

BAĞLANTI ELEMANLARININ SOĞUK DÖVME İLE ÜRETİLMESİNDE SONLU ELEMAN ANALİZİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Canderim ÖNDER, Mert AYGEN

Mak. Müh.; Ar-Ge Müh.; Norm Cıvata

ÖZET

Bu bildiride, Norm Cıvata A.Ş.'nin 2003 yılında başlattığı; bağlantı elemanlarının soğuk dövme işlemi ile üretim tasarımı sonlu eleman analizlerinden yararlanma sürecinde geldiği nokta, örnekleriyle birlikte anlatılmıştır. 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 sürede ve maliyeti en düşük şekilde üretilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk dövme, sonlu elemanlar yöntemi, bağlantı elemanları

ABSTRACT

In this paper, the state on FE simulation utilization where Norm Fasteners Co. has reached after 3 years of experience is explained with case studies. By using Finite Element Analysis; material flow, die filling, lap formation, forging forces, ductile fracture and tool failures can be predicted. Prior prediction of those phenomena yields forging defect free products within short design times and with lower cost.

Keywords: Cold forging, finite element method, fasteners

Giriş

Geleneksel bağlantı elemanı soğuk dövme tasarım süreci, deneyime ve ustalık bilgisine dayalı olarak, bilimsel bilgilerin kullanımından uzak olarak yapılmaktadır. Birçok üretici; sağlıklı, kalıp ömürlerini uzun kılacak, ürünün güvenilirliğini ve kalitesini arttıracak tasarımları aramak yerine, istenilen ölçüler dahilindeki ürünü elde ettiğinde doğru tasarımın bulunduğunu düşünmektedir. Oysa, günümüzde lider konumda bulunan ve metal şekillendirme işlemlerini kullanan üreticiler, tasarım ve üretim arasındaki bağı güçlü şekilde oluşturan, yapılan yatırımı geri döndüren ve metal şekillendirme teknolojilerini geliştirecek 2 veya 3 boyutlu metal şekillendirme işlemlerinin simülasyonunu yapabilen 'üretim benzeşimi yazılımları'nı kullanmaktadırlar.

Bilgisayar simülasyonları, ürünün pazara çıkışını; makinalarda yapılacak masraflı deneme yanılma yöntemlerini ve içgüdülere dayanarak yapılan kalıp tasarımlarındaki hataları ortadan kaldırarak hızlandırmaktadır.

Bu yazıda, son dönemde firmamıza katkısı bulunan ve sonlu eleman analizleri yardımı ile sonuçlandırılmış çalışma örnekleri sunulmuştur.

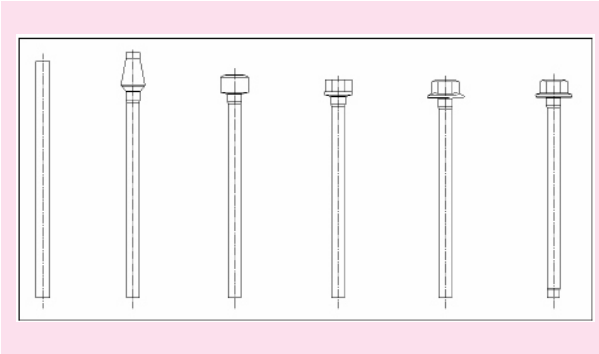
Norm Cıvata'nın AR-GE çalışmaları TÜBİTAK TEYDEB tarafından desteklenmektedir.

ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Bu kısımda örnek çalışmalar, incelenen problemin tipine göre: malzeme akışı, kalıp doldurma ve kalıp analizleri başlıkları altında anlatılmıştır.

