

TRATAMIENTOS CRIOGÉNICOS SOBRE EL ACERO F1560 CEMENTADO PARA LA MEJORA DE PROPIEDADES A FATIGA

M. Preciado¹, M. Solaguren-Beascoa², P. M. Bravo², J. M. Alegre²

¹ Departamento de Ingeniería Civil
Av. Cantabria s/n
09006 Burgos. España
E-mail: mpreciado@ubu.es

² Departamento de Ingeniería Civil
EPS Campus de San Amaro, C/Villadiego S/N
09001 BURGOS
E-mail: msolaguren@ubu.es
E-mail: pbravo@ubu.es
E-mail: jalegre@ubu.es

RESUMEN

El acero F1560 cementado se utiliza en la fabricación de engranajes y requiere valores elevados de dureza para soportar el desgaste y a la vez una buena tenacidad para evitar problemas de fatiga. Los tratamientos criogénicos se vienen utilizando desde hace tiempo para mejorar las propiedades de diversos componentes en automoción y podría ser una manera de aumentar la vida de los engranajes, aunque uno de los inconvenientes de estos tratamientos es la duración de los mismos. En este trabajo, se ha estudiado la influencia de los tratamientos criogénicos sobre propiedades como fatiga, resiliencia y desgaste de un acero F1560 cementado. También se ha visto la diferencia entre tratamientos criogénicos convencionales y tratamientos criogénicos multietapa, cuya principal ventaja es que son más cortos. Por último, se ha intentado estabilizar la austenita retenida, ya que no está claro si la presencia de la misma resulta beneficiosa.

ABSTRACT

The F1560 carburized steel is used in the gears manufacturing industry and high hardness values combined with good toughness are required in order to withstand wear and fatigue problems. Cryogenic treatments have been used for some time to improve the properties of different automotive devices and it could be a way to increase the gear life. However one inconvenience is that they are long-term treatments. In this work, the influence of the cryogenic treatments on fatigue, resilience and wear of the carburized F1560 steel has been studied and also the difference between a multistage cryogenic treatment (shorter) and a conventional one. Finally, it has been tried to stabilize the retained austenite because it is not clear the benefits of its presence.

PALABRAS CLAVE: F1560 cementado, Tratamiento criogénico, Desgaste.

1. INTRODUCCIÓN

Los aceros F1560 son aceros con porcentajes de Cr, Ni y Mo que se utilizan, cementados, en aplicaciones tales como engranajes y piñones donde se requiere una superficie de gran dureza que soporte bien el desgaste unida a un núcleo tenaz. De hecho, estos componentes sufren fallos frecuentes debido a fatiga provocadas por sobrecargas, tratamientos térmicos inadecuados, características del material deficientes, etc. [1]. La segunda causa de ruptura sería el impacto seguido por fallos a desgaste.

Dentro de la fatiga de los engranajes, el modo de fallo más común es la fatiga por flexión del diente que se

origina en el área que recibe la mayor flexión, cuyo origen está en la superficie.

Cualquier tratamiento que ayude a mejorar las propiedades mecánicas tanto de la capa cementada como del núcleo de estos aceros estaría contribuyendo a un alargamiento de la vida de estas piezas.

Los tratamientos criogénicos a bajas temperaturas (-125 – -196°C) han sido utilizados durante bastante tiempo para mejorar la durabilidad de los componentes. Además se trata de un tratamiento que afecta a toda la pieza tanto en el exterior como interiormente, lo cual es una importante ventaja, aunque también tiene inconvenientes ya que incrementa el coste de

producción y además es un tratamiento de larga duración.

Hay varias teorías que tratan de explicar los efectos producidos por estos tratamientos. Una de ellas los relaciona con la transformación de la austenita retenida en martensita. Esta teoría ha sido verificada por difracción de rayos X. Otra teoría está basada en el endurecimiento del material debido a la precipitación de carburos submicroscópicos. Además también se produciría una relajación de las tensiones internas de la martensita gracias a la precipitación de estos carburos [2].

