

63



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

SULFIDIZACION DE LOS ACEROS.

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)

P r e s e n t a n :

GODINEZ SERRANO ARMANDO
GOMEZ CERON PABLO



México, D. F.

1961



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

CAPITULO I

Page.

INTRODUCCION

I.1 Introducción	1
I.2 Estudio del diagrama hierro-carbono	2
I.3 Curva de Enfriamiento	6
I.4 Definición de estructuras	7

CAPITULO II

LOS ACEROS

II.1 El acero	9
II.2 Composición del acero	9
A) Propósitos que se persiguen al adicionar a los aceros elementos de aleación	10
II.3 Influencia del carbono, silicio, manganeso, azufre y fósforo en el acero	10
II.4 Propiedades mecánicas de los aceros	12
A) Variación de las propiedades mecánicas	14
B) Composición química	15
C) Deformación en caliente	15
II.5 Ensayos físicos para determinar las principales características mecánicas de los aceros	16
II.6 Pruebas de dureza en los metales	22
II.7 Propiedades físicas de los materiales	29

CAPITULO III

PROCESOS TERMICOS

	Page.
III.1 Temple	31
A) Estudio del mecanismo del temple	33
B) Proceso	34
C) Modalidades del temple en herramientas	35
i) Temple continuo	35
ii) Temple discontinuo o Martempering	35
iii) Temple isotérmico bainítico	35
III.2 Revenido	36
III.3 Recocido	37
III.4 Normalizado	38
III.5 La Oxidación y la decarburación	39
A) Atmosferas controladas	39
III.6 Gases	41
A) Gases decarburantes	41
B) Gases carburantes	41
C) Gases neutros	42
D) Purificación de gases	42

CAPITULO IV

EQUIPOS PARA PROCESOS TERMICOS

IV.1 Clasificación de hornos eléctricos	44
IV.2 Clasificación de hornos eléctricos para el tratamiento térmico de los aceros	44
A) Hornos eléctricos de cámara	45
B) Hornos a baño de sales	46
C) Calentamiento mediante resistencias exteriores	46
D) Calentamiento por electrodos sumergidos	47
E) Hornos con circulación de aire caliente	49
F) Hornos para tratamientos térmicos de los aceros rápidos	49
IV.3 Hornos de inducción	51

CAPITULO V		Page.
TRATAMIENTOS TERMICOS		
V.1 Tratamiento térmico		53
V.2 Tratamiento térmico de los aceros		55
V.3 Templabilidad		56
V.4 Influencia de la velocidad de enfriamiento		59
A) Enfriamiento lento		59
B) Enfriamiento medianamente rápido		59
C) Enfriamiento rápido		60
D) Enfriamiento muy rápido		60
V.5 Velocidad de calentamiento		61

CAPITULO VI		
TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS		
VI.1 Tratamientos termoquímicos		62
VI.2 Cementación		62
VI.3 Cianuración		63
VI.4 Nitruración		64
VI.5 Carbonitruración		68
VI.6 Sulfidización		71

CAPITULO VII		
SULFIDIZACION		
VII.1 Tratamientos de superficie		72
VII.2 Tratamientos superficiales para mejorar el comportamiento de los aceros al desgaste y el "gripado"		77
A) Introducción		77
B) Tipos de ensayo y variables que se determinan		78
1) Máquina de discos (Ameler)		78

	Page.
ii) Máquina Faville-Levally	80
C) Resultados experimentales	82
1) Máquina de discos (Amalox)	82
D) Forma de desgaste y deformación de las probetas	84
E) Rodadura combinada con deslizamiento	86
F) Aceros sometidos a tratamiento térmico	87
1) Rodadura y deslizamiento combinados	87
ii) Ensayos con 10% de deslizamiento	87
B) Ensayos en la máquina Faville-Levally	88
VII.3 Efecto de la formación de una película de sulfuro, por incorporación de azufre en superficie a baja temperatura, en el comportamiento de las capas carbonitruradas	94
A) Introducción	94
B) Condiciones experimentales	96
1) Material y tratamiento térmico previo	96
ii) Tratamiento de incorporación de azufre	97
iii) Ensayos de desgaste	98
C) Resultados y discusión	99
1) Comportamiento al desgaste en la máquina Faville-Levally	101
ii) Comportamiento al desgaste en máquina Amalox	107
1) Ensayo en seco	107
2) Ensayo con lubricación	111
VII.4 Sulfidización	116
VII.5 Cementación por Sulfinización o por Selenización	118
VII.6 Nuevo tratamiento antidesgaste Sulf. B.T.	119
A) Especificaciones del proceso Sulf. B.T.	120
B) Instrucciones para el uso	120
C) Equipo	120
VII.7 La Sulfinización y la Selenización	121
VII.8 Electrosulfidización	121
VII.9 Sulfidización, tratamiento de hierro y acero	122
VII.10 Método electrolítico de Sulfidización para partes ferrosas en un baño de tiocianatos	134

VII.11 Tribología	Page. 140
CAPITULO VIII	
VIII Prácticas de Sulfidización	142
CAPITULO IX	
IX.1 Estudio Económico	147
CAPITULO X	
X.1 Conclusiones	149
Bibliografía	152

CAPITULO I

I.1 INTRODUCCION

El acero es el material que mayor importancia tiene en el desarrollo industrial de un país. Además de necesitarse para la fabricación de todo tipo de bienes de consumo duraderos; es indispensable en la industria de la construcción, obras públicas, etc. El acero es básicamente una aleación de hierro y carbono; para que tenga aplicación, es necesario que tenga determinadas características, como es el aumento de dureza en su superficie y elevación de la resistencia al desgaste, teniendo la parte central llamada núcleo muy tenaz y muy suave. Esto se puede obtener por medio de tratamientos térmicos y tratamientos termoquímicos.

El tratamiento térmico consiste en una serie de calentamientos y enfriamientos del metal, a diversas temperaturas durante determinados tiempos y a determinadas velocidades de calentamiento y enfriamiento.

Tratamientos termoquímicos son tratamientos en los cuales no sólo se someten los aceros a calentamientos y enfriamientos, sino que se tratan las superficies de las piezas mediante compuestos químicos y que por difusión varía la composición química en una capa de espesor determinado.

Nuestro estudio está encauzado en la sulfidización, que es un tratamiento termoquímico, que tiende a mejorar de manera muy notable la resistencia al desgaste de los aceros, esto se produce como consecuencia de incorporar azufre a la masa metálica mediante calentamiento a temperaturas alrededor de los 565°C, para lograr estas condiciones las piezas se introducen en un baño de sales fundidas. En este tratamiento, aunque no se observa un aumento sensible de la dureza superfi-

ciel en el acero, si se obtiene en cambio un gran aumento de la resistencia al desgaste.

I.2 ESTUDIO DEL DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

Las transformaciones que tienen lugar en el sistema hierro-carbono, considerando el carbono como un elemento de aleación del hierro, cuando varían sus proporciones y la temperatura del sistema se representan en un diagrama que normalmente se denomina diagrama hierro-carbono. En realidad en el diagrama que vamos a considerar ahora, el carbono está a temperatura ambiente combinado con el hierro en forma de carburo de hierro (Fe_3C) y, por tanto, y más propiamente, se debe denominar diagrama hierro - carburo de hierro (fig. I.).

En el eje de las abscisas se ha representado la proporción de carbono y también la de carburo de hierro de la aleación. Se ha utilizado la escala logarítmica para que la zona correspondiente al acero, -- que es la que más nos interesa, ocupase un campo mayor. En el eje de las ordenadas se han representado las temperaturas.

En el eje de las abscisas hay cuatro puntos bien definidos:

1.- El límite del diagrama corresponde a una proporción de carbono de 6.67%, que es el de la cementita pura. Las aleaciones hierro - carbono con carbono en proporción superior a 6.67%, lo contendrán en forma de gráfita y, por tanto estarán incluidas de las aleaciones ahora consideradas, que deben estar formadas única y exclusivamente con carbono combinado con el hierro en forma de carburo de hierro.

2.- El punto C, denominado eutéctico, correspondiente a una proporción de carbono de 4.3%, y de carburo de hierro en total de 64.5%. La aleación del 4.3% de carbono es la de más bajo punto de fusión ($1130^{\circ}C$). Además, la totalidad de la masa de la aleación funde o se solidifica -

a una sola temperatura en lugar de a dos temperaturas, una de principio y otra de fin, del cambio de estado (fusión o solidificación), como ocurre con las aleaciones de contenido de carbono superior o inferior al 4.3%. Por eso la línea ABCD, de principio de solidificación, tiene con la AHJECF, el punto común C, que es el eutéctico.

Y así como con contenidos inferiores de carbono entre el principio y fin de la solidificación se va precipitando austenita, y para aleaciones de contenidos de carbono superiores a 4.3% entre el principio y el fin de la solidificación se precipitan cristales de cementita, las aleaciones de 4.3% de C se solidifican formando un sólo constituyente que también se denomina eutéctico y es la ledeburita, formado, como se sabe, por 52% de cementita y 48% de austenita de 1.76% de carbono a 1130°C.

3.- El punto E marca la máxima solubilidad del carburo de hierro en hierro gamma. Este punto corresponde a un contenido de carbono de 1.76%, que equivale a un contenido de un 26% de carburo de hierro.

Además, el punto de 1.76% en el eje de las abscisas divide las aleaciones de hierro-carbono en dos clases de características muy distintas: Los aceros de contenido de carbono inferior a 1.76% hasta 0.03% y las fundiciones de contenido de carbono comprendido entre 1.76% a 6.67%.

Los aceros son las aleaciones de hierro-carbono que a partir de una temperatura determinada marcadas con el diagrama por las líneas A_3 (GS) y A_{cm} (SE). Se transforma íntegramente en austenita al enfriarlas rápidamente se convierte en martensita.

4.- El punto S, denominado eutectoide, es análogo al punto C que denominábamos eutéctico. La diferencia está en que el punto eutéctico tiene lugar un cambio de estado de líquido a sólido o de sólido a líquido

y en el punto eutectoide se produce solamente una transformación de la constitución de la aleación, que es sólida lo mismo a temperaturas inferiores que a temperaturas superiores al punto eutectoide.

La analogía, salvo esta diferencia, es total. Así como el punto C (eutéctico) marca la composición de la aleación que permanece líquida a más baja temperatura, también el punto S (eutectoide) marca la composición de la austenita que es estable a más baja temperatura. Este porcentaje es de 0.89% de C, o sea, 13.5% de carburo de hierro.

Además la totalidad de la masa de la austenita, de composición eutectoide, se transforma íntegramente al pasar por el punto S (eutectoide) en perlita, que es el constituyente eutectoide, igual que era la ledeburita el constituyente eutectico que se formaba al solidificarse la aleación en el punto C (eutéctico). Para contenidos de carbono superiores o inferiores al punto S (0.89% de C) la transformación de la austenita en perlita tiene lugar a través de una fase intermedia, durante la cual va segregando un constituyente nuevo hasta que al llegar a la temperatura de 723°C, la austenita tiene la composición eutectoide y se transforma íntegramente en perlita. Para porcentajes de carbono superiores al 0.89% la austenita, al enfriarse por debajo de la línea Ac₁ (SE), segrega cementita hasta llegar a los 723°C. Y para porcentajes de carbono inferiores a 0.89% de C, la austenita, al bajar en su enfriamiento de temperaturas inferiores a las de la línea A₃(GS), segrega ferrita hasta llegar a los 723°C.

5.- El punto J, cuyo porcentaje de carbono de 0.18% es el de la austenita, que permanece estable a la más alta temperatura de 1.492°C. Este punto se denomina peritético, y puede considerarse como un punto eutético al revés.

6.- El punto H, de 0.08% de C, o sea, 1.5% de carburo de hierro, que es

el máximo porcentaje que puede contener en solución sólida el hierro-delta.

7.- V, por fin, el punto P, de 0.025% de C, que es el máximo porcentaje de carbono que puede disolver la ferrita.

Estos tres últimos puntos J, H y P tienen poco interés prácticamente.

Se ha marcado también en el diagrama en el eje de las abscisas un punto que corresponde a 0.03 % de carbono, que es el porcentaje máximo que prácticamente se admite para que una aleación hierro-carbono sea considerada como hierro técnicamente puro.

En el eje de las ordenadas hay los siguientes puntos críticos:

$A_0 = 210^{\circ}\text{C}$, en el que tiene lugar el cambio magnético de la cementita. Es decir, hasta 210°C la cementita es magnética y por encima de esta temperatura deja de ser magnética.

$A_1 = 723^{\circ}\text{C}$, que es el límite de la perlita.

$A_2 = 768^{\circ}\text{C}$, que es la temperatura de cambio magnético de la ferrita.-- Por encima de esta temperatura la ferrita deja de ser magnética.

$A_3 = (\text{línea SG})$, que es el límite de la ferrita. Este punto crítico varía desde 723°C a 910°C , según el tanto por ciento de carbono.

$A_{cm} = (\text{línea SE})$, que es el límite de la cementita. Este punto crítico varía desde 723°C y 1130°C .

Línea EF = 1130°C , que es el límite de la ledeburita.

DIAGRAMA HIERRO - CARBONO

--- DIAGRAMA HIERRO - GRAFITO

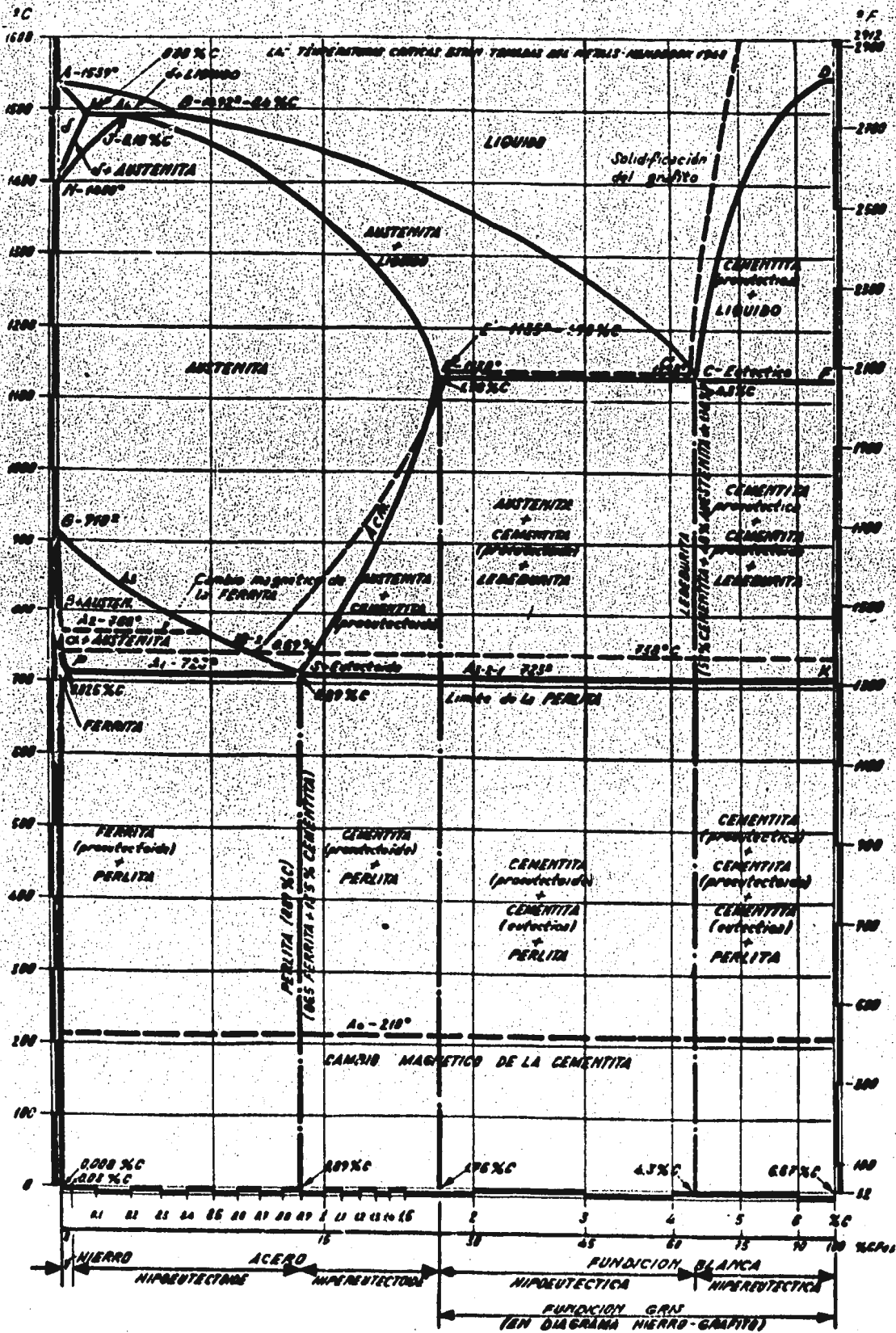


Fig. 1

La línea ABCD es la de temperatura de iniciación de la solidificación.

La línea ADE es la de temperaturas de fin de la solidificación. Por debajo de ellas todo el metal está en estado sólido. Entre esta línea y la anterior existe la mezcla de líquido y sólido.

Línea A₁ (M_S), es el límite superior de austenita.

I.3 CURVA DE ENFRIAMIENTO

El hierro es un metal alotrópico, lo que significa que puede presentarse en diversas variedades de estructuras cristalinas, dependiendo el que adopte una u otra de la temperatura a que se encuentre. Su curva de enfriamiento es la representada en la figura 2.

Al solidificar a 1539°C lo hace en la forma δ (delta), que pertenece a la red cúbica del cuerpo centrado. Cuando desciende la temperatura a 1400°C tiene lugar un cambio de fase reagrupándose los átomos y dando origen a la variedad γ (gamma), la cual es de red cúbica de caras centradas y no magnética. Al proseguir el enfriamiento del metal se presenta un nuevo cambio de fase a 910°C, pasando la temperatura de la estructura del hierro de la variedad γ , cúbica de caras centradas, a la α (alfa), que pertenece a la red cúbica del cuerpo centrado y también es no magnética. Finalmente, a 768°C aparece un cambio en las propiedades magnéticas del hierro α , el cual pasa de no magnético, sin que la estructura cristalina sufra ninguna variación. En un principio el hierro α no magnético se denominó hierro β , hasta que la aplicación de los rayos X puso de manifiesto que este cambio en las propiedades magnéticas no iba acompañado de ninguna transformación de la estructura cristalina. Como esta transformación magnética no ejerce ninguna in-

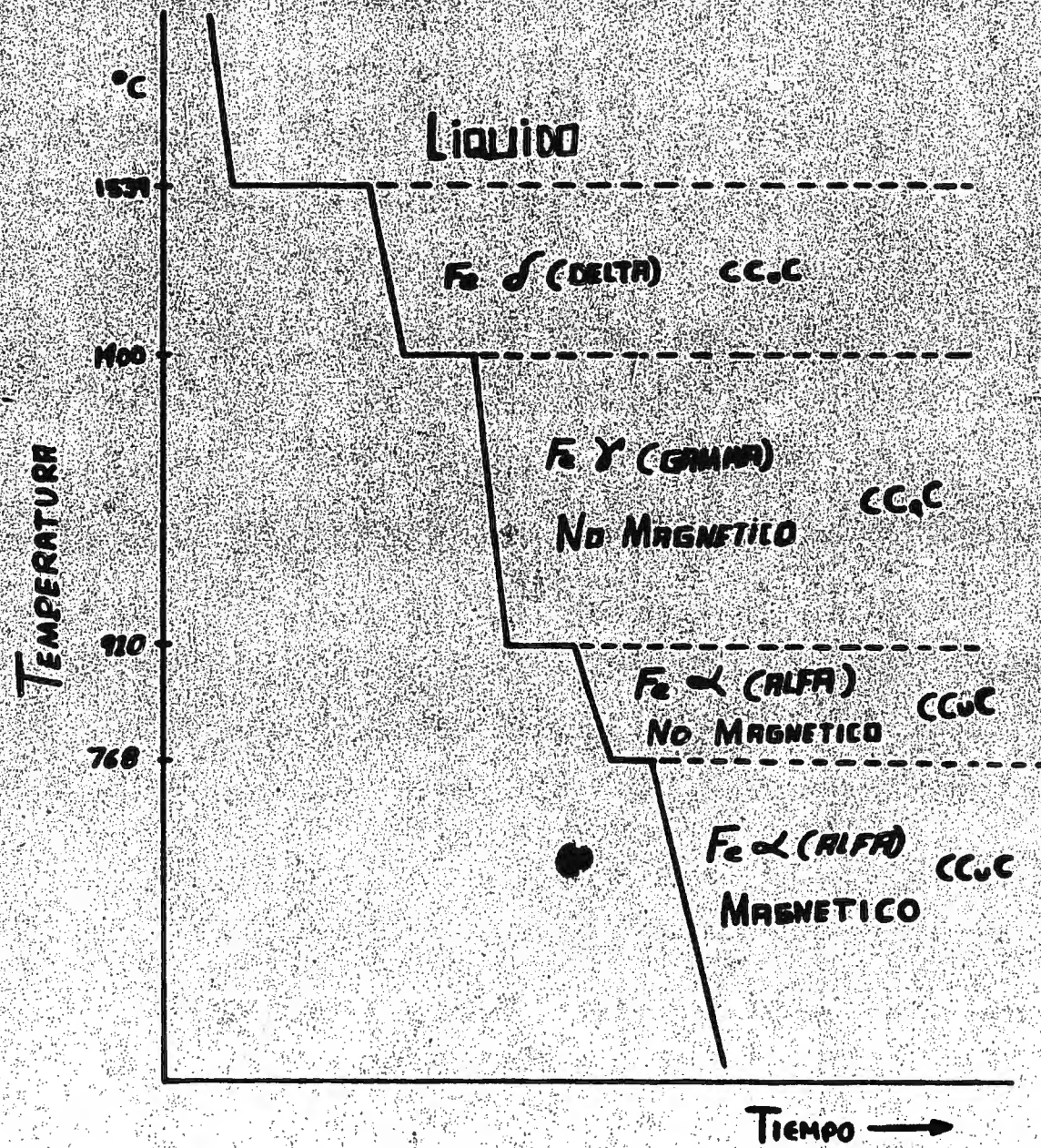


FIG. 2.

encia sobre el tratamiento térmico de las aleaciones hierro-carbono -- no lo tendremos en cuenta en nuestra exposición. Todas las transformaciones alotrópicas se producen durante el enfriamiento de calor (exotérmicas) y en el calentamiento con absorción de calor (endotérmicas).

1.4 DEFINICION DE ESTRUCTURAS

La Cementita.- La Cementita o carburo de hierro responde a la fórmula química Fe_3C y contiene 6.67%, en peso, de C. Es un compuesto intersticial típico, duro y frágil, cuya resistencia a la tracción es pequeña, pero que presenta una resistencia a la compresión elevada.

AUSTENITA.- El hierro γ (de red cúbica de caras centradas) disuelve carbono, siendo la solubilidad máxima de éste en aquél de un 1.76% a $1130^{\circ}C$, y la solución sólida intersticial así formada se denomina austenita.

LEDEBURITA.- Bajo este nombre se conoce la mezcla eutéctica de austenita y cementita, la cual contiene un 4.3 % de C y se forma a $1130^{\circ}C$.

FERRITA.- Con este nombre se designa la solución sólida α la cual es una solución sólida intersticial formada por pequeñas cantidades de carbono disueltas en hierro α (red cúbica de cuerpo centrado). La solubilidad máxima se presenta a $723^{\circ}C$, y es de 0.025% de C (punto β) admitiéndose que, a la temperatura ambiente, el hierro llega a disolver solamente 0.008 % de C. Esta estructura es la más blanda de todas las que aparecen en el diagrama.

PERLITA (PUNTO S).- Recibe este nombre la mezcla eutéctica compuesta por 0.89% de C, que se forma en el enfriamiento lento a $723^{\circ}C$.

La mezcla está formada por una serie de láminas paralelas de muy pequeño espesor de ferrita y cementita, y su microestructura, que recuerda una huella digital.

CAPITULO - II -

QUE SON LOS ACEROS

II.1 EL ACERO

El acero es una aleación de hierro y carbono. Su contenido en carbono no debe exceder de 1.76 % y está siempre presente como carburo de hierro distribuido a través de la masa. Además del contenido de carbono en acero también se encuentran presentes en cantidades variables el Si, Mn, S, y P.

Según su composición, los aceros se clasifican en dos grupos principales: aceros no aleados y aceros aleados.

El acero es maleable y dúctil; sin embargo, conforme el contenido de carbono aumenta, el acero se hace más resistente y duro, pero menos dúctil y resistente al impacto.

II.2 COMPOSICION DEL ACERO

La composición química del acero da una estructura cristalina -- muy compleja, que puede ser modificada mediante tratamiento térmico, tratamiento termoquímico o por trabajo en frío. La alteración de la estructura de los aceros hace cambiar grandemente sus características especialmente sus propiedades mecánicas.

Aunque en los aceros el contenido de carbono no excede de 1.76%, es el elemento de aleación más importante. El carbono puede encontrarse en los aceros, en forma libre, como laminillas o como glóbulos de -- grafito combinado con el hierro y los otros metales de la aleación -- formando carburos.

**A) PROPOSITOS QUE SE PERSIGUEN AL ADICIONAR
A LOS ACEROS ELEMENTOS DE ALEACION**

- 1.- Aumentar la templeabilidad.**
- 2.- Mejorar la resistencia a altas temperaturas.**
- 3.- Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.**
- 4.- Mejorar la tenacidad.**
- 5.- Aumentar la resistencia a la corrosión.**
- 6.- Aumentar la resistencia al desgaste.**
- 7.- Mejorar las propiedades magnéticas.**

II.3 INFLUENCIA DEL C, Si, Mn, S y P EN EL ACERO

Carbono (C). Se presenta en cantidades alrededor del 4%, en forma de escamas de grafito libre o como carburo de hierro (carbono combinado), o como una mezcla de las dos formas. El tipo de carbono presente, es de ahí la variedad de tipos de arrabio, es determinado parcialmente por la velocidad de enfriamiento de aquél. Si ésta es lenta, hay tendencia a la formación de grafito libre, mientras que si es rápida predispone a la formación de carbono combinado.

El grafito hace el hierro suave y resistente. Las escamas normalmente gruesas, de grafito, se comportan como puntos de falla bajo esfuerzos de tensión o de corte, pero no tienen efecto cuando el hierro es-

sometido a compresión. El grafito comunica al hierro el color gris -- cuando éste es fracturado.

Cuando el carbono se presenta como compuesto del hierro, éste se vuelve más duro y brillante, y la fractura es blanca o gris brillante.

Además de la velocidad de enfriamiento, la proporción de los otros elementos presentes en el arrabio influyen en la composición y por consecuencia en la clase de arrabio.

Silicio (Si). Un alto contenido de silicio del 2 al 5%, facilita la formación de grafito libre, de tal manera que el silicio puede ser considerado como un suavizador para el hierro.

Manganeso (Mn). Este elemento está siempre presente en el hierro. Facilita la formación del carburo de hierro y es, por lo tanto, un endurecedor. Todas las fundiciones de hierro deben cumplir con un balance cuidadoso para mantener los contenidos adecuados de silicio y manganeso. El manganeso, sin embargo, tiene otra aplicación en el hierro por su gran afinidad con el azufre.

Azufre (S). Es un elemento indeseable en el arrabio, pero no puede ser eliminado ya que el hierro lo asimila como un sub-producto de la combustión. El contenido de azufre, se mantiene lo más bajo posible. El azufre combinado con hierro forma el sulfuro de Hierro el cual tiene más bajo punto de fusión que el hierro y es más quebradizo. Cualquier hierro o producto de acero que lleve un ex~~ces~~o de azufre debe ser recalentado, ya que el sulfuro de hierro se fundirá cuando la masa del hierro sea calentada al rojo. Afortunadamente el azufre se combina más fácilmente con el manganeso que con el hierro, resultando el sulfuro de manganeso, que tiene un alto punto de fusión y es comparativamente inofensivo.

Fósforo (P). Está también presente en el hierro. En combinación con el hierro, forma el hierro fosforado que es quebradizo, pero no es tan infensivo como el sulfuro de hierro. El contenido de fósforo se conserva lo más bajo posible, pero algunas veces se incrementa cuando se hacen piezas complicadas por lo que las fundiciones deben ser de alta fluidez para llenar las formas irregulares en el vaciado.

II.4 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS

Las propiedades mecánicas de los aceros son características de estos materiales, relacionada con la resistencia mecánica de los mismos, tales como:

TENSION

- Módulo de elasticidad longitudinal en tensión-----Et
- Esfuerzo de ruptura en tensión-----Rt
- Esfuerzo de cedencia en tensión-----R_pt
- Esfuerzo correspondiente al límite elástico en tensión-----Ret
- Alargamiento unitario-----A
- Reducción unitaria del área de la sección transversal-----Z

COMPRESION

- Módulo de elasticidad longitudinal en compresión-----Ec
- Esfuerzo de ruptura en compresión-----Rc
- Esfuerzo de cedencia en compresión-----R_pc
- Esfuerzo correspondiente al límite elástico en compresión-----Rec

CUOTE

- Módulo de elasticidad transversal-----G
- Esfuerzo de ruptura al corte-----R_s
- Esfuerzo de cedencia al corte-----R_{fs}
- Esfuerzo correspondiente al límite elástico en corte-----R_{es}
- Deformación angular unitaria----- γ

FATIGA

- Esfuerzo de ruptura por cargas variables o alteradas----- σ_r

RESILIENCIA

- Energía absorbida por la ruptura-----K

DUREZA

La medición de la dureza puede hacerse por varios métodos, algunos de los cuales tienen algunas variantes. Los más comúnmente empleados son:

- Dureza Brinell-----HB
- Dureza Rockwell-----R
- Dureza Vickers

Los módulos de elasticidad longitudinal en tensión y en compresión son iguales.

$$E_t = E_c = E$$

El módulo de elasticidad del acero es casi independiente de la composición química y del estado del material, su valor se encuentra entre:

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2 \text{ -----} 220000 \text{ N/mm}^2$$

lo que equivale a $E = 20400 \text{ Kg}_f / \text{mm}^2$ ----- $22400 \text{ Kg}_f / \text{mm}^2$

Los esfuerzos de ruptura, de cedencia y de límite de elasticidad en tensión y en compresión, para los aceros, son para los fines de cálculo, iguales respectivamente. Esto es cierto siempre que el cuerpo se comporte en compresión como columna corta, es decir que su relación de esbeltez sea inferior a 60.

Existen relaciones bien definidas entre los esfuerzos al corte y los esfuerzos a la tensión, así como los módulos de elasticidad longitudinal y transversal.

Para aceros existe una relación bastante bien definida, para los fines de cálculo de resistencia, entre el esfuerzo de ruptura en tensión y dureza Brinell.

Los esfuerzos de cedencia y el correspondiente al límite elástico en tensión, compresión y corte, son prácticamente iguales.

El más empleado en los cálculos de resistencia de materiales es el esfuerzo de cedencia.

A) VARIACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS

Con excepción del módulo de elasticidad longitudinal y el módulo de elasticidad transversal, las propiedades mecánicas de los aceros varían ampliamente con los siguientes factores:

- Composición química
- Deformación en caliente
- Deformación en frío
- Tratamiento térmico
- Tratamiento termoquímico

B) COMPOSICION QUIMICA

El contenido de carbono determina en gran parte la dureza y los esfuerzos de ruptura y de cedencia que los aceros pueden alcanzar; los aceros de bajo contenido de carbono son suaves, los de alto contenido de carbono pueden ser muy duros.

La adición de otros elementos en la aleación tales como el manganeso, vanadio, tungsteno, etc. mejoran en términos generales esas características y si las cantidades de estos elementos llegan a determinados valores, les confieren propiedades de resistencia a la corrosión y conservación de sus características mecánicas a altas temperaturas, condiciones en las que otros aceros las pierden.

La composición química es muy importante para las características que dan el temple a los aceros. Los aceros de carbono de mediano y alto contenido de este elemento, pueden ser templados pero el grosor de la capa así modificada es mucho menor que el correspondiente a los aceros aleados; en estos, el tratamiento térmico de temple penetra mucho más profundamente que en aquellos.

C) DEFORMACION EN CALIENTE

Los aceros que se deforman en caliente (temperaturas superiores a A_3 o A_{cm}) por forjado, por el laminado, por estirado, por extruido, poseen características de resistencia superior a los que no han sufrido esta deformación en caliente, ya que sus cristales se rompen o se alargan y confieren al material mayor dureza y esfuerzo de ruptura y de cedencia más altos.

Los aceros laminados, estirados y extruidos adquieren una macroestructura fibrosa, pues sus cristales se alargan en el sentido de la deformación (longitudinalmente) y se eliminan o reducen las sopladuras-

que en el lingote pudiera tener.

Los aceros pueden laminarse, estamparse, estirarse y extruirse en frío (a temperaturas inferiores a A_3 o A_{cm}) y, como el caso de la de formación en caliente, el proceso mejora la dureza, eleva el esfuerzo de ruptura y el de cedencia del metal, cuando menos en las capas superficiales. Al mismo tiempo se vuelve frágil.

