

INFLUENCIA DE LA FASE MARTENSITICA EN EL COMPORTAMIENTO AL DESGASE DE

ACERO INOXIDABLE 304 L

- J. Ruzzante (1)
- P. Alvarez (1)
- A. Hey (1)
- G.D.Gestido (2)
- J.H. Vosen (2)
- H.A.Fernandez (2)

RESUMEN

Se estudia el comportamiento en desgaste de aceros inoxidable de procedencia comercial de diferentes composiciones del rango establecido por norma.

El trabajo realizado se orienta al análisis de la estructura de la capa superficial formada y la relación de la misma con las variables de desgaste, carga y velocidad.

El desgaste se realiza en un equipo LF W k de alta velocidad con registro de fuerzas de fricción, velocidad de desgaste y variación de temperatura en la pieza.

La zona de desgaste se estudia con SEM. La naturaleza de la zona superficial deformada se estudia relacionando la microestructura de la misma con los correspondientes perfiles de microdureza.

CITS - 09 a 14 Novembro 1986.

- (1) Departamento Materiales, Comisión Nacional de Energía Atómica-Argentina
- (2) Grupo Lubrificantes Sólidos, Universidad Tecnológica Nacional Regional-Argentina.

Anais do 41º Congresso Anual da ABM (São Paulo, 9-14 nov 1986 v. 1

1. INTRODUCCION

Considerando el uso cada vez mayor de aceros inoxidable austeníticos, como materiales estructurales para Centrales Nucleares (1), como asimismo en la industria en general, es importante el conocimiento del comportamiento de los mismos al desgaste, tanto en lo que se refiere a inoxidable-inoxidable, como a otras combinaciones de posibles superficies en contacto. Esto hace necesario el estudio de los mecanismos de desgaste, relacionados con las condiciones en que se producen. No se puede referir a un material en particular, sino a todo el sistema en el que actúa.

Investigaciones realizadas en los últimos 10 años, han demostrado el papel desempeñado por la microestructura y la importancia del proceso que se desarrolla sub-superficialmente (2-10). Asimismo es cada vez mayor la evidencia que la acumulación cíclica de deformación plástica en la zona subsuperficial juega un papel importante en el desgaste por deslizamiento. Las condiciones de trabajo en la superficie crean una zona subsuperficial con diferentes características y por ende con distinta influencia en el grado de desgaste (11-12).

En el caso de aceros inoxidable austeníticos de estructura cristalográfica fcc o γ , la deformación introducida durante el trabajo mecánico, como asimismo la temperatura de trabajo, inducen la transformación a estructuras bcc o α' . El porcentaje de fase transformada es también función de la composición química del acero.

Las consideraciones mencionadas en primer término en lo que se refiere a modificaciones subsuperficiales que tienen lugar como consecuencia del desgaste, son importantes no solamente desde el punto de vista académico sino ingenieril, ya que depende de ello el diseño de un equipo así como las exigencias a las que será sometido. La interrelación de dichos parámetros se esquematiza en la fig. 1.

El material en estudio es acero inoxidable de origen comercial. Dicho material sufre la transformación $\gamma \rightarrow \alpha'$ durante el trabajo mecánico.

La aparición de martensita α' afecta las propiedades mecánicas del acero inoxidable austenítico de manera a veces difícil de predecir. Así es como dureza, ductilidad, comportamiento a la fractura, pueden ser fuertemente afectados por estos cambios de microestructura. Nuestras experiencias en trabajos anteriores (17), así como en el presente, indican que la formación de martensita inducida por deformación durante el desgaste y en consecuencia el comportamiento mecánico del componente, no es sólo función de la composición química del acero sino también de las condiciones tribológicas en conjunto (carga, velocidad, lubricación, temperatura, etc.).

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Máquina de desgaste: Los ensayos de desgaste se realizaron en una máquina LFW-1 de alta velocidad, tipo block-on-ring. El fundamento mecánico es el siguiente: sobre un anillo que rota con una velocidad seleccionada se apoya un block estacionario del material en estudio, fig. 2.

Consta de un sistema electrónico de detección que permite el registro simultáneo de la fuerza de fricción, temperatura sobre probeta y el desgaste de la misma, medida esta última con un sensor L.V.D.T. Un gráfico típico de trabajo se presenta en la fig. 5 donde el registro superior es la fuerza de fricción, el siguiente la variación de la posición del block debida al destaste y el último temperatura de la probeta. Todos estos valores están graficados en función del número de vueltas.

El conjunto pista-probeta es sumergido en un recipiente termostatzado que contiene el lubricante adecuado.

En este trabajo los ensayos se realizaron variando la carga y la velocidad de rotación de la pista. El N° de vueltas se normalizó en 5000. Se utilizó en todos los ensayos el mismo lubricante (Norma MIL-H-6083 Tipo 1).

2.2. Materiales y métodos: Los bloques sobre los que se realizaron los ensayos fueron maquinados de inoxidables austeníticos de origen comercial y de composición indicada en la Tabla I. La elección de este acero se realizó seleccionando aceros 304 de diferentes composiciones, dentro de las establecidas por norma, de manera tal de trabajar, con el estructuralmente más inestable, lo que se refleja en el valor Md30 indicado también en la Tabla.

TABLA I

C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	N	Md30 = 7°C
0,03	1,67	0,79	10,22	17,82	0,70	0,031	

El Md30 se calculó con la ecuación de Gladman.

La cara sobre la que se va a realizar el ensayo de desgaste se pulió metalográficamente hasta grado 600. Todas las muestras a ensayar fueron recocidas previamente a 1050°C en vacío durante 30 minutos para homogeneizar la estructura.

