

Eren Billur
Yrd. Doç. Dr.

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Metal Şekillendirme
Mükemmeliyet Merkezi
Atılım Üniversitesi, Ankara

Billur Makine Dış Tic. ve San. Ltd.
İvedik / Ankara

Barış Çetin

Lider Malzeme ve Özel İşlemler
Mühendisi

FNSS Sav. Sis. AŞ
Gölbaşı / Ankara

M. Mutlu Yılmaz

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Oğuzhan Onaylı

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Anıl Atay

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Ali Gökhan Oğuz

Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi, Ankara

Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Servo Pres Kullanılarak Bükülmesi

Geleneksel olarak bir çeliğin mukavemetinin artması ile beraber şekillenebilirliği azalmaktadır. Son yirmi yılda çelik üreticileri hem yüksek mukavemeti hem de yüksek şekillenebilirliği elde etmek amacıyla çok sayıda yeni sınıf çelikler üretmişlerdir. Üretilen bu yeni sınıf çeliklerin, çarpışma performansları ve yorulma ömürleri önemli ölçüde geliştirilmelerine rağmen, geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) pres hatlarında hâlâ çok yüksek pres tonajlarına ve kontrolü zor geri yaylanma problemlerine sebep olmaktadır. Ayrıca, bazı geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler, -örnek olarak TRIP ve TBF sınıfı çelikler- dönüşüm kaynaklı plastisite özelliği göstermektedirler. Bu olguya göre, mikro yapıdaki kalıntı östenit, plastik deformasyon altında mukavemeti çok daha yüksek olan martenzite dönüşmektedir. Çift fazlı (DP) çelikler ile ilgili önceki yapılan çalışmalar, optimize edilmiş şekillendirme hızı profilinin, AHSS çeliklerin şekillenebilirliğini artırdığını göstermiştir. Bu çalışmada, TWIP, TBF ve Q&P çeliklerinin büküm sonrası geri yaylanmalarının servo presler ile sağlanan farklı kurs profillerindeki değişimi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler, Servo Presler, Geri Yaylanma

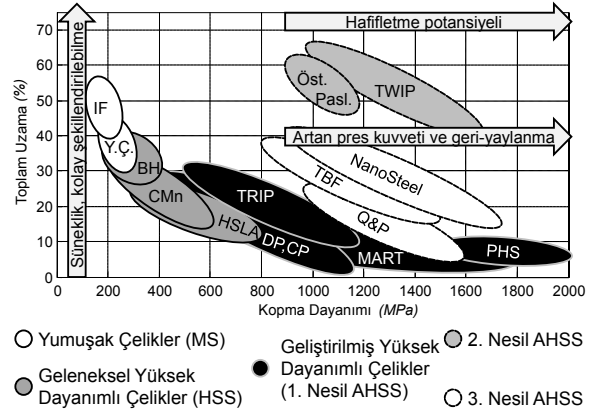
GİRİŞ

Yeni Nesil Çelikler

Geleneksel olarak bir çeliğin mukavemeti artırıldığında şekillenebilirliği azalmaktadır. Bu durum, Şekil 1’de, “muz eğrisi” olarak bilinen grafikte gösterilmiştir. Son birkaç yılda çelik üreticileri mukavemeti ve şekillenebilirliği arttırmak amacıyla çok sayıda yeni nesil çelikler üretmişlerdir.

Twinning Induced Plasticity (TWIP), TRIP-Aided Bainitic Ferrite (TBF) ve Quenching & Partitioning (Q&P) çeliklerinin ortaya çıkmasıyla beraber son zamanlarda, otomotiv endüstrisinde, karmaşık geometrilere, 1 GPa çekme mukavemetini aşan soğuk şekillendirilmeye müsait çelikler kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, yeni nesil geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerden üç tanesi üzerinde çalışılmıştır: (1) 1,0 mm TWIP 980, (2) 1,0 mm TBF 1050 ve (3) 1,2 mm Q&P 1180.



Şekil 1. “Muz eğrisi” Çeşitli çelik sınıflarının çekme dayanımı-toplam uzama eğrisi [1].

Bahsedilen yeni sınıflar arasında TWIP (Twinning Induced Plasticity) birçok Fiat modelinde kullanılmakla beraber, Panda modelinde de ekonomik kazanç sağlamayı başarmıştır [2,3]. TWIP çeliklerini

incelemek üzere beş firma ve kuruluşun (DYNAmore GmbH, ESI GmbH, Faurecia Autositze GmbH, Swerea KIMAB AB ve Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH) ortak olduğu bir AB projesi, Fraunhofer IWM tarafından koordine edilmiştir. TWIP4EU adındaki bu proje, bu malzemelerin koltuk bileşeninde uygulanabilirliğini araştırmış ve 2015 yılında tamamlanmıştır [4]. Volkswagen ise, 2014 yılında, otomobil koltuklarında bu çeliklerin kullanımı üzerinde çalışmıştır [5]. Yine 2014 yılında Renault, menteşe sütununun (A-sütununun alt kısmı) ve kapı eşiğinin dış kısımlarının TWIP 980 çeliği ile üretildiği EOLAB konsept arabasını tanıtmıştır [6]. “Materials in Car Body Engineering-2012” Konferansı’nda (Mayıs 2012, Bad Nauheim, Almanya, Automotive Circle Intl. sponsorluğunda) yapılan ankete göre, otomotiv sektöründeki katılımcıların yüzde 87’si, TWIP çeliklerinin daha da geliştirilmesi halinde seçili uygulamalarda seri üretime uygun olduğunu belirtmişlerdir [7].

