

Efecto del granallado en vida residual por la fatiga de un acero mediante monitoreo de las tensiones residuales

Effect of the shot peening on residual life due to fatigue of a steel through monitoring of residual stresses

J. Vera Alvarado ⁽¹⁾ M. Ortiz ⁽²⁾ y G. Rubiolo ⁽²⁾

RESUMEN

En este trabajo se ha obtenido evidencia experimental sobre el proceso de granallado y el comportamiento en fatiga del material granallado ensayando un acero AISI 5160 en estado de temple y revenido. El proceso de granallado fue estudiado con probetas planas tratando de obtener correlaciones entre las variables del proceso y las características del campo de tensiones residuales resultante. La medición del campo de tensiones residuales, en superficie y en profundidad, se realizó con la técnica de difracción de rayos X (DRX). El campo de tensiones residuales producto del granallado fue modelado en correlación con las variables del proceso y comparado con los resultados experimentales obtenidos. Y La vida en fatiga del material granallado fue modelada en función de la curva S-N del material, el campo de tensiones residuales y la rugosidad resultante del granallado. El efecto de la relajación de las tensiones residuales durante la fatiga fue también incluido. Modelo y resultados experimentales son contrastados y discutidos.

Palabras clave: Granadallo; vida residual; acero; tensión residual.

ABSTRACT

This paper, experimental evidence has been obtained on the shot peening process and behavior in blasting material fatigue testing a AISI 5160 steel in quenched and tempered condition. The blasting process was studied on flat test pieces trying to get correlations between process variables and characteristics of the resulting residual stress field. The measurement of residual stress field, surface and in depth, was performed using the technique of X-ray diffraction (XRD). The residual stress field was modeled blasting product correlated with process variables and compared with experimental results. And Life in blasting material fatigue was modeled as a function of the S-N curve of the material, the residual stress field and the roughness resulting from blasting. The effect of relaxation of residual stresses during fatigue was also included. Model and experimental results are compared and discussed.

Key words: Granadallo; residual life; steel; residual voltage

(1) Departamento de Minas y Metalurgia– Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Trujillo

(2) Unidad de Actividad Materiales – Comisión Nacional de Energía Atómica – Argentina

Recibido el 26 de julio del 2012

Aceptado el 4 de setiembre del 2012

INTRODUCCIÓN

Una causa común de falla de los aceros en servicio es por fatiga. La fractura por fatiga generalmente se inicia y propaga en la superficie de las piezas o componentes de maquinas sometidas a sollicitaciones mecánicas importantes. Una manera de prevenir esto es mediante la realización de distintos tratamientos superficiales que introducen un estado de pre tensionado compresivo que prolonga la vida útil del componente (J. Dorlot, J. Bailon, J. Masounave). En la industria, el Granallado (shot peening), es un proceso bien conocido para mejorar las propiedades en fatiga de componentes metálicos (M. Hayashi, Y. Ueyama, Y. Hashimoto). Este proceso involucra la interacción de partículas de una dada forma y energía cinética con las zonas cercanas a la superficie del componente. La deformación plástica que esto produce tiene varias consecuencias tales como el cambio en la rugosidad, endurecimiento superficial (por incremento local de la densidad de dislocaciones) e inducción de tensiones residuales compresivas. En contraste con los tratamientos de endurecimiento superficial termoquímico, las tensiones residuales compresivas y el endurecimiento debidos al granallado pueden atenuarse con el tiempo de funcionamiento y/o con el nivel de carga aplicado (J. Arteaga, G. Rubiolo, M. Ortiz).

Distintos factores influyen en el comportamiento a fatiga de los materiales. Dentro de los más importantes tenemos: Frecuencia de ensayo, Temperatura Tamaño de probeta, Condiciones superficiales Medio corrosivo, Concentrador de tensiones. El estudio tiene un carácter experimental y otro teórico. La parte experimental se realizará sobre un acero AISI 5160 y consistirá en dos partes principales: (a) Sobre probetas planas: producir por granallado un campo de tensiones residuales en la capa superficial y caracterizarla mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX). (b) Sobre probetas de fatiga granalladas: caracterizar su campo de tensiones residuales por DRX, estudiar su resistencia a la fatiga de alto número de ciclos y estudiar la evolución de las tensiones residuales superficiales con el número de ciclos en fatiga. La parte teórica consistirá en modelar el campo de tensiones residuales resultante por un proceso de granallado y la curva S-N

MATERIAL Y MÉTODOS

El material en estudio es un acero de baja aleación según norma AISI 5160, es comercializado en forma de barras de diferentes diámetros obtenidas por laminado.

