Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 29(1), 68-75, 2023

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sacında proses parametrelerinin geri esneme davranışına etkisinin deneysel olarak incelenmesi

Experimental investigation of the effect of process parameters on springback behavior of SCGADUB1180 high strength sheet

Samet KARABULUT[1*], *İsmail ESEN*[1]

[1]Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye.
sametkarabulut@yahoo.com, iesen@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 22.11.2021 Düzeltme Tarihi/Revision: 08.02.2022 doi: 10.5505/pajes.2022.76329
Kabul Tarihi/Accepted: 03.03.2022 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dayanımı yüksek ve hafif yüksek mukavemetli çelikler, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli sacların şekillendirilmesinde geri yaylanma, yırtılma ve incelme kadar önemli bir problemdir. Bu çalışmada, SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sacının çekme testleri yapılarak mekanik özellikleri tanımlanmış ve V büküm prosesinde, zımba hızı, kalıp açısı, ütüleme süresi, hadde yönü parametrelerinin geri yaylanmaya etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Literatürde, SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sacının şekillendirilmesi ve geri yaylanma davranışları üzerine araştırmaya rastlanmamıştır. Yapılan deney sonuçları sonucunda, zımba hızı arttıkça 60°,90° ve 120° büküm açılarında geri yaylanma değerleri artmıştır. 60° büküm açısında zımba hızı 3 mm/sn'den 10 mm/sn arttığında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %1.87, 45° hadde yönünde %0.35, 90° hadde yönünde %9.78 artmıştır. 90° büküm açısında zımba hızı 3 mm/sn'den 10 mm/sn arttığında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %5.87, 45° hadde yönünde %0.55, 90° hadde yönünde %4.77 artmıştır. 120° büküm açısında zımba hızı 3 mm/sn'den 10 mm/sn arttığında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %27, 45° hadde yönünde %0.49, 90° hadde yönünde %3.5 artmıştır. 3 mm/sn zımba hızında geri yaylanma değerleri en düşüktür. Ütüleme süresi 0.2 sn'den 1 sn'ye arttırıldığında geri yaylanma değeri % 5.56 azalmıştır. 0° hadde yönünde en az geri yaylanmalar görülmüştür. Kalıp açısının artmasıyla geri yaylanma miktarları artmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, yüksek mukavemetli sacların geri yaylanma davranışlarının tahmin edilip, bükme prosesinde mekanik davranışlarının anlaşılmasına fayda sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: V bükme, Geri yaylanma, SCGADUB1180.

Abstract

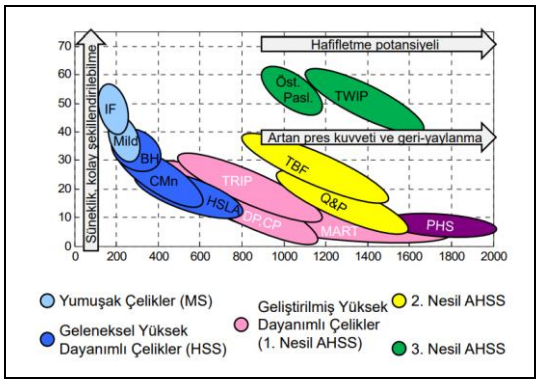
High strength and light high strength steels are widely used in the automotive industry. Springback is as important a problem as tearing and thinning in the shaping of high-strength sheets. In this study, the mechanical properties of SCGADUB1180 high-strength sheet were determined by performing tensile tests and the effects of punch speed, die angle, holding time, rolling direction parameters on springback were experimentally investigated in the V bending process. No research has been found in the literature on the shaping and springback behavior of SCGADUB1180 high strength sheet. As a result of the test results, as the punch speed increased, the springback values increased at 60°, 90° and 120° bending angles. When punch speed increased from 3 mm/sec to 10 mm/sec at 60° bend angle, springback increased 1.87% in 0° rolling direction, 0.35% in 45° rolling direction and 9.78% in 90° rolling direction. When punch speed increased from 3 mm/sec to 10 mm/sec at 90° bend angle, springback increased 5.87% in 0° rolling direction, 0.55% in 45° rolling direction and 4.77% in 90° rolling direction. When punch speed increased from 3 mm/sec to 10 mm/sec at 120° bend angle, springback increased 27% in 0° rolling direction, 0.49% in 45° rolling direction, and 3.5% in 90° rolling direction. Springback values are lowest at 3 mm/sec punch speed. When the holding time was increased from 0.2 s to 1 s, the springback value decreased by 5.56%. The least springbacks were observed in the 0° rolling direction. The amount of springback increased with increasing die angle. The experimental results obtained will help to predict the springback behavior of high strength sheets and to understand their mechanical behavior in the bending process.

Keywords: V bending, Springback, SCGADUB1180.

1 Giriş

Sac metal parçalar beyaz eşya, havacılık, uzay ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik endüstrisi, araç hafifletme, mukavemet ve emisyon değerlerini karşılamak maksadıyla sürekli yeni nesil çelikler geliştirmektedir. Bükme prosesi, sac metal kalıpçılığında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli sacların bükme prosesindeki davranışları bilinmelidir. Geri yaylanmanın tahmini ve doğru simülasyonların tanımlanması hafif yüksek mukavemetli sacların üretiminde önemli destek sağlayabilir [1]. Literatürde, yüksek mukavemetli sacların V bükme davranışı ile ilgili birçok araştırma bulunmaktadır [2]. Parçanın, istenilen formda elde edilebilmesi için şekillendirilecek malzemenin geri ve ileri yaylanma davranışları bilinmelidir. Şekillendirilme sonrası zımba yükünün sactan kalkması sonucu oluşan geri yaylanmanın yanlış tahmin edilmesi kalıp maliyetlerini arttırıcı faktör olarak gözükmektedir. Geri yaylanma, malzemenin elastik olarak geri kazanımı olarak adlandırılmakta ve istenmeyen bir durumdur. Malzemenin mekanik özelliklerine, geometrisine göre değişkenlik göstermektedir [3]. Yüksek mukavemetli saclar çarpışma kabiliyetleri, sertlik ve şekillenebilirlik özellikleri ile ön plana çıkmaktadır [4]. Şekil 1'de farklı çeliklerin mukavemet artışı ve hafifletme potansiyellerine rağmen, geri yaylanma potansiyelinin artması problem olarak gözükmektedir [5]. Çift fazlı saclar, ferrit ve martenzit adalarından oluşmaktadır. Bu özeliklerinden dolayı ultra yüksek mukavemetli saclar için bükülebilirlik önemli bir özelliktir.

