

24/08/81

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**NECESIDAD DE TIPIFICACION DE LOS
ACEROS ESPECIALES EN MEXICO.**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a n :

José Reyes Martínez

Gabino Nicolás Quiroz

Jesús Silva Rodríguez

Raúl Villamil Fuentes

Jorge Rivas Serrano

Francisco Morquecho Rivera

Ciudad Universitaria, 1981.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

PROLOGO

La aportación que esta tesis pretende dar, resultaría valiosa si las autoridades correspondientes tomaran conciencia de que nuestro país tiende considerablemente al desarrollo, por lo que el mercado se incrementa cada día más a nivel nacional e internacional, implicando un reconocimiento de nuestros productos con normas propias y clasificaciones nacionales.

NECESIDAD DE TIPIFICACION DE LOS ACEROS ESPECIALES EN MEXICO

C O N T E N I D O

Introducción

- Capítulo 1. Constitución General del Acero.
- Capítulo 2. Propiedades de los Aceros.
- Capítulo 3. Microestructuras. Diagrama Fe-C. Influencia de las microestructuras sobre las propiedades.
- Capítulo 4. Tratamientos térmicos y Termoquímicos
- Capítulo 5. Concepto de Normalización y Especificación. Clasificaciones.
- Capítulo 6. Estudio de los Aceros Especiales.
- Capítulo 7. Necesidad de la tipificación de Aceros Especiales para México, dada su actual evolución Técnica.

I N T R O D U C C I O N

Desde los tiempos más antiguos, la humanidad ha venido desarrollando y realizando transformaciones en sus recursos propios y naturales; así nace la ingeniería y se convierte en el "Arte de aplicar los conocimientos técnico-científicos a la invención, perfeccionamiento o utilización de la técnica industrial en todas sus determinaciones".

Durante el presente siglo, el campo de la ciencia metal-mecánica, constituye una de las bases fundamentales de la investigación y aplicación de metales y aleaciones al estado sólido.

En México se inicia la fabricación de los llamados "Aceros Especiales", hace poco más de veinte años, siendo compañías extranjeras las encargadas de su producción, primero con aceros de construcción y después con aceros para herramientas e inoxidables. A la fecha se cuenta con tecnología propia para la fabricación de estos aceros, atendiendo en parte las demandas de los usuarios.

La enorme variedad de aceros que se fabrican en la actualidad y el constante descubrimiento de nuevos tipos de aleaciones con mejores propiedades, constituyen una diversificación indeseable con la que se encuentran tanto productores como distribuidores y usuarios. Asimismo la importación ocasiona una serie de problemas técnico-económicos que se agravan cuando no se dispone de una información coherente y útil; para que en países como el nuestro, tal importación casi indiscriminada pudiera evitarse al máximo, sería necesario el empleo de otras aleaciones que con los tratamientos térmicos, proporcionen los resultados adecuados.

De esta manera, comprendemos la labor del Ingeniero Mecánico Electricista, a quien toca realizar estudios para unificar, analizar y clasificar los aceros que se fabrican en México,-

de acuerdo a la producción y consumo de los mismos.

Por lo anterior, debe considerarse con la adecuada prioridad, mediante el trabajo conjunto de Organismos paraestatales e Instituciones técnicas, la elaboración de un programa de tipificación nacional, teniendo presente la obtención de beneficios tales como:

- Abatimiento de costos en los volúmenes de producción.
- Mejor aprovechamiento de recursos naturales - del país.
- Disminución de importaciones costosas de ferroleaciones.
- Disminución de la dependencia tecnológica de otros países.
- Disminución de importaciones de aleaciones especiales.
- Fácil elección por parte del usuario.
- Contar con una nomenclatura propia.

Nuestro trabajo tiende a cooperar con el establecimiento de las bases para una racionalización e independencia auténtica en esta rama de la industria siderúrgica.

CONSTITUCION GENERAL DEL ACERO

CAPITULO 1

Contenido

- 1.1. Conceptos Generales .
- 1.2 Conceptos Generales del Arrabio.
- 1.3 Obtención del arrabio.
- 1.4 Procedimientos de fabricación del acero.
- 1.5 Composición físico-química del acero.
- 1.6 Aceros al carbono y aceros aleados.
- 1.7 Horno Siemens-Martin o de Hogar abierto.
- 1.8 Horno de convertidores.
- 1.9 Hornos Eléctricos de fusión.
- 1.10 Clases de aceros que se fabrican en hornos eléctricos de inducción.
- 1.11 Colada continua de los aceros especiales.

CAPITULO 1. CONSTITUCION GENERAL DE ACERO

1.1 CONCEPTOS GENERALES.

El acero es en la actualidad la más importante de las aleaciones metálicas. La extraordinaria difusión del acero se debe no sólo a sus notables propiedades sino también a la existencia de numerosos yacimientos de minerales de hierro suficientemente ricos, y el desarrollo de procedimientos de fabricación relativamente simples, que han permitido la producción de grandes cantidades de este metal a precios económicos.

Hasta mediados del siglo XIX, no se conocía más que dos clases de aleaciones de hierro forjables; el llamado hierro dulce (0.04 a 0.20% de carbono), que se empleaba para fabricar máquinas, vehículos, etc. y el acero (0.80 al 1.5% de carbono), que se utilizaba para fabricar armas y herramientas.