Tabla 1. Composición química del acero AISI 5160

Barra	Composición química						
	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	C
M ₁	0,82	0.16	0.021	0.017	0.74	0.049	0.60
M ₂	0.83	0.17	0.020	0.017	0.72	0.049	0.58

La medida del tamaño de grano se realiza de acuerdo a la Norma ASTM E-112, se obtuvo un tamaño dúplex de índice entre 8 y 10, Dureza en promedio 33.91 HRC. La microestructura esta constituida por martensita revenida. El modelo usado con la finalidad de recolectar datos confiables, que nos lleven a la constatación de hipótesis elaboradas en base a los antecedentes, fue un diseño experimental de tipo factorial, los factores y niveles se muestran

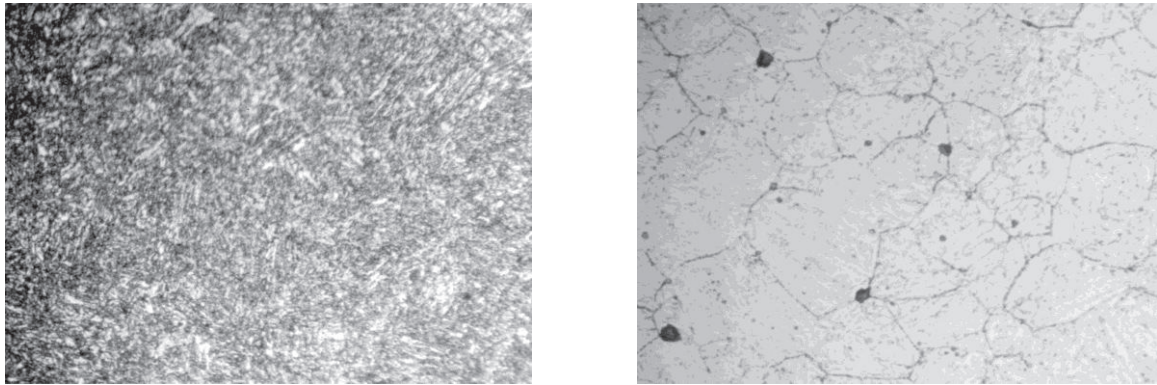


Fig. 1. Microestructura y tamaño de grano del acero AISI 5160

Tabla 2. Factores intervinientes en el proceso de granallado

TIEMPO DE GRANALLADO(seg.)	ANGULO DE GRANALLADO (°)	DIAMETRO DE GRANALLA (malla)
2	90	60
8	90	30
16	90	

Las variables dependientes a evaluar es la distribución de tensiones en profundidad y resistencia a la fatiga.

RESULTADOS

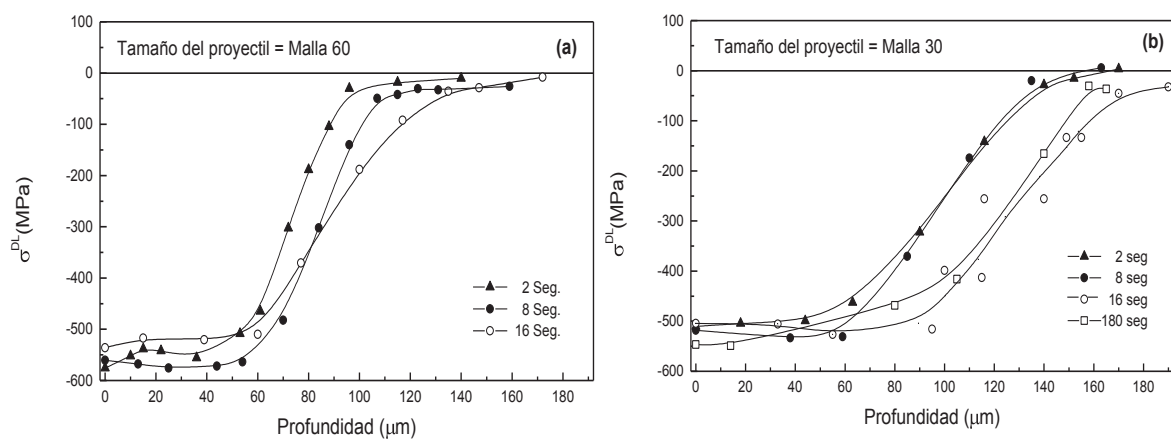


Figura 2: Efecto del tiempo de granallado sobre el perfil de TR medido en profundidad.

