



INFLUENCIA TERMOMECANICA EN LA LAMINACIÓN DE UN ACERO I.F. PARA LAMINA AUTOMOTRIZ

José Luis Reyes Barragán^{a,b}, Julio Juárez Islas^c, Celso Velásquez Ordoñez^a, M. Luisa Ojeda Martínez^a

^a Centro de Investigación en Nanociencias y Nanotecnología, CU-Valles, Universidad de Guadalajara Carretera Guadalajara - Ameca Km. 45.5, C.P. 46600, Ameca, Jalisco.

jlbecario@yahoo.com, celso.velasquez@profesores.valles.udg.mx,

luisa.ojeda@profesores.valles.udg.mx,

^b Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Carretera Tlajomulco Santa Fe km. 3.5 No. 595, Col. Lomas de Tejeda Tlajomulco de Zúñiga Jalisco. C.P. 45640.

^c Universidad Nacional Autónoma de México-IIM, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P.04510, México, D. F. julioalb@unam.mx

RESUMEN.

Actualmente la industria siderúrgica en México está introduciendo nuevos productos o mejorando los que se tienen en producción con el propósito de cumplir con las normas establecidas a nivel mundial para la fabricación de lamina automotriz^[1,2]. En este trabajo se muestran los avances que se están realizando para la caracterización microestructural de un acero libre de elementos intersticiales, en la condición colada continua para la obtención de láminas, de un espesor de 0.5 mm. Fabricado mediante la ruta de horno de arco electrico desgasado al vacio y con refinacion secundaria en olla y solidificacion en colada contnua. Las muestras resultantes se laminaron en caliente a 1100 °C, y fueron enfriadas posteriormente a temperatura ambiente. Las muestras resultantes se laminaron termomecanicamente y fueron recocidas a diferentes temperaturas para mejorar las propiedades mecánicas del acero^[4]. Siendo un tema de interés sobre todo cuando se requiere un alto grado estampabilidad al conformado y que se relaciona fuertemente con la exigencia de la industria automotriz.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria siderúrgica en México está introduciendo nuevos productos o mejorando los que se tienen en producción con el propósito de cumplir con las normas establecidas a nivel mundial para la fabricación de lamina automotriz. En este trabajo se muestran los avances de la caracterización microestructural de un acero libre de elementos intersticiales, en la condición colada continua para la obtención de láminas, de un espesor de 0.2 mm. Los aceros IF estabilizado con titanio, han sido desarrollado y utilizado ampliamente en la industria automotriz debido a su buena deformabilidad en frío y su alta resistencia a la tensión conocidos como HSS por sus siglas en inglés (High Strength Steels)^[3].

Uno de los avances más importante de la metalurgia en los últimos años ha sido la producción de los aceros microaleados. Estos tienen gran demanda dentro de las industrias; de construcción, de energía y automotriz.



2. TEORÍA

Este avance tecnológico se debe principalmente a la aplicación de métodos modernos de producción y al apoyo de los nuevos desarrollos científicos, lo cual ha atraído como consecuencia una transformación en la industria siderúrgica nacional [4]. Los estudios realizados a los aceros libre de elementos intersticiales (aceros I.F) tanto en centros de investigación como en la industria, se han llevado a cabo con el propósito de determinar principalmente dos tópicos de interés científico y tecnológico.

- a) El comportamiento de nitruros, carburos, carbonitruros y sulfuros, durante la solidificación de los aceros ultralimpios, así como su transformación durante los subsecuentes tratamientos termomecánicos.
- b) Utilizando la constante de Lankford, determinar la capacidad de respuesta a procesos de estampado extraprofundo.

La anisotropía plástica en los metales presenta una fuerte dependencia con respecto al desarrollo de textura en los procesos de transformación, ya sea por procesos tales como solidificación, deformación, recristalización o transformaciones de fase. El comportamiento anisotrópico de productos planos puede caracterizarse por medio del coeficiente de Lankford o coeficiente de anisotropía R, el cual representa la capacidad del material para acomodar la deformación plástica en el plano de la lámina.

El cálculo de R se realiza considerando que x y y son las direcciones de las coordenadas en el plano de laminación y z es la dirección del espesor de la lámina, el valor-R está dado por la relación de la deformación plástica en el plano 0_{xy} y la deformación plástica en la dirección 0_z a través del espesor [5]. Para láminas metálicas, el valor-R se determina en las tres diferentes direcciones de carga en el plano de laminación (0° , 45° y 90° en relación con la dirección de laminación).

$$\bar{R} = \frac{(R_0 + 2R_{45} + R_{90})}{4} \quad \text{Ec.1}$$

En la figura 1-A se muestra la carta de deformabilidad de aceros basada en la resistencia mecánica y la elongación máxima, donde los aceros IF se ubican en la parte de mayor elongación de todos los aceros, y donde es de notarse que es posible obtener resistencias del orden de 400MPa en el caso de los aceros libres de elementos intersticiales de alta resistencia (IF-HS). La figura 1-B muestra los valores de la constante de Lankford \bar{R} como una función del por ciento de elongación, para aplicaciones industriales, las cuales van desde la aplicación comercial hasta la de super estampado extra profundo.

