

## Influencia de diferentes tratamientos termoquímicos en aceros sinterizados base molibdeno

N. Candela\*, R. Plaza\*, D. Ruiz-Amador\*, F. Velasco\* y J.M. Torralba\*

**Resumen** Polvos prealeados de aceros con diferentes contenidos de Mo - Cu - Ni - C se compactaron a 700 MPa y se sinterizaron a 1.120 °C en atmósfera de 95 % N<sub>2</sub>-5 % H<sub>2</sub>. Después de la sinterización, los materiales se trataron termoquímicamente para su cementación (proceso endogas). Para la caracterización de todos los materiales se realizaron ensayos de compresión del tipo "radial crushing strength", se calculó la densidad y se hizo un completo estudio de las superficies de fracturas a través de microscopía electrónica de barrido. Los resultados de resistencia a compresión muestran, después de la cementación, valores superiores a los encontrados en el estado sinterizado. La superficie de fractura da idea de la fragilidad del material y de la profundidad del tratamiento. En estado sinterizado, se observa una superficie de fractura totalmente dúctil, donde aparecen las características cavidades. Las superficies de fractura, tras distintos tipos de cementación, reflejan un comportamiento frágil en el exterior, mientras que el interior aparece una mezcla de fractura dúctil con frágil.

**Palabras clave** Sinterizados. Cementados.

### Influence of different thermal treatment in sintered steels base molybdenum

**Abstract** Prealloyed steel powders with different amount of Mo-Cu-Ni-C were compacted at 700 MPa and sintered at 1120 °C in 95 % N<sub>2</sub>-5 % H<sub>2</sub>. After sinterizing, these materials were treated by carburizing. For materials characterization radial crushing strength were preformed, density was calculated and a complete study of fracture surfaces was carried out using scanning electron microscopy. The results of radial crushing strength show that resistance after carburizing is higher than in sintered materials. The fracture surfaces give an idea of materials brittleless and the treatment depth. In sintered materials, a ductile surface was observed, with the characteristic dimples. The fracture surfaces after different treatments show brittlelessness in the outer zone, while inside appears a mix of ductile and brittle fracture.

**Keywords** Sintered. Carburizing.

## 1. INTRODUCCIÓN

Numerosos componentes mecánicos necesitan un tratamiento de endurecimiento superficial<sup>[1 y 2]</sup> que genere superficies de elevada dureza a la vez que se mantenga el interior tenaz. Los tratamientos de cementación cumplen con dichas características.

La presencia de porosidad interconectada<sup>[3 y 4]</sup> afecta a los resultados obtenidos después del tratamiento térmico, fundamentalmente en el caso de que el agente sea gas o líquido. Una pequeña serie de intercomunicaciones puede dar lugar a una penetración de carbono difícil de controlar, que puede producir capas no homogéneas.

El tratamiento de cementación consiste en la introducción de carbono en la superficie de la pieza, mediante un tratamiento térmico a la temperatura de austenización, entre 850 y 950 °C, bajo una atmósfera cementante. La dureza se obtiene con un posterior temple y es dependiente del potencial de carbono de la atmósfera cementante<sup>[5]</sup>.

Elementos de aleación como el cobre, níquel y molibdeno disminuyen la velocidad de enfriamiento para la formación de la martensita. Además, estos elementos disminuyen tanto el contenido en carbono que puede disolverse en la austenita, como la temperatura de comienzo de transformación martensítica Ms<sup>[6]</sup>.

(\*) Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Universidad Carlos III de Madrid. Avda. de la Universidad, 30. 28911 Leganés, Madrid (España).

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Se partió de polvos prealeados de denominación comercial Astaloy Mo, Distaloy DH-1, Distaloy DC-1 y Distaloy HP-1 (Höganäs, Suecia). El material base (Astaloy Mo) está aleado con 1,5 % de molibdeno y 0,01 % de carbono; el resto de materiales posee 2 % de cobre, 2 % de níquel y 2 % de cobalto con 4 % de níquel, respectivamente. Los materiales empleados en este estudio se fabricaron por vía pulvimetalúrgica. Estas aleaciones se compactaron a 700 MPa y se sinterizaron a 1.120 °C en atmósfera de 95 % N<sub>2</sub>-5 % H<sub>2</sub>.

Los compactos obtenidos se sometieron a un tratamiento termoquímico de cementación. La cementación se realizó a 875 °C durante 100 min y a dos potenciales de carbono, 0,88 % y 0,55 %.

