

EVALUACION DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA DEL ACERO SAE 5160 ANTES Y DESPUES DE PROCESO SHOT PEENING, BAJO DIFERENTES VALORES DE CUBRIMIENTO SUPERFICIAL

F.F. Cánticus⁽¹⁾, J.A. Ávila⁽¹⁾, N.A. de Sánchez^(1, 2, 3), *H.E. Jaramillo^(1, 2, 3)

(1) Grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales, COLOMBIA

(2) Departamento de Energética y Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, COLOMBIA

(3) Centro de Excelencia de Nuevos Materiales, COLOMBIA

E-mail: hjsuarez@uao.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del comportamiento de fatiga a alto ciclaje del acero SAE 5160 sometido a un tratamiento superficial de inducción de esfuerzos residuales de compresión conocido como shot peening. Se evaluaron propiedades mecánicas como la resistencia a la fatiga, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último y valores de microdureza; comparando el material sin proceso de shot peening y bajo diferentes valores de cubrimiento superficial y de intensidad Almen. Los resultados mostraron un incremento del 94% en la resistencia a la fatiga en las probetas de mayor grado de cubrimiento, de igual forma los valores de microdureza revelaron un aumento del 3% de dureza Vickers, respecto de las probetas en estado de suministro.

Tópico 2: Materiales Metálicos

Palabras claves: Acero SAE 5160, resistencia a la fatiga, shot peening, dureza Vickers.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de shot peening tiene dos aplicaciones principales: 1. como método para mejorar la vida a la fatiga de componentes mecánicos sometidos a altos esfuerzos; y 2. como un método para realizar formas complejas y de mucha precisión en laminas de pequeño espesor. Ambos procesos dependen de las deformaciones plásticas que se deseen en la superficie del componente. El proceso forma una capa superficial de esfuerzos residuales a compresión que previene la iniciación y el crecimiento de grietas en los componentes cuando estos operan en condiciones de servicio bajo carga cíclica. Igualmente esta técnica es usada para inhibir o reducir la concentración de esfuerzos, especialmente en filetes y entalles de componentes metálicos.

El término "Shot Peening" evolucionó del término "shot blast cleaning", que es un proceso utilizado para la limpieza de elementos de máquinas, cuando se encontró que éste producía esfuerzos sustanciales en la superficie de los aceros. El término "Shot Peening", hoy día esta considerado en el marco de los procesos de preesforzamiento mecánico o esfuerzos residuales, como los procesos de rolado.

Algunos trabajo publicados hacen tempranas referencias al proceso de preesfuerzo o generación de esfuerzos residuales, como los son: Bush (1962) [1], Rinehart (1954) [2], SAE (1952) [3], Gensamer (1949) [4], Wheelabrator (1962) [5], Hayes (1938) [6] y Petrenko (1936) [7].

El shot peening se utiliza como un recurso para prevenir problemas de fatiga. En este proceso se introducen deformaciones plásticas en una capa superficial del material. La compresión residual reduce o evita la apertura de la microgrietas. Como resultado de ello, la concentración de los esfuerzos en la punta de la grieta son mucho menor y el crecimiento de la grieta será más difícil, o bien este crecimiento puede ser detenido por completo. La zona de tensión residual de compresión sirve como una barrera para el crecimiento de las microgrietas [8].

La operación implica que se genere una capa superficial en el material de deformaciones plásticas generada por la aplicación de un chorro de partículas duras (disparo) en la superficie de un componente. Debido a que esta capa debe seguir siendo coherente con el sustrato del material elástico, una compresión residual se introduce en la superficie. Esta puede llevar a curvar los componentes, sin embargo, estas distorsiones dimensionales a veces puede ser prevenido mediante una operación simétrica de shot peening.

La intensidad de la operación en el shot peening puede ser controlada por el llamado test tira Almen, que es una banda de acero (3"x 0.75", 76mm x 19mm). La banda se fija por tornillos a una base rígida, y se impacta en una de las caras, con condiciones bien definidas.

Un equipo francés [9] demostró que endureciendo los límites de sinterizado de las alecciones de acero por pulvimetalúrgia, su resistencia puede elevarse hasta más de un 20% y la vida a la fatiga por un factor de 10.