*Yazışılan yazar/Corresponding author



Şekil 1. Çeliklerin dayanım ve toplam uzama eğrisi [5].

Figure 1. The strength and total elongation curve of steels [5].

Sacların bükülebilirlik davranışları V bükme prosesinde veya sürtünmesiz bükme testlerinde incelenmektedir. İyi pekleşme özelliği gösteren saclar ve hadde yönüne paralel bükümlerde sacın daha iyi bükülebilirlik gösterdiği gözlenmiştir [6]. Kalıp açısının artması ile birlikte bükme momenti artmaktadır. Bunun sonucunda geri yaylanmalar artmaktadır. Ütüleme süresinin artmasıyla elastik geri kazanım azalmakta ve geri yaylanma değerleri azalmaktadır [7],[8]. Sac kalınlığı, zımba yarıçapı, büküm açısı önemli büküm parametrelerindendir [9],[10]. Sacın ileri veya geri yaylanması proses parametrelerinin tasarımına bağlıdır. Büküm açısının ve zımba yarıçapının artmasıyla geri yaylanma artmaktadır [9],[11],[12]. Aydın ve Karaağaç, DP600 ve HSLA300 saclarını farklı ütüleme süresi ve farklı kalıp açılarında sacların geri yaylanma davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Ütüleme süresinin artmasıyla geri yaylanma miktarı azalmıştır. Kalıp açısının artmasıyla her iki malzemede geri esneme miktarı önce artmış, daha sonra azalmıştır. DP600 sacında HSLA300' e göre daha fazla geri yaylanma meydana geldiği görülmüştür [13]. Ayrıca sacların V büküm prosesi sonundaki deformasyon ve kırılma davranışları bilinmelidir [14]. Proses parametreleri tasarım esnasında belirleyici rol oynamaktadır. U bükme prosesinde zımba hızının artmasıyla geri yaylanma değerleri artmaktadır [15].

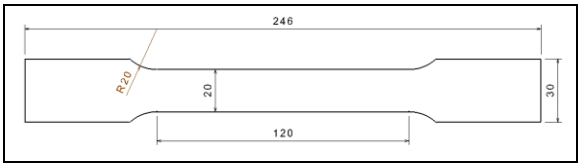
Farklı yüksek mukavemetli sacların deformasyon davranışlarının incelendiği çalışmada, çift fazlı sacların daha iyi şekillendirilebilirlik davranışı gösterdiği ve V bükme prosesinde farklı büküm açılarında zımbanın saca temas ettiği kısımlarda sacların kırılma davranışı gösterdiği görülmüştür. Bu durum sacların mikro yapılarından kaynaklanmaktadır [16]. Wasif ve arkadaşları bükme operasyonunda JSC440 ve JSC590 yüksek mukavemetli çeliklerinin, kalınlık, genişlik, büküm açısı ve pres parametrelerine bağlı olarak V bükme operasyonunda geri yaylanma davranışlarını incelemişlerdir. Yüksek mukavemetli çelikler, yüksek artık gerilmelerinden dolayı büküm ile birlikte negatif geri yaylanma davranışı sergilemektedir. 90° kalıp açısında 60° ve 120°'ye nazaran daha fazla geri yaylanma görülmüştür [17]. Wasif ve arkadaşları JSC-590 yüksek mukavemetli çeliğin, sac geometrisi ve proses parametrelerine bağlı olarak V bükme prosesinde sacın geri yaylanma davranışını incelemiştir. Ütüleme süresi ve farklı yük durumlarına ayarlanabilen hidrolik pres kullanılarak, farklı sac geometrileri ve kalınlık, genişlik, yük, ütüleme süresi gibi farklı proses parametreleri kullanılarak geri yaylanmalar incelenerek, geri yaylanmayı azaltmak için algoritma önermişlerdir. Araştırma sonucunda, genişlik ve bükülme geri yaylanma sonuçları üzerinde etkiliyken, kalınlığın etkisi önemsiz görülmüştür. Aşırı kuvvet uygulanmasının, sacın geri yaylanmasında olumsuz etkisi olduğu ve sacta çoğunlukla pozitif geri yaylanmalar görülmüştür [18]. Serbest bükmeye etki eden proses parametrelerinin incelendiği çalışmada farklı hızlardaki bükmelerde farklı geri yaylanma değerleri elde edilmiştir [19]. Sac malzeme kalınlığının artması geri esneme miktarını arttırdığı, zımbanın sac üzerinde bekletilmesi geri esnemeyi azalttığı, yüksek mukavemetli sacların yüksek gerinim değerlerinden dolayı geri esneme değerlerinin yüksek olduğu, ılık şekillendirmede sıcaklık artışı ile parçanın şekilllenebilme kabiliyetinin arttığı geri esnemesinin azaldığı, büküm radyüsünün azalmasının geri esnemeyi azalttığı, akma dayanımının ve pekleşme artışının geri esneme miktarını arttırdığı yapılan araştırmalardan elde edilmiştir [20].

Yapılan çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan SCGADUB1180 malzemesinin geri esneme davranışları incelenerek, proses parametrelerinin etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Literatürde, SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sac malzemesinin şekillendirilmesi ve V büküm operasyonu sonrası geri yaylanma davranışının incelendiği araştırma bulunamamıştır. Bu araştırma, bilimsel açıdan literatüre katkı sağlayacaktır.

