

## NITRURACIÓN POR ELECTROCALENTAMIENTO DE ACEROS MARTENSITO-ENVEJECIBLES

Dr. A.V. Belotsky

Catedra de Física de los Metales,  
Instituto Politécnico de Kiev, URSS.

Lic. Daniel Codorniú Pujals

Facultad de Química y Física

Universidad Central de Las Villas

### RESUMEN

Dos tipos de acero martensito-envejecible son nitrurados por electrocalentamiento en una cámara especial de rayos X para altas temperaturas.

La temperatura de nitruración varía entre  $480^{\circ}$  y  $700^{\circ}\text{C}$

Las muestras tenían inicialmente tres estados estructurales diferentes: austenítico, martensítico y austenito-martensítico.

Se presentan las curvas de microdureza y el estudio de rayos X. Los resultados experimentales demuestran que la estructura inicial puede cambiar drásticamente las propiedades de las capas nitruradas.

## ABSTRACT

Two maraging steels are nitrided by electrohenating in a special high-temperature X-ray camera.

The nitriding temperatures varies from 480 to 700°C. Samples was initially in three different structural states: austenitic, martensitic and austenito-martensitic.

Curves of microhardness and results of X-ray studies are presented. Experimental results show that initial structure of steel can drasticallly changes the properties of nitrided layers.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se estudia el proceso de nitruración en los aceros H27T3 y H2602T3E, y los efectos del mismo sobre la estructura y propiedades superficiales. Los aceros de este tipo comenzaron a llamar la atención de los investigadores en el último decenio. En dependencia del tratamiento térmico previo, ellos pueden existir a temperatura ambiente en estado austenítico, en estado martensítico o en un estado bifásico ( $\gamma + \alpha$ ). Además, la transformación martensítica inversa y los procesos de envejecimiento que tienen lugar tanto en la austenita como en la martensita, ejercen una influencia significativa sobre la estructura y propiedades de estos aceros(1). Esto da la posibilidad de regular el estado inicial previamente a la nitruración y combinar la

saturación con nitrógeno con la transformación inversa  $\alpha \rightarrow \gamma$  y/o con el envejecimiento.

## Materiales y métodos

Los aceros estudiados tienen la siguiente composición química: H27T3 (0,02%C; 26,4%Ni; 2,65%Ti; 0,03Al; 0,17%Nb; 0,27%Mn; 0,29%Si; 0,003%P; 0,005%S) y H2602T3E (0,02%C; 26,4%Ni; 2,95%Ti; 2,24%Al; 0,33%Nb; 0,2%Mn; 0,25%Si; 0,003%S; 0,003%P). Las muestras se prepararon en forma de láminas de dimensiones 40x5x0,4 mm. En el estado inicial las muestras contenían austenita y 10-20 % de martensita.

El estado austenítico se obtuvo templando las muestras en agua desde la temperatura de 1100°C. El estado con alto porcentaje de martensita (> 80 %) se obtuvo mediante el enfriamiento a la temperatura del nitrógeno líquido. Además, con el objetivo de obtener un estado con un porcentaje intermedio de martensita (40 - 60 %) algunas muestras se enfriaron en nitrógeno líquido no directamente después del temple, sino pasados algunos días lo que garantiza una estabilización parcial de la austenita.

La nitruración se efectuó por calentamiento eléctrico en una cámara especial para rayos X a altas temperaturas descrita en (2), la cual permite tomar una serie de roentgenogramas durante la nitruración. Como medio de saturación se utilizó el amoníaco. Los regímenes de nitruración

fueron los siguientes:  $480^{\circ}\text{C}$ -6hs,  $550^{\circ}\text{C}$ -3hs y 6hs;  $700^{\circ}\text{C}$ -3hs. En el difractómetro DRON-2 fueron tomados los difractogramas de las muestras nitruradas con radiación de hierro.

Además se llevó a cabo el análisis metalográfico y se midió la microdureza de la capa nitrurada en el equipo PMT-3.