Şu anda çelik üreticilerinden üç firma seri imalat koşullarında TWIP çelikleri üretmektedir. Koreli çelik üreticisi POSCO şu anda pazara TWIP 980 çeliğini sunmaktadır [8], POSCO yeni versiyonlarını pazara sunmak için çalışmalarını “daha yüksek şekillendirilebilir TWIP 900” ve daha yüksek dayanımdaki versiyonu (1200 MPa, UTS) ile devam etmektedir [9,10]. TWIP çeliğinin maksimum 1700 MPa çekme dayanımına ulaşması öngörülmektedir [11]. Çinli BaoSteel firması ise şu anda TWIP 950 çeliğini pazara sunmaktadır ve 1180 MPa seviyesine ulaşmak için geliştirmeler yapmaktadır. Son olarak başka bir Çinli çelik üreticisi olan AnSteel, şu anda 980 MPa TWIP üretmekte olup ve 1180 MPa’lık versiyonu geliştirmektedir [13]. Salzgitter Mannesmann firması ise 3 farklı TWIP çeliği daha tanıtmış olup çelikleri, 600, 900 ve 1100 MPa’daki akma gerilmesi değerlerine göre isimlendirmişlerdir. Çelikler, çekme mukavemeti değerlerine göre ise, TWIP 980, TWIP 1150 ve TWIP 1250 olarak isimlendirilebilir [14].

TBF (TRIP Aided Bainitic Ferrite) çelikler ilk olarak Kobe Steel tarafından geliştirilmiştir [15]. 2012 yılında, Renault-Nissan grubu gelecekteki araçlarında [16] bu çeliği kullanmaya karar vermiştir. 2013 yılında piyasaya sürülen Infiniti Q50 modelinin ‘A’ ve ‘B’ sütunu takviyeleri ve yan tavan rayı (canrail) TBF 1180 çeliğinden üretilmiştir. Üretilen bu parçalar gövde ağırlığının %4’lük kısmını oluşturmaktadır [17]. 2015 yılında ise Nissan Murano tanıtılmış ve bu araçta da bazı parçalar TBF 1180 kullanılarak üretilmiştir [18]. Eylül 2014 yılında ArcelorMittal firması FortiForm çelik ailesini tpiyasa sunmuştur. Şu anda FortiForm 1050 piyasadan temin edilebilir durumda olmakla beraber Arcelor Mittal, şu anda 980 ve 1180 MPa versiyonlarını geliştirmektedir [19].

Son olarak, Q&P (Quenching and Partitioning) çelikleri şu anda BaoSteel [11] ve AnSteel [13] firmaları tarafından 980 ve 1180 MPa seviyelerinde piyasaya sunulmuştur. 2012 yılında Great Wall firması, B-sütununun soğuk şekillendirilmesi için Q&P 980 üzerine çalışmıştır [20]. Yine 2012 yılında (American Auto/Steel Partnership) Amerikan Oto-çelik Ortaklığı, ThyssenKrupp ve US Steel’in ürettiği DP 980’e karşı, BaoSteel firmasının ürettiği Q&P 980’i test etmiştir. Bu çalışmada, Q&P 980 hem şekil alabilirlik hem de kenar kırılmalarında DP 980’den daha iyi bir performans göstermiştir. Ancak, geri yaylanmayı tahmin etmek bir sorundur [21]. Gelecekteki Q&P kaliteleri açısından BaoSteel, Q&P 1300 için çalışmaktadır [12]. AK Steel ise çalışmalarında 15% toplam uzamaya sahip Q&P 1800 çeliğini ve 13% toplam uzamaya sahip Q&P 2100 çeliğinin laboratuvar ölçeğinde üretildiğini göstermiştir [22].

Servo Presler

Servo motorlar 1950’li yıllardan bu yana takım tezgâhlarında kullanılmaktadır. Ancak servo motorlar yakın bir zamana kadar şekillendirmede gerekli pres kuvvetlerini oluşturmak için yeterince güçlü değillerdi [25]. Bugün, bir servo pres 5 farklı şekilde üretilmektedir:

- Servo-hidrolik pres: geleneksel AC motor, standart bir pompa ve bir dizi oransal valf (servo-hidrolik) kullanılarak kontrol edilebilir [23].
- Servo hidrolik pres üretmenin başka bir yolu ise en az iki servo motor (inme ve dönüş hareketleri için) ve basit dişli pompaları kullanmaktır. Bu yapıda kontrol sistemi için yön valfleri bulunmamaktadır [24].
- İlk servo mekanik pres, 1997 yılında Komatsu tarafından üretilmiştir ve sahip olduğu vidalı mekanizma, yüksek devir-düşük torklu servo motor ile tahrik edilmektedir [25]. Bugün bu tip presler 1000 ton kuvvete kadar üretilmektedir [26].
- Servo motor teknolojisindeki gelişmelerle birlikte düşük devir-yüksek torklu motorlar kullanılmaya başlanmıştır. Dördüncü yöntemde ise eksantrik ya da mekanik preslerden volan sökülerek, yüksek torklu motor doğrudan kranka ya da dişliye hareket vermektedir. Bu yöntem en yaygın kullanılan servo pres tipidir. İlk ticarileşmesinden bu yana, bu preslerden 1000’den fazla üretilmiş ve satılmıştır. Mevcut durumda bu servo presler 2500 tondan daha yüksek kuvvetler üretebilmektedir [27].
- Son yöntem ise lineer motorlar kullanmaktır. Bu sistem şu anda çekme testi cihazları ve mikro şekillendirme işlemlerinde kullanılmaktadır. 2014 yılından beri mevcut olan bu sistem 10 tona kadar olan kuvvetleri üretebilmektedir [28].

