

1 1984

04.84.14

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE DESARROLLO

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL POR MAQUINADO EN ACEROS
INOXIDABLES AUSTENITICOS .
PARTE II

Perla ALVAREZ, Raúl VERSACI y Alfredo HEY

Buenos Aires

1984

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL POR MAQUINADO EN ACEROS
INOXIDABLES AUSTENITICOS

PARTE II

P. Alvarez*, R. Versaci* y A. Hey

* Comisión Nacional de Energía Atómica

I INTRODUCCION

En el presente trabajo se relaciona, a través de observaciones por microscopía electrónica de transmisión en láminas delgadas, la cantidad de deformación con el porcentaje de martensita inducida por deformación a distintas temperaturas y ésta a su vez con las mediciones de respuesta magnética.

En etapas anteriores del presente trabajo (1,2) se ha analizado la respuesta de los aceros inoxidables austeníticos más comunes (304; 316; 347) a los procesos de trabajado, con énfasis en los que introducen deformación superficial, como ser maquinado con arranque de viruta. Los resultados obtenidos hasta el presente confirman que el grado de endurecimiento por trabajado en aceros inoxidables austeníticos está determinado por la composición química y por variables del proceso como temperatura de trabajado y cantidad de deformación, y que la eliminación del mismo requiere tratamientos a temperaturas superiores a 500°C.

En el caso particular de maquinado por arranque de viruta la magnitud y profundidad del endurecimiento superficial depende de:

- Temperatura de trabajado.
- Tipo de herramienta.
- Condiciones de corte como: avance y profundidad de pasada.
- Composición del material.

La estabilidad de un acero inoxidable austenítico se refleja por su valor de Md_{30} , que es la temperatura a la cual se forma 50% de martensita α' con 30% de deformación. Este valor se calcula en base a la composición expresada en porcentos en peso (3).

$$Md_{30} = 497 - 462(\%C + \%N) - 9,2(\%Si) - 8,1(\%Mn) - 13,7(\%Cr) - 20(\%Ni) - 18,5(\%Mo)$$

Este valor es un buen indicador de la tendencia del material a formar martensita en el material deformado, la que puede evaluarse mediante ensayos no destructivos de respuesta magnética.

Se han analizado asimismo los efectos de variaciones de composición, dentro de las especificaciones de norma, para distintas partidas de aceros 304 y 304L

II MATERIALES Y METODOS EXPERIMENTALES

Se utilizaron aceros tipo 304 y 304L de procedencia comercial. La Tabla I muestra las composiciones de los diferentes aceros utilizados.

Tabla I

	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	N
1	0,04	1,54	0,82	9,58	17,11	0,10	0,024
2	0,03	1,52	0,82	9,53	17,00	0,10	0,018
3	0,05	1,56	0,57	9,66	16,89	0,16	0,035
4	0,05	1,16	0,55	9,52	17,22	0,73	0,029
5	0,03	1,67	0,79	10,22	17,82	0,70	0,031
7	0,02	1,83	0,56	9,68	12,34	0,11	0,035

Todas las muestras fueron sometidas a un recocido previo de 1 hora a 1050°C y enfriamiento natural, ambos en va
cío.

Los ensayos de maquinado se hicieron por cepillado a baja velocidad con herramienta de ángulo de corte negativo. Las deformaciones por laminación se realizaron con laminadora STANAT con cilindros de 120 mm de \emptyset y a una velocidad de 27 rpm, conteniendo las probetas entre pasada y pasada en ba^ños termostatzados a la temperatura fijada para cada experien^{cia} en particular.

Se midió dureza y microdureza con durómetros Vickers y microdurómetros Leitz, y la respuesta magnética se midió con un equipo (Inst. Dr. Foster Mod. 1053) para detección de ferrita delta en soldadura. Con las mediciones de dureza tomadas en un corte transversal se trazó un perfil de penetración. Las durezas se tomaron con carga de 50 g.

Para las observaciones de microscopía electrónica de transmisión se utilizaron discos de 3 mm de diámetro.

Para la obtención de las láminas delgadas se utilizó un equipo de "doble jet" con reactivo de ácido acético y perclórico 10% y una corriente de 100 mA. La temperatura de trabajo es de 2 a 3°C.

Estas láminas fueron observadas a temperatura ambiente con un microscopio electrónico Philips EM 300 operado a 100 KV.

El porcentaje de martensita α' fue medido utilizando la técnica de conteo de puntos sobre las micrografías obtenidas.

III RESULTADOS

Utilizando datos obtenido en trabajos anteriores (Fig. 1) vemos que es muy distinta la respuesta a la deforma-

ción por laminación en lo que se refiere a la dureza, elongación uniforme y respuesta magnética (esta última variación daría una relación directa del porcentaje de martensita α' formada, debido a sus propiedades magnéticas.

