

Titulo

Evaluación del comportamiento a la fatiga de árboles fabricados de acero 30 Å, utilizado en molinos de caña de azúcar

**Ariel Rodríguez Aries.
Ramón Martínez García.
Manuel Rodríguez Pérez.**

Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuani, km 5 ½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Tel: 281586. E-mail: arielra@fim.uclv.edu.cu

Resumen.

En el trabajo se muestra el efecto del tipo de tamaño de grano, clasificación según la ASTM E 112, sobre la resistencia a la fatiga del acero 30G, considerado el más utilizado en la fabricación de los ejes de los molinos de caña de azúcar. Por otra parte, se valora el tratamiento térmico mediante el cual el acero 30G cambia de forma apreciable el tamaño de grano, tomándose como referencia la estructura de la aleación en estado de entrega. Para el estudio del efecto de la estructura, en particular respecto a la resistencia a la fatiga, se ha empleado la máquina de ensayo por flexión rotatoria UBM-1, la cual existe en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Las Villas.

Abstract.

This work shows the effect of the type of grain size, classification is according to ASTM and 112, on the fatigue strength of the steel 30G, considered the more used in the manufacture of the shaft of the sugar cane mills. On the other hand the heat treatment is valued by means of which, the steel is valued 30G it changes of appreciable form the grain size, taking itself as reference the structure from the alloy in delivery state. For the study of the effect of the structure, in individual with respect to the fatigue strength, the machine of test by rotatory flexion UBM-1 has been used, which exists in the laboratory of resistance of materials of the faculty of Mechanical engineering of the Central University of Las Villas.

Introducción

La resistencia a la fatiga en las piezas o elementos de máquina es afectada por diversos factores, tales como: dimensiones de la pieza, estado de la superficie, inestabilidad de la carga, medio externo, concentración de tensiones, etc.

En nuestro país, una cantidad de piezas de diferentes características geométricas, materiales y condiciones de carga, trabajan bajo la acción corrosiva de soluciones azucaradas, tal es el caso de las piezas de los equipos de la industria azucarera y en particular los árboles de molinos de caña de azúcar, conocidos también como guijos.

Los árboles de los molinos de caña son piezas sometidas a condiciones rigurosas de trabajo. En los mismos se originan cargas de flexión y torsión, ligadas a los efectos corrosivos del guarapo y las condiciones inestables de carga.

El tiempo de trabajo en los árboles de los molinos de caña se ha visto seriamente afectado. En la actualidad fallan árboles relativamente nuevos, los cuales tienen 1, 2, 3 y 4 zafra de trabajo, algunos no llegan ni siquiera a terminar una zafra.

Según estudios realizados,⁴ la aleación más empleada en Cuba en los últimos años en la fabricación de árboles de molinos de caña o guijos, es el acero 30G.

Independientemente de los buenos resultados en cuanto a la falla por fatiga de este tipo de acero, presentan roturas frecuentes y por esto se ha hecho necesaria la utilización del proceso de recuperación por soldadura.

Como es conocido, durante la aplicación de la soldadura debido a los ciclos térmicos a los que se expone el metal base, aparecen frecuentemente estructuras en la zona afectada térmicamente (aumento del tamaño de grano) que pueden ocasionar una disminución de la resistencia mecánica de la unión y en particular la resistencia a la fatiga. La realización de procesos de soldadura para la reparación de los guijos agrietados, trae como consecuencia la necesidad de evaluar el efecto del tipo de estructura del acero 30G sobre la resistencia a la fatiga, con vistas a obtener el procedimiento que garantice una estructura en la zona afectada térmicamente que no afecte sustancialmente esta propiedad.

1.1 Selección del tipo de probeta y de la instalación a utilizar en la evaluación de la resistencia a la fatiga del acero 30G

Para lograr evaluar el comportamiento de la resistencia a la fatiga del acero 30G según el tamaño de grano, obtenido a partir de diferentes tratamientos térmicos, se hizo una valoración de los diferentes tipos de probetas que se utilizan para este tipo de ensayo.^{1,6,11} A partir de este análisis, se seleccionó la que presenta una forma cilíndrica con radios no continuos entre los apoyos, mostrada en la figura 1, la cual coincide con la recomendada para utilizar en la máquina para ensayos a la fatiga por flexión rotativa UBM – 1 la cual se muestra en la figura 2.



