

Análisis de falla de pernos de acero AISI 12L14

LAZCANO-UGALDE, Erika Magali†*, MÉNDEZ-MACÍAS, Gerardo y MEDINA-MENDOZA, José Antonio

Recibido Noviembre 04, 2015; Aceptado Febrero 10, 2016

Resumen

El efecto del incremento de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de un acero AISI 12L14 fue estudiado, debido a la falla repentina de un perno fabricado a partir de este material. Se realizaron pruebas de tensión y de dureza para determinar los valores de las propiedades mecánicas y se compararon con las especificaciones de este tipo de acero. Por medio de la técnica de termografía se determinó que durante el proceso de soldadura, la zona del perno alcanza una temperatura promedio de 480 °C por lo cual se hicieron observaciones metalográficas para observar este efecto sobre la microestructura, encontrando que no hay un cambio considerable sobre las propiedades mecánicas. Sin embargo si se observó un aumento en el tamaño de grano obtenido por metalografía. Se determinó que probablemente la causa de falla del perno puede ser la fragilización por metal líquido y acritud en caliente debidos al proceso de fabricación y proceso de unión utilizados para la obtención del producto terminado.

Acero AISI 12L14, Fragilización, Propiedades mecánicas, Termografía

Abstract

The effect of increasing temperature on the mechanical properties of AISI 12L14 steel was studied due to the failure of a pin made from this material. Tensile and hardness assessments were conducted in order to obtain mechanical properties data for comparison with AISI 12L14 steel grade. The use of thermograph technique detected that during the welding process the region of pin reach around 480 °C, for this reason was studied this effect. However metallographic observations shown an increase in the grain size. It was determined that the cause of failure might be liquid metal embrittlement and hot brittleness due to the manufacturing and bonding processes used to obtain the final product.

AISI 12L14 steel, Brittleness, Mechanical properties, Thermograph

Citación: LAZCANO-UGALDE, Erika Magali, MÉNDEZ-MACÍAS, Gerardo y MEDINA-MENDOZA, José Antonio. Análisis de falla de pernos de acero AISI 12L14. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2016, 3-6: 1-7.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: erika.lazcano@utna.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En muchas de las tecnologías emergentes actuales, el énfasis principal está en las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, sobre todo para las aplicaciones de soporte de carga, en las cuales se seleccionan los materiales de ingeniería comparando sus propiedades mecánicas con las especificaciones del diseño y las condiciones de servicio requeridas del componente. La primera etapa en el proceso de selección requiere un análisis de la aplicación del material para determinar sus características más importantes, ¿debe ser resistente, rígido o dúctil?, ¿estará sujeto a una aplicación que involucre un esfuerzo alto o una fuerza intensa repentina, un esfuerzo alto a una temperatura elevada, condiciones corrosivas o abrasivas? Una vez que se conocen las propiedades requeridas se puede realizar una selección preliminar del material apropiado utilizando varias bases de datos.

Sin embargo, se deben conocer cómo se obtuvieron las propiedades enlistadas en las hojas técnicas de los productos, conocer qué significan las propiedades y comprender que las propiedades enlistadas se obtienen a partir de pruebas idealizadas que pueden no destinarse de manera exacta a aplicaciones de ingeniería en el mundo real. Los materiales con la misma composición química nominal y otras propiedades pueden mostrar propiedades mecánicas significativamente distintas dictaminadas por sus microestructuras.

Además, los cambios en la temperatura, la naturaleza cíclica de los esfuerzos aplicados, los cambios químicos debidos a la oxidación, corrosión o erosión; los cambios microestructurales debidos a la temperatura, el efecto de los defectos posibles introducidos durante las operaciones en maquinado u otros factores también pueden tener un efecto trascendental en el comportamiento mecánico de los materiales.

Una aplicación en particular es el Acero AISI 12L14, el cual es un acero de bajo carbono con elevada capacidad de maquinado pero tiene baja forjabilidad, soldabilidad y conformado en frío.

Sus usos principales son en la fabricación de tuercas, tornillos, conexiones, partes automotrices por mencionar algunas. La alta maquinabilidad de estos aceros se debe principalmente a su contenido de plomo, ya que un gran porcentaje de plomo en los aceros se solidifica en las puntas de las inclusiones de sulfuro de manganeso.