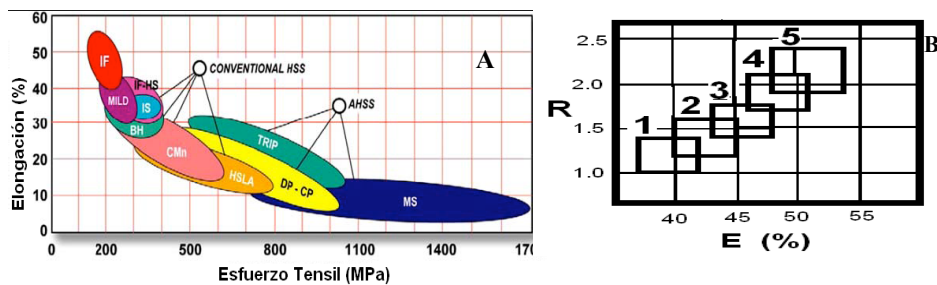


Figura 1. (A) Carta de deformabilidad para diferentes grados de aceros [6]. (B) Escala de valores de elongación vs la constante de la Lankford.



3. PARTE EXPERIMENTAL

Después del proceso de colada continua, se extrajeron pequeñas placas de acero con las siguientes dimensiones 3.0 cm espesor, 8.0 cm ancho y 21 cm largo. Se lamino en una laminadora marca FENN a una velocidad de 3.3 rpm y en varios pasos, reduciendo a 0.80 mm del grosor en cada paso, a una temperatura constante de 180 °C, hasta obtener una lamina de 0.5 mm de grosor. Para conocer la composición química general del acero se llevo a cabo el análisis mediante Espectrometría de Emisión Óptica Marca Spectro, Modelo SpectroLab, tabla 1.

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	Ti	Cu	Cr	Mo	Ni	N ₂	V	Co
0.0017	0.0813	0.0169	0.0098	0.0084	0.0089	0.0000	0.0560	0.0245	0.0074	0.0389	0.0071	0.0030	0.0000	0.0013

Tabla 1. Composición del acero libre de elementos intersticiales.

Para caracterizar el acero I.F. se utilizo un microscopio electrónico de barrido (SEM), (JOEL JSM-5900 LV equipado con un sistema de microanálisis de energía dispersa de rayos X (EDX) OXFORD modelo ISIS,

Los resultados que se muestran en el estudio del acero en la condición de colada continua, se determino el tipo de grano y los precipitados presentes; carburos (C), sulfuros (S), nitruros (N), Realizando un análisis microestructural en el acero, se ha encontrado precipitados tanto en límite de grano (I) como en la matriz ferrítica, (II), los precipitados presentaron tamaños de entre 0.1 a 5 µm, figura 2. Con el propósito de identificar su naturaleza de los precipitados, se realizaron microanálisis con el (EDX), en el punto I y II, figura 3 .

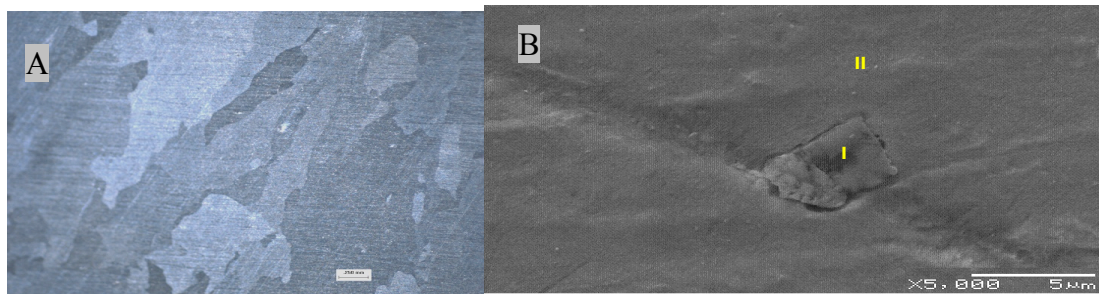


Figura 2. Microfotografía del acero ultralimpio en la condición de colada. Se aprecian precipitados de titanio distribuido en la matriz de ferrita (Fe- α).