Figura 2. Máquina de ensayo de fatiga a flexión rotativa UBM – 1

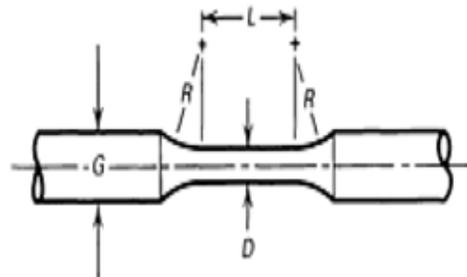


Figura 1. Probeta para el ensayo de fatiga

Esta maquina pertenece al laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Central de Las Villas y fue la que se seleccionó para realizar los ensayos de fatiga correspondientes al presente trabajo.

2. Obtención de los diferentes tamaños de grano en el acero 30 para la evaluación de la resistencia a la fatiga.

2.2. Tratamiento térmico del acero 30G para obtener diferentes tamaños de grano

Después de una minuciosa revisión bibliográfica sobre los aspectos relacionados con el tamaño de grano, en particular las temperaturas y el tiempo de permanencia, se determinó que mediante un proceso de tratamiento térmico, es posible obtener los diferentes tipos de estructuras (tamaños de grano) para el acero 30G.^{2,3,4,8}

Como punto de partida se consideró el tamaño de grano del acero 30G como en estado de entrega, para tener una idea del tratamiento a realizar para obtener estructuras diferentes en este sentido.

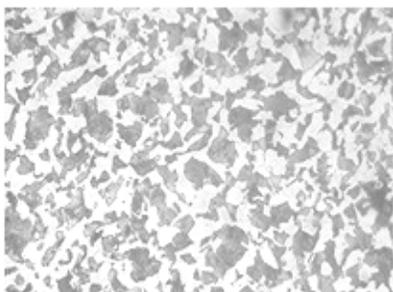
En la figura 3, se muestra la estructura del acero 30G en estado de entrega, la cual se corresponde con un grano del tipo 8, según clasificación de la ASTM E 112, por lo que se incluye en el grupo de los aceros de grano fino hereditario.⁵

De acuerdo a este resultado, se ha determinado obtener una estructura de grano menor al que presenta el acero en condiciones de suministro y un grano mayor, para de esta manera realizar el estudio de la resistencia a la fatiga de la aleación de acuerdo a la estructura.

Para obtener una estructura de grano fino, se ha realizado lo indicado en la figura 4 donde es esencial mantener la temperatura ligeramente superior a la temperatura crítica AC_1 , durante un tiempo superior a 1 hora.

Utilizando este tratamiento las probetas fueron calentadas hasta una temperatura de 950 °C durante 2 horas con un enfriamiento posterior lento.

En la figura 5 se observa la estructura obtenida con este tratamiento, donde se puede comprobar que el grano es pequeño. El tamaño de grano promedio obtenido se corresponde con el tipo 10, según la clasificación de la ASTM E 112.