Una opción al tratamiento criogénico convencional, que duraría unas 36 horas (2 horas de enfriamiento, mantenimiento a -190°C de 32 horas y calentamiento durante 2 horas), sería el tratamiento multietapa que duraría 24 horas en total y consiste en una serie de ciclos alternos de enfriamiento y calentamiento.

Debido a que uno de los efectos inmediatos de un tratamiento criogénico es el de transformar la austenita retenida en martensita y ésta representa una variable importante en cualquier interpretación de resultados, ya que cualquier variación de los mismos podría ser causada por el aumento de martensita [3, 4], en el presente estudio se ha visto la influencia de la estabilización de la austenita retenida para evitar dicha transformación.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se ha trabajado con un acero F1560 (tabla 1) que es un acero común en la fabricación de engranajes previa cementación. Se mecanizaron probetas de fatiga reliliencia y desgaste que posteriormente se cementaron.

Tabla 1. Composición química de un acero F1560.

%C	%S	%Si	%Ni
0.11-0.17	0.035	0.15-0.40	3.00-3.50
%P	%Mn	%Cr	%Mo
0.035	0.30-0.60	0.80-1.10	0.20-0.30

Se hicieron grupos para dar diferentes secuencias de tratamientos térmicos. En la tabla 2 se resumen dichos tratamientos.

Tabla 2. Secuencia de tratamientos dados a las diversas muestras

	Cementación	Revenido	T. Criog	Revenid o
C	si	200°C	C	200°C
CB	si	200°C	CB	200°C
S	si		CB	200°C
2	si	200°C	CB	200°C
N	si	200°C		200°C

C: Trat. Criogénico convencional
CB: Trat. Criogénico multietapa

Las muestras C y CB fueron sometidas a tratamiento criogénico justo después de la cementación, pero el resto de las muestras “durmieron” durante 120 días antes de ser tratadas criogénicamente. Este tiempo se estimó necesario para la estabilización de la austenita retenida [4].

Tampoco está claro cómo afecta un revenido antes y después del tratamiento criogénico o si por el contrario dicho revenido debe de realizarse después del tratamiento a bajas temperaturas. Por ese motivo se establecieron las secuencias 2 y S.

2.1. Ensayos de dureza

En la figura 1 se muestran los resultados de dureza. En principio, los tratamientos criogénicos no debieran modificar la dureza, si bien la transformación de austenita retenida en martensita podría aumentar algo la misma. Sin embargo, en las muestras 2 y S donde la austenita retenida ha sido estabilizada y por tanto no ha habido ningún cambio en la cantidad de martensita presenta los valores más altos mientras que la muestra N que no ha sido tratada criogénicamente tiene el valor más bajo. No se observa diferencia en los valores de dureza entre los tratamientos criogénicos convencional y multietapa.

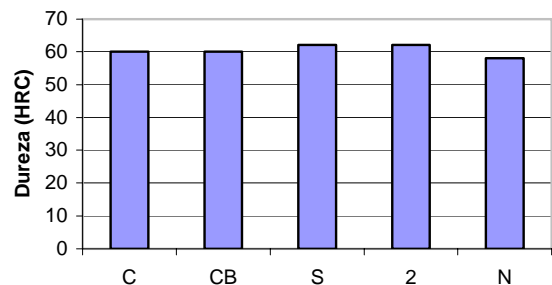


Figura 1. Durezas de las muestras.

2.2. Ensayo de microdureza

Para medir las microdurezas las muestras fueron sometidas a un montaje en frío para evitar que las temperaturas alcanzadas en los procesos de curado de los montajes en caliente pudieran modificar ningún valor.

En la figura 2 se muestran los distintos resultados de microdureza.