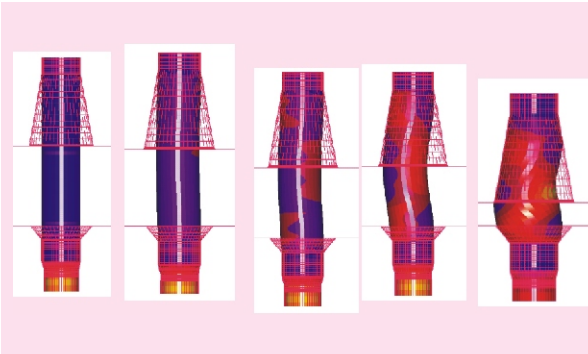
Malzeme Akışı

Flambaj Oluşumu: Şekil 1'de dövme istasyon adımları gösterilen flanşlı cıvatanın, 1. istasyondaki dövme adımında önform verilirken flambaj oluşma olasılığını incelemek amacıyla analiz çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 1. İstasyon Tasarımları

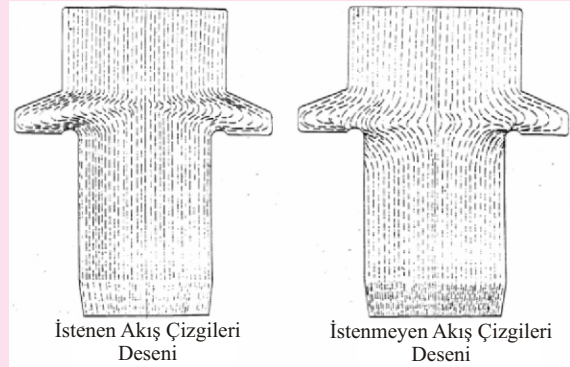
Sonlu Eleman Analizleri, 20MnB4 malzemeye ilişkin veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 8.00 mm'lik tel çapı öncelikle tel çekme işlemi ile 7.70 mm'ye düşürülmüş, istenilen boyda kesilen malzemeye 'armudi' adı verilen ön form, 180°'lik simetrisinin kullanıldığı 3 boyutlu simülasyonda verilmiştir. Analiz sonuçlarında malzemede flambaj oluşumu görülmüş (Şekil 2), bu sonuca göre üretim yaylı kalıp kullanılarak sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Flambaj Oluşumu

Akış Çizgilerinin Belirlenmesi: Dövme işlemi, kullanılan ham malzemenin üretiminde kullanılan 'devamlı tel çekme ve katılaşma (continuous drawing)' işleminden oluşan tel eksenine paralel lifleri deforme eder. Bu liflerin deformasyonu plastik şekillendirmenin derecesi ile ilgili bilgiler verir [4].

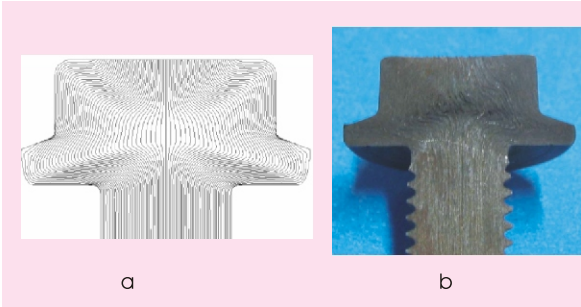
Otomotiv için üretilen DIN6921 tipi flanşlı cıvatalarda akış çizgilerinin ürünün dayanımını belirleyici etkisi mevcuttur. Bu nedenle DIN6921 bağlantı elemanlarımızın akış çizgilerinin kontrolü müşteri tarafından istenmiştir. Şekil 3'de istenen ve istenmeyen akış çizgileri gösterilmiştir.



Şekil 3. DIN6921 Tip Cıvatalarda Akış Çizgileri Desenleri

Analiz için M10x135x1.50 DIN6921 cıvata seçilmiş, parçanın kalıp teknik resimlerine ulaşılmış ve dövme işlemi bilgisayar ortamında eksenel simetrik olarak modellenmiştir. Çözülmesi gereken problem cıvatanın kafa bölgesinde olduğu için, shaftın 30 mm'lik kısmı modellenmiştir, böylelikle analizin çözüm süresi kısaltılmıştır. Analizler sonucunda, Şekil 4-a'da gösterilen akış çizgileri deseni elde edilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi, akış çizgilerinin ürün ekseninde birbirlerinden ayrıldığı bölge, flanş seviyesinin üst kısmında kalmaktadır. Bu, istenen plastik deformasyon şeklidir. Akış çizgilerinin şeklini doğrulamak için, M10 DIN 6921 cıvatanın akış çizgileri 1:1 HCl-H₂O solüsyonunda makro dağlama yöntemi ile ortaya çıkarılmıştır. Akış çizgileri, simülasyon programının da öngördüğü şekilde ortaya çıkmıştır (Şekil 4-b).