(AGRIO) o sea que disminuye su resiliencia.

II.5 ENSAYOS FISICOS PARA DETERMINAR LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS MECANICAS DE LOS ACEROS

Ensayo de tracción (R.Mpf/mm)

Este ensayo se efectúa sobre probetas de diferentes tipos. Las dimensiones de estos cuerpos de prueba deben reunir ciertas condiciones, que permitan poder comparar los ensayos efectuados con uno u otro tipo de probeta.

Las características de las probetas varían según sea el país.

Tipos de probetas.

Alemana normal larga

$$L = 11.28 \sqrt{d^2}$$

L=10d

L=100mm

Alemana corta

$$L = 5.64 \sqrt{d^2}$$

L=5d

L=50mm

Francesa

$$L = 8.17 \sqrt{d^2}$$

L=7.24d

L=100mm

Americana

$$L=4.48\sqrt{rd^2}$$

L=3.97d
L=2 plg.

Inglés

$$L=4\sqrt{rd^2}$$

L=3.54d
L=2 plg.

Este ensayo da:

Carga de rotura por mm^2 (R.Kgf/ mm^2)

Límite elástico por mm^2 (E.Kgf/ mm^2)

Alargamiento % en un.

R.Kgf/ mm^2

Determinación de la carga específica máxima de tracción que puede soportar antes de romperse el probeta.

E.Kgf/ mm^2

Límite elástico es la máxima carga específica de tracción que no experimenta de formación permanente.

A %

Es el aumento permanente de longitud en %, cuando es alcanzada la carga de rotura (R.Kgf/ mm^2).

ENSAYO DE DUREZA BRINELL DA:

Grado de dureza HB.

Carga aproximada a la rotura (solamente en los aceros)

ENSAYO DE ESTRICCIÓN (ϵ)

Cuando es alcanzada la zona de rotura, la probeta de carga de estricción total, que dividida por la sección inicial de la carga de estricción unitaria. La reducción de la sección está marcada en %.

MODULO ELASTICO (M)

Es la tensión en Kgf/mm^2 , que será necesario para alargar elásticamente una barra, sin experimentar la rotura. La carga el alargamiento elástico correspondiente para cada acero o metal, es expresada en Kgf/mm^2 .

LINITE DE FATIGA (F)

Es la carga específica variable al máximo, que no alcanza la rotura en 30 millones de ciclos, en esta (Kgf/mm^2)

ENSAYO AL CHOQUE O RESISTENCIA (P)

Este ensayo da la resistencia al choque en Kgf/cm^2 por una sección estándar.

La resistencia (P), en Kgf/cm^2 , está en relación con la tenacidad y la fragilidad del material.

ENSAYO DE TRACCION EN CALIENTE O FLUENCIA

Determina las características mecánicas a la temperatura de utilización de los materiales. Para la realización de este ensayo, las probetas son montadas en un horno eléctrico especial.

La característica principal de este ensayo, es la de determinar el límite de fluencia que es la carga límite en Kgf/mm^2 que el metal puede soportar indefinidamente para una temperatura determinada.

Con la finalidad de poder dar unas cifras prácticas con estos ensayos más o menos acelerados, el centro VERITAS, impone como resistencia el ensayo de fluencia, la tensión que da entre las 25 y 35 horas, - un alargamiento de 5X10% por hora.

ENSAYO DE TORSION

Este ensayo es particularmente utilizado para el control de hilos y alambre de acero con temple bainítico, destinados a la fabricación de resortes.

ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

La resistencia al cizallamiento puede determinarse mediante un aparato compuesto de un punzón y una matriz.

El ensayo se efectúa mediante una compresión hasta llegar a la rotura midiendo la carga necesaria para originar la rotura de la sección cizallada, se obtiene la resistencia al cizallamiento del metal ensayado.

Este ensayo es particularmente empleado en las fundiciones, dado que por su fragilidad es difícil efectuar el ensayo de tracción correctamente (Caso de las fundiciones grises).

ENSAYO DE EMBUTICION EN FRIO

Se aplica en los metales en forma de chapa, fleje, etc. En la recepción de un lote de acero destinado a la embutición en frío o en caliente se deberá examinar.

Las características mecánicas dadas por el ensayo de tracción.
El calibre de las chapas (espesor regular en toda la superficie).
El estado superficial (escamas, oxidación, rugosidad, etc.)
La composición química.

El ensayo Pearsz-Quillery, utiliza un punzón terminado en una media esfera de 20mm. de diámetro.

Este punzón se introduce en la probeta a ensayar mantenido en una matriz circular de 50mm de diámetro interior; la fuerza que experimenta la cazoleta embutida, es medida en el momento de producirse rotura.

Según sea la cantidad del material a ensayar, existen normas que dan por cada espesor, la profundidad de embutición que puede determinarse como mínimo aceptable.

Las condiciones del ensayo pueden variar; la lubricación con vaselina, por ejemplo, pueden hacer variar la profundidad de embutición -- para una misma calidad de material.

Igualmente el tamaño de gramo tiene una fuerte influencia, en los resultados.

ENSAYO DE TEMPLABILIDAD

Para efectuar este ensayo, se recurre al método de Jominy.

El ensayo se realiza como sigue:

Con el material a examinar se construye una probeta de 25mm de diámetro por 100mm. de longitud, con una cabeza de apoyo de 31mm. de diámetro. La probeta se sustentará de acuerdo con el tipo de material, - en baño de sales o en atmósfera controlada con finalidad de evitar la decarburación. El tiempo de sustentación será de 30 minutos.

La probeta será colocada rápidamente en el aparato dispuesto para ser enfriada en condiciones controladas;

El agua deberá estar comprendida entre las temperaturas de 10 a - 30°C. El orificio de salida del agua será de 12.5 mm., con una presión que determine una altura libre del agua de 65mm. El extremo inferior de la probeta colocada con el eje vertical del orificio. El tiempo de permanencia en proceso de enfriamiento, será de 10 minutos.

Una vez realizada esta fase del ensayo la probeta se somete a un rectificado plano de dos superficies en relación con dos generatrices-diametralmente opuestas, donde son sometidas las durezas a medidas (HR ó HV) partiendo de la base templada y llevadas las lecturas correspondientes sobre un diagrama.

Según sea la curva reflejada en el diagrama se sabrá cual es la mayor o menor templabilidad del acero (profundidad de dureza alcanzada desde la superficie al corazón de la sección templada).

ENSAYO AL DESGASTE

El ensayo se realiza con una máquina de un disco de carburo de - -
Tugsteno, donde se le imprime un movimiento de rotación. Este disco es
tá en contacto con la probeta a ensayar.

La presión ejercida sobre el disco es regulable y la profundidad -
de penetración del disco durante el ensayo es controlada mediante un --
comparador.

Por los resultados dados, en la tabla podemos constatar que una du
reza muy elevada no es el factor que influye para conseguir la mejor re
sistencia al desgaste.

TABLA DE CLASIFICACION REALIZADA CON LA MAQUINA "SKODA-SAML" (ENSAYO -
AL DESGASTE)

MATERIALES ENSAYADOS	DUREZA HV CARGA 50Kg	DESGASTE 10 mm
Carburo de Tugsteno	1030	5
Acero cromado-duro	847	41
Acero Nitruado	895	45
Acero rápido al 15% de Co	802	50
Acero rápido al 15% de Co	708	62
Stellite	750	70

Acero 18 W-1% Va	790	100
Acero al carbono	820	130

Vemos en los distintos ensayos efectuados, que el acero al carbono y dureza elevada, tiene una baja resistencia al desgaste, mientras que el acero rápido al 1% de Co, con aproximadamente la misma dureza, su resistencia al desgaste es muy superior. Se deduce pues, que los aceros formados de carburos y de nitruros son los que más resistencia al desgaste ofrecen.

II.6 PRUEBAS DE DUREZA EN LOS METALES

La propiedad de dureza, y que es de vital importancia, significa que la resistencia al desgaste superficial, o sea la habilidad para cortar o ser cortado por un proceso mecánico; se conocen hasta 30 métodos diferentes para medir la dureza, los cuales han sido aplicados a través del tiempo. Actualmente son 4 las pruebas principales más usadas. Estas son, la prueba Shore con escleroscopio, la prueba Vickers con pirámide de diamante, y las pruebas Brinell y Rockwell.

LA PRUEBA SHORE CON ESCLEROSCOPIO

Esta prueba usa un pequeño diamante puntiagudo a manera de un martillo que pesa solamente 1/16 de onza y cae libremente a lo largo de un tubo de vidrio desde una altura de 10 pulgadas. El tubo es graduado en 140 divisiones iguales. El martillo baja y choca con la superficie del metal y la altura del primer rebote es usado como el índice de la dureza. Este método se usa cuando se prueban piezas que no deben ser mercedas, tales como rodillos y dados.

LA PRUEBA VICKERS (HV)

Esta prueba se realiza en una máquina que aplica una carga a un punzón de diamante de base cuadrada para marcar con un punto la superficie del metal. Este tipo de punzón, no se deforma fácilmente y las impresiones creadas por diferentes cargas tienen la misma forma geométrica. La pirámide de diamante es cortada a un ángulo de 136° y las cargas usadas varían de 5 hasta 120 Kg. La relación de carga y el tiempo de penetración, son controlados por el mecanismo de la máquina. Después que se ha hecho la marca se adopta un microscopio en posición tal que la distancia a través de las diagonales en la marca cuadrada se miden y leen con un contador digital. El número de dureza Vickers se lee entonces en la tabla apropiada de números de dureza.

Esta prueba es recomendable para partes endurecidas y pulidas ya que la marca es muy pequeña.

$$HV = \frac{1.854 L}{d^2}$$

L = Carga aplicada, en Kg.
d = Longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión, en mm.

LA PRUEBA ROCKWELL (HR)

La máquina Rockwell aplica una carga de 100 kg a una esfera de acero endurecido cuyo diámetro es 1/16 de pulgada (escala B) o una carga * de la dureza se lee directamente en una escala graduada.

Cuando se inicia una prueba, se aplica una carga pequeña de 10kg para corregir cualquier retroceso u holgura en el mecanismo de la máquina y luego la escala del iniciador se pone en cero. Posteriormente se aplica la carga total y la profundidad de la impresión se lee en la escala como número de dureza Rockwell.

Esta prueba es extremadamente valiosa para hacer pruebas de rutina en trabajos de alta producción.

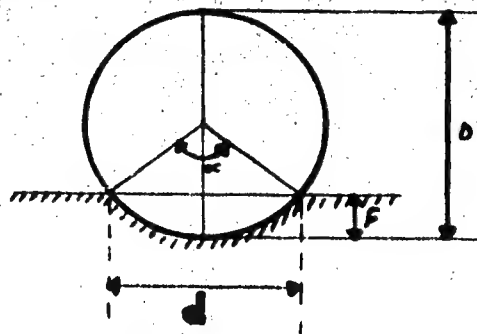
* de 150 Kg en un cono de diamante con un ángulo de 120° (escala C), y el resultado

TABLA 1.8 Escalas de dureza Rockwell*

<i>Esala</i>	<i>Carga mayor kg</i>	<i>Tipo de mandador de muerca</i>	<i>Materiales tipicos probados</i>
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de tungsteno, etc.
B	100	Bola de 1/16"	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, laton, bronce, etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas (tratadas)
D	100	Cono de diamante	Acero superficialmente cementado
E	100	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio
F	60	Bola de 1/16"	Bronce y cobre recocidos
G	150	Bola de 1/16"	Cobre al berilio, bronce fosforico, etc.
H	60	Bola de 1/8"	Placa de aluminio
K	150	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio
L	60	Bola de 1/4"	Plásticos y metales suaves, como el plomo
M	100	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
P	150	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
R	60	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
S	100	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
V	150	Bola de 1/2"	Igual que la escala L

Ametek Testing Equipment Systems, East Moline, Ill.

FORMULA SENCILLA PARA DETERMINAR LA DUREZA BRINELL



El método Brinell para determinar la dureza de los metales está basado en la resistencia a la penetración. Podemos definir la dureza como índice que resulte de la presión ejercida sobre una bola llamada penetrador y la huella dejada por la misma, tanto en profundidad como en diámetro.

Este método fue ideado por el ingeniero sueco J. A. Brinell en el año 1900, y de acuerdo con definición expuesta, la dureza se determina con la fórmula propuesta por Brinell.

$$DB = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

donde

DB = Dureza Brinell

P = Fuerza aplicada

D = Diámetro de la bola-penetrador

d = Diámetro de la huella permanente que deja la bola-penetrador sobre la superficie en ensayo, y que se mide con un microscopio provisto de un retículo graduado.

Por tanto, la DB se expresa en kilogramos por milímetro cuadrado - (kg/mm²). La fórmula generalizada será:

$$DB = \frac{P \text{ (kg)}}{S \text{ (mm}^2 \text{)}}$$

En 1908, el técnico alemán E. Zeit Meyer definió la dureza como la carga unitaria referida a la superficie del círculo que limita la huella permanente, lo cual expresa en la ecuación.

$$DM = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

Con el tiempo se ha generalizado el método Brinell para expresar la dureza de los metales, aún cuando se ha ejercido en su contra una labor crítica que tiene dos orientaciones: una de carácter técnico, - que pretende que el número que expresa la dureza de un material en un determinado estado, sea siempre el mismo e independiente de las condiciones del ensayo, principalmente en lo que se refiere a la carga, P; - la otra tiene carácter de orden científico, y seguramente se debe al propósito de definir con el mayor rigor posible ésta, al parecer sencilla, pero complicada propiedad mecánica, cuya definición no consideramos correcta. No obstante, la dureza tiene una gran significación dentro del cuadro de cualidades de resistencia de un material.

Si tomamos en consideración que los esfuerzos y deformaciones que experimenta una probeta metálica con esfuerzo P y diámetro D determinados, solamente serán comparables a los que experimenta el mismo material con P y D diferentes, si las huellas, geométricamente consideradas son semejantes, es decir, que el ángulo sólido de la huella subtendida desde el centro de la bola-penetrador permanezca constante (fig. 1); esto es, que D ha de ser constante, para lo cual d/D también debe ser constante.

Fundándonos en razonamientos similares, tenemos que $P/\pi D^2$ es también una constante, y tomando como base fórmula de Meyer, la siguiente fórmula :

$$\frac{4P}{\pi d^2} = \frac{P}{\pi D^2}$$

De resultados similares a los que se obtienen con la fórmula original de Brinell, por lo que consideramos que para efectos de enseñanza, y en caso de emergencia en un laboratorio, esta fórmula es más sencilla y por lo tanto más fácil de recordar y aplicar. Simplificándola al máximo, se puede obtener la dureza Brinell con la fórmula :

$$4P/\pi d^2 = K, \text{ ya que } P/\pi D^2 = K$$

K constante que, para 3000kg y 10mm de diámetro será igual a 9.55.

Igual razonamiento podemos educir cuando se aplican cargas de 500 kg obteniendo otra constante.

A continuación presentamos una lista de valores obtenidos con la fórmula clásica de Brinell, y la fórmula más sencilla que proponemos.

DUREZA BRINELL USADA EN LA PRACTICA	DUREZA DE PENETRACION EN MM	DUREZA DETERMINADA POR	DUREZA DET.
		LA FORMULA BRINELL EN KG/MM ² P $\frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	POR LA FOR MULA NACHER EN KG/MM ² $\frac{4P}{\pi d^2} = \frac{P}{\pi D^2}$
745	2.25	744.8373	744.9606
712	2.30	712.3633	712.5123
682	2.35	681.9783	682.1131
653	2.40	653.4532	653.5940
627	2.45	626.6561	626.8031
601	2.50	601.4502	601.6036
578	2.55	577.7119	577.8717
555	2.60	555.3295	555.4958
534	2.65	534.2014	534.3745
514	2.70	514.2357	514.4157
495	2.75	495.3486	495.5356
477	2.80	477.4637	477.6579
461	2.85	460.5113	460.7128
444	2.90	444.4277	444.6366
429	2.95	429.1544	429.3710
415	3.00	414.6378	414.8622
401	3.05	400.8288	401.0611
388	3.10	387.6820	387.9224
375	3.15	375.1557	375.4044

DUREZA BRINELL USADA EN LA PRÁCTICA	DUREZA DE PENETRACION EN MM	DUREZA DETERMINADA POR LA FORMULA BRINELL EN KG/MM ² $\frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	DUREZA DET. POR LA FOR- MULA MACHER EN KG/MM ² $\frac{P}{\pi d^2} - \frac{P}{\pi D^2}$
363	3.20	363.2114	363.4685
356	3.25	351.8136	352.0793
341	3.30	340.9294	341.2039
331	3.35	330.5284	330.8117
321	3.40	320.5823	320.8767
311	3.45	311.0649	311.3666
302	3.50	301.9519	302.2630
293	3.55	293.2207	293.5414
285	3.60	284.8502	285.1807
277	3.65	276.8207	277.1612
269	3.70	269.1140	269.4646
262	3.75	261.7129	262.0738
255	3.80	254.6014	254.9728
248	3.85	247.7647	248.1467
241	3.90	241.1885	241.5815
235	3.95	234.8600	235.2640
229	4.00	228.7666	229.1819
223	4.05	222.8969	223.3236
217	4.10	217.2401	217.6784
212	4.15	211.7858	212.2360
207	4.20	206.5246	206.9868
201	4.25	201.4474	201.9218
197	4.30	196.5455	197.0325
192	4.35	191.8111	192.3107
187	4.40	187.2366	187.7491
183	4.45	182.8147	183.3403
179	4.50	178.5388	179.0776

III.7 PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

Se han aceptado ciertos términos, los cuales son usados para describir las propiedades físicas de los materiales, y que se describen a continuación:

DUCTILIDAD.- Es la propiedad que permite que un material sea deformado hasta una longitud considerable sin que se rompa. Los materiales seleccionados para hacer alambre deben ser, naturalmente, bastante dúctiles.

ELASTICIDAD.- Es la habilidad que tiene un material que ha sido deformado de alguna manera para regresar a su estado y tamaño original, cuando cesa la acción que ha producido la deformación. Cuando el material se deforma permanentemente, de tal manera que no puede regresar a su estado original, se dice que ha pasado su límite elástico.

DUREZA ES LA PROPIEDAD DE RESISTIR EL DESGASTE O CORTE

Los metales son normalmente más suaves, cuando están calientes -- que cuando están fríos, pero un metal como el acero endurecido al aire, después de un tratamiento térmico apropiado, retendrá su dureza hasta una temperatura arriba de 600°C.

Existen varios métodos para probar la dureza, mediante diamante o mediante punzones de acero duro.

MALEABILIDAD.- Es la propiedad que permite que un material se deforme mediante martilleo, rolado, o prensado, sin romperse. La maleabilidad, se aumenta normalmente cuando el metal está caliente.

PLASTICIDAD.- Es la habilidad de un material para adoptar nuevas -

formas bajo presión y retener esa nueva forma. El rango de adaptación puede variar considerablemente de acuerdo con el material y sus condiciones.

En el proceso de extrusión, el material es calentado hasta un estado plástico y es forzado en una prensa de extrusión a través de una abertura perfilada llamada dado. Por este método se producen muchos perfiles metálicos y plásticos en una sola operación.

TENACIDAD.- Es la propiedad de resistencia a la ruptura por un esfuerzo a la tensión. Esta propiedad, de gran importancia para los diseñadores, se expresa en libras-fuerza o toneladas-fuerza por pulgada-cuadrada.

RESILIENCIA.- Es la propiedad de resistencia a la ruptura por carga de golpes repetidos, tales como martilleos.

Usualmente se encuentra en materiales que combinan alta tenacidad con buena ductilidad. El calentamiento normalmente debilita la resiliencia.

FRAGILIDAD.- Es lo opuesto a la TENACIDAD, los materiales frágiles se fracturan por golpes, pero pueden resistir presiones constantes. - Esta propiedad es algunas veces llamada fragilidad en frío o fragilidad en caliente. Dependiendo de las condiciones, un material frágil a temperatura normal, se dice que es quebradizo.

CAPITULO - III -

PROCESOS TERMICOS

III.1 T E M P L E

Si un tipo de acero se calienta por encima de su punto crítico superior (Ac_1) y es enfriado con más o menos rapidez, según sea el medio que requiere el acero tal como: agua, aceite, baño caliente, aire, el material quedará templado, lo que quiere decir: endurecido. Aún tratándose de acero con bajo porcentaje en carbono (0.10), el aumento de dureza es perceptible, ya que se logra un máximo, cuando el enfriamiento ha sido lo más rápido posible.

Para un acero dulce con porcentajes en carbono de hasta el 0.20 %, y donde se requiere mejor su tenacidad, se calentará a una temperatura de unos $30^\circ C$, superior a la crítica correspondiente de temple, seguido de un enfriamiento en agua. Con este temple, el acero dulce bajo en carbono, mejora sus características mecánicas, no alcanzadas por un simple normalizado (calentamiento y enfriamiento al aire).

Cuando el contenido de un acero al carbono alcanza el 0.30 %, y es enfriado en agua, el aumento de dureza en comparación con los otros aceros con inferior porcentaje es muy considerable.

La dureza sigue en aumento en relación con el aumento de carbono-hasta que éste alcanza el 1%, siendo aplicada indistintamente la misma velocidad de enfriamiento.

Cuando el acero contiene porcentajes superiores al 0.20 % de C, y es templado, la fragilidad empieza a evidenciarse para lograr que la -

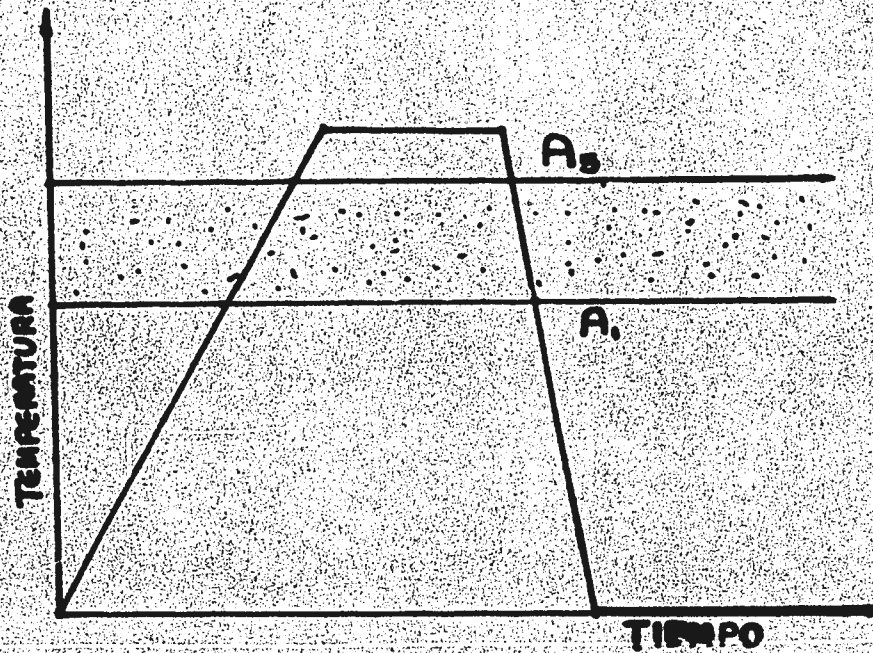
fragilidad o dureza sea reducida, y en consecuencia la tenacidad sumen-
te, en material templado deberá someterse a un nuevo calentamiento de-
revenido.

Si el acero se encuentra en estado recocido con una estructura
compuesta de granos de perlita rodeados por un retículo de ferrita o
cementita (disposición reticular), estas disposiciones no son alteradas
hasta que la temperatura sea la suficiente para que los componentes de
la perlita (cementita-hierro), entren en disolución formando una solu-
ción sólida, cuyo contenido en carbono es del 0.9 %, dejando hasta es-
te punto la ferrita o bien la cementita, que rodea el contorno del grano
perlítico intacta. A medida que la temperatura es aumentada la ferrita
libre o bien la cementita son absorbidas progresivamente en la solu-
ción sólida que se formó anteriormente.

La ferrita libre de los aceros hipoeutectoides no entra en solu-
ción hasta que la temperatura no alcance el punto crítico superior --
(Ac_3) correspondiente.

En consecuencia para lograr que este fenómeno se origine en un --
acero al carbono con un 0.30 %, será requerida una temperatura supe-
rior a la necesaria para un acero con el 0.50 % de carbono.

Al sobrepasar el punto Ac_3 , y con un tiempo suficiente de perma-
nencia, el acero se halla en su totalidad de solución sólida de carbo-
no en hierro gamma (austenización completa), siendo entonces cuando el
acero se encuentra en las más favorables condiciones de ser templado.-
Vemos, pues, que las temperaturas y los tiempos de austenización deben
ser respetados al máximo, para que la red de ferrita entre en solución
completa y el equilibrio se efectue en toda la masa.



A) ESTUDIO DEL MECANISMO DEL TEMPLE

El temple es utilizado para dar al acero una tenacidad adecuada. La operación consiste en poner el acero a una cierta temperatura, y después enfriarlo con la suficiente rapidez de inmersión en un medio adecuado.

Para una muestra de pequeñas dimensiones los factores del temple son tres:

- a) Composición química del acero.
- b) Temperatura de temple.
- c) Ley del enfriamiento.

El propósito es estudiar las marchas de las transformaciones del -

acero (y más precisamente de la austenita) durante el enfriamiento, y su estado físicoquímico y estructural después del enfriamiento.

Entendemos por temple, la operación de calentamiento de un acero a temperatura de 50 a 60° C por encima de su punto crítico de transformación, Ac_3 para aceros hipoeutectoides y Ac_1 para aceros hipereutectoides, manteniendo durante un cierto espacio de tiempo a esa temperatura, el acero se enfría bruscamente a una velocidad superior a la crítica de temple para obtener por transformación una elevación de dureza.

B) P R O C E S O

Durante el calentamiento del acero se efectúa la transformación Fe_3C --Fe-- (austenita), es decir, el átomo de carbono insertado en el centro de las caras del cubo, que va aumentando de tamaño y reagrupando los átomos del hierro y carbono hasta constituir la estructura cúbica de caras centradas, llamadas austenita.

Debemos de distinguir dos tipos de martensita: tetragonal, formada por causar una tensión violenta tetraédrica del carbono en Fe, y la cúbica.

La primera representa la máxima dureza del constituyente, aumentando su tetragonalidad con el incremento en el porcentaje de carbono del acero y, por consiguiente, su dureza. Esta martensita, generalmente se forma en aceros aleados con altos contenidos en carbono y enfriamiento brusco, es bastante inestable y con el tiempo tiende a transformarse en cúbica. La martensita cúbica no tiene una dislocación tan acusada como la tetragonal, y por consiguiente, su dureza es menor, aparece en los aceros de construcción y en los aleados cuyo enfriamiento se ha efectuado en un medio de temple cuya temperatura ha sido superior a los 90°C.

C) MODALIDADES DE TEMPLE EN HERRAMIENTAS

i) Temple Continuo

Se denomina temple continuo aquel cuyo enfriamiento es continuo - en agua, aceite o aire. Todos los aceros de herramientas admiten este sistema de enfriamiento. La elección del fluido del temple estará en consonancia con la clase de acero y los elementos de aleación que lo componen.

ii) Temple Discontinuo o Martempering

Es el clásico temple que se interrumpe antes de que la curva de enfriamiento rebase el punto Ms para posteriormente ser enfriado al aire o en aceite a temperatura de 70 a 80°C.

Se emplean en aceros de herramientas al carbono o débilmente aleados se requiere una gran habilidad y un elevado grado de especialización, para efectuar este tratamiento.

iii) Temple Isotérmico Bainítico

Todos los aceros pueden ser sometidos a esta clase de tratamiento aunque las espectaculares características mecánicas obtenidas, tanto de resistencia como de tenacidad se observan a partir de aceros con porcentajes del 0.35 a 0.40 % de carbono para la correcta aplicación y dominio de este tratamiento, es necesario conocer las curvas de transformación T.T.T. de los aceros a tratar los medios de enfriamiento correspondientes.

El temple bainítico se efectúa a temperaturas superiores a Ms, comprendidas entre los (320 - 580°C), según la clase de acero; cuanto más elevado, mayor será la temperatura elegida, la herramienta debe per

manecer a esta temperatura hasta su total transformación, para posteriormente ser enfriado al aire tranquilo.

El temple bainítico en herramientas, debería ser el único medio de enfriamiento dado para dar una seguridad total y un éxito definitivo a la herramienta, porque aparte de mejorar las características de resistencia y tenacidad, aumentamos comparativamente con el temple continuo la resistencia del acero factor muy importante, ya que un elevadísimo porcentaje de útiles (80 - 90 %) han de soportar esfuerzos de choque.

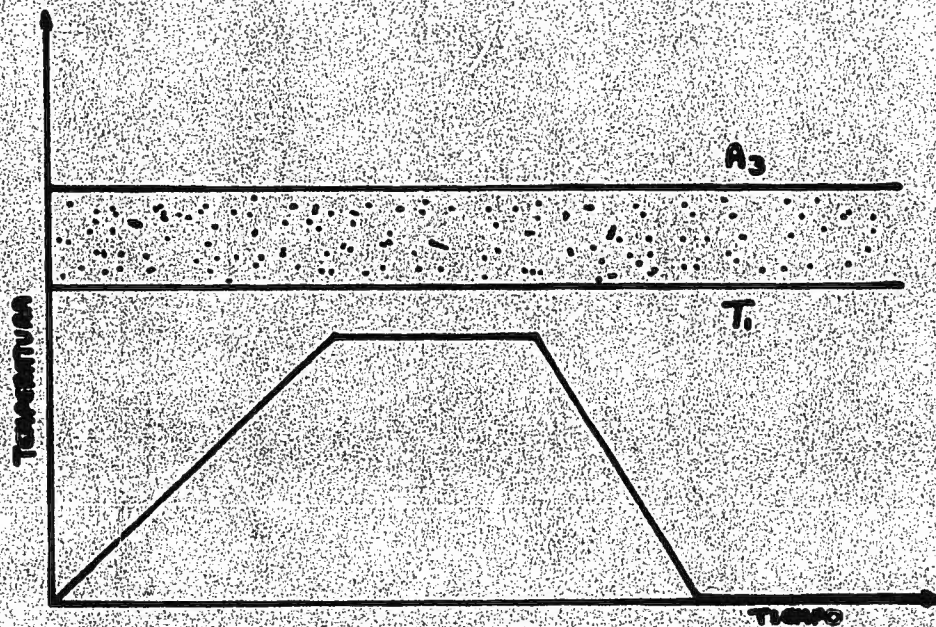
No debemos olvidar tampoco que la deformación de moldes matrices troqueles y demás herramientas, se reducirán al mínimo con este tratamiento y con garantía de eliminar las grietas provocadas por el temple.

Me Temperatura al principio de la transformación.

III.2 REVENIDO

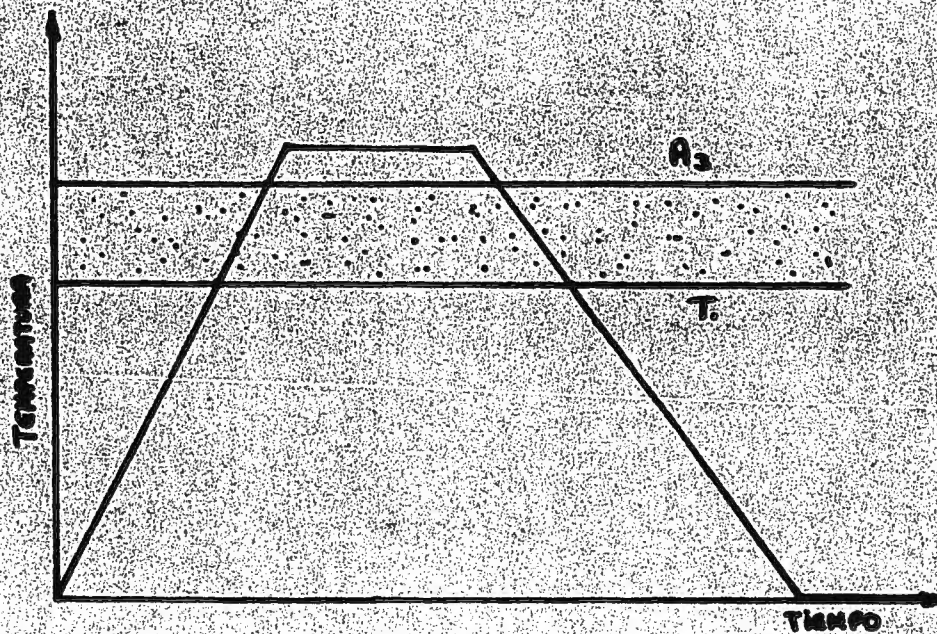
Para restituir al acero templado parte de la resistencia que debe tener para las diversas aplicaciones, se emplea el tratamiento térmico conocido como revenido.

Este consiste en elevar la temperatura del acero hasta un nivel inferior a la temperatura T_1 , mantener esa temperatura durante cierto tiempo y después enfriar con cierta lentitud hasta la temperatura ambiente. Este tratamiento restituye al acero gran parte de su resiliencia aunque disminuye ligeramente la dureza y los esfuerzos de ruptura y cedencia.