2 Malzeme ve deney düzeneği

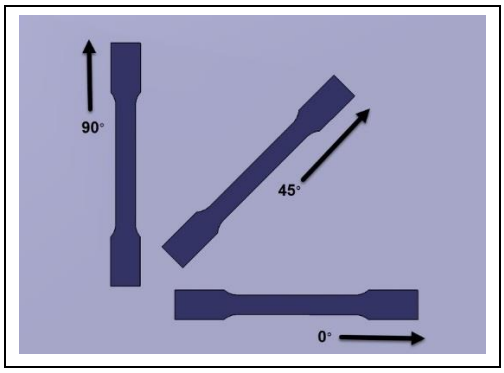
2.1 Deney malzemesi ve özellikleri

Otomotiv endüstrisinde çift fazlı çeliklerin kullanımı oldukça yaygındır. Deneysel araştırma için, otomotiv sektöründe kullanılan 1.2 mm kalınlığında SCGA1180DUB yüksek mukavemetli çeliği seçilmiştir. Çekme testi numuneleri, resimdeki ölçülerde, CNC lazer tezgahında hazırlanmıştır (Şekil 2). Malzemenin 0°, 45° ve 90° hadde yönündeki mekanik özelliklerini tanımlamak için 3 hadde yönünde çekme testine tabi tutulmuştur. Plakadan kesilen hadde yönleri Şekil 3'te gösterildiği gibidir. Çekme testleri MTS-100 kN. servo hidrolik test cihazı ile 0.05 mm/s hızında TS EN ISO 6892-1 standartlarına göre uygulanmıştır. Lazer kesimden sonra numunelerin kenarlarında çapak kalmaması için eğe ile pürüzsüz hale getirilmiştir.



Şekil 2. Çekme testi numune örneği.

Figure 2. Tensile test sample.



Şekil 3. Hadde yönleri.

Figure 3. Directions of rolling.

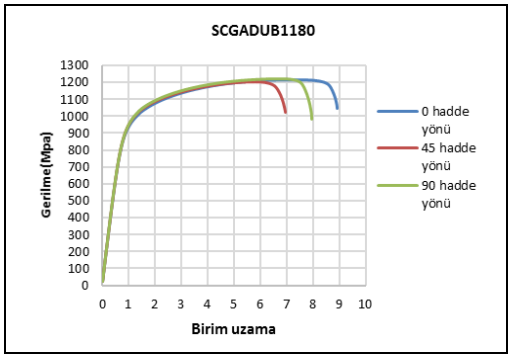
Çekme testlerinin tamamlanmasından sonra numunelerin son hali Şekil 4'te gösterilmiştir. Çekme test sonuçlarına göre, üç farklı hadde yönündeki gerilme ve şekil değiştirme eğrisi Şekil 5'te elde edilmiştir.



Şekil 4. Test sonrası çekme test numuneleri.

Figure 4. Post-test tensile test specimens.

Mikro yapı incelemesi için bakalite alınan numuneler, ilk olarak zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler parlatılmıştır.



Şekil 5. Çekme testinden elde edilen gerilme-birim uzama grafiği.

Figure 5. Stress-strain plot obtained from tensile test.

Çekme test sonuçlarına göre, malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Üç farklı hadde yönündeki mekanik özellikleri birbirine çok yakındır. Çekme deneyi sonucunda elde edilen mühendislik gerilme ve mühendislik şekil değiştirme verileri, aşağıdaki formüller kullanılarak gerçek gerilme ve gerçek şekil değiştirme verilerine dönüştürülmüştür. Grafiktende görüldüğü gibi 45° hadde yönündeki uzama miktarı diğer hadde yönlerine göre daha düşüktür.

$$\sigma_{gerçek} = \sigma_{muh}(1 + \varepsilon_{muh}) \quad (1)$$

$$\varepsilon_{gerçek=\ln(1+\varepsilon_{muh})} \quad (2)$$

Parlatılan numuneler yüzeylerine alkol sürülerek dağlama işlemi için hazırlanmıştır. Dağlama işlemine müteakip yüzeyleri temizlenen malzemelerin mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Tablo 2'de malzemenin kimyasal yapısı belirtilmiştir. Rockwell yüzey sertlik ölçüm cihazında yapılan ölçümde sertlik değeri 37-38 Rockwell ölçülmüştür.

Tablo 1. SCGADUB1180 malzemesinin mekanik özellikleri.

Table 1. Mechanical properties of the material SCGADUB1180.

Hadde yönü	Rp0.2 (MPa)	Rm (MPa)	δ *(%)*	r değeri
0°	904.84	1217.74	6.34	0.78
45°	911.55	1202.01	4.88	0.76
90°	909.71	1221.23	5.73	0.78

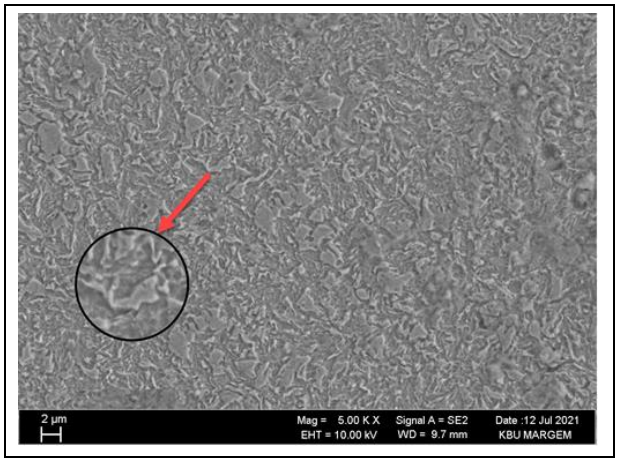
Tablo 2. SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sacın kimyasal yapısı (%).

Table 2. Chemical structure of SCGADUB1180 high strength sheet (%).

B	C	Al	Si	P	S	Ti	Mn	Nb
13.82	50.16	0.49	2.49	0.11	0.64	2.83	29.33	0.13

Malzeme içindeki kimyasal yapıyı incelediğimizde, Karbon (C), Mangan (Mn), Bor (B) elementinin yüksek oranda olduğu görülmektedir (Tablo 2). Çeliğin karbon artışı mukavemet artışı sağlarken sacın formlanabilmesini ve kaynaklanabilirliği düşürmektedir. Karbon miktarı arttıkça kırılganlık artmaktadır.