#### Resultados experimentales

En la fig. 1 se muestra la distribución de la microdureza por la profundidad de la capa para el acero H26K2T3B nitrurado a  $480^{\circ}\text{C}$ . Se observa que los mejores resultados corresponden al estado bifásico  $\alpha + \gamma$  con (10-20%) $\alpha$ . En este caso la microdureza en la capa superficial alcanza los  $15000\text{MN}/\text{m}^2$  y cae paulatinamente hasta  $2000\text{MN}/\text{m}^2$  en el núcleo de la muestra.

La profundidad de capa en este caso es aproximadamente de 0,1 mm. Resultados bastante diferentes se obtienen con la nitruración de este acero a la misma temperatura para con otros estados iniciales. La nitruración en el estado templado (fase  $\gamma$ ) cambia poco la microdureza.

En el estado martensítico la microdureza en la capa nitrurada no supera los  $7500\text{MN}/\text{m}^2$ .

Los resultados de la nitruración del acero H27T3 a  $480^{\circ}\text{C}$ . (fig 2) son semejantes a los obtenidos en el H26K2T3B, observándose el máximo aumento de microdureza en el estado bifásico  $\gamma + \alpha$ . Sin embargo, en este caso la microdureza no alcanza valores superiores a las  $9000\text{MN}/\text{m}^2$ .

Altos valores de la microdureza se observan también en la nitruración de ambos aceros en estado bifásico a la temperatura  $550^{\circ}\text{C}$  (fig 3). En el estado obtenido después del temple, conservación a la temperatura ambiente y el posterior tratamiento en frío se presenta, después de la nitruración durante 6 hs, una profundidad de capa del orden de las  $120\mu\text{m}$  con una elevada microdureza. En el estado con  $\gamma + (10-20\%)\alpha$  se observa un comportamiento semejante de la microdureza pero la profundidad de la capa es algo menor.

A medida que aumenta el tiempo de nitruración a la temperatura de  $550^{\circ}\text{C}$ , crece la profundidad de la capa nitrurada, pero la microdureza disminuye.

La nitruración a alta temperatura ( $700^{\circ}\text{C}$ -3h) implica un aumento considerable de la profundidad de las capas, con valores apreciables de la microdureza. (fig 4).

En la figura 5 se presenta la microestructura de la capa para el acero H27T3 en estado  $\alpha$ , nitrurado en este régimen.

Observese la gran delimitación de la frontera capa/metal-base, lo cual es una característica distintiva de la nitruración en este tipo de acero.

La difracción de Rayos X y la roentgenografía de altas temperaturas muestran que las fases fundamentales que se encuentran en las capas nitruradas son la austenita nitrogenada ( $\gamma$ ) y el nitruro cúbico  $\gamma'$  con estructura semejante al  $\text{Fe}_4\text{N}$ , pero en el cual participan además en este caso los elementos de aleación.

La cinética de la formación del nitruro  $\gamma'$  depende de la temperatura de nitruración y del estado inicial de fases. En la fig 6 se muestra la secuencia de patrones de rayos X obtenidos en la cámara de nitruración de altas temperaturas para el acero H27T3 con el régimen  $480^\circ\text{C}$ -6h estado inicial  $\gamma + \alpha$ . En el primer cuadro, que corresponde al estado inicial el patrón muestra líneas de austenita y martensita. Ya en el segundo cuadro, que corresponde a 7 min de nitruración aparecen líneas de la fase  $\gamma'$  y además las líneas de fase  $\gamma$  se desplazan hacia los ángulos pequeños y se desdoblan. El desdoblamiento de la fase  $\gamma$  se desplazan hacia los ángulos pequeños y se desdoblan. El desdoblamiento de la fase  $\gamma$  desaparece para los tiempos grandes de nitruración. El resultado final de la nitruración es una capa compuesta de  $\gamma'$  y de austenita nitrogenada de alto parámetro. El tiempo de aparición de las primeras líneas de  $\gamma'$  es mucho más lento para las muestras que se nitruran en estado martensítico a

$480^\circ\text{C}$ . Sin embargo a temperaturas de  $550^\circ\text{C}$  y superiores las líneas de  $\gamma'$  aparecen inmediatamente con independencia del estado inicial de fases, para la nitruración por electrocalentamiento.