En esta investigación se realizó un estudio a probetas de acero SAE 5160, utilizado para fabricar hojas de resorte; se midieron propiedades mecánicas como, resistencia a tensión y resistencia a fatiga. Las probetas se analizaron sin proceso de *shot peening* y con proceso de *shot peening*; todas las probetas tenían un tratamiento térmico de bonificado.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El proceso de shot peening se realizó en una máquina granalladora de turbina centrifuga; que está equipada con un Control Lógico Programable PLC, mediante el cual se controlaron los parámetros influyentes para proporcionarle al material una intensidad adecuada. En el proceso se utilizó una granalla de alambre cortado redondeado "cut wire" CW-35 con una dureza entre 55-60 HRC. A las probetas se les efectuó el mismo proceso de fabricación que a las hojas de resorte que consiste en un tratamiento térmico de temple a 850 °C, un tratamiento térmico de revenido a 480 °C y el proceso de Shot Peening. En este último proceso los parámetros a tener en cuenta son el cubrimiento y la intensidad Almen. En las tablas 1 y 2 se presentan los diferentes parámetros utilizados en los ensayos de tensión y de fatiga respectivamente y en la figura 1, se observan los diferentes tipos de cubrimientos de shot peening que se aplicaron a las probetas.

Tabla 1. Identificación y parámetros de las probetas de tensión

Denominación grupo de probetas	Cubrimiento	Intensidad Almen	Cara con shot peening
NSP	Ninguno	Ninguno	Ninguno
1A	Total	22A	2
2A	Total	17A	2
3A	Total	15A	2

Tabla 2. Identificación y parámetros de las probetas de fatiga

Denominación grupo de probetas	Cubrimiento	Intensidad Almen	Cara con shot peening
NSP	Ninguno	Ninguno	Ninguno
1A	Total	22A	1
2A	Total	17A	1
3A	Total	15A	1
2B	Parcial	17A	1
2C	Bajo	17A	1



Cubrimiento Total



Cubrimiento Parcial



Cubrimiento bajo

Figura 1. Diferentes tipos de cubrimientos

Se determinaron las propiedades mecánicas del acero SAE 5160, con y sin proceso de *Shot peening*, mediante ensayos de tensión y fatiga, posteriormente se realizó un análisis metalografico para determinar su estructura metalográfica. Para los ensayos de tensión, se utilizó la máquina universal de ensayos UTS 200.3 con capacidad máxima de 20 Ton. El tiempo estimado para cada prueba fue de 90 segundos; se aplicó una precarga de 700 N y se utilizó un extensometro de 50 mm, la prueba se hizo bajo la norma ASTM E8 [10]. Las dimensiones de la probeta se presentan en la figura 2a. Los ensayos de fatiga a flexión a tres puntos, se realizaron en una máquina servohidraulica Instron 8872, a una frecuencia de 10Hz y una relación de esfuerzos constante ($R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$) $R = 0.2$, las probetas se diseñaron a partir de la norma ASTM E466 [11], sus dimensiones se muestran en la figura 2b.

Las pruebas de microdureza se realizaron en un Microdurometro Indentec ZHV, se hicieron tres mediciones desde el lado de aplicación del shot peening hacia el interior de la probeta, a una carga de 0.5 Kg. El análisis metalografico se hizo con la ayuda de un microscopio Olympus PM-3 y el analizador de imágenes Image Pro-plus, se realizó un montaje en baquelita con cortes de secciones transversales de las probetas fracturadas en el ensayo de fatiga y posteriormente se pulió con papel lija hasta la referencia 1000, luego se utilizaron paños para dar un acabado espejo y finalmente se atacaron con reactivo químico Nital al 2%; para develar su microestructura.

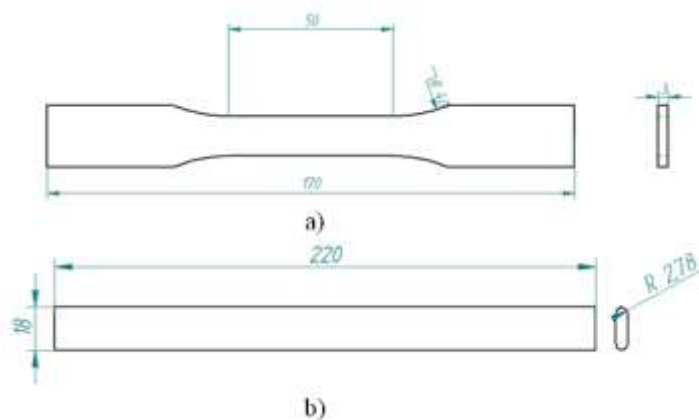


Figura 2. Dimensiones en mm de las probetas. a) Probeta de tensión. b) Probeta de fatiga.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se observa los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas en el ensayo de tensión, los resultados obtenidos demuestran que no hay una gran diferencia en las propiedades mecánicas de las probetas con shot peening (1A, 2A, 3A) frente a las probetas en estado de suministro (NSP).