Las propiedades evaluadas son la densidad, la resistencia a compresión mediante el ensayo "radial crushing strength" y se llevó a cabo un estudio microestructural para analizar las superficies de fractura. La densidad se midió utilizando el método de Arquímedes, según la norma ISO 2738 (ASTM B 328), los valores de resistencia a compresión se determinaron según la norma ISO 2729 y el estudio de las superficies de fractura se realizó utilizando un MEB.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se obtuvieron valores de densidad comprendida entre 6,8 y 7,1 g/cm<sup>3</sup>, todos ellos muy cercanos entre sí (los cuales representan valores típicos de aceros sinterizados). Comparando la influencia de los diferentes elementos de aleación (Fig. 1) se observa que los materiales aleados con cobre (Distaloy DH) presentan los menores valores de densidad debido a que el cobre provoca un hinchamiento. Por otro lado, se observa que los tratamientos termoquímicos de cementación conducen a un incremento de los valores de densidad, ya que este tratamiento consiste en un calentamiento a 875 °C que lleva asociado un cierre de porosidad y por consiguiente un incremento de densidad. Hay que considerar un error asociado a la medida de 1%. Este incremento de la densidad es superior en las probetas tratadas con un potencial de carbono menor, como se muestra en la figura 1.

En la figura 2 se representan los valores de resistencia a compresión obtenida a partir de un ensayo "radial crushing strength". Se puede apreciar que el tratamiento térmico de cementación mejora considerablemente dichos valores, siendo este in-

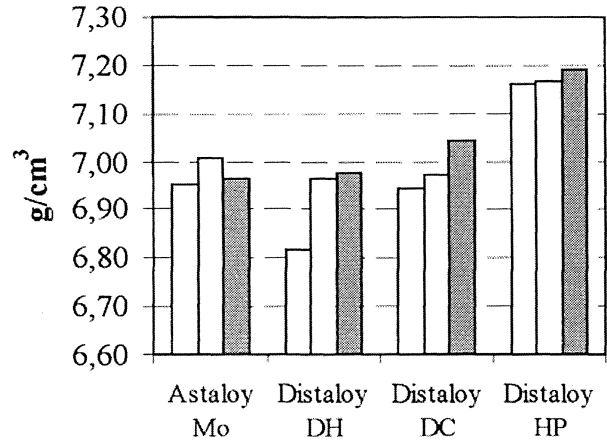


Figura 1. Valores de densidad de todos los materiales en estado sinterizado y después de las cementación con 0,55 y 0,88 % C.

Figure 1. Values of density for all the materials in sintered estate and after carburizing with 0.55 and 0.88 % C.

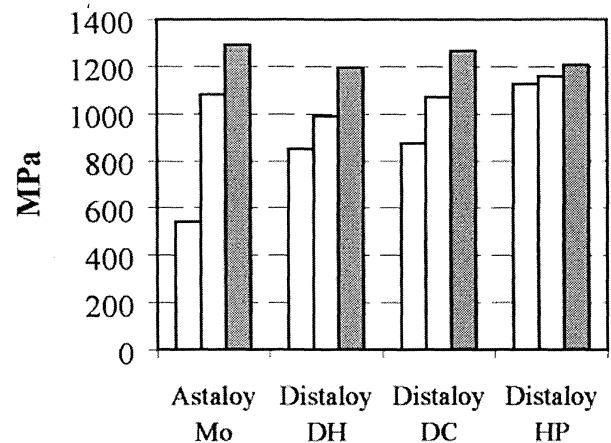


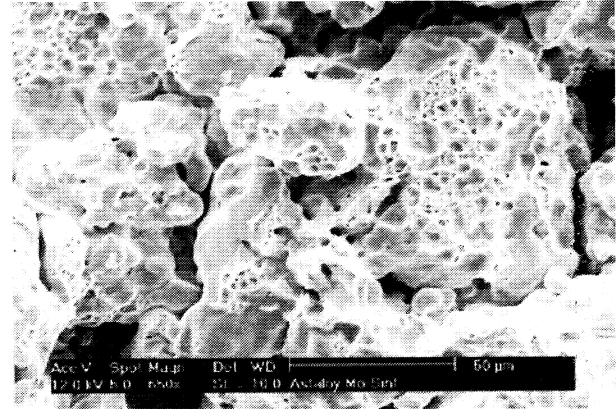
Figura 2. Valores de resistencia a compresión de todos los materiales en estado sinterizado y después de las cementación con 0,55 y 0,88 % C.