Aumento 200X
Figura 3. Acero 30 en estado de entrega

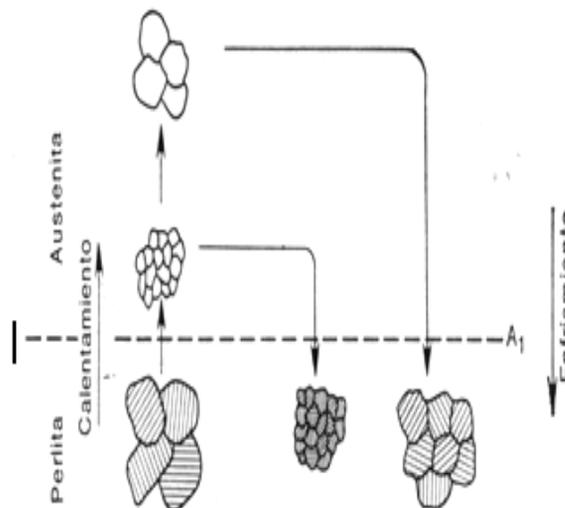
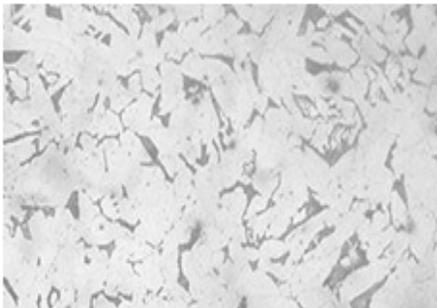
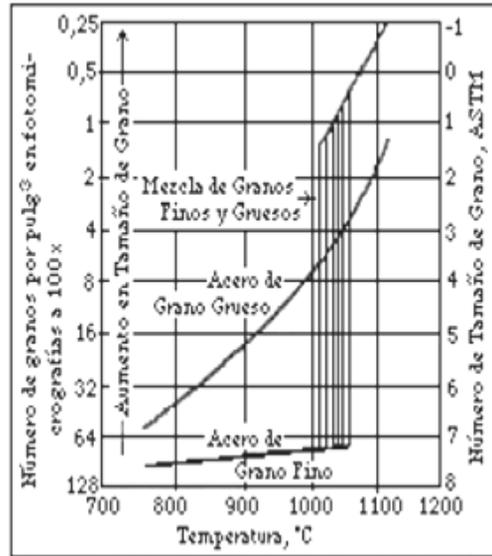


Figura 4. Esquema de la variación del Aumento 200X tamaño del grano de la perlita en dependencia

Figura 5. Acero 30G con tamaño de grano 10 del calentamiento en la región austenítica

Para obtener una estructura con tamaño de grano grueso fue necesario elevar la temperatura del material hasta 1100 °C en correspondencia a lo mostrado en la figura 6, durante un tiempo de 1 hora. Los resultados en cuanto a la morfología de la estructura se pueden observar en la figura 7, donde el tamaño de grano promedio se corresponde con el tipo 5, según la clasificación de la ASTM E 112



Grano Grueso 200X

Figura 7. Acero 30G tamaño grano 5

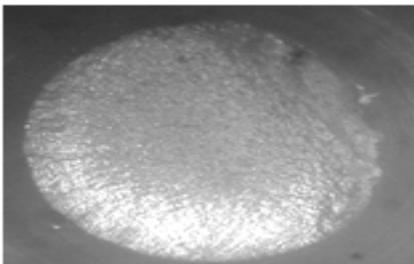


Figura 9. Modo de falla por fatiga de las probetas estudiadas

Figura 6. Comportamiento del tamaño de grano

La observación de la estructura en todos los casos se realizó con el microscopio óptico NEOPHOT 32. Como reactivo de ataque se utilizó Nital al 5 %.

Como se señaló anteriormente, para evaluar el efecto del tamaño de grano sobre la resistencia a la fatiga del acero 30G, fue necesario realizar un tratamiento térmico a las probetas para obtener la estructura correspondiente una vez elaboradas con las dimensiones establecidas para el ensayo.

En la tabla 1 se muestran los parámetros fundamentales utilizados en el ensayo y el resultado para cada una de las probetas estudiadas, cuya rotura ha sido provocada por el fenómeno de fatiga de acuerdo a modo de falla, el cual se muestra en la figura 9.



Figura 8. Probetas maquinadas con las dimensiones establecidas

Tabla 1. Resultados de la resistencia a la fatiga del acero 30G según el tamaño de grano

Muestras	Estructura	Tratamiento térmico	Carga (N)	Velocidad (rpm)	Número de ciclos
1	Grano 8	Como en estado de entrega	300	2400	211000
2	Grano 8		300	2400	192800
3	Grano 8		300	2400	202000
4	Grano 10	950 °C (1 Hora)	300	2400	263500
5	Grano 10		300	2400	354200
6	Grano 10		300	2400	291000
7	Grano 5	1100°C (1 Hora)	300	2400	48800
8	Grano 5		300	2400	65300
9	Grano 5		300	2400	52100

3. Efecto del tamaño de grano sobre la resistencia a la fatiga del acero 30G

Según el análisis de varianza para comprobar si existe realmente un efecto del tamaño de grano sobre la resistencia a la fatiga, se muestra en la figura 10, cuyo análisis estadístico se realizó mediante el programa STATGRAPHICS.