Asimismo, introduciendo deformaciones por maquinado con arranque de viruta, se observa el comportamiento para los tres aceros en estudio, donde se pone de manifiesto (Fig. 2) que para una misma cantidad de material eliminado es distinto el efecto sub-superficial (transformación martensítica) por lo tanto serán distintos los pasos a seguir para eliminar la capa sub-superficial introducida, Fig. 3. El espesor de la capa sub-superficial varía entre 0,2 mm y 2,5 mm según sea el material utilizado y manteniendo constante las condiciones de corte. De lo anterior se infirió la importancia de la composición química del material trabajado aún dentro de las composiciones establecidas en norma.

III.1 Laminación

En las probetas laminadas con el método anteriormente descrito midió dureza y respuesta magnética. Los valores de las mismas se graficaron según Fig. 4 y Fig. 5.

Del primero se establece la variación de dureza para distintos grados de deformación y a distintas temperaturas

de trabajo: -70°C , 0°C y 90°C .

En la Fig. 5 para los aceros de la composición indicada y para una deformación de 30% se estudia como varía la respuesta magnética para distintas temperaturas de deformación.

De las probetas deformadas a diferentes temperaturas se obtuvieron láminas delgadas para observaciones de microscopía electrónica de transmisión.

La fracción de volumen de martensita α' fue medida sobre las micrografías Figs. 6-7-8-9-10.

Con las mediciones de porcentajes de martensita α' determinados por MET y con los valores de respuesta magnética medidos con ferrímetro, pudimos realizar una calibración de este último en función de porcentajes en volumen de martensita α' .

Recordando que el valor Md_{30} es aquella temperatura a la cual para un 30% de deformación se forma un 50% de martensita, podemos calcular en el gráfico de la Fig. 5 el valor de Md_{30} experimental, que coincide con una correlación de 0,97, error 4,6%, con los obtenidos por la ecuación de Gladman (3).

Los valores de Md_{30} experimentales se comparan con

los teóricos, Fig. 13, y se ve que todos caen dentro de la banda de valores permisibles para el rango de composición aceptada por normas.

III.2 Maquinado

En los ensayos realizados por cepillado con arranque de viruta sobre probetas de los aceros en estudio se determinó por mediciones de microdurezas el perfil de penetración de la capa sub-superficial. Según sea la composición del material dicha capa varía entre 0,2 mm y 3 mm.

Se relacionó esta profundidad con los valores de Md_{30} para cada acero, Fig. 14.

IV. DISCUSION

La evaluación del avance de la transformación martensítica a través de mediciones del incremento de dureza no es demasiado rigurosa ya que en este incremento estaría involucrado:

1. El endurecimiento por trabajado de austenita.
2. El endurecimiento por la transformación martensítica.
3. El aportado por el endurecimiento por trabajado de la martensita.

La evaluación a través de la respuesta magnética en sí proporciona solamente valores comparativos.

Debido a que la susceptibilidad magnética de delta-ferrita es distinta de la de martensita α' es necesario calibrar el delta ferrímetro para diferentes contenidos de martensita α' .

Los valores absolutos ($\% \alpha'$) se obtuvieron a través de las mediciones de MET. Esta calibración es coincidente con la realizada por mediciones de saturación magnética (4).

Esta calibración es solamente válida para aceros 304 ya que en éstos se llega a saturación con alrededor de 80% en volumen de martensita. Nuestras mediciones nos permitieron llegar hasta el 50% en volumen de martensita; más allá de este valor el error es considerable por las características de la técnica aplicada.

De las observaciones por MET se determina la presencia de distintas variantes de martensita α' .

Como se puede observar en la Fig. 6, en la que el material ha sido deformado un 6% a -70°C , presenta zonas de martensita α' . En los alrededores de estas zonas así como en la fase α' no se observa presencia de maclas.

Si comparamos esta micrografía con la de la Fig. 7, que ha sido deformada un 20% a igual temperatura, observamos un importante cambio en el porcentaje de fase α' .

La micrografía de la Fig. 9 corresponde a una probeta deformada 20% pero a -20°C . Comparando Fig. 7 y Fig. 10 se puede apreciar la influencia de la temperatura en la transformación martensítica. La micrografía 9 corresponde a una imagen de campo oscuro de la zona observada en la micrografía 9.

De la observación de las micrografías 9 y 10 se evidencia que la formación de la fase α' se produce en la intersección de las bandas de deformación, o bien en la intersección de las bandas de deformación y maclas.

Por el contrario, se ve en la micrografía Fig. 10 que al aumentar la temperatura a 0°C y con una deformación del 20% se observa solamente la formación de bandas y un bajo porcentaje de martensita α' .