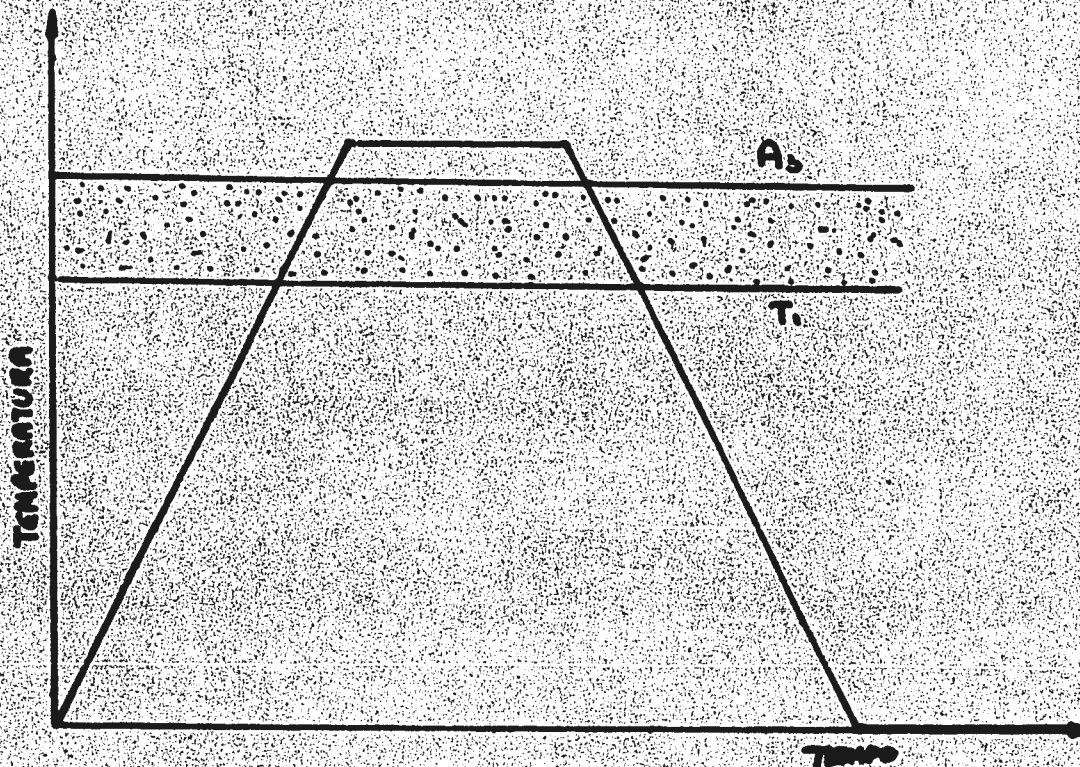
III.3 RECOCIDO

El recocido es un tratamiento térmico que consiste, en términos generales, en llevar el acero arriba a la temperatura A_3 , mantenerlo a esa temperatura durante un tiempo más o menos largo y después enfriarlo muy lentamente hasta la temperatura ambiente. Con este tratamiento se destruye la dureza del temple y los esfuerzos internos del metal provenientes de un tratamiento térmico o de formación en frío. Se practican algunas variantes del recocido, para conferir al acero determinadas características.



III.4 NORMALIZADO

El normalizado es un tratamiento térmico que consiste en elevar la temperatura del acero hasta un nivel ligeramente superior a A_2 , mantener esa temperatura durante determinado tiempo y en seguida enfriar, en aire en calma, hasta la temperatura ambiente. El normalizado produce en el acero una estructura homogénea.



III.5 LA OXIDACION Y LA DECARBURACION

A) ATMOSFERAS CONTROLADAS

Cuando una pieza de acero mecanizada es calentada, su coloración cambia y pasa del amarillo al azul; si continuamos aumentando la temperatura las piezas entremezclan de nuevo los colores amarillo y azul, producto de la oxidación superficial a diversas temperaturas. Cuando la temperatura llega cerca de los 650°C, las piezas presentan otro aspecto, tomando un tinte rojizo; si seguimos aumentando aún la temperatura, entonces la oxidación se presenta de color gris. Naturalmente, estas oxidaciones se marcarán si la experiencia o el trabajo es efectuado

al aire, o bien, en hornos sin atmósfera controlada. Estas oxidaciones serán más o menos fuertes en los hornos de cámara según sean los ajustes de construcción, es decir, estanqueidad, cierre hermético de puertas, etc.

En los hornos calentados a gas se pueden atenuar la oxidación calentando con exceso de gas.

En los hornos calentados con fuel-oil, petróleo, etc, la oxidación será más fuerte que en los otros hornos.

Para los aceros con elevado porcentaje de carbono, la oxidación es acompañada de una serie de decarburación en la mayoría de los casos. Este es un hecho muy importante a considerar, desde el punto de vista de la resistencia, a la fatiga, particularmente cuando se trata de muelles y resortes.

Cuando el calentamiento es efectuado en hornos eléctricos o a gases, este defecto puede evitarse parcialmente, cuando se trate de pequeñas piezas colocando en las cajas de calentamiento algunos trozos de carbón de coke, calentados de antemano al rojo con la finalidad de retirar cualquier trazo de humedad, etc. Cuando se trate de trabajos en serie, por ejemplo: recocidos de piezas para embutir, es indispensable que no haya un mínimo de oxidación, dado que el efecto del óxido actúa como agente de desgaste afectando a los utillaje, matrices, punzones tanto en el embutido como en el decolaje. Es necesario, pues, que la operación de recocido se ejecute de tal forma, que evite la formación de óxidos en la superficie del material.

En el temple de piezas delgadas, cuando el acero es calentado en una atmósfera decarburante, los resultados de la operación pueden llevar a resultados del todo negativos.

III.6 G A S E S

A) GASES DECARBURANTES:

El aire y el oxígeno deben ser evitados a toda costa, dado que los dos son oxidantes y decarburantes.

El CO_2 y el hidrógeno mezclados con vapor de agua decarburado pero cuando el vapor de agua es excluido, los dos gases pierden el poder decarburante. La acción nefasta del vapor de agua, es neutralizada mediante la adición de vapores de litio mediante el empleo de cápsulas dentro de la cámara de calentamiento.

* El CO_2 solo, es sin embargo oxidante.

Gases Protectores.

Se obtienen un excelente gas protector, adaptando una mezcla de CO y de CO_2 determinado, según sea el tipo de acero a proteger la relación de los desgasos es cuestión de equilibrio. Para los aceros dulces la relación es de:

$$\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2} = \frac{2}{1}$$

Pero éste puede aumentar considerablemente según sea el acero a tratar.

B) GASES CARBURANTES

Estos son el CO y los hidrocarburos: metano, propano. Señalamos que a baja temperatura el $\text{CO}_2 + \text{C}$, forma depósito de carbonilla. En los procesos de cementación, la carbonilla protege contra la cementación, es por consiguiente necesario evitar la formación de depósito en las piezas.

C) GASES NEUTROS

El hidrógeno y el nitrógeno muy secos son gases neutros. El nitrógeno bien seco es necesario para conseguir un recocido brillante.

D) PURIFICACION DE LOS GASES

El oxígeno es eliminado haciendo pasar el gas por un serpentín de cobre calentado a $500-600^\circ \text{C}$, o haciendo pasar por un catalizador de paladio.

El CO_2 se elimina, haciendo pasar el gas por óxido de bario.

El vapor de agua ya hemos visto que se elimina con el pasaje del gas por un secador a base de gel de sílice.

El azufre es eliminado por borboteo del gas en agua, que absorbe el SO_2 y por el pasaje del gas en materias depurantes especiales, por ejemplo: el óxido de hierro + serrín de madero que absorben el H_2S .

Este pequeño resumen de las atmósferas controladas, no hace más que esbozar el gran problema de las atmósferas protectoras de los materiales calentados a elevadas temperaturas.

Otra de las formas de suministrar atmósferas protectoras, que está aplicándose actualmente, es la que tiende al almacenaje de los gases básicos necesarios, según sea su aplicación, en estado altamente purificados, siendo posteriormente mezclados y dosificados adecuadamente.

Cada tipo de gas es almacenado en containers, dispuestos a tal finalidad y mediante dispositivos de seguridad, mezcla y dosificación; - el gas así preparado.

CAPITULO - IV -

EQUIPOS PARA PROCESOS TERMICOS

IV.1 CLASIFICACION DE HORNOS ELECTRICOS

Tomarsena como base la siguiente clasificaci6n:

- 1.- Las temperaturas de trabajo.
- 2.- La manera de transmisi6n del calor.
- 3.- Los tratamientos t6rnicos para los cuales son previstos los hornos.

1.- Clasificaci6n seg6n las temperaturas de trabajo:

- a) Hornos para temperaturas m6ximas de 650°C.
- b) Hornos para temperaturas m6ximas de 1000 a 1200°C.
- c) Hornos para temperaturas superiores de 1400°C.
- d) Hornos para temperaturas superiores o m6ximas a los 1400°C.

2.- Clasificaci6n seg6n las formas de transmitir el calor:

- a) Hornos calentados por convecci6n.
- b) Hornos calentados por radiaci6n.
- c) Hornos calentados por conducci6n.
- d) Hornos calentados por inducci6n.

3.- Clasificaci6n seg6n los tratamientos t6rnicos para lo cual son previstos los hornos:

IV.2 CLASIFICACION DE HORNOS ELECTRICOS PARA EL TRATAMIENTO TERMICO

BE LUS ACE-65

A) HORNOS ELECTRICOS DE CÁMARA

Estos tipos de hornos son utilizados muy comúnmente, y existen muchos de varias dimensiones: de 300 a 600 cm de profundidad hasta de varios metros de longitud, en los que la potencia eléctrica es de varios centenares de kW.

La uniformidad de las temperaturas es una de las características principales y más importantes que un horno de tratamiento térmico debe poseer. De otra parte, la entrada del horno deberá ser lo más limitada posible, en relación con las medidas de la cámara de calentamiento, con la finalidad de evitar al máximo caídas bruscas de temperatura en la zona de entrada del horno.

Los elementos calentadores deberán ser accesibles, dado que tarde o temprano deberán ser sustituidos. El mejor sistema que cumple este requisito, es el de tubos radiantes, dado su fácil y rápida sustitución.

Normalmente estos hornos van equipados con sistemas automáticos de seguridad con el fin de evitar posibles accidentes, particularmente cuando actúa el mecanismo de apertura del horno.

Por la misma razón se deberán evitar al máximo, toda clase de partículas, calaminas, alambres, piezas olvidadas, etc. procediendo a una inspección visual retirada.

Las temperaturas máximas del horno, serán estipuladas según el tiempo del tipo de tratamiento a ejecutar, normalmente se da un margen de 100° C a más de la temperatura máxima de utilización.

La atmósfera reinante dentro de una cámara de horno eléctrico es siempre oxidante. Es siempre aconsejable el empleo de una atmósfera protectora, siendo en numerosos casos imprescindible su aplicación. Actualmente existen pequeños generadores extremadamente simples, los cuales dan excelentes resultados en la mayoría de los casos.

Tratamientos Térmicos que se pueden ejecutar en este tipo de Hornos:

- Calentamiento de los aceros antes del temple.
- Recocidos.
- Normalizados.
- Temples.
- Cementación en cajas.

B) HORNOS A BAÑOS DE SALES

Se pueden distinguir dos tipos de hornos: calentamiento por resistencias exteriores; mediante electrodos sumergidos en el baño.

C) CALENTAMIENTO MEDIANTE RESISTENCIAS EXTERIORES

Este sistema es actualmente desplazado por el horno a electrodos. Son varios los inconvenientes que presentan los hornos calentados exteriormente; señalemos algunos de ellos:

- Velocidad lenta de calentamiento.
- Proyección de óxidos procedentes del crisol sobre las resistencias y soportes.
- Dificultad en cambiar los elementos
- Temperatura limitada a los 950°C.

--- Con una mala disposición de la regulación, las inercias térmicas son considerables, etc.

D) CALENTAMIENTO POR ELECTRODOS SUMERGIDOS.

Estos hornos pueden albergar crisoles metálicos o cerámicos, según sea la composición de las sales.

Cuando el baño lo permite es del todo ventajoso utilizar los crisoles cerámicos, dada su larga duración y bajo costo.

El principio de funcionamiento de estos hornos es sencillo:

Los electrodos para corriente monofásica o tres para corriente trifásica, o bien, pueden ser los electrodos colocados en un múltiplo de dos o tres en el crisol.

Los electrodos son alimentados por un transformador reductor de tensión; cuando la sal se encuentra en estado de fusión hace la función de resistencia.

Generalmente la sal se pone al principio en estado de fusión mediante uno o varios electrodos auxiliares o también mediante una barra de grafito. Cuando se ha logrado un pozo de sal fundida son retirados los electrodos auxiliares o el grafito.

Los transformadores que alimentan el horno, están provistos de un conmutador de puntos múltiples, dando cada uno de ellos un voltaje diferente. Mediante esta regulación de potencia, se regulan las potencias necesarias para alcanzar la temperatura estipulada.

Las temperaturas son reguladas automáticamente, mediante un regulador y termocuple apropiados.

Estos tipos de hornos presentan las siguientes ventajas:

- Robustez y simplicidad
- Posibilidad de dar fuertes producciones
- Los tratamientos efectuados en estas hornos son de primera calidad.

El inconveniente es el de que son hornos relativamente caros, si se comparan con hornos de la misma capacidad a fuel-oil, etc.

Los mejores rendimientos respecto al buen funcionamiento, es el de que el baño no se solidifique a cada jornada de trabajo.

Es ventajoso en todos conceptos dejar el horno estabilizado a la mínima temperatura que permitan las sales, durante los tiempos muertos de trabajo.

Tratamientos térmicos que se pueden ejecutar en este tipo de hornos:

- Recocidos isotérmicos
- Normalizados
- Revenidos
- Templés
- Cementaciones

Con los hornos adecuados para ejecutar el ciclo completo, son uno de los sistemas más idóneos para el temple de aceros rápidos, etc.

Estos hornos pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre los 500 y 1350°C.

E) HORNOS CON CIRCULACION DE AIRE CALIENTE

Estos hornos realizan con gran precisión, calentamientos comprendidos entre los 100 y 650°C. La circulación de aire es provocada por una turbina adaptada en la tapa de cierre o bien en el fondo del poteo o cámara.

La regularidad de la temperatura en toda la masa de piezas a tratar, donde son colocados en paneles adecuados depende en gran parte de la velocidad del paso del aire caliente. Una velocidad débil da como resultado una regularidad menor de temperaturas una convección forzada adecuada, garantiza una completa homogeneidad de temperatura en toda la carga.

Estos hornos se utilizan entre otras para el tratamiento de aleaciones ligeras y para los revenidos de los diversos aceros.

La introducción de una atmósfera protectora, permite revenidos a elevadas temperaturas sin oxidación.

F) HORNOS PARA TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS RAPIDOS

1).- Hornos de combustible líquido: Fuel-oil, etc.

Normalmente constan de dos cámaras. La cámara de sustentación es calentada directamente, mientras que los gases de escape circulan por la segunda cámara situada por encima de la primera, donde las piezas son precalentadas antes de pasar a la cámara de temple. Estos hornos son muy oxidantes y decarburantes por esta razón son preferibles los calentadores con gas.

2).- Hornos a gas.

Son del mismo tipo que los descritos anteriormente. La ventaja estriba en que el tiempo de calentamiento y de sustenización se efectúa con cierta protección, dado que las piezas tratadas en este tipo de hornos apenas presentan decarburación u oxidación. La regulación puede ser automática.

3).- Hornos eléctricos.

Para el primer calentamiento se utiliza una estufa sin circulación de aire, a unos 250°C. Las piezas depositadas en este horno son calentadas lentamente.

Seguidamente son pasadas al siguiente horno. Este va equipada con circulación forzada de aire, a 550-600°C de temperatura.

Terminados estos dos precalentamientos, las piezas son seguidamente pasadas al primer calentamiento a más alta temperatura (800-850°C) y finalmente a la cámara de sustenización.

En estos dos últimos calentamientos la oxidación y decarburación (acusadas) son inevitables y para remediar en parte este mal puede emplearse una solera especial de grafito.

Por otra parte existen los hornos con atmósferas controladas donde la carburación y la oxidación es totalmente evitada; pero la dificultad estriba en que son necesarias instalaciones muy costosas (generadores, control de atmósferas, etc.), difícilmente asequibles, cuando se trata de producciones poco importantes.

Para pequeñas instalaciones existe un sistema simple y eficaz que permite tratar el acero sin apenas decarburación ni oxidación, dando felices resultados. El método es como sigue:

En una cámara se quemado petróleo. Los gases producto de esta combustión son introducidos dentro del horno mediante una ranura situada -

a lo largo de las puertas de las cámaras.

4).- Hornos a baños de sal

Los baños de sales empleados a bajas temperaturas son a base de -- nitritos y nitrosos, ya que, por este motivo, los primeros precalentamientos deben efectuarse en hornos con circulación de aire.

Los hornos a baños de sal a elevada temperatura, destinados al -- primer precalentamiento de austenización a temperaturas de 1300°C los hornos deberán ser calentados, sin excepción, mediante electrodos sumergidos. El apagado isotérmico se efectuará en baños de sales en un horno calentado a fuel, gas ó electricidad, aconsejamos este último sistema, dado que la regulación de temperaturas es más sencilla y exacta, -- particularmente al se efectúa por electrodos sumergidos.

Es aconsejable que el proyecto de una instalación de este tipo sea realizada por personas muy expertas y de mucha experiencia dado que -- para ejecutar el temple correcto de los aceros rápidos se tiene que -- considerar una serie de factores de vital importancia.

IV.3 HORNOS DE INDUCCION

Su principio se basa en la creación de corrientes inducidas mediante un transformador, que por su elevada intensidad generan una gran energía calorífica. El primario de este transformador especial está -- constituido por una bobina alimentada por corriente alterna; el secundario no es más que el baño metálico que envuelve la bobina en un crisol circular. La tensión y la corriente primaria son del orden de -- 3000 V y 9 A respectivamente, que transforman en unos valores secundarios de 7 V y 3000 A.

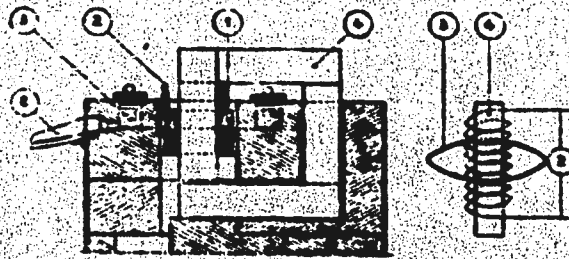


Fig. 36. Horno de inducción

Bobina primaria.

Arrollamiento primario (corriente alterna de poca intensidad y alta tensión).

Canalización circular que recibe el metal a fundir y que constituye el secundario de espira única.

4. Armadura de acero dulce en chapas.

5. Canal de colada.

El metal elaborado en estos hornos de baja frecuencia se cuele - haciendo bascular el aparato; éste, montado sobre un soporte inclinable, es accionado por cremallera.

Los hornos de alta frecuencia utilizan corriente alterna cuya frecuencia alcanza los 2000 períodos/segundo. Presentan la ventaja de -- crear en la masa del metal cierta turbulencia, lo que favorece en gran medida su homogeneidad.

CAPITULO - V -

TRATAMIENTOS TERMICOS

V.1 TRATAMIENTO TERMICO

Los tratamientos térmicos consisten en una serie de calentamientos y enfriamientos del metal, a diversas temperaturas durante determinados tiempos y a determinadas velocidades de calentamiento y enfriamiento.

La temperatura A_1 corresponde al principio de la transformación del hierro alfa en hierro gamma. La temperatura A_2 corresponde al final de esta transformación.

La línea A_{cm} representa las temperaturas de fin de transformación de hierro alfa en hierro gamma para los aceros que contienen más de 0.89 % de carbono; estas temperaturas son las correspondientes a las A_2 para los aceros que contienen menos de 0.89 % de carbono.

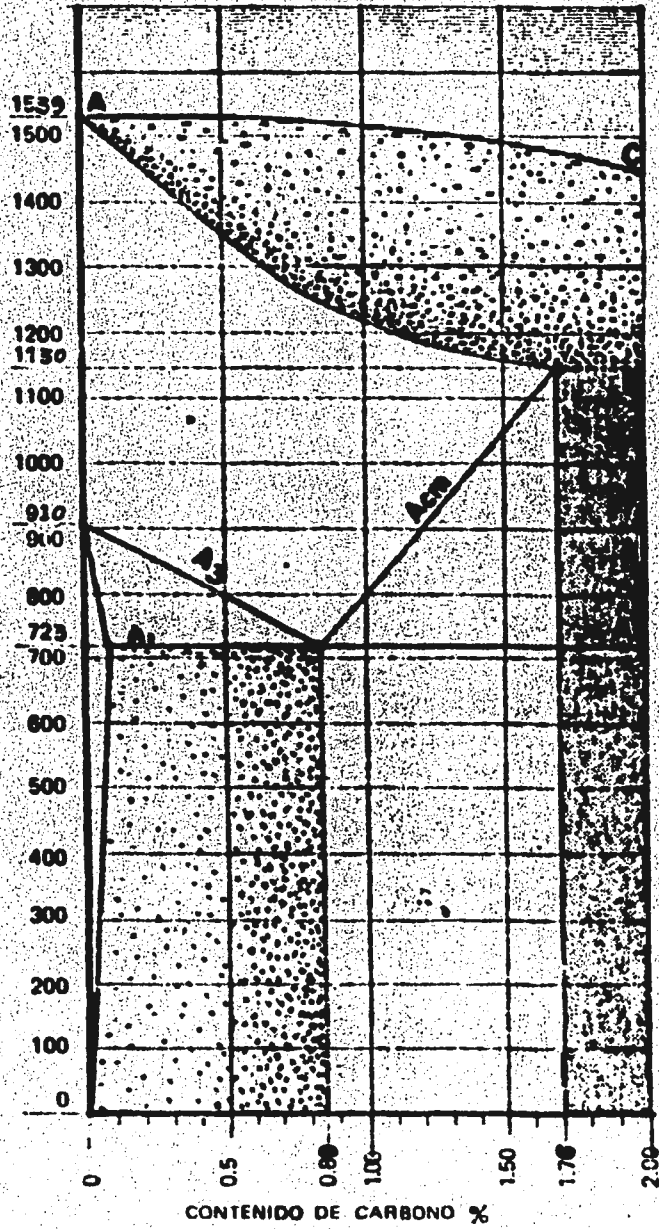
La línea A-E corresponde a las temperaturas de principio de fusión de la solución sólida de carbono en hierro gamma. La línea A-C de las temperaturas de fin de fusión de la solución sólida de carbono en hierro gamma.

El hierro alfa puede contener en solución sólida pequeñas cantidades de carbono (0.006 % a 0°C. y 0.04 % a 700°C).

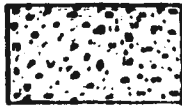
El hierro gamma, en cambio, puede contener hasta 1.76 % de carbono en solución sólida. A la solución sólida de carbono en hierro alfa se le llama "Ferrita".

GRAFICA DE EQUILIBRIO
 HIERRO-CARBONO
 (GRAFICA DE ROOZEBOOM)

TEMPERATURA
 GRADOS CELSIUS



LIQUIDO



LIQUIDO
 SOLIDO



AUSTENITA



TRANSFORMACION
 ALFA GAMA



PERLITA EN
 FERRITA



PERLITA EN
 CEMENTITA

A la combinación de carbono y hierro, formando carburo de hierro, Fe_3C , se le llama "Cementita".

A la mezcla de cementita y ferrita en la que el carbono quede en la proporción de 0.69 % con respecto al hierro, se le llama "Perlita".

V.2 TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS

Los tratamientos son operaciones de calentamiento seguido de enfriamiento que tienen por objeto dar a una pieza metálica las propiedades más convenientes para su empleo o su manufactura. Permiten mejorar en gran medida las características mecánicas de un acero de composición determinada, siendo los fines principalmente buscados el aumento del límite elástico y la disminución de la fragilidad. Toda utilización racional de una aleación implica generalmente un tratamiento térmico apropiado.

De una manera general, un tratamiento térmico no modifica la composición química de la aleación. Pero puede aportar modificaciones a los tres puntos siguientes:

- a) CONSTITUCION (estado del carbono, y forma alotrópica del hierro).
- b) ESTRUCTURA (tamaño del grano y repartición de los constituyentes).
- c) ESTADO MECANICO (las diferencias de temperatura en diversos puntos de la pieza provocan irregularidades de dilatación que pueden crear contricciones internas y causar deformaciones externas).

El propósito es mejorar el metal obrando sobre su constitución y su estructura, evitando destruir el estado de equilibrio mecánico.

V.3 TEMPLABILIDAD

Para una pieza dada, la constitución del metal después del temple puede ser muy variable para diversos puntos situados en el interior de la pieza; esto depende de numerosos factores.

A.- Unos dependen del medio de enfriamiento y actúan sobre la velocidad de enfriamiento, naturaleza del baño (calor de masa, conductividad térmica, viscosidad, estabilidad química, temperatura de ebullición, calor de vaporización); volumen del baño; temperatura inicial del baño, agitación del líquido de la pieza.

B.- Otros dependen del metal tratado. Aparte de la composición del acero, o más exactamente de la austenita a la temperatura de temple, que es el elemento predominante, otros factores que dependen del metal tratado hacen variar la penetración del temple:

- a) Tamaño de grano de la austenita antes del temple se ha comprobado que la penetración del temple es mayor para un acero de grano grueso que para un acero de grano fino.
- b) Inclusiones; éstas actúan sobre la velocidad crítica de temple según su naturaleza, sus dimensiones y su repartición.
- c) Heterogeneidad química y estructural.
- d) Estado de las superficies de las piezas; forma, acabado de mecanización, oxidación superficial.

La templabilidad caracteriza la aptitud de un acero para formar la martensita en los diferentes puntos de una pieza que se enfría a partir de una temperatura a la que estaba en el estado de austenita. Se define por el conocimiento de la dureza en diversos puntos de una pieza de-

acero para condiciones de temple determinadas.

La determinación previa de la templeabilidad es indispensable, porque la penetración de temple para dos aceros cuyo análisis químico corriente ha dado los mismos resultados puede ser diferente según su procedencia y aún según su molada.

Para asegurar el éxito en el tratamiento térmico de la herramienta precisamos conocer:

-- Influencia de los elementos de aleación sobre la velocidad crítica y penetración de temple.

-- Velocidad de enfriamiento de los diversos fluidos de temple, como son el agua, aceites, baños de sales, lechos fluidizados, gases etc.

Los elementos de aleación disueltos en la austenita disminuyen la velocidad crítica de enfriamiento, y, por consiguiente, refuerzan la penetración del temple y mejora la templeabilidad.

El aumento de penetración en el temple de aceros es debido sobre todo a los elementos como el manganeso, cromo y molibdeno; en cambio, la influencia del níquel y del silicio es menos importante.

Cuanto más elementos tenga un acero de aleación, más profunda será su banda de templeabilidad, entendiendo por este concepto cuando el porcentaje de martensita limita al 50% es decir, cuando la profundidad de dureza decida a la cifra de 45 HRC.

A la temperatura de temple y en el caso concreto de aceros para herramientas, debemos tener presente que la estabilidad de la austenita tiene una notoria influencia sobre la templeabilidad que disminuye si los elementos de aleación no se hayan bien disueltos en la austenita, y que

este fenómeno puede provenir de un insuficiente tiempo de calentamiento del acero (incubación) o baja temperatura de calentamiento anterior al temple (solubilidad). Ambos fenómenos contribuyen a aumentar la velocidad crítica del temple y disminuir su penetración.

También debemos considerar como muy importante la temperatura del fluido del temple; el acero por ejemplo templará mejor cuanto más fría esté, en cambio, en el aceite de temple sucede a las inversas, sus mejores propiedades de templeabilidad están a las temperaturas de las firmas fabricantes de productos químicos, pregonizan. Este fenómeno se debe a que el aceite caliente tiene una viscosidad menor y las corrientes de convección propias del fluido, al afrontar un shock térmico, aumentan su velocidad, lo que equivale a reducir las fases de vapor y ebullición del aceite aumentando su poder mojante, lo que equivale a potenciar su severidad de temple.

En los aceros para trabajo en caliente se persigue como finalidades esenciales las siguientes:

- a) Que la temperatura de temple no se transforme bajo los efectos del calor, ya que naturalmente bajaría en forma espectacular la dureza. Es por este motivo que estos aceros deben poseer una elevada resistencia al revenido.
- b) Resistencia al roce, que sólo se consigue con el aumento de dureza - el contenido en carburos y algún tratamiento termoquímico adicional.
- c) La menor sensibilidad posible a los cambios bruscos de temperatura.
- d) Resistencia al choque.

Los principales elementos de aleación que nos aportarán estas propiedades son el Cr, Mo, W, Co. Los porcentajes altos de carbono mejoran

la templeabilidad de los aceros para un trabajo normal, pero no para los materiales de trabajo en caliente. Tanto las elevadas resistencias obtenidas después del revenido como las que deberá soportar el acero a alta temperatura, dependerá exclusivamente de la formación de carburos.

V.4 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO

Para obtener la máxima transformación martensítica es necesario conocer la velocidad crítica de los diversos medios de enfriamiento.

Entendamos por velocidad crítica de temple, la velocidad de enfriamiento necesaria para mantener estable toda la austenita hasta el inicio del punto Ms. El aumento del carbono hasta el 0.8% en la austenita disminuye la velocidad crítica.

Los medios de temple deben de disponer de una gran velocidad de enfriamiento en la primera fase del temple para salvar la nariz perlítica de la curva correspondiente a la transformación propia del acero en cuestión. Es interesante observar como una buena agitación disminuye la velocidad crítica del temple.

A) Enfriamiento Lento (del orden de 100° por hora, que corresponden al de una pieza en el interior de un horno en el que cesa el calentamiento) La curva de enfriamiento comprende como anomalía una meseta que corresponde a la transformación $A_{1/2}$ esta se hace hacia 700°C , con un ligero retraso del orden de 20° con relación a la temperatura de equilibrio, pero su amplitud queda constante. El metal está en el estado de perlita, su dureza $185 - \text{HB} - 225$ crece con la velocidad de enfriamiento.

B) Enfriamiento Mediasamente Rápido (al orden de 100°C por minuto, que corresponde al de una pieza abandonada al aire), a medida que la velocidad de enfriamiento crece, la curva conserva la misma marcha, el punto - Ar desciende progresivamente hasta 600°C aproximadamente, la amplitud -

de transformación queda constante, al mismo tiempo la finura de la estructura del metal aumenta así como la dureza HB-250. Se está en presencia de troostita, constituyente cuya composición fisicoquímica es idéntica a la de la perlita, pero que difiere de ella por la estructura.

C) Enfriamientos Rápidos (del orden de 100°C por segundo, que corresponden de al de piezas pequeñas en el agua). A partir de una cierta velocidad de enfriamiento, llamada primera velocidad crítica de temple, se observa el desdoblamiento del punto de transformación en A_r' hacia 600°C y M_s hacia 250°C . al mismo tiempo hay aparición en M_s de un constituyente muy duro que se llama martensita, y la transformación de la austenita en martensita, prosigue con el descenso de la temperatura.

Al aumentar la velocidad de enfriamiento, el punto A_r' desciende, al mismo tiempo que la amplitud de la transformación disminuye. Al mismo tiempo, la proporción de martensita crece en detrimento de la troostita.

A partir de una cierta velocidad llamada segunda velocidad crítica de temple, del orden de 500°C/s , solo subsiste el punto M_s , y la transformación correspondiente es exclusivamente, pero no totalmente martensítica, es decir, que no se forma ningún otro constituyente más que la martensita; sin embargo no ha desaparecido toda la austenita.

D) Enfriamientos muy Rápidos (que corresponden al de muestras muy pequeñas sumergidas en agua helada o aire líquido). Si se continúa aumentando la velocidad de enfriamiento (se ha alcanzado 14000°C/s), se comprueba que el punto M_s . comienzo de la transformación martensítica, queda sensiblemente fijo, teniendo siempre lugar esta transformación.

La transformación: austenita-martensita, por una parte es casi instantánea, y, por otra, se muestra sobre un gran intervalo de temperaturas de bajo de M_s , estando la temperatura ambiente en esta zona de transformación.

V.5 VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO

La velocidad de calentamiento es un factor muy importante que se debe conocer. Este varía según sean los medios utilizados para el calentamiento.

El tiempo que estipulan los americanos para calentamientos efectuados en hornos de gas, es el de una hora por pulgada de espesor, más una hora a temperatura de transformación.

Otra fórmula estipulada para los calentamientos en hornos de gas, más exacta que la precedente, es la siguiente:

Dos minutos por unidad, de la relación:

$$\frac{\text{Volumen (mm}^3 \text{)}}{\text{Superficie (mm}^2 \text{)}}$$

CAPITULO - VI -

VI.1 TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS

Tratamientos en los cuales no solo se someten los aceros a calentamientos y enfriamientos que son las únicas operaciones que se verifican en los tratamientos térmicos, sino que se tratan las superficies de las piezas mediante compuestos químicos y que por difusión varía la composición química en una capa de espesor determinado.