2.3. Microscopía Electrónica de Barrido: Se efectuaron observaciones en la superficie desgastada con microscopía electrónica de barrido. El siguiente paso fue el seccionamiento de los blocks longitudinal y transversalmente. Un paso preliminar

nar al corte es la protección de los bordes con un depósito de níquel, inclusión en resina y corte con disco de diamante o por electroerosión. Cada una de estas secciones es pulida hasta diamante 3 μ y terminadas con pulido electrolítico, para eliminar el daño introducido durante las operaciones de pulido. Con estas secuencias de trabajo los especímenes revelan claras evidencias de cambios de estructura aun sin ataque químico. Para revelar detalles de las zonas altamente deformadas, se hizo un etching suave con 25 ml ClH, 10 ml glicerina, ácido acético y nítrico. Con la misma solución pero mayor tiempo de ataque se revela la microestructura del material base.

2.4. Microdureza: Los perfiles de microdureza fueron medidos con el microdurómetro Leitz con carga de 5 g. Las mediciones se efectuaron en los cortes transversales y longitudinal, fig. 3 (planos I y T). Se promediaron los valores obtenidos para ambas direcciones y para una misma distancia a la superficie, de esta manera se disminuyó la banda de error del método (13,14). Con los valores así obtenidos se trazaron los perfiles de microdureza en función de la distancia a la superficie. En los mismos especímenes sobre los que se determinó microdureza se hicieron observaciones de scanning.

2.5. Rugosimetría. Los perfiles obtenidos en las probetas durante el desgaste fueron estudiados por rugosimetría para obtener una caracterización cuantitativa de la superficie.

2.6. Examen de virutas con rayos X: Virutas obtenidas con diferentes condiciones de desgaste se estudiaron con difractómetro de rayos X.

2.7. Metalografía Óptica: Muestras seccionadas transversalmente y pulidas se las observó con los métodos corrientemente utilizados en metalografía. El reactivo para revelar estructura fue ácido oxálico.

2.8. Observación de las virutas con scanning: Las virutas (polvo) obtenidas en las diferentes etapas del proceso fueron lixiviadas con tricloro etileno y acetona y observadas por SEM.

2.9. Respuesta magnética: Se midió respuesta magnética superficial de las muestras después del proceso de desgaste, tanto en las muestras del comportamiento simple como en las de comportamiento dual. Las mediciones que en una primera aproximación, pueden considerarse sólo como un número magnético, se expresaron como porcentaje de martensita M' . Esta equivalencia se realizó teniendo en cuenta la curva de calibración (15-16-17), válida para aceros 304 L que su muestra

en la fig. 4.

2.10. Recuperación de fase γ : En algunos de los ensayos realizados sobre probetas que presentaban comportamiento dual (dos valores de coeficiente de fricción) se transformó la fase α' generada durante el proceso de desgaste a fase γ . Los tratamientos térmicos se hicieron a tiempo constante y diferentes temperaturas. La evolución de δ a γ se siguió con mediciones de respuesta magnética.

3. RESULTADOS

En lo que respecta a los resultados del desgaste, sin analizar las causas del mismo, se observó diferencia de comportamiento según cuáles fueran las condiciones de desgaste: carga y velocidad. La temperatura se mantuvo constante en todos los ensayos e igual a 110°F.

Como se observa en la fig. 5, el comportamiento al desgaste, después de entrar el sistema en régimen, era distinto para igual material y temperatura del lubricante. Las diferencias se observaron al variar carga L y velocidad v . Según fueran las combinaciones de L y v , se obtenía comportamiento que obedecía a un solo coeficiente de fricción μ o a dos coeficientes μ_1 y μ_2 .

La velocidad de desgaste V_d también es significativamente diferente cuando hay comportamiento dual. La temperatura del block también varía acompañando estas variaciones de velocidad de desgaste y coeficiente de fricción.

Los ensayos que presentaban doble comportamiento se indican en el trabajo, como de comportamiento dual o de poco desgaste, los restantes, comportamiento simple o de alto desgaste.

Los resultados obtenidos se graficaron en la fig. 6. Los perfiles de microdureza obtenidos se presentan en la fig. 7.

El análisis de las observaciones de SEM de las superficies desgastadas resultó dificultoso por la variedad de la topografía observada. El estudio comparativo de las muestras se realizó como se ve en la Tabla III, analizando estadísticamente todas las variaciones topográficas observadas in-situ.

Las zonas a las que se hace referencia corresponden a antes y después de la variación del coeficiente de fricción μ , como esquemáticamente se muestra en la fig. 8.

Los defectos a los que se hace referencia en la Tabla se ejemplarizan en la fig. 9. Las mediciones de rugosimetría cuyos resultados se resumen en la Tabla III son coincidentes con las observaciones de microscopía.

TABLA III

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
ΔR_t	7 μ	0	2 μ

Definimos ΔR_t como la diferencia entre la rugosidad del material antes y después del desgaste.

Según se presentara comportamiento dual o no las observaciones de SEM de los cortes transversales presentaban diferente morfología subsuperficial, fig. 10-11. En el caso de comportamiento simple o de alto desgaste se ve una zona deformada de espesor aproximado a 50 μ . En el caso de comportamiento dual o de bajo desgaste se observa una capa muy deformada cercana a la superficie de un espesor aproximado de 30 μ . Por debajo de esta banda continúa la zona deformada de características similares a las observadas en las muestras de comportamiento simple.

Se repitieron los ensayos en las condiciones en las que se presentaron comportamiento dual y se pararon los mismos ensayos de la zona 1, 2 y 3 (fig. 8) con los siguientes resultados: Zona 1: "Islas" de alta deformación, fig. 11.a Zona 2: "Islas" de poca deformación, fig. 11.b. Las mediciones de respuesta magnética se muestran en la Tabla IV:

TABLA IV

	Nº mag.	% α'
Comportamiento simple	1,9	10,5
Comportamiento dual	3,5	19

Los ensayos de recuperación de fase y apuntaron a esclarecer la naturaleza de la capa superficial observada en los ensayos con bajo desgaste, a los efectos de poder separar variables de endurecimiento: endurecimiento por trabajado de austenita, endurecimiento por transformación martensítica y endurecimiento por trabajado de la martensita formada. La recuperación se realizó a temperatura de 400; 500; 550; 620°C con recocidos de 30' registrando la transformación $\gamma \rightarrow \alpha'$ con mediciones de respuesta magnética; con las muestras así tratadas se realizó un nuevo ensayo de desgaste cuyas variables de desgaste (μV) son coincidentes con los del material inicial.