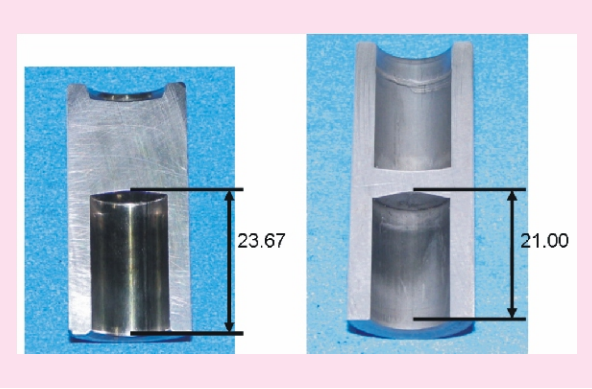


Şekil 4. Flambaj Oluşumu

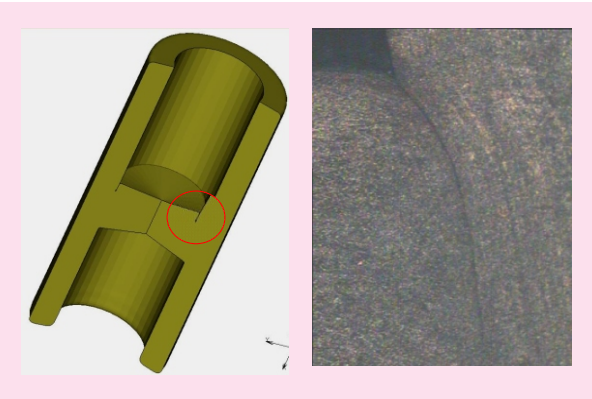
Katlanma Oluşumu: Firmamızda üretilen Ø12.146.5 burçların 'çökme testi' adı verilen ve eksenel yönde uygulanan kuvvet karşısında, parçadaki plastik deformasyon miktarının belirli değerin altında kalmasının istendiği birtakım testlerden geçmesi gerekmektedir. Ancak, üretilen parçalar izin verilen değerlerden daha fazla miktarda kalıcı deformasyona uğramaktadır. Sorunun nedeninin anlaşılması amacıyla, metal şekillendirme işleminin analiz edilmesine karar verilmiştir. Üretimde kullanılan kalıplar, çıkarıcı ve zımbalar sökülerek perthometre cihazında taranmış ve geometrileri çıkarılmış, simülasyonlar bu kalıp geometrileri kullanarak yapılmıştır.

Analizler sırasında, ürünün birbirini takip eden dövme adımlarındaki delik derinlik farklarından

kaynaklanan ciddi bir katlanma probleminin varlığı görülmüştür (Şekil 5 ve 6).



Şekil 5. İstasyon Numunelerinde Delik Derinlikleri



Şekil 6. Burçtaki Katlanma Hatasının Simülasyonda Tespiti ve Aynı Hatanın Mikroskop Altındaki Görüntüsü

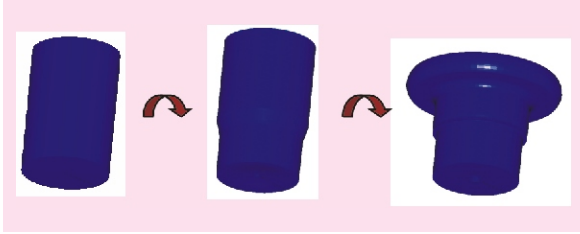
Oluşan bu katlanma, son şekillendirme istasyonunda delme işlemi ile atılan parça ile birlikte yok olmamakta, ürün üzerinde kalmaktadır. Bu nedenle, görülen hata parçanın mekanik dayanımını azaltmış, ayrıca kötü bir görünüme neden olmuştur.