Bu çalışmada Komatsu H1F-80 OS tipi servo pres kullanılmıştır ve bu pres mafsal mekanizmasına

ve 130 mm kurs mesafesine sahiptir (Şekil 10a'da çalışma aralığı görülebilir). Tam hızda 37,5 SPM'yi (Strokes per minute) etkin olarak yakalayabilen bu pres: (1) kızaklarında doğrusal konum sensörüne (2) krank açısı ölçen bir enkodere ve (3) presin iki yan kolonlarında birer adet yük hücresine sahiptir. Presin maksimum kapasitesi 80 tondur (800 kN). Ancak, yan kolonlardan herhangi birine [press uprights] 440 kN'dan fazla yük gelirse, aşırı yük koruması aktif hâle geçmektedir. Bunlara ek olarak pres, veri toplama kabiliyetine sahiptir. Deneysel çalışmalardaki, veri toplama işlemleri, Komatsu'nun Visual Inspection System v2.2.2.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

MALZEME KARAKTERİZASYONU

Malzeme karakterizasyonu için gerekli deneyler, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi'nde yürütülmüştür.

Çekme Testi

Standart çekme testi numuneleri, tel erozyon (EDM) makinesi kullanılarak, ASTM E8 standartlarına [29] göre kesilmiştir. Testler oda sıcaklığında, üst çene çekme hızı sabit ve 10 mm/dak olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi boyunca uzunlamasına ve yan ekstensometreler eş zamanlı olarak kullanılmıştır. Tutma - bırakma etkisini (slip/stick effect) ortadan kaldırmak için testin başlangıç noktasında, ön yükleme olarak 1000 N uygulanmış ve ön yükleme uygulandıktan sonra ekstensometreler kenetlenmiştir. Bu durum nedeniyle, gerçek gerilme ve gerçek genleme denklemleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$\Delta = \frac{PG}{P + A_0 E} \quad (1)$$

$$\sigma_{true} = \left(\frac{F}{A_0} \right) \left(\frac{G + \Delta L}{G - \Delta} \right) \quad (2)$$

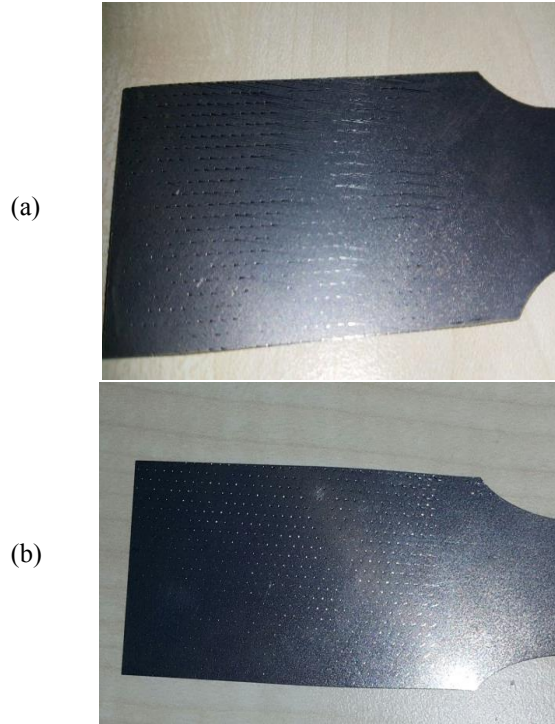
$$\varepsilon_{true\ plastic} = \ln \left(\frac{G + \Delta L}{G - \Delta} \right) - \left(\frac{\sigma_{True}}{E} \right) \quad (3)$$

Δ ön yüklemeye karşılık gelen uzama, P ön yük, G uzunluğun başlangıç ölçüsü, F kuvvet, A_0 başlangıç kesit alanı ve ΔL ekstensometre tarafından kaydedilen boyuna uzamadır.

Ön yükleme için yapılan düzeltme Lankford parametreleri (r) hesaplamak için de yapılmıştır. Denklem 4'teki w_0 başlangıç kalınlığı ve Δw , ekstensometre tarafından kaydedilen kalınlıktaki değişimdir.

$$r = \frac{-\ln \left(\frac{w_0 - \Delta w}{w_0} \right)}{\ln \left(\frac{G + \Delta L}{G - \Delta} \right) + \ln \left(\frac{w_0 - \Delta w}{w_0} \right)} \quad (4)$$