El análisis de las virutas obtenidas en los diferentes ensayos se analizaron por difracción de rayos X. Se separaron virutas de las zonas 1, 2 y 3. El volumen de las virutas obtenidas en zona 1 es considerablemente mayor que las de la zona 3. El análisis cristalográfico de las virutas correspondientes a zonas 1 y 2 per

no permitió establecer un parámetro de red $a = 2,866 \text{ \AA}$ correspondientes a martensita α' . Para la zona 3 no se obtuvieron los mismos resultados y la escasa cantidad del material obtenido por desgaste no permitió un análisis más profundo.

4. DISCUSION

Las características subsuperficiales esperables de acuerdo a la teoría de delaminación (11) se esquematizan en la fig. 12. Las transformaciones se presentan en las zonas afectadas por la deformación A, B y C. Para una mejor interpretación y estudio de los resultados, éstos se dividen en 2 grupos: a) Comportamiento simple o de alto desgaste, un solo coeficiente de fricción μ_1 durante todo el ensayo; b) Comportamiento dual o de bajo desgaste, dos coeficientes de fricción μ_1 y μ_2 .

En lo que refiere al primer grupo, el comportamiento frente al desgaste es el esperable por la teoría de delaminación de Shu por la cual la formación y migración de "cracks" formados por debajo de la superficie al propagarse llegan a la misma y la cortan en los puntos más débiles, produciéndose así el desgaste del material. La profundidad a la que se encuentran dichas grietas o "cracks" es función del material que se trabaja, del estado estructural del mismo y de las condiciones de trabajo. Con respecto al comportamiento de bajo desgaste puede asumirse que si bien en la primera parte (μ_1) se desgasta según el modelo de Shu no ocurre esto en la segunda (μ_2) donde el proceso está gobernado por otro mecanismo de desgaste.

4.1. Materiales con comportamiento simple. En nuestro primer grupo de ensayos analizando el corte transversal presentado en la fig. 3 y los ensayos de microdureza de la fig. 7 y comparando con el esquema presentado en la fig. 13, podemos decir: a) La capa A no se forma ya que la dureza en la superficie es igual o en algunos casos superior a la medida 5μ por debajo de la superficie. Si existiera una capa recristalizada ésta tendría una dureza menor. b) La transformación α' sucede ya en los primeros estadios del desgaste (comprobado por respuesta magnética) y se propaga por deformación plástica a zonas subsuperficiales. El espesor de la capa transformada se determina a partir de los ensayos de microdureza y en este tipo de comportamiento es del orden de 50μ (ver fig. 7). c) La formación de "cracks" ocurre en zonas muy cercanas a la superficie y su propagación hasta llegar a la misma es posible ya que no hay nada que se lo impida (partículas de segunda fase, etc.) desprendiéndose partículas finas. Por análisis de difracción de rayos X de las mismas se determinó que su parámetro de red correspondía a martensita α' . Esto último no implica necesariamente que la estructura superficial del "block" sea toda martensita α' , ya que las virutas han sufrido una deforma-

ción mucho mayor y por ende el proceso de transformación martensítica de las vi-
rutas es más exigido que el block.

Las observaciones de scanning de la superficie ayudaron a determinar el meca-
nismo del sistema de desgaste. Las micrografías de la fig. 9 (a,b) muestran el
aspecto de una superficie "arada" con surcos paralelos a la dirección de sliding.
El análisis por rugosimetría permitió determinar la profundidad de dichos surcos
que en valor promedio es $\Delta R_c = 7 \mu$.

Las mediciones de número magnético indican la formación de 10% de martensita
 α' . El modelo presentado en la fig. 14 se modificaría al esquema de la fig. 13.
En este esquema la distribución de martensita α' estaría en la capa c. De acuer-
do con esto podemos considerar que la dureza superficial H_{ts} estaría dada por:
 $H_{ts} = H_Y + \alpha'$; H_Y = endurecimiento por trabajado de austenita no transformada. α' =
endurecimiento por presencia de martensita. H_{ts} = dureza total para comportamien-
to de alto desgaste.

4.2. Comportamiento dual o de bajo desgaste. El análisis por scanning de la su-
perficie de las muestras (zona 3) que presentan doble comportamiento, fig.9(d,f)
es diferente de las anteriores. Se aprecia un relieve más suave sin surcos, lo
que también se refleja en el valor de R_c . En la zona 2, $\Delta R_c = 0$ y en la 3 $\Delta R_c = 2$.

La respuesta magnética en las primeras etapas del desgaste es mayor en estas
condiciones de trabajo que la que se obtiene en el mismo estado de desgaste en
condiciones de comportamiento simple, es decir según el esquema de la fig. 8.
 $\% \alpha'$ (zona 1 1800 revoluciones) $>$ $\% \alpha'$ (comportamiento simple 1800 revoluciones)

La dureza superficial, así como los perfiles de microdureza de la fig. 7, son
distintos a los del caso anterior. Esta mayor dureza superficial como el diferen-
te perfil de penetración de la misma se ven también reflejados en las microgra-
fías de cortes transversales, fig. 11 (comportamiento simple) y 11a, 11b y 11c
(comportamiento dual). Como se ve en las figs. 11a y 11b, los cracks están a ma-
yor distancia del borde que en el caso de comportamiento simple, además la propa-
gación de éstos hacia la superficie se ve impedida por la zona de alta deforma-
ción. Asimismo se ve en la fig.11 que los cracks formados están anclados por la
misma deformación y no pueden llegar a la superficie. Esto explicaría la baja for-
mación de debris en la zona 3 del ensayo. Las micrografías de las figs. 11a, 11b
y 11c muestran una secuencia que corresponde a las zonas 1, 2 y 3. En la primera
micrografía se ven islas de alta deformación pero los cracks todavía pueden pro-
pagarse hasta la superficie. En la correspondiente a la zona 2 las islas crecen
y colapsan, las zonas de baja deformación son aisladas, fundamentalmente para la
zona 3 (fig.11c) se ve una franja subsuperficial continua de material altamente
deformado que no permite la migración de los cracks. Los resultados en respuesta

magnética finalizado el ensayo indicaron un mayor porcentaje, 19%, de martensita, que el obtenido en el caso de comportamiento simple al finalizar el mismo.