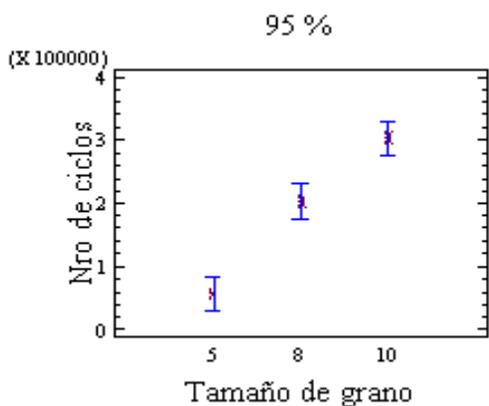


Figura 10. Resultados del análisis de varianza para evaluar el efecto del tamaño de grano

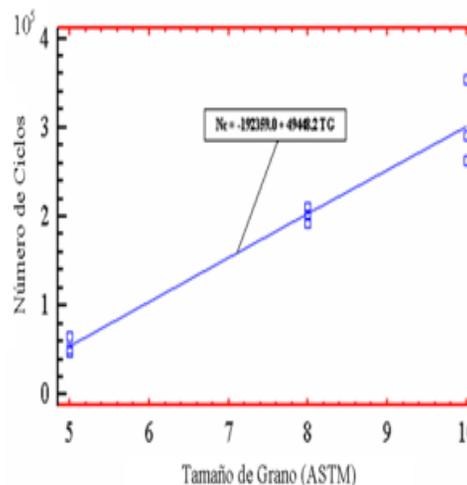


Figura 11. Modelo de dependencia entre el tamaño de grano y resistencia a la fatiga

En este caso se aprecia una diferencia significativa entre el tamaño de grano y la resistencia a la fatiga expresada a través del número de ciclos.

El modelo y el gráfico correspondiente a la dependencia del tamaño de grano y la resistencia a la fatiga para el acero 30G se muestran en la figura 11, donde se aprecia que es un comportamiento lineal de acuerdo al procesamiento estadístico realizado con el programa STATGRAPHICS.

El comportamiento de la resistencia a la fatiga en dependencia al tamaño de grano se puede observar en la figura 12. En este caso aparece la estructura y su comportamiento ante la resistencia a la fatiga de las probetas evaluadas elaboradas del acero 30G.

Como aspecto fundamental se puede señalar que para un tamaño de grano 5, el número de ciclos a los cuales aparece la fractura de la probeta se reduce de forma apreciable. Este efecto del aumento del tamaño sobre la disminución de la resistencia a la fatiga coincide con lo planteado en la literatura^{3,5} y es resultado de que al aumentar el tamaño de grano, disminuye el número y por ende, la cantidad de fronteras entre estos, cuyo resultado acelera la propagación de la grieta. Este fenómeno asociado con el incremento de la resistencia a la fatiga del acero 30G, debido a la disminución del tamaño de grano, se debe a que el afino del grano de la ferrita conduce a la elevación del límite de fluencia y aumento de la