En los tipos no resulturados de aceros, el plomo toma la forma de partículas finas dispersas. El plomo es insoluble en el hierro, cobre, aluminio y sus aleaciones. Por su baja resistencia al corte, en consecuencia, el plomo funciona como lubricante sólido y se reparte sobre la interfase herramienta-viruta durante el corte.

Cuando la temperatura es suficientemente alta por ejemplo, a grandes velocidades de corte y grandes avances, el plomo se funde directamente frente a la herramienta y funciona como lubricante líquido. Además de este efecto el plomo baja el esfuerzo cortante en la zona primaria del corte, reduciendo las fuerzas de corte y el consumo de potencia.

Sin embargo existen efectos negativos posibles sobre las propiedades y la resistencia de la parte maquinada durante su servicio.

Ya que a temperaturas elevadas el plomo causa fragilización en los aceros (fragilización por metal líquido y acritud en caliente), aunque a temperatura ambiente no tiene efecto sobre las propiedades mecánicas.

Descripción de la situación de falla

Se llevó a cabo un análisis sobre unos pernos maquinados fabricados de un acero AISI 12L14 los cuales son remachados a unas ménsulas utilizadas para estantería, debido a que no mostraban resistencia al impacto pues al estar transportando dichas ménsulas para almacenaje, éstas cayeron al suelo observándose que los pernos se fracturaron, por lo cual el lote (Lote B) del cual provenían esos pernos fueron puestos en cuarentena hasta determinar la causa de la fractura repentina.

Resultados obtenidos

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las pruebas físicas aplicadas al acero AISI 12L14 cuya composición química está dada en la tabla 1.

	% C	% Mn	% P	% S	% Pb
AISI 12L14	0.15 máx	0.85 – 1.15	0.04 – 0.09	0.26 – 0.35	0.15 – 0.35

Tabla 1 Composición química característica de un acero AISI 12L14. FUENTE: AISI.

A. Pruebas de tensión

Las pruebas de tensión se llevaron a cabo en probetas de Acero AISI 12L14 cilíndricas con un diámetro (\emptyset_0) y longitud inicial (L_0) de 0.240 in y 11.811 in respectivamente en una máquina universal Instron modelo 4469. Se aplicó la prueba a seis probetas identificadas como OK (Producto del Lote A) y seis probetas NG (Producto de Lote B). El equipo cuenta con un software que proporciona las gráficas de esfuerzo-deformación ($\sigma - \epsilon$) en psi. En los Gráficos 1 y 2 se muestran las curvas esfuerzo-deformación obtenidas en una probeta OK y en una probeta NG. Como se puede observar ambas son curvas típicas representativas de un acero AISI 12L14.

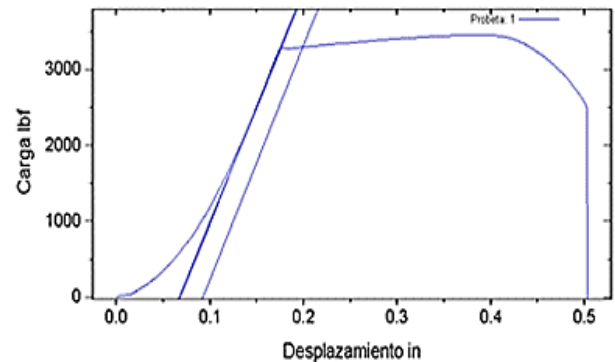


Gráfico 1 Curva esfuerzo-deformación de la probeta 1 identificada como OK. Fuente: Elaboración propia

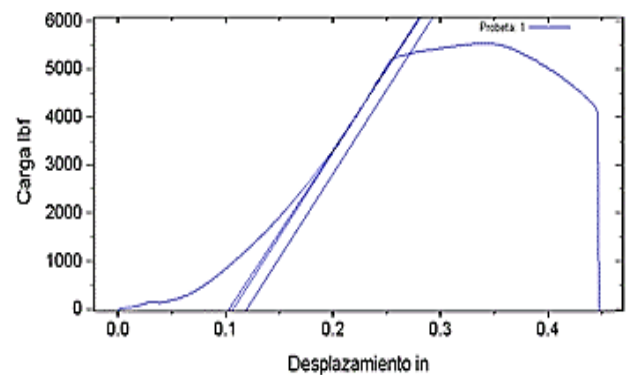


Gráfico 2 Curva esfuerzo-deformación de la probeta 1 identificada como NG. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizadas las pruebas en las muestras OK y NG se determinaron las propiedades mecánicas de cada una de ellas y se obtuvo un valor promedio para llevar a cabo la comparación de dichas propiedades contra los valores enlistados en la hoja de especificaciones del acero 12L14.