La finalidad de estos tratamientos es la de obtener en la parte exterior de la pieza una capa, caracterizada por una dureza notablemente superior a la del núcleo.

Esto se puede obtener haciendo penetrar en la pieza desde el exterior y hasta la profundidad deseada, un determinado elemento químico, generalmente carbono o nitrógeno capaz de darle dureza.

Tales tratamientos se realizan cuando interesa obtener piezas dotadas de una notable resistencia al desgaste, dureza en el exterior y buena tenacidad en el interior, como por ejemplo: cigüeñales, ejes de levas, émbolos etc.

A continuación se describen los distintos tratamientos.

VI.2 CEMENTACION

La cementación es un tratamiento termoquímico que se aplica a los aceros al carbono y a los aceros aleados, ambos de bajo contenido de carbono (hasta 0.2 %). La cementación consiste en enriquecer con carbono las capas externas del acero, hasta obtener un contenido del orden 0.9 %

Esto se logra en términos generales, calentando el acero hasta una temperatura superior a la A_3 , en presencia de productos con alto contenido de carbono. En esta forma el carbono penetra en el acero hasta una profundidad que varía de 0.5 a 1.5 mm, según sea el tiempo que dure el tratamiento.

La cementación va seguida, generalmente, de uno o más temple.

VI.3 CIANURACION

La cianuración es un tratamiento que tiene por objeto endurecer una capa superficial de acero, por acción combinada del carbono y el nitrógeno.

Puede considerarse, por tanto, la cianuración, como un procedimiento mixto de cementación y nitruración.

El tratamiento se realiza calentando las piezas de 750 a 950°C en un baño de cianuro sódico (30 a 40 %), carbonato sódico (30 a 40 %), y cloruro sódico (20 a 30 %). La temperatura de fusión del baño es de unos 600°C.

El cianuro sódico se oxida con el oxígeno del aire dando cianato sódico.



y el cianato sódico con el calor se descompone en óxido de carbono y nitrógeno.



el óxido de carbono se descompone por calor:



El nitrógeno nascente se combina con el acero formando nitruros igual

que en la nitruración. Y el carbono se disuelve en el hierro gamma, ya que a esta temperatura de la operación se encuentra el acero en estado austenítico.

El anhídrico carbónico se desprende. El cianuro sódico formado en la reacción (2) vuelve a oxidarse y a comenzar el ciclo indicado. Y el carbonato sódico va aumentando en el baño a medida que avanza la operación.

Para que la cianuración se realice es preciso que haya cianato sódico en el baño aproximadamente en una proporción de un 3 %, al contrario de lo que ocurriría en la cementación con cianuros que no conviene que hubiese cianato en el baño pues entonces se nitruraba el acero en lugar de cementarse. Como aquí interesa que se nitrure además de cementarse, la presencia del cianato es una garantía de que la operación marcha bien.

A medida que se realizan operaciones hay que reponer el porcentaje de cianuros con adiciones de cianuro sódico de alta concentración, superior al 80 %.

El espesor de la capa cianurada depende de la duración del tratamiento, consiguiéndose capas duras de 0.30mm. de profundidad, en unos 50 minutos.

La cianuración se emplea para endurecer piezas de acero de bajo contenido de carbono y también de contenido medio, utilizando baños con concentraciones de cianuro del 40%.

La cianuración tiene el inconveniente de que no se consiguen capas muy profundas. Además los cianuros son muy venenosos y hay que manejarlos con mucho cuidado colocando los crisoles bajo campanas de aspiración de gases, dotadas de ventiladores adecuados.

VI.4 NITRURACION

La nitruración es un tratamiento que tiene por objeto aportar nitró

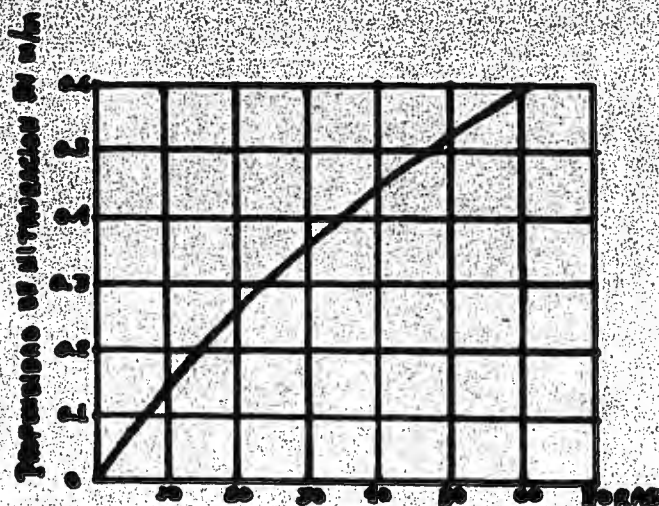
geno en forma de nitruros de hierro a la capa superficial de los aceros, con lo que se consigue endurecerle extraordinariamente.

La operación se realiza calentando las piezas a unos 500°C en una corriente de amoniaco durante uno a cuatro días.

El amoniaco se disocia con el calor dando:



La dureza se atribuye a la formación de dos nitruros de hierro, Fe₄N y Fe₃N, estando el primero situado en la capa exterior y el segundo en las capas interiores.

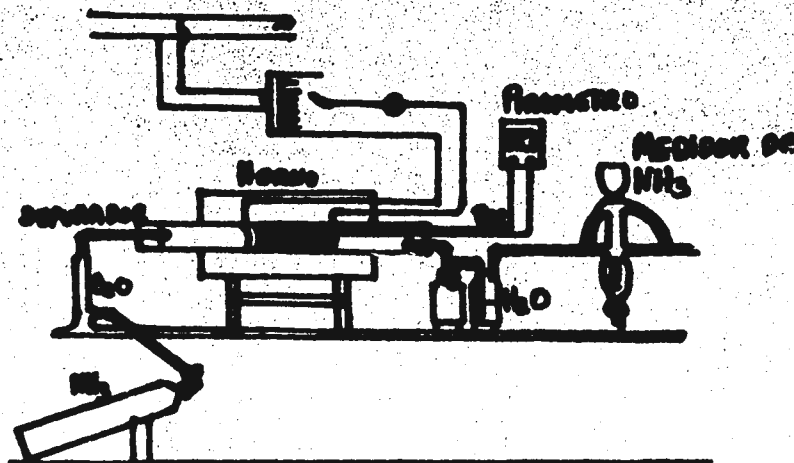


Los espesores de la capa nitrurada más empleados varían entre 0.20 a 0.70 mm, según la duración de la operación, consiguiéndose aproximadamente un espesor de 0.30mm. por día.

La temperatura no suele pasar de 500°C, pues si se opera a mayor temperatura se obtendrían capas nitruradas muy frágiles. Precisamente el operar a baja temperatura es una de las ventajas de la nitruración - pues así no hay aumento del tamaño del grano ni es preciso someter las piezas a ningún tratamiento posterior. Debido también a esto, no es preciso someter a las piezas nitruradas a ninguna operación de acabado, puesto que no sufre prácticamente deformaciones, bastando en el peor de los casos un ligero rectificado.

Práctica de la nitruración:

Antes de someter las piezas a la nitruración, se mecanizan con un exceso de medidas de más de 2mm. Después se templen y revienen para que las piezas queden en las mejores condiciones para soportar la contracción de la periferia después de la nitruración. A continuación se vuelven a mecanizar a las medidas exactas o casi exactas, y además muchas veces se les da un tratamiento de estabilización a 500 o 600°C para eliminar tensiones del mecanizado.



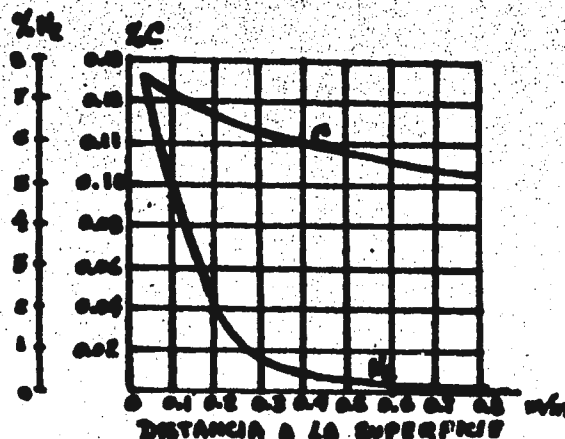
Seguidamente se protegen las superficies de las piezas que no se desean nitrurar aplicándoles con soplete o por inmersión en baño fundido una aleación de 60% de plomo y 40% de estaño. También pueden dárseles un estañado electrolítico. Después se limpian y se desengrasan con gasolina, etc., y por fin, con tricloroetileno.

Una vez preparadas las piezas se colocan en cajas de acero cromoníquel de modo que pueda circular bien entre ellas el amoníaco.

Las cajas se cierran herméticamente y se conecta el tubo de entrada del amoníaco a las botellas donde se almacena el gas a presión. El tubo de salida se conecta con un frasco lavador para controlar por el burbujeo el paso del amoníaco.

Se coloca la caja pirométrica en el agujero que lleva la caja para esto y se inicia el calentamiento en un horno, generalmente eléctrico - con regulación automática de temperatura. De vez en cuando se comprueba el grado de disociación del amoníaco llevando los gases de salida a una instalación de control.

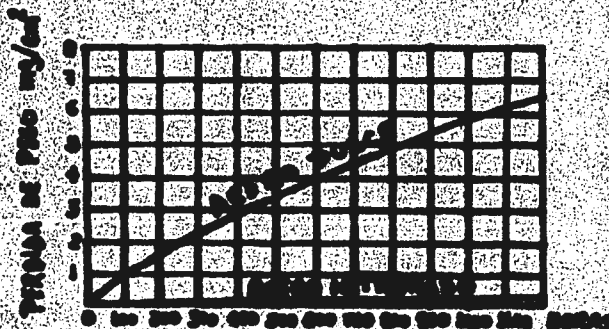
Al terminar la nitruración se retiran las cajas del horno y se dejan enfriar al aire, no interrumpiendo el paso del amoníaco hasta que la temperatura no descienda por debajo de 150°C.



Una vez frías las cajas se sacan las piezas y se les da, si se interesa, un ligero rectificado, pues la nitruración aumenta, aunque muy poco, el volumen (0.05 mm de aumento de diámetro para espesores de nitruración de 0.7 mm).

Ventajas de la nitruración:

Con la nitruración se obtienen durezas muy elevadas, superiores a los 1000 vickers (78Hrc). Confiere a las piezas resistencia a la corrosión del agua dulce, agua salada, atmósferas húmedas.



No produce deformaciones en las piezas. Mantiene la dureza conseguida a temperaturas cercanas a los 500°C. Tiene el inconveniente de que sólo pueden nitrurarse aceros especiales, y de que las instalaciones para la nitruración resultan costosas para talleres pequeños.

VI.5 CARBONITRURACION

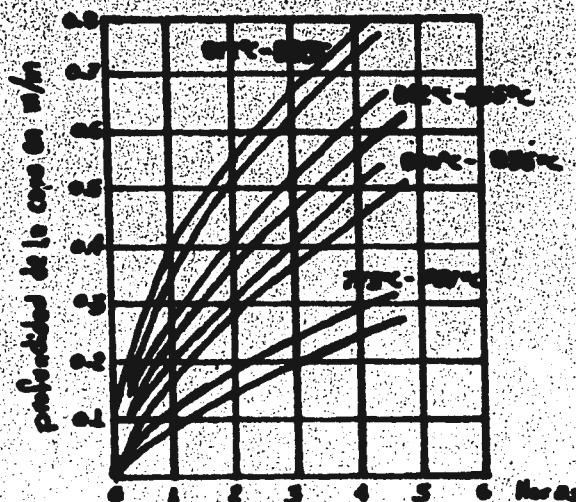
La carbonitruración es un tratamiento con el que se consigue endurecer una capa superficial de los aceros por la absorción simultánea de carbono y nitrógeno.

Se ha llamado a la carbonitruración cianuración gaseosa, pues el fin

de tratamiento es el mismo, aunque varía el medio empleado, ya que la cianuración se realiza por medio de cianuros en estado líquido a la temperatura de la operación y a la carbonitruración por medio de gases.

La operación se desarrolla de una manera muy parecida a la cementación gaseosa. Se utiliza un gas portador formado generalmente por 21 % de CO, 40 % de H₂, 35 % de N₂, 1 % de CH₄ y pequeñas cantidades de CO, O, vapor de agua y un gas activo, que en este caso es el amoníaco. También se añade una pequeña proporción de metano, dependiendo de ella la aportación de carbono a la capa superficial del acero.

El proceso se realiza a temperaturas cercanas a los 900°C, es decir con el acero en estado austenítico, obteniéndose capas duras de espesor hasta 0.6 mm. en cuatro a cinco horas.



Una de las características más sobresalientes de la carbonitruración es la distribución de la velocidad crítica de temple que produce en los aceros carbonitrurados la aportación del nitrógeno a la austenita. Con una aportación de 0.56 % de nitrógeno, baja el punto A₁ a 590°C para un contenido de carbono de 2.2 %.

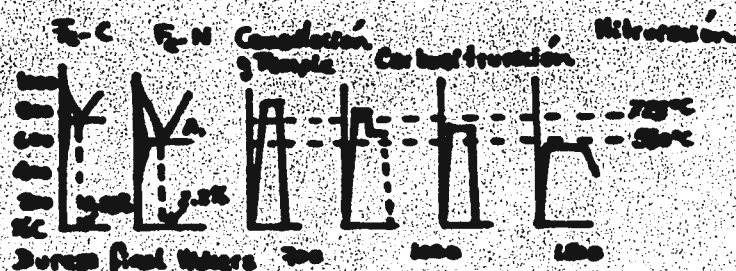
Y al ser las temperaturas de transformación de la austenita más --

bajas, puede realizarse el tratamiento a temperaturas inferiores a las de la cementación, con lo que resulta una disminución del crecimiento del grano, de las dilataciones anormales y economía de combustible.

Además las piezas carbonitruradas de aceros al carbono tienen una velocidad de temple suficientemente baja para enfriarlas en aceite, obteniendo, por consiguiente, una disminución de deformaciones y grietas.

Esto trae como consecuencia también el menor empleo de aceros aleados para piezas carbonitruradas, puesto que con aceros al carbono se obtienen buenas características.

Las piezas carbonitruradas se suelen temprar y revenir, obteniendo se durezas hasta de 65 HRC.



Prácticamente se utilizan tres tipos de carbonitruración:

1.- Carbonitruración ligera de 0.02 a 0.04 mm. de profundidad, para piezas expuestas a deformaciones en el calentamiento o enfriamiento. La operación se realiza a temperaturas que varían de 650 a 690°C. El temple se hace por enfriamiento en corriente de aire, obteniéndose después del revenido una dureza de 35 a 55 HRC.

2.- Carbonitruración media con espesores del orden de 0.05 a 0.09 para piezas corrientes, Las temperaturas utilizadas varían de 790 a 900°C.

El temple se realiza con enfriamiento en aceite o en baño de sales, consiguiéndose una dureza de 57 a 63 HRC.

3.- Carbonitruración profunda, de 0.10 a 0.50 mm. de espesor, consiguiéndose piezas de superficie dura y buena tenacidad en el núcleo. La operación se realiza entre 840 y 870°C, dejando las piezas enfriarse lentamente en el horno hasta 530°C. El temple se realiza con enfriamiento en agua o aceite, resultando una dureza de 57 a 60 HRC.

La carbonitruración es uno de los tratamientos más empleados para el temple de engranajes, etc.

VI.6 SULFIDIZACION

Este tema será tratado posteriormente en el siguiente capítulo por ser el tema principal de esta tesis.

CAPITULO - VII -

S U L F I D I Z A C I O N

VII,1 TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE

Antes de todo, es necesario que se entienda por tratamiento de superficie a una modificación en profundidad del metal, es a tratamiento de revestimiento (depósitos electrolíticos), sea a tratamientos efímeros concebidos sobre todo para facilitar, el rodoje tales como el proceso de sulfidización, la fosfatación, etc.

Así definido el primer tratamiento de superficie parece haber sido la cementación. Enseguida con los trabajos de Fry, apareció la nitruración la cual ha sido perfeccionada posteriormente por las técnicas de las Acerías Aubert y Dubal; después aparecieron las primeras publicaciones de Foucry y Béze, hace más de veinte años, recibió el nombre de "Sulfidización" y ha sido desarrollado bajo la impulsión de los talleres Partiot Cementación; a propósito de Sulfidización hay que referirse a los estudios de Courtel, Buckle y Sébilleau sobre la explicación de las propiedades de antigripado y la descripción de la estructura de capas a base de azufre. Duckle ha sido el primero en realizar el examen micrográfico y microsclerométrico de muestras a base de azufre mientras que Pons se dedicó al estudio de ciertos aspectos de rozamientos secos y lubricados de superficies conteniendo nitrógeno y azufre. Desbrendes por su parte estudió sistemáticamente la morfología de las superficies a base de azufre.

Numerosos equipos soviéticos se han interesado a los baños a base de nitratos o de azufre o simultáneamente a base de nitrato y azufre.

Es importante notar que todos los investigadores tanto soviéticos - como franceses recomiendan temperaturas de tratamiento alrededor de los 570°C. También todos acuerden en que no puede haber sulfureación válida sin la presencia del cianuro; sin embargo Morozova y Florenzoza piensan que un baño así administrado mezclaría a la superficie de la pieza óxidos a base de azufre que impedirán la liga entre la capa a base de azufre y el metal subyacente.

Kriulin ha estudiado sistemáticamente las reacciones sobre los aceros de diversas sales susceptibles de aportar azufre en un baño. Los tiocianuros de sodio y de potasio serían los más energéticos y un poco menos el tiocianuro de amonio, los sulfuros y sulfito de sodio mientras que el tiocianuro de plomo, el sulfuro de hierro, los sulfuros y los tiosulfatos no tendrían ninguna reacción.

Para la mayoría, los estudios franceses y soviéticos indican una penetración global alrededor de 0.3 mm en tres horas; pasado este tiempo de inmersión la profundidad obtenida crece muy lentamente de tal manera que no resulta rentable un tratamiento de más de 4 horas.

La presencia del sulfuro FeS de la superficie señalada por Courtel y Sébillean, están confirmadas por todos los autores soviéticos pero se señala a la superficie,

Los estudios fundamentales sobre la difusión del azufre en el acero son el primer trabajo aparecido en 1952 de Rosenquist y Dunicz sobre la solubilidad del azufre en el hierro al estado sólido. Después, Kohn -- utilizando el hierro puro cargado de carbono por cementación demostró -- que el azufre hasta contenidos de 0.007 % es enteramente soluble en la austenita pero si se introduce en carbono hay precipitación del sulfuro al juntarse los granos.

Si el contenido en azufre es de 0.003 % no existe precipitación, pa

ra Kohn la velocidad de difusión del azufre en la austenita sería mucho más grande que la que se cree generalmente y quizás del mismo orden que la del carbono. Kohn admite que por calentamiento una parte del azufre inicialmente al estado de inclusión del sulfuro y repartido en todo el material podría redisolverse en la fase austenítica y después acumularse y al enfriarse la pieza, al juntarse los granos de austenita.

Recientemente Tynnyl siguió la traza de isótopo radiactivo y ha constatado que había un movimiento de los elementos con azufre hacia el interior de una pieza metálica conforme esta se va desgastando.

Alejándose de las teorías francesas y soviéticas que acabamos de mencionar, los alemanes e ingleses se dedicaron particularmente a baños a -- 570°C en los cuales el mantenimiento del equilibrio cianeto-cianuro tiene como principal efecto una nitruración de los aceros con carbono. Con estos baños han encontrado el crecimiento de la resistencia a la fatiga que ha sido señalado para los baños de sulfidización por M. Lecheneud en el laboratorio, esta concordancia en el crecimiento de la resistencia a los esfuerzos rítmicos parece evidente para J. Muller que opina: " La Sulfidización en resumen es un método de nitruración en baño salino ".

Según los primeros estudios realizados se cree que la resistencia a la fatiga crece en las piezas nitruradas por el sistema de coacciones latentes de compresión; pero Wiegand en un trabajo más reciente, seguido por el Dr. J. Müller, prefiere la hipótesis del bloqueo de planos de deslizamiento de la estructura del hierro por el nitrógeno intersticial. Eso es conforme a la teoría de Cottrell según la cual las nubes intersticiales se acomodan de tal manera que la energía libre sea disminuida.

El problema general del trabajo de las superficies metálicas en mecánica no ha sido objeto todavía de teorías satisfactorias. El trabajo de los investigadores sobre los tratamientos de superficie se dificultó por los dos factores suplementarios siguientes:

____ Por una parte la química de los baños de sales en fusión es todavía incompletamente conocida. No hay que olvidar que el análisis de estos baños consiste en sacar una muestra de sal a la temperatura de funcionamiento, en dejar solidificar esta sal a la temperatura ambiente - para después disolverlo en el agua y finalmente en analizar la solución así obtenida.

____ Por otra parte los tratamientos de superficie, usuales, que se trate de la antigua cementación o bien de tratamientos como sulfidización, etc. han sido objeto de aplicaciones industriales intensivas de parte de ingenieros sin una explicación fundamental de los científicos.

Además, las siguientes preguntas no han sido todavía contestadas:

- a) En todo baño conteniendo cianuros y cianatos, se forma por oxidación carbonatos cuya influencia jamás ha sido examinada.
- b) No existe ninguna comparación posible entre la eficiencia de una superficie de FeN y una de Fe_3C y por tanto estos dos cuerpos son isomorfos. Cómo explicar este comportamiento diferente cuando dichos cuerpos son utilizados en superficies sujetos a rozamiento ?
- c) Si se efectúa un tratamiento de superficie a base nitrógeno y de azufre o de nitrógeno de carbono y de azufre sobre una de dos piezas sujetas a rozamiento, por qué los resultados son incomparablemente mejores cuando la pieza procesada es la que efectúa el recorrido más largo ?
- d) Cuál es el papel de la microcapa nitrurada y carburada sobre la fatiga global de las piezas ?
- e) Por qué una pieza, después de un tratamiento en su superficie tiene un desgaste inicial fuerte y rápido seguido de una estabilización cuando la sollicitación se presenta a velocidad lenta y bajo una gran carga y por

qué una capa nitrurada y sulfurada se comporta mejor sujeta a altas velocidades que una tratada con nitrógeno y no azufre ?

f) Por qué se preconiza enfriar las piezas saliendo de un tratamiento de superficie con baño de sal en agua salada y por qué este tratamiento resulta eficaz?

g) Por qué un metal tratado superficialmente por el nitrógeno y el azufre libera partículas más pequeñas que cuando está en estado bruto?

Para tratar de contestar a estas preguntas y otras, es conveniente observar los efectos de los baños de sales los más simples posibles y -- progresivamente provocar que sean más complejos. Los medios de investigación del acero tales como la micrografía electrónica, la difracción de rayos X intervinieron para confirmar las conclusiones que la experimentación sugiere.

VII.2 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS AL DESGASTE Y AL "GRIPADO".

A) INTRODUCCION

La reposición de piezas desgastadas representa para algunas industrias una carga considerable, y en conjunto para un país son decenas de millones los gastos que se originan como consecuencia de los defectos del desgaste, y ello justifica plenamente los efectos de mejora, tanto en tratamientos como en métodos de ensayo que se realicen en este sentido. Las numerosas variables que intervienen en los ensayos de desgaste algunas de ellas de no muy fácil control, dificultan su estudio y los métodos de ensayo, costosos y largos, con resultados algunas veces no comparables, que hacen aconsejable una valoración estadística de los mismos y aun el hecho de emplear técnicas de trabajo muy diversas, métodos muy dispares y condiciones muy concretas, han sido la causa de que aún con abundante bibliografía, haya sido preciso crear grupos de trabajo internacionales que faciliten y armonizan los programas de investigación de sus miembros, promoviendo el intercambio de información y difusión de sus resultados para analizar los esfuerzos conjuntos sobre temas específicos con los que llegue a alcanzarse un conocimiento más amplio y definido de estos problemas.

El especialista de materiales, que precisa tener en cuenta, además de la composición y propiedades de los metales y aleaciones que utilice, su comportamiento frente a las distintas sollicitaciones mecánicas que son la causa de degradación de los mismos, manifestada por fenómenos de fatiga y desgaste que suelen aparecer conjuntamente.

En este trabajo indicamos los ensayos con máquinas de discos, de fácil realización y que reflejan algunas de las condiciones típicas del desgaste en los dientes de engranaje, excéntricos, etc. y ensayos de corta duración realizados para conocer las cargas de gripado, de fluencia, coeficiente de fricción y estado de la superficie después del trabajo -

utilizando aceros de cementación, tratados en atmósferas gaseosas o temple directo o doble temple, así como tratamientos superficiales en baño de sales que aporten azufre a la superficie.

El ensayo de desgaste indica como se comporta y como se degrada la superficie del material bajo las diferentes tensiones a las que está sometido durante el trabajo, tensiones dependientes de la carga, configuración geométrica, tipos de esfuerzos, coeficiente de fricción, etc.

Se han utilizado dos tipos de máquinas: máquina de discos (Ameler), en la que se utilizan discos del material a ensayar de 30 a 50 mm. de diámetro y de 10 a 12 mm. de espesor (Fig. 1), y máquina Faville-Levally (Fig. 2), en la que utiliza una probeta cilíndrica de 6.5 mm de diámetro y 40 mm de longitud que gira entre dos mordazas con entalle en 90°.

B) TIPOS DE ENSAYO Y VARIABLES QUE SE DETERMINAN

a) Máquina de discos (Ameler)

Los discos van montados sobre dos ejes paralelos que giran a velocidades determinadas, variables y dependientes del tipo de ensayo a realizar.

La máquina de discos permite variaciones de carga entre los 20 y 200 Kg. variaciones de porcentajes de deslizamiento desde rodadura pura a fricción pura; permite igualmente la medida del momento del par, coeficiente de fricción, fuerza en cada instante y trabajo total de un ensayo. Disponemos de cuatro velocidades, está dotada de dispositivo de lubricación y permite la obtención de gráficos de la variación del momento. En la figura 1 se muestra un detalle del montaje de los probetas que se ensayan. La probeta situada en la parte superior es sobre la que actúa la carga y su giro puede ser libre (ensayos de rodadura pura) o comandado por medio de una multiplicación tal que la velocidad angular de la

la probeta inferior, que gira a velocidad constante por medio de un motor, es 1.1 veces mayor que la de la superior; por lo tanto; para probetas con radios iguales habremos introducido un 10% de deslizamiento; - deslizamientos mayores o menores será posible obtenerlos variando el radio de las probetas. Si los discos tienen diámetros distintos y el superior está en la posición de giro libre, la velocidad superficial de ambas probetas será la misma y se obtendrá rodadura pura, pero se habrá cambiado la velocidad angular de la probeta superior.

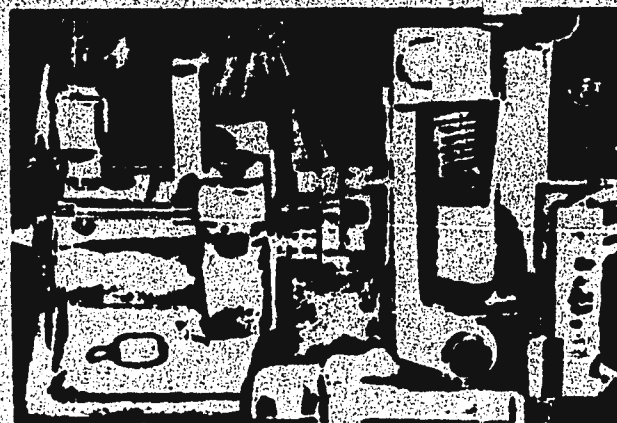


Fig. 1.—Máquina Amalier para ensayos de desgaste y detalle de montaje de las probetas.—1. Contador de revoluciones.—2. Probetas de ensayo.—3. Escala de cargas.

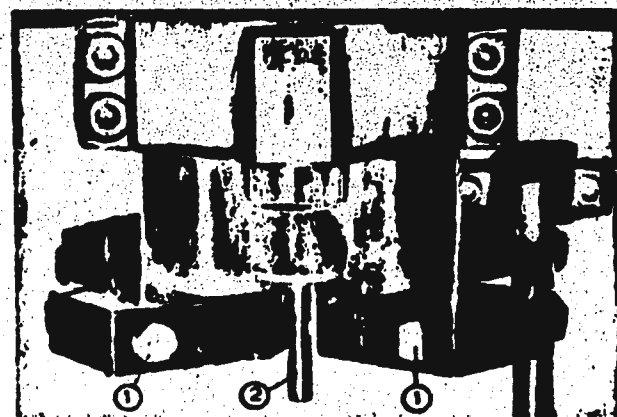


Fig. 2.—Disposición de las probetas en la máquina Faville Levally.—1. Probeta mordaza.—2. Probeta en ensayo.

Puesto que los factores carga-esfuerzo se obtienen de medidas directas y bajo condiciones específicas tales como rodadura pura o acciones combinadas de rodadura y deslizamiento, será conveniente definir estas acciones en relación con la marcha del ensayo. Rodadura pura indica que las velocidades superficiales de ambos cilindros son iguales, es decir:

$$V_1 = 2R_1 u_1 \text{-----(1)}$$

$$V_2 = 2R_2 u_2$$

Siendo u_1 y u_2 las velocidades angulares respectivas en rad./seg. y R_1 y R_2 los radios de los discos en ensayo, la velocidad de deslizamiento relativo será:

$$V_s = V_2 - V_1$$

y el porcentaje de deslizamiento

$$\% \text{ desl. } \frac{V_2 - V_1}{V_2} \cdot 100 \quad \text{y} \quad \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100 \text{-----(2)}$$

de una probeta con relación a la otra.

b) Máquina Faville - Levally

En este tipo de máquina (Fig. 2) la probeta gira a 300 rpm, pudiéndose realizar únicamente ensayos de fricción pura a carga constante y progresiva a 2500 Kg. Permite determinar la carga de gripado de los diferentes pares de metales en estudio y calcular el coeficiente de fricción en cada instante a partir del par resistente medido por la máquina.

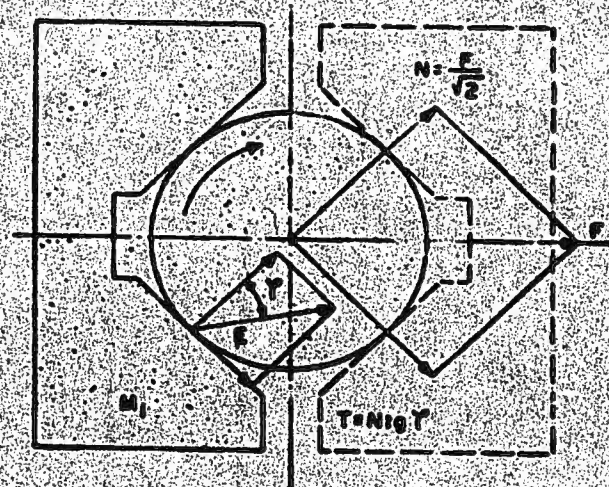


Fig. 3

En la figura 3 se da un esquema de la disposición de la probeta y mordazas y de la disposición y distribución de las sollicitaciones. El cálculo del coeficiente de fricción a partir de los datos dados por la máquina puede hacerse de las siguientes ecuaciones:

$$f = \frac{T}{N}; \quad N = \frac{F}{\sqrt{2}}; \quad M = 4Tr \quad \text{-----(4)}$$

de donde,

$$f = \frac{M \sqrt{2}}{4 r F}$$

y utilizando probetas de 6.5 mm de diámetro

$$f = 1.087 \frac{M}{F d} \quad \text{donde}$$

F ---- carga en Kg.

r ---- radio en cm.

N ---- fuerza normal en Kg.
M ---- momento total sobre las probetas en Kg/cm.
T ---- fuerza tangencial.

C) RESULTADOS EXPERIMENTALES

A) Máquina de discos (Ameler)

La vida de las probetas depende fundamentalmente del tratamiento efectuado, y la magnitud del desgaste específico nos indica, al menos cualitativamente, la forma de actuación del trabajo durante el ensayo.

Distinguimos tres tipos: en la primera, de mayor duración, la mayor parte del trabajo se invierte en una deformación elástica y consecuentemente el desgaste específico es pequeño. En la segunda, el límite de fatiga del material, en la zona efectuada por el ensayo, ha sido ligeramente rebasado y parte del trabajo ha sido invertido en una deformación plástica; aparecen conjuntamente ambas clases de deformación y la curva de desgaste específico tiende hacia un máximo. Finalmente, para la tercera etapa, predomina la deformación plástica, se ha rebasado plenamente el límite de fatiga y se alcanza el máximo de pérdida de peso/trabajo, deteriorándose profundamente las probetas, con lo que deja de ser interesante el ensayo.

Respecto a la deformación de las probetas, existe una concordancia completa en todo tipo de ensayos, siendo la probeta de carga la que sufre la deformación más acentuada.