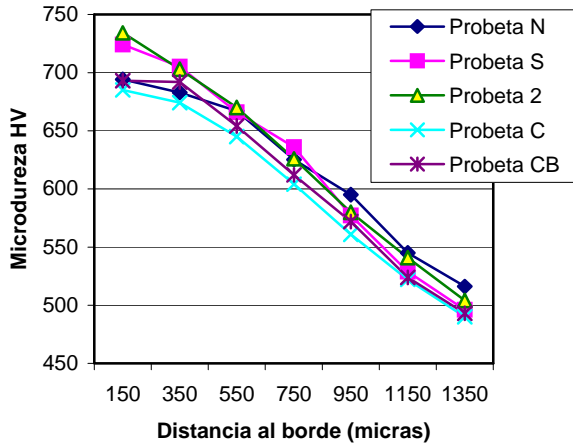


Figura 2. Microdureza de las muestras.

La probeta C presenta, en general valores inferiores y la probeta 2 presenta valores superiores. La probeta N (no tratada criogénicamente) se acerca a los valores más pequeños cerca de la superficie y sin embargo según se penetra hacia el núcleo presenta los valores más elevados. La probeta S presenta un comportamiento muy similar a la 2. De nuevo no se observa diferencia entre tratamiento criogénico convencional y multietapa.

2.3. Ensayo de resiliencia

En la figura 3 se muestran los resultados de resiliencia que no aportan ninguna información relevante salvo que en ningún caso hay un empeoramiento de la resiliencia que hiriera desestimar alguno de los tratamientos.

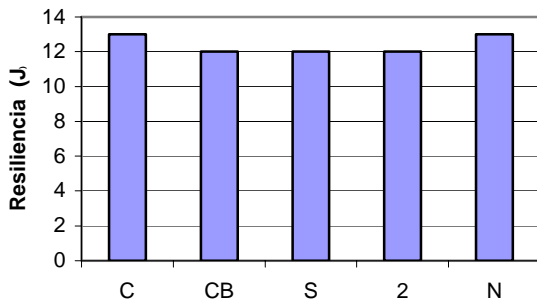


Figura 3. Resiliencia de las muestras.

2.4. Ensayos de desgaste

Los ensayos de desgaste se llevaron a cabo en una máquina pin-on-disk y fueron de 10000 ciclos utilizando una bola de alúmina como material de contacto, ya que la dureza de los aceros era muy grande y un cerámico sería el único material que dejara una huella medible. Posteriormente se midió el volumen desgastado mediante un rugosímetro. La superficie de

todas las muestras era idéntica para poder efectuar una comparación de los resultados.

En la figura 4 se muestran los resultados de los ensayos de desgaste, en términos de volumen desgastado. El mejor comportamiento lo presenta la muestra S sin revenido previo al tratamiento criogénico. Tampoco se observa un aumento en el volumen desgastado de la muestra N frente a las demás.

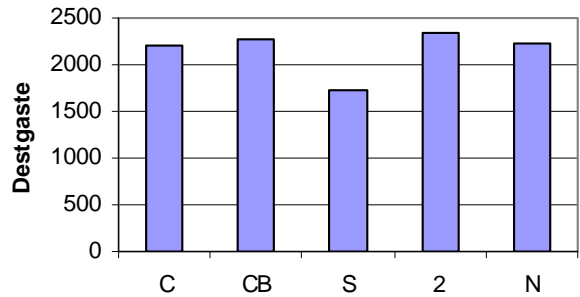


Figura 4. Desgaste de las muestras.

2.5. Ensayos de fatiga

Se establecieron tres niveles de carga y se hicieron ensayos de fatiga con probetas normalizadas según la norma ASM. Sin embargo, la falta de un número mayor de probetas por ensayo, ha provocado que los ensayos no sean lo suficientemente coherentes como para sacar conclusiones.

Solamente, se apunta el hecho de que con los ensayos hechos y con los resultados obtenidos, no parece que se obtenga mejor comportamiento a fatiga con ninguna de las secuencias. Tampoco parece que los tratamientos criogénicos mejoren esta propiedad, ya que las probetas N se encuentran en la media de los ciclos de las demás.