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos del por ciento de deformación ($\% \epsilon$) y el por ciento de reducción de área ($\% R.A.$) de las probetas OK y NG. En la tabla 3 se muestran las propiedades mecánicas promedio de las probetas.

Probetas	L _o (in)	L _f (in)	φ _o (in)	φ _f (in)	ε	% R. A.	Promedios	
							% ε	% R. A.
#1 OK	11.811	12.156	0.244	0.160	0.0292	57.0	3.566	52.5
#2 OK	11.811	12.187	0.240	0.162	0.0318	54.4		
#4 OK	6.378	6.614	0.315	0.223	0.0370	49.9		
#5 OK	6.378	6.654	0.315	0.221	0.0433	50.8		
#6 OK	6.378	6.614	0.317	0.223	0.0370	50.5		
#3 NG	11.811	12.125	0.240	0.163	0.0266	53.9		
#7 NG	6.378	6.614	0.299	0.209	0.0370	51.1		
#8 NG	6.378	6.654	0.297	0.207	0.0433	51.4		
#9 NG	6.378	6.654	0.344	0.247	0.0433	48.4		
#10 NG	6.378	6.614	0.305	0.212	0.0370	51.7		

Tabla 2 Valores del porcentaje de deformación y de reducción de área. Fuente: Elaboración propia

Propiedades Mecánicas	Probeta OK	Probeta NG	Referencia
Resistencia a la tensión (psi)	78016	80586	78,000
Límite Elástico (psi)	74600	76600	60,000
% Elongación (9 in)	3.566	3.743	10 (2 in)
% Reducción de Área	52.5	51.3	35

Tabla 3 Propiedades mecánicas de las probetas OK, NG y las especificadas para el acero 12L14. Fuente: Elaboración propia

B. Pruebas de dureza

Posteriormente se llevaron a cabo pruebas de dureza en un durómetro marca Mitutoyo Modelo 963-102, utilizando la escala Rockwell B, un penetrador tipo esfera de 1/16 de pulgada y una precarga de 100 kgf. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 4.

Probetas	Dureza HRB Promedio
OK	89
NG	89.5
Especificación	84

Tabla 4 Valores de dureza Rockwell escala B obtenidas. Fuente: Elaboración propia

Como se ve en los resultados anteriores las propiedades mecánicas obtenidas tanto en las probetas identificadas como OK y NG presentan valores muy similares a los enlistados en la hoja de especificaciones del acero 12L14.

Por lo que el material trabajado es el adecuado para la fabricación de pernos debido a que por sus características presenta buena maquinabilidad. Sin embargo una vez que se le da el maquinado para obtener la forma y dimensiones requeridas, los pernos son remachados a las ménsulas y posteriormente son calentados indirectamente ya que están cercanos al área que es sometida a un proceso de soldadura por lo que pasan a formar parte del ZAC (Zona Afectada por el Calor). Como es conocido, las propiedades mecánicas son afectadas cuando el material es expuesto a temperaturas por encima de la temperatura de recristalización, razón por la cual se decidió realizar termografía durante el proceso de soldadura.

C. Espectros térmicos

Para la obtención de los espectros térmicos se hizo uso de una cámara termográfica marca FLIR modelo ThermaCAM E4 obteniéndose que en la región donde se encuentra el perno alcanza una temperatura promedio de 480 °C.

A esta temperatura es probable que la microestructura del acero trabajado sufra modificaciones por lo cual se decidió realizar metalografías del material sin calentar y calentado a la temperatura que se alcanza durante la soldadura. Así como también se hicieron pruebas de dureza en probetas previamente calentadas a esa temperatura.

En la figura 1 se muestra la temperatura a la cual es expuesto el perno estudiado mientras que en la tabla 5 se observan los valores de dureza obtenidos después se someter las probetas a 480 °C.



Figura 1 Espectro térmico durante el proceso de soldadura de la región donde se encuentra el perno. Fuente: *Elaboración propia*

Probetas	Dureza HRB Promedio
OK calentada	84
NG calentada	88
Especificación	84

Tabla 5 Valores de dureza Rockwell escala B obtenidas posterior al calentamiento. Fuente: *Elaboración propia*

D. Tamaño de grano

Se llevó a cabo una metalografía a las probetas OK y NG, sin calentar y calentadas a 480 °C. El reactivo utilizado para revelar la microestructura fue Nital 2.