Figure 2. Values of radial crushing strength for all the materials in sintered estate and after carburizing with 0.55 and 0.88 % C.

cremento más acusado para el caso de la cementación con menor potencial, alcanzándose valores que superan los 1.200 MPa. Esta mejora de resistencia se asocia a un cambio en la microestructura de la superficie. Los mejores resultados aparecen en el material cementado bajo un potencial de carbono del 0,55 % y se asocia con la presencia de una microestructura del tipo bainítica. Por otro lado, para la cementación con 0,88 % de potencial de carbono se encontró una estructura martensítica, la cual es más frágil. Sobre la influencia de los elementos de aleación, se aprecia que al añadir

cobre se mejora la resistencia hasta 800 MPa, ya que favorece el incremento de propiedades por solución sólida. Este efecto se puede apreciar, también, al añadir níquel. En la aleación con níquel (Distaloy DC) se observa un ligero aumento de la resistencia y, para el Distaloy HP, con cobre y níquel, conjuntamente, se obtienen valores superiores a 1.100 MPa. Los resultados tienen un error del 5 %. Estos valores de *radial crushing strength* no tienen un comportamiento similar con la tendencia que presenta los valores de densidad ya que, si bien es verdad que ambas propiedades están relacionadas de manera muy estrecha en materiales pulvi-metalúrgicos, unas variaciones tan pequeñas de densidad no llevan asociadas una importante variaciones de propiedades mecánicas. Este hecho se puede relacionar con la variación de microestructura<sup>[7]</sup>.

En las siguientes micrográficas se muestran las superficies de fractura para el material en estado sinterizado (Fig. 3) y tras someterse a un trata-