También es posible observar la formación de maclas. En la Fig. 15 se observa una imagen de campo claro de las mismas y en la Fig. 16 tenemos una micrografía en campo oscuro correspondiente a las maclas de la Fig. 15.

La presencia de estas maclas está claramente evidenciada en el diagrama de difracción de electrones como el de la Fig. 17, donde se observa el alargamiento de las manchas de difracción producidas por la presencia de maclas.

Si se continúa aumentando la temperatura para una deformación del 20% para el caso de deformaciones a 90°C, se puede observar solamente amplias bandas de deformación, Fig. 18, y zonas con alta densidad de dislocaciones, Fig. 19.

La evaluación de la estabilidad del acero frente a la transformación martensítica se efectuó a través del valor Md_{30} experimental.

Es de notar que el rango de valores de Md_{30} aún para composiciones dentro de norma es amplio, Fig. 12, y que nuestros valores experimentales caen dentro de dicho rango.

La temperatura Md_{30} experimental para los aceros utilizados varía entre 5°C y -45°C; ésto se traduce en una significativa variación en el endurecimiento para los distintos aceros. Es así que a 0°C para 30% de deformación se observan porcentajes de martensita entre 12% y 55%, de dureza entre 324 y 405 HV. Este comportamiento se refleja en la magnitud del daño introducido por maquinado, observándose un aumento de la profundidad del daño para temperaturas de Md_{30} crecientes.

Es interesante recordar que para las composiciones límites admitidas por norma la temperatura Md_{30} teórica del acero 304L puede variar entre 38°C y -67°C .

En los ensayos realizados por cepillado con arranque de viruta se puso de manifiesto todo lo dicho anteriormente. Se maquinaron probetas de los aceros en estudio y por el método de determinar el espesor sub-superficial deformado a través de un perfil de microdurezas, se evaluó la relación entre éste y el Md_{30} calculado.

De esta correlación, Fig. 14, surge la relación directa que existe entre la estabilidad del acero austenítico con el que se trabaja, puesto en evidencia a partir del valor Md_{30} calculado para cada caso en particular, y la deformación introducida para el trabajado superficial.

Como la variable temperatura juega un papel importante en la transformación inducida por deformación, en los ensayos de maquinado superficial se trabajó a la misma temperatura, quedando para una etapa posterior el estudio de la influencia de la temperatura durante el proceso de maquinado.

V CONCLUSIONES

1. Es válida para los aceros 304 la relación entre res puesta magnética y porcentaje en volumen de martensita α' obte

nido a partir de mediciones sobre láminas delgadas.

2. La magnitud del endurecimiento por trabajado, en particular el debido a la martensita inducida por deformación varía considerablemente por efectos de diferencias de composición aún dentro de los límites admitidos por norma.

3. La magnitud del daño sub-superficial introducida por maquinado disminuye al disminuir el valor Md_{30} , es decir aumenta la estabilidad estructural del acero.

4. En función de dicha estabilidad se deben programar las etapas finales de trabajado de manera tal que la transformación martensítica sea mínima y controlable.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Sr. O. Carpineta y de las empresas FITZNER Hnos. SAIC y DALMINE SIDERCA.

REFERENCIAS

1. P. Alvarez - A. Hey. A.B.M., julio 1983.
2. P. Alvarez - A. Hey. A.A.T.N., noviembre 1983.
3. T. Gladman - J. Hammond - F.W. Marsh. Sheet Metal Industries 51 (s), mayo 1974, 219.
4. S.S. Hecker - M.G. Stout - K. Staudhammer - J.L. Smith. Met. Trans. 13 A, 1982, 619.