Katlanma hatası, ara istasyon şekilleri değiştirilerek, sonlu eleman analizleri yardımı ile giderilmiş ve hatasız ürün elde edilmiştir. Katlanma hatası bulunmayan ürün, müşteri tarafından istenen mekanik testlerden geçmiştir.

Kalıp doldurma

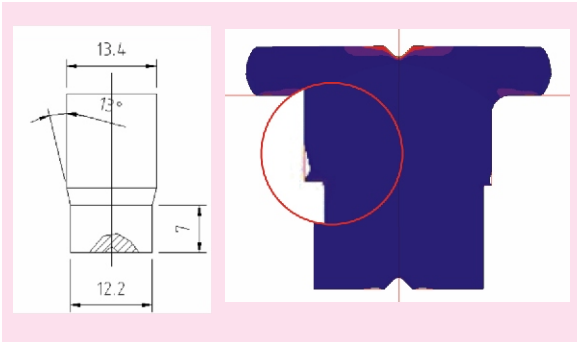
Ø13.514 Kademeli Perçin: Şekil 7'de soğuk

dövme basamakları görülen perçin için yapılan üretim tasarımının kalıp üretimine geçilmeden önce malzeme akışını incelemek amacıyla analiz çalışmaları yapılmıştır.



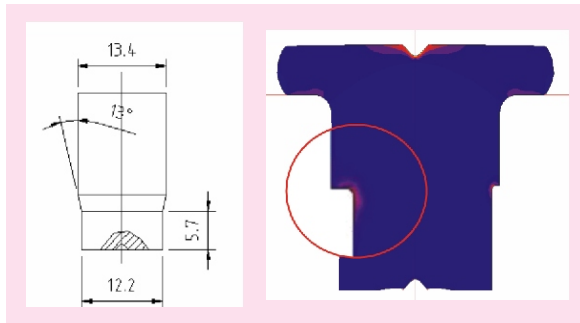
Şekil 7. Perçin Soğuk Dövme Basamakları Tel Kesme, Redüksiyon ve Kafa Şişirme

Analiz sonuçları, ürüne son şeklin verildiği kafa şişirme istasyonunda, Şekil 8'de gösterilen kalıp doldurmama probleminin varlığını göstermiştir.



Şekil 8. 1. İstasyon Geometrisi ve Kafa Şişirme İstasyonundaki Kalıp Doldurmama

Bu hatanın giderilmesi için 1. istasyonda redüksiyona uğrayan bölümün uzunluğu kısaltılmış ve Şekil 9'da görüldüğü gibi malzemenin kalıbı doldurması sağlanmıştır.

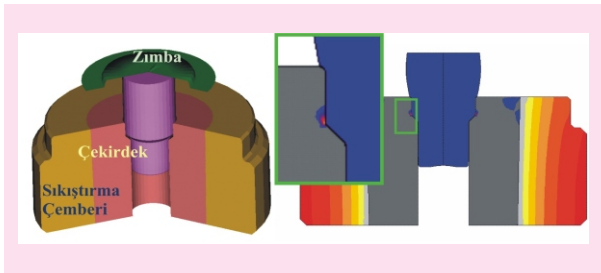


Şekil 9. Değiştirilen 1. İstasyon Geometrisi ve Kalıbın Doldurulmasının Sağlanması

Kalıp Analizleri

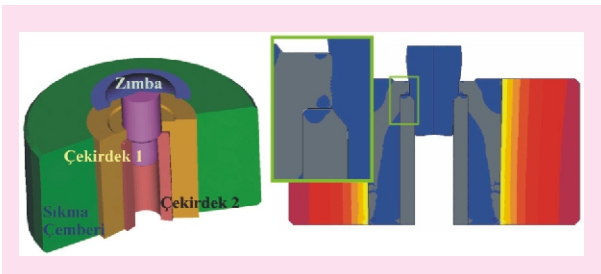
M10 perçin soğuk dövme kalıp analizi:

Bir M10 perçinin dövme işlemi sırasındaki kalıp gerilmeleri sonlu eleman simülasyonları ile analiz edilmiştir. İlk tasarım, kalıpta tek bir çekirdek kullanıldığını öngörmektedir (Şekil 10). Analizler, böyle bir tasarımda, kalıbın köşe bölgesinde asal çekme gerilmelerinin varlığını göstermiştir. Gerilmenin büyüklüğü 620 MPa'dır.