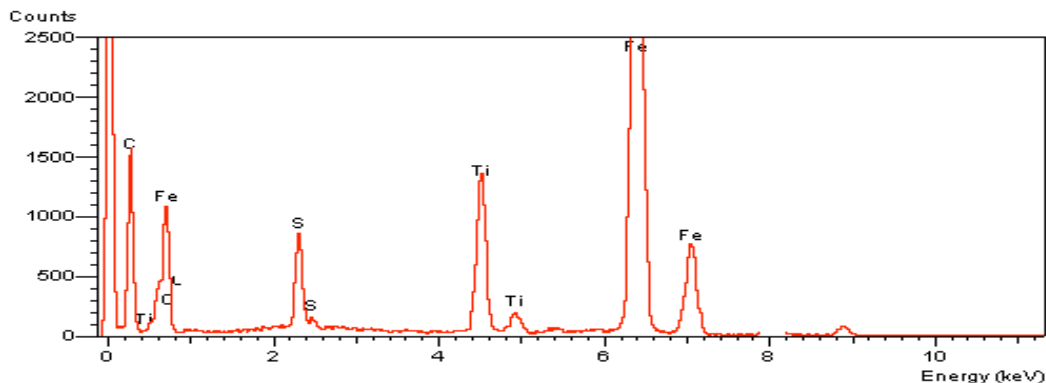


Figura 3. microanálisis EDX, realizado sobre la muestra metálica.



Con el propósito de seguir y caracterizar la ruta del proceso termomecánico de laminación del acero libre de elementos intersticiales estabilizados con titanio se estudió el proceso de laminación en caliente 1200- 950 °C, bobinado 550 a 700 °C, laminación en frío y recocido 780 °C en función del tiempo para determinar el tiempo de recristalización total, siendo este último el resultado que se presenta en la figura 4, así como su correspondiente evaluación en las propiedades mecánicas y su caracterización mediante el SEM, figura 5.

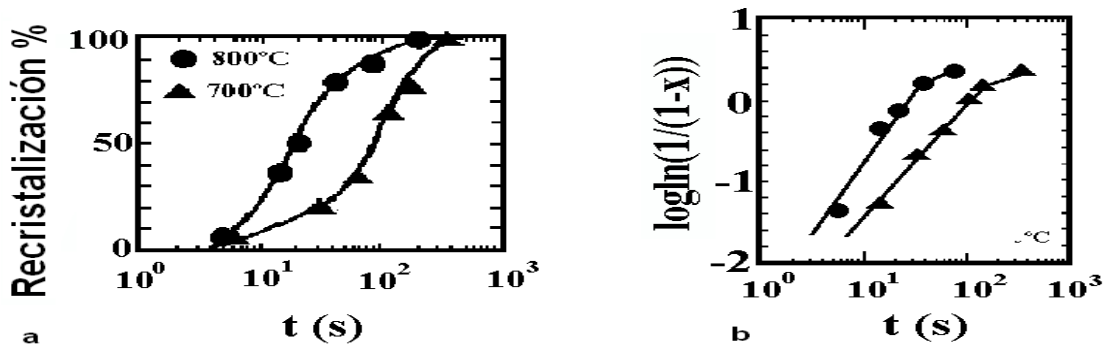


Figura.4 (a) Curva de recristalización para el acero libre de elementos intersticiales estabilizado con titanio, (b) gráfica de $\ln(1/(1-x))$ en función del tiempo.

En el proceso de la laminación del acero I.F. en frío, se deben someter a un tratamiento térmico de recocido, estático, un aspecto importante a evaluar es la recristalización en función de la temperatura de recocido y sus propiedades resultantes. El comportamiento de los precipitados y el tamaño es dependencia de la temperatura del producto de solubilidad de los diferentes elementos estabilizadores, ya que los precipitados de titanio tienen menos solubilidad en la austenita, por lo que éste precipitará a más altas temperaturas, por lo que tenderá a engrosarse, siendo esta la razón por la cual durante los experimentos, se observaron partículas de TiN de hasta 2 μm .

En esta etapa del tratamiento térmico de recocido, estático, se realizaron tratamientos térmicos de recocido a diferentes tiempos de 1.0, 5.0 y 10 minutos a temperatura constante de 780°C, evaluando el avance de la recristalización con los ensayos de microdureza. En la figura 5, se muestra la curva de microdureza obtenida para el acero IF en función del tiempo de recocido. La consecuencia de la deformación en frío, muestra una gran deformación alargada del grano, Figura 5. La deformación introduce en el material un gran número de dislocaciones, teniendo cada una de ellas una energía asociada. La nucleación no se iniciaría y los granos nuevos no podrán crecer si esa energía es insuficiente.