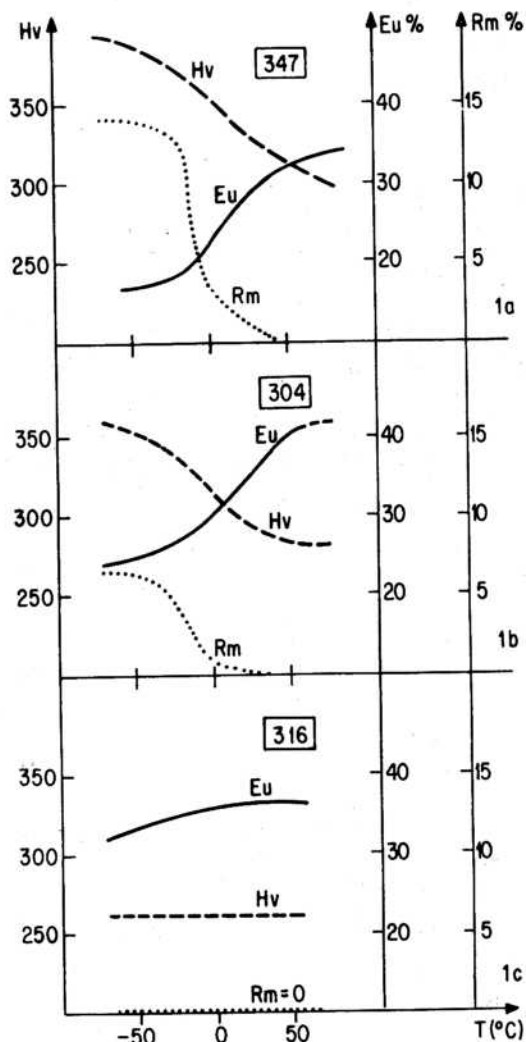


Fig. 1: Dureza Hv — Respuesta magnética Rm — Alargamiento uniforme en tracción Eu — en función de la temperatura de laminación. Reducción 20 %

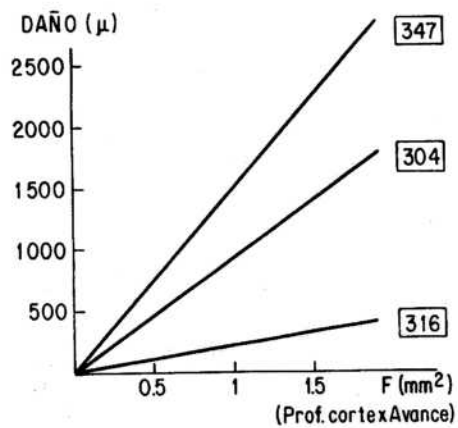


Fig. 2: Material eliminado vs. Profundidad de daño en el material.