SCGADUB1180 malzemesinin mikroyapısını incelediğimizde Şekil 6'da görüldüğü gibi ferrit ve martenzit fazından oluşmaktadır. Beyaz adalar ferrit yapıyı, koyu gri kısımlar martenzit yapıyı temsil etmektedir. SCGADUB1180 malzemesinde ferrit yapı ortalama %81.8, martenzit yapı %18.2 civarındadır. DU580 malzemesi ile kıyaslandığında, yüksek mukavemetli SCGADUB1180 malzemesinin daha yüksek martenzit yapıya sahip olduğu görülmektedir [21]. Çift fazlı çelikler mikroyapılarında ferrit ve martenzit yapıyı bir arada tutmakta olup, ferrit yapı yüksek sünekliğe, martenzit yapıdan dolayı yüksek mukavemete sahiptir. Ayrıca, martenzit yapı yüksek deformasyon sertleşmesinin ana kaynağıdır. Deformasyon sertleşmesi geleneksel çeliklere göre daha yüksek akma mukavemet değerlerine ulaşmasına sebep olmaktadır. Akma gerilmesinin yüksek olması, daha yüksek bükme kuvveti ihtiyacı doğurur, geri yaylanma ve kırılganlık gibi şekillendirme problemleri doğurmaktadır.



Şekil 6. SCGADUB1180 malzemesinin iç yapısı.

Figure 6. İnternal structure of the material SCGADUB1180.

2.2 Deney parametreleri

2.2.1 V bükme deneyi

Kalıp yüzeyleri Catia yazılımı ile yapılmıştır. Tasarımın tamamlanmasına müteakip, kalıp parçaları dik işlem freze tezgahında imal edilmiştir. V büküm kalıp elemanları AISI 1045 çeliğinden işlenmiştir. Üretimi yapılan zımba ve matrisin prese adaptör ile bağlanmış durumu Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kalıbın adaptör parça ile prese bağlanması.

Figure 7. Connecting the mold to the press with adapter part.

Deneyde kullanılacak, SCGADUB1180 numuneleri 60x20 mm olarak giyotin makas ile 0°, 45° ve 90° hadde yönlerinde kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Toplam 81 adet numuneye bükme işlemi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemeye ısıl işlem uygulanmamıştır. Deneylerde 135 tonluk hidrolik abkant pres tezgahı kullanılmıştır. V büküm prosesinde kalıp yağlayıcısı kullanılmamıştır. Bükme kuvveti, Eşitlik 3'ten hesaplanmıştır [11],[22].

$$P_b = \frac{c\rho_b S^2 b}{w} \quad (3)$$

P_b: Bükme kuvveti (kg) (4)

b: Parça genişliği (mm) (5)

S: Parça kalınlığı (mm) (6)

ρ_b: Malzemenin çekme gerilmesi (kg/mm^2) (7)

w: Kalıp genişliği (8)

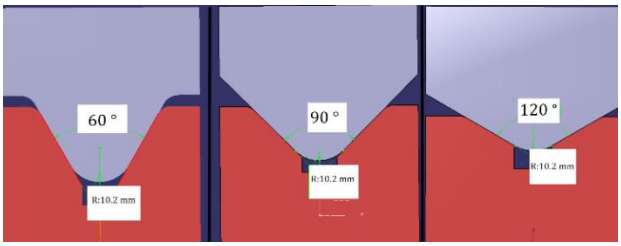
c: Katsayı (9)

Deneysel çalışmalarda her bir deney üçer defa uygulanmıştır. Deneysel çalışmalardaki proses parametreleri Tablo 3'de belirtilmiştir. Şekil 8'de büküm açıları ve zımba yarıçapı görülmektedir.

Tablo 3. Deney parametreleri.

Table 3. Experimental parameters.

Deney parametresi	Parametre değerleri
Kalıp açısı (derece)	30, 60, 90
Zımba Hızı(mm/sn)	3, 6, 10
Hadde yönü (derece)	0, 45, 90

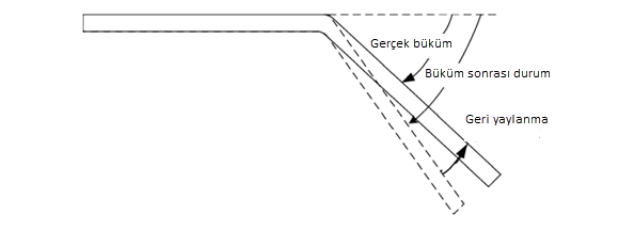


Şekil 8. Büküm açıları ve zımba yarıçap ölçüleri.

Figure 8. Bending angles and punch radius measurements.

3 Deney sonuçları ve değerlendirme

Geri yaylanmanın ölçümü ve gösterimi Şekil 9'da verilmiştir. Büküm prosesinin tamamlanmasına müteakip, dijital ölçüm projeksiyonunda numunelerin geri yaylanma değerleri ölçülmüştür (Şekil 10). Şekil 11'de numunelerin V büküm sonrası son hali gözükmektedir.



Şekil 9. Geri yaylanma ölçümünün şematik gösterimi [17].

Figure 9. Schematic representation of springback measurement [17].



Şekil 10. Geri yaylanma ölçümleri.

Figure 10. Springback measurements.



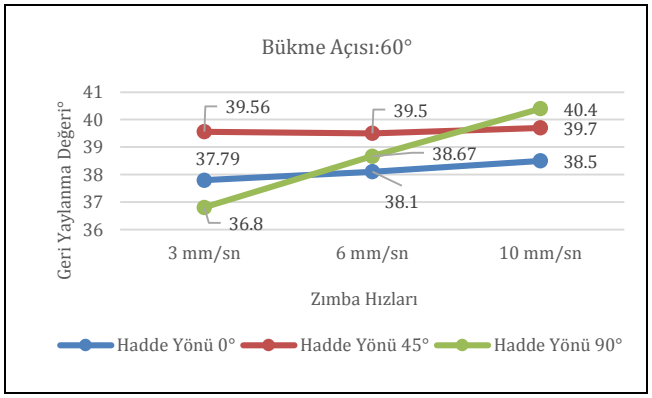
Şekil 11. Numunelerin bükümden sonraki durumları.

