

## ESTUDIO DE LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA EN ACEROS AVANZADOS DE ALTA RESISTENCIA DE DOBLE FASE

*Yeison Parra Rodríguez<sup>1\*</sup>, J. M Arroyo Osorio<sup>1</sup>, R. Rodríguez Baracaldo<sup>1</sup>*

1: Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica y Mecatrónica. Bogotá, Colombia.

\* Contacto: [yeparraro@unal.edu.co](mailto:yeparraro@unal.edu.co)

### RESUMEN

El interés de los fabricantes de automóviles en reducir el peso en las partes estructurales del vehículo para satisfacer las políticas de consumo de combustible y mejorar la seguridad en colisiones, los han llevado en la búsqueda de nuevos materiales, hallando una gran oportunidad en los aceros avanzados de alta resistencia “AHSS”, como el acero de doble fase. Sin embargo, en el proceso de conformado de varios componentes de chapa metálica de aceros de doble fase, el fenómeno de la recuperación elástica es uno de los problemas más comunes. En el presente estudio, se analiza la conformabilidad de los aceros de doble fase sometidos a tratamientos térmicos. Se evaluó la sensibilidad de la recuperación elástica mediante ensayo de doblado en forma V, analizando el ángulo de flexión se midió por medio de un análisis metrológico y mediante imágenes en un editor de gráficos. Se explica como el tratamiento de revenido a temperaturas bajas aumenta el retorno elástico debido al aumento de esfuerzo de fluencia en el material.

Palabras Clave: Recuperación elástica, AHSS, Doble fase (DP), Revenido

### ABSTRACT

The interest of automobile manufacturers is to reduce the weight on the structural parts of the vehicles to meet the fuel policies and improve safety in collisions, have been on the search for new materials, finding a great opportunity in advanced high-strength steels AHSS, as the dual-phase steel. However, in the process of forming sheet metal components of dual phase steels, the springback phenomenon is one of the most common problems. In the present study, we examine the heat treated in the formability of dual-phase steels. Springback sensitivity was assessed by the test V-die bending; bending angle was measured using metrological analysis and by means of images in a graphics editor. It explains how the tempering treatment at low temperatures increases springback due to increased yield stress in the material.

Keywords: Springback, AHSS, Dual phase, Tempering

## **1 INTRODUCCIÓN**

En los últimos años los fabricantes de automóviles, los aceros avanzados de alta resistencia AHSS, como los aceros Dual Phases (doble fase) han sido ampliamente utilizados en mejorar la seguridad en colisiones en diversas partes estructurales de vehículos, reducir los niveles de consumo de combustible y disminuir las emisiones de gases de invernadero. Los aceros de doble fase poseen una matriz ferrita con secciones de martensita en forma de islas [1-3]. El hecho de combinar una fase blanda y dúctil como la ferrita con una fase dura y frágil como la martensita permite lograr una buena conformabilidad. Sin embargo, uno de los problemas principales en el conformado de chapa de aceros avanzados de alta resistencia es el efecto de la recuperación elástica. La recuperación elástica se puede definir como un cambio elástico que ocurre en un elemento deformado durante la eliminación de las cargas externas. Siendo un fenómeno físico complejo que se rige principalmente por el estado de tensión obtenido al final de la deformación. Por lo general es indeseable, ya que provoca problemas por cambios dimensionales y operaciones posteriores como, montaje y soldabilidad [4].

El fenómeno de recuperación elástica se produce comúnmente en el doblado de lámina después de retirada la carga, donde el material intenta recuperar su forma original. El doblado es un proceso de colocación de una lámina de metal en una matriz de forma, donde la lámina se dobla bajo la fuerza de un punzón a medida que se desplaza en un movimiento vertical [5]. En el doblado, la recuperación elástica se puede definir en términos de relación de ángulos, entre el ángulo de plegado producido y deseado. Se han realizado varios trabajos para analizar el fenómeno de recuperación elástica, analíticamente, experimentalmente y numéricamente para diferentes formas, parámetros del material y del proceso [6,7]. Por otra parte, el autor Muhaed [8] evidenció que los tratamientos térmicos tienen un efecto significativo en la recuperación elástica, realizando pruebas de doblado en forma de U.