El esquema de la fig 12 modificaría en este caso al presentado en la fig.14. La martensita α' formada durante el desgaste y deformada en el transcurso del mismo se encuentra en las capas B y C. Esto está corroborado por los perfiles de microdureza. Si consideramos la dureza total H_{td} como la suma de factores: $H_{td} = H_{\gamma} + \alpha' + H_{\alpha'}$, donde H_{γ} = dureza de la austenita presente; α' = dureza de martensita; $H_{\alpha'}$ = dureza de endurecimiento por trabajado de la martensita; H_{td} = dureza total obtenida con comportamiento dual. Si comparamos esta expresión con la de H_{ts} se explicaría el mayor valor de H_{td} frente al H_{ts} por: a) α' es menor para comportamiento simple que para dual; b) el endurecimiento por trabajo de la martensita no aparecía en la expresión de H_{ts} .

En los ensayos de comportamiento dual este factor implica la presencia de la capa altamente deformada representada en las figs. 15-16 por la zona 3. Este último factor sería coincidente con el trabajo de Clardon Finnie (17) donde relaciona la cantidad de partículas obtenidas por desgaste con diferentes materiales con su respectivo coeficiente de endurecimiento por trabajado. Para comprobar esta última hipótesis se realizó un tratamiento térmico de retransformación de fase α' a γ con lo cual desaparece α' y $H_{\alpha'}$ de la expresión de H_{td} . Las probetas recuperadas y ensayadas en condiciones de comportamiento simple presentaron el comportamiento esperado y las ensayadas en condiciones de comportamiento dual presentaron nuevamente comportamiento dual. Con el valor μ'_1 , algo superior al μ_1 inicial y μ'_2 similar a μ_2 .

5. CONCLUSIONES

1. La disminución del grado de desgaste es debida a un aumento de dureza.
2. En aceros inoxidable austeníticos que presentan comportamiento simple, el aumento de dureza no se debe sólo a la transformación martensítica sino al endurecimiento por trabajado de la fase austenítica presente no transformada a martensita α' .
3. En el caso de comportamiento dual, la velocidad final de desgaste, zona 3, permanece constante. La velocidad de desgaste no depende de L y V sino del estado subsuperficial generado.
4. Existe una relación entre L y V que permite determinar el tipo de comportamiento (simple o dual) que presentará el material.
5. El endurecimiento por trabajado de la martensita α' producida por deformación y el porcentaje de la misma es el causante del comportamiento dual.

BIBLIOGRAFIA

1. A.F. Smith; *Wear* 96 (1984) 301-318.
2. N.P. Suh; The Delamination Theory of Wear; Vol. 25 N^o 1, July 1973, pp. 111-124.
3. N.P. Suh et al.; Further Investigation of the Delamination Theory of Wear; *ASM J. of Lubrication Technology*, Vol. 96, N^o 4, Oct. 1974, pp. 631-637.
4. S. Jahnmir, N.P. Suh, E.P. Abrahamson; Microscopic Observation of the Wear Sheet Formation by Delamination; *Wear*, Vol. 28, N^o 2, May 1974, pp. 235.
5. W.W. Seifert, V.C. Westcotto; A Method for the Study of Wear Particles in Lubricating Oil; *Wear*, Vol. 21, N^o 1, Aug. 1972, pp. 27-42.
6. N. Saka, N.P. Suh; Delamination Wear of Dispersion-Hardened Alloys; *ASME J. of Engineering for Industry*, Vol. 99, May 1977, pp. 289-294.
7. N.P. Suh, N. Saka; The Stacking Fault Energy and Delamination Wear of Single-Phase, F.C.C. Metals; *Wear*, Vol. 44, N^o 1, Aug. 1977, pp. 135-143.
8. N. Saka, J.J. Pamies-Teixeira, N.P. Suh; Wear of Two Phase Metals; *Wear*, Vol. 44, N^o 1, Aug. 1977, pp. 77-86.
9. D.A. Rigney, W.A. Glaeser; The Significance of Near Surface Microstructure in the Wear Process; *Wear*, Vol. 46, N^o 1, Jan. 1978, pp. 241-250.
10. N.P. Suh; An Overview of the Delamination Theory of Wear; *Wear*, Vol. 44, N^o 1, Aug. 1977, pp. 1-16.
11. Olof Vingsbo, Sture Hogmark; *Fundamentals of Friction and Wear ASM 1980 Materials Science Seminar*.
12. T. Gladman, J. Hammon, F.W. Marsh; *Sheet Metal Industries*, May 1974, 51 (s) 219.
13. P.J. Blau; The Use of Knoop Indentations for Measuring Microhardness Near Worn Metal Surfaces; *Scripta Met.* Vol. 13, N^o 2, 1979, pp. 95-98.
14. P.J. Blau; Use of a Two-Diagonal Measurement Methods for Reducing Scatter in Knoop Microhardness Testing; *Scripta Met.*, Vol. 14, N^o 7, 1980, pp. 719-724.
15. S.S. Hecker, M.G. Stout-Kstaudhammer, J.L. Smith; *Met. Trans.* 13 A, 1982, 519.
16. P. Alvarez, A.M. Hey; Jul. 1983, *Congreso Anual ABM*.
17. R. Glardon, I. Finnie; *Trans. of the ASME*, Vol. 105, Jan. 1983, (36).