#### Discusión de los resultados

Los resultados presentados demuestran el mejoramiento que puede obtenerse de las propiedades superficiales de los aceros H27T3 y H26 2T3 cuando estos se nitruran en condiciones adecuadas.

Partiendo del análisis de los roentgenogramas y curvas de microdureza no es fácil explicar el cuadro obtenido, ya que en principio la composición de fases es semejante para todos los regímenes experimentados. Sin embargo, es lógico pensar que las características estructurales de estas fases, que dependen del estado inicial de las muestras, pueden ejercer influencia sobre las propiedades obtenidas. Así por ejemplo, las líneas de  $\gamma'$  en el acero H26J2T3E nitrurado a  $480^\circ\text{C}$  desde el estado inicial austenítico se presentan muy precisos en el difractograma (fig 9a) con un período de la red de 3,76 Å.

Pero si la nitruración se efectúa desde el estado martensítico entonces dichas líneas aparecen ensanchadas y corresponden a un parámetro de 3,82 Å (fig 9c). Además, cuando la nitruración se lleva a cabo en el estado  $\gamma + \alpha$  aparecen entonces dos conjuntos de líneas (fig 9b) que

corresponden a  $\gamma'$  con parámetros 3,75 y 3,81 Å. Precisamente en este último caso (fig 1) es donde se obtiene la mayor microdureza. Se puede entonces suponer que la presencia de dos tipos diferentes de  $\gamma'$  con diferentes períodos de la red provocan tensiones internas que traen consigo un endurecimiento adicional de la capa. La formación de dos tipos de nitruros complejos del tipo  $\gamma'$  en presencia de elementos aleados, ha sido reportada en la nitruración de otras aleaciones de hierro (3). A temperaturas más altas, los procesos difusivos no permiten la coexistencia de dos nitruros diferentes, y el efecto reportado a 480°C no se observa. No obstante a esta temperatura entra en juego el fenómeno de la transformación martensítica inversa, que como se sabe (8) provoca la acritud física de la austenita. Esta puede ser la causa de que se obtengan buenos resultados cuando las muestras que contienen alguna cantidad de martensita en el estado inicial, se nitruran a 550°C y 700°C.

#### CONCLUSIONES

1. Al nitrurar los aceros H27T3 y H26K2T3B en estado no envejecido y conteniendo inicialmente más de un 10 % de martensita, se forma una capa nitrurada con microdureza entre 7000 y 10000MN/m<sup>2</sup>. A temperaturas inferiores al punto A<sub>s</sub> se pueden obtener valores de la microdureza superiores a 12000MN/m<sup>2</sup>.

2. La capa nitrurada de estos aceros contiene como fases fundamentales la austenita nitrogenada y el nitruro cúbico de hierro y elementos aleado del tipo  $\gamma'$ . Las características de este nitruro dependen de la temperatura de nitruración y del estado inicial.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Kokorin, V.V. y cols.  
Metaloviedrenie i termicheskaya obrabotka metalov, 11, pag 32, (1979).
2. Codorniu, D.; A.V. Betotski.  
Estudio de la transformación  $\gamma + \alpha + \gamma$  en aceros con alto contenido de níquel.
3. Belotski, A.V.; O.G. Pajarenko  
Roentgenografia de altas temperaturas de los procesos de tratamiento térmico de los metales, K.P.I., URSS. (1979).
4. Garbach, V.G.  
Metalofizika, Vol. 27, URSS. (1970).