Con el objetivo de analizar el efecto de la recuperación elástica en materiales AHSS de doble fase, en influencia de tratamiento térmico de revenido en el conformado de chapa metálica, se realizó una comparación mediante ensayos de tracción uniaxial y doblado en forma de V.

## **2 DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **2.1 Material**

Se empleó lamina de acero de 3.58 mm con composición química de 0.069 %C, 0.688 %Si, 1.216 %Mn, 0.0009 %P, 0.007 %S, y balance Fe, de fase dual ferrita-martensita producto del proceso térmico intercrítico. A este acero se realizó tratamiento térmico de revenido a temperatura de 150 °C durante 1 hora y posterior enfriamiento al aire, las probetas fueron sumergidas en un medio inerte durante todo el tratamiento térmico con el objetivo de controlar la oxidación. Las probetas (sin y con tratamiento) fueron cortadas bajo la norma ASTM A-370 en dirección de laminación. Se realizó ensayos Mecánicos uniaxiales con las diferentes probetas con control de desplazamiento en la maquina universal de ensayos Shimadzu UH-X.

## 2.2 Experimento doblado en V

Para la predicción de la recuperación elástica se realizó ensayos de flexión en forma de V, empleando una maquina dobladora “Press Brake”. Las probetas para el ensayo de flexión se prepararon hacia la orientación de laminación de forma rectangular de 100 mm x 20 mm. La geometría del conjunto de matriz consta de un ángulo de plegado de  $88^\circ$  y radio de curvatura de 2,5 mm como se muestra en la figura 1. El ángulo de la recuperación elástica ( $\theta$ ) se midió después de la descarga por medio de un transportador de ángulos análogo Mitutoyo serie 187, el cual tiene una precisión  $\pm 5\text{min}$  en la medición y mediante trazos en un editor de gráficos de imágenes tomadas después de la descarga.

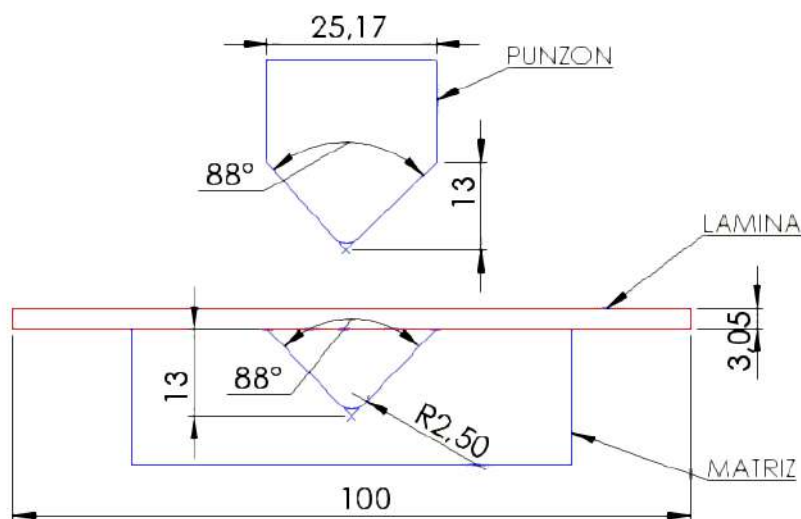
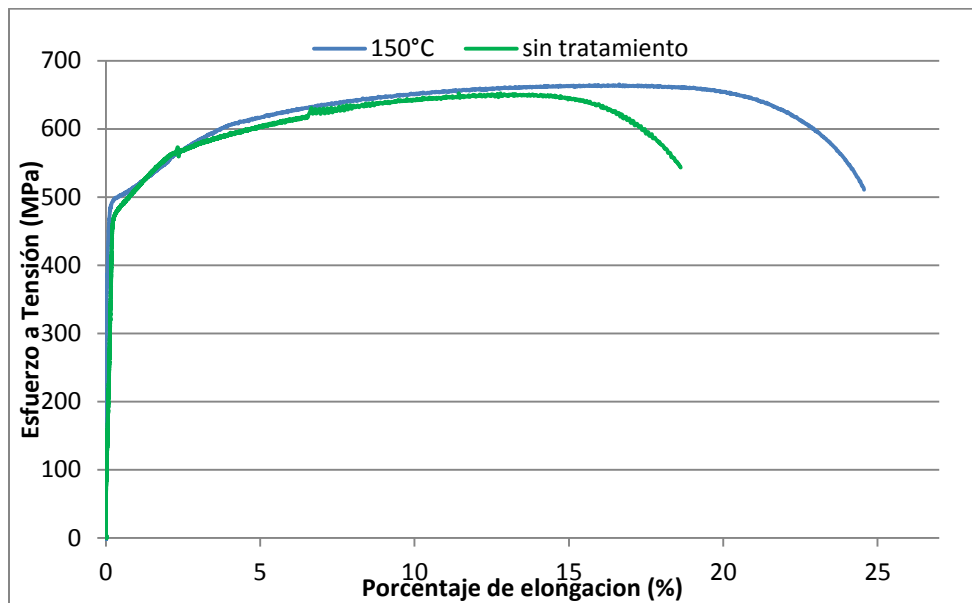