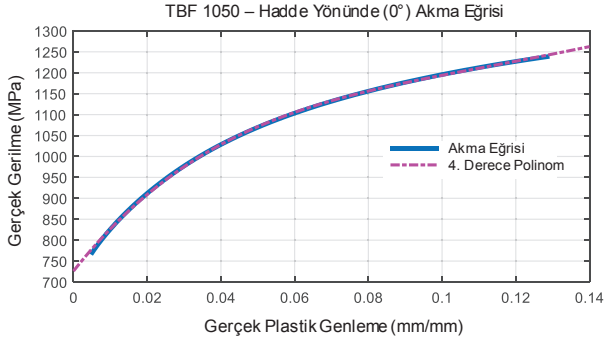
Buna ek olarak, testten sonra numunelerin kenetlenme bölgeleri görsel olarak kontrol edilmiştir. Bazı test numunelerinde Şekil 2a 'da gösterildiği gibi kayma gözlenmiştir. Bu özel durum için çekme testi Şekil 2b'deki sonuçlar elde edilene kadar tekrarlanmıştır.



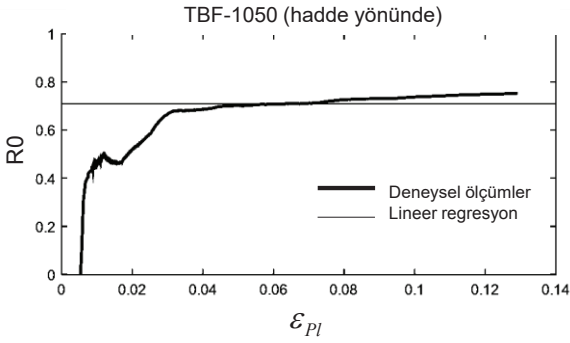
Şekil 2. Bağlama noktaları (a) kayma gözlenmiş numune (b) kayma gözlenmemiş numune

Numunelerin akma dayanımı, akma eğrisinin sıfır gerçek plastik genleme değerine ekstrapolasyonu ile hesaplanmıştır. Şekil 3'te gösterildiği gibi, bu ekstrapolasyon için, 4. derece polinom eğrisi yerleştirilerek, akma eğrisi oluşturulmuştur.

Son olarak, Lankford parametrelerinin, kararlı bölgede hesaplanmasını sağlanması için, eğrinin elastik ve kararsız bölgeleri silinmiştir. Şekil 4'te ise hesaplamalar gösterilmektedir.



Şekil 3. TBF 1050 (hadde yönünde) 'nin akma mukavemetinin hesaplanması

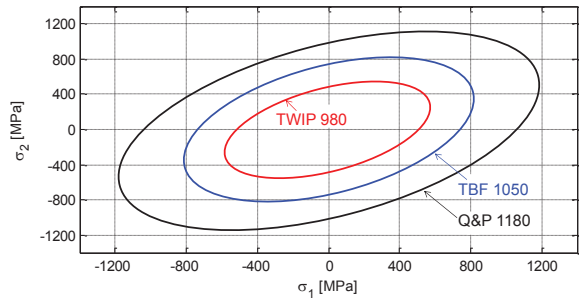


Şekil 4. Lankford parametresinin TBF -1050 (hadde yönünde) 'e göre hesaplanması

Gerçekleştirilen mekanik testler ile elde edilen Lankford parametreleri ve hadde yönündeki akma mukavemeti ile Hill-48 akma yüzeyi (yield surface) 5 numaralı denklem kullanılarak tanımlanabilmektedir. TWIP 980 ve Q&P 1180 çeliklerine ait Hill 48 eğrileri aşağıda gösterilmiştir.

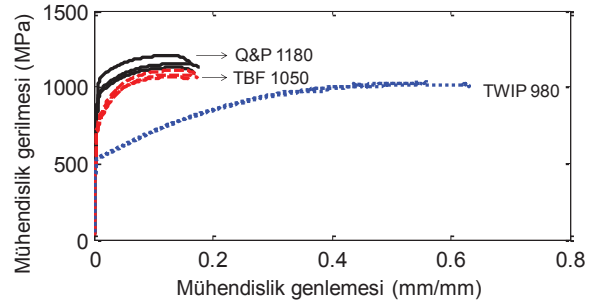
$$\sigma_1^2 - \left(\frac{2 * r_0}{1 + r_0} \right) \sigma_1 \sigma_2 + \frac{r_0 (1 + r_{90})}{r_{90} (1 + r_0)} \sigma_2^2 = \sigma_0^2 \quad (5)$$

σ_1 majör asal gerilme (major principal stress), σ_2 minör asal gerilme, r_0 hadde yönündeki Lankford parametresi, r_{90} haddeye dik yöndeki Lankford parametresi ve σ_0 hadde yönündeki akma mukavemetini göstermektedir.