Figure 11. The condition of the samples after bending.

Her bir parametrenin üç numune ile bükülmesinin ardından ortalamalar alınarak grafikler tanımlanmıştır. Deneysel sonuçlardan çıkan veriler zımba hızı, büküm açısı, ütüleme süresi ve hadde yönüne göre yorumlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde yüksek mukavemetli saclarda geri yaylanmanın önemli bir problem olduğu gözükmektedir. Bükülen parçalarda herhangi bir yırtılma, kırılma görülmemiştir.

3.1 Zımba hızına bağlı olarak geri yaylanmanın değerlendirilmesi

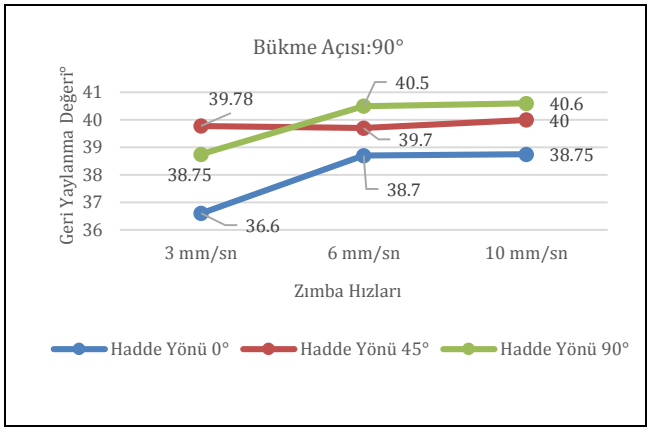
60° bükme açısında zımba hızı arttıkça geri yaylanma miktarları artmaktadır. 3 mm/sn. zımba hızında en düşük geri yaylanmalar görülmüştür. Geri yaylanma miktarları hadde yönlerine göre değişkenlik göstermektedir. 3 mm/sn. zımba hızında 45° hadde yönünde en yüksek geri yaylanma değeri görülmüştür. 10 mm/sn. zımba hızında en yüksek geri yaylanma 90° hadde yönünde görülmüştür. Zımba hızı 3 mm/sn'den 10 mm/sn. arttığında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %1.87, 45° hadde yönünde %0.35, 90° hadde yönünde %9.78 artmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. 60° bükme açısında farklı hızlardaki geri yaylanma değerleri.

Figure 12. Springback values at different speeds at a bending angle of 60°.

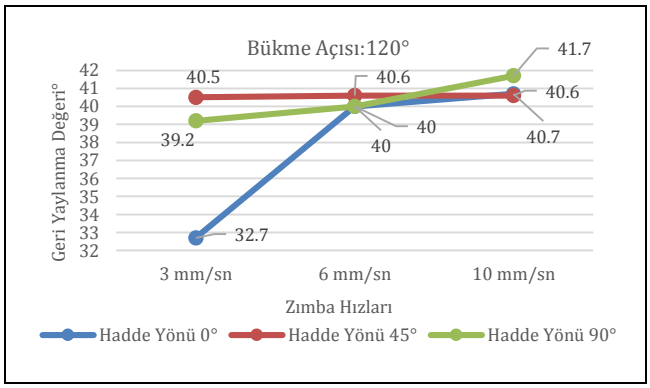
90° bükme açısında zımba hızı arttıkça geri yaylanma miktarları artmaktadır. 3 mm/sn. zımba hızında en düşük geri yaylanmalar görülmüştür. Geri yaylanma miktarları hadde yönlerine göre değişkenlik göstermiştir. Zımba hızı 3 mm/sn.'den 10 mm/sn. arttığında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %5.87, 45° hadde yönünde %0.55, 90° hadde yönünde %4.77 artmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. 90° bükme açısında farklı hızlardaki geri yaylanma değerleri.

Figure 13. Springback values at different speeds at a bending angle of 90°.

120° bükme açısında zımba hızı arttıkça geri yaylanma miktarları artmaktadır. 3 mm/sn zımba hızında en düşük geri yaylanmalar görülmüştür. 6 mm/sn. ve 10 mm/sn. zımba hızında yakın geri yaylanma değerleri görülmüştür. Zımba hızı 3 mm/sn.'den 10 mm/sn. arttığında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %27, 45° hadde yönünde %0.49, 90° hadde yönünde %3.5 artmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. 120° bükme açısında farklı hızlardaki geri yaylanma değerleri.

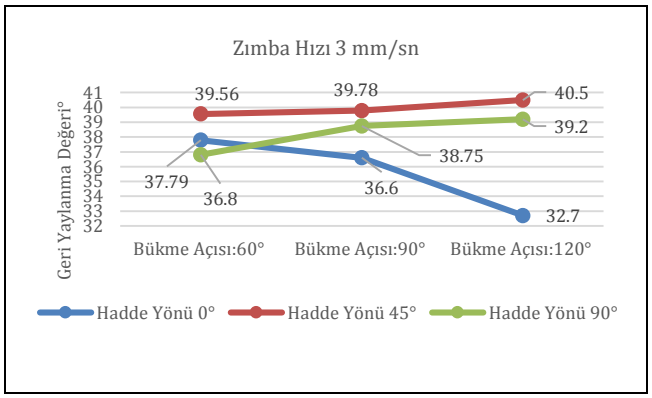
Figure 14. springback values at different speeds at a bending angle of 120°.

Grafiklerden görüldüğü gibi, üç farklı büküm açısında 3 mm/sn.'den 10 mm/sn. zımba hızı arttığından dolayı sac deformasyon sertleşmesinden dolayı mukavemet kazanmaktadır. Şekillendirmek için daha fazla kuvvet gerekmektedir. Geri yaylanma miktarları artmaktadır.

