

Süleyman Kılıç

Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu Makine
Bölümü 79000 KİLİS

Fahrettin Öztürk,
Niğde Üniversitesi Mühendislik-
Mimarlık Fakültesi Makine
Müh. 51245 NİĞDE

Serkan Toros
Niğde Üniversitesi Mühendislik-
Mimarlık Fakültesi Makine
Müh. 51245 NİĞDE

DP800 Çeliğinin Mekanik Özelliklerinin ve Geri Esneme Davranışının İncelenmesi

Bu çalışmada son yıllarda otomotiv endüstrisindeki kullanımında artış görülen yüksek mukavemetli DP 800 sac malzemelerin mekanik özelliklerinin deformasyon hızına bağlı değişimi ve geri esneme davranışları incelenmiştir. Aynı zamanda malzemenin şekillendirme işleminin ETA-Dynaform 5.5 sonlu elemanlar yazılımında simülasyonları yapılmış, malzeme elde edilen geri esneme miktarları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Malzemenin geri esneme davranışının, artan deformasyon hızına bağlı olarak çok az miktarda azaldığı ve sac genişliğinin geri esneme üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları ile deneysel veriler arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: DP çelikler, DP800, İki fazlı çelikler, Eğme, Geri esneme, Sonlu elemanlar analizi

GİRİŞ

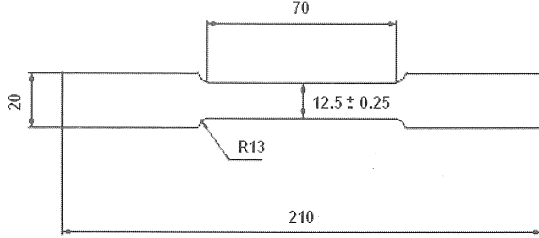
Son yıllarda yakıt tasarrufu sağlamak ve CO₂ emisyonunu azaltmak amacıyla otomobillerin ağırlıklarının azaltılması yönündeki çalışmalara hız verilmiştir. Bu çalışmaların başında da yüksek mukavemetli çelikler gibi mukavemet-ağırlık oranı yüksek olan malzemelerin kullanımının artırılması yönündeki çalışmalar yer almaktadır [1-3]. Bu oranın yüksek olması taşıtlarda istenen mukavemet özelliklerinin daha ince malzemelerden üretilmiş parçalardan elde edilebilmesine imkan sağlamaktadır. Çift fazlı çelikler (Dual Phase) yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin A1 ve A3 kritik sıcaklıkları arasında (ferrit + östenit) tavlınması ve bu sıcaklıklar arasında bir süre tutulmasının ardından hedef yapıyı elde edebilecek soğuma hızında soğutulması ile elde edilmektedirler. Çift fazlı çeliklerin mikroyapıları, ferrit matrisi içerisinde dağılmış yaklaşık %20 sert martenzit fazından oluşmaktadır [4]. Bu yapı da malzemenin üstün mukavemet özelliklerine sahip olmasını sağlamaktadır. Bu malzemelerin kullanımının yaygınlaşmasının sağlanması ise malzemenin kolay şekillendirilebilirliği ile mümkün olmaktadır. Bu malzemeler oda sıcaklığında şekillendirilmesine rağmen şekillendirme sonrası büyük miktarda geri esneme göstermektedirler. Ortaya çıkan geri esneme iş parçalarındaki boyutsal tamlığın bozulmasına ve montaj esnasında sıkıntılara yol açmaktadır. Malzemelerde gözlemlenen geri esneme davranışlarının tasarım aşamasında göz önünde bulundurulması büyük önem arz etmektedir. Literatürde malzemelerin bu özelliklerinin

incelenmesi konusunda birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda yoğun olarak malzemelerin mekanik özelliklerinin (elastiklik modülü, akma kabiliyeti, kalınlık, pekleşme özelliği vs.) ve işlem parametrelerinin (kalıp geometrileri, bükme açısı, uygulanan yük vs.) etkilerinin çalışıldığı görülmektedir [5-12]. Deneysel çalışmalara ilave olarak sonlu elemanlar programları kullanılarak analizler yapılmaktadır. Bilgisayar ortamında yapılan simülasyon çalışmaları maliyet ve zaman açısından imalatçıya büyük avantajlar sağlamakta ve üretim esnasında ortaya çıkacak bir çok problem önceden çözüme kavuşturulabilmektedir. Bu durumda simülasyonların doğruluğu çok büyük önem arz etmektedir. Simülasyonların doğruluğuna etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin en önemlilerinden birisi kullanılan malzeme modelleridir. Literatürde bu konu ile ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Simülasyon sonuçlarının uygulamada daha etkili kullanılması amacıyla farklı kodlar ve yaklaşımlar açıklanmış ve yeni teorilerin de oluşturulmasına hız verilmiştir [13-18].