Tabla 3. Propiedades mecánicas del acero SAE 5160

Grupo	Esfuerzo de fluencia (0.2%) (MPa)	Esfuerzo último (MPa)
NSP	1259.64	1423.23
1A	1237.03	1484.34
2A	1247.64	1472.61
3A	1262.54	1462.73

Se realizaron pruebas de fatiga a alto ciclaje y con esfuerzos alternos iguales a $0.8 S_{ut}$, $0.7 S_{ut}$ y $0.6 S_{ut}$. El S_{ut} del material en este caso es de 1423.23 MPa valor encontrado en el ensayo de tensión. En las figuras 2, 3 y 4, se observan los resultados de los ensayos de fatiga evaluados a diferentes parámetros de shot peening.

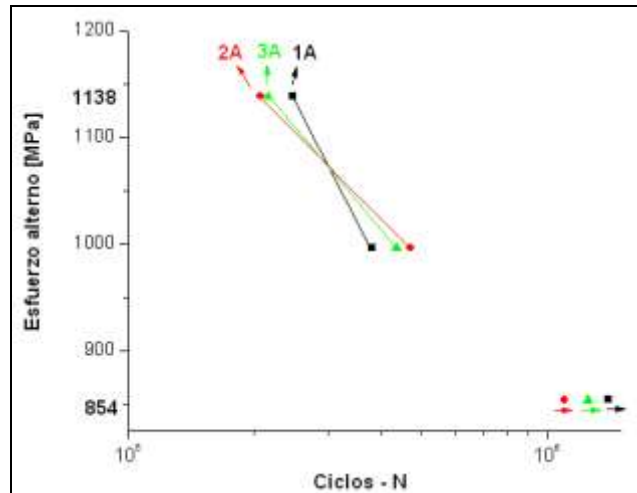


Figura 3. Curva Esfuerzo alterno vs. Ciclos-*N* para el Acero SAE 5160. Grupos 1A, 2A y 3A, con cubrimiento total e intensidades de 22A, 17A y 15A respectivamente

En la figura 3, se muestra el comportamiento de la curva Esfuerzo vs. Número de ciclos de los grupos 1A, 2A y 3A con cubrimiento total de shot peening, la diferencia entre los tres grupos fue la intensidad aplicada en el proceso de shot peening; los resultados reflejan un comportamiento muy similar entre los grupos, lo que evidencia que no hay una marcada incidencia de la intensidad sobre la resistencia a la fatiga cuando se tiene un cubrimiento total.

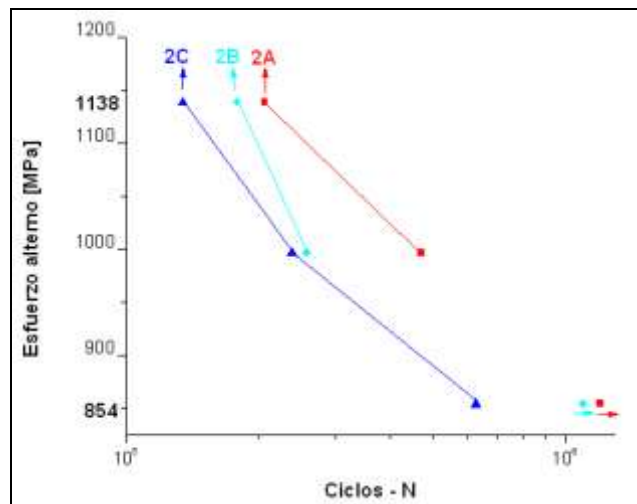


Figura 4. Curva Esfuerzo alterno vs. ciclos-*N* para el Acero SAE 5160. Grupos 2A, 2B y 2C con intensidad de 17A

En la figura 4, se representa el comportamiento a fatiga de los grupos 2A, 2B y 2C, estos grupos fueron evaluados a distintos rangos de cubrimientos de shot peening y a un mismo grado de intensidad que fue de 17A. Los resultados demostraron que el grupo 2A, el cual presenta un cubrimiento total de shot peening, fue el que mejor resultado obtuvo en el ensayo de fatiga en los tres esfuerzos evaluados. Lo cual muestra una ganancia en la resistencia en la fatiga en la medida que aumenta el cubrimiento, es decir, a mayor cubrimiento mayor resistencia a la fatiga.

