# TİTANYUM CP-2 MALZEMESİNİN V-BÜKÜMDE GERİ ESNEME DAVRANIŞININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF SPRINGBACK BEHAVIOUR IN V-BENDING OF CP-2 TITANIUM MATERIAL

**Ümit KOCA**
Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Manufacturing Engineering, Ankara, Türkiye
ORCID: 0009-0005-6333-9196

**Asst. Prof. Ali ÖZGEDİK**
Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Manufacturing Engineering, Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4964-4264

## ÖZET

Ticari saflıkta titanyum CP-2 malzemesi, düşük yoğunluğu, şekillendirilebilirliği ve yüksek korozyon direnci nedeniyle hafif ve korozyona dayanıklı sac parçaların üretiminde tercih edilmektedir. Bununla birlikte, sac malzemelerin bükülerek şekillendirilmesi esnasında yükün kaldırılmasıyla ortaya çıkan geri esneme, hedeflenen geometriden sapmalara yol açarak boyutsal doğruluğu etkileyen önemli bir problem oluşturmaktadır. Geri esnemenin doğru öngörülememesi, kalıp tasarımında deneme-yanılma yaklaşımına ve buna bağlı maliyet ile zaman kaybına yol açmaktadır. Bu çalışmada, CP-2 titanyum sac malzemenin V-büküm işleminde geri esneme davranışı deneysel ve sayısal yöntemlerle birlikte incelenmiştir. Deneyler, 0,51 mm, 0,635 mm ve 0,81 mm kalınlığındaki sac malzemeler ve 90° açılı 1,5 mm, 3 mm ve 5 mm yarıçaplı zımbalar kullanılarak hidrolik pres tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Her deney koşulu üç kez tekrarlanmış ve toplam 27 deney numunesi şekillendirilmiştir. Büküm sonrası açı değişimleri ölçülerek geri esneme açıları belirlenmiştir. Sayısal çalışmada, malzemenin özellikleri dikkate alınarak PAM-STAMP yazılımında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve model, deneysel olarak elde edilen geri esneme açılarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sac kalınlığı ve zımba uç yarıçapının geri esneme üzerindeki etkileri, deneysel ve sayısal sonuçlar üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geri esneme miktarının artan zımba yarıçapı ve azalan kalınlık ile artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, CP-2 titanyum sac parçaların hidrolik pres ile V-büküm yöntemiyle şekillendirilmesinde geri esnemenin öngörülmesine, deneme sayısının azaltılmasına ve ürün kalitesinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Titanyum CP-2, V-Büküm, Geri Esneme, Sonlu Elemanlar Analizi, Sac Metal Şekillendirme

**ABSTRACT**

Commercially pure titanium CP-2 is preferred for manufacturing lightweight and corrosion-resistant sheet metal components owing to its low density, formability and high corrosion resistance. However, springback following unloading in sheet metal bending causes deviations from the target geometry and poses a significant challenge to dimensional accuracy. Inaccurate springback prediction leads to trial-and-error adjustments in tooling design, resulting in additional costs and time losses. In this study, the springback behavior of CP-2 titanium sheet during V-bending was investigated experimentally and numerically. Experiments were conducted using a hydraulic press, sheets with thicknesses of 0.51, 0.635, and 0.81 mm, and 90° punches with tip radii of 1.5, 3, and 5 mm. Each experimental condition was repeated three times, resulting in a total of 27 formed specimens. Springback angles were determined from the post-bending angle measurements. For the numerical analysis, a finite element model incorporating the material properties was developed using PAM-STAMP software and validated by comparing the predicted springback angles with the experimental measurements. The effects of sheet thickness and punch tip radius on springback were assessed by comparing the experimental and numerical results. The results indicated that springback tended to increase with increasing punch tip radius and decreasing sheet thickness. These findings are expected to support springback prediction, reduce the number of forming trials, and improve product quality in the V-bending of CP-2 titanium sheet components using a hydraulic press.

**Keywords:** Titanium CP-2, V-Bending, Springback, Finite Element Method, Sheet Metal Forming