Para la observación y medición del tamaño de grano se utilizó un microscopio metalográfico EUROMEX modelo ME2665 equipado con el software IMAGE FOCUS V3.0. Al obtener las microestructuras de las probetas se pudo determinar claramente el tamaño promedio de grano, estos resultados se observan en la tabla 6.

En las figura 2, 3 y 4 se muestra la microestructura de las probetas OK, NG y de un perno de material NG fracturado respectivamente. Así mismo en la tabla 6 se muestran los valores obtenidos del tamaño de grano de las probetas OK y NG sin calentar y calentadas así como del perno NG fracturado.

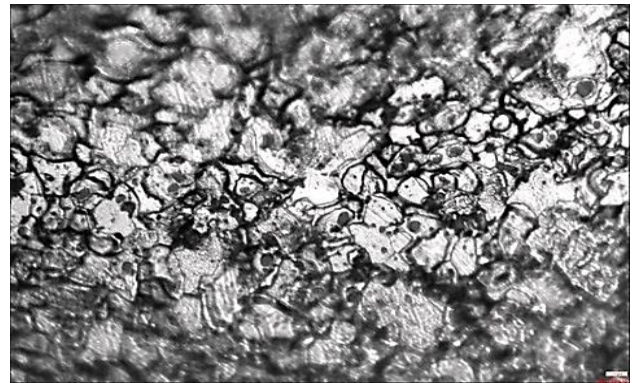


Figura 2 Microestructura obtenida de la probeta identificada como OK sin calentar. Fuente: *Elaboración propia*

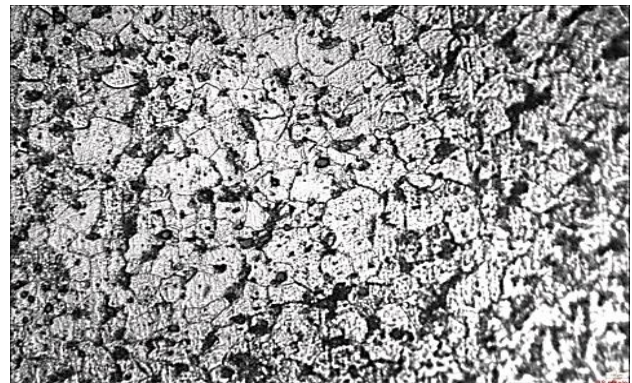


Figura 3 Microestructura obtenida de la probeta identificada como NG sin calentar. Fuente: *Elaboración propia*

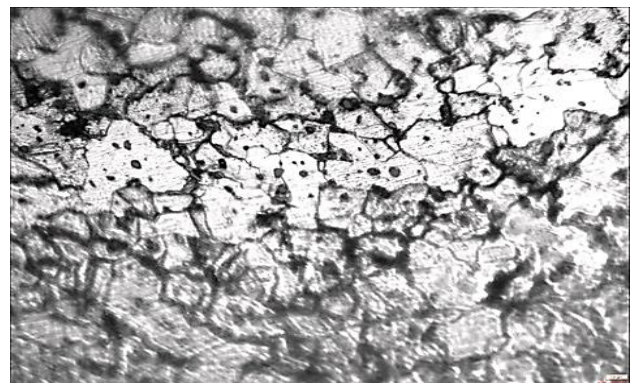


Figura 4 Microestructura obtenida de un perno de material NG fracturado. Fuente: *Elaboración propia*

Probeta	Diámetro de grano promedio (μm)	Tamaño de grano
NG Sin maquinar	146.458	2.5
NG Calentada	243.924	1.0
NG Fracturada	213.045	1.5
OK Sin maquinar	116.241	3.0
Ok Calentada	165.896	2.0

Tabla 6 Tamaño de grano. *Fuente: ASTM E112*

Análisis de resultados

Como se mencionó anteriormente de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de tensión, se observó que tanto las probetas OK y NG dan resultados de resistencia a la tensión apegados a las especificaciones proporcionadas, teniendo Probetas OK con 78,016 psi, Probeta NG con 80,586 psi y una Referencia de 78,000 psi. En cuanto al límite elástico se obtuvieron los siguientes resultados: Probeta OK 74,600 psi, Probeta NG 76,600 psi y una Referencia de 60,000 psi.