Yapılan bu çalışmada DP800 çeliğinin öncelikle farklı hızlarda mekanik özellikleri incelenmiş daha sonra geri esneme davranışının belirlenmesi amacı ile V-kalıpta eğme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca eğme deneyi ETA-Dynaform sonlu elemanlar analiz programında modellenip farklı malzeme modelleri kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

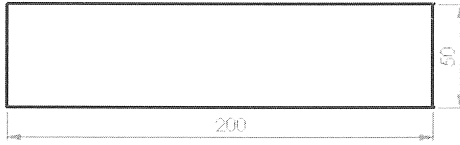
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İlk olarak 0,8 mm kalınlığındaki DP800 sac malzemeden ASTM-E8 standardına uygun çekme deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 1). Numuneler su jeti ile kesilerek hazırlanmıştır. Daha sonra da oda sıcaklığında Shimadzu Autograph 100kN çekme cihazında 5-500 mm/dk çene hızı aralığında çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Birim deformasyon ölçümleri video tip extensometre ile yapılmıştır.

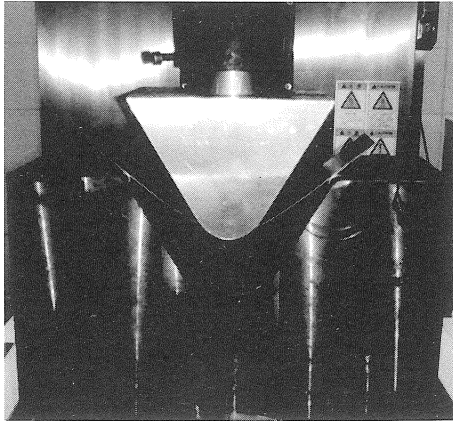


Şekil 1 Çekme deney numunesi ölçüleri

Deneysel çalışmanın ikinci bölümünde ise Şekil 2'deki gibi eğme deney numuneleri hazırlanmıştır. Parça geometrisinin etkisini de incelemek amacıyla numuneler farklı genişliklerde (25, 50, 75, ve 100 mm) hazırlanmıştır. Eğme işlemi Resim 1'de görülen 60° açılı V kalıpla 25 mm/dk sabit hızda gerçekleştirilmiştir. Geri esneme açıları ± 5 dk hassasiyetindeki Mitutoyo 187-907 üniversal açılçer ile yapılmıştır.