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este estudio se juega con dos efectos que los tratamientos criogénicos tienen sobre el acero: la austenita retenida se transforma en martensita (sólo en las muestras C y CB) y el segundo sería que se produce mayor porcentaje de precipitados y esa precipitación es más homogénea [6].

En los ensayos de dureza se observa que la dureza no muestra cambio en las probetas, a excepción de la N que no ha sido tratada criogénicamente y que tiene el menor valor, siendo este punto muy significativo ya que esto sugiere que el ligero aumento de dureza que se produce no es debido a la transformación de la austenita retenida sino al cambio en el espectro de la precipitación. También en los ensayos de microdureza se observa el aumento de la microdureza cerca de la superficie y se cómo esa diferencia desaparece a medida

que se penetra en el núcleo, donde ya no hay tantos carburos.

Por lo tanto, la estabilización de la austenita retenida mejora los valores de microdureza cerca de la superficie. Además tanto en microdureza como en dureza se observa cierto paralelismo entre las muestras C y CB (el tratamiento multietapa no afecta a los valores) y entre las muestras 2 y S (tampoco parece que un simple revenido o dos revenidos modifiquen los valores).

En los ensayos de desgaste, el comportamiento de la probeta S destaca frente a las otras. El tratamiento térmico dado a esta probeta suprimía el revenido anterior al tratamiento criogénico, dejando que fuera este último el que estableciera los núcleos de precipitación que posteriormente crecerían durante el revenido [6]. A priori un revenido a baja temperatura que relajara tensiones antes de un tratamiento tan severo como el criogénico, a tan baja temperatura, no parecía una mala opción. No obstante, deberán hacerse más ensayos al respecto variando temperaturas y secuencias, así como desgaste a distintas velocidades y cargas para poder establecer con precisión el mejor tratamiento.

Parece que el desgaste, a falta de estudios de fatiga más rigurosos, establecería la diferencia de comportamiento de las secuencias estudiadas, siendo el tratamiento de austenita estabilizada, criogénico y revenido, el que obtendría los mejores resultados.

4. CONCLUSIONES

- Después de un tratamiento criogénico, la dureza no se ve alterada por la transformación de austenita retenida en martensita.
- Los tratamientos criogénicos no parecen modificar las durezas del núcleo.
- Propiedades como la resiliencia o la vida a fatiga no se ven afectadas por los tratamientos criogénicos.
- El desgaste es la propiedad que se mejora con el tratamiento criogénico, resultando un tratamiento sin revenido anterior al tratamiento criogénico y un revenido posterior al mismo.
- Finalmente, no parece que haya diferencia entre dar un tratamiento criogénico convencional o multietapa, desde el punto de vista de propiedades, resultando este último más ventajoso desde el punto de vista industrial, por ser más corto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a D. Felix Estirado y a su empresa Cryobest por la realización de los tratamientos criogénicos y a D. Luis García Cambrónero y a la Escuela Técnica Superior de Minas de Madrid por las facilidades dadas para realizar los ensayos de desgaste.

REFERENCIAS

- [1] ASM. Mechanical testing and evaluation. ASM handbook, vol. 8, pp. 861-872, 2000.
- [2] Metal Handbook, vol. 4, third ed., ASM, 1991.
- [3] S. Zhirafar, A. Rezaeian, M. Pugh, *Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel*. J. of Mat. Proc. Tech. 186, pp. 298-303, 2007.
- [4] A. Molinari, M. Pellizzari, S. Gialanella, *Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels*, J. of Mat. Proc. Tech, 118, pp. 350-355, 2001.
- [5] F. B. Abudaia, J. T. Evans, B. A. Shaw, *Characterization of Retained Austenite in Case Carburized Gears and its Influence on Fatigue Performance*, Gear Technology, May/June 2003.
- [6] J. Y. Huang, Y. T. Zhu, X. Z. Liao, *Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel*, Mat Science & Engineering, A339, pp. 241-244, 2003.