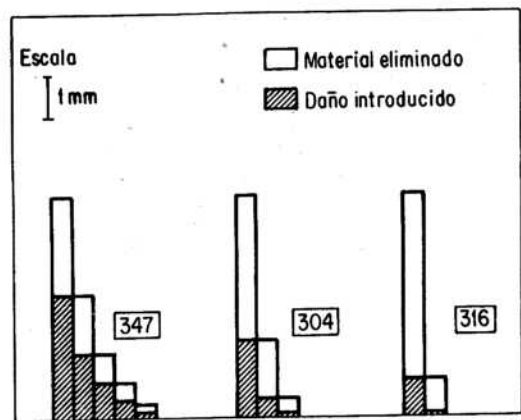


Fig. 3: Esquema del maquinado en los aceros estudiados

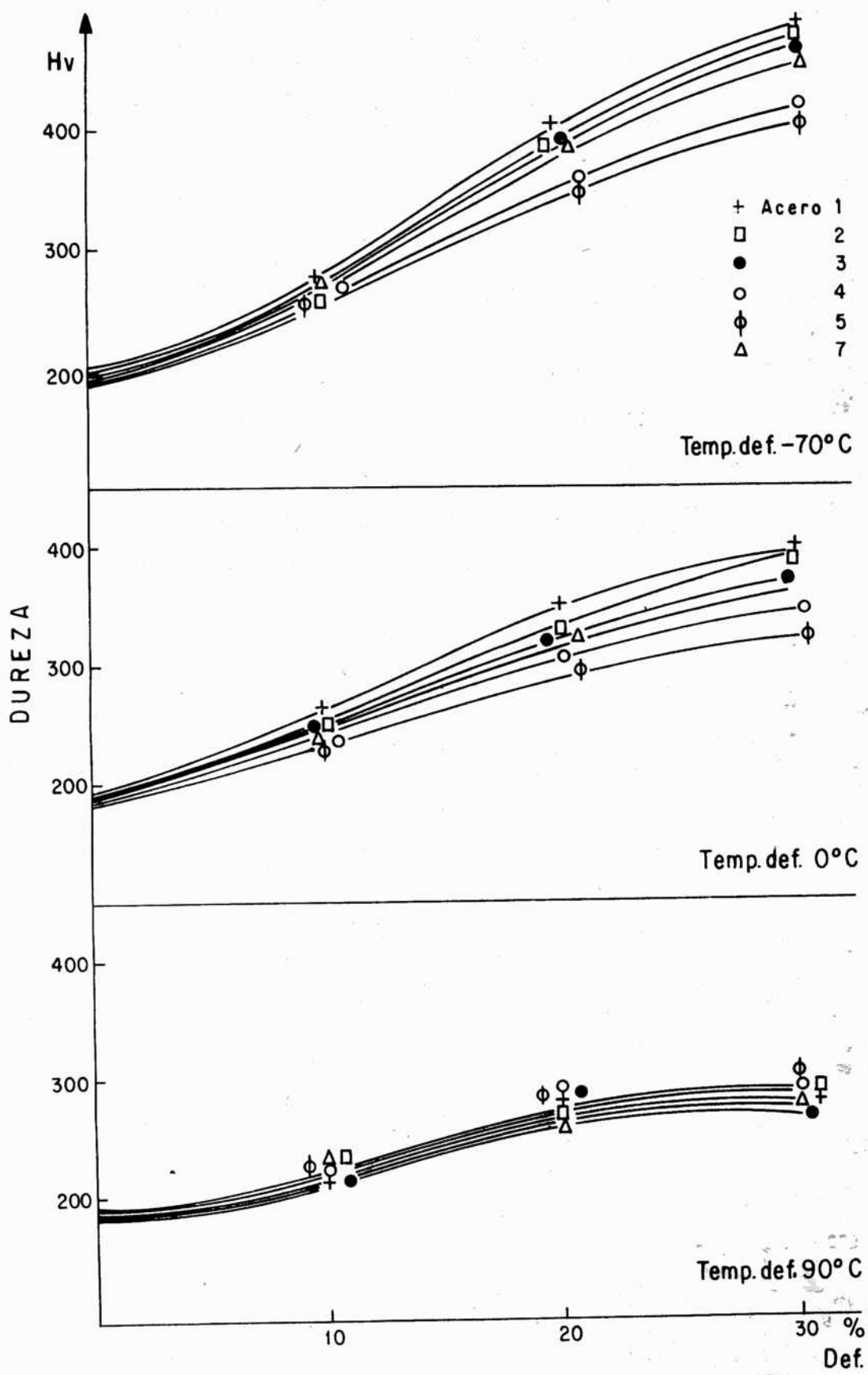


Fig. 4: Variación de dureza - Deformación

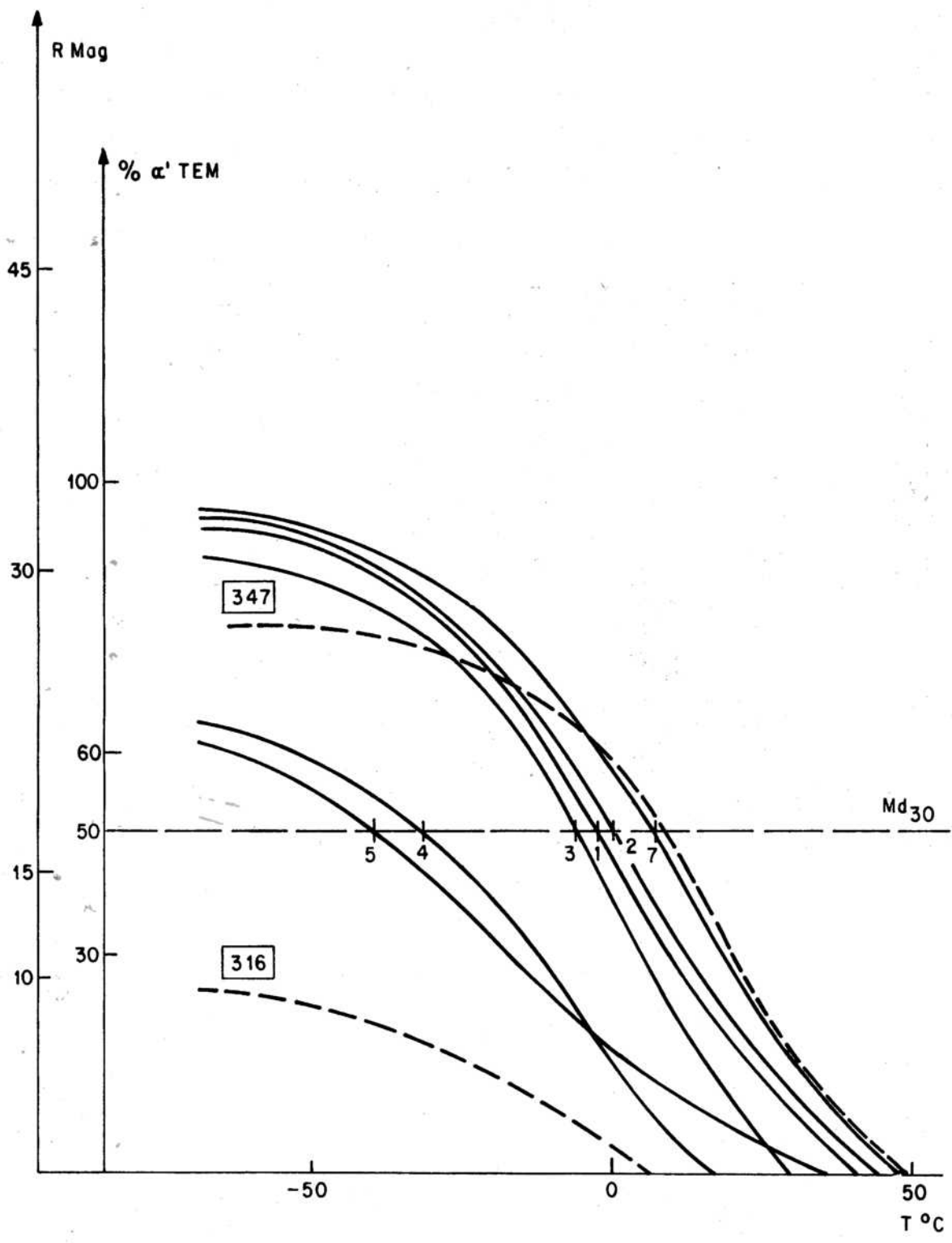