Şekil 5. Test edilen çeliklerin Hill 48 akma yüzeyi

Son olarak deneyde kullanılan malzemelerin mühendislik gerilme-gerinim değerleri Şekil 6'de gösterildiği gibidir. Tüm hesaplamaların özeti ise Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Deneylerde kullanılan üç çeliğin mühendislik gerilme ve gerinim değerleri

Tablo 1. Test edilen malzemelerin mekanik özellikleri

	TWIP 980	TBF 1050	Q&P 1180
Akma Mukavemeti (MPa)	519 ⁺⁶ ₋₅	745 ⁺²¹ ₋₁₉	981 ⁺⁴⁴ ₋₆₂
Çekme Mukavemeti (MPa)	1042 ⁺¹⁶ ₋₃₄	1085 ⁺²⁴ ₋₂₀	1162 ⁺⁴⁴ ₋₃₄
Toplam Uzama (%)	58 ⁺⁵ ₋₄	17 ⁺¹ ₋₁	17 ⁺¹ ₋₁
r ₀	0.95	0.72	0.96
r ₄₅	0.96	0.97	0.84
r ₉₀	0.78	0.89	0.86
K (MPa)	2247	1717	1646
n	0.44	0.16	0.11

Bombe Yüksekliği Testi

Malzeme hakkında daha fazla bilgi edinmek için Zwick Roell BUP 600 makinesi üzerinde sürtünmesiz bombe yüksekliği testi yapılmıştır. Deneyler boyunca sayısal görüntü analiz sistemi olan GOM ARAMIS kullanılmıştır. Beklendiği gibi bombe yüksekliği en şekillendirilebilir çelik olan TWIP 980'de elde edilmiştir. Burada beklenmedik sonuç Q&P 1180'nin TBF 1050'ye göre daha yüksek bombe yüksekliğine sahip olmasıdır. Örnekler ve bombe yüksekliği değerler Şekil 7'de gösterilmiştir.



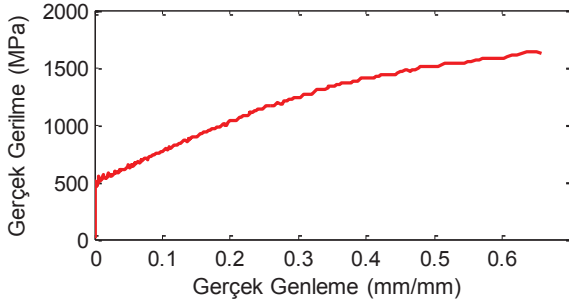
Q & P1180 TBF 1050 TWIP 980
 $42.05 \pm 0.45 \text{ mm}$ $38.45 \pm 1.15 \text{ mm}$ $61.90 \pm 1.50 \text{ mm}$

Şekil 7. Bomba yüksekliği testi sonuçları

Hidrolik Şişirme Testi

Tek eksenli çekme testi, çelik şekillenebilirliği ve sertleşme eğrisini karakterize etmekte yeterli olmadığından ayrıca hidrolik şişirme testi planlanmış olup bu test için yine Zwick Roell BUP600 makinesi ve Gom Aramis sistemi kullanılmıştır.

Deneyler bazı mekanik problemlerden dolayı tamamlanamamıştır. Sadece TWIP 980 bir kez test edilmiş olup ARAMIS ölçümleri ve Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezinde geliştirilen bir kod sayesinde, iki eksenli akış gerilmesi Şekil 8'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

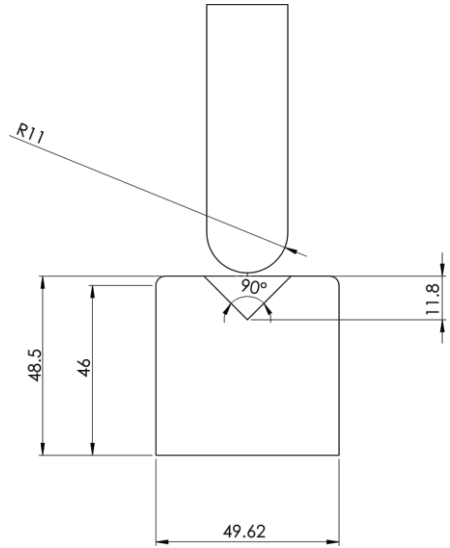


Şekil 8. Hidrolik şişirme testinden hesaplanan iki eksenli (biaksiyel) akış eğrisi.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

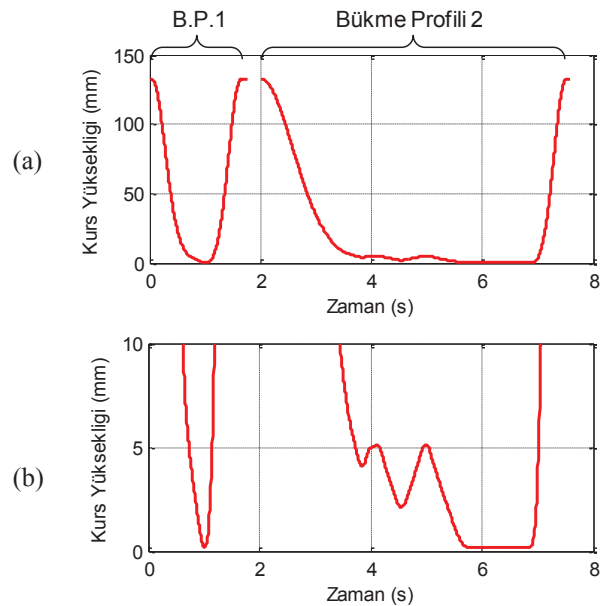
Bükme deneyleri için basit V biçimli kalıp kullanılmıştır (bk. Şekil 9).