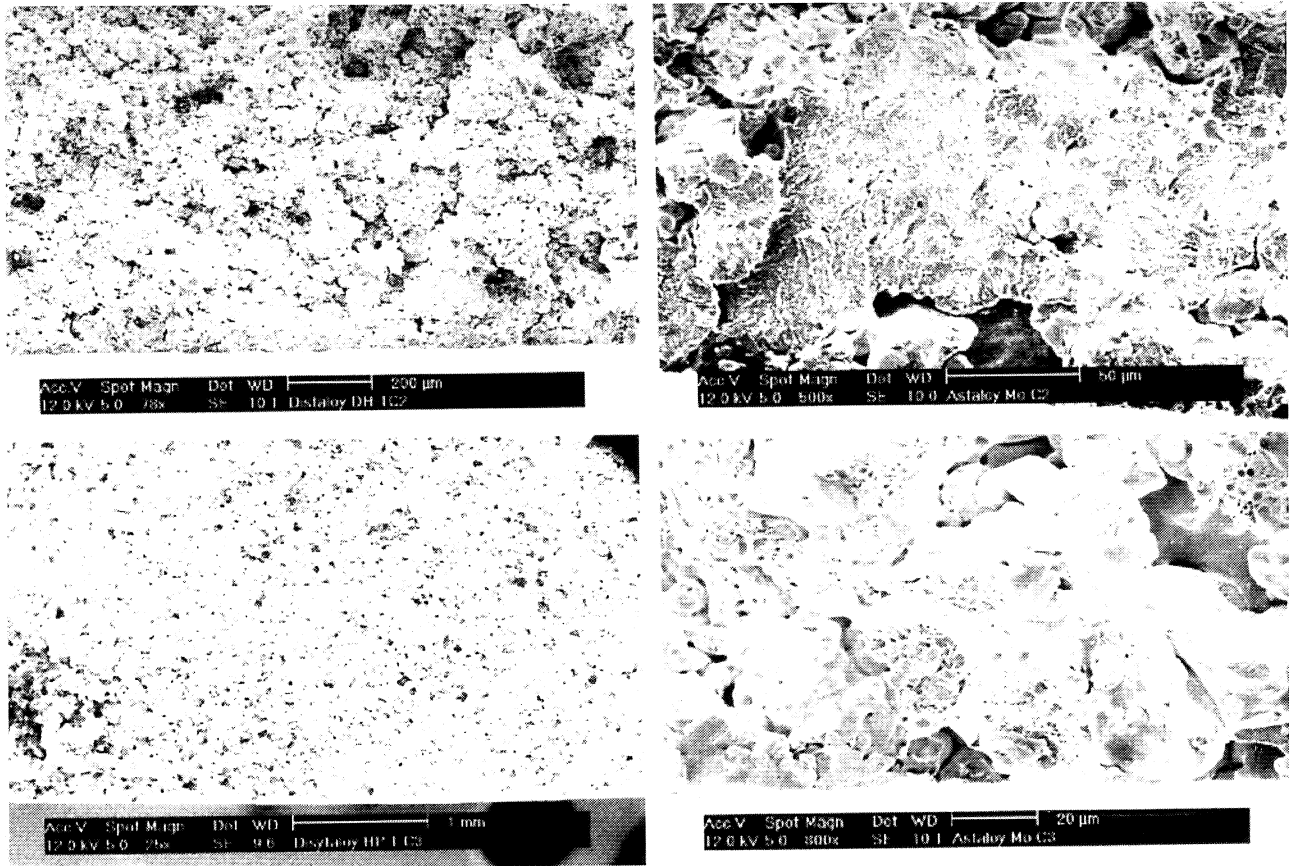


**Figura 3.** Superficie de fractura del Astaloy Mo en estado sinterizado.

*Figure 3. Fracture surface of as sintered Astaloy Mo.*

amiento de cementación con 0,55 % C y con 0.88 % C (Fig. 4).

Para el estado sinterizado se observa, independientemente de la composición del acero, una



**Figura 4.** Superficie de fractura después de la cementación con 0,88 % C (superior) para el Distaloy DH y Astaloy Mo y 0,55 % C (inferior) para el Distaloy HP y Astaloy Mo.

*Figure 4. Fracture surface after carburizing with 0.88 % C (up) for Distaloy DH and Astaloy Mo and with 0.55 % C (down) for Distaloy HP and Astaloy Mo.*

superficie de fractura dúctil característica, con la presencia de dimples o cavidades. Para la cementación 2 (con un potencial de carbono de 0,88 %) se observa, a bajos aumentos, una superficie de fractura con una morfología que varía desde la superficie al interior de la pieza. Esta zona exterior, cuyo tamaño varía entre 100 y 150  $\mu\text{m}$ , muestra, a mayores aumentos, una superficie de fractura totalmente frágil, caracterizada por la presencia de planos de decohesión.

Para la cementación 3 (con potencial de carbono de 0,55 %) no se observa, a bajos aumentos, una diferencia clara con la superficie de fractura que se obtuvo en el material sin cementar. Sin embargo, a mayores aumentos, aparece una mezcla entre fractura frágil y fractura dúctil que se asoció con la presencia de una estructura bainítica.

La profundidad de capa cementada se estudió<sup>[7]</sup> mediante medidas de microdureza y se observó que, para la cementación con 0,88 % de potencial de carbono y dependiendo del material considerado, los valores de microdureza están comprendidos entre 450 y 520  $\text{MHV}_{0,3}$ , mientras que para la cementación con 0,55 % los valores están comprendidos entre 370 y 490  $\text{MHV}_{0,3}$ . En este mismo trabajo se hace un estudio metalográfico pormenorizado de las piezas sinterizadas y la tratadas por cementación.

#### 4. CONCLUSIONES

- Los elementos de aleación incrementan los valores de resistencia a compresión. Además, cuando esos elementos son cobre y níquel, los valores de la densidad en el estado sinterizado, aumentan.
- Los valores de la resistencia aumentan cuando el material sinterizado se somete a un tratamiento de cementación. Este aumento de la resistencia es menor para un potencial de 0,88 %, puesto que, en este caso, aparece en la zona externa una fractura de tipo frágil debido, fundamentalmente, al cambio microestructural.

#### REFERENCIAS

- [1] N. CANDELA, F. VELASCO y J.M. TORRALBA, *J. Phys D*: 7 (1997) 1039-1045.
- [2] M. ROSSO et al., *Proc. Inst. Conf. Advances in Powder Metallurgy* 11 (1995) 827-838.
- [3] E. DUDROVÀ et al., *Euro PM*, 1997.
- [4] T. BELL, *Metal Handbook*, 425-436.
- [5] J. WANG y H. DANNINGER, *Wear* 222 (1998) 49-56.
- [6] HAMIUDDIN, *Powder Metall. Int.* 15 (1983).
- [7] N. CANDELA, R. PLAZA, M. ROSSO, F. VELASCO y J.M. TORRALBA, *International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies*, AMPT'99, pp. 767-774.