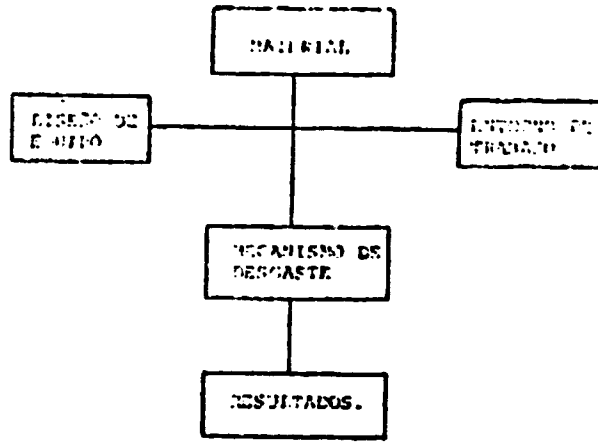


Fig. 1

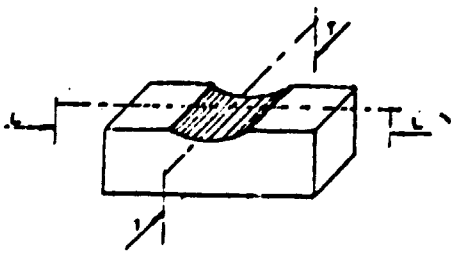
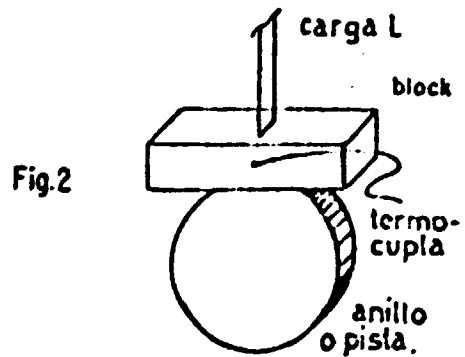
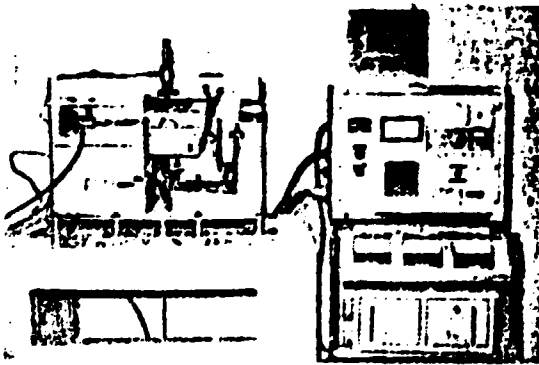


Fig. 3

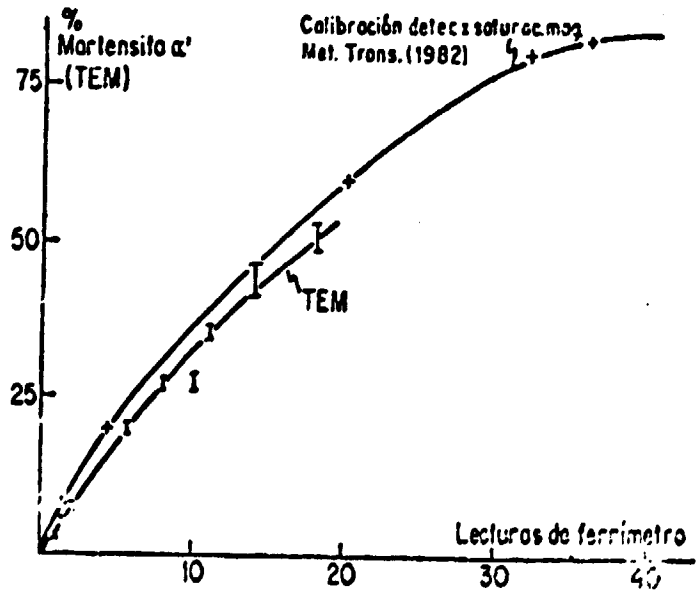
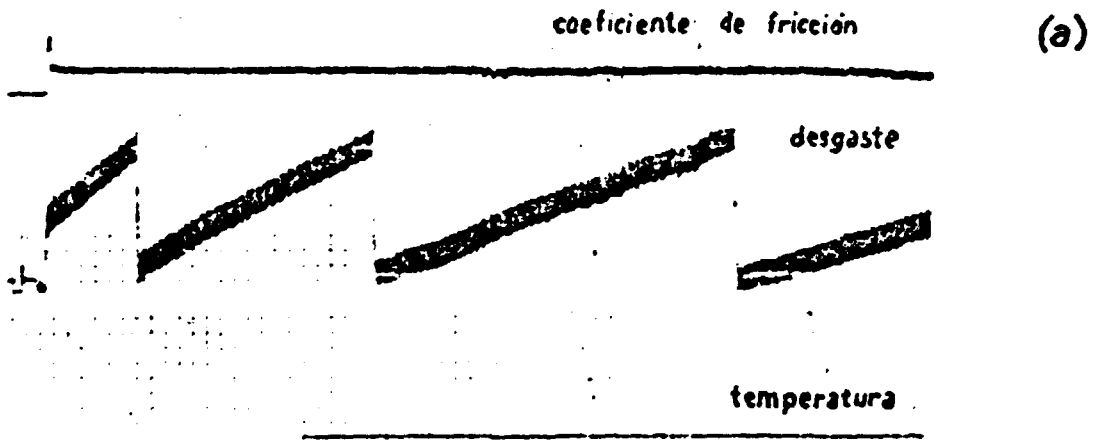


Fig. 4 Acero 304 - Curva de calibración del delta ferrímetro por mediciones con TEM.