Şekil 10. İlk Tasarım Sonrası Kalıpta Asal Çekme Gerilmeleri

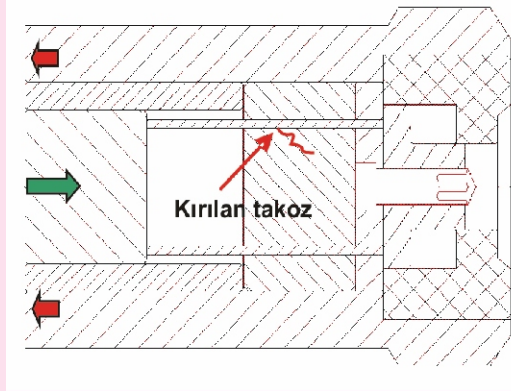
Bu büyüklükteki çekme gerilmesi, ani veya düşük çevrimli kalıp kırılmasına yol açacağından, çeşitli kalıp sistemleri denenmiş ve iki çekirdekten oluşan kalıp sisteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Dövme simülasyonları bu sistemde çekme gerilmesi oluşmadığını göstermiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Çekme Gerilmesi Görülmeyen Geliştirilmiş Kalıp Tasarımı

Zimba kalıpları iyileştirmesi: Mekanik preslerde üretilen 12-lobe şapkalı cıvatalarda, kafa dövme istasyonunda dövülmüş cıvatanın hareketli kalıp

üzerinde kalmaması için zımba kalıplarında Şekil 12'de gösterilen çizime benzeyen çıkarıcı pim tasarımı uygulanmaktadır. Dövme işlemi tamamlandıktan sonra koç geri gelirken, çıkarıcılar yardımıyla civata, zımba çevresinden itilerek zımba üzerinden çıkarılır.



Şekil 12. Pimli Çıkarıcı Sistemin Teknik Çizimi

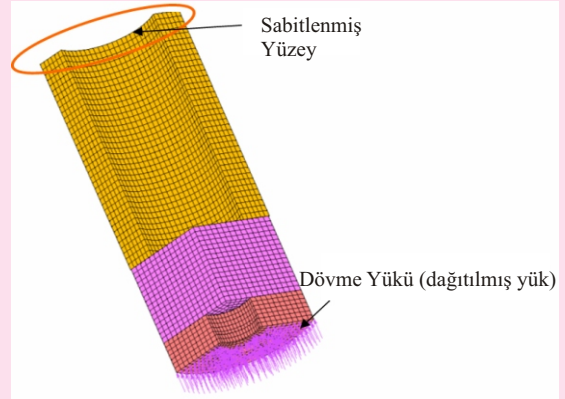
Bu çıkarıcı sistem uygulandığında, Şekil 11'de gösterilen takozun yaklaşık 5000 dövme vuruşu sonrasında kırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Takozda Görülen Kırılma

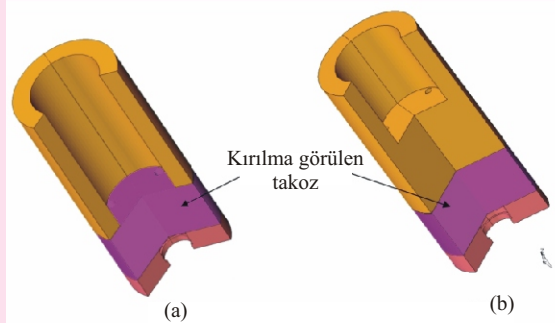
Kalıpların analizi için, dövme işlemi 3 boyutlu olarak simüle edilmiş ve dövme kuvvetinin maksimum değerine ulaştığı anda rijit kalıplar