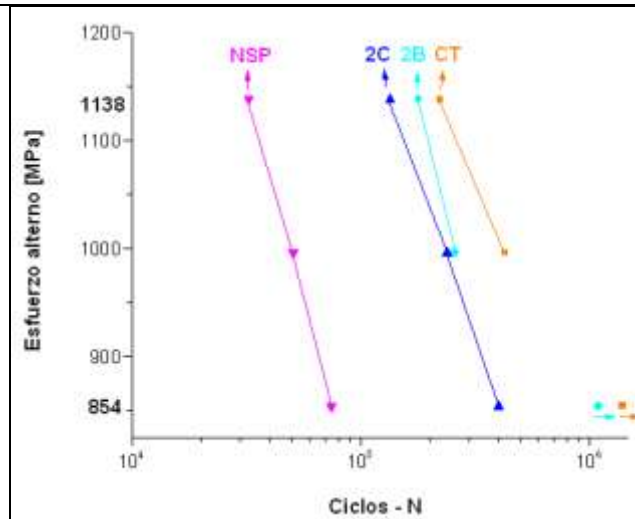
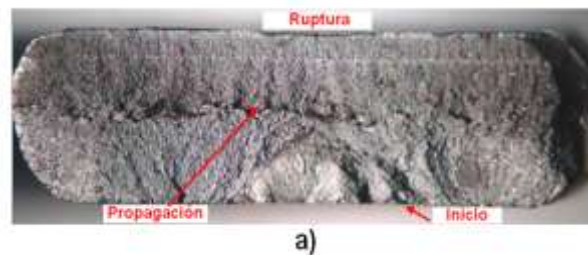


Figura 5. Curva Esfuerzo vs. ciclos-N para el Acero SAE 5160. Grupos NSP, 2C, 2B y CT

La figura 5 representa la curva Esfuerzo alterno vs. Número de ciclos, en el acero SAE 5160 evaluado a tres (3) niveles de esfuerzo alterno. Los resultados dejan ver muy claro que el proceso de shot peening aplicado al acero SAE 5160 incrementa de manera notable la resistencia a la fatiga del material. Es el caso de las probetas del grupo sin shot peening NSP, no superaron los cien mil ciclos, al evaluarlos a un esfuerzo de 856 MPa, mientras que los otros grupos con shot peening evaluados a este mismo esfuerzo, aumentaron significativamente el número de ciclos de vida, incluso pasaron la zona catalogada como vida infinita en fatiga a los 10^6 ciclos, para los grupos 2B y CT.

Con respecto a los grupos que presentan shot peening, es claro que los grupos que tienen cubrimiento total marcan la diferencia con los resultados, es el caso de los grupos 1A, 2A y 3A, que para este caso se resumieron en un grupo llamado cubrimiento total CT; ya que éstos incrementaron la resistencia a la fatiga en forma casi similar entre ellos.

Las fracturas de las probetas del ensayo de fatiga, se presentan en la figura 6; en la figura 6a se observa como característica relevante que la zona de propagación o desgarré final es muy pronunciada debido a la alta concentración de esfuerzos; en la figura 6b se aprecia que el comportamiento de la falla es muy diferente a la probeta sin shot peening, se nota a simple vista marcas radiales que apuntan hacia el origen de la grieta, que por lo general siempre inicia por la parte que está sometida a esfuerzos de tensión, que en este caso se encuentra en la zona inferior de la probeta en la cual presenta el shot peening; una segunda zona que empieza donde finalizan las marcas radiales denominada zona de propagación y por último esta la zona de ruptura que se evidencia por tener una zona muy demarcada en la parte superior.



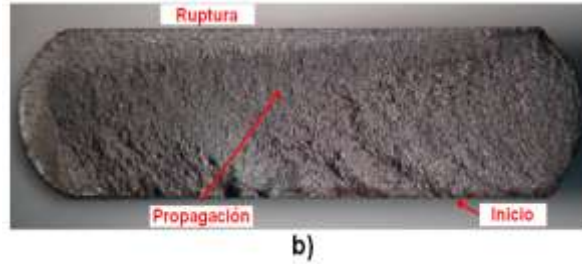


Figura 6. Fractografías de los ensayos de fatiga. a) Probeta sin shot peening b) Probeta con shot peening

La microestructura encontrada en el análisis metalográfico fue martensita revenida, fase característica de este acero, después de haber sido sometido a un tratamiento térmico de temple, ver figura 7.