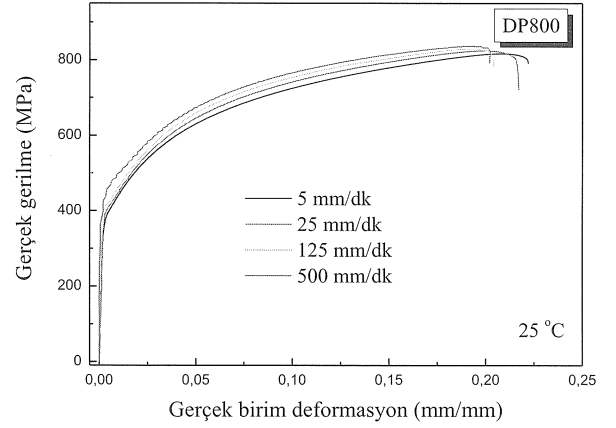
Şekil 2 Eğme deney numunesi



Resim 1 60° açılı V kalıp deney düzeneği

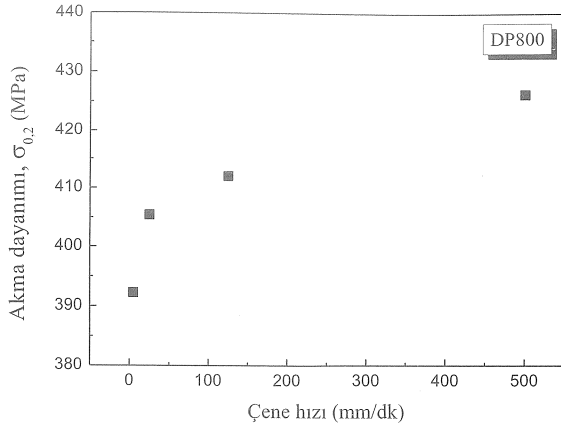
ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Çekme deneyleri 5, 25, 125 ve 500 mm/dk çene hızlarında gerçekleştirilmiş olup malzemenin hızla bağlı olarak mekanik özelliklerinin değişimi belirlenmiştir. Her bir deney üçer kez tekrar edilerek ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Eğme deneyleri ise 5, 25, 125, 500 ve 1000 mm/dk zımba hızlarında gerçekleştirilmiştir. Video ekstensometre ile 1000 mm/dk hızında veri alamadığımız için çekme deneyleri bu çene hızında yapılmamıştır. Şekil 3'te malzemenin gerçek gerilme-gerçek birim deformasyon eğrileri dört farklı hız değeri için gösterilmiştir. Şekilde malzemenin mukavemetinin artan hızla birlikte çok az miktarda arttığı tespit edilmiştir. Toplam birim deformasyonda da aynı şekilde çok az bir miktarda düşüş görülmüştür. 125 mm/dk ve 500 mm/dk çene hızları arasında ise neredeyse fark yoktur. Deneysel veriler değerlendirilerek malzemenin hızla bağlı akma ve çekme dayanımının değişimi tespit edilmiştir. Deneysel veriler işlenerek malzemenin pekleşme katsayısı (n), mukavemet katsayısı (K) ve deformasyon oranı hassasiyeti (m) de hesaplanmıştır. Akma noktasının tespitinde birim deformasyonunun % 0,2'si kullanılmıştır.

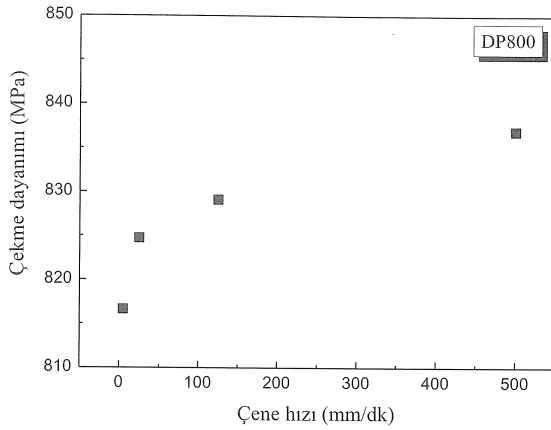


Şekil 3 Gerçek Gerilme Birim deformasyon eğrisi

Şekil 4'te malzemeye ait akma dayanımın deformasyon hızına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere malzemeye ait akma eğrileri şekillendirme hızının artması ile artmaktadır. Rakamsal olarak 392 MPa'dan 426 MPa'a arttığı görülmüştür.

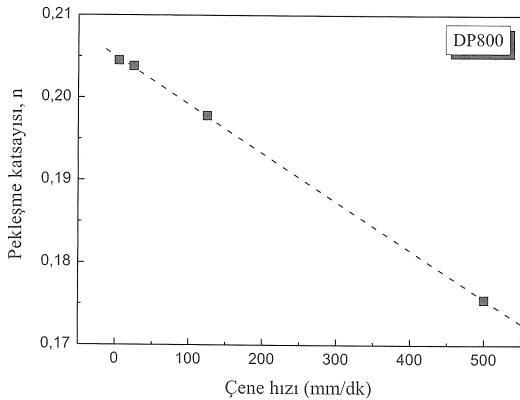


Şekil 4 Akma dayanımının çene hızı ile değişimi



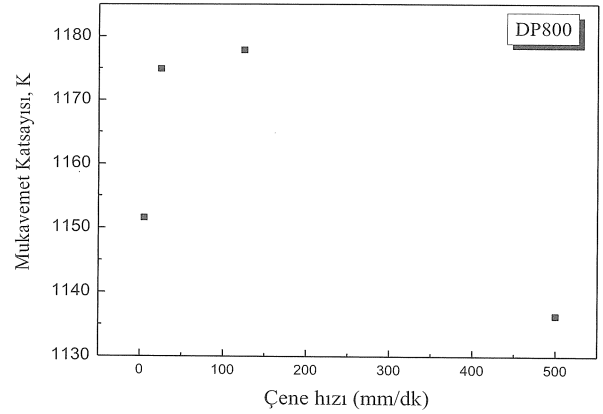
Şekil 5 Çekme dayanımının çene hızı ile değişimi

Malzemenin çekme dayanımındaki değişimi Şekil 5'te verilmiştir. 25 mm/dk çene hızında 816 MPa iken, 500 mm/dk çene hızında 836 MPa'a artmıştır. Malzemenin akma dayanımındaki artış miktarının çekme dayanımına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu ise malzemenin pekleşme hızının birim deformasyonla birlikte azaldığını göstermektedir. Malzemeye ait pekleşme katsayısının değişimi Şekil 6'da verilmiştir.