Para las mismas cargas y una diferencia de radios de 10% la relación de la carga específica es relativamente pequeña, no llegando en ningún caso a pasar del 5%, por lo que su influencia en los resultados de los ensayos en los casos estudiados no es grande; las diferencias de velocidades angulares tienen mayor influencia y, sobre todo, el efec

to de los porcentajes de deslizamiento, ya que con rodadura pura hemos de considerar principalmente un desgaste mecánico, con los efectos de fatiga inherentes a todos los fenómenos que se producen con tensiones cíclicas y desgaste abrasivo, mientras que en los ensayos con deslizamiento tienen una mayor importancia los fenómenos de desgaste adhesivo sin excluir por esto otro tipo de fenómenos, como son los fenómenos dichos de fatiga, pérdidas de características mecánicas en la superficie debido a la elevación de temperatura, mucho mayor que la que puede presentarse con rodadura pura, variación en la magnitud y distribución de las tensiones debido a la aparición de las cargas tangenciales, etc.

En el caso de rodadura pura, la distribución de la presión sobre las probetas es la forma de una semi-elipse regular de eje mayor igual a la anchura de contacto de las probetas. En el caso de existir una cierta proporción de deslizamiento, esta elipse deja de ser regular, -- deformándose por efecto de las cargas tangenciales, deformación que será tanto mayor cuanto mayor sea el porcentaje de deslizamiento.

El trabajo y, por lo tanto, el coeficiente de fricción disminuye -- para las probetas cementadas al aumentar la carga y el porcentaje de deslizamiento mientras que queda prácticamente constante para las sulfinizadas y cementadas, no existiendo, por lo tanto, en las probetas cementadas proporcionalidad entre la carga y el trabajo.

El extraordinario aumento de trabajo que tiene lugar al introducir deslizamiento en los ensayos es explicable por la existencia de fuerzas tangenciales de fricción que dan lugar, al menos en las probetas sin tratar, a la formación de microsoldaduras que en el caso de rodadura pura no aparecen. Con rodadura pura la temperatura de las probetas al terminar el ensayo no varía o lo hace en una magnitud prácticamente inapreciable, mientras que en los ensayos con deslizamiento el calor generado en la superficie de contacto es suficientemente elevado para calentar la masa total de la probeta hasta 75° - 100° C, temperatura dependiente de la

carga por unidad de longitud, coeficiente de fricción, constantes de los materiales que incluyen conductividades, calores específicos y densidades, anchura de la banda de contacto y temperatura máxima media de la superficie y, porcentaje de deslizamiento, siendo mayor para cargas elevadas, porcentajes de deslizamiento crecientes y tratamientos de cementación; este aumento de temperatura, que en las áreas de contacto debe de alcanzar algunos cientos de grados, puede explicar la disminución del trabajo y coeficiente de fricción, ya que uno de los factores que modifican los mismos es el módulo de Young, el cual es menor para temperaturas elevadas. Las variaciones estructurales, en estos ensayos son las correspondientes a un revenido de la martensita o a una transformación de austenita retenida, debido a que las temperaturas alcanzadas no son excesivamente altas.

D) FORMA DE DESGASTE Y DEFORMACION DE LAS PROBETAS

En ensayos de rodadura pura y en probetas sin ningún tratamiento, con cargas pequeñas, aparece una rugosidad superficial y pérdida de material en forma de polvo impalpable, predominando el desgaste por abrasión, causado por las partículas desprendidas (óxidos duros). Al aumentar las cargas y variar las velocidades angulares de ambas probetas w_1 - w_2 , la superficie se deteriora rápidamente por efecto de fatiga superficial, se ven claramente escoriaciones y arrastre frontal, reduciéndose la vida de las mismas.

Es un hecho conocido que un tratamiento superficial que introduce la incorporación por difusión de uno de los elementos C, N o S mejora sensiblemente las condiciones de trabajo.

El desgaste específico en mg/Kgm es mayor para la probeta de arrastre que para la de carga.

Existen igualmente profundas diferencias en el estado superficial de los probetas, las deformaciones plásticas son menores, consecuencia de un aumento de la dureza superficial, mejores características frente a los esfuerzos producidos durante la rodadura, debidos a una gran aptitud de acomodamiento de las capas sulfinizadas y a la acritud superficial producida por el tratamiento. En las probetas sulfinizadas no presentan los aceros ensayados arrastre frontal, y únicamente tiene lugar durante el ensayo, y para cargas una fluencia del material hacia los bordes, que aparece para tiempos de rodadura mucho mayores que para las probetas normalizadas.

En todos los ensayos aparecen en las curvas de desgaste-tiempo, unos máximos intermedios que coinciden con el desprendimiento de la película formada durante el tratamiento, máximos que se desplazan hacia tiempos menores al aumentar la carga.

En las últimas horas del ensayo aparecen en ambas probetas zonas con picaduras finas, que son mayores, para la probeta de carga, y el resto de la probeta se conserva de un aspecto pulido de un color pardo, probablemente debido a algún tipo de óxido formado en las primeras horas de rodadura.

La probeta de arrastre, que es la que experimenta un desgaste mayor la capa de óxido desaparece casi totalmente en las últimas horas de ensayo, conservando la probeta de carga de este óxido hasta el final del mismo.

Parecen iniciarse en las últimas horas del ensayo, en la probeta de arrastre, áreas con picaduras profundas, debidas a la total desaparición de la capa sulfinizada; la probeta de carga conserva, una franja del óxido formado; las áreas con picaduras profundas, en la probeta de arrastre, aumentan en los ensayos.

E) ROZADURA COMBINADA CON DESLIZAMIENTO

En las probetas normalizadas la vida es extraordinariamente corta; desde los primeros instantes del ensayo, la pérdida de material se incrementa, la superficie se deteriora y tienen lugar deformaciones plásticas que en las probetas de velocidad superficial más pequeña toma la forma de fluencia de material hacia los bordes, y en la de mayor se presenta además, bajo la forma de arrastre frontal.

Con estas condiciones de trabajo aparecen clara y marcadamente formas de desgaste adhesivo por rotura de las microsoldaduras formadas, pero no desaparecen por esto; otros tipos de desgaste, así las partículas desprendidas (óxidos duros), producen un fuerte desgaste por abrasión y las tensiones cíclicas agravadas por la aparición de cargas tangenciales producen un acusado desgaste por fatiga. Todos estos fenómenos se incrementan en el sentido de las cargas crecientes y en el de mayores porcentajes de deslizamiento.

De acuerdo con las consideraciones teóricas en el caso de la superposición de cargas normales y tangenciales, las tensiones a lo largo del eje y son las que sufren un mayor incremento, llegando incluso a cambiar de signo; al coincidir este eje con el sentido de giro de las probetas será en la superficie donde se pondrá de manifiesto la influencia de la carga tangencial, y al depender ésta de la carga normal a la que está sometido el material, para grandes cargas y elevados porcentajes de deslizamiento, los fenómenos de fatiga, fluencia del material, desgaste adhesivo y, como consecuencia, el deterioro de la superficie se pondrá claramente de manifiesto.

Las diferencias de desgaste específico que aparecen entre las dos probetas, superior e inferior, se incrementan para las condiciones de --

ensayo más severas.

F) ACEROS SOMETIDOS A TRATAMIENTO TERMICO

1) Rodadura y deslizamiento combinados.

En los ensayos en seco, cuando no se alcanzan las condiciones de gripado, el comportamiento de las probetas cementadas es superior en las últimas horas de ensayo, al del acero sulfinado, debido a que en las probetas sulfinizadas, una vez que han sufrido una pérdida de aproximadamente, 0.1 mm en radio, correspondiente a la capa sulfínizada formada por la película de compuestos y la zona de difusión rica en N, aumenta bruscamente el desgaste, teniendo lugar simultáneamente una deformación plástica de la misma. ◀

11) Ensayos con 10% de deslizamiento.

La sulfínización en los baños más ricos en ferrocianuro y sulfito presenta mejor comportamiento a los esfuerzos de fricción y desgaste que el mismo tratamiento, pero con sales con contenidos inferiores de estos compuestos, aparte de presentar después del primer tratamiento una superficie totalmente limpia, cosa que no ocurre cuando se utilizan baños pobres.

Con las cargas pequeñas el acero sulfinado presenta un mayor desgaste que el cementado o que el cementado y sulfinado, sobre todo una vez perdida la capa afectada por el tratamiento. Con estas mismas cargas las probetas inferiores del acero cementado y sulfinado tienen un desgaste ligeramente superior a las del acero cementado, pero las de la probeta superior son mucho más pequeñas para el acero con el doble tratamiento.

Teniendo en cuenta que las pérdidas en diámetro de las probetas, - después de una pérdida de peso del orden de 0.7 g, las inutilizará en la práctica y que en las condiciones normales de utilización, con lubricante interpuesto entre las superficies frotantes, el acero sulfinado mejora de una forma más acusada su respuesta a los esfuerzos de fricción que el cementado, no queda duda que el tratamiento de sulfidación en baños ricos en ferrocianuro dará unas mejores características para aquellas piezas que han de verse sometidas a condiciones de trabajo similares a las utilizadas en los ensayos, y que indiscutiblemente el doble tratamiento supone una mejora clara y acusada para dichas piezas.

G) ENSAYOS EN LA MÁQUINA FAVILLE

Así como en los ensayos en seco en la máquina de disco, con cargas y porcentajes de deslizamiento lo suficientemente bajos para no alcanzar las condiciones de gripado, el comportamiento de acero cementado era mejor que el del sulfinado, cuando éste perdía la capa sulfinada, y -- únicamente el acero con doble tratamiento de cementación y sulfidación daba resultados análogos o mejores que el acero cementado, en las condiciones de trabajo de la máquina Faville de fricción pura y cargas altas, se invierten los resultados por alcanzarse para las probetas cementadas -- unas condiciones que llegan a ser las de gripado de las mismas.

Estos ensayos normalmente son de corta duración y sólo pretenden calcular la carga de gripado y conocer la variación del coeficiente de fricción a lo largo del mismo. Por esta razón hemos podido ampliar el número de aceros ensayados y también los tipos de tratamiento.

Por otra parte hemos visto anteriormente que el comportamiento que presentan, en los ensayos en la máquina de discos, las probetas sulfinadas en baños pobres en ferrocianuro era mucho peor que el de las tratadas en baños ricos, por lo que en la máquina Faville sólo se han ensaya-

do probetas tratadas en este baño. En general, los ensayos se han efectuado en seco; pero en algunos casos a título orientativo se ha empleado aceite SAE 30 como lubricante.

Con objeto de obtener unos resultados comparables para cada tipo de acero y tratamiento se han realizado con cada uno de ellos tres ensayos; en los casos en los que no se ha conseguido concordancia en los resultados, se ha aumentado el número de ensayos.

Las variables determinadas en la máquina Faville-Levelly han sido: carga de gripado y de fluencia; por en cada instante, del que puede calcularse el coeficiente de fricción variaciones dimensionales; estado de la superficie de las probetas; forma del desgaste y variaciones estructurales en las zonas desgastadas y adyacentes.

La carga de fluencia más baja, 720 kg, se obtiene con probetas templadas a 825°C y revenidas a 550°C antes de la sulfinitación; el coeficiente de fricción para dicha carga es de 0.165. Con probetas sin tratamiento previo antes de la sulfinitación, las cargas de fluencia son del orden de 800 kg. con un coeficiente de fricción de 0.155.

Por último, para cementación de 1.0% C, temple directo y revenido a 550°C antes de la sulfinitación, el coeficiente de fricción final alcanza un valor mínimo de 0.090, valor que se mantiene desde los 850 kg, hasta alcanzar la carga de fluencia de 1.100 kg.

Las probetas sulfinitadas, por el contrario, con coeficientes de fricción iniciales marcadamente inferiores al de las probetas con cualquier otro tratamiento, pasan por un máximo claramente señalado entre los 200 y 300 kg. volviendo a disminuir hasta valores inferiores a los obtenidos en ensayos con el mismo tratamiento sin sulfinitar, y este coeficiente de fricción se mantiene constante hasta el final, que ocurre, como se ha indicado anteriormente, por fluencia de la probeta.

Este comportamiento es análogo para todos los aceros.

El mejor comportamiento de acero sulfinado frente a los esfuerzos de fricción puede ser debido a la presencia del azufre incorporado.

La fusión del azufre parece ser necesaria para la explicación del comportamiento del acero sulfinado. Este hecho ha sido señalado por algunos autores. El azufre tiene un punto de fusión muy bajo (112°C) y esta temperatura se alcanza rápidamente, al menos de una manera local y superficial durante la fricción (Fig. 24a) y al ser la movilidad del mismo en caliente muy grande, se coloca en los lugares de mayores presiones, impidiendo la soldadura de los metales en presencia. La curva de variación del coeficiente de fricción con la carga puede explicarse igualmente por la presencia del azufre sobre las superficies en fricción, ya que el azufre fundido presenta una curva de viscosidad en función de la temperatura con un máximo; esta variación de la viscosidad es muy favorable para la fricción bajo cargas elevadas, pero por otra parte, condiciona el aumento del coeficiente de fricción en los primeros momentos hasta que la temperatura de las superficies ha sobrepasado la de la viscosidad máxima. Todo esto hace que el azufre incluido en la superficie tenga todas las apariencias de un lubricante con una variación térmica de la viscosidad inversa a la del aceite, esto es favorable para evitar el gripado, su adherencia aumenta con la temperatura. El hecho de que el punto de fusión de azufre se eleve en función de la carga parece poder explicar la eficacia particularmente reconocida del azufre a temperaturas elevadas a los 500°C , temperaturas a las que el azufre normalmente tendría en vapor o se oxidaría inmediatamente.

TABLA V.—Acero F-432.

Tratamiento	Carga de gripado kg	Carga de fluencia kg	Coefficiente de fricción (mínimo)	Coefficiente de fricción (final)	Observaciones
Cementado a 1,2 % de C temple directo + rev. a 150°C .	650	900	0,13	0,17	
Sulfinado desde el estado normalizado	—	700	0,14	0,14	
Cementado a 1,2 % de C temple directo + rev. a 150°C + sulfinado	—	—	0,085	0,085	Rompe por el orificio superior a los 900 kg.

Cementaciones a niveles de C de 1.2% con temple directo y revenidos de 150°C mejoran todavía el comportamiento del acero, alcanzándose cargas de gripado de 650 kg con coeficiente de fricción de 0.13 que sube hasta 0.15 para 700 kg, carga de fluencia. Cargas de gripado ligeramente superiores, 720 kg, se consiguen sulfinizando el acero en estado normalizado, llegando hasta un coeficiente de fricción de 0.12, mientras que con los tratamientos anteriores los aceros gripan totalmente; en el caso de las probetas sulfinizadas sólo llegan a iniciarse el gripado, esto es, coincidiendo los valores de las cargas de fluencia y gripado. Las probetas cementadas a 0.9% de C, revenidas a 550°C y sulfinizadas - contrariamente a lo que ocurría con el acero F-153, no presentan mejoras respecto a las sulfinizadas desde el estado de normalizado, dando resultados idénticos; sin embargo, existe dicha mejora con probetas sulfinizadas después de una cementación hasta 1.2% de C, temple desde 850°C y revenidos a 150°C, llegándose hasta cargas de 800 kg. Al igual que con el acero F-153 aparece un máximo en la curva de coeficiente de fricción-carga, para las probetas sulfinizadas.

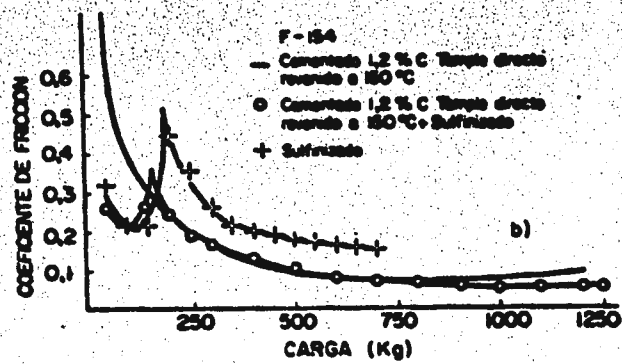
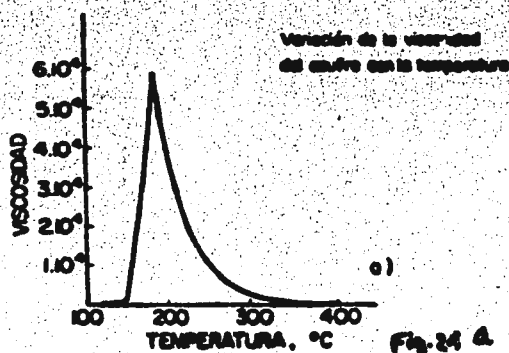


Fig. 24

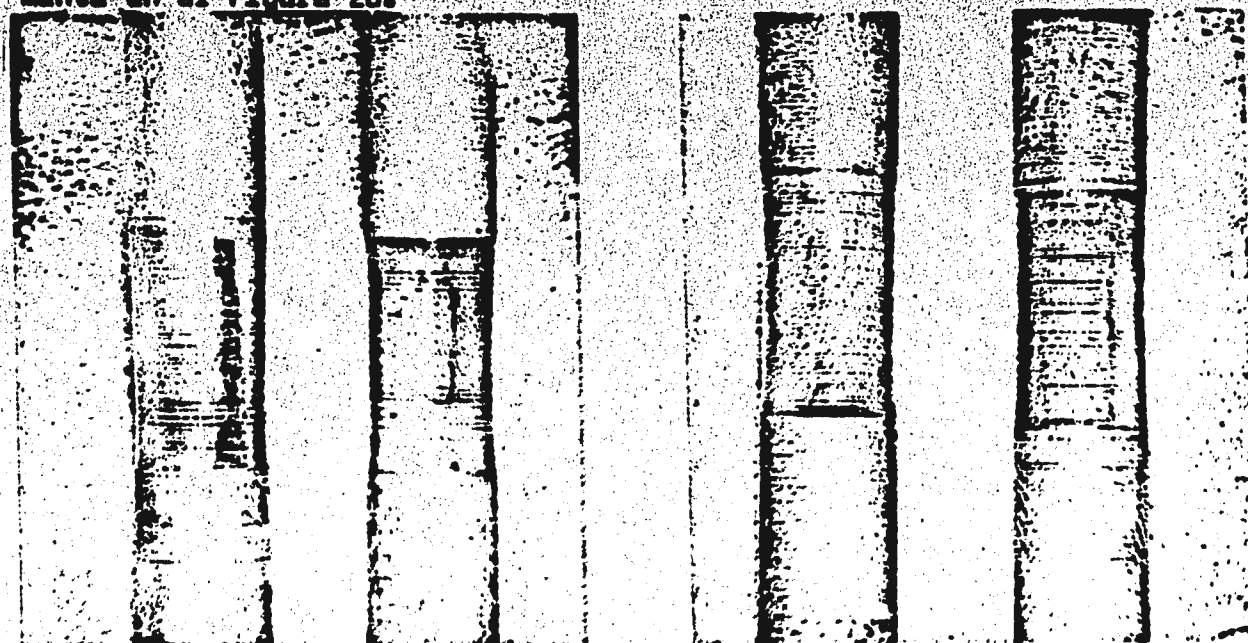
Los mejores resultados se consiguen con tratamientos de cementación + sulfinozación, con los que se llega hasta cargas del orden de 900 kg - sin gripado ni fluencia, terminándose el ensayo por rotura de la probeta por el orificio situado en la parte superior que sirve para fijar la pro

bata a la máquina de ensayo por medio de un pasador. Para dicho carga se obtiene un coeficiente de fricción muy pequeño, de 0.085; las probetas únicamente sulfinizadas presentan la carga de fluencia a los 700 kg, con un coeficiente de fricción de 0.14. Dichos resultados están resumidos en la Tabla V.

Para las probetas cementadas y sulfinizadas se obtiene una carga de fluencia de 1250 Kg con 0.06 de coeficiente de fricción. En las probetas sulfinizadas el comportamiento es análogo al de los otros aceros, apareciendo a 700 Kg la carga de fluencia con un coeficiente de fricción de 0.15.

Los resultados de los ensayos están resumidos en los gráficos de la figura 24.

Los aceros TE y F-155 son los que dan las cargas de fluencia más bajas (700 Kg) con coeficiente de fricción de 0.14 y 0.13 respectivamente en la figura 26.



Macrografía 1.—1. Acero TE, Sulfinado.—2. Acero TF, Sulfinado. X 5.

Macrografía 2.—3. Acero 20NCD2, Sulfinado.—4. Acero 19NC3, Sulfinado. X 5.

Fig. 26.—Aspecto superficial después del ensayo Favallo.

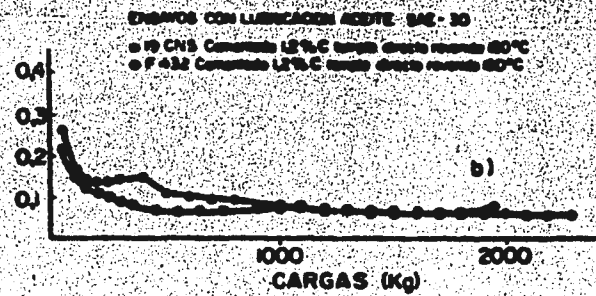
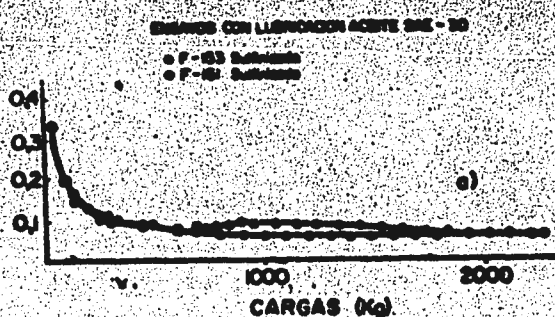
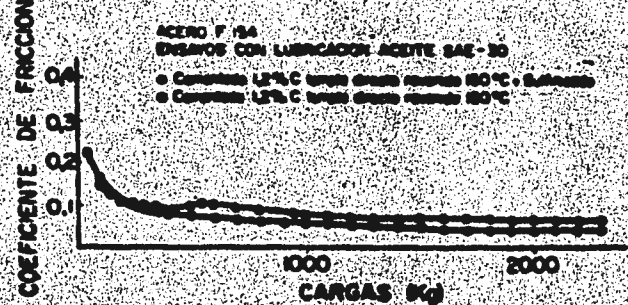
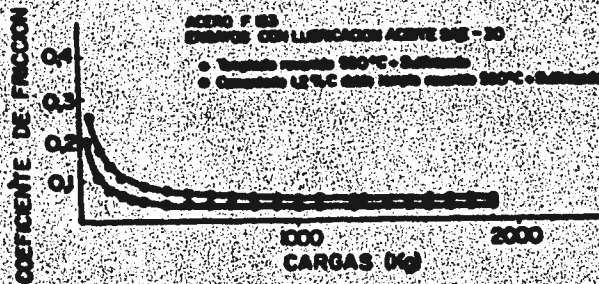
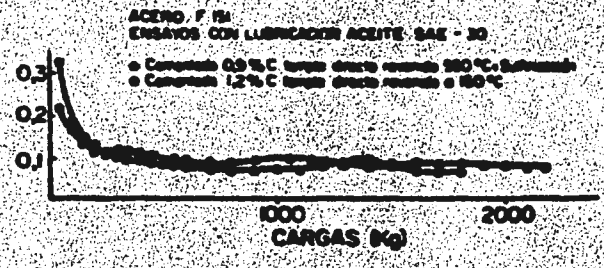
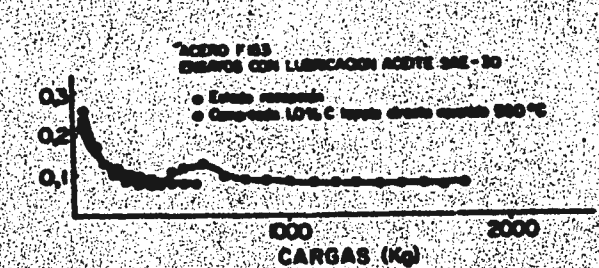


Fig. 28

Fig. 29

La influencia de la sulfinización puede verse de una forma más clara, comparando el comportamiento de las dos series de probetas del acero F-154, en las cuales la única diferencia del tratamiento ha sido la sulfinización de una de las series, apareciendo en la serie no sulfinizada un coeficiente de fricción un 70% mayor que en las sulfinizadas; las curvas de variación del coeficiente de fricción con la carga para los ensayos con lubricación a que nos hemos referido han sido representadas en las figuras 28 y 29.

EFFECTO DE LA FORMACION DE UNA PELICULA DE SULFURO, POR INCORPORACION DE AZUFRE EN SUPERFICIE A BAJA TEMPERATURA, EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS CAPAS CARBONITRURADAS.

A) INTRODUCCION

Varios son los tratamientos térmicos que actualmente se realizan con el fin de mejorar el comportamiento al desgaste de las piezas de acero. En este sentido, la incorporación superficial de carbono, nitrógeno y azufre, como elementos aislados unas veces y otras en forma combinada, ha demostrado ser muy eficaz en la resolución de numerosos problemas planteados como consecuencia de las sollicitaciones crecientes a que se someten los materiales, impuestas por las necesidades tecnológicas actuales.

Las mejoras de propiedades obtenidas con la incorporación de carbono y de nitrógeno está basada, normalmente, en el cambio de propiedades que se produce en la martensita originada, después del temple, a partir de la austenita que contiene distinta proporción de estos elementos, y en el estado final de tensiones internas consecuencia del desfase entre las transformaciones de la capa y del núcleo. La martensita así creada tiene una dureza que aumenta con la cantidad de carbono que contiene. El nitrógeno intersticial de lugar también a una distorsión reticular de la célula unidad de la martensita, que es de igual cuantía a la originada por el carbono; por tanto, cabe esperar un efecto semejante en la dureza de la martensita de temple. No debe olvidarse, sin embargo, que los contenidos máximos de carbono y de nitrógeno están limitados, en cementación y carbonitruración, por la presencia de austenita retenida en las capas. Cuando se pretende mejorar la resistencia al desgaste, aún sacrificando las características de tenacidad, se llega incluso a rebasar los límites de solubilidad de los elementos en la austenita,

creando carburos o carbonitruros que actúan como constituyentes sumamente resistentes al desgaste.

Para mejorar notablemente el comportamiento al desgaste y a la fatiga de los aceros templados, se recurre frecuentemente a crear una película de compuestos por nitruración en baño de sales. También, la incorporación de azufre se ha utilizado con profusión puesto que, fundamentalmente, confiere a las capas características de antigripado en condiciones de desgaste severas.

Tanto la incorporación de nitrógeno como la de azufre, a partir de un baño de sales, se realiza a temperatura relativamente elevada, aproximadamente 500°C. En estas condiciones, empleando baños que contienen cianuro y cianato, mezclados o no con sulfuro, sulfocianuro, sulfito, tiosulfato, etc. tiene lugar simultáneamente una incorporación de carbono y de nitrógeno (cianuración) o de carbono, nitrógeno y azufre (sulfonitruración). Lógicamente la realización de estos tratamientos implica siempre un efecto de revenido. Este revenido da lugar a un desendurecimiento del material base siempre que no sean de acero aleado que muestre un efecto de endurecimiento secundario por revenido. La influencia que ello puede tener en el comportamiento conjunto de las piezas hace recomendable o no la aplicación del tratamiento.

En los últimos años se ha desarrollado un nuevo procedimiento de incorporación de azufre, realizado también en baño de sales fundidas, pero a temperatura próxima a 190°C, activado por un proceso electrolítico (anódico), que se diferencia esencialmente de la sulfonitruración realizada a temperatura superior. La temperatura de tratamiento es del mismo orden que la del revenido usual, efectuado sobre las capas de cementación o carbonitruración y sobre muchos aceros de herramientas templados, y por ello no existe efecto de desendurecimiento provocado por el propio tratamiento. Además, la parte de la capa enriquecida en azufre, que origina la formación de sulfuro de hierro, no incorpora del baño ni carbono

ni nitrógeno suplementario.

En este trabajo se pretende estudiar cómo influye la presencia del azufre incorporado a baja temperatura, en el comportamiento a desgaste y a fatiga de probetas de acero no aleado sometidas previamente a tratamiento de carbonitruración. Los resultados obtenidos en las probetas carbonitruradas y tratadas por electrólisis a baja temperatura para incorporar azufre, son comparados con los resultados de los ensayos de probetas carbonitruradas. En ambos casos se han mantenido exactamente las mismas condiciones experimentales de ensayo.

B) Condiciones experimentales

1) Material y tratamiento térmico previo

El acero utilizado como material base, para efectuar los tratamientos, ha sido del tipo C15K de la siguiente composición química, en tanto por cientos:

C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo
0.17	0.15	0.28	0.01	0.01	0.15	0.05

A partir de barra cilíndrica laminada, de 40mm de diámetro, se han preparado las probetas de desgaste utilizadas para el ensayo en la máquina Amsler. Las correspondientes a los ensayos de fatiga y desgaste, en máquina Faville, proceden de barra de 16mm de diámetro. Todas las probetas han sido carbonitruradas previamente en atmósfera endotérmica de propano-aire con adición de amoníaco. A continuación se indican las condiciones de carbonitruración:

- 2 horas a 900°C, adición de 5.4% de amoníaco, punto de rocío -5°C;
- 1 hora a 850°C, adición de 2.4% de amoníaco, punto de rocío -1°C;
- Temple directo en aceite y revenido durante 2 horas a 180°C. Este es el estado de tratamiento del material es el que se considera como de referencia, para la comparación posterior con los resultados obtenidos después-

de la incorporación de azufre.

ii) Tratamiento de incorporación de azufre;

En la figura 1 se muestra el equipo utilizado para efectuar el tratamiento de incorporación de azufre por electrólisis en baño de sales fundidas a baja temperatura. Está constituido por un crisol cilíndrico de acero suave, de 130mm de diámetro, 180 mm de altura y 2mm de espesor, introduciéndolo en un horno calentado por resistencia eléctrica.

La medida de la temperatura se realiza con termómetro de mercurio - introducido en el baño de sales. La regulación del horno se consigue con un termopar, alejado entre el crisol y las resistencias de calefacción, conex ionado a un sistema automático de regulación.

El baño está constituido por una mezcla de sales que contiene 75 % de MgCl_2 y 25% de NaCl , composición eutéctica, que funde a 126°C , manteniéndolo por encima de esta temperatura, a 196°C , durante todos los tratamientos efectuados. En relación con el diagrama binario MgCl_2 - NaCl . Para efectuar la electrólisis, se ha recurrido a un manantial de corriente continua que puede trabajar a potencial o intensidad constantes. El crisol actúa como cátodo y las probetas, suspendidas de un soporte metálico, se localizan en el centro del baño durante el paso de corriente actuando como ánodos. Para agitar el baño se ha dispuesto un agitador electromecánico que actúa durante todo el proceso.

El estado superficial de las probetas, antes de su inmersión en el baño, es el correspondiente a superficie rectificadas y carbonitruradas, - seguido de desengrasado con tricloroetileno. Previamente a la inmersión de las probetas en el baño de sales, han sido calentadas en estufa hasta la temperatura de tratamiento. El paso de corriente para la electrólisis se hace 5 minutos después de que las probetas estén localizadas en el baño. La inmersión de probetas frías da lugar a la solidificación de las sales en su superficie y a que se establezcan condiciones anómalas de electrólisis.

Las condiciones de suministro de corriente para la electrólisis han

sido establecidas de manera que se consiguiera un peso de corriente de - 3.2 amp/dm (9), operando con voltajes de 1.5 a 1.8 volts. Aunque se han ensayado tiempos de electrólisis de hasta 20 min, ha sido seleccionado un tratamiento de 10 min de duración para todas las probetas ensayadas a desgaste y a fatiga.

Después de la incorporación de azufre, las probetas se han lavado con agua y secado con alcohol en corriente de aire, estando dispuestas para los ensayos.

iii) Ensayos de desgaste;

El comportamiento de las capas carbonitruradas, y carbonitruradas seguidas de incorporación de azufre en superficie, ha sido ensayado, en seco y con lubricación, utilizando las máquinas de desgaste Ameler y Faville-Levally.

En la máquina Ameler, con probetas en forma de disco de 35mm de diámetro externo, se han mantenido las siguientes condiciones de ensayo:

- Velocidad de giro de la probeta inferior, 396 rpm.
- Velocidad de giro de la probeta superior, 356 rpm.

El deslizamiento conseguido con estas probetas, de igual diámetro, corresponde al 10%. En los ensayos efectuados, sin lubricación, se aplicaron cargas de 20 y 40 Kg prolongándose hasta un máximo de 28 horas. Cuando se utilizan lubricantes, aceite tipo SAE 40, aditivado o no, y que roseno, se aplican cargas de 100 y 200 Kg durante tiempos de hasta 160 horas.

La medida del desgaste obtenido durante los ensayos, en la máquina Ameler, se ha seguido por las pérdidas periódicas de peso experimentadas por las probetas. Simultáneamente, se registra el par obtenido en el ensayo, deduciéndose los coeficientes de fricción.