FIG. 5 DIAGRAMA DE DESGASTE

Comportamiento simple o de alto desgaste



Comportamiento dual o de bajo desgaste

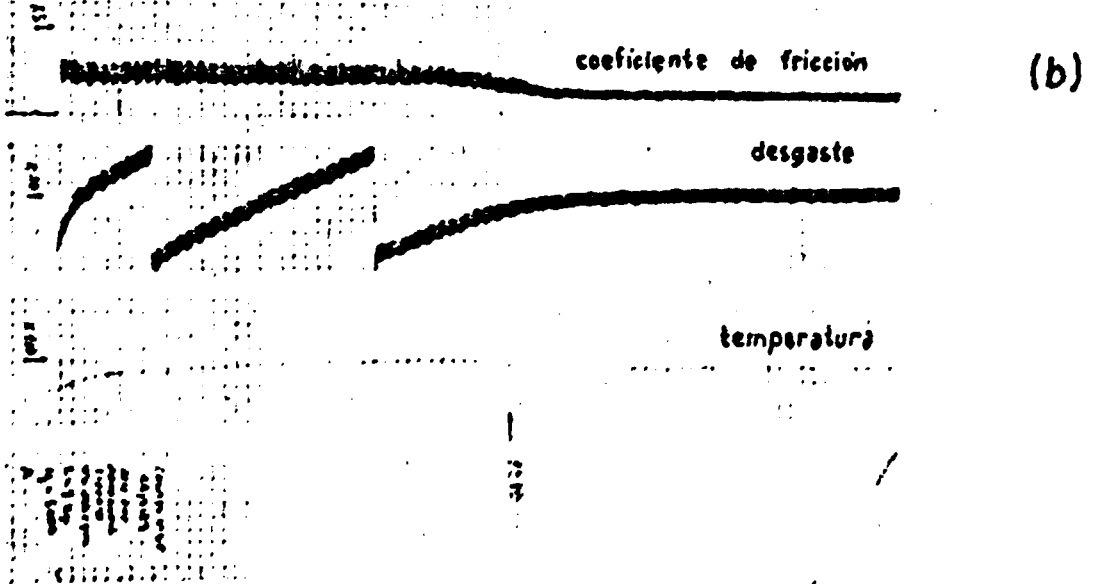


Fig. 6 AISI 304L-ENSAYOS DE DESGASTE

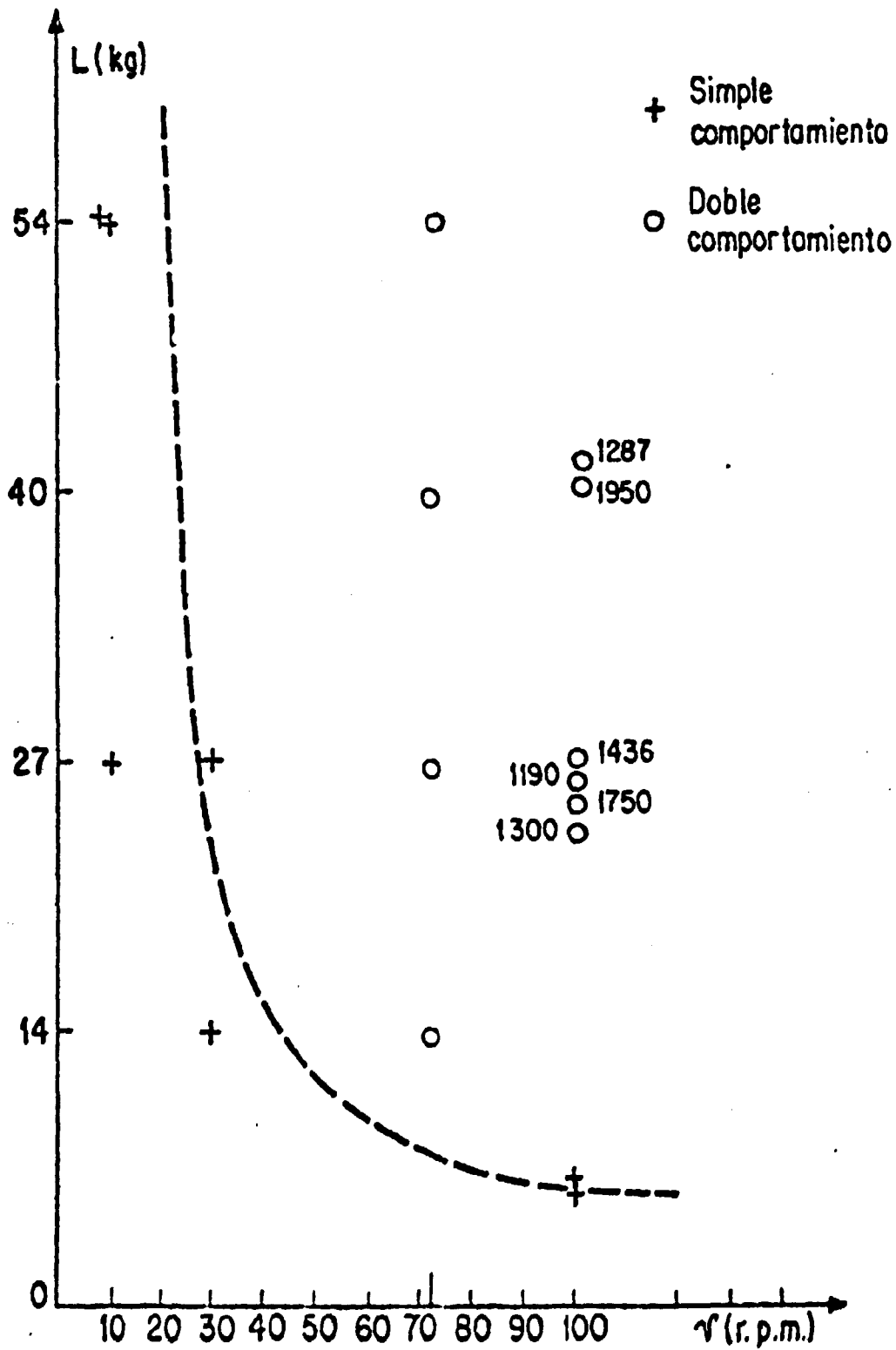
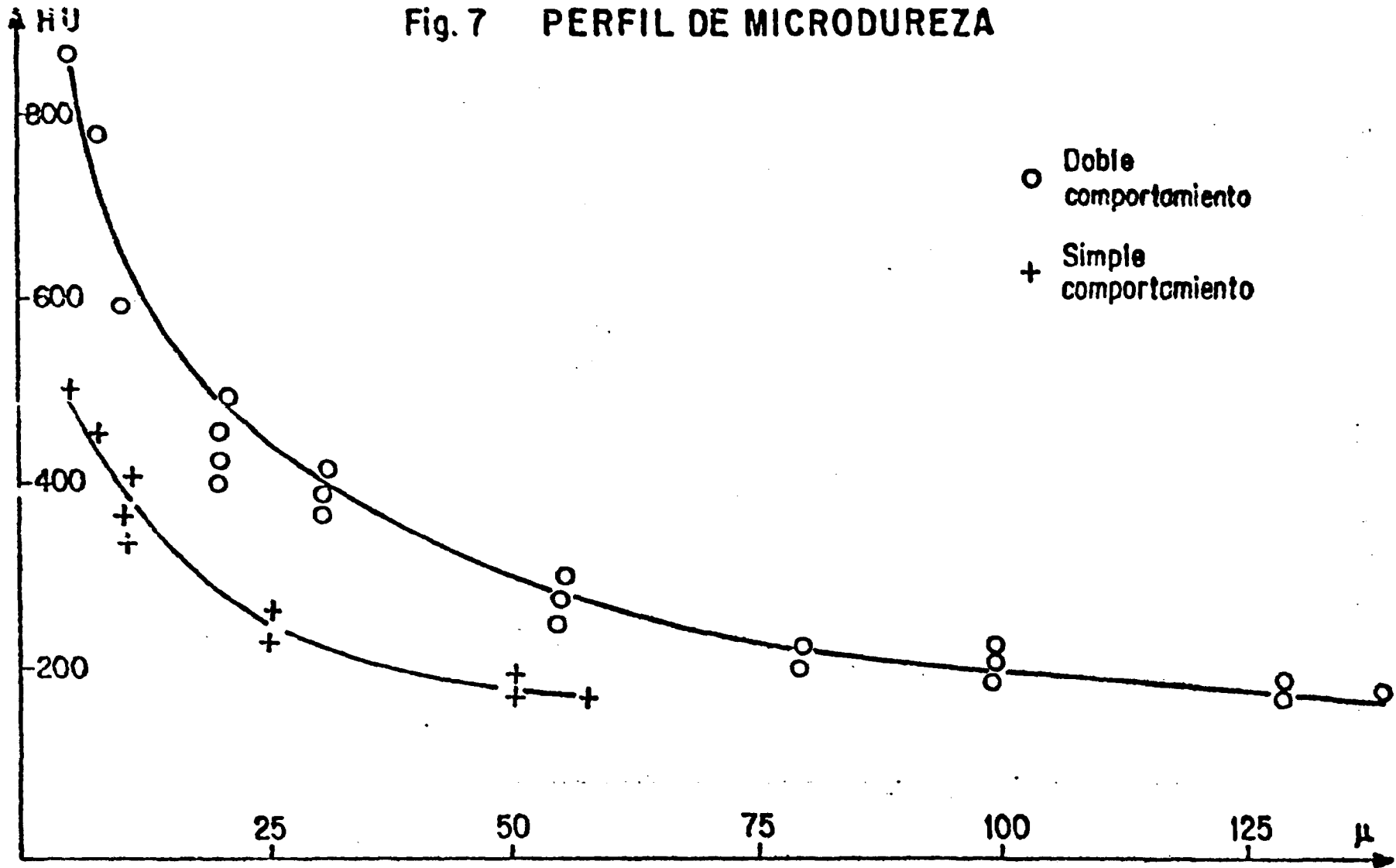


Fig. 7 PERFIL DE MICRODUREZA



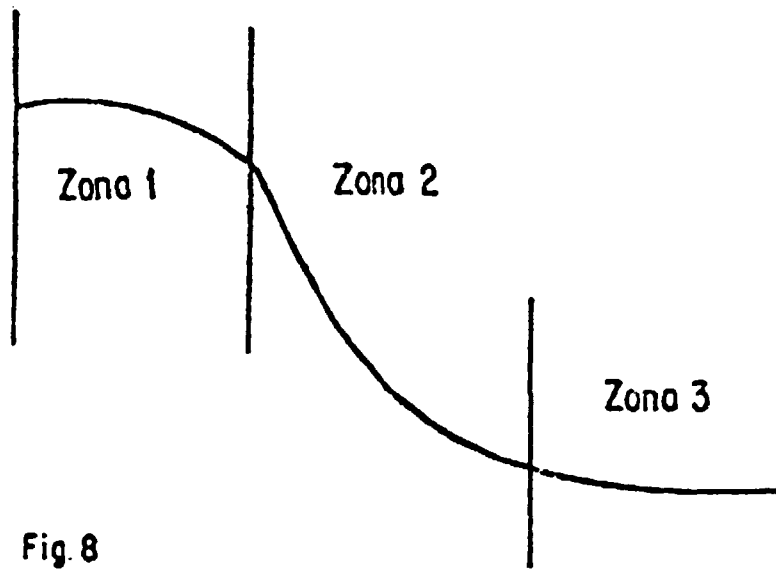


Fig. 8

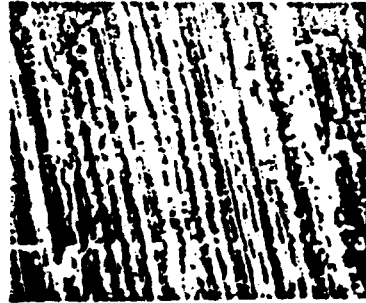
TABLA II

DEFECTOS	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Líneas paralelas a la dirección del desgaste. Fig. 9 (a)	X	X	X
Densidad de líneas de desgaste. Fig. 9 (b)	X		
Cráteres. Fig. 9 (d; c)	X	X	X
Mesetas planas Fig. 9 (d)		X	X
Acumulación de material en el centro del surco Fig. 9 (e)	X		
Cráteres de fondo plano. Fig. 9 (f, g)		X	X
Grietas anchas Fig. 9 (c h)		X	