Recibido 11.10.82

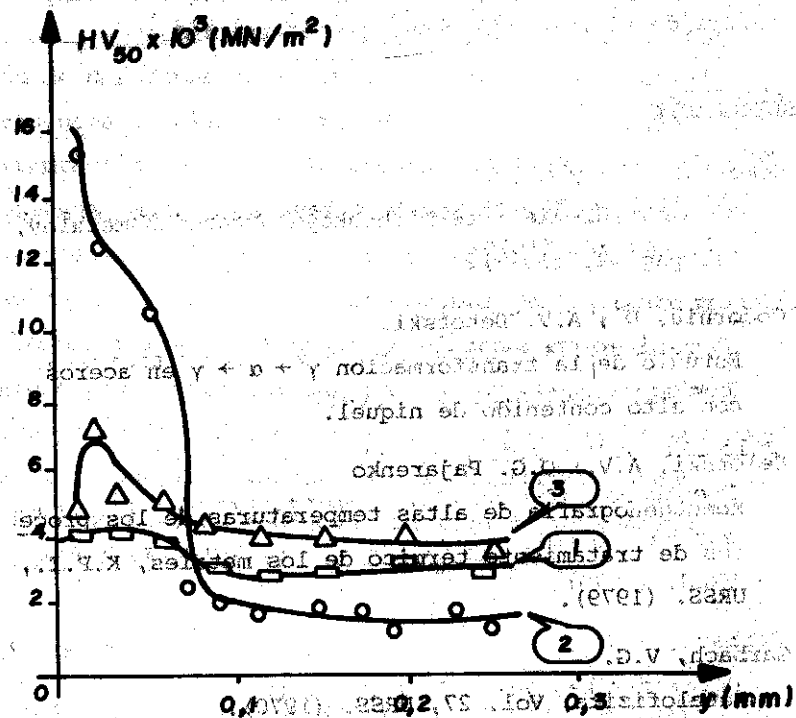


Fig. 1. Distribución de la microdureza en la profundidad de la capa nitrurada en el acero A2602T35 nitrurado 6 hs. a 480°C. Estados iniciales:

1.  $\gamma$       2.  $\gamma + \alpha$       3.  $\alpha$

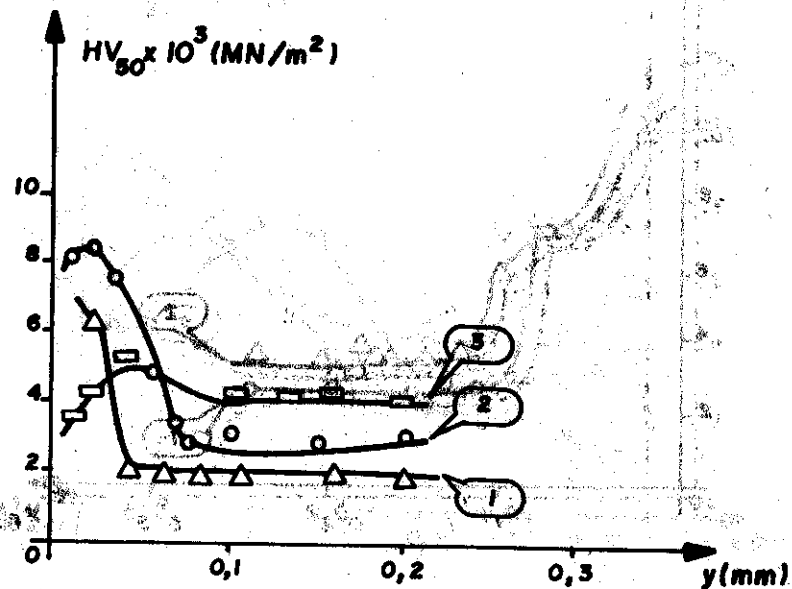


Fig. 2. Idem a la fig. 1 para el acero H27T3

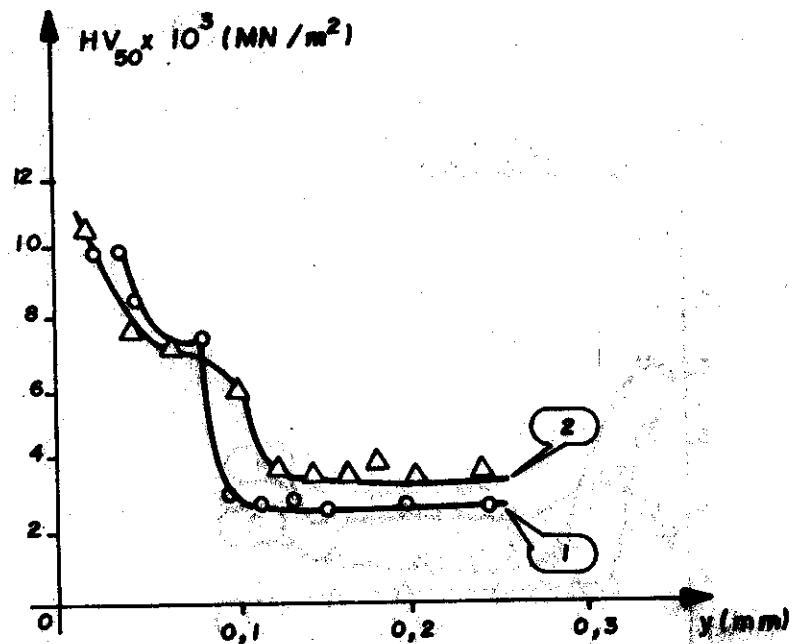


Fig. 3. Distribución de la microdureza en la profundidad de la capa nitrurada en el acero H27T3 nitrurado 3 hs. a 550°C.  
Estados iniciales:

1.  $\gamma' + (10-20)\% \alpha$
2.  $\gamma' + (40-60)\% \alpha$

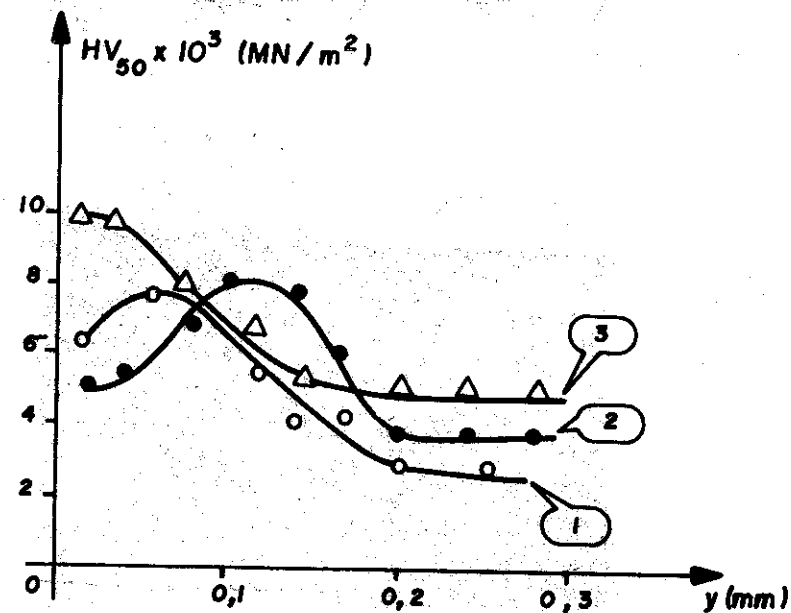


Fig. 4. Distribución de la microdureza en la profundidad de la capa en los aceros estudiados, después de la nitruración a 700°C durante 3 hs.

1. H2602T3E (estado  $\alpha$ )
2. H27T3 ( $\gamma' + 10-20\% \alpha$ )
3. H27T3 (estado  $\alpha$ )



Fig. 5. Microestructura del acero H27T3 (estado  $\alpha$ ) nitrado a 700°C durante 3 hs. 300 x.