Los resultados de microdureza Vickers revelan un incremento de la dureza en la segunda toma, a una profundidad de 2 mm de la superficie; con un promedio de 447 HV, que posiblemente sea por efecto de los esfuerzos residuales de compresión inducidos por el shot peening, ver figura 8.



Figura 7. Microestructura del acero SAE 5160

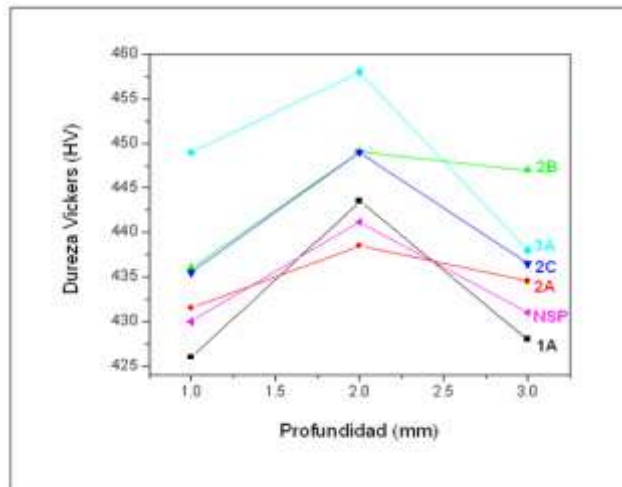


Figura 8. Microdureza Vickers acero SAE 5160

4. CONCLUSIONES

En el ensayo de tensión no se encontraron diferencias representativas en las propiedades mecánicas de las probetas SAE 5160 con proceso de shot peening y sin este proceso.

La resistencia a la fatiga se incrementó en un 94% en ciclos de vida en las probetas con proceso de shot peening con cubrimiento total; en la mayoría de los casos la duración de las probetas superó los 10^6 ciclos, zona catalogada como vida infinita.

Las probetas sin shot peening presentaron baja resistencia a la fatiga, su vida a fatiga estuvo alrededor de los 7.5×10^4 ciclos para un esfuerzo alterno igual a $0.6 S_{ut}$, lo que permite concluir que la técnica de shot peening es un proceso eficiente para incrementar la resistencia a la fatiga del acero SAE 5160.

5. AGRADECIMIENTOS

La empresa Resortes Hércules suministró el material de estudio, con sus respectivos procesos de manufactura. Las pruebas se realizaron en los laboratorios de Materiales y Mecánica de Sólidos de la Universidad Autónoma de Occidente con la colaboración de los auxiliares de laboratorio.

El presente trabajo ha sido parcialmente apoyado por el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales – CENM, con el auspicio de Colciencias, Contrato No. RC-043-2005.

REFERENCIAS

- [1] Bush, G. F., J. O. Almen, L. A. Danse and J. P. Heise (1962), "How, when and by whom was mechanical prestressing discovered. Soc. Auto. Engrs. ISTC, Div. 20 Meeting, Colo. Sprgs., Colo., May 21, 1962.
- [2] Rinehart, J. S., and J. Pearson (1954). "Behavior of metals under impulsive loads". Amer. Soc. For Metals, Cleveland; Dover Publ. Inc., New York; Generla Publ. Co. Ltd., Toronto, Canada; and Constable and Co., Ltd., Londo.
- [3] Soc. Auto. Engrs., (1952). SAE Manual on Shot Peening, SP-84.
- [4] Gensamer, M. (1949). "Gold working of metals". ASM Seminar at 13th. Nat'l. meeting at Phila., Pa. Oct. 1948. Amer. Soc. For Metlas, Cleveland, O.
- [5] Wheelabrator Corp. (1962). "Shot Peening". Wheelabrator-frye Inc., Mishawaka, Ind.
- [6] Hayes, T. J. (1938). "Elements or Ordnance". J. Willey & Sons, Inc., New York.
- [7] Petrenko, S. N., W. Ramberg, and B. Wilson (1936). "Determination of the Brinell number of metlas". U. S. Natl. Bur. Of Stds. Research paper RP-903, Washington, D. C.
- [8] Schijve, Jaap. "Fatigue of structures and materials", Kluwer Academic Publishers, London 2004.
- [9] Metal-power.net, "Shotgun method can improve PM steel fatigue life", Elsevier Ltda., p.p. 48-52, 2004.
- [10]ASTM. Aceros. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. International E 8M-08
- [11] ASTM. Aceros. Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials.