

## V bükme prosesinde geri esnemeye etki eden proses parametrelerinin deneysel araştırılması

### Experimental investigation of effect of process parameters on springback in v bending process

İbrahim KARAAĞAÇ<sup>1\*</sup>, Onuralp ULUER<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
ibrahimkaraagac@gazi.edu.tr, uluer@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 28.10.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 19.01.2017

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.78466

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

#### Öz

Bükülerek şekillendirilmiş DC 01 kalite sac malzemeler; beyaz eşya, mobilya, mutfak, çeşitli ev eşyaları ve otomotiv sektörü başta olmak üzere, endüstride birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bükülerek şekillendirilen ürünlerde karşılaşılan en önemli şekillendirme kusuru geri esnemedir. Bu çalışmada; DC01 kalite sac malzemenin V bükme yöntemiyle şekillendirmede oluşan geri esnemeye, ütleme süresi (0 s, 10 s, 20 s ve 40 s), bükme açısı (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) ve zimba uç radyüsü (0 mm, 2 mm, 4 mm ve 6 mm) parametrelerinin etkisi deneysel araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; geri esnemenin, ütleme süresinin 10 s. lik artışına bağlı olarak ortalama 0.18° azaldığı, bükme açısının 15°'lik artışına bağlı olarak da ortalama 0.44° arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca geri esnemenin zimba uç radyüsündeki 2 mm.'lik artışa bağlı olarak da ortalama 0.27° arttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** V bükme, Geri esneme, DC01

#### Abstract

DC01 quality sheet metal parts which were shaped by bending are commonly used in white goods, furniture, kitchen, a variety of household goods and in various industries, particularly the automotive industry. The most important shaping flaw of the bended parts is spring-back. In this study, the effects of holding times (0 s, 10 s, 20 s and 40 s), bending angles (15°, 30°, 45°, 60°, 75° and 90°) and punch radii (0 mm, 2 mm, 4 mm and 6 mm) on spring-back while v bending were investigated. At the end of the experiments the following results were observed; spring-back angles decreased 0.18 degrees on average while the holding times were increasing 10 seconds, spring-back angles increased 0.44 degrees on average while bending angles were increasing 15 degrees. Furthermore, an increase of 2 millimeters in punch radii resulted in an increase in spring-back angles (0.27 degrees on average).

**Keywords:** V bending, Springback, DC01

## 1 Giriş

DC01 (Erdemir 6112) karbonlu çelik sac malzemeler; otomotiv sanayinde radyatör üretiminde, buzdolabı ve çamaşır makinası gibi beyaz eşyalarda ve diğer mutfak eşyalarında sıklıkla kullanılan sac malzemelerdir. Bu sac metal malzemelerin şekillendirilmesinde V bükme yöntemiyle şekillendirme çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bükme yöntemiyle şekillendirilen sac malzemelerde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi de şekillendirilen parçalarda ölçü ve kalite problemlerine sebep olan geri esneme davranışıdır. Geri esneme, malzeme kalınlığı boyunca üniform dağılmayan iç kalıntı gerilmelerin etkisi altındaki sac şekillendirme operasyonlarının son aşaması esnasında oluşan bir olaydır [1]. Geri esnemeye sac metal şekillendirme operasyonlarında zimbanın kalıptan ayrılmasıyla oluşan yük boşalması aşamasında iç gerilmelerin serbest kalması sebep olmaktadır [2]. Yağlama şartları, baskı kuvveti, kalınlık, kalıp şekli, sac ölçüsü gibi proses parametrelerinin yanı sıra, akma dayanımı, Yong modülü, Bauschinger etkisi gibi malzeme özellikleri de geri esnemeyi etkilenmektedir [3]. Yapılan literatür araştırmalarında, DC01 sac malzemenin bükme yöntemiyle bükülerek geri esneme davranışının incelendiği çalışmaların yapılmadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaların malzeme özellikleriyle olduğu tespit edilmiştir. Silvestre vd. yaptıkları çalışmada, DC01 sac malzemenin karakterizasyonunu çalışmışlardır [4]. Husmann ve Magnus, DC01 sac malzemenin artırılmış sıcaklıklarda şekillendirme prosesleri esnasında sıcaklığın kontrolü ve ölçümü için bir teknoloji olarak

termografi kullanmışlardır [5]. Long vd. yaptıkları çalışmada 1.2 mm kalınlıkta DC01 ve 1.5 mm kalınlıkta DP590 sac malzemeyi kaynatarak elde ettikleri yapının mikro yapı ve mekanik özellikleri ütleme süresinin etkisini incelemişlerdir [6]. Bu çalışmada da ilk defa, DC01 sac malzemenin V bükme kalıplarıyla bükülmesi sonucu oluşan geri esnemeye, ütleme süresi, bükme açısı ve bükme zimbası uç radyüsünün etkisi deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

## 2 Materyal ve metot

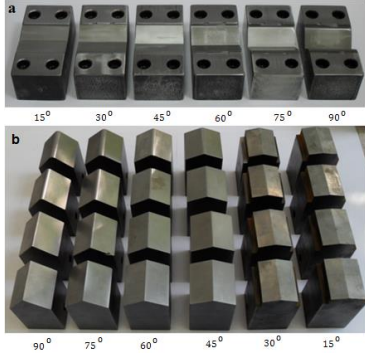
### 2.1 Deneysel düzeneği

Deneysel düzeneğin tasarımı Computer Aided Design (CAD) ortamında üç boyutlu olarak yapılmıştır. Tasarım aşamasının tamamlanmasıyla, deneysel düzeneğin üretimi ve kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneysel düzeneği; mekanik konstrüksiyon, hidrolik ekipmanlar grubu, elektronik veri okuma paneli, deney cihazı kontrol yazılımı ve elektrik panelinden oluşmaktadır. Tasarlanan ve üretimi yapılan deneysel düzeneğin genel görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



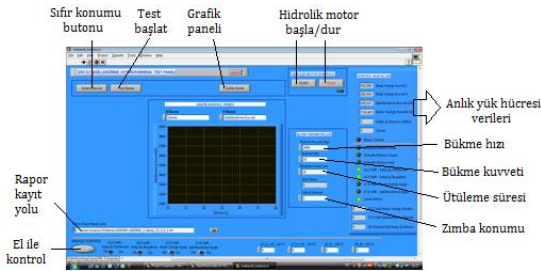
Şekil 1: Deneysel düzeneğin genel görüntüsü.

DeneySEL çalışmalar; 15, 30, 45, 60, 75 ve 90° açılı V bükme kalıpları ve her bir açı için 0 mm, 2 mm, 4 mm ve 6 mm uç radyüsüne sahip zimbalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalıplar, DIN 1.2080 standardında çelik malzemeden ısıl işlem sonrası tel erozyon tezgahında kesilerek üretilmiştir. Üretimi yapılan kalıpların ve zimbaların görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Üretimi yapılan kalıplar. (a): Dişi kalıplar. (b): Zimbalar.

Deney düzeneğinin kontrolü ve veri okuma işlemi bilgisayar kontrollü olarak, elektronik kart ve Labview ortamında tasarlanan özel bir yazılım aracılığıyla yapılmaktadır. Yazılımda, deney çalışması otomatik adımlarla belirlenmiştir. Birinci adımda, cihaz test başlangıcına hazırlanmak için referans konumuna gitmektedir. İkinci adımda, sac malzeme dişi kalıp üzerine yerleştirildikten sonra zimba aşağı hareket ederek bükme işlemi yapmaktadır. Üçüncü adımda girilen ütüleme süresi değeri kadar zimba kalıp üzerinde ütüleme yapmaktadır. Dördüncü adımda da zimba kalıp üzerinden kalkarak şekillendirmeyi tamamlamaktadır. Deney düzeneği için özel olarak tasarlanan yazılımın ekran görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3: Deney cihazı kontrol yazılımı ekran görüntüsü.

Tablo 1: Deney malzemesinin mekanik özellikleri.

Malzeme	Akma Gerilmesi (MPa)	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)	Young Modülü (MPa)	Sertlik (Vickers)
DC 01	255.604	336.154	77298.301	122.33

Tablo 2: Deney malzemesinin kimyasal kompozisyonu.