El efecto de los elementos estabilizadores sobre el proceso de recristalización, se da como un incremento del tiempo requerido para incubar núcleos de recristalización medibles. La dependencia de las altas temperaturas, sobre la velocidad de recristalización en los aceros estabilizados, puede deberse al degradado de soluto o al apilamiento de partículas sobre los límites de grano de gran ángulo, de la placa deformada en frío, el cual deberá de migrar para formar y crecer el grano recristalizado.

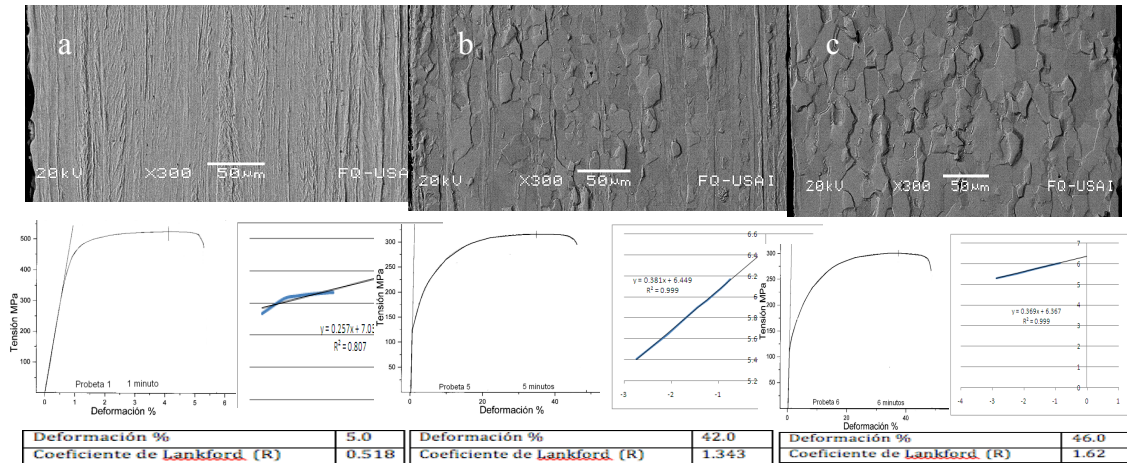


Figura 5.- En esta microfotografías se muestran las propiedades mecánicas del acero, en el proceso de recristalización y función del tiempo para 1.0 (a), 5.0 (b) y 10 min. (c)

4. CONCLUSIONES

Los aceros libres de elementos intersticiales para uso automotriz o línea blanca actualmente se sigue documentado e investigando sobre la formación de los mecanismos de los precipitados (TiS , $Ti_4C_2S_2$, $TiCTiN$ y AlN/TiN), algunos de estos precipitados se forman al momento de iniciar a solidificar. Y algunos otros como es el caso del TiN se forman cuando el acero está en estado líquido. El TiS precipita durante el proceso de laminación en caliente aproximadamente a $1100^{\circ}C$. El $Ti_4C_2S_2$ el cual precipita en el intervalo de temperatura de laminación en caliente de 950° a $1100^{\circ}C$. El TiC y $Ti_4C_2S_2$ precipita durante los procesos de laminado en caliente. Es importante hacer notar que la influencia de la formación de precipitados influyen con las propiedades termomecánicas para alcanzar valores de Coeficiente de Lankford (R). A 500 seg aproximadamente se alcanza el 100% de recristalización para obtener valores óptimos de elongación, como se evidencia en la figura 5.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- R. Mendoza, J. Huante, G. Lugo, O. Alvarez-Fregozo and J. A. Juárez-Islas, J. of Materials Science and Performance, 8(5) (1999) 549.
- 2.- H. Takechi, Invited Lecture "Metallurgical Aspects of IF Sheet Steel from Industrial Viewpoints, in Physical Metallurgy of IF Steels, Tokyo, Japan, May 10-11, 1994, pp.
- 3.- G. E. Totten, Handbook of Metallurgical Process Desing, Bulk forming & Sheet Metal Forming, Marcel Dekker, Inc.
- 4.- Si Gao • Meichuan Chen • Mohit Joshi • Akinobu Shibata • Nobuhiro Tsuji, Yielding behavior and its effect on uniform elongation in IF steel with various grain sizes, J Mater Sci (2014) 49:6536–6542.
- 5.- M.A.Bertinetti, R.Machain, P.Monesterolo, P.A.Turner, Influencia de la Textura Cristalográfica en la Variabilidad de las Anisotropías Planar y Normal, Congreso SAM/CONAMET 2007, San Nicolás, 4 al 7 Septiembre de 2007.
- 6.- Proceedings of the International Conference on Microstructure and Texture in Steels and other materials, Febrery 2008, Jamshedpur, India