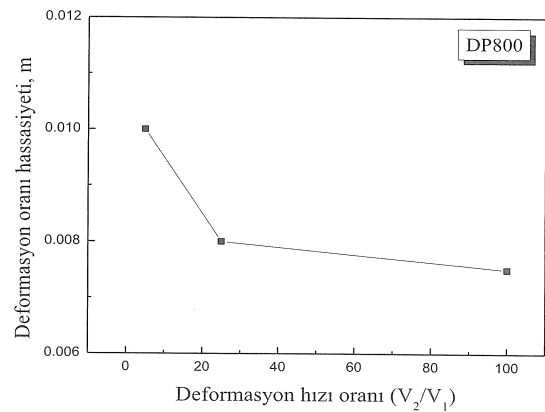
Şekil 6 Pекleşme katsayısının çene hızı ile değişimi

Grafikten malzemenin pekleşme kabiliyetinin, uygulanan deformasyon hızı ile birlikte azaldığı gözlemlenmiş olup rakamsal olarak 0,20'den 0,17'ye düşmüştür. Şekil 7'de ise malzemeye ait mukavemet katsayısındaki değişim gösterilmiştir. Şekilden malzemenin mukavemet katsayısı değerinde bir dalgalanma olduğu gözlemlenmiş olup 125 mm/dk çene hızına kadar arttığı ve bu hızdan sonra da azaldığı görülmektedir. Malzemelerin şekillendirilmesinde önemli bir rol oynayan diğer bir mekanik özellik ise malzemenin deformasyon oranı hassasiyetidir. Çeliklerde bu özellik belirli bir şekillendirme hızına kadar duyarlı davranmaktadır. Şekil 8 ve 9'da malzemenin hız duyarlılığının sırasıyla şekillendirme hızı oranı ile birim deformasyon boyunca değişimi verilmektedir.

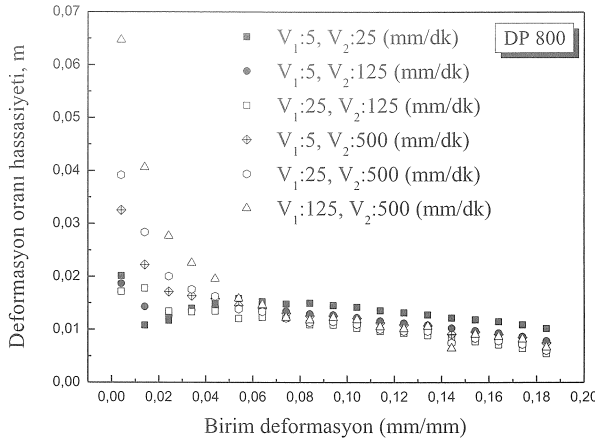


Şekil 7 Mukavemet katsayısının çene hızı ile değişimi

V_1 sabit hızı 5, V_2 hızları ise 25, 125 ve 500 mm/dk çene hızı olarak, Şekil 8'deki deformasyon oranı hassasiyetinin değişim grafiği verilmiştir. Şekil 8 ve 9'da görüldüğü gibi deformasyon hızı oranı ve birim deformasyon arttıkça malzemenin deformasyon oranı hassasiyeti azalmaktadır.