Fig.5 : 304 Deformado 30 %

Acero 304

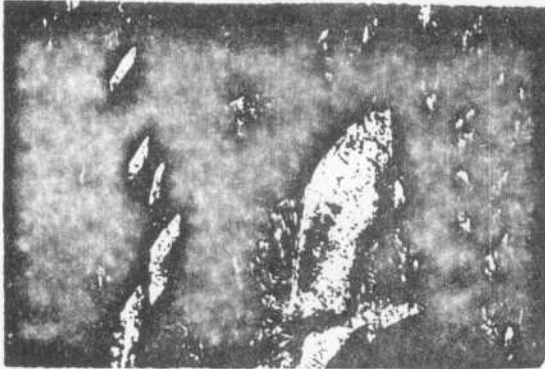


Fig. 6- Def. 6% a -70°C x 40000

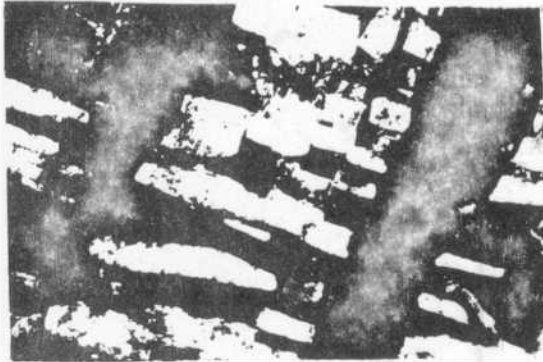


Fig.7- Def. 20% a -70°C x 26000



Fig.8- Def. 20% a -20°C x 26000