En la máquina de desgaste Faville-Levally se utilizan probetas cilíndricas de 6.5 mm de diámetro y 40 mm de longitud, aprisionadas entre mog

dazas con acanaladura en V sometidas a igual tratamiento. La velocidad de giro de la probeta es constante, 300 rpm aumentando progresivamente la carga a razón de 18 Kg/seg hasta el momento de producirse la rotura de la probeta o la fluencia del material. Las condiciones de este ensayo de desgaste responden a fricción pura.

El aceite utilizado es del tipo SAE 40, con y sin aditivos. Igua- les ensayos se han repetido en seco. La máquina permite leer simultáne- mente la carga aplicada y el par de fricción obtenido. De estos valo- res se deducen los coeficientes de fricción.

C) Resultados y discusión

Los potenciales de carbono y de nitrógeno, medidos por el procedi- miento de láminas durante la fase final de la carbonitruración, realiza- da a 850°C, son de 0.75% C y 0.38% N. La incorporación de estos elemen- tos ha afectado, en la estructura obtenida después del temple en aceite, hasta una profundidad total de 0.7 mm., aproximadamente. Con postero- ridad al revenido de 180°C, la medida de dureza en superficie ha dado - valores de 60Rc y 83 Ra. La variación de dureza en función de la distan- cia a la superficie (figura 2) expresada en unidades vickers y medida - con carga de 1 Kg, indica que se mantiene una cifra superior a 550 HV - hasta una profundidad de 0.40mm.

El tratamiento posterior de creación de la capa de sulfuro, realiza- do a 196°C, ha supuesto una ligera caída de la dureza en la capa, de unos 30 HV junto a la superficie (fig. 2). Los ensayos iniciales de incorpo- ración de azufre, prolongando el tiempo de electrólisis hasta 20 min., - han puesto de manifiesto que ya se obtienen capas continuas de sulfuro - para tratamientos de 10 min de duración y superiores. Sin embargo no se ha podido poner de manifiesto un crecimiento de capa, en cuanto a espe- sor, en el intervalo de 10 a 20 min. En la figura 3 se presenta el as- pecto que ofrece, sin ataque, una serie de láminas de acero, de aproximá- damente 0.1 mm de grueso, que han sido montadas, adosadas unas a las o- tras, en un soporte común para preparar la muestra metalográfica. Las -

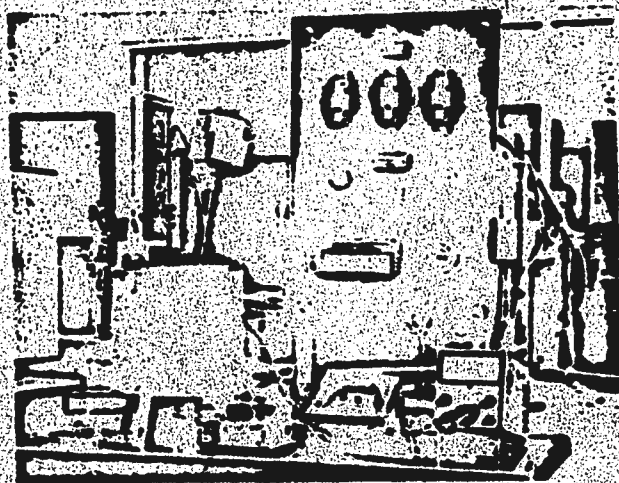


Fig. 1.—Dispositivo para el tratamiento electrolítico de las probetas, en baño de sales a baja temperatura, para crear la capa de escoria.

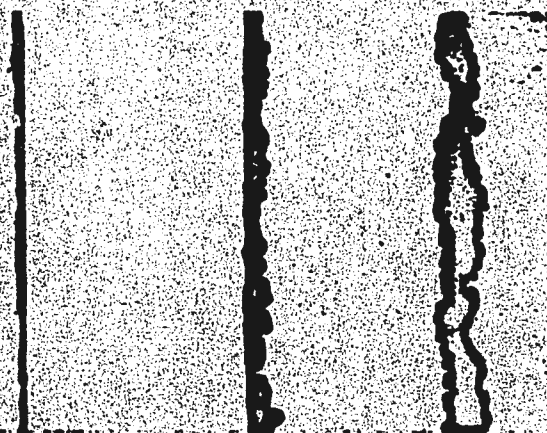


Fig. 2.—Apariencia de las zonas de contacto entre líneas que tienen o no capa de escoria. Sin escala. X200.

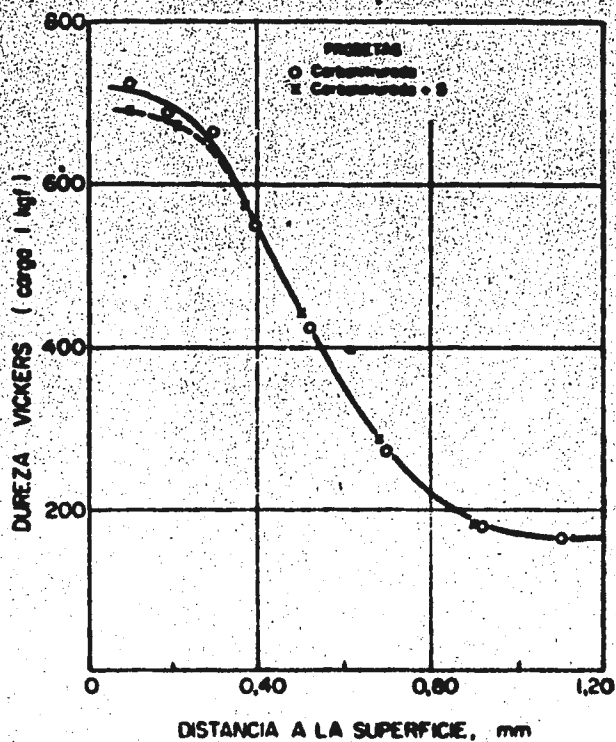


Fig. 2.—Variación de la dureza en función de la profundidad para probetas carburadas y carburadas y posteriormente sometidas a tratamiento de incorporación de cianuro.

dos láminas de la izquierda de la figura no han sido tratadas, en tanto que las restantes han sufrido electrólisis durante 15 min. La separación mayor entre las láminas que han sido sometidas a la incorporación de azufre, respecto de las otras no tratadas, demuestran que hay formación continua de una capa negra por efecto de la electrólisis en las sales fundidas. La capa de sulfuro creada muestra irregularidad en la línea de contacto con el material base.

A pesar de haber intentado proteger la capa creada, sobre probetas cilíndricas, para su posterior observación al microscopio, no ha sido posible poner de manifiesto con evidencia su espesor después de la electrólisis. Aparece, sin embargo, una diferencia clara entre las probetas sometidas a electrólisis y las no tratadas. Las probetas sobre las que se ha creado la capa de sulfuro muestran un perfil superficial más rugoso del material base (Fig 4) en comparación con las no tratadas y en analogía con lo observado sobre las probetas planas de la figura anterior. La estructura de la capa carbonitrurada corresponde a martensita con un resto de austenita retenida. El espesor de la capa de sulfuro creada por electrólisis, estimado metalográficamente sobre las probetas en forma de lámina, es del orden de 2 a 5 μ m.

Los contenidos de azufre, determinados por procedimiento químico indican que se consiguen proporciones de 7×10^{-5} a 11×10^{-5} g S/cm^2 de superficie de probeta. (Según el cálculo, una capa de 5 μ m de FeS debe contener 8.31×10^{-5} g S/cm^2).

1) COMPORTAMIENTO AL DESGASTE EN LA MÁQUINA FAVILLE-LEVALLY

En la figura 5 se muestran los resultados de los ensayos efectuados en la máquina Faville-Levally, con aplicación de carga progresiva y lectura simultánea del par de fricción resultante. Los 1000Kg de carga se consiguen 56 seg después de poner la máquina en funcionamiento. Sobre la misma figura se han reunido las medidas de los ensayos sobre probetas exclusivamente carbonitruradas de los ensayos sobre probetas exclusiva

mente carbonitruradas y carbonitruradas seguidas de incorporación de azufre, empleando lubricante o bien ensayadas en seco. La curva (a), en ensayo en seco sobre probetas carbonitruradas, muestra un comportamiento que puede considerarse como normal. Inicialmente, y para cargas relativamente bajas, el par de fricción resultante aumenta con la carga, pero la pendiente de la curva es progresivamente menor hasta llegar a los 250 Kg de carga, al rebasar este valor el crecimiento del par resistente es más pronunciado. El calentamiento que se produce de la probeta, en la última fase del ensayo, es tan pronunciado que da lugar a fluencia del material, por ello no se ha llegado a conseguir cargas superiores a 550 Kg. Después de acabado el ensayo, el diámetro de la probeta cilíndrica en el centro de la zona de fricción, es de 6.18mm habiéndose alargado longitudinalmente hasta 40.48 mm.

Las diferencias observadas en el material carbonitrurado y con azufre incorporado, respecto del solamente carbonitrurado, son notables durante el ensayo en seco. La curva (b), de la misma figura en las probetas que contienen azufre, a igualdad de carga y las diferencias se acentúan predominantemente cuando se eleva ésta por encima de 400 Kg. La carga máxima alcanzada en el ensayo es notablemente superior, 900 Kg, y también existe evidencia de haber fluido el material pues el diámetro de la probeta, en la zona de fricción, ha descendido a 6.32mm y su longitud se incrementa hasta 40.30mm. La observación visual de las zonas de desgaste, en la probeta cilíndrica y sobre las mordazas, indica que no ha habido gripado en la que tiene capa de sulfuro, apareciendo las superficies de fricción con un aspecto final de superficie pulida y brillante (fig. 6), en tanto que la probeta solamente carbonitrurada ha llegado a gripar.

También en el caso de ensayo de desgaste a fricción pura con lubricación, hay diferencias de comportamiento entre las capas carbonitruradas con o sin azufre incorporado en superficie (fig. 5, curvas c y d). Hasta cargas del orden de 400Kg es análogo el par de fricción obtenido en ambos casos. El efecto del lubricante se sobrepone al del azufre in

corporado para estas cargas reducidas. Ello hace suponer que, en estas condiciones, sea solamente el espesor de la película de aceite el que -- condicione el coeficiente de fricción en ambos casos. Para cargas superiores a 400 Kg existe ya una diferenciación entre el comportamiento a fricción de ambas capas. (El efecto del lubricante en la capa carbonitrurada con azufre incorporado, respecto de la ensayada en seco, es desplazamiento hacia cargas superiores para obtener un par de fricción e de igual cuantía). La capa solamente carbonitrurada presenta, curva, (c), para cargas superiores a 400Kg, un par resistente siempre superior respecto de las tratadas con azufre. El par de fricción, en las capas carbonitruradas ensayadas con, lubricante, se mantiene en el mismo orden de magnitud, e incluso desciende, dentro del intervalo de cargas de 600 a 900 Kg. Por encima de esta carga, en las capas carbonitruradas, se produce un aumento brusco del par de fricción que posteriormente se mantiene oscilando dentro de un mismo nivel, 150 Kg cm, para cargas comprendidas entre 1100 y 1700 Kg. A la existencia de estas anomalías contribuyen tanto las condiciones de lubricación de las superficies en fricción, como las variaciones de propiedades en el material condicionados a cambios bruscos de temperatura. Las variaciones bruscas, en las curvas que representan el par de fricción en función de la carga aplicada, no se -- presentan en las capas carbonitruradas y con azufre incorporado, curva -- (d), lo que indica que, el efecto del azufre se pone de manifiesto en -- condiciones de fricción severas, para cargas elevadas, cuando es deficiente la actuación de la película de lubricante.

En las figuras 7a y 7b se indican las variaciones que sufren los -- coeficientes de fricción, en función de la carga aplicada, para las distintas condiciones de ensayo. Estos coeficientes de fricción han sido -- calculados a partir de los resultados contenidos en la figura 5. En los ensayos de fricción efectuados en seco, figura 7a, se observa una disminución del coeficiente de fricción cuando crece la carga hasta llegar a los 30 Kg. En cualquier caso, se tiene un efecto de acomodación de las superficies en fricción correspondiente al primer período de rodadura.

En las capas carbonitruradas, el aumento posterior de la carga ori-

gine simultáneamente un aumento del coeficiente de fricción, acompañado finalmente con la aparición de microsoldaduras consecuencia del gripado. En comparación, los probetes carbonitrurados y con azufre incorporado, - superficialmente, muestran sólo una detención en la disminución del coeficiente de fricción, para cargas próximas a 300kg y, posteriormente, - sigue disminuyendo hasta alcanzar un valor mínimo para cargas próximas a 800kg.

La estabilización del coeficiente de fricción, al pasar por cargas próximas a los 300kg, es un hecho observado también con anterioridad (10) en material sulfonitrurado a temperatura de 570°C en sales fundidas (incluso aparecía un máximo en este coeficiente de fricción). Puede ser atribuido (11) a la inversión en la curva de variación de la viscosidad del azufre con la temperatura, que alcanza un máximo a los 280°C. Este aumento de la viscosidad compensa, en este caso, la disminución parcial del coeficiente de fricción hasta un punto tal que la temperatura alcanzada, por las superficies en fricción, sobrepase la inversión; a continuación los valores de los coeficientes de fricción muestran la disminución lógica impuesta por la presencia de este azufre.

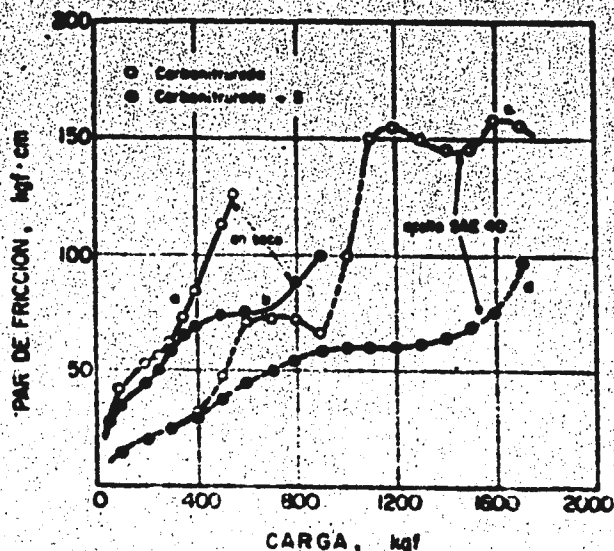


Fig. 5.—Variación del par de fricción en función de la carga aplicada, durante el ensayo en la máquina Faville-Lovally.

La variación de los coeficientes de fricción en función de la carga para condiciones de lubricación, figura 7b, muestra también diferencias notables para las capas solamente carbonitruradas y las carbonitruradas con azufre incorporado. Hasta cargas de 300kg es igual el coeficiente de fricción en el caso de ambos tratamientos, es decir, la capa de lubricante condiciona el coeficiente de fricción y no tiene influencia el azufre incorporado. En la capa simplemente carbonitrurada, para cargas superiores se presentan dos máximos que evidencian la superposición de fenómenos de rotura de película de lubricante y de ablandamiento del material, por elevación de la temperatura, llegando incluso a fluencia. Sin embargo, en la capa con azufre incorporado, después de estabilizarse el coeficiente de fricción, entre cargas de 400 y 750 Kg, disminuye éste posteriormente y sólo se eleva nuevamente por encima de 1600kg de carga.

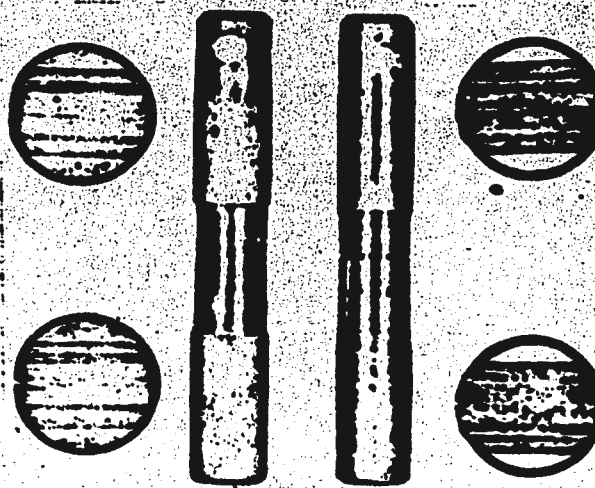


Fig. 6.—Aspecto de las probetas ensayadas en seco en la máquina Feville. Izq.: carbonitrurada con incorporación de azufre. Dcha.: carbonitrurada.

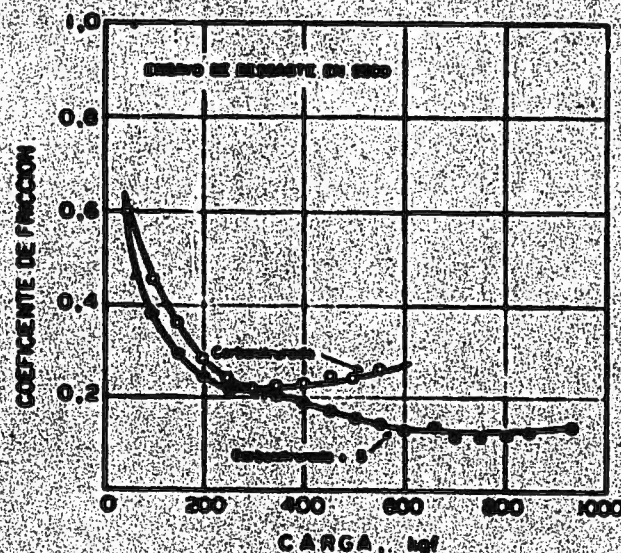


Fig. 7a.—Variación del coeficiente de fricción en función de la carga aplicada durante el ensayo en la máquina Faville-Levally sin lubricación.

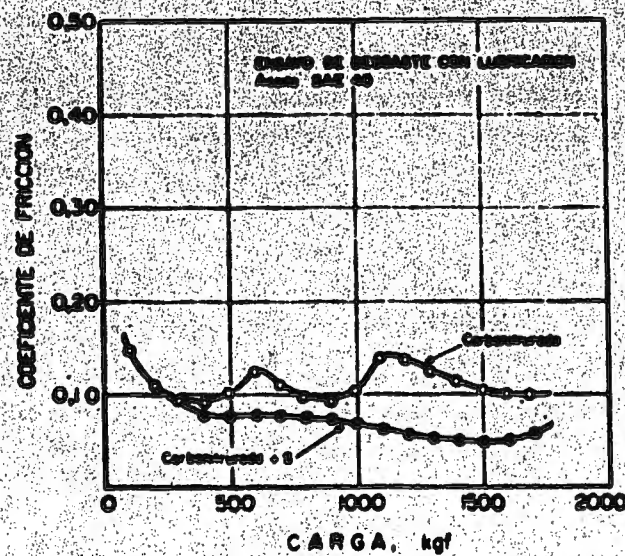


Fig. 7b.—Variación del coeficiente de fricción en función de la carga aplicada durante el ensayo en la máquina Faville-Levally con aceite SAE 40 aditivado.

El efecto del lubricante es, por tanto, claro hasta cargas de 300-Kg, en las condiciones de fricción actuales de ensayo, actuando la capa de sulfuro creada, de manera muy efectiva, a cargas mayores. Con respecto a las probetas ensayadas en seco, queda reducido en un tercio el coeficiente de fricción en las capas lubricadas. La eliminación de las subidas bruscas del coeficiente de fricción en las probetas tratadas con azufre indica que la capa creada impide el gripado de las superficies. De esta manera, el azufre puede ser considerado como un lubricante que ejerce su efecto hasta cargas extremadamente elevadas, 750Kg en los ensayos en seco y 1600Kg con aceite.

La medida de la temperatura en las mordazas de las probetas carbonitruradas, efectuada con termopar soldado a 0.3mm por debajo de la superficie de fricción pone de manifiesto que, independientemente de la carga aplicada en el ensayo y de que se realice con lubricante o no, son paralelas las variaciones de temperatura y del par de fricción. Así durante el ensayo en seco, cuando el par de fricción alcanza valores de 50-60Kg-cm se miden temperaturas del orden de 200°C; la temperatura se eleva hasta 375°C cuando el par de fricción es de 140Kg-cm. La temperatura en la misma superficie de fricción será realmente más elevada y sobre todo en los contactos puntuales sometidos a fricción, pero en cualquier caso, existe evidencia para suponer que, durante el ensayo, se ponen en juego efectos de ablandamiento originados por revenido, e incluso fluencia del material, a pesar de la aplicación de cargas relativamente pequeñas. En los ensayos efectuados con lubricación, sobre las mismas capas carbonitruradas, las temperaturas observadas son iguales a la de los ensayos en seco, para igualar par de fricción, y un aumento brusco de la temperatura se obtiene cuando el par asciende entre 100 y 150Kg-cm, ya que pasa de 275° a 375° C.

11) Comportamiento al desgaste en máquina Amalier

1) Ensayo en seco

En las figuras 8 y 9 se muestran para cargas de 20 y 40Kg respectivamente, las pérdidas de peso observadas en función del número de revo-

luciones a que se someten las probetas, durante el ensayo en seco con 10 % de deslizamiento, de las capas carbonitruradas y carbonitruradas con azufre incorporado a baja temperatura. La forma de las líneas que representan la pérdida de peso ponen de manifiesto que, pasando un período inicial de acomodación de superficies, el desgaste producido hasta el final del ensayo es proporcional al número de revoluciones dado por las probetas. La magnitud del desgaste es diferente en cada una de las probetas ensayadas simultáneamente, siendo más elevado sobre la probeta superior que en la inferior (prácticamente el doble). Cuando el número de revoluciones es suficientemente elevado, la pérdida de peso observada para iguales condiciones de tratamiento es proporcional a la carga aplicada durante el ensayo.

El desgaste que sufren las probetas con azufre incorporado es inferior al experimentado por las capas carbonitruradas. Esta diferencia de comportamiento es consecuencia de las condiciones de desgaste que se presentan durante el período inicial de rodadura, como evidencia la variación de las pendientes de los tramos curvos de la ley de variación de pérdida de peso durante las primeras 10^5 revoluciones impuestas a las probetas. Pasado este período inicial, las pendientes de las líneas rectas correspondientes a probetas superiores o inferiores, carbonitruradas con o sin azufre incorporado, son iguales. Ello quiere decir que, el desgaste producido fuera del período de acomodación de las superficies es independiente, a este nivel de cargas y para los ensayos en seco, de que la capa carbonitrurada contenga o no la película de sulfuro. Los coeficientes de fricción calculados para el ensayo en 20Kg de carga, representados en función del número de revoluciones dado por la probeta inferior, figura 10, indican que alcanzan un valor constante después de un período inicial de rodadura.

El número de revoluciones que tienen que dar las probetas, hasta alcanzar constancia en el coeficiente de fricción, varía con el tratamiento térmico efectuado. Las probetas solamente carbonitruradas muestran un coeficiente de fricción constante de 0.36 transcurridas 1.5×10^5 revoluciones, en tanto que, las carbonitruradas y con azufre incorporado,

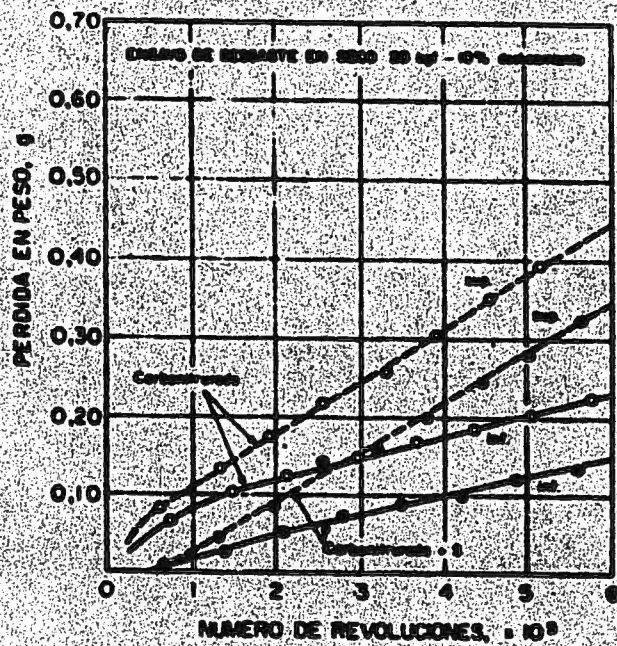


Fig. 8.—Pérdida de peso en función del número de revoluciones durante el ensayo en máquina Amalier. En seco.

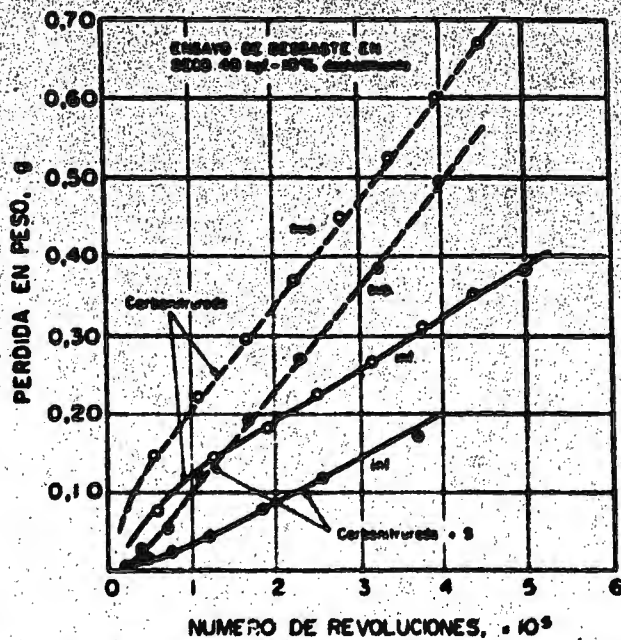


Fig. 9.—Pérdida de peso en función del número de revoluciones durante el ensayo en máquina Amalier. En seco.

precisen de 3×10^5 revoluciones hasta alcanzar un coeficiente de fricción constante de igual cuantía.

El hecho anteriormente observado de que el desgaste sea análogo, - después de un período inicial de rodadura, en las probetas sometidas o no al tratamiento de incorporación de azufre, para igualdad de carga y de posición de probeta en la máquina de ensayo, así como los valores de los coeficientes de fricción, hasta suponer que la capa afectada por la incorporación de azufre actúa solamente durante el período inicial de rodadura y que, en la fase final del ensayo, durante el período de trabajo, el comportamiento está condicionado únicamente al de la capa de carbonitruración. Puede, por tanto, decirse que el azufre incorporado afecta únicamente durante el período de rodadura (inicial) restringiendo el desgaste con respecto a las capas solamente carbonitruradas; cuando se ha perdido la capa de sulfuro el comportamiento al desgaste de las probetas es igual al de las carbonitruradas. La pérdida de peso que corresponde a la eliminación de una S de capa de sulfuro de hierros es de 0.0024g, cantidad que ya han perdido las probetas cuando llevan una hora de funcionamiento. Pese a ello, su efecto se prolonga durante mayor tiempo como se deduce de la observación de la figura 10.

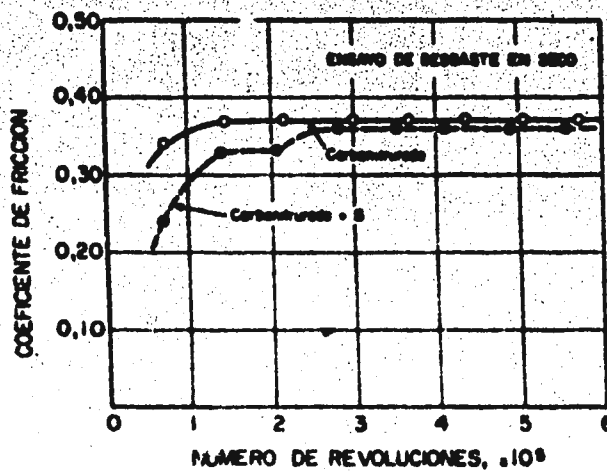


Fig. 10.—Coeficiente de fricción, durante el ensayo en la máquina Amalox, correspondiente a los valores representados en la figura 8

2) Ensayo con lubricación

Los ensayos de desgaste con lubricación efectuados en la máquina - Ansler muestran gran diferencia respecto de los ensayos en seco, cuando se considera el comportamiento de las capas carbonitruradas con y sin azufre incorporado. En la figura 11 se presentan los resultados de pérdida de peso, obtenidos con carga de 100Kg y 10% de deslizamiento, empleando un aceite de calidad comercial SAE 40 aditivado. Transcurrido igual número de revoluciones, las probetas carbonitruradas y sometidas a incorporación de azufre muestran una pérdida de peso de dos a cuatro veces superior a las simplemente carbonitruradas. La forma de las curvas de pérdida de peso indica que, la capa de sulfuro contribuye a acentuar el desgaste al comienzo del ensayo. Un efecto de este tipo podría producirse tanto por reacción del aceite con la capa de sulfuro, como porque el tratamiento diera lugar a un aumento de rugosidad en la superficie a ensayar e, incluso, simplemente, porque la resistencia al desgaste de la capa de sulfuro, en condiciones de lubricación y con la carga empleada, fuera menor que el de la capa carbonitrurada.

La primera posibilidad, reacción del aceite con la capa de sulfuro es preciso descartarla, puesto que se observa el mismo hecho cuando se utilizan como lubricantes hidrocarburos saturados de 12-14 átomos de carbono, exentos por completo de la reactividad, y también aceites base neutros sin aditivos. Por otra parte, la analogía de forma en las curvas de variación de las pérdidas de peso, así como la cuantía del desgaste en las probetas superior e inferior, con azufre incorporado, permite suponer que no sea simplemente un efecto de destrucción de la capa de sulfuro por tener menor resistencia al desgaste. Una posible aplicación sería la aceptación de que la capa que contiene azufre presenta diferencia de mojado, por parte del lubricante, respecto del caso de la superficie simplemente carbonitrurada, o bien que predomina el efecto del aumento en la rugosidad originada en el tratamiento. Las medidas de los pares de fricción, efectuadas en los ensayos representados en la figura-

12, ponen de manifiesto que los coeficientes de fricción, en las capas carbonitruradas y lubricadas, son continuamente constantes, del orden de 0.037, entre las 2×10^5 y 26×10^5 revoluciones de las probetas. En estas probetas carbonitruradas y tratadas con azufre, el coeficiente de fricción es ligeramente superior, 0.040 a 10×10^5 revoluciones, cuando se ha perdido toda la influencia de la capa de sulfuro en las probetas.

Los ensayos efectuados con otro lubricante comercial, SAE 40 editado, empleando carga superior, 200Kg, muestran en esencia un comportamiento análogo al observado en los ensayos realizados con 100Kg. En este caso se han ensayado también parejas de probetas carbonitruradas, e carbonitruradas y tratadas para incorporar azufre, e igualmente parejas constituidas por probetas con ambos estados de tratamiento, invirtiendo las posiciones de las probetas de ensayo en la máquina Amaler.

La figura 12a presenta el comportamiento de las parejas de probetas sometidas a igual tratamiento. A pesar de ser doble la carga, 200Kg, - que en el caso de los ensayos reflejados en la figura 10, las pérdidas de peso son de menor cuantía como consecuencia del cambio de aceite efectuado. Sin embargo continúa siendo, de tres a cuatro veces, superior al desgaste en las capas carbonitruradas con azufre incorporado, que en las solamente carbonitruradas. Esta diferencia se produce fundamentalmente en la primera media hora de puesta en funcionamiento de la máquina.

Sorprendentemente (fig. 12b y c) al enfrentarse en el de desgaste - probetas correspondientes a ambos estados de tratamiento, e independientemente de su posición en la máquina de ensayo, sometidas también a la carga de 200Kg, la relación de pérdida de peso se invierte para los tratamientos. En ambos casos, es superior el desgaste originado en las probetas carbonitruradas, presentando menor pérdida de peso las tratadas - electrolíticamente para conseguir la capa de sulfuro.

El orden de magnitud de la pérdida de peso, en las capas con azufre incorporado (fig. 12a, b y c), es siempre del mismo orden, independientemente de la naturaleza de las capas enfrentadas y además, es compatible con la cantidad de material que se preciaría para eliminar la capa de sulfuro (0.0034g) y también la rugosidad creada sobre la superficie de contacto de la capa de sulfuro con el metal base. Que el desgaste de la

capa carbonitrurada sea del orden de diez veces superior, cuando se enfrenta a otra probeta con azufre incorporado, en comparación con la pérdida de peso observada en cada una de las probetas simplemente carbonitruradas, puede ser una consecuencia del aumento de rugosidad debido al tratamiento de incorporación de azufre, que influye predominantemente sobre el comportamiento de la superficie carbonitrurada.