3.2 Büküm açısına bağlı olarak geri yaylanmanın değerlendirilmesi

Zımba hızının 3 mm/sn. olduğu durumda büküm açısı arttıkça, 45° ve 90° hadde yönünde geri yaylanma değerleri artarken, 0° hadde yönünde geri yaylanma miktarı azalmıştır. 90° ve 120°

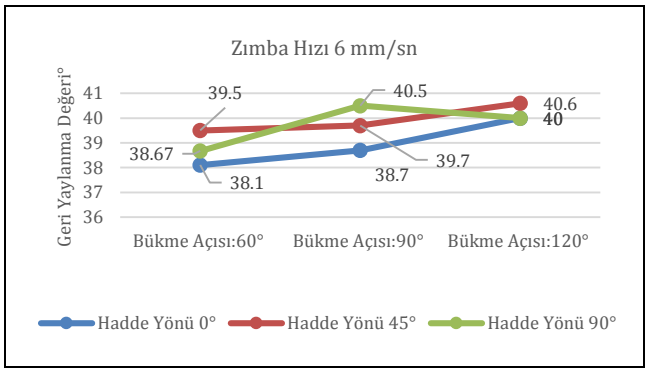
büküm açılarında 0° hadde yönünde geri yaylanma değerleri en az görülmüştür (Şekil 15).



Şekil 15. 3 mm/sn. zımba hızındaki geri yaylanma değerleri.

Figure 15. Springback values at punch speed of 3 mm/sec.

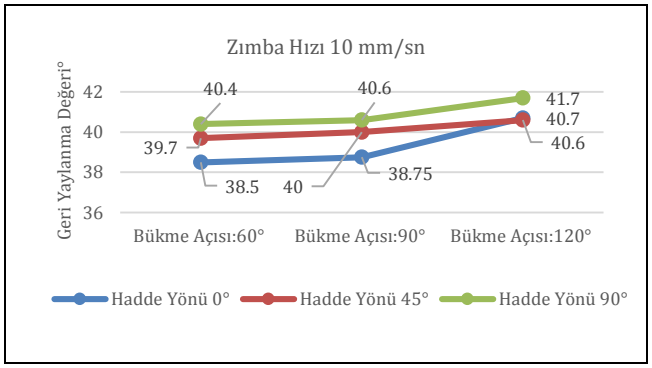
Zımba hızının 6 mm/sn olduğu durumda üç hadde yönünde büküm açısı arttıkça geri yaylanma değerleri artmıştır. En az geri yaylanmalar 60° büküm açısında meydana gelmiştir. Hadde yönlerinde geri yaylanma değerleri farklılık göstermiştir. Üç büküm açısında da 0° hadde yönünde en az geri yaylanma değerleri görülmüştür (Şekil 16).



Şekil 16. 6 mm/sn. zımba hızındaki geri yaylanma değerleri.

Figure 16. Springback values at punch speed of 6 mm/sec.

Zımba hızının 10 mm/sn. olduğu durumda üç hadde yönünde büküm açısı arttıkça geri yaylanma değerleri artmıştır. En az geri yaylanmalar 60° büküm açısında meydana gelmiştir. Hadde yönlerinde geri yaylanma değerleri farklılık göstermiştir. 0° hadde yönünde en az geri yaylanma değerleri görülmüştür (Şekil 17).

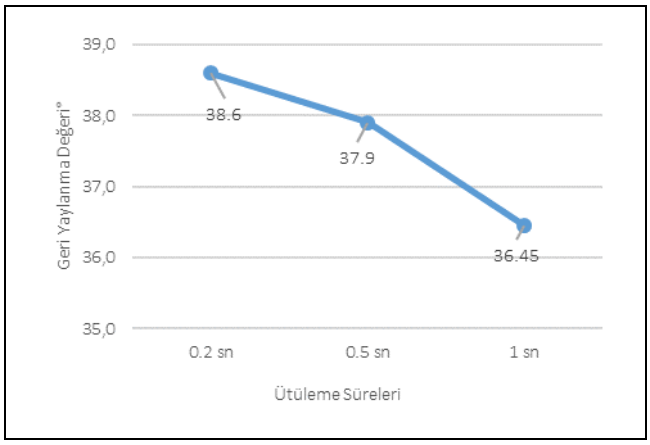


Şekil 17. 10 mm/sn. zımba hızındaki geri yaylanma değerleri.

Figure 17. Springback values at punch speed of 10 mm/sec.

3.3 Ütüleme süresine bağlı olarak geri yaylanmanın değerlendirilmesi

Zımba hızı 10 mm/sn iken, büküm açısı 60° iken üç farklı ütüleme süresinde geri yaylanma değerleri ölçülmüştür. Ütüleme süreleri arttığında geri yaylanma değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ütüleme süresinin artmasıyla elastik gerilmeler kalıcı plastik gerilmeye dönüşmüştür. Ütüleme süresi 0.2 sn'den 1 sn.'ye arttırıldığında geri yaylanma değeri %5.56 azalmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. Üç farklı ütüleme süresindeki geri yaylanma değerleri.

Figure 18. Springback values in three different holding times.

4 Sonuçlar

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli saclar otomotiv endüstrisinde ağırlık azaltma konusunda ilgi çekerken, yüksek mukavemet değerlerinden dolayı şekillendirilmesi zordur. Otomotiv endüstrisinde kullanılan 1.2 mm kalınlığındaki SCGADUB1180 geliştirilmiş yüksek mukavemetli sacının çekme ve V bükme testleri yapılarak, sacın geri yaylanma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan çıkan veriler zımba hızı, büküm açısı, ütüleme süresi ve hadde yönüne göre yorumlanmıştır. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde; SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sacının yüksek akma ve çekme mukavemet değerlerine rağmen düşük uzama değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Üç hadde yönünde de yakın akma ve çekme mukavemet değerleri elde edilmiştir. 45° hadde yönünde uzama değerleri, 0° ve 90° hadde yönüne göre daha düşüktür. SCGADUB1180 malzemesinin mikroyapısını incelediğimizde, yüksek oranda martenzit yapıya sahip olduğu görülmektedir. Martenzit yapı deformasyon sertleşmesine sebep olmaktadır. Akma mukavemeti, deformasyon sertleşmesi ile artmaktadır. Akma gerilmesinin yüksek olması, geri yaylanmayı arttıran bir sebep olarak ortaya çıkmaktadır.