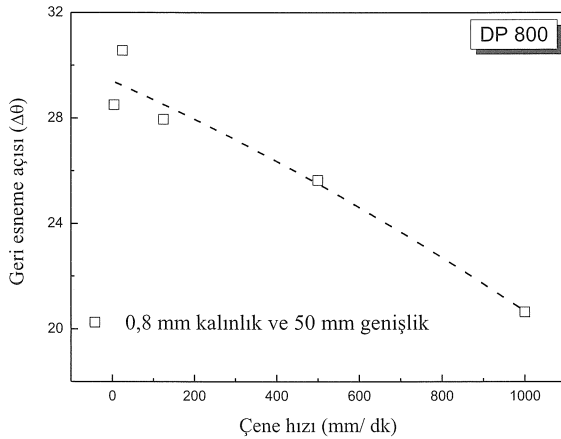
Şekil 8 Deformasyon oranı hassasiyetinin deformasyon hızı oranı ile değişimi



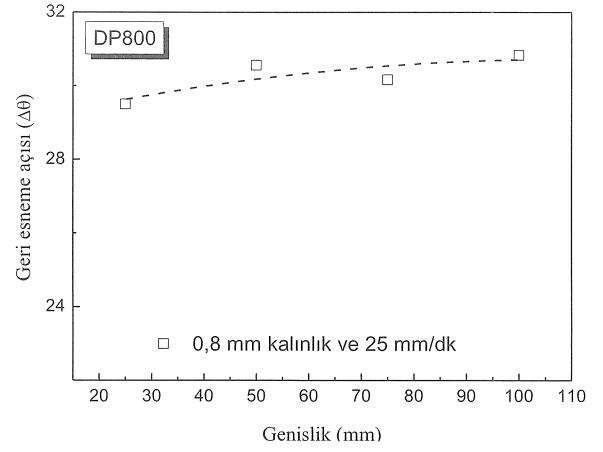
Şekil 9 Deformasyon oranı hassasiyetinin birim deformasyon ile değişimi

EĞME DENEYİ SONUÇLARI

Malzemenin geri esneme davranışları 60°'lik V kalıpta 20 mm' lik burun yarıçapına sahip zımba kullanılarak belirlenmiştir. İlk olarak 0,8 mm kalınlığında ve 50 mm genişliğindeki numuneler farklı hızlarda şekillendirilmiştir. Daha sonra da farklı genişlikteki numuneler sabit 25 mm/dk deformasyon hızında şekillendirilerek şekillendirme hızının ve parça genişliğinin geri esneme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 10 ve 11 sırasıyla, malzemenin geri esneme miktarının, şekillendirme hızına ve malzeme genişliğine bağlı olarak değişimini göstermektedir. Deformasyon hızının artmasıyla beraber geri esneme değerinin 9° kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bununla birlikte malzemenin genişliğinin artmasıyla da geri esneme miktarının 1,3° kadar arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak malzeme genişliğinin geri esneme üzerinde önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.



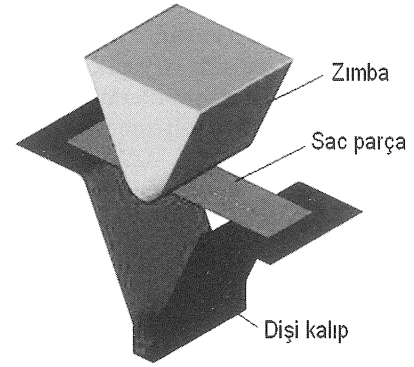
Şekil 10 Geri esneme miktarının zımba hızı ile değişimi



Şekil 11 Geri esneme miktarının genişlik ile değişimi

SONLU ELAMANLAR SİMÜLYASYONLARI

Bu çalışmada DP800 yüksek mukavemetli çeliğinin şekillendirme ve geri esneme simülasyonları için Eta-DynaForm 5.5 sonlu eleman analiz programı kullanılmıştır. Analizler için kullanılan kalıp sistemi Şekil 12'de görülmektedir. Sistem dişi kalıp, sac parça ve erkek kalıptan (zımba) oluşmaktadır. Ayrıca yapılan şekillendirme simülasyonları, program içerisinde bulunan farklı modeller kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Simülasyon çözümlerinde power law plasticity (Model 18), piecewise linear plasticity (Model 24), anisotropic elastic plastic model (Model 37) ve Barlat – Lian (Model 36) modelleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 12 60° V kalıpta eğme modeli