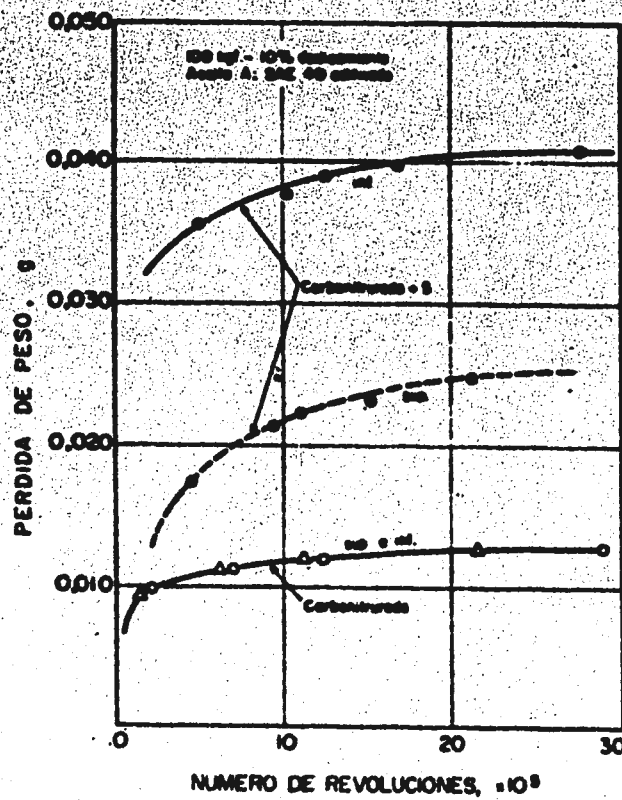


Fig. 11.—Pérdida de peso en función del número de revoluciones durante el ensayo en la máquina Amalcr. Lubricado con aceite A, SAE 40 aditivado.

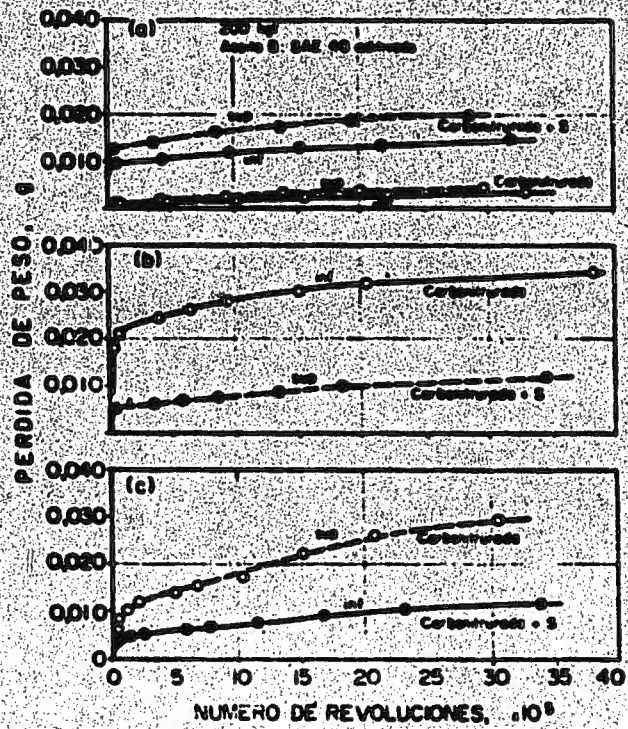


Fig. 12.—Pérdida de peso en función del número de revoluciones durante el ensayo en máquina Amalier. Lubricado con aceite S, SAE 40 editado.

La variación de los coeficientes de fricción, durante los ensayos efectuados con carga de 200kg, es pequeña a lo largo del ensayo transcurridos los minutos iniciales. En la tabla I se indican los valores de los coeficientes de fricción, al principio y al final del ensayo, para periodos de funcionamiento de 20 min y 100h aproximadamente.

TABLA I.- Valores de los coeficientes de fricción para superficies de igual o distinta naturaleza.. Ensayo con lubricación en máquina Ameler, con 200kg de carga, SAE 40 aditivado.

Pareja de probetas	Al comienzo del ensayo (20 min)	Al final del ensayo (100h)
Carbonitrurada/carbonitrurada+S	0.049	0.043
carbonitrurada/carbonitrurada	0.040	0.039
Carbonitrurada+S/Carbonitrurada+S	0.044	0.040

Conclusiones

La formación de una capa de sulfuro, sobre probetas de acero al carbono carbonitruradas, puede afectar de forma diferente al comportamiento de las mismas, según las condiciones de trabajo durante el ensayo de desgaste.

En condiciones de fricción pura y carga progresivamente creciente, la incorporación de azufre lleva consigo a una mejora notable del comportamiento al desgaste respecto del obtenido sobre capas solamente carbonitruradas. En condiciones de desgaste en seco, la mejora se manifiesta para cualquier carga. Con lubricación, el efecto de la capa de sulfuro se pone de relieve para cargas elevadas. En cualquier caso la presencia de la capa de sulfuro implica desaparición del "gripado" en las probetas.

En condiciones de rodadura con 10% de deslizamiento, para cargas -

de 20 y 40 Kg. trabajando en seco, la capa de sulfuro actúa favorablemente durante la fase inicial del ensayo, disminuyendo sensiblemente las pérdidas originadas por desgaste. Posteriormente, se elimina completamente el efecto de la capa incorporada y el desgaste está condicionado exclusivamente a la capa carbonitrurada.

Los ensayos efectuados con lubricación, 10% de deslizamiento y carga de 100 y 200 Kg, muestran que la presencia del azufre incorporada da lugar a un aumento en la pérdida de peso. Este efecto no sólo tiene lugar cuando se enfrentan superficies con capa de sulfuro, sino también en el caso de parejas distintas, superficie carbonitrurada y después tratada para incorporar azufre. En este caso, ensayo de superficies con tratamiento distinto, aumenta grandemente el desgaste de la capa carbonitrurada. Con lubricación, las capas solamente carbonitruradas y enfrentadas durante el ensayo de desgaste han presentado el mejor comportamiento. Este comportamiento parece justificado como consecuencia del aumento de rugosidad originado en la superficie de separación de la carga de sulfuro con el material base carbonitrurado. La presencia de la capa de sulfuro sobre la superficie carbonitrurada no afecta al límite de fatiga de probetas no entalladas.

VII.4 SULFIDIZACION

Sulfidización es un tratamiento termoquímico que tiende a mejorar de manera muy notable la resistencia al desgaste de los aceros, esto se produce como consecuencia de incorporar azufre a la masa metálica mediante calentamiento a temperaturas alrededor de los 565°C , para lograr estas condiciones las piezas se introducen en un baño de sales fundidas. En este tratamiento, aunque no se observa un aumento sensible de la dureza superficial en el acero, sí se obtiene en cambio un gran aumento de la resistencia al desgaste. Si observamos con atención este tratamiento es necesario que modifiquemos en cierto modo las concepciones generalizadas y admitidas sobre la relación que hay entre dureza y resistencia al

desgaste. En este caso, sin ser las piezas de una gran dureza tienen una extraordinaria resistencia al desgaste.

De una forma generalizada, para este tratamiento se suele usar un baño formado de dos tipos de sales:

Una de bajo punto de fusión que suele estar constituida por carbón to sódico, mezclado con cianuro sódico y cloruro potásico (de potasio) - en cierto modo esta mezcla puede considerarse como una típica sal de cianuración, y por otro lado se emplea una sal portadora de azufre, cuya mezcla esté formada por cloruro potásico, cianuro sódico y sulfito sódico. El contenido de sulfito sódico del baño suele estar alrededor del 12%.

En algunas ocasiones se suele usar otra sal de relleno que tenga carácter neutro. En la sulfidización se produce una transformación superficial del metal, con penetración de ciertos elementos.

En este tratamiento el agente de penetración es el sulfocianuro, y la temperatura a la que se realiza es la indicada de 365°C.

Aún no se conoce a fondo los constituyentes microscópicos que se obtienen con este tratamiento. Al parecer lo que ocurre es que se producen precipitaciones de constituyentes microscópicos de naturaleza todavía no bien definida, localizadas en las uniones de los granos lo que comunica a las piezas de acero propiedades de gran valor para numerosas aplicaciones.

En la sulfidización suelen formarse dos capas:

Una superficial dura y frágil de muy poco espesor (10 a 30 micrones) y otra interior menos dura y de más espesor, la profundidad total que suele alcanzarse como máximo en el tratamiento es de 0.30mm. El método de trabajo que suele seguirse es como sigue:

1.- Maquinado completo dejando un exceso dimensional de 2/100pm. Este exceso dimensional es para dar las dimensiones exactas por el rectificado después del tratamiento.

2.- Pre calentamiento de las piezas a fin de evitar un descenso importante de la temperatura en el baño (200 a 300°C).

3.- Teniendo el baño de sales a la temperatura indicada de los 565°C - se introducen las piezas precalentadas. Normalmente con una hora de permanencia, en las condiciones indicadas un espesor de 15/100mm de capa sulfidizada. Debe tenerse presente que la superficie suele saturarse rápidamente y después de tres horas, la penetración alcanza su máximo que es de 30/100mm. de profundidad. Si no hay necesidad de rectificar con una capa de 15/100mm de profundidad en superficie.

4.- Se sacan del horno las piezas introduciéndose en agua con el fin de que se desprenda o se disuelvan las sales adheridas.

5.- Caso de que sea necesario se procede a rectificar las piezas a las dimensiones exigidas.

La propiedad más importante que se logra en los aceros, ^{este tratamiento es} mediante la resistencia al desgaste.

En numerosos ensayos tecnológicos realizados sobre ejes, cojinetes, levas, etc. con aceros templados por un lado, aceros cementados y templados, y aceros sulfidizados, se ha observado que las piezas sulfidizadas tienen una resistencia al desgaste mucho más elevada que las demás.

También se ha estudiado los desgastes producidos en uno y otro caso encontrándose que los espesores y pesos perdidos en los diferentes ensayos, son de 5 a 20 veces menores en los aceros sulfidizados que en los otros tratamientos. En este tratamiento la resistencia al desgaste es debida más que a un aumento de dureza, a la actitud que tiene la capa sulfidizada al rozamiento, parece como que las superficies así tratadas se comportan en cierto modo como los metales de fricción y los constituyentes duros incrustados en la matriz favorecen y mejoran la resistencia al roce de las piezas.

VII.5 CEMENTACION POR SULFINUZACION O POR SELENIZACION

El baño está compuesto de sales de cianuro o de S o Se. El tratamiento se efectúa entre los 560 y los 580°C, donde estas temperaturas - deberán ser rigurosamente respetadas. La elevación de la temperatura - descompondrá la composición activa del baño.

En tres horas se alcanza un espesor de 0.3 mm. con la aplicación de este tratamiento la capa alcanzada no es endurecida.

VII.6 NUEVO TRATAMIENTO ANTIDEGASTE SULF. B. T.

Nuevo tratamiento antidesgaste de todos los materiales sometidos - previamente a tratamiento térmico de: Bonificación, temple austenítico cementación y temple en fundiciones templadas, fundiciones austeníticas, fundiciones maleables etc.

Este tratamiento denominado Sulf. B. T., descubierto y patentado - por el " Centre Stephensie de Recherches Mécaniques" de Francia, en 1964 se caracteriza principalmente por realizarse a baja temperatura, no sobrepasando los 200°C.

En principio es un tratamiento semejante al Sulfinuz con la gran - diferencia de que este se realiza entre los 500 y 560°C, mientras que - el Sulf. B. T. se efectúa solamente a 180-200°C, permitiendo, por tanto, el tratamiento antidesgaste en piezas templadas a corazón o bien superficialmente por inducción, etc., y en piezas cementadas y templadas a - dureza HRC -60-64, sin afectar sensiblemente a las durezas.

De esta manera general diremos que confiere el material una resistencia al desgaste y al gripaje muy remarcable, así como una buena resistencia a la oxidación.

Por realizarse el tratamiento en bajas temperaturas las deformaciones son prácticamente y las durezas no son afectadas, en realidad.

Así mismo, las piezas tratadas por el Sulf. B. T. son menos sensibles a la calidad del lubricante.

A) ESPECIFICACIONES DEL PROCESO SULF. B. T.

El proceso Sulf. B. T. es un tratamiento electrolítico en un baño de sales fundidas, cuya temperatura es de 180-200 grados centígrados, y su finalidad es la de formar sobre la superficie del acero una capa de sulfuro de hierro (FeS), del orden de 280 a 400 micropulgadas, muy resistente al desgaste y que forma parte integral del metal.

B) INSTRUCCIONES PARA EL USO

1.- Las piezas pueden ser tratadas tanto después de un desengrase, con percloroetileno, seguido de un decapado en baño ácido durante 10 minutos o bien, después de un arenado.

2.- Las piezas así preparadas se sumergen en el baño Sulf. B. T. durante un tiempo de 15 a 20 minutos como máximo, siendo sometidas durante este tiempo a una electrólisis, con una densidad de corriente de 0.20 amperios por pulgada cuadrada. El baño es agitado ligeramente mediante una corriente de gas. Las piezas en tratamiento son conectadas al ánodo correspondiente al polo positivo del generador Dc y actuando como cátodo el propio crisol del baño.

3.- Una vez finalizado el proceso las piezas son limpiadas con agua, se secan y se protegen con cualquier tipo de antioxidante.

EQUIPO

1.- El baño Sulf. B. T. es albergado en un crisol de acero inoxidable.

2.- Un análisis químico del baño informa la evolución de éste permitiendo mantener la concentración adecuada mediante la adición de sales nuevas.

Generalmente basta un análisis al día.

3.- Un generador de corriente monofásica rectificadora para la electrólisis con rendimiento de 8 a 10 voltios y una intensidad de 750 amperios.

4.- Un dispositivo de regulación de temperatura actúa en el sistema calefactor para asegurar que el baño trabaje a temperatura constante, con una tolerancia de $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

VII.7 LA SULFINIZACION Y LA SELENIZACION

Estos consisten en incorporar azufre o selenio, según sea el método empleado, con un ligero espesor, no siendo aumentada la dureza. Numerosos útiles son sometidos a estos procesos, cuyas temperaturas de tratamiento oscilan entre los 450 y los 570 $^{\circ}\text{C}$. Un tiempo de permanencia de 3 a 8 minutos máximo es suficiente, dado que tiempos más prolongados originan fragilidad.

VII.8 ELECTROBULFIDIZACION

El proceso básico consiste en difundir azufre proveniente de sales neutras o sales que por acción reductora liberan azufre que por difusión penetra en las superficies de las piezas,; este proceso se suele dividir en tres fases:

1.- Electrólisis a bajas temperaturas para formar una película negra sobre la superficie. Debe tenerse presente que en este caso el voltaje debe ser bajo.

2.- Incrementar el voltaje para producir un chisporroteo lo cual provoca cambios bruscos a la corriente, en este caso se produce una capa de tono gris.

3.- Se realiza a temperaturas altas, esta elevación de temperatura es consecuencia de cortos circuitos que provocan el arco voltaico, en este caso se forma una capa negra y dura.

Las soluciones electrolíticas recomendables son: Sulfato de Sodio, Sulfato de Amonio y Sulfito de Sodio, la particularidad de estas sales es que son estables a bajos voltajes y bajas densidades de corriente, depositan fácilmente azufre y no dejan mal olor y son económicos.

VII.9 SULFIDIZACION, TRATAMIENTO DE HIERRO Y ACERO

El presente invento se refiere a técnicas en el tratamiento de superficies de materiales, particularmente hierro y acero. Más específicamente, el invento se refiere a nuevos y perfeccionados métodos y medios para sulfidización de superficies de hierro y acero para efectuar tratamiento superficial de ellas.

Los métodos convencionales para sulfidización de hierro y acero como se practica hasta hoy han sido acompañados de ciertas dificultades y deficiencias, particularmente en los agentes sulfidizantes (en adelante se refiere a la difusión de azufre) usados, como será descrito en adelante.

Es objetivo del presente invento, en sus aspectos más amplios, superar tales dificultades y deficiencias experimentadas hasta hoy.

Más específicamente, es objetivo del presente invento proveer un nuevo método perfeccionado de artículos o piezas sulfidizadas de hierro-

y acero. El invento, en un aspecto de él, contempla el tratamiento mediante el uso de azufre sólido, en otro aspecto de él, contemple el empleo de un método basado en el uso de S en estado gaseoso, que muestre en las piezas, por difusión.

Otro objetivo del invento consiste en nuevos métodos perfeccionados para adicionar azufre, particularmente mediante el empleo de componentes sólidos de azufre base de este método o invento.

Otro objetivo consiste en proveer, nuevos y perfeccionados dispositivos convenientes para practicar la operación descrita por este invento.

Un objetivo adicional es procurar que resulte más económico, al mismo tiempo que resulte de aplicación más simplificada, más conveniente además de ofrecer otras ventajas en su proceso.

Por los objetivos expuestos además de otras ventajas se pondrán en evidencia a medida que se vea la aplicación del presente invento.

La naturaleza y los detalles se comprenderán mejor con la siguiente descripción debido a las mejoras introducidas en el presente invento tomando en cuenta las indicaciones mostradas en el croquis que se adjunta y que son como sigue:

Figura 1.- Proyección vertical, indicando la manera en que va colocada la pieza a tratar de acuerdo a este método

Figura 2.- Proyección vertical, que indica otra manera de realizar este método.

Figura 3.- Proyección vertical indicando la incorporación de otros dispositivos convenientes para la práctica del presente invento.

En uno de sus aspectos, el presente invento provee un método de sulfidización el cual, se describe brevemente: la pieza a ser tratada se cubre perfectamente con una mezcla por ejemplo, de polvo de carbono amorfo obtenido de escoria pesada con un alto contenido de azufre, conteniendo azufre e hidrógeno, y calentando al mismo tiempo a una temperatura entre 400 y 600°C.

La peculiaridad del invento consiste en que en un crisol de grafito como se muestra en la fig. 1, se llena con el polvo de carbono amorfo 2 obtenido de escoria pesada con alto contenido de azufre. Una pieza de hierro o acero 3 constituyendo el artículo de metal a ser tratado y completamente cubierto por dicho polvo.

Una tapa 4 está situada en la posición que se indica, sirve para cubrir el crisol 1, y un material adecuado que se aplica para sellar la unión entre la cubierta 4 y el crisol 1. El crisol 1 así preparado es entonces calentado a aproximadamente 575°C y manteniendo a esta temperatura por cierto tiempo, en estas condiciones se forma una capa sulfidizada sobre la superficie del material 3 así tratado. El polvo de carbono junto con el artículo del metal tratado enterrado allí adentro, es enfriado a una temperatura por debajo de 100°C antes de que el artículo sea removido del crisol. Este paso se forma con el fin de que la pieza entre en contacto con el aire a la alta temperatura que sale del horno y pueda oxidarse.

Para facilitar un claro entendimiento del proceso descrito anteriormente, un ejemplo específico de su aplicación es descrito a continuación.

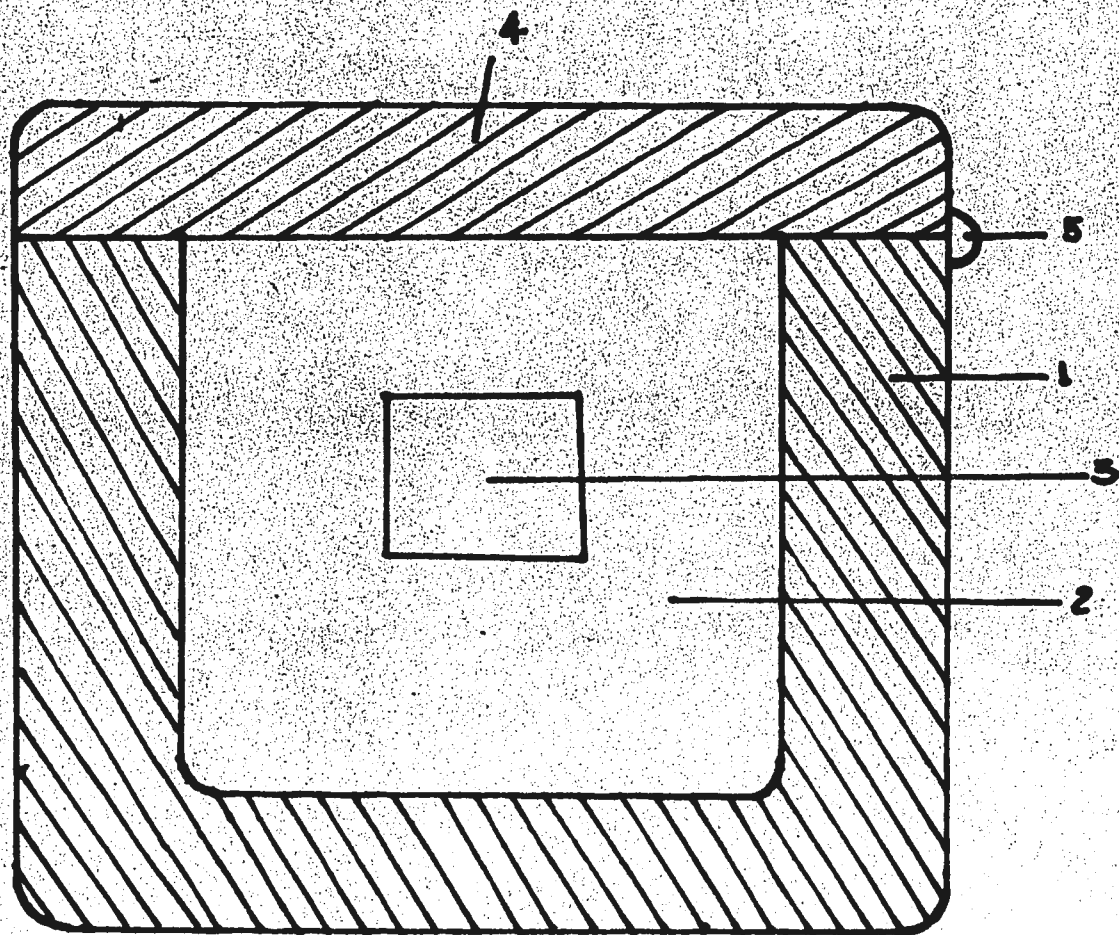


FIGURA 1

EJEMPLO I

Una pieza de hierro designado por el nombre de marca registrada - "Armco" de 18 mm de diámetro y 10 mm de espesor fue enterrada en aproximadamente 50 gramos del polvo de carbono mencionado anteriormente localizado dentro y llenando un crisol de grafito y después de la colocación de la tapa sellando con el material sellador, fue calentado por dos horas a la temperatura establecida anteriormente de 575°C . La pieza de hierro fue entonces enfriada, junto con el polvo de carbono, a una temperatura debajo de 100°C y entonces removida del crisol.

Como un resultado, una capa sulfonizada de aproximadamente 0.3 mm de espesor promedio fue obtenida.

Fue más adelante hallado que el contenido de azufre del polvo de carbono para el proceso logrado anteriormente de aproximadamente 3%, y los contenidos volumétricos de los gases generados para este contenido de azufre a 575°C , fue como sigue: 6.92% de H_2S ; 1.5% de SO_2 ; 1.76% de CS_2 ; 17.3% de CO_2 ; restantes de N_2 , donde el oxígeno proviene del aire en cerrado en el polvo.

Es decir, el azufre ^S se convierte en H_2S , SO_2 y CS_2 y, asumiendo la fase vapor sin pasar a través de la fase líquida, obra sobre el artículo siendo tratado.

En este caso, estos gases se disocian bajo la acción catalítica del material de hierro siendo tratado para producir azufre en estado atómico. Este azufre atómico reacciona con el material de hierro para formar al menos un sulfuro, $\text{Fe}(1-x)\text{S}$, y se presenta el así llamado efecto sulfidizante.

La razón para usar un polvo de carbono preparado de aceite pesado con un alto contenido de azufre, es que tal polvo de carbono hace generación a bajo costo de H_2S , SO_2 , y CS_2 los cuales facilitan la generación

de azufre atómico.

Será obvio que tal polvo de carbono producido sintéticamente con un contenido de azufre del orden de 1 a 3% puede además ser usado.

El presente invento, en otro aspecto de ello, contemple el suministro de un nuevo penetrante sólido de azufre el cual es altamente conveniente para la formación de capas de cementación de azufre sobre hierro y acero para el método ya descrito.

En general, en un baño de sal los penetradores convencionales de azufre han tenido ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$) tiosulfato de sodio como su constituyente principal y han tenido las desventajas de difícil manejo y alto costo. En contraste, el penetrante de azufre según el presente invento es un sólido el cual es fácilmente manejado y puede ser producido a bajo costo.

Brevemente descrito, el penetrante de azufre del invento está compuesto esencialmente de polvo de carbono teniendo fijado a él principalmente hidrógeno en la forma de un radical quinona y contenido de azufre en la forma de azufre libre.

Una incorporación práctica del penetrante de azufre según el invento es un polvo granulado amorfo de carbono teniendo una distribución de tamaño de partícula de aproximadamente 30 a 100 mallas, una densidad específica aparente (o masa) de aproximadamente 0.27 a 0.4, un contenido de azufre de aproximadamente 3% y un contenido de radicales quinona de 0.6%. Ha sido hallado que cuando este penetrante de azufre está situado dentro de un crisol de grafito y calentado a aproximadamente 575°C.

El gas generado, sobre la base de 100 cc, está compuesto de aproximadamente 7.9% de H_2S , aproximadamente de 1.76% de CS_2 , 1.5% de SO_2 , 19.5% de CO_2 y restante de N_2 .

La presencia del hidrógeno y del oxígeno es debida a la existencia del aceite con el penetrante dentro del crisol.

En el caso en que sólo azufre libre sea usado, FeS es solamente formada sobre la superficie del artículo de hierro o acero, como es bien conocido. Este FeS no contribuye en nada a la resistencia al desgaste por fricción, lo cual es el propósito del tratamiento de sulfidización, pero, más bien, es perjudicial al artículo. Ha sido hallado que, al contrario, la presencia de C, y de H en el radical quinona causa la liberación de S para convertirse en H₂S a la temperatura de calentamiento requerida, y este gas, H₂S, en contacto con hierro o acero, causa la formación de una capa sulfidizada de FeS, de este modo causando resistencia al desgaste para ser exhibida. Ha sido hallado además como resultado del análisis de rayos X que los valores de esta cantidad I-X es aproximadamente 0.9, por consiguiente la molécula ya mencionada es Fe_{0.9}S.

La ejecución del penetrante de azufre según el invento ha sido estudiado experimentalmente y ha sido hallado que, como un aspecto de la ejecución, la cantidad del penetrante necesario por centímetro cuadrado de superficie de área para formar una capa sulfidizada de aproximadamente 0.4mm de espesor sobre la superficie de un artículo de hierro o acero es aproximadamente 5 gramos.

El polvo de carbono del invento como se describe anteriormente puede ser fácilmente producido, por ejemplo, por destilación de aceite de un aceite pesado teniendo un amplio alto contenido de azufre. Puesto que el H₂ obtenido como un subproducto durante tal proceso puede ser ventajosamente utilizado, el invento tiene la ventaja ya mencionada de bajo costo de producción.

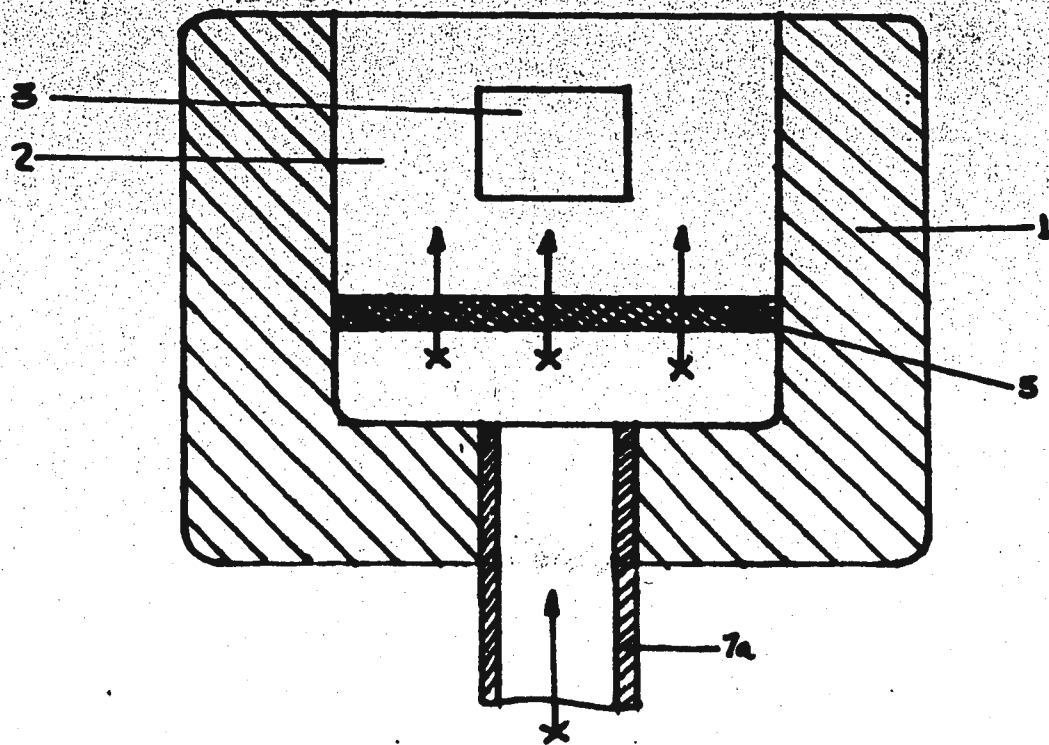
En otra incorporación del método del presente invento, la sulfidización de hierro y acero es grandemente mejorada a través del uso de H₂S, CS₂ o una mezcla de los dos, y rápido tratamiento sulfidizante puede ser conseguido.

Un dispositivo conveniente para la práctica de esta incorporación comprende un crisol I (por ejemplo, de grafito), como se indican diagra

néticamente en la figura 2, provisto en su interior con una repisa intermedia 5 consistiendo de una placa porosa al gas y un tubo de entrada de gas 7a para suministrar gas de H_2S en la cámara debajo de la repisa 5. En la práctica de este método, el espacio en el crisol I arriba de la repisa 5 está llenado con carbono 2, en el cual un artículo 3 a ser tratado está enterrado. Entonces, el gas H_2S es suministrado a través del tubo de entrada 7a, a través de la repisa 5 en la dirección de las flechas X y uniformemente en el carbono 2. La repisa está disponible para este propósito.

El crisol I es calentado hasta y mantenido a una temperatura conveniente de sulfidización, por ejemplo, $575^{\circ}C$. El crisol I puede ser calentado por cualquier método conveniente, un método tal como siendo para sumergir el crisol en un ambiente de carbono adentro de un horno eléctrico del tipo de fluido de partículas.

El proceso descrito anteriormente será mejor entendido por consideración del ejemplo siguiente de aplicación típica.



ENCIFLC 2

50 gramos de carbono fueron puestos en un crisol de grafito sobre una repisa intermedia porosa al gas, y un disco de "Armco" de 16 mm de diámetro y 10mm de espesor fué enterrado en el carbono. Gas de H_2S fué suministrado hacia arriba a través de la repisa intermedia en el carbono a razón de 0.1 litros/minuto, y el crisol fué llevado por 2 horas a $575^{\circ}C$. El disco estaba entonces cubierto, a un mismo tiempo con el carbono, a una temperatura debajo de $100^{\circ}C$, y entonces removido del crisol. Como resultado, una capa sulfidizada de 0,5mm de espesor tenía una composición de Fe S fué obtenida sobre la superficie del disco.

En comparación, una capa sulfidizada de únicamente 0.2mm de espesor puede ser obtenida por el método convencional, es decir, el método en que únicamente gas de H_2S es empleado sin el uso de carbono. La razón para esto creído es que el hidrógeno liberado de H_2S durante el tratamiento de sulfidización permanece como materia espuria sobre la superficie del artículo tratado, y la aparente concentración del H_2S es diluida por este hidrógeno espurio, mientras que cuando el carbono está presente como en el caso del presente invento, este carbono absorbe el hidrógeno espurio, por lo tanto el efecto sulfidizante es acrecentado por consiguiente.

Ha sido hallado que, más que el H_2S para el proceso de gas suministrado, el gas CS_2 o mezcla de gases H_2S y CS_2 producen resultados equivalentes.

El presente invento, en otro aspecto de ello, provee un dispositivo adecuado para practicar el método descubierto del invento presente.

Como se menciona brevemente en lo precedente, es necesario, después del paso de proceso de calentamiento del método de este invento, enfriar el artículo tratado, aún en su posición en el polvo de carbono adentro del crisol, hasta que la temperatura del artículo tiene caída a $100^{\circ}C$, o más baja y entonces extraerlo puesto que su contacto con el aire a temperatura alta es indeseable. El presente invento provee un dispositivo el cual está adaptado para acompañar el paso de enfriamiento

to de manera simple y efectiva. Los detalles de este dispositivo ahora serán descritos con respecto a una incorporación preferida.