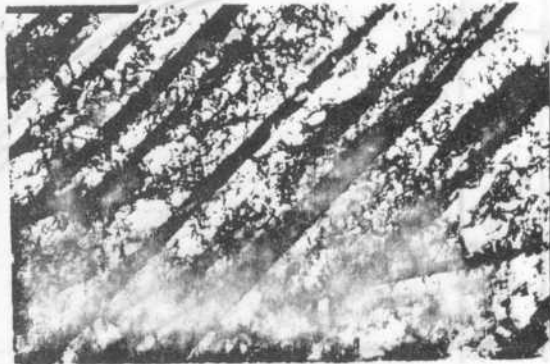


Fig.9- Def. 20% a -20°C
x 26000



Fig.10- Def. 20% a 0°C x 26000

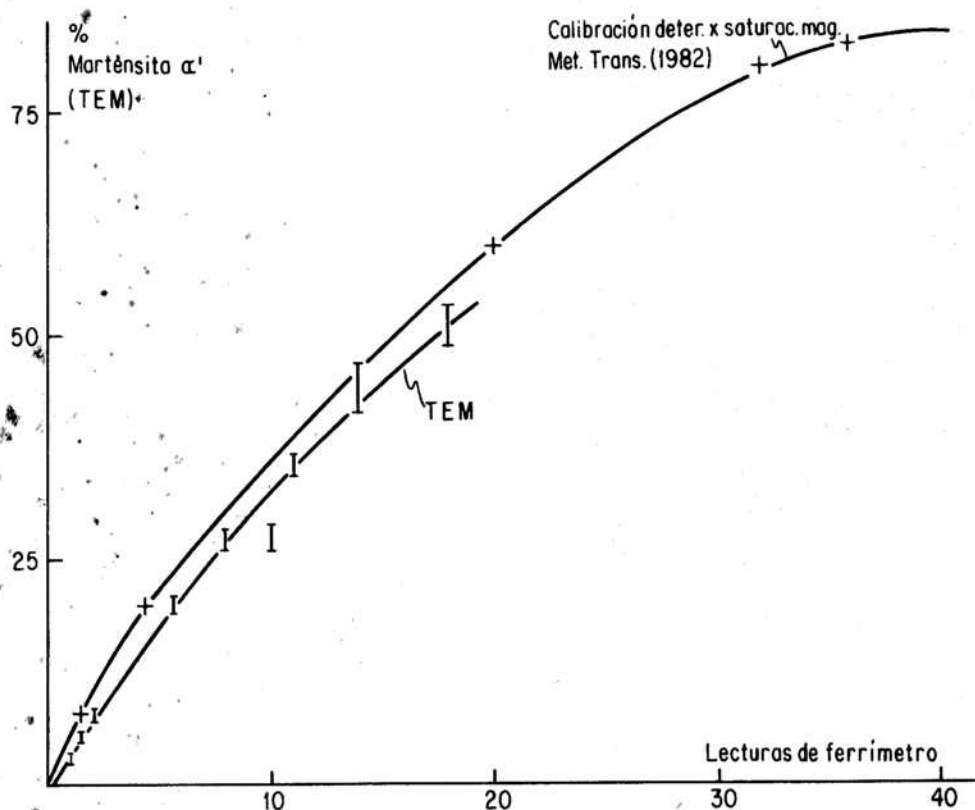


Fig.11: Acero 304 - Curva de calibración del delta ferrímetro por mediciones con TEM

