



Desarrollo de pruebas experimentales para determinar la variación del módulo de young en láminas metálicas.

Aguilar Aviña Tomas Antonio¹, Capilla González Gustavo².

¹Licenciatura en Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | ta.aguilravina@ugto.mx

²Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | g.capilla@ugto.mx

Resumen

Este trabajo presenta los resultados experimentales de la variación del módulo de Young debido a los incrementos de deformación en dos tipos de láminas de acero de alta resistencia (High Strength Steel) i.e. un acero tipo “Dual Phase” (DP) y un acero tipo “Plasticidad Inducida por Transformación” (TRIP) de 0.8 y 1.0 mm de espesor, respectivamente. Las propiedades mecánicas de ambos materiales i.e. Módulo de elasticidad, esfuerzo de cedencia σ_Y , esfuerzo último a la tensión σ_U fueron determinadas a partir de las curvas esfuerzo deformación obtenidas de la prueba de tensión uniaxial en tres direcciones de rolado. Posteriormente, mediante pruebas con ciclos de carga-descarga, se determinaron los valores del módulo de Young a distintos niveles de deformación plástica. Este trabajo presenta las curvas del módulo de Young instantáneo E_a , vs. deformación real en un rango de grandes deformaciones para las dos láminas de acero.

Introducción

Durante las últimas décadas, debido a la creciente demanda de la industria automotriz y aeroespacial por mejorar la resistencia ante impactos y reducir el peso de los componentes, una nueva generación de materiales dentro de los cuales se encuentran los Aceros Avanzados de Alta Resistencia (AHSS) han sido ampliamente utilizados. A diferencia de los aceros convencionales, los AHSS

Vol. 6 (2019) 7º Encuentro de Jóvenes Investigadores



poseen una mayor resistencia con una buena ductilidad [1]. Sin embargo, en procesos tradicionales de formado de láminas metálicas como el estampado profundo y doblado, los componentes son sometidos a grandes deformaciones bajo distintos estados de esfuerzos como lo son tensión, compresión, dando origen a fenómenos como lo es la recuperación elástica del material conocida como “springback” [2].

Yoshida et al. [3] fue uno de los primeros en analizar la influencia de la variación módulo de Young en el comportamiento de distintos tipos de aceros avanzados mediante el desarrollo de modelos de material basados en observaciones experimentales del módulo de Young. Altan [4] reportó una reducción del 30% del módulo de Young utilizando dos niveles de aceros Dual Phase y mostro su influencia en la precisión de procesos de estampado utilizando simulación por elemento finito. Moretsin y Bolvin [5] reportaron que, para simulaciones por elemento finito, el Módulo de Young determina la cantidad de deformación elástica del material para cada incremento de carga, teniendo influencia en la recuperación elástica del material. Recientemente, Fallahiarezoodar et al. [6] propuso un método para el ajuste del módulo de Young basado en una comparación numérico-experimental del “springback” de la pieza utilizando valores del módulo de elasticidad constante y variable. Sin embargo, surge una desventaja cuando se desean utilizar distintas geometrías, ya que el módulo de Young debe ser calibrado para cada una de ellas.

Debido a que el comportamiento del módulo de Young depende de las propiedades mecánicas de cada material, este proyecto presenta los resultados de las pruebas de tensión en tres direcciones i.e. 0° , 45° , 90° , respecto a la dirección de rolado del material con las que se determinó el módulo de Young inicial del material y valores del esfuerzo de cedencia σ_Y , esfuerzo último a la tensión σ_U . Para determinar la variación del módulo de Young una secuencia de carga-descarga-recarga fue implementada y los resultados obtenidos son expresados en términos del Módulo de Young E_α vs. el incremento de deformación plástica para



cada una de las láminas mostrando una reducción importante respecto al módulo de Young inicial.

Objetivos

- Determinar el módulo de Young de cada uno de los materiales y a su vez observar las variaciones de este.
- Calcular los valores del esfuerzo de cedencia σ_Y y esfuerzo último a la tensión σ_U para cada uno de los materiales.
- Obtener las curvas esfuerzo-deformación de cada uno de los materiales en distintas direcciones de rolado.

Justificación

Con la creciente industria automotriz y espacial, se han creado nuevos materiales los cuales deben tener mejores propiedades y ser resistentes a los diferentes escenarios que se presentan, por lo cual es indispensable analizar estos materiales para tener un mayor grado de confiabilidad y de seguridad para los usuarios. Por eso la importancia de este trabajo el cual analiza aceros de alta resistencia utilizados en la industria y en la vida real.

Metodología

Preparación de las probetas.

Las probetas para los experimentos de tensión y del módulo de Young fueron cortadas mediante laser en tres direcciones de rolado (i.e. 0° , 45° , 90°) utilizando la geometría especificada en la norma ASTM E-8 [7]. Las probetas fueron preparadas y limpiadas para reducir los esfuerzos residuales inducidos por el proceso de corte. Para la medición de las deformaciones, se utilizó un



extensómetro con una longitud calibrada de 50mm al centro de la probeta. Las pruebas fueron realizadas en una máquina universal Instron modelo 8872 con capacidad de 2.5 kN mediante secuencias programadas en el programa WaveMatrix.