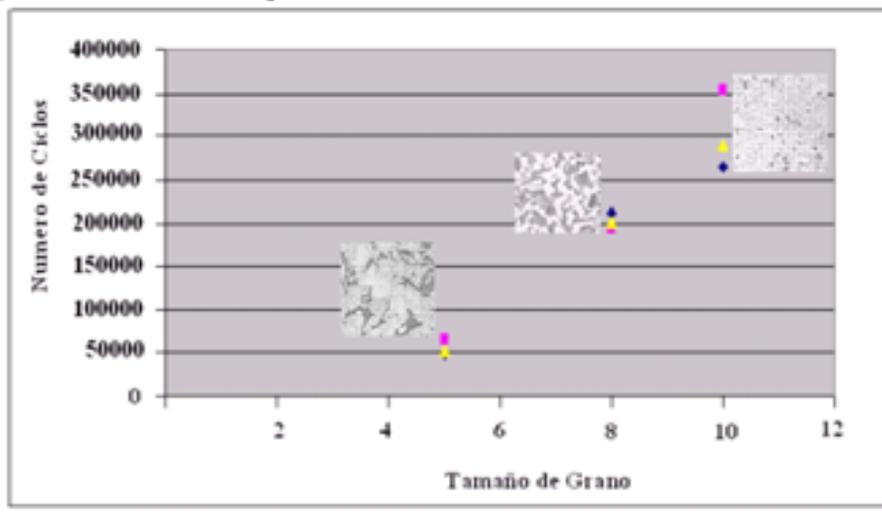


Figura 12. Número de ciclos vs. tamaño de grano

resistencia a la rotura por fragilidad de acuerdo a^{3,7}.

Cuando el grano del acero se reduce, como es el caso del grano 10, inferior al que presenta como en estado de entrega el acero 30G, se incrementa apreciablemente la resistencia a la fatiga como se aprecia en la figura 12. En este caso aumenta sustancialmente el número de fronteras y se hace más difícil el avance de la grieta de acuerdo a lo explicado anteriormente.

Los resultados anteriores sirven de referencia para la realización de trabajos de soldadura para el caso particular del acero 30G. Como se reporta en varios trabajos,^{9,10} el problema fundamental en el caso de la unión soldada de los aceros al carbono, es la reducción considerable de la resistencia mecánica y en particular la resistencia a la fatiga en la zona

afectada térmicamente, debido al crecimiento notable del tamaño de grano. Este fenómeno, al estar relacionado con el tiempo de permanencia de la aleación a elevadas temperaturas, indica que las variables utilizadas en los procedimientos de soldadura, la temperatura de precalentamiento y entre pasadas deben ser controladas, para el caso particular del acero 30G. Lo anterior para que la unión no se afecte sensiblemente desde el punto de vista de la resistencia a la fatiga como consecuencia del tamaño de grano.

Conclusiones

1. El acero 30G es considerado un acero de construcción, el cual puede ser sometido a los tratamientos térmicos de: Recocido, Normalizado, Temple y Revenido, en dependencia de las propiedades mecánicas necesarias en el elemento de máquina. No obstante cuando es sometido a tratamiento térmico a una temperatura superior a los 1000 °C, su estructura puede modificarse sustancialmente desde el punto de vista del tamaño de grano.
2. La resistencia a la fatiga del acero 30G en estado de entrega (tamaño de grano 8) puede aumentarse apreciablemente, si es tratado térmicamente a una temperatura de 950 °C durante 1 hora.
3. Para el caso de la soldadura del acero 30G, no es aconsejable utilizar regímenes de soldadura con aportes térmicos elevados, o realizar una deposición de pasadas sucesivas sin enfriar el metal base, ya que puede afectarse la unión soldada desde el punto de vista de la resistencia a la fatiga, debido a un notable crecimiento del grano.

Bibliografía

1. Fatigue and fracture, ASM handbook. Vol. 19, Metals Park
2. Calderón. Celis. J.M; **Modelo Uliram para determinar nuevas composiciones químicas para materiales de aporte**, Facultad de ing. geológica, minera, metalúrgica y geográfica, Universidad nacional Mayor San Marcos, Lima, Perú, 2004.
3. Chevalier. Agüero. G, González Hernandez; Caracterización metalografía de los aceros utilizados en los ejes para molinos de caña de azúcar en Cuba y criterios de selección. UCLV, 1985.
4. Comezañas Oro, D. **Estado de las condiciones necesarias para la reparación de guijos afectados por rotura**. Trabajo de Diploma. Facultad de Ing. Mecánica UCLV. 2004.
5. Gulíáev, A. P. **Metalografía** tomo1. Editorial Mir. 1978