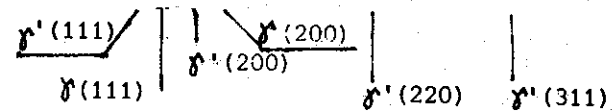
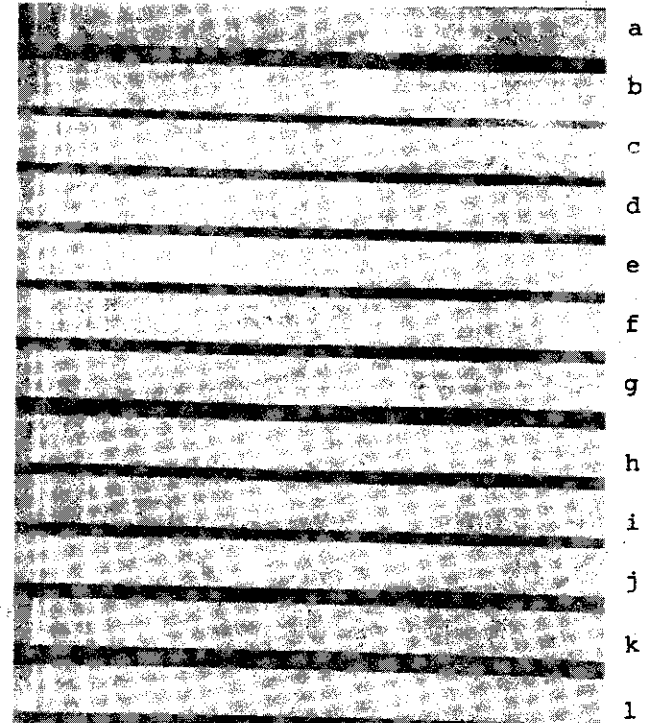
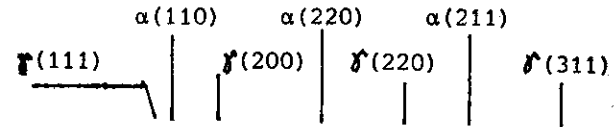


Fig. 6. Secuencia de patrones de rayos X obtenidas en la cámara de altas temperaturas durante la nitruración del acero H27T3 (estado  $\gamma+\alpha$ ) a 480°C durante 6 hs.

- a. Estado inicial      b. 7 min. de nitruración  
 c. 15 min      d. 30 min      e. 45 min.      f. 60 min.  
 g. 90 min:      h.120 min      i.180 min      j.240 min.  
 k.360 min.      l. despues del enfriamiento hasta la temperatura ambiente



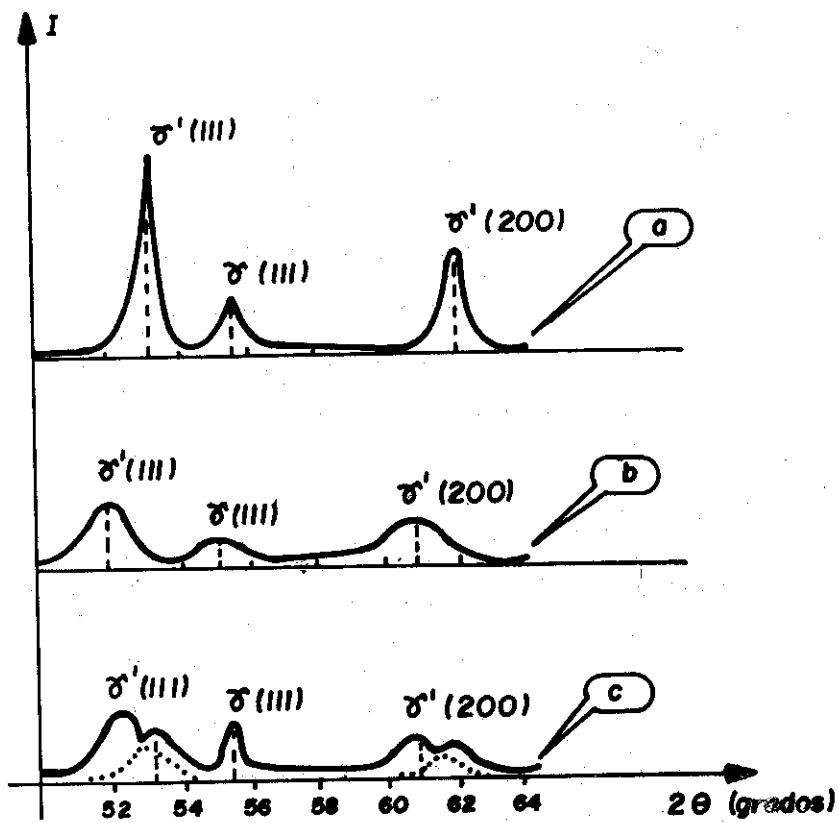


Fig. 7. Perfiles de los difractogramas del acero H26K02T3E después de la nitruración 6 hs. a 480°C. Estados iniciales:

a.  $\gamma$     b.  $\alpha$     c.  $\gamma + \alpha$