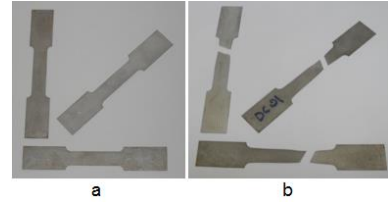
Malzeme	Fe	Cr	Ni	Si	Mn	S	V	Pb	Mo
DC 01	99.785	<LOD	<LOD	<LOD	0.166	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Tablo 3: V bükme deney parametreleri.

Deney Parametreleri	Parametre Değerleri
Bükme Kalıp Açısı (Derece)	15, 30, 45, 60, 75, 90
Ütüleme Süresi (sn.)	0, 10, 20, 30
Zimba Uç Radyüsü (mm)	0, 2, 4, 6

## 2.2 Deney malzemesi ve özellikleri

DC01 sac malzemelerden şekillendirilerek üretilen ürünlerin farklı sektörlerde yaygın kullanımı nedeniyle, DC01 deney malzemesi olarak seçilmiştir. Deney malzemeleri, 20x26 mm boyutlarında giyotin preste kesilerek hazırlanmıştır. Malzeme özelliklerinin geri esnemeye olan etkilerini değerlendirmek amacıyla deneysel çalışma öncesi, malzemelerin çekme ve sertlik ölçme testleriyle bazı mekanik özellikleri ve spektrometre ile de kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çekme test numuneleri, ASTM E8 standardına göre tel erozyon tezgahında 0°, 45° ve 90° hadde yönlerinde kesilerek hazırlanmıştır. Üç farklı hadde yönüne göre hazırlanan deney numunelerinden yapılan çekme testinde elde edilen özelliklerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Deney malzemelerinin ayrıca sertlikleri de ölçülmüştür. Üç farklı numune üzerinden yapılan sertlik ölçümleri sonucunda da elde edilen verilerin de aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Çekme testi öncesi ve sonrası, çekilen numunelere ait görüntüler Şekil 4’te, testler sonucu elde edilen özelliklere ait ortalama değerler de Tablo 1’de verilmiştir. Kimyasal analiz sonucu elde edilen sonuçlar da Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 4: Çekme test numuneleri (a): Test öncesi (b): Test sonrası

## 2.1 Deney parametreleri

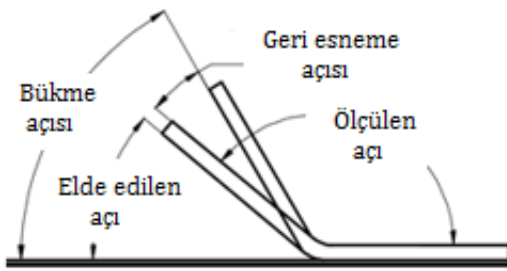
Deney parametrelerinin belirlenmesinde, geri esnemeyi doğrudan etkileyen proses parametreleri öncelikle göz önünde bulundurulmuştur. Bükme kalıp açısı, ütüleme süresi ve zimba uç radyüsü deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada kullanılan deney parametreleri ve parametre değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Klasik kalıpla V bükme deneylerinde, bükme kuvvetinin hesaplanmasında Eş 1. [7] kullanılmıştır. Bükme kuvveti Eşitlik 1 kullanılarak DC01 sac malzeme için hesaplanmış ve deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

$$L = \frac{(L \cdot t^2 \cdot k \cdot S)}{s} \quad (1)$$

Burada, L bükme kuvveti (N), l bükme genişliği (mm), t sac kalınlığı (mm), k kalıp açıklık faktörü, S çekme gerilmesi ( $N/mm^2$ ), ve s kalıp açıklık genişliği (mm)'dir.

Deneysel çalışmalar sonucunda şekillendirilen sac malzemelerdeki geri esneme değerleri, AutoCAD ortamına aktarılarak ölçülmüştür. Açı ölçüm işleminde öncelikle, bükülmüş olan sac malzemeler boş bir sayfa üzerine konularak kalemle çizilmiştir. Daha sonra çizilen geometriler tarayıcı ile taranarak bilgisayar ortamına resim olarak aktarılmıştır. Resim dosyaları AutoCAD ortamına aktarılarak AutoCAD ortamında açı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen açıdan büküm açısı çıkarılarak geri esneme açıları elde edilmiştir. Geri esnemenin şematik gösterimi ve ölçüm esnasında elde edilen görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir.