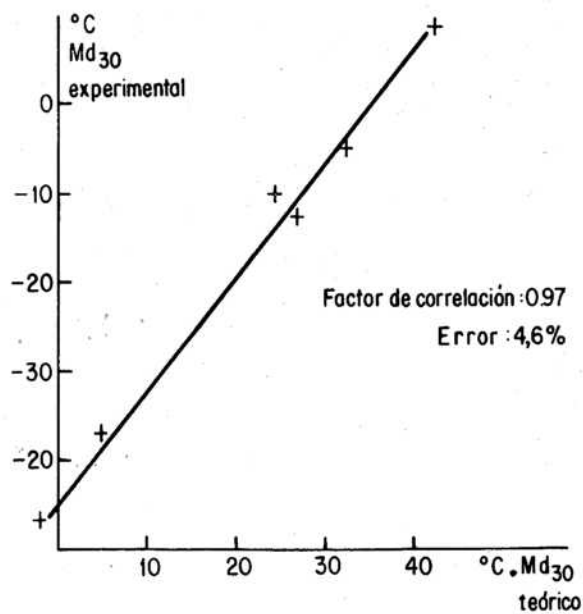


Fig.12: Correlación Md₃₀ exp. - Md₃₀ teórico

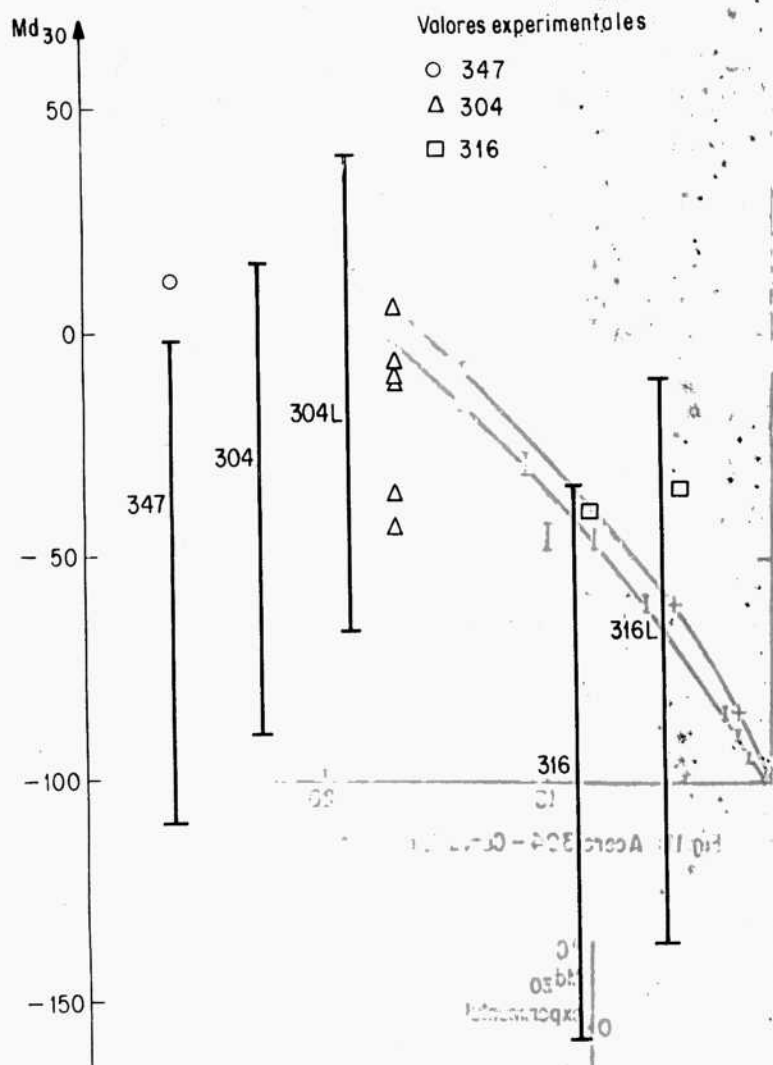


Fig. 13: Rango de valores de Md₃₀ para composiciones de norma.

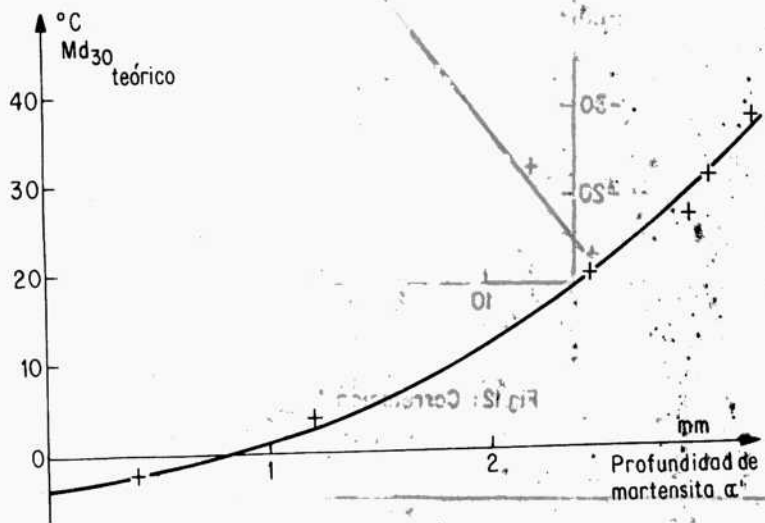


Fig. 14: Md₃₀ - Capa subsuperficial formada

Acero 304

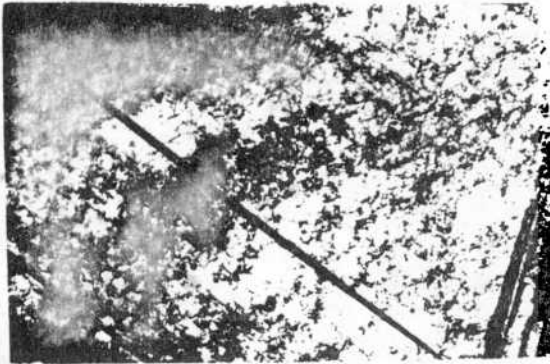


Fig.15-Def. 20% a 0°C x40000



Fig.16-Def. 20% a 0°C
x 40000

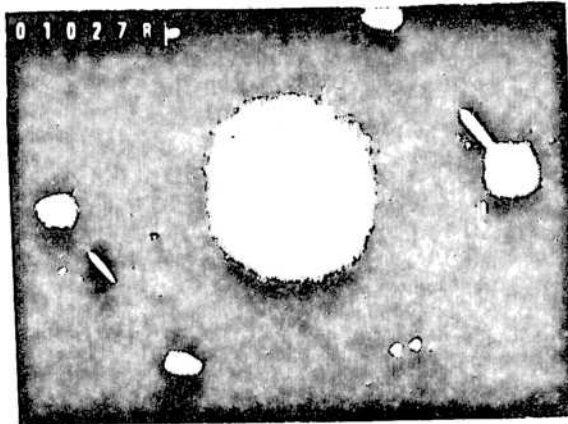


Fig.17- Def.20% a 0°C



Fig. 18- Def. 20% a 90°C x40000

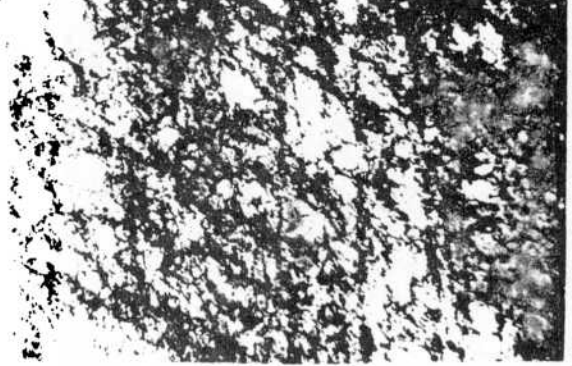


Fig. 19- Def. 20% a 90°C x26000