En el caso de los resultados de porcentaje de reducción de área se observa, en base a la referencia, que hay un aumento aproximado de 50% tanto para las probetas OK como para las probetas NG, lo cual indica que existe un ligero aumento en la ductilidad que se puede apreciar de manera indirecta en la reducción del diámetro de la probeta.

Posteriormente se hizo la prueba de tensión en las probetas OK y NG pero con la variante de que fueron sometidas a una temperatura de 480 °C ya que esta temperatura es alcanzada durante el proceso de soldadura y los resultados fueron los siguientes: para las probetas OK 78,825 psi, probeta NG 78,600 psi y una Referencia de 78,000 psi, con lo cual se puede decir que al someter el material a dicha temperatura la resistencia a la tensión no es afectada. En cuanto al límite elástico se observa una disminución sin embargo sigue en el rango del valor de referencia.

La prueba de dureza Rockwell llevada a cabo muestra resultados casi iguales para las probetas OK y NG, teniendo 89 y 89.5 HRB respectivamente. Posteriormente se calentaron las probetas a 480 °C y se observó el mismo comportamiento en ambas probetas, esto es, se tiene una ligera disminución, 84 y 88 HRB respectivamente. Sin embargo aun así los valores se encuentran apegados a la referencia, la cual es de 84 HRB.

Conclusiones

Los resultados anteriores indican que las propiedades mecánicas estudiadas se encuentran apegadas a las especificaciones, observando el único cambio en el aumento de tamaño de grano cuando las muestras son sometidas a una temperatura de 480 °C, ya que las probetas OK y NG sin maquinar tienen un diámetro de grano promedio de 116.241 μm y 146.458 μm respectivamente, es decir aumenta 26% el diámetro en las probetas NG.

Posteriormente estas probetas son sometidas a una temperatura de 450 °C y se obtiene que el diámetro del grano aumenta en los dos casos, tanto en las probetas OK como en las NG teniendo un aumento del 41% en las probetas OK y 66% para las probetas NG, con lo anterior se puede decir que el diámetro del grano si es afectado por el aumento de temperatura al cual se sometieron las probetas.

Dicho esto cabe mencionar que en los pernos fracturados se obtuvo un promedio de tamaño de grano de 213.045 μm , es decir, similar al obtenido al calentar la muestra. Sin embargo este cambio de tamaño de grano no afectó de manera considerable los valores de las propiedades mecánicas por lo que no se le puede atribuir como la causa de la falla del perno.

Por otra parte, y teniendo como soporte la teoría, el acero 12L14 tiene un contenido de plomo relativamente alto para la mejora de su maquinabilidad; en el caso particular del producto de estudio, es necesario para darle forma y dimensiones al perno, pero al ser el plomo un elemento con bajo punto de fusión al ser sometido a altas temperaturas (con referencia al punto de fusión del plomo que es de 327 °C) causa fragilización en el acero conocido como el fenómeno de fragilización por metal líquido y acritud en caliente.

Inclusive la fragilidad puede ser causada por la fusión local de un constituyente o de una impureza en la frontera de grano aún a una temperatura por debajo del punto de fusión del metal mismo, causado por la segregación de las impurezas.

Para poder concluir que efectivamente ocurrió la falla por este mecanismo se tendría que hacer un microanálisis en las fronteras de grano del acero y ver el contenido de plomo en esta zona para determinar que el plomo actuó como un elemento fragilizador causado por la elevación de la temperatura aunado a la deformación plástica a una velocidad de deformación rápida causada durante el proceso de remachado del perno lo cual ocasionó la fractura repentina al ser sometido a una fuerza de impacto.

Referencias

[1] Askeland, D. R. (2011). Ciencia e ingeniería de materiales, 6ta ed. México: CENGAGE Learning.

[2] Kalpakjian, S. y Schmid, S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología, 4ta ed. México: Pearson Educación.

[3] Hibbeler, R. (2011). Mecánica de materiales, 8va ed. México: Pearson Educación.

[4] Ortega, Y. (2006). Prueba de impacto: Ensayo Charpy, Revista Mexicana de Física. 51-57.

[5] Ashby, M. y Jones, D. (2008). Materiales para la Ingeniería I. España: Editorial Reverté.

[6] Smith, W. y Hashemi, J. (2014). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, 5ta ed. México: Mc Graw Hill.