üzerine düşen basınç vektörleri ağ yapısı örülmüş modele taşınmıştır (Şekil 14). MSC. SuperForm yazılımında yapılan yapısal analizde, takoz delikleri



Şekil 14. Hareketli Kalıp Sonlu Elemanlar Modeli

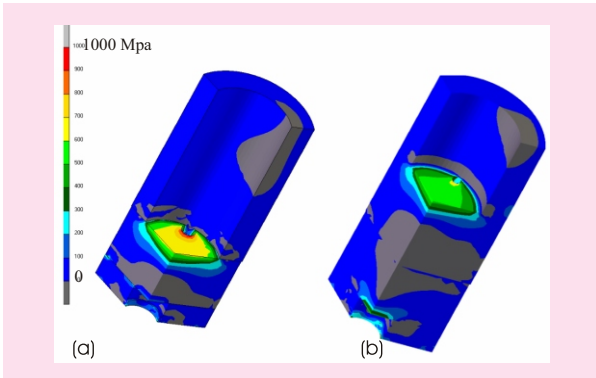
çevresinde 1000 MPa asal çekme gerilmesi görülmüş, bu değer düşürülmesi amacıyla üretim bölümünün önerisi ile Şekil 15'de görülen değişiklik yapılmıştır. Bu değişiklik takoz parçasının arkası kalıp kovani ile güçlendirilerek, kalıp sisteminin dövme yükünden kaynaklanan bükme momentine karşı daha dayanımlı olması sağlanmıştır. Yapılan iyileştirme sonrası sonlu eleman analizleri aynı sınır koşulları altında tekrarlanmış, sistemde kırılma gerçekleşen noktada



Şekil 15. Hareketli Kalıp Tasarımında Yapılan Değişiklik

asal çekme gerilmelerinin 500 MPa değerine düştüğü görülmüştür.

Yapılan değişiklikle, üretim esnasında kalıp ömrü ciddi oranlarda uzamıştır. İyileştirme öncesi ve sonrasındaki analiz sonuçları Şekil 16'da görülebilir.



Şekil 16. İyileştirme Öncesi (a) ve Sonrası (b) Kalıplarda Asal Çekme Gerilmesi Dağılımı

SONUÇ

Bu yazıda örneklendiği gibi, bağlantı elemanlarının soğuk dövme üretim ve öncesindeki tasarım sürecinde karşılaşılan sorunların çözümünde Sonlu Eleman Analizlerinin kullanılması kısa zamanda doğru çözümler bulunmasına yardımcı olmuştur. Karşılaşılan sorunların çözümünde izlenen yol öncelikle sorunun varlığını kanıtlamak, ardından çözüm yollarını dövme konusunda deneyimli teknik ekiple birlikte aramak olmuştur. Böylelikle, sonlu eleman analizlerinin doğruluğunu direkt olarak etkileyen sınır koşullarının (dövülen malzemenin akma eğrileri, kalıp malzemelerinin elastik özellikleri sürtünme katsayıları, ısı özellikleri vs.) gerçek değerlerle örtüşecek şekilde belirlendiği de kanıtlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar; Norm Civata A.Ş'nin, soğuk dövme ile imalat yönteminde sonlu eleman benzeşimi teknolojisinin uygulanması projelerine desteklerinden ötürü TÜBİTAK-TEYDEB'e teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. **Parteder E.; Bünten R.:** "Determination of Flow Curves by Means of a Compression Test under Sticking Friction Conditions Using an Iterative Finite-Element Procedure"; Journal of Materials Processing Technology, 74 (1998), pp. 227-223.
2. **Önder C.:** "Analysis of Bolt Production by Metal Forming"; Yüksek lisans tezi; Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2004
3. **Tekkaya A.E.:** "A Guide for Validation of FE-Simulations in Bulk Metal Forming"; The Arabian Journal for Science and Engineering; Vol 30 (2005), pp.113-136.
4. **Lange, K.:** "Handbook of Metal Forming"; Society of Manufacturing Engineers; 1985
5. MSC. SuperForm Command Reference, 2004

Odamız çalışmalarına



adresinden
ulaşabilirsiniz