FIG. 9 SEM de Superficies



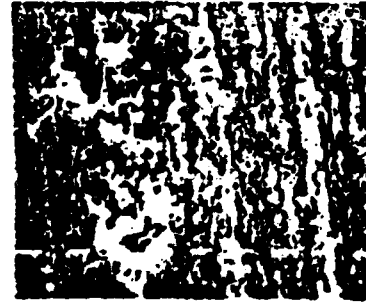
a 160 X



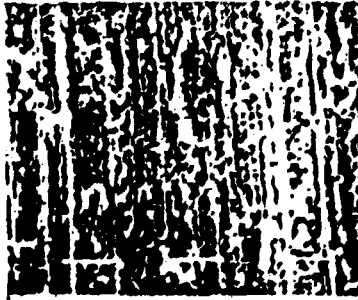
b 320 X



c 320 X



d 640 X



e 160 X



f 300 X



g 1250 X

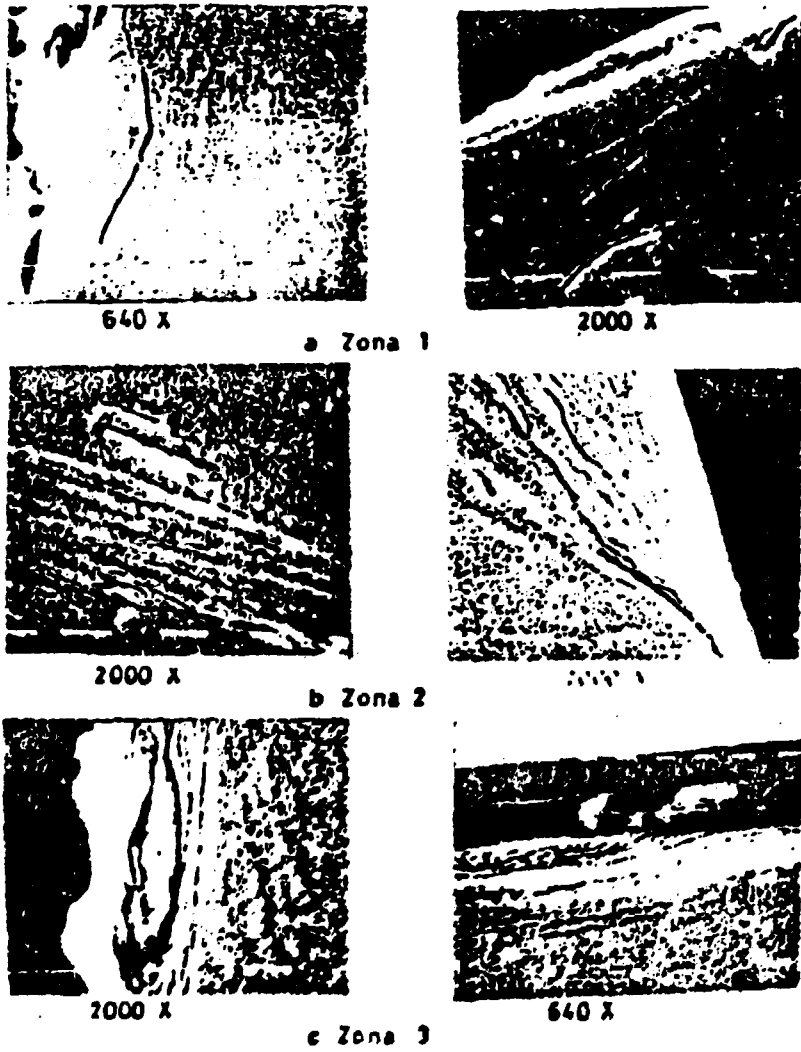


h 320 X

FIG. 10 Comportamiento simple



FIG. 11 Comportamiento dual



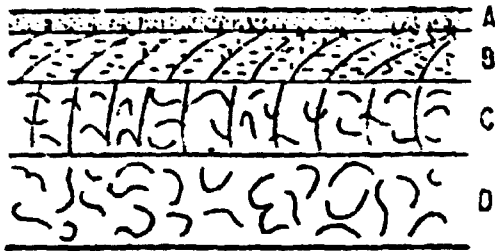


Fig. 12

A: estructura fina que puede presentarse
recristalizada.

B: estructura fina y texturada.

C: granos originales con trozos de
deformación.

D: material no afectado.

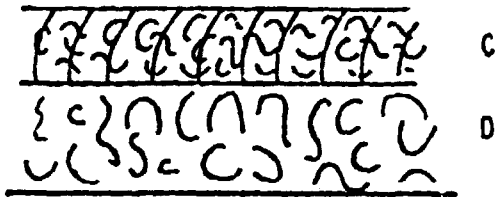


Fig. 13

C: granos originales con trazos de
deformación.

D: material no afectado.

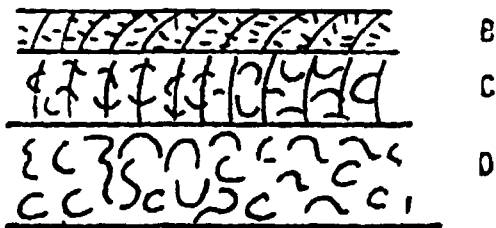


Fig. 14

B: estructura fina con muy alta
deformación.

C: granos originales con trozos de
deformación.

D: material original



Fig. 15



Fig. 16

Alambres Tubulares para la Soldadura de Aceros de Alta Resistencia.

J.C. González*, H. Biloni**

Resumen:

En el presente trabajo se estudia el metal depositado mediante soldadura con electrodos tubulares bajo protección gaseosa destinados a la unión de aceros de alta resistencia. Dos electrodos comerciales y uno experimental fueron utilizados en el estudio. La microestructura del metal de soldadura en el estado como depositado fue analizada teniendo en cuenta su composición química. El efecto de los elementos promotores de ferrita acicular sobre la microestructura y propiedades de impacto a baja temperatura es también materia de análisis. Los electrodos estudiados permitieron obtener buenas propiedades de tenacidad a baja temperatura.

* Investigador LEMIT (CIC)

** Director LEMIT (CIC)

LEMIT, Avda 52 y 122, (1900) LA PLATA