Figura 1. Geometría de la matriz en V utilizada en el experimento.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Ensayo de tracción uniaxial

En la figura 2, se muestra las curvas del ensayo de tracción uniaxial esfuerzo-deformación para las probetas ensayas.



**Figura 2. Curvas de Esfuerzo-Deformación de un acero al carbono de doble fase sin y con tratamiento térmico 150°C.**

### 3.2 Ensayo de doblado en V

Los resultados obtenidos de las mediciones del ángulo de recuperación elástica se indican en la tabla 1.

**Tabla 1. Ángulos de recuperación elástica para diferentes condiciones.**

Medición	Probeta			K
Transportador de ángulos	Sin tratamiento	88°	89,2	0,98324
	Revenido 150°C		89,7	0,98104
Editor de imágenes	Sin tratamiento		88,7	0,99210
	Revenido 150°C		89,1	0,98765

El ángulo de recuperación elástica tras sufrir el doblado en forma en V difiere entre las probetas sin tratamiento y con tratamiento térmico de revenido a 150°C, debido a que el revenido aumenta el bloqueo del movimiento de las dislocaciones, evidenciando un aumento del esfuerzo de fluencia y esfuerzo último. Basándose en las observaciones experimentales de Stein [9-11], concluyo que a mayor sea el esfuerzo de fluencia, mayor recuperación elástica. Esta tendencia se observa de manera similar en los resultados experimentales obtenidos.

#### 4 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que el tratamiento de revenido aumenta el retorno elástico debido al aumento de esfuerzo de fluencia, que traduce un incremento en el bloqueo de las dislocaciones.

Para mejorar las condiciones de recuperación elástica se debe trabajar con temperaturas de revenido mayores a 150°C, donde algunos autores evidencian ligeras pérdidas del esfuerzo de fluencia.

#### 5 AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia Proyecto No. 16008, por la financiación de esta investigación.

#### 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. R. Lagneborg, “New steels and steel applications for vehicles”, *Materials and Design*, Volume 12, page 3-14, 1991.
2. <http://www.autosteel.org/Research/Growth%20of%20AHSS.aspx>.
3. <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/dual-phase-dp-steels/>.
4. Robert H. Wagoner, Hojun Lim, Myoung-Gyu Lee, “Advanced Issues in springback”, *International Journal of Plasticity*, Volume 45, page 3–20, 2013.
5. Kalpakjian S, “Manufacturing engineering and technology”, United States of America, Prentice Hall. 2000.
6. B. Chongthairungruang, “Experimental and numerical investigation of springback effect for advanced high strength dual phase steel”, *Materials and Design*, Volume 39, page 318-328, 2012.
7. William Hosford, Robert Caddell, “Metal forming mechanics and metallurgy”, University of Michigan, United States of America, Cambridge, 2007.
8. Muhaed s. Jafar & Shakir m. Gatea, “Study the effect of heat treatments on spring-back in U-bending process”, *International Journal of Metallurgical & Materials*, Volume 3, page 49-56, 2013.
9. J.J. Stien, “The effect of process variables on sheet metal springback”, *Proceedings of the International Body Conference and Exposition*, Detroit, United States of America, page. 334, 1998.
10. Carlos Gomes, Oladipo Onipede, “Investigation of springback in high strength anisotropic steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 159, page 91-98. 2005.
11. S. Toros, “Formability and springback characterization of TRIP800 advanced high strength steel”, *Materials and Design*, Volume 41, page 298-305, 2012.