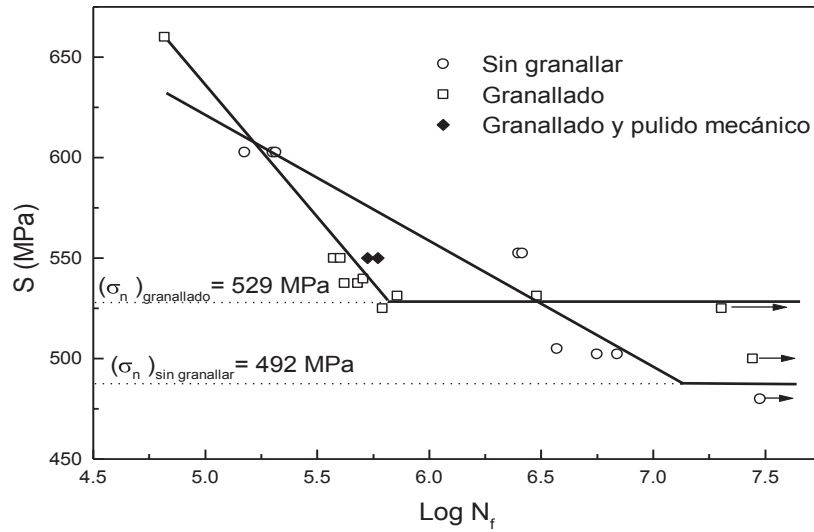


Figura 3: Curvas de Wöhler para el acero AISI 5160 sin granallar y granallado

Primero mostramos que la expresión de Marín para la curva S-N del material puede ser ajustada a los datos experimentales. Para ello se expandió en serie de Taylor la función **log S** alrededor de un valor **S₀** en el entorno de los valores experimentales. Esta expansión permite mostrar que la expresión de Marín, en el entorno de **S₀**, es de la forma,

$$S = A - B \log N, \text{ con}$$

$$A = S_0 + \frac{S_0}{x \log e} \left(\log k - x \log S_0 \right) \text{ y } B = \frac{S_0}{x \log e}, \text{ Luego, ajustando los datos experimentales por}$$

Una recta de cuadrados mínimos y utilizando las ecuaciones anteriores se determinaron las constantes en el modelo de Marín: $x \cong 20.2$ y $k \cong 2.82 \cdot 10^{61}$ (MPa). En el ajuste del modelo para predecir el perfil de tensiones residuales, se ha determinado que la capa superficial es generada por fatiga con una amplitud del ciclo de tensión de 559 MPa. Esto implica que el daño fue realizado a $S_1=559$ MPa, luego, el supuesto valor de los ciclos a fractura del material a dicho nivel de tensión se obtiene del ajuste anterior y resulta $N_{(S_1)} = 896000$ ciclos. Los otros valores pre-determinados son:

$$S_n = 492 \text{ Mpa}$$

$$S_m = -520 \text{ Mpa}$$

$$S_u = 1035 \text{ Mpa}$$

$$S_n^* = 529 \text{ Mpa}$$

$$d = 6.2 - 6.9$$

Quedando por determinar K y S'_n , pero ellos no son independientes. La curva de vida finita del material granallado puede representarse por:

$$n_{\sigma} = N_{\sigma} \left(\frac{S_1 \left(1 - \frac{S_m}{S_u} \right)}{K S_n'} \right)^d \left[1 - \frac{K S_n'}{S_n \left(1 - \frac{S_m}{S_u} \right)} \right]$$

y ajustando esta expresión a los valores experimentales resulta,

$$K = 1.26 \quad \text{y} \quad \text{luego,} \quad S'_n = 443 \text{ Mpa}$$

Si el material granallado fuera rectificado con papel esmeril debería reducir el concentrador de tensiones a un valor de al menos $K=1.11$ (correspondiente a un pulido comercial). La curva predicha en ese caso puede observarse en la figura 4.4 y no ajusta los resultados experimentales. Este último resultado indica que además de rugosidad el granallado ha producido fisuración superficial y es ésta la causante principal de su fractura en fatiga. El supuesto número de ciclos que en fatiga ocasionó el granallado, es:

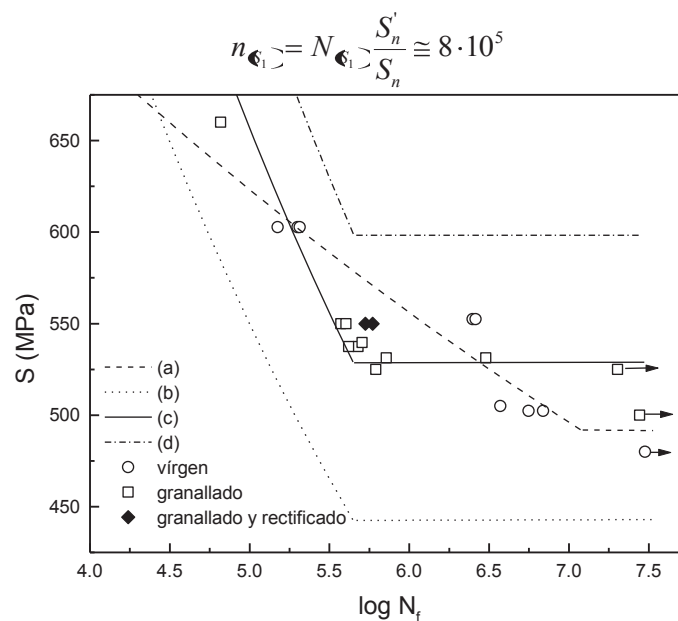


Fig. 4. Curvas S-N predichas por la modelización del efecto del granallado sobre la vida en fatiga. (a) Material virgen, (b) Material virgen dañado por granallado sin influencia de tensiones residuales y concentradores de tensiones superficiales, (c) Material virgen dañado por granallado con influencia de tensiones residuales y $K=1.26$, (d) Material virgen dañado por granallado con influencia de tensiones residuales y $K=1.11$

Este resultado implicaría un número de impactos mucho mayor que el estimado por las condiciones del granallado impuesto. Creemos que el modelo sobreestima este parámetro pues el modelo no considera la relajación de las tensiones residuales durante la fatiga.

CONCLUSIONES

Es importante no excederse en el tiempo de granallado ya que esto genera un daño excesivo de la capa superficial sin obtener un nivel superior en las tensiones residuales compresivas.

La rugosidad superficial debe minimizarse en función de adquirir la máxima tensión residual superficial y profundidad del perfil de tensiones residuales con la menor rugosidad posible.

La relajación de tensiones residuales es un aspecto importante en la predicción de la vida del material granallado y merece una investigación detallada para incluir los resultados en el modelo de daño acumulado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga, J. (1998), "Evolución de Tensiones Residuales en un Acero sometido a distintos Tratamientos Superficiales".
- Dorlot J., J. Bailon, J. Masounave, "Des Materiaux". (1985). Edition de L'Ecole Polytechnique de Montreal.
- Hareux M. (1983) "Principales billes utiles en shot peening", VII Journee d'information sur le grenailage de precontraintes, pp. 109-121, CETIM.
- Hayashi M. ; Y.Ueyama, Y. Hashimoto, (1992) . "Materials evaluation"
- Leghmizi N., (1990) "Granallado de pretensionado y tensiones residuales", París.
- Maeder, H., R. Lebrun y T. Diament. "Caracterisation par diffraction X d'une couche grenaillee" First international conference on shot – peening, pp. 263 – 269, París
- Niku, Lari.(1981) "Le Grenailage de Precontrainte", First International conference on shot peening, pp. 3-22 .
- Picuet, L., (1985), "Fatigue des Assemblages Soudes" these de docteur Ingénieur, ENSAM, París ,
- Rubiolo G., M. Ortiz, (1997) "Residual Stresses and Fatigue Behaviour in Machined and Plasma Nitrided SAE 4140 Steel", Proceedings of Fifth International Conference on Residual Stresses Linkoping, Sweden.
- Strangis R., (1997), "Tesis de Licenciatura" Buenos Aires – Argentina".