En la actualidad, en cambio, hay muchos tipos de aceros de las más diversas composiciones y propiedades y cualquier acería moderna fabrica una gran variedad de aceros, dependiendo principalmente sus propiedades y características de la composición y de los tratamientos térmicos a que se les somete.

1.2 CONCEPTOS GENERALES DE ARRABIO

El arrabio o hierro de primera fusión, es el producto que se obtiene en los llamados altos hornos u hornos de cuba alta, el cual resulta de la reducción de minerales de hierro que se extraen de las minas y que este hierro está formado generalmente de coque o carbón vegetal, que al someter al alto horno se reduce formando arrabio, que es la materia prima que se usa para todos los productos de hierro y acero, el arrabio es un producto frágil y no forjable que sale líquido del horno y se vacía en forma de lingotes.

1.3 OBTENCION DEL ARRABIO

El alto horno parece una gran chimenea o construcción vertical hueca de más de 6 metros de diámetro y 30 metros de altura, que contiene una columna descendente de mineral de hierro, coque y caliza y un gran volumen de gas caliente ascendente, el gas es producido por la combustión del coque que se efectúa en el interior del horno donde el coque aparte de tener como misión suministrar energía, sirve de elemento reductor y proporciona espacio para la circulación de los gases reductores.

Este gas reduce el mineral de hierro a hierro metálico, el cual se funde y toma cantidades considerables de Carbono (C), Manganeso (Mn), Silicio (Si), Fósforo (P) y Azufre (S). Así el mineral de hierro que es alimentado a los altos hornos junto con caliza, coque y aire, nos entregan a su vez en arrabio, escoria y gas de recirculación o de tragante (gas de alto horno).

EL ARRABIO y la ESCORIA son sangrados en el fondo del crisol. Una vez que se obtiene el lingote de arrabio cuya composición química es C = 3.00 - 4.5%, Si = 0.50 - 3.5% y otros elementos residuales. Se clasifican en dos según su destino, a saber:

ARRABIO PARA ACERACION. Es el hierro de primera fusión en el que la mayor parte del carbono se presenta en forma de carburo (cementita) al solidificarse el material, presentando su superficie de fractura de color blanco.

ARRABIO PARA FUNDICION. Es el hierro de primera fusión, en el que la mayor parte de carbono se separan en forma de grafito al solidificarse el material, presentando superficie de fractura de color gris.

El alto Horno moderno, produce de 1000 a 1500 toneladas de arrabio por día, y en la actualidad se está rebasando considerablemente estas cantidades.

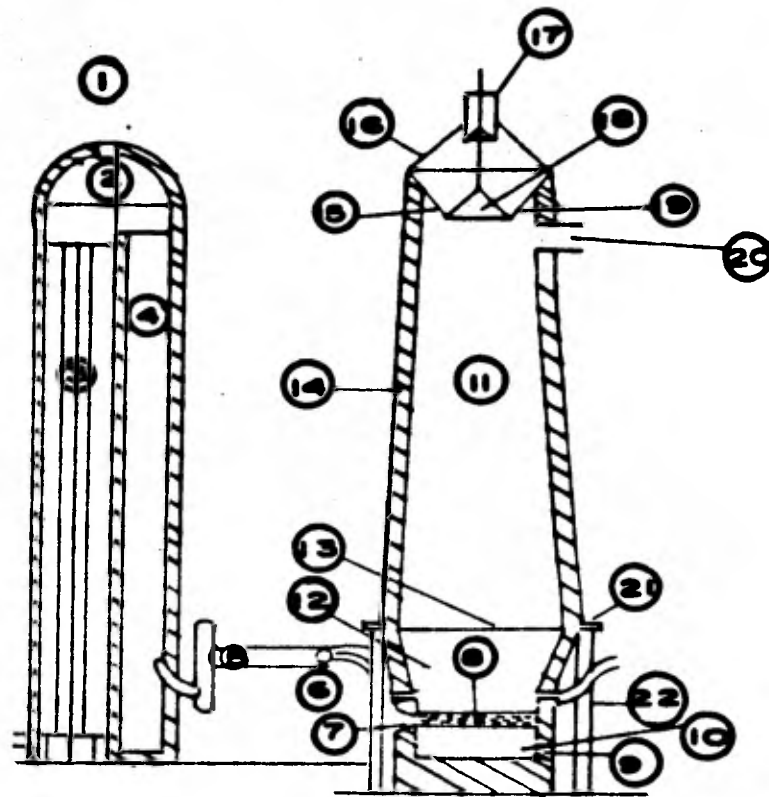


FIG. 1-1

DIAGRAMA DE UN ALTO HORNO

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 . Recuperador (Estufa) | 12 . Etalaje |
| 2 . Cúpula | 13 . Ventre |
| 3 . Empilado de ladrillo | 14 . Revestimiento refractario |
| 4 . Cámara de combustión | 15 . Tragante |
| 5 . Tubo de viento | 16 . Tolva de carga inferior |
| 6 . Toberas | 17 . Tolva de carga superior |
| 7 . Escoriadero | 18 . Campana pequeña |
| 8 . Boquilla de tobera | 19 . Campana grande |
| 9 . Orificio de colado (piquera) | 20 . Toma de gases |
| 10 . Crisol | 21 . Anillo soporte de la cuba |
| 11 . Cuba | 22 . Columna de apoyo de la cuba |