Prueba de tensión

Las pruebas de tensión fueron realizadas a una velocidad de 5mm/min. Las propiedades mecánicas en términos del módulo de Young, esfuerzo de cedencia y esfuerzo último determinadas para cada lámina son listadas en la Tabla 1.

Tabla 1 Propiedades mecánicas obtenidas de la prueba de tensión

Material	Dirección de rolado [°]	Módulo de Young [GPa]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Esfuerzo último [MPa]
DP 330Y	0°	200.2	440.9	630
	45°	195.6	429.4	645
	90°	208.9	432.9	656
TRIP 440Y	0°	199.3	445.1	722
	45°	198.7	447.1	728
	90°	194.7	448.5	742

Prueba de variación del módulo de Young

La variación del módulo de Young con los incrementos de deformación fue determinada a partir de una secuencia de carga-descarga-recarga en dirección uniaxial. Los incrementos de deformación fueron establecidos para los porcentajes de 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10% y 12.5%. El módulo de Young instantáneo fue calculado la pendiente de la curva esfuerzo-deformación de cada uno de los ciclos de carga de las probetas como es ilustrado en la Imagen 1.

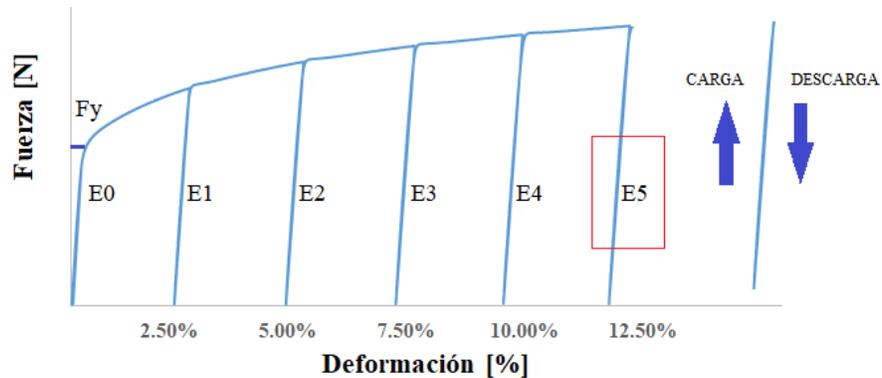


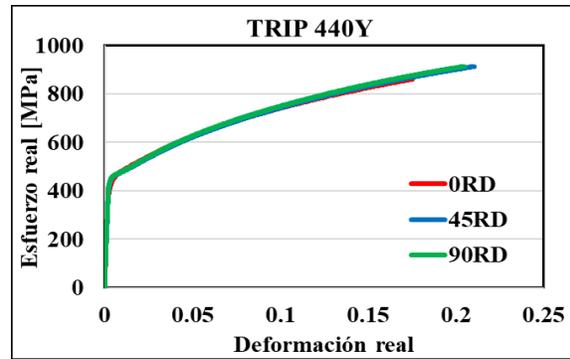
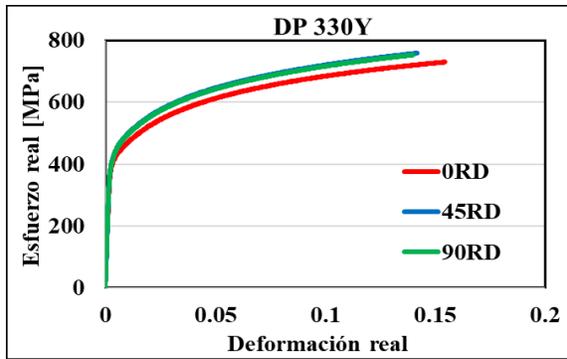
Imagen 1. Secuencia de carga-descarga-recarga para la prueba del módulo de Young

Resultados

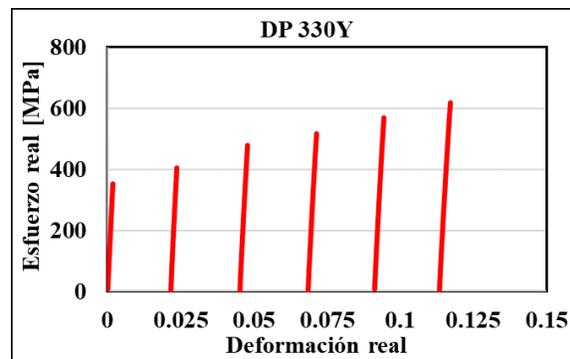
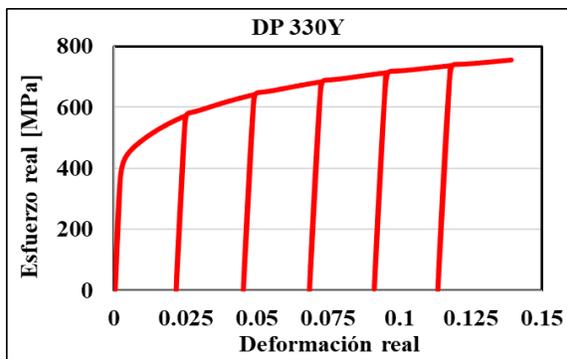
Las curvas esfuerzo-deformación obtenidas de la prueba de tensión en las tres direcciones de rolado son mostradas en la Imagen 2 a) y b) para el material Dual Phase y TRIP, respectivamente. El porcentaje de deformación del material Dual Phase es aproximadamente del 15% para las tres direcciones de rolado. El material TRIP posee una mejor ductilidad con porcentajes de deformación cercanos al 20%.