Bükme deneyleri KOMATSU H1F-80 OS tipi servo mekanik presle yapılmıştır. Deneyler sırasında iki farklı hız profili kullanılmıştır. İlk hız profili presin mekanik hareketi değiştirilmeden kullanılmış, ikincisinde ise koç alt ölü noktaya (A.Ö.N.) yavaşlatılarak gelmiş ve A.Ö.N.'den önce iki kez yukarı hareket ettirilmiş, en son A.Ö.N.'de 1 saniye bekletilmiştir. Detaylı hız grafikleri Şekil 10'de görülebilir. Üç malzeme de hadde yönünde (HY) ve hadde yönüne dik (HYD) yönlerde üçer kez tekrarlı olarak test edilmiştir.

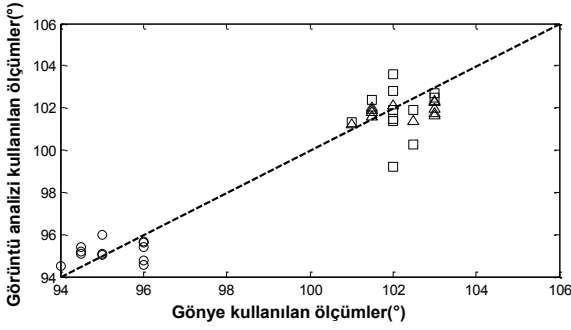


Şekil 9. Deneylerde kullanılan V biçimli kalıbın teknik çizimi.

Vernier ölçekli elde kullanılan gönyeler, geri yaylanma ölçümlerinde kullanılmıştır. Buna ek olarak görüntü analiz tekniği kullanılarak da bükülme açıları ölçülmüştür. El ölçümleri ve görüntü analizlerinin karşılaştırılması, Şekil 11'de gösterildiği gibidir. İki yöntem arasında, R^2 ile gösterilen regresyon başarı değeri 0,9332 olarak bulunmuştur. Açılma ölçerinin Vernier ölçeğine sahip olmasından ve bükülmüş parçaların 1 mm kalınlığında olmasından dolayı el ölçümleri sübjektif olmuştur. Bu nedenle detaylı karşılaştırmalar için görüntü analiz verileri kullanılmıştır.



Şekil 10. Kurs- zaman profilleri (a) Tam kurs (130 mm), (b) BDC (Alt ölü nokta)'dan önceki son 10 mm

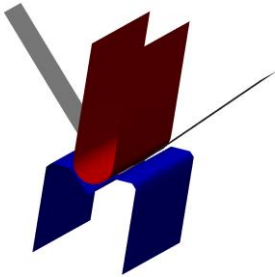


Şekil 11. Gönye ve görüntü analiz açı ölçümlerinin karşılaştırılması

Görüntü analiz tekniği, [30] ve [31]'deki çalışmalar göz önünde bulundurularak benzer şekilde video analizleri için geliştirilebilecektir. Mevcut durumda kalıp bağlantı elemanları, büküm sırasında kameranın görüşünü kapatmaktadır. Bir sonraki çalışmada kalıp bağlantıları kamera gözününe alınarak revize edilecektir. Ayrıca siyah arka plan ve ek ışıklandırma ile görüntü kalitesine dikkat edilecektir. Bu geliştirmeler sayesinde, pres işlemi sırasında, parça yük altındayken (bükülme süresince ve geri yaylanma öncesinde) bükülme açılarını ölçmek mümkün olabilir. Bu da simülasyonlarla karşılaştırılmasına daha iyi bir katkı sağlayabilir.

SİMÜLASYON

Sonlu elemanlar analizleri, ESI PamStamp yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 1'deki malzeme özellikleri elle girilmiştir. Bükme simülasyonları ilk bükme profili kullanılarak yapılmıştır ve kalıplar üzerindeki tepki kuvveti, ortalama pres kuvveti aralığındaki değere ulaşana kadar simülasyonlar devam ettirilmiştir. İkinci aşamada, eksplisit geri yaylanma simülasyonları yapılmıştır. Numunenin kalınlığı boyunca 9 entegrasyon noktası kullanılmıştır. Pres kuvvetini simüle edebilmek için yazılımdaki ütüleme opsiyonu da etkinleştirilmiştir. Sürtünme katsayısının etkisi bir dizi deneme simülasyonları ile çalışılmış ve sürtünme katsayısının bükülme ve geri yaylanma açılarını değiştirecek kadar bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Geri yaylanmadan sonraki açı, x - y koordinatları kullanılarak bir önceki görüntü analizinde kullanılan aynı kodla hesaplanmıştır.

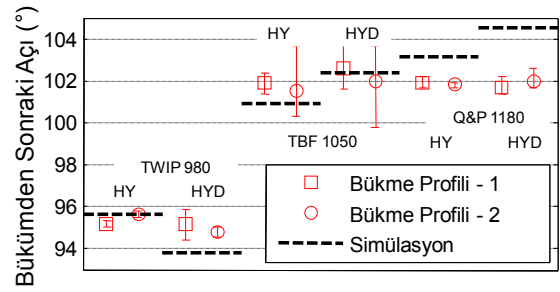


Şekil 12. Bükme simülasyonlarına ait bir görüntü

Simülasyon ve deney sonuçları ise bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

SONUÇ

Bükme deneyleri ve simülasyon sonuçları Şekil 13'te görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. TWIP çeliklerinin geri yaylanmadan sonraki açıları yaklaşık 95° civarında iken TBF ve Q&P numunelerinde ise 101°'nin üzerinde olmuştur. Bu da TWIP 980'in akma mukavemetinin göreceli olarak düşük olduğuyla açıklanabilir. Seçilen geometri ve yapılan deneysel çalışmalar, zorlayıcı şekillendirme yöntemlerini (derin çekme, ters çekme, vb.) kapsamadığından, kurs profilinin değiştirilmesinin şekillenebilirliğe etkisi net olarak ortaya çıkarılamamıştır.