Deformasyon hızının artmasıyla birlikte, akma mukavemeti ve çekme mukavemeti artarken, kopma uzaması düşmektedir. Deformasyon hızının artmasıyla birlikte geri yaylanmalarda artmaktadır [23],[24],[25]. Yapılan deney sonuçları sonucunda, zımba hızı arttıkça 60°,90° ve 120° büküm açılarında geri yaylanma değerleri artmıştır. Zımba hızı 3 mm/sn.'den 10 mm/sn. arttığında; 60° büküm açısında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %1.87, 45° hadde yönünde %0.35, 90° hadde yönünde %9.78 artmıştır. 90° büküm açısında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %5.87, 45° hadde yönünde %0.55, 90° hadde

yönünde %4.77 artmıştır. 120° büküm açısında geri yaylanma, 0° hadde yönünde %27, 45° hadde yönünde %0.49, 90° hadde yönünde %3.5 artmıştır. 3 mm/sn zımba hızında geri yaylanma değerleri en düşüktür. En düşük zımba hız değerinde elde edilen düşük geri yaylanmaların sebebi, büküm zımbası saca yeterli zaman kadar kuvvet uygulayarak kalıcı deformasyonları sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca, deformasyon hızının artmasıyla uzama oranları düşeceği için, parçanın şekillenebilme kabiliyeti düşecektir. SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sacının seri üretiminde uygun pres hızı seçimi dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Bükme prosesinde, zımba saca temas ettiğinde sacın zımbaya yakın kısımlarında basma gerilmesi, sacın dış kısımlarında da çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bükme açısının artmasıyla, bükme momenti artmaktadır. Bükme momentinin artmasıyla geri yaylanma miktarı artmaktadır. Büküm açısı arttıkça geri yaylanma değerleri artmaktadır [9],[11],[12]. Üç zımba hızında, büküm açısı arttıkça geri yaylanma değerleri artmıştır.

Ütüleme süresinin artması geri esnemeyi azaltıcı bir etkiye sahiptir [7],[8]. Ütüleme süresi 0.2 sn'den 1 sn'ye arttırıldığında geri yaylanma değeri %5.56 azalmıştır. Zımbanın saca baskı süresinin uzatılması malzemenin içyapısındaki kalıcı gerilimleri arttırmıştır. Özellikle yüksek mukavemetli sacların soğuk şekillendirilmesinde seri üretim sürelerini aksatmadan yüksek ütüleme sürelerinde saca baskı yapılması geri yaylanmayı azaltıcı bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. SCGADUB1180 yüksek mukavemetli sacının pres altı şekillendirilmesinde ütüleme süresi arttırılarak geri yaylanma değerleri düşürülebilir.

Diğer proses parametrelerinin etkisini düşünürsek, zımba yarıçapı 10.2 mm ile deneyler gerçekleştirildi. Küçük zımba yarıçapı ile daha az geri esneme değerleri elde edilebilir. Ayrıca, sıcak şekillendirme ile geri yaylanma değerleri azaltılarak istenilen tolerans aralığında parçalar elde edilebilir.

SCGADUB1180 malzemesi, V büküm prosesinde belirtilen tüm parametrelerde başarılı bir şekilde bükülmüştür. Malzemelerde gözle görülür deformasyon, yırtık gözlenmemiştir. Parça uygun telafi değerleriyle istenilen forma getirilebilir.

5 Conclusions

While the developed high-strength sheets attract attention in the automotive industry for weight reduction, they are difficult to form due to their high strength values. Tensile and V bending tests of the 1.2 mm thick SCGADUB1180 developed high strength sheet used in the automotive industry were performed and the springback behavior of the sheet was investigated experimentally. The data obtained from the experimental results were interpreted according to punch speed, bend angle, holding time and rolling direction. The following conclusions were drawn from this study.

When the tensile test results are examined; It has been observed that SCGADUB1180 high strength sheet has low elongation values despite high yield and tensile strength values. Close yield and tensile strength values were obtained in all three rolling directions. The elongation values in the 45° rolling direction are lower than in the 0° and 90° rolling directions. When we examine the microstructure of the SCGADUB1180 material, it is seen that it has a high martensite structure. Martensite structure causes deformation hardening. The yield strength increases with strain hardening. High yield stress appears as a reason that increases springback.

With the increase in deformation rate, yield strength and tensile strength increase, while elongation at break decreases. As the deformation rate increases, the springback increases [23],[24][25]. As a result of the test results, as the punch speed increased, the springback values increased at 60°, 90° and 120° bending angles. When the punch speed increases from 3 mm/sec to 10 mm/sec; At the 60° bend angle, springback increased by 1.87% in the 0° rolling direction, by 0.35% in the 45° rolling direction and by 9.78% in the 90° rolling direction. At the 90° bend angle, springback increased by 5.87% in the 0° rolling direction, 0.55% in the 45° rolling direction, and 4.77% in the 90° rolling direction. At the 120° bend angle, springback increased by 27% in the 0° rolling direction, by 0.49% in the 45° rolling direction and by 3.5% in the 90° rolling direction. Springback values are lowest at 3 mm/sec punch speed. It is thought that the reason for the low springback obtained at the lowest punch speed value is that the bending punch provides permanent deformations by applying a sufficient amount of force to the sheet. In addition, as the elongation rates will decrease with the increase of the deformation rate, the formability of the part will decrease. In the mass production of SCGADUB1180 high-strength sheet, choosing the appropriate press speed is a matter to be considered.

In the bending process, when the punch contacts the sheet, compressive stress occurs in the parts of the sheet close to the punch, and tensile stresses occur in the outer parts of the sheet. As the bending angle increases, the bending moment increases. As the bending moment increases, the amount of springback increases. As the bending angle increases, the springback values increase [9],[11],[12]. At three punch speeds, the springback values increased as the bend angle increased.