La imagen 3 a) muestra los resultados de la secuencia de carga-descarga-recarga en tensión uniaxial para la determinación de la variación del módulo de Young a distintos porcentajes de deformación para el material Dual Phase. En la Figura 3 b) se observa que durante la etapa de carga las pendientes obtenidas del material para cada nivel de deformación plástica conservan una tendencia lineal lo que permite calcular la variación del módulo de elasticidad.

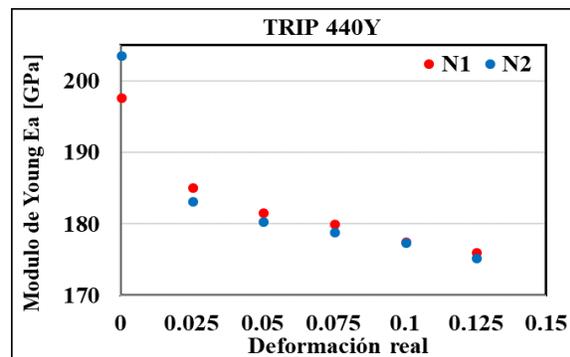
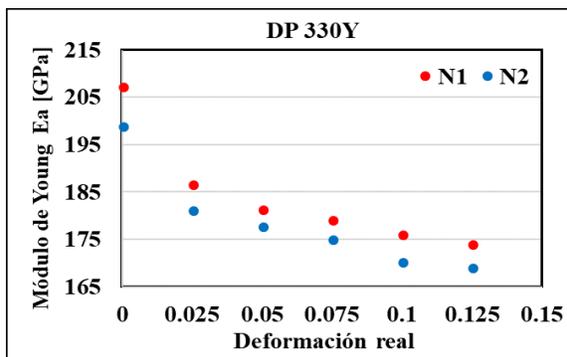
Los resultados experimentales de la variación del módulo de Young para el acero Dual Phase y TRIP materiales son mostrados en la Imagen 4 a) y b), respectivamente. El material DP 330Y muestra una reducción del 16.0%, con módulo de elasticidad final de $E_{12.5}=168\text{GPa}$. El material TRIP 440Y muestra una reducción del 15.4% con un módulo de elasticidad final de $E_{12.5}=175\text{GPa}$.



a) b)
Imagen 2 Curvas esfuerzo real vs. deformación real en tres direcciones de rolada para las láminas de acero a) Dual Phase y b) TRIP



a) b)
Imagen 3 a) Prueba de carga-descarga-recarga en tensión uniaxial para determinar la variación del módulo de Young b) pendientes obtenidas durante la etapa de carga a distintos niveles de deformación



a) b)
Imagen 4 Resultados experimentales de la dependencia de variación del módulo de Young con los incrementos de deformación para el acero a) Dual Phase 330Y y b) TRIP 440Y

Conclusiones

Se establecieron los procedimientos experimentales para determinar las curvas esfuerzo real vs. deformación real de los dos tipos de láminas de acero en tres direcciones de rolado y sus propiedades mecánicas i.e. esfuerzo de cedencia,



esfuerzo último a la tensión y módulo de elasticidad. Se determinaron las curvas de la variación Módulo de Young E_a vs. deformación verdadera las cuales muestran una reducción del 16% en el módulo de elasticidad con los incrementos de deformación las cuáles son utilizadas en simulaciones por elemento finito de procesos de formado de metales en las cuales considerar esta variación del módulo de elasticidad puede incrementar la precisión en la predicción de fenómenos como el *springback*.

Referencias

- [1] Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines. *Word Auto Steel*. pp. 1-7. June 2009
- [2] Besdo, D., 2000. On numerical problems with the simulation of the spring back phase of sheet metal forming process. In: Khan, A.S., Zhan, H., Yuen, Y. (Eds.) Proc. 8th Int. Symp. on Plasticity and Its Current Applications. *NEAT Press*, pp. 17–19.
- [3] Yoshida, F., Uemori, T., Fujiwara, K., 2002. Elastic-plastic behavior of steel sheets under in-plane cyclic tension-compression at large strain. *Int. J. Plast.* 18,633-659.
- [4] Altan, T. et al. (2011). *Effects of Variable Elastic Modulus on Springback Predictions in Stamping Advanced High-Strength Steels (AHSS)*. Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing. Ohio State University.
- [5] Morestin, F., Bovin, B., 1996, On the necessity of taking into account the variation in the Young's modulus with plastic strain in elastic-plastic software, *Nuclear Engineering and Design*, 162, 107-116.
- [6] Fallahiarezoodar, A. et al. 2018. *Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing*. Ohio State University