Şekil 13. Bükme deneylerinin ve simülasyonlarının karşılaştırılması

Görüldüğü üzere, TWIP ve TBF çeliklerinde geri yaylanma sonuçları çeşitli deneylerin simülasyonları ile tahmin edilebilmiştir. Bununla birlikte, Q&P çeliklerinde tahmin edilen geri yaylanma değerleri Q&P çelik ailesinin akma mukavemetlerinin daha fazla olmasından dolayı daha fazla bulunmuştur. Bu çeliğin beklenmedik performansı, Q&P alaşımlarının plastik deformasyonu ve elastik malzeme davranışının değişikliği nedeniyle olabilir, bu konunun ileri bazı test yöntemleriyle araştırılması düşünülmektedir.

Ek olarak, malzeme anizotropisinin geri yaylanma davranışında önemli bir rol oynadığı, Şekil 13'te gösterilmiştir. Ayrıca TWIP ve TBF çeliklerinin geri yaylanma değerleri simülasyonlar ile başarılı bir şekilde tahmin edilebilmiştir.

Bu çalışmada, servo pres kullanarak üç farklı AHSS çeliğin geri yaylanma davranışları incelenmiştir. İlk verilere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bombe yüksekliği ve çekme testindeki yüksek uzama değerleri sonucunda TWIP980, üstün şekillenebilirlik özelliği taşımaktadır.
- Basit bükme kalıbı ile yapılan bu çalışmada, servo pres kullanımının, geri yaylanmanın

azaltılmasında bir miktar iyileştirme sağlayabileceği gösterilmiştir.

- TBF ve TWIP alaşımlarında simülasyon sonuçları ve deneysel ölçümler birbirine yakın çıkmıştır.
- Q&P çeliğinin geri yaylanma davranışının başarılı bir şekilde simüle edilememesi ile ilgili detaylı ilave çalışmalara yapılması gerekmektedir.

Aşağıdaki çalışmalar sayesinde mevcut sonuçların daha da iyileştirilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir:

- Servo presin avantajlarını daha ileri düzeyde çalışabilmek için, kenar bükme ve/veya derin çekme işlemini mümkün kılan yeni bir kalıp tasarlanması.
- Sayısal görüntü analiz sistemleriyle malzeme karakterizasyon çalışmalarına devam edilmesi. (Burada, yüksek gerinim ve çift eksenli koşullar altında malzeme davranışını görmek için hidrolik şişirme testi önemli bir rol oynamaktadır.)
- Bu çeliklerin önemli bir kısmında kalıntı östenit mevcut olduğundan, TRIP etkisi gözlenmiştir. Bu nedenle değişen plastik deformasyona göre elastik modülü sabit olmayabilir. Buna ek olarak, bu çeliklerin geçirdiği faz dönüşümü homojen olmayacağı için deformasyon sonrasında bölgesel mekanik özellik farklılıklarının oluşması kuvvetle muhtemeldir. Malzeme içindeki bu mekanik heterojenlik, başlı başına bir kalıntı gerilme oluşturma nedeni olabilir. Bununla birlikte yalnızca servo presle uygulanabilen yüklü-yüksüz-yüklü döngüsü gibi bir plastik deformasyon geçmişi, mekanik heterojenlikler içeren bir malzemede kalıntı gerilmeye önemli ölçüde etki edebilir. Sonuç olarak, faz değişimine bağlı elastik modülündeki değişim ve çevrimsel deformasyon içeren (cyclic deformation) servo pres uygulamalarının, kalıntı gerilme seviyesine etkisinin kısa bir süre içinde araştırılması hedeflenmektedir.
- İnce plakaların minimum büküm radyuslarını, servo pres teknolojisi ile azaltmaya yönelik bir diğer çalışma da planlanmaktadır.

FORMING OF NEW GENERATION AHSS USING SERVO PRESSES

Conventionally, as the strength of a steel grade was increased, its formability was decreased. Over the last two decades, steelmakers have developed a number of new steel grades with the aim of improving both the strength and the formability. Although the crash performance and fatigue life of these grades have been significantly improved; in the press shop, higher strength steels still cause higher press forces and difficulty in controlling the

springback. Furthermore, some Advanced High Strength Steels (AHSS) such as TRIP and TBF grades exhibit “Transformation Induced Plasticity” phenomenon. Under plastic deformation, the retained austenite microstructure is transformed into martensite which is relatively dominant on mechanical properties. Earlier studies with Dual Phase (DP) steels have shown that an optimized forming speed profile may also improve the formability of AHSS. In this paper, the possible advantages of servo presses in forming of TWIP, TBF and Q&P grades are investigated by theoretical and experimental studies.

Keywords: Advanced High Strength Steels, Servo press, Springback

TEŞEKKÜR

Yazarlar, AHSS çeliklerin temindeki yardımları için General Motors firmasından Dr. Jeff Wang ve Gestamp Kuzey Amerika’dan Sn. Paul Belanger’e, Komatsu Industries’den Sn. Yoshiaki Ikeda’ya, projeye sağladıkları finansal destekleri için FNSS Sav. Sis. A.Ş. Yönetim Kurulu’na ve son olarak projeye yazılım, donanım ve altyapı desteği sağlayan, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi’ne teşekkür eder.

