," *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 49, 1, 205-208.
3. **Ahn, S.H., Kim, T.H., Kim, B.M., Choi, J.C.** 1997. "A Study on the Prediction of Fatigue Life in Axi-symmetric Extrusion Die," *Journal of Materials Processing Technology*, 71, 343-349.
4. **Fu M.W., Yong M.S., Muramatsu T.** 2008. "Die Fatigue Life Design And Assessment Via CAE Simulation," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 35, 843-851.
5. **Skov-Hansen P., Bay N., Gronbaek J., Bronsted P.** 1999. "Fatigue In Col-forging Dies: Tool Life Analysis," *Journal of Materials Processing Technology*, 95, 40-48.
6. **Saroosh M.A., Lee H.-C., Im Y.-T., Choi S.-W., Lee D.-L.** 2007. "High Cycle Fatigue Life Prediction of Cold Forging Tools Based On Workpiece Material Property," *Saroosh et. al. Journal of Materials Processing Technology*, 191, 178-181.