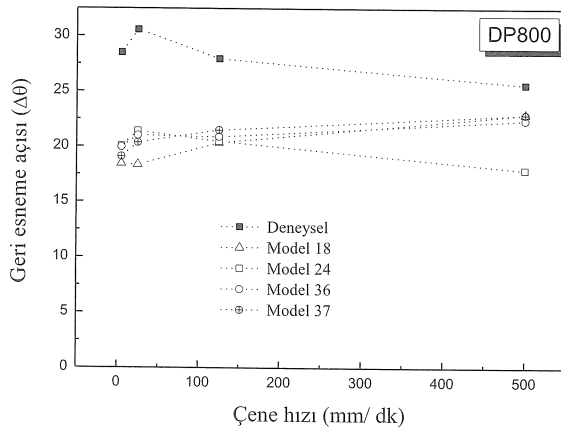
Bu çalışmada her parça yüzey olarak kendi boyutlarında modellenmiştir. Modelleme işlemi Catia V5 programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizlerin daha sağlıklı sonuç vermesi için kendi malzeme kartları yerine bizim kendi ürettiğimiz malzeme kartları kullanılmıştır. Kullanılan dört farklı modelde bizim deneysel olarak elde ettiğimiz gerilme-birim deformasyon dataları, akma noktası, n, K değerleri kullanılmış, poisson oranı, yoğunluk ve

anizotropi vb. değerleri malzeme kartlarındaki değerler alınmıştır. Analizlerde dişi kalıp ve parça sabitken zimbaya hareket verilmiştir. Şekil 13' de Barlat – Lian (Model 36) modeli için malzemeye ait mekanik özelliklerin tanımlandığı kısımdan bir kesit görülmektedir.

MATERIAL TYPE 36	
MATERIAL TITLE	DP800
MASS DENSITY	7.800000E-009
YOUNGS MODULUS	2.160000E+004
POISSONS RATIO	3.300000E-001
HARDENING RULE(EXPON.)	3.000000E+000
MATERIAL PARAM P1 (K)	4.124000E+002
MATERIAL PARAM P2 (N)	2.550000E-001
EXPONENT FACE M	8.000000E+000
LANKFORD PARAM R00	7.700000E-001
LANKFORD PARAM R45	7.700000E-001
LANKFORD PARAM R90	7.700000E-001
FLD CURVE NUMBER	110

Şekil 13 Malzeme özelliklerinin tanımlanması

Analizlerde iş parçası BELYTSCHKO-TSAY kabuk eleman kullanılarak 1312 elemente bölünmüş olup kalınlık boyunca da 5 bölüme ayrılmıştır. Eleman sayısı analiz sonuçlarını etkilemekle birlikte analiz sürelerini de artırmaktadır. Ayrıca şekillendirme simülasyonları esnasında deformasyonun fazla olduğu bölgelerde malzemede belirlenen ağ sisteminin daha küçük parçalara bölünerek çözümdeki hassasiyetin artırılması sağlanmıştır. Eğme simülasyonlarında eksplicit yöntem kullanılmaktadır. Geri esneme analizleri ise, eğme simülasyonlarından farklı olarak implisit yöntem ile çözülmektedir. Şekil 14'te farklı deformasyon hızlarında yapılmış simülasyon sonuçlarının deneysel verilerle karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 14 Deneysel veriler ve sonlu elamanlar modelleri arasındaki geri esneme farkları

Şekilden de görüldüğü üzere mevcut model sonuçları kendi içerisinde ve deneysel verilerle farklılıklar göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre geri esnemenin hıza bağlı değişimi, eğilim olarak Model 24'e (piecewise linear plasticity) benzer olmakla birlikte veriler arasında çok miktarda farklılıklar görülmektedir. Diğer modellerde eğilim verilerle yaklaşım görülmektedir. Sonuç olarak kullanılan hiç bir model geri esneme davranışını doğru istenilen doğrulukta tahmin edememiştir.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada DP 800 çeliğinin farklı deformasyon hızlarında mekanik özelliklerindeki değişim ile birlikte deformasyon hızı ve sac kalınlığına bağlı olarak geri esneme davranışı incelenmiştir. Geri esneme davranışı sonlu elemanlar simülasyon programı kullanılarak da dört farklı malzeme modeli için modellenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Deformasyon hızının artmasıyla beraber akma ve çekme dayanımı artarken; toplam uzama ile çekleşme katsayısı değerleri azalmaktadır.

2. Malzemenin geri esneme davranışı artan deformasyon hızına bağlı olarak çok az miktarda azalmıştır.

3. Sac genişliğinin geri esneme üzerinde önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

4. Sonlu elemanlar simülasyon sonuçları deneysel verilerle uyumluluk göstermemiştir, sadece piecewise linear plasticity model eğilim olarak deneysel verilerle uyumludur.