KAYNAKÇA

1. Billur, E.; Dykeman, J.; Altan, T.: Three generations of advanced high strength steels for automotive applications. In: Stamping Journal, Mar/Apr issue, 2014, p. 12-13
2. FCA Turkey: Private Communication, 2015.
3. Maggi, S.; Federci, C.; D’aiuto, F.: TWIP Steel application on the Fiat Nuova Panda body. Presented in: Materials in Car Body Engineering 2012
4. Butz, A.; Zapara, M.; Helm, D.: Modeling High-Strength and Highly-Ductile Sheet Metals from TWIP-Steels. In: Fraunhofer IWM, 2015
5. Busch, C.; Hatscher, A.; Behrens, B.-A.; Bouguecha, A.; Vucetic, M.; Bonk, C.; Huinik, S.: Numerical and experimental investigations of deformation behavior of high-manganese TWIP-steels in automotive industry. Presented in: Posco Global EVI Forum, 2014
6. Renault Media Services, In: <http://media.renault.com>
7. Automotive Circle International: How do you judge the market potential of TWIP steels in car body series production? Presented in: Materials in Car Body Engineering, 2012
8. POSCO: Automotive Steel Handbook, 2015

9. Lee, K.: Introduction to Development and Application of Automotive Steels of POSCO. Presented in: Posco Gloval EVI Forum, 2014
10. Nam, J-B.: Development of new auto steels and application technology. Presented in: China Automotive Steel Conference, 2013
11. BaoShan Iron and Steel Co., Ltd.: Automotive Advanced High Strength Steels, Catalogue, 2013.
12. Gao, M.: Sustainable steel solutions for Chinese cars. Presented in: Green Manufacturing – the Future of Steel and Automobile, WorldAutoSteel, 2013
13. AnSteel Group: Progress of Advanced High Strength Steel in AnSteel. Presented in: Vehicle and Home Application Steel Research Institute, 2014
14. Schneider, M.; Gramling, M.: High Strength and Ductility – A New Steel Generation for Further Developments. Presented in: Automotive Expo, 2013
15. Kimura, T.: Formability of TRIP Type Bainitic Ferrite Steel Sheet. In: Kobelco Technology Review, 2011, p. 85-89
16. Jacque, S.; Obayashi, K.: Renault and Nissan Light weight body engineering strategy. Presented in: Strategies in Car Body Engineering, 2012
17. Kondo, T.; Ishiuchi, K. : 1.2GPa Advanced High Strength Steel with High Formability. In: SAE Technical Paper, 2014-01-0991, January 2014
18. Worldautosteel: 2015 Nissan Murano Redesigns with AHSS. In: <http://www.worldautosteel.org/why-steel/steel-muscle-in-new-vehicles/2015nissan-murano-redesigns-with-ahss/>
19. [19] ArcelorMittal: Steels for cold stamping - Fortiform®, Catalogue, 2014
20. Huijin, D.; Shuli, L.; Jie, Y.; Hongxin, Y.; Kebin, B.; The automobile steel of the third generation in B-pillar reinforced panel. In: Engineering Sciences, 10-6, 2012, p. 20-22
21. Hsiung, G.: Advanced High-Strength Steel Stamping. Presented in DOE Merit Review, 2012
22. Thomas, G.A.; De Moor, E.; Speer, J.G.: Tensile Properties Obtained by Q&P Processing of Mn-Ni Steels With Room Temperature Quench Temperatures, In: Proceedings of Intl. Symp. on New Developments in Advanced HighStrength Sheet Steels 2013, p. 153-165
23. Bosch Rexroth AG: 4/3 servo directional control valve with mechanical position feedback, Catalogue, 2010
24. Voith Turbo H + L Hydraulic GmbH & Co. KG: Hydraulic Press Drive PSH, Catalogue, 2013
25. Osakada, K.; Mori, K.; Altan, T.; Groche, P.: Mechanical servo press technology for metal forming. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology, 60, 2011, p. 651–672
26. Hoden Seimitsu Kako Kenkyusho Co. Ltd.: ZenFormer Direct Drive Digital Servo Press, Catalogue, 2013.
27. Yadav, A.; Kaya, S.; Groseclose, A.: Electromechanical Servo-Drive Presses. In: Sheet Metal Forming – Fundamentals, Editors: Altan, T.; Tekkaya, A.E., 2012, p. 161-180
28. Wegener, K.: Forming Presses (Hydraulic, Mechanical, Servo). In: CIRP Encyclopedia of Production Engineering, Editors: Laperrière, L.; Reinhart, G., 2014, p. 547-553
29. ASTM International: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, Designation E8/E8M-09, 2009.
30. Mori, K.; Akita, K.; Abe, Y.: Springback behaviour in bending of ultra-highstrength steel sheets using CNC servo press. In: International Journal of Machine Tools & Manufacture 47, 2007, p. 321–325
31. Yang, X.; Kardes, N.; Choi, C; Altan, T.: Investigating springback in bending of advanced high strength steel. In: Stamping Journal, Nov/Dec 2010, p. 8-9