Referente a la figura 3. Las partes esenciales del dispositivo son: un crisol 1 (por ejemplo un crisol de grafito) teniendo una tapa 4; una placa porosa al gas 5 dispuesta horizontalmente de pared a pared a través del interior del crisol 1 con un espacio de elevación de entre la superficie inferior de la placa 5 y el fondo del crisol 1; mientras que el tubo de entrada de gas 7 se extiende descendentemente a través de la tapa 4, a través del espacio interior del crisol arriba de la placa 5, y a través de 5 hacia el interior del espacio más bajo, y un tubo de escape de gas 6 provisto a través de la tapa 4. Los tubos de entrada y escape de gas 7 y 6 están provistos, respectivamente, con válvulas 9 y 10. Durante la operación, el espacio adentro del crisol 1, arriba de la placa 5, está ocupado con polvo de carbono y un artículo a ser tratado está enterrado adentro de este polvo como ha sido descrito anteriormente. Para el paso de calentamiento del método de acuerdo con este invento. La combinación descrita anteriormente de partes es calentada por cualquiera medios convenientes. En el instante de incorporación, esta combinación, de partes está situada adentro y calentada con un fluido de partículas de carbono, el medio ambiental 8 contenido adentro del recipiente 11 de un horno eléctrico de fluido de partículas. El dispositivo de la construcción descrita es adecuado para realizar el método según el presente invento como se ilustra en los ejemplos 1 y 2 establecidos a la vista en lo precedente. En el caso del proceso del ejemplo 1, las dos válvulas 9 y 10 son mantenidas cerradas durante el proceso de calentamiento. En el caso del proceso del ejemplo 2 el tubo de entrada de gas 7 es usado para suministrar gas de H_2S adentro del polvo de carbono 2 ascendentemente a través de la placa porosa al gas 5.

En ambos casos, la válvula 9 y 10 son abiertas después del paso de calentamiento de cierta razón y descargado a través del tubo de escape de gas 6. Ha sido hallado que, en el caso de las cantidades especificadas en los ejemplos 1 y 2, un gas inerte suministrado a razón de

100cc/minutos rápidamente enfría el artículo 3 después del tratamiento de calentamiento a una temperatura debajo de 100°C en aproximadamente 15 minutos sin causar alguna reacción química en el artículo 3 y el azufre penetrante en el material 2. Ha sido confirmado, además, que por el uso del dispositivo descrito en la forma anterior, no hay posibilidad de extraer aire del interior del crisol mientras que el artículo 3 está aún a alta temperatura, y, que la superficie del artículo 3 extraída después de enfriar el crisol está libre de irregularidades y defectos.

Debe ser mencionado que si el gas refrigerante es suministrado directamente sin el uso de una placa porosa al gas 5, el gas se concentrará localmente y fluirá rápidamente hacia la abertura del tubo de escape 6 por lo cual el efecto refrigerante será deficiente.

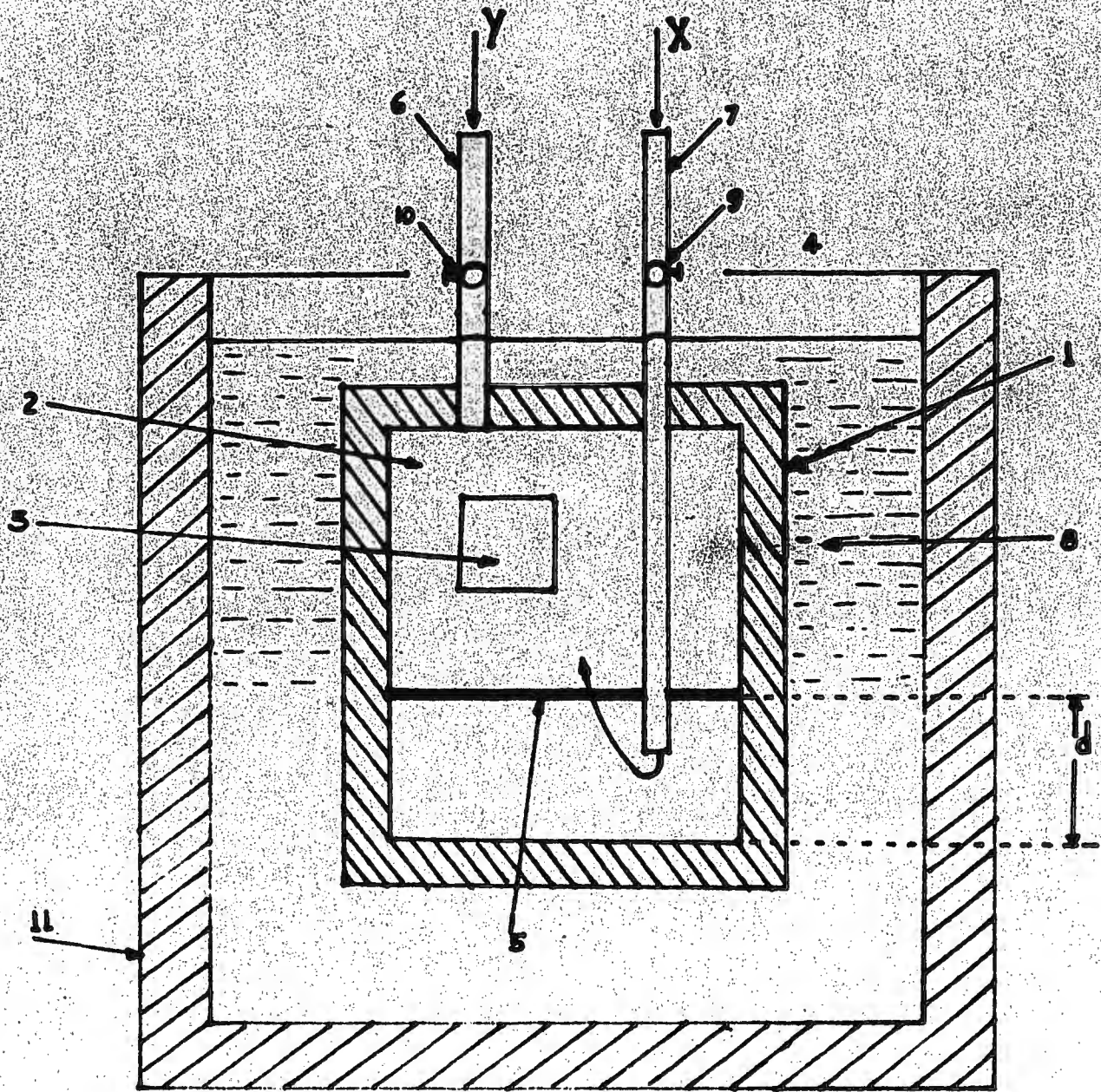
Estará así observado que el dispositivo descrito anteriormente según el invento de construcción simple relativamente y operación no únicamente hace posible la práctica de este método de este invento sin además proporciona enfriamiento rápido después de eso al artículo siendo tratado sin causar oxidación.

Debe ser entendido, el curso, que el descubrimiento precedente se relaciona a únicamente incorporaciones preferidas del invento y que es intentado para cubrir todos los cambios y modificaciones de los ejemplos del invento adjunto elegido para los propósitos del descubrimiento, lo cual no constituye desviaciones del espíritu del invento como se esienta adelante en las demandas anexadas.

Lo que se pretende del invento es:

1.- Métodos de sulfidización de artículos de hierro y acero, constando del entierro del artículo en polvo de carbón amorfo conteniendo azufre e hidrógeno y calentando el polvo junto con el artículo enterrado en ello a una temperatura dentro del rango de 400 a 600°C.

2.- Método según demanda 1, en la cual el contenido de azufre del polvo de carbono es 1 a 3%.



VII.10 METODO ELECTROLITICO DE SULFIDIZACION PARA PARTES FERROSAS EN UN BAÑO DE TIOCIANATOS

El objeto de tratar superficies metálicas mediante este proceso es para mejorar sus cualidades de fricción y resistencia al desgaste, el procedimiento consiste en introducir un elemento que actúe como elemento anódico en un baño de sales fundidas el cual está compuesto por una mezcla eutéctica compuesta de 25% de tiocianuro sódico y 75 % de tiocianato potásico a una temperatura comprendida entre 150 y 200°C, opcionalmente puede agregarse 0.1 % de ferrocianuro potásico y 0.9% de ferrocianuro potásico, y también opcionalmente, con un preproceso de nitruración, con un flujo gaseoso conteniendo 60% de N_2 y 40% de H_2 y también opcionalmente, previo depósito de una capa de hierro o una aleación a base de hierro.

En la patente francesa No. 1,406,530 se ha descrito un método de tratamiento de superficies metálicas con objeto de mejorar coladas de resistencia a la fricción y al desgaste, el proceso consiste en introducir un elemento no metálico en la superficie metálica a ser tratada por electrones en un baño de sales fundidas, la parte tratada es la que constituye el ánodo. Para la constitución del baño de sales fundidas, se han propuesto más particularmente los cianatos, especialmente cianato potásico fundido a 350°C.

Con baños de esta clase se ha logrado la incorporación de los elementos carbono (C) y nitrógeno (N) en la superficie de las piezas tratadas, con lo cual se ha incrementado la dureza en la superficie y reducido el coeficiente de fricción.

La presente aplicación tiene por objeto mejorar este método.

Este mejoramiento se caracteriza porque los baños de sales fundidas

en el cual las piezas metálicas son sometidas a la acción de electrólisis, en la mezcla de tiocianatos, y muy particularmente una mezcla de tiocianato de sodio y tiocianato de potasio.

Ha sido observado que con esta mezcla de tiocianatos, un número de ventajas son conseguidas. En primer lugar, se obtiene la incorporación de azufre (S) a la superficie del metal, principalmente en forma de sulfuro, lo cual es favorable para mejorar las cualidades de fricción.

También con la mezcla de estas sales, la temperatura de fusión del baño se reduce considerablemente (150°C - 200°C), por lo cual permite que las piezas sean tratadas, sobre todo partes especiales de aceros, sin que por esto se reduzca su dureza.

Los resultados más ventajosos se obtienen cuando se usan baños de sales fundidas compuestos de una mezcla de tiocianatos en una proporción eutéctica de 25% de tiocianato de sodio y 75% de tiocianato de potasio. Esta mezcla tiene la propiedad de fundir a 125°C , que es una temperatura relativamente baja en comparación con la temperatura del baño de sales fundidas usual, y hace posible llevar a cabo el tratamiento a 150 - 200°C como indicamos anteriormente.

Al baño de tiocianatos fundidos pueden ser agregados un ferrocianuro, un ferricianuro, o una mezcla de los dos. Esta adición es hecha en proporciones pequeñas; una proporción ventajosa es 0.9% de ferrocianuro y 0.1% de ferricianuro.

Dicha adición tiene también la ventaja de facilitar la aplicación del método en el caso de tratamiento de piezas de formas complicadas. Además, el tratamiento puede mejorarse todavía más, debido a que en la base del crisol lleva una pieza que sirve como un cátodo, además de inyectar gas inerte como nitrógeno o bien un gas reductor como lo es el hidrógeno en la masa fundida. También mediante esta inyección, el vol-

taje de ánodo-cátodo contribuye a reducir la densidad de corriente.

El método según se desprende de este invento es aplicable a todas las piezas metálicas, principalmente en superficies que contienen grandes proporciones de hierro, níquel o ambos metales. Por lo cual, estos dos muy buenos resultados en piezas de acero cuando estas han sido endurecidas, templadas o nitruradas previamente.

También se han logrado notables mejoramientos superficiales sobre otros metales, cuando estos han sido sometidos a depósitos galvánicos superficiales en capas delgadas de Fe o Ni.

Además, por medio del propósito anterior de esta clase, de unos micrones de grueso, de una capa homogénea de hierro o níquel, la acción de la electrólisis se hace uniforme y la condición de la superficie de la parte tratada se mejora, aún en partes de acero.

EJEMPLO # I

En un baño conteniendo el 25% de peso de tiocianato de sodio NaSCN y 75 % de tiocianato de potasio KSCN fundido y mantenido a 190°C, es sumergida una probeta cilíndrica para prueba de fricción, de 6.5 mm de diámetro y 40 mm de longitud; de acero, grado 16NC6 templada y revenida a una dureza de 63RC.

La parte sumergida en el baño de sales fundidas, se conecta al polo positivo de la corriente, el crisol conteniendo el baño es conectado al polo negativo. La operación de electrólisis se lleva a cabo durante 15 minutos con una densidad de corriente de 2.5 amperes por decímetro cuadrado y con un voltaje entre el ánodo-cátodo de 0.8 a 2 voltios.

La parte que va a ser tratada, se lava durante 2 horas en una co-

riente de agua que está circulando, para disolver las sales secas del baño, luego se cepilla con un cepillo metálico y se somete a la prueba Faville. Entonces se coloca la probeta en medio de 2 mordazas cortas a un ángulo de 90° , de acero 16M6, templada y revenida, sin tratar, esta parte se hace girar a razón de 350 r.p.m. mientras que se aplica a las mordazas una fuerza de presión F la cual se va incrementando a razón de 5Kg. fuerza promedio por segundo.

La prueba finaliza cuando la parte aprisionada de la pieza o las mordazas se van calentando lentamente en las cercanías de éstas. El índice de calidad es dado por el valor $\int_0^t F dt$

$$\int_0^t F dt$$

en el cual t representa la duración de la prueba.

Cuando, una probeta sin tratamiento se ha colocado en el sistema, generalmente, durante los primeros segundos de la prueba, la probeta es tratada de la manera antedicha en baños calentados lentamente y sin interrupción después de 75 segundos. El índice de calidad sobrepasa 30000 Kg._p/seg.

Al ser examinada la probeta por defracción electrónica, se observa la presencia de sulfuro de hierro (FeS) de la misma con una profundidad alrededor de 15 micrones. Las cualidades de fricción obtenidas parecen ser atribuibles a la presencia de sulfuro de hierro.

EJEMPLO # 2

Las condiciones superficiales se mejoran mediante la adición al baño eutéctico del ejemplo # 1 de:

0.1% de ferrocianuro de potasio.

0.9% de ferricianuro de potasio.

Con el baño de esta composición, se procede a tratar, entonces, - por electrólisis con una densidad de corrientes de 1.5 amperes por decímetro cuadrado y 15 minutos de duración, los engranes tratados, de esta manera, tienen un diámetro inclinado de 160 mm y módulo 12, los engranes se conectan como el cátodo. Estos engranes tienen unas notables -- cualidades de resistencia a la fricción.

EJEMPLO # 3

En el baño de sales fundidas idénticas con las del ejemplo # 2, se trata una probeta de acero, que ha sido previamente tratada por nitruración a una profundidad de 0.5 mm.

El tratamiento electrolítico que se lleva a cabo bajo las mismas - condiciones como en los ejemplos 1 y 2, tienen la particularidad de incrementar 3 veces el índice de calidad de la prueba de dobles de Faville.

EJEMPLO # 4

Para mejorar las condiciones superficiales mientras se reduce la - diferencia de potencial entre ánodo y cátodo, se inyecta una corriente por la base de crisol, de una mezcla gaseosa de nitrógeno e hidrógeno compuesta de 60% de nitrógeno y 40% de hidrógeno por volumen.

Es sometida la probeta a la prueba de Faville en un baño eutéctico de 2 Kg. Contenido en un crisol de 100 mm de diámetro, con una densi

dad de corriente de 2.5 amperes por decímetro cuadrado, la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo pasa de 1.2 a 1 volt cuando se invierte en el interior un flujo de un litro de la mezcla gaseosa por minuto.

EJEMPLO # 5

Una parte del acero endurecido por temple y revenido, tal como se trató en el ejemplo # 1, probablemente presentará irregularidades debido a diferencias de potencial muy localizadas. Las espesores encontrados en algunas partes son consecuencia, debidas al tratamiento por electrólisis; ello se encuentra desde 3 a 5 micropulgadas (promedio desde la línea central) o el AFNOR Standar (Asociación Francesa de Estándares) PNE 05-012, a 25-30 micropulgadas CLA.

Procediendo antes de electrólisis a dar una capa sobre la parte que ha de ser tratada con un depósito electrolítico de 3 a 4 micrones de grueso de hierro o una aleación que contenga más de 50% de hierro, la espesura final después del tratamiento electrolítico en un baño de tiocianatos fundidos es solamente 10 a 12 micropulgadas CLA.

LO QUE SE ESPERA DEL TRATAMIENTO ES:

I.- Un método de tratar la superficie de una pieza de metal ferroso en orden de reducir su fricción y mejorar su resistencia al desgaste, incluyendo los pasos de sumergir la pieza en un baño de sales fundidas - consistiendo esencialmente de una mezcla eutéctica de 25% de tiocianato de sodio y 75% de tiocianato de potasio, haciendo pasar una corriente eléctrica por la pieza y el baño, la pieza está conectada como su ánodo, y manteniendo la temperatura del baño entre 150 y 200°C.

- 2.- Un método como el expuesto en el punto 1, en el cual el baño contiene como 0.9% de ferricianuro de potasio y como 0.1% de ferrocianuro de potasio del peso total.
- 3.- Un método como el expuesto en la exposición I, y depositando en la pieza una capa de un elemento elegido del grupo expuesto, consistiendo de hierro o una aleación a base de hierro, antes de sumergirla en el baño.
- 4.- Un método como el expuesto en la exposición I, e inyectado dentro del baño desde el fondo un gas elegido del grupo pudiendo ser nitrógeno e hidrógeno o una mezcla de los dos.

VII.11 TRIBOLOGIA

La podemos definir como la materia básica para estudiar las causas que producen el desgaste por fricción de los metales.

El estudio de los fenómenos tribológicos está adquiriendo día a día una gran importancia, debido a que es un fenómeno poco conocido.

En la actualidad se considera a la tribología, como un campo de estudio, tan importante o más que el de la corrosión, a tal grado que en lo económico, los problemas de desgaste por fricción pueden compararse con los de la corrosión. Según estudios estimativos que se han realizado parecen indicar que son cinco veces mayores.

Bases científicas basadas en estudios sobre el desgaste de los metales, aún consideran actualmente, que los conocimientos que se tienen son mucho menos conocidos que los correspondientes a los causados por

la corrosión.

Actualmente se están enfocando trabajos, simposios, seminarios, etc. programados y enfocando la atención técnico científica a conocer y entender las causas del desgaste por la fricción de los materiales - para proponer de esta manera, nuevas ideas y métodos, tendencias e avances en este importante tema.

CAPITULO VIII

PRACTICAS DE SULFIDIZACION

TRATAMIENTO DE SULFIDIZACION

Para este tratamiento de sulfidización, se suele usar un baño formado de dos tipos de sales:

Uno de bajo punto de fusión, el cual suele estar constituido por carbonato sódico mezclado con cianuro sódico y cloruro potásico; en cierto modo esta mezcla puede considerarse con un baño típico de cianuración y por otro lado, se emplea una mezcla de sales portadora de azufre, esta mezcla está formada por el cloruro potásico, cianuro sódico y sulfito sódico. El contenido de sulfito sódico del baño suele estar alrededor del 12%, el agente de penetración, en este proceso, es el sulfocianuro, y la temperatura a la cual se realice, es de 565°C .

El método de trabajo que suele seguirse es como sigue:

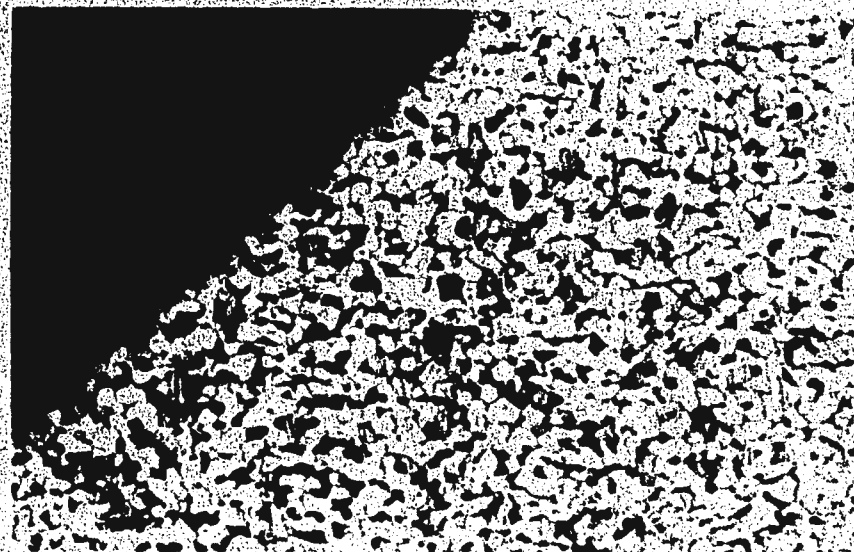
- 1.- Maquinado completo, dejando un exceso dimensional de $2/100\text{mm}$, este exceso dimensional es para dar las dimensiones exactas por el rectificado después del tratamiento.
- 2.- Deben precalentarse las piezas, a una temperatura adecuada (unos 400°C) con el fin de evitar un choque térmico que causaría un descenso importante de la temperatura del baño (200 a 300°C).
- 3.- Teniendo el baño de sales a la temperatura indicada de los 565°C , se introducen las piezas precalentadas. Normalmente, con una hora de permanencia, en las condiciones indicadas, se suele alcanzar un espesor

de 15/100 mm de capa sulfidizada. También debe tenerse presente que la superficie suele saturarse rápidamente y después de 3 horas, la penetración alcanza el máximo que suele ser de 30/100 mm de profundidad si no hay necesidad de rectificar, con una capa de 15/100 mm de profundidad es suficiente.

4.- Se sacan las piezas del horno introduciéndose al agua con el fin de que se desprenda o se disuelven las sales adheridas.

5.- En caso de que sea necesario se procede a rectificar las piezas a las dimensiones previstas.

NUESTRA SIN TRATAMIENTO



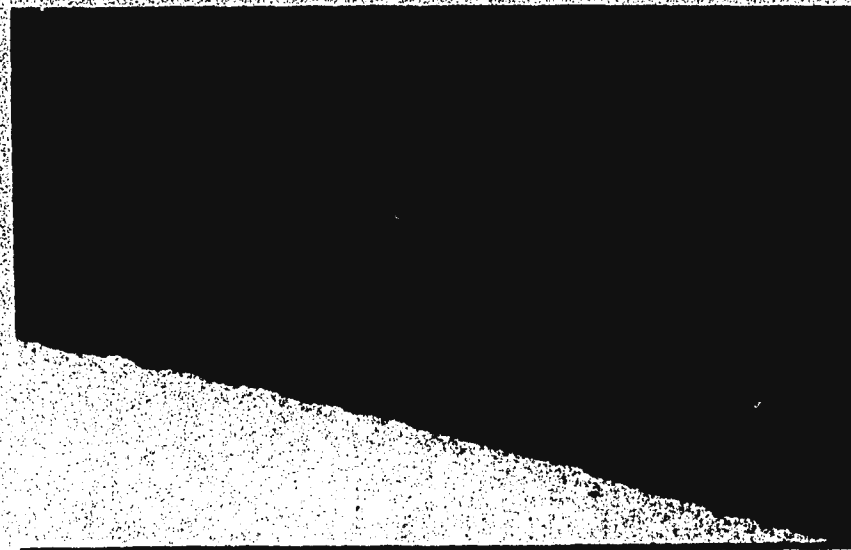
Microfotografía (X100) . Acero 1025.

MUESTRA (5)

Tratamiento de Sulfidización: Se inició el tratamiento a 120°C, incrementando la temperatura 150°C por hora hasta alcanzar los 575°C y manteniendo esta temperatura durante 4 horas, posteriormente se apagó el horno para dejar enfriar la muestra dentro del horno durante 15.5 horas hasta 100°C. No se observó ningún olor al destapar el crisol.

Mezcla: 100% de carbón amorfo, 3% de azufre del contenido de carbón amorfo, diesel 7% del contenido de los dos elementos anteriores.

Equipo: Horno de resistencia eléctrica, crisol de acero suave, placa de grafito para tapar el crisol, barro refractario Duralig 63 para sellar el crisol.



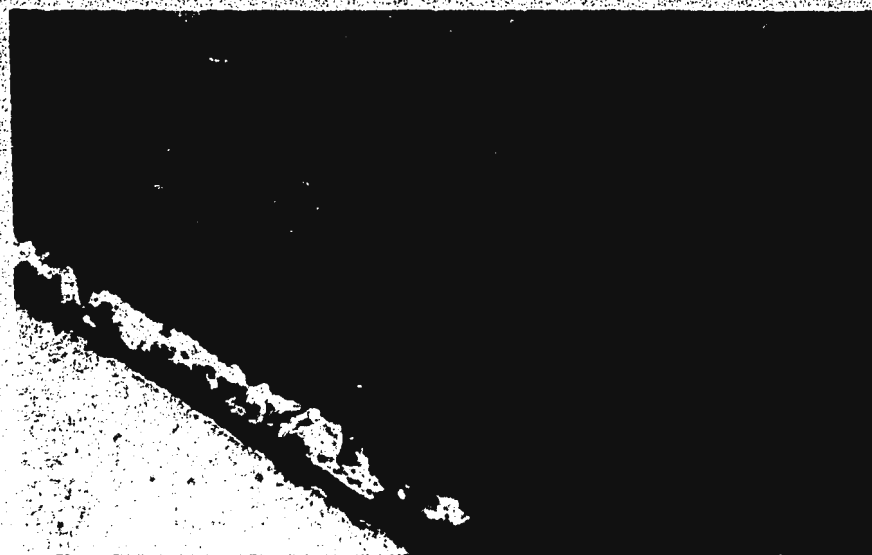
Microfotografía (X100). Acero I025 con el tratamiento arriba mencionado.

MUESTRA (7)

Tratamiento de Sulfidización: Se inició el tratamiento a 75°C, incrementando la temperatura 150°C por hora hasta alcanzar los 575°C y manteniendo esta temperatura durante 2 horas, posteriormente se apagó el horno para dejar enfriar la muestra dentro del horno durante 13 horas hasta 100°C. A esta muestra se le foró una capa que se desprendió con mucha facilidad, también durante el proceso se observó que al alcanzar la temperatura de 450°C empezó a salir humo del crisol.

Mezcla: 100% de carbón amorfo, 3% de azufre del contenido de carbón amorfo, diesel 12.9% del contenido de los dos anteriores elementos.

Equipo: Horno de resistencia eléctrica, crisol de acero suave, placa de grafito para tapar el crisol, barro refractario Duralig 63 para sellar el crisol.



Microfotografía (X100). Acero 1025 con el tratamiento sulfidizante mencionado.

CAPITULO IX

IX.1 ESTUDIO ECONOMICO

Para el estudio tomamos en cuenta lo siguiente:

Costo de materia prima más mano de obra más depreciación del equipo es igual al costo total del proceso.

Barro refractario DURALIS 63 \$7000.00 por una tonelada

Barro refractario A-HL \$ 2,35 por un kilogramo.

Carbón amorfo en polvo \$ 35,00 por un kilogramo .

Diesel \$ 0.80 por un litro.

Placa de grafito de 10 x 11 cm \$ 200.00 por cada una.

Chepopote granulado \$ 5.00 por un kilogramo.

Azufre en polvo \$ 3,20 por un kilogramo.

El kWh es igual a \$ 0.85

El costo del sueldo del operador es \$ 350.00 por jornada

Costo del procedimiento hecho con chepopote granulado.

4.20	de carbón amorfo en polvo
0.01	de azufre en polvo
0.006	de chepopote granulado
10.00	de la placa de grafito
2.48	de depreciación del horno
25.50	de los kWh
743.75	de mano de obra

\$ 785.946 en total

Costo del procedimiento hecho con diesel.

4.20	de carbón amorfo en polvo
0.01	de azufre en polvo
0.001	de diesel

10.00	de la placa de grafita
2.48	de depreciación del horno
25.50	de los kWh
743.75	de mano de obra

\$ 785.94 en total

CAPITULO X

CONCLUSIONES

La reposición de piezas desgastadas representa para algunas industrias una carga considerable, y en conjunto para un país son decenas de millones los gastos que se originan como consecuencia de los efectos del desgaste, y ello justifica plenamente los esfuerzos de mejora, tanto en tratamientos como en métodos de ensayo que se realizan en este sentido.

Las numerosas variables que intervienen en los fenómenos de desgaste, algunas, de ellas de no muy fácil control, dificultan su estudio y los métodos de ensayo, costosos y largos, con resultados algunas veces no comparables, que hacen aconsejable una valoración estadística de los mismos, y aún el hecho de emplear técnicas de trabajo muy diversas, métodos muy dispares, y condiciones muy concretas, han sido la causa de que aún con abundante bibliografía, haya sido preciso crear grupos de trabajo internacionales que faciliten y armonicen los programas de investigación de sus miembros, promoviendo el intercambio de información y difusión de sus resultados para analizar los esfuerzos conjuntos sobre temas específicos con los que llegue a alcanzarse un conocimiento más amplio y definido de estos problemas.

La formación de una capa de sulfuro sobre probetas de acero al carbono, sulfidizadas puede afectar de forma diferente el comportamiento de las mismas, según las condiciones de trabajo durante el ensayo de desgaste.

En condiciones de fricción pura y carga progresivamente creciente, la incorporación de azufre lleva consigo a una mejora notable del comportamiento al desgaste respecto del obtenido sobre capras solamente carbonitruradas. En condiciones de desgaste en seco, la mejora se manifiesta

ta para cualquier carga. Con lubricación, el efecto de la capa de sulfuro se pone de relieve para cargas elevadas. En cualquier caso la presencia de la capa de sulfuro implica desaparición del "gripado" en las probetas.

Lo que se espera del tratamiento es:

Un método de tratar la superficie de una parte de metal ferroso en orden de reducir su fricción y mejorar su resistencia al desgaste, incluyendo los pasos de sumergir la parte de una mezcla de 100% de carbón amorfo, 3% de azufre y 1% de diesel incrementando lentamente la temperatura a 575°C y manteniendo ésta durante dos o más horas.

Ante la imposibilidad de poder utilizar los materiales que indican las patentes, decidimos utilizar diesel o chapopote como aglutinantes, siendo estos elementos hidrocarburos que se disocian en hidrógeno y carbono formándose con el azufre ácido sulfhídrico, que es una de las reacciones que nos indican las patentes, siendo éste el compuesto que formará el sulfuro de hierro que es el que nos dará las propiedades de resistencia al desgaste y al gripado de los aceros que estén sujetos a fricción. Se utilizó un crisol de hierro dulce, una placa de grafito sellada con barro refractorio para aprovechar al máximo las reacciones y un horno eléctrico por ser el único con que se pudo contar. En el laboratorio no se cuenta con el equipo necesario para hacer esta práctica con sales fundidas, en un horno vertical con extractor de gases, siendo éstos venenosos por los cianuros que intervienen.

Se observó que al destapar el crisol despedía un olor muy ligero a ácido sulfhídrico por lo cual pensamos que el proceso iba por buen camino. Para comprobar este tratamiento se buscó una máquina Anster o Paville-Levally para hacer una prueba de resistencia al desgaste, y así poder confirmar nuestra hipótesis, no pudiendo encontrar dichas máquinas; posteriormente se buscó un laboratorio para que nos hicieran un análisis de la composición química de la probeta que fue sometida a tratamiento, pero desafortunadamente, no hubo quién nos pudiera hacer este tipo de análisis, por lo tanto, no podemos confiar en que las prácticas efectuadas fueran las correctas. Cabe mencionar que aquí en México no se cuenta con el equipo necesario para la realización de este tratamiento y su investigación.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **TECNOLOGIA DEL ACERO**
J. M. LASHERAS EDITORIAL J. M. LASHERAS
- 2.- **INGENIERIA DE MATERIALES**
W. J. ELLIS EDITORIAL REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE ING.
S. A. MEXICO
- 3.- **PROCESOS DE FABRICACION**
MYRON L BEGEMAN EDITORIAL C. E. C. S. A.
- 4.- **REVISTA DEL ACERO**
ING. A. ALFONSO ALFONSO EDITORIAL
- 5.- **MATERIALES PARA INGENIERIA**
VAN VLACK EDITORIAL C. E. C. S. A.
- 6.- **INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA**
OVER
- 7.- **TECNOLOGIA PRACTICA DE LOS METALES FERROSOS**
D. PASCUAL
- 8.- **UNITED STATES PATENT OFFICE 3,457,291**
METHOD OF ELECTROLYTICALLY SULFIDING FERROUS PARTS IN A THIOCYANA-
TE BATH. PATENTED OCT. 28, 1969
- 9.- **UNITED STATES PATENT OFFICE 3,332,809**
SULPHURIZING TREATMENT OF IRON AND STEEL
PATENTED JULY 25, 1967

- 10.- J. M. HODGE y M. A. DRCHOSKI: Metals Handbook, 2. 8 ed., (1964), 17.
- 11.- K. H. JACK: Proc. Roy. Soc. (Londres) A 208 (1951), 200-215.
- 12.- B. FINNER: Harterei Tech. Mitt., 19 (1964), 36-47.
- 13.- P. LESAGE y M. B. BOETZ: Traitement Thermique 10 (1964), 59-70.
- 14.- Y. DE VILLENEUR: Metaux et Corrosion, 32 (1957), 249-259.
- 15.- Tratamientos térmicos de los Productos Férricos. Terminología y Definiciones. UNE 36006-71, Hoja 1.
- 16.- J. M. GEORGES: Sulfuration de surfaces frottantes d'acier par électrolyse de sels fondus. Tesis Doctoral presentada a la facultad de Ciencias de la Universidad de Lyon, 1968.
- 17.- P. PASCAL: Nouveau Traité de Chimie Minérale. Ediciones Masson y Cie., Tomo II (1963), 639.
- 18.- G. CROS y B. MARIATTE. Traitement. Ther., 41 (1969), 19-25.
- 19.- F. MEDINA y M. P. DE ANDRES: Rev. Metal (CENIM), 5 (1969), 649-671.
- 20.- Y. DE VILLENEUR: Metaux Corrosion Industries, 33 (1958), 171-183.