Increasing the holding time has a reducing effect on springback[7],[8]. When the ironing time was increased from 0.2 s to 1 s, the springback value decreased by 5.56%. Extending the press time of the punch to the sheet increased the permanent stresses in the internal structure of the material. Especially in cold forming of high-strength sheets, pressing the sheet at high ironing times without interrupting the mass production times appears as a factor reducing springback. In the underpress forming of SCGADUB1180 high strength sheet, the springback values can be reduced by increasing the ironing time.

6 Yazar katkı beyanı

Bu araştırmada, Samet KARABULUT, kalıp tasarımlarının yapılması, malzemelerin temini, literatür taraması, parçaların kalıplanması, ölçümlerin yapılması başlıklarında katkı sağlamıştır. İsmail ESEN, fikrin oluşması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, sonuçların incelenmesi, makalenin içerik açısından kontrolü ve yazım denetimi başlıklarında katlı sağlamıştır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

8 Kaynaklar

[1] Chang Y, Wang N, Wang BT, Li XD, Wang CY, Zhao KM, Dong H. "Prediction of bending springback of the medium-Mn steel considering elastic modulus attenuation". *Journal of Manufacturing Processes*, 67(2), 345-355, 2021.

[2] Mishra A, Thuillier S. "Investigation of the rupture in tension and bending of DP980 steel sheet". *International Journal of Mechanical Sciences*, 84, 171-181, 2014.
[3] Trzepiecinski T, Lemu HG. "Effect of computational parameters on springback prediction by numerical simulation". *Metals*, 7(9), 1-14, 2017.
[4] Kuziak R, Kawalla R,Waengler S. "Advanced high strength steels for automotive industry". *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 8(2), 103-117, 2008.
[5] Billur E, Çetin B, Gürleyik M. "Yeni nesil yüksek dayanımlı çelikler: gelişmeler, trendler ve kısıtlar". *İnternational Journal of Scientific and Technological Research*, 2(1), 50-62, 2016.
[6] Arola AM, Kaijalainen A, Kesti V, Troive L, Larkiola J, Porter D. "The effect of mechanical behavior on bendability of ultrahigh-strength steel". *Materials Today Communications*, 26, 1-14, 2021.
[7] Karaağaç İ, Uluer O. "V bükme prosesinde geri esnemeye etki eden proses parametrelerinin deneysel araştırılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(8), 990-993, 2017.
[8] Tekaslan Ö, Şeker U, Gerger N. "Bükme Kalıplarında 0.75 mm kalınlığındaki çeliklerin geri esneme miktarlarının belirlenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 15-22, 2007.
[9] Thipprakmas S, Phanitwong W. "Process parameter design of spring-back and spring-go in V-bending process using Taguchi technique". *Materials and Design*, 32(8-9), 4430-4436, 2011.
[10] Phanitwong W, Thipprakmas S. "Development of a new spring-back factor for a wiping die bending process". *Materials and Design*, 89, 749-758, 2016.
[11] Gürün H, Çavuşoğlu O, Çaydaş U, Özek C, Çelik, M. "AA2024 alaşımının V-bükme işlemi sonrasında geri esneme davranışlarının incelenmesi". *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 1-8, 2018.
[12] Sayın L, Basmacı G. "Bakır sac levhaların V bükme yöntemi ile şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme miktarının deneysel olarak incelenmesi". *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi,* 11(3), 147-154, 2019.
[13] Aydın K, Karaağaç İ. "DP600 ve HSLA300 sac malzemelerde geri esneme davranışlarına proses parametrelerinin etkisinin deneysel araştırılması". *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1456-1465, 2019.
[14] Kale AB, Alluri P, Singh AK, Choi SH. "The deformation and fracture behavior of 316L SS fabricated by SLM under mini V-bending test". *International Journal of Mechanical Sciences*, 196, 1-14, 2021.
[15] Choi MK, Huh H. "Effect of punch speed on amount of springback in U-bending process of auto-body steel sheets". *Procedia Engineering*, 81, 963-968, 2014.
[16] Heibel S, Dettinger T, Nester W, Clausmeyer T, Tekkaya AE. "Damage mechanisms and mechanical properties of high-strength multiphase steels". *Materials*, 11(761), 1-34, 2018.
[17] Wasif M, Iqbal SA, Tufail M, Karim H. "Experimental analysis and prediction of springback in V-bending process of high-tensile strength steels". *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 73(2), 285-300, 2019.
[18] Wasif M, Fatima A, Ahmed A, Iqbal SA. "Investigation and optimization of parameters for the reduced springback in JSC-590 sheet metals occurred during the V-Bending process". *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 74, 2751-2760, 2021.
[19] Krinninger M, Opritescu M, Golle R, Volk W. "Experimental investigation of the influence of punch velocity on the springback behavior and the flat length in free bending". *Procedia CIRP*, 41, 1066-1071, 2016.
[20] Aslan Y, Karaağaç İ. "V Bükmede geri esneme davranışları". *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 2(3), 255-263, 2014.
[21] Özcan A.G, Peştelli V, Yöntem O. "Yüksek mukavemetli çelik sacların kaynaklanabilirliği ve direnç spot kaynağı parametrelerinin taguchi metoduyla optimizasyonu". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(2), 333-50, 2018.
[22] Tekaslan Ö, Gerger N, Şeker U." V bükme kalıplarında bakır sac malzemelerin geri esneme miktarlarının tespiti". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 23(1), 231-238, 2008.
[23] Çavuşoğlu O, Gürün H. "Deformasyon hızının DP600 ve DP780 sac malzemelerin mekanik özelliklerine ve derin çekme işlemine etkilerinin incelenmesi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakultesi Dergisi*, 29(4), 777-784, 2014.
[24] Aydın H, Tuncel O, Karpuz M, Aydın Ö. "Otomotiv endüstrisinde kullanılan DP450 ve DP800 saçlarında deformasyon hızının ve haddeleme yönünün çekme özelliklerine etkisi". *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 323-335, 2019.
[25] Meriç C, Atik E, Özkaya E. "Deformasyon sıcaklığının ve deformasyon hızının AL 99.0' un mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(1), 293-299, 1997.