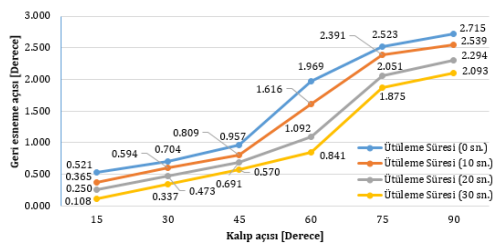


Şekil 5: Geri esneme ölçümü şematik gösterimi.

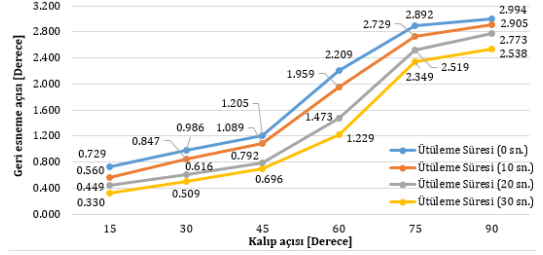
### 3 Sonuçlar

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar; kalıp açısı, ütleme süresi, bükme basıncı ve malzeme mekanik özelliklerinin geri esnemeye etkileri göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır.

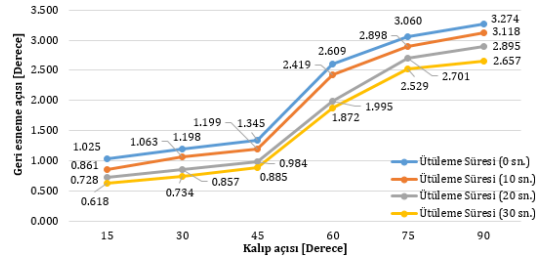
Bükme prosesinde, bükme işlemi esnasında zımbanın sac malzemeye temas ettiği sacın iç yüzeyinde basma gerilmeleri, sacın dış yüzeyinde çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bükme işlemi sonunda zımbanın yukarı kalkmasıyla birlikte bu gerilmeler tersi yönde hareket etmektedirler. Bu gerilmelerin dengede kalması durumunda da sac malzemedeki deformasyon tamamlanmaktadır. Bükme işleminde, kalıp açısının büyümesi ile birlikte bükme momenti artmakta [8] ve daha büyük bükme açısı daha büyük deformasyon alanına sebep olmaktadır [9]. Deformasyon alanı ve bükme momentinin artmasının sonucu olarak geri esneme açısının artmasına neden olan elastik enerji artmaktadır. Bükme işlemlerinde elastik enerjinin bir sonucu olarak geri esneme gözlemlenmektedir. Deneysel çalışmalarda da; kalıp açısındaki 15 derecelik artışın geri esneme miktarını 0.44 derece arttırdığı gözlemlenmiştir. Farklı ütleme süreleri ve zımba uç radyüslerine göre kalıp açısındaki artışa bağlı olarak elde edilen geri esneme değerleri Şekil 6-9'da verilmiştir.



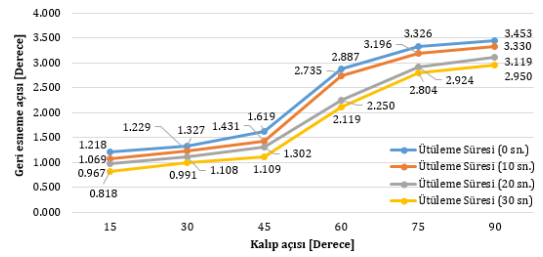
Şekil 6: Ütleme sürelerine göre kalıp açısı-geri esneme açısı ilişkisi, zımba radyüsü 0 mm.



Şekil 7: Ütleme sürelerine göre kalıp açısı - geri esneme açısı ilişkisi, zımba radyüsü 2 mm.