5. Simülasyonlarda piecewise linear plasticity malzeme modeli hariç diğer modellerde, artan deformasyon hızı ile birlikte deneysel verilerle yaklaşma görülmüştür.

6. Kullandığımız malzemelere ait anizotropi değerleri ve poisson oranı bulunup, bu değerlerle analizler tekrar yapılarak anizotropi ve poisson oranının analizlere etkisinde bir sonraki çalışmamızda yapılacaktır.

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND SPRINGBACK BEHAVIOR FOR DP800 STEEL

In this study, the effect of deformation speed on mechanical properties and springback behavior for DP steel, which has an increased trend in its usage in automotive industry were investigated. Springback prediction was also determined using by ETA-Dynaform 5.5 program and results were compared with experiments. It is determined that springback was slightly decreased with increasing deformation speed and the size of sheet width has no effect on

springback. Finite element results were not in accord with experimental findings.

KeywordS: DP steels, DP800, dual phase steels, bending, springback, finite element analysis

KAYNAKÇA

1. Kleiner, M., Geiger, M., Klaus, A., Manufacturing of lightweight components by metal forming, 2003, Annals of the CIRP, 52/2, pp 521-542.
2. Kleiner, M., Chatti, S., Klaus, A., Metal forming techniques for lightweight construction, 2006, J Mater. Proc Technol., 177, pp.2-7,
3. Neugebauer, R., Altan, T., Geiger, M., Kleiner, M., Sterzing, A., Sheet Metal Forming at Elevated Temperatures, 2006, Annals of the CIRP, 55/2, pp.793-816.
4. Llewellyn, D. T. and Hillis, D. J., Review: Dual Phase Steel, 1996, Ironmaking and Steelmaking, 23, 471-478.
5. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., determination of spring-back of stainless steel sheet metal in "V" bending dies. 2008, Mat&Des, 29, pp. 1043-1050.
6. Imai, K., Koyama, J., Jin, Y., High-accuracy V-bending system by real time identifying material property. 2008, J Mater. Proc Technol., 201, pp. 193-197.
7. Asnafi, N., Springback and fracture in v-die air bending of thick stainless steel sheets. 2000, Mat&Des, 21, pp. 217-236.
8. Leu, K.D., A simplified approach for evaluating bendability and springback in plastic bending of anisotropic sheet metals. 1997, J Mater. Proc Technol., 66, pp. 9-17.
9. Fei, D., Hodgson, P., Experimental and numerical studies of springback in air v-bending process for cold rolled TRIP steels. 2006, Nuclear engineering and design, 236, pp. 1847-1851.
10. Li, X., Yang, Y., Wang, Y., Bao, Jun, Li, S., Effect of material hardening mode on the springback simulation accuracy of V-free bending. 2002, J Mater. Proc Technol., 123, pp. 209-211.
11. Zhang, C.L., Lu, G., Leong, C.S., V-shaped sheet forming by deformable punches. 1997, J Mater. Proc Technol., 63, pp. 134-139.
12. Romeu, G.L.M., Ciurana, J., Ferrer, I., springback determination of sheet metals in an air bending process based on an experimental work, 2007, Mater. Proc Technol., 191, pp. 174-177.
13. S. I. Oh, Shiro Kobayashi, Finite element analysis of plane-strain sheet bending, 1980, Int. J. of Mech.Sci., 22-9,583-594.
14. N. Yamamura, T. Kuwabara, A. Makinouchi, M. Banu, C. Teodosiu, Springback simulation for hot-bending by the static explicit FEM code, using a new algorithm for cancelling the non-equilibrated forces, in: Proceedings of the 2001 Japanese Spring Conference for the Technology of Plasticity, Tokyo, 2000, 101-104.
15. S.W. Lee, D.Y. Yang, An assessment of numerical parameters influencing springback in explicit finite element analysis of sheet metal forming process, 1998, J. Mater. Process. Technol. 80-81 p60-67.
16. N. Narasimhan, M. Lovell, Predicting springback in sheet metal forming: an explicit to implicit sequential solution procedure, 1999, Finite Elements Anal. Des. 33 p29-42.
17. D.W. Park, J.J. Kang, J.P. Hong, Springback simulation by combined method of explicit and implicit FEM, 1999, in: Proceedings of NUMISHEET'99, pp. 35-40.
18. K.P. Li, W.P. Carden, R.H. Wagoner, Simulation of springback, 2002, Int. J. Mech. Sci., 44, p103-122.