Şekil 8: Ütleme sürelerine göre kalıp açısı - geri esneme açısı ilişkisi, zımba radyüsü 4 mm.



Şekil 9: Ütleme sürelerine göre kalıp açısı - geri esneme açısı ilişkisi, zımba radyüsü 6 mm.

Bükme proseslerinde geri esnemeyi etkileyen diğer bir önemli parametre de ütleme süresidir. Ütleme süresinin artması deney numunesinin şeklini sınırlamaktadır. Büküm tarafının iç gerilmelerinde bu azalma azaltılmış elastik gerinimlere sebep olmaktadır, bu da kalıcı gerinim de artışa sebep olan bir davranıştır. Çünkü ütleme süresi arttıkça sürünme deformasyonu artmakta ve elastik geri kazanım azalmaktadır. Sürünme deformasyon hızı iç gerilmelerdeki azalmadan dolayı zamanla azalmaktadır [10]. Deneysel çalışmalarda da, ütleme süresinin artması ile birlikte geri esneme açısının iç gerilmelerin azalmasından dolayı azaldığı gözlemlenmiştir. Ütleme süresindeki 10 saniyelik artışın geri esneme açısında ortalama 0.181 derece azalmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Bükme prosesinde zımba radyüsünün geri esnemeyi etkileyen bir diğer proses parametresidir. Çünkü geri esneme plastik bölgenin ölçüsün bağlıdır. Daha küçük zımba radyüsü, kuvveti daha büyük plastik deformasyon ve daha yüksek bölgesel gerinim seviyesi gerektiren dar bir alanda yoğunlaştırır. Bu olayda, zımba radyüsünün arttığı zaman, kuvvet geniş bir plastik bölge boyunca yayılır bu da geri esnemeyi arttırmaktadır [11]. Bu nedenle, zımba radyüsünün artması ile birlikte geri esneme miktarı da artmaktadır. Deneysel çalışmalarda da, zımba radyüsünün 2 mm artışına bağlı olarak geri esnemenin ortalama 0.27 derece arttığı gözlemlenmiştir.

#### 4 Teşekkür

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2015-12 proje kod numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederiz.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Ouakdi EH, Louahdi R, Khirani D, Tabourot L. "Evaluation of springback under the effect of holding force and die radius in a stretch bending test". *Materials and Design*, 35, 106-112, 2012.
- [2] Lia X, Yanga Y, Wanga Y, Baoa J, Li S. "Effect of the material-hardening mode on the springback simulation accuracy of V-free bending". *Journal of Materials Processing Technology*, 123, 209-211, 2002.
- [3] Chatti S, Hermi N. "The effect of non-linear recovery on springback prediction". *Computers and Structures*, 89, 1367-1377, 2011.
- [4] Silvestre E, Mendiguren J, Galdos L, SáenzdeArgandoña E. "Comparison of the hardening behaviour of different steel families: From mild and stainless steel to advanced high strength steels". *International Journal of Mechanical Sciences*, 101(102), 10-20, 2015.
- [5] Husmann T, Magnus CS. "Thermography in incremental forming processes at elevated temperatures". *Measurement*, 77, 16-28, 2016.
- [6] Long H, Hua Y, Jin X, Shao J, Zhu H. "Effect of holding time on microstructure and mechanical properties of resistance spot welds between low carbon steel and advanced high strength steel". *Computational Materials Science*, 117, 556-563, 2016.
- [7] ASM Handbook Committee. *ASM Handbook Vol 14: Forming and Forging*. 9<sup>th</sup> ed. USA, ASM International, 1996.
- [8] Garcia-Romeu ML, Ciurana J, Ferrer I. "Springback determination of sheet metals in an air bending process based on an experimental work". *Journal of Materials Processing Technology*, 191, 174-177, 2007.
- [9] Krinninger M, Opritescu D, 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.
- [10] Zong Y, Liu P, Guo B, Shan D. "Springback evaluation in hot v-bending of Ti-6Al-4V alloy sheets". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76, 577-585, 2014.
- [11] Buang MS, Abdullah SA, Saedon J. "Effect of die and punch radius on springback of stainless steel sheet metal in the air v-die bending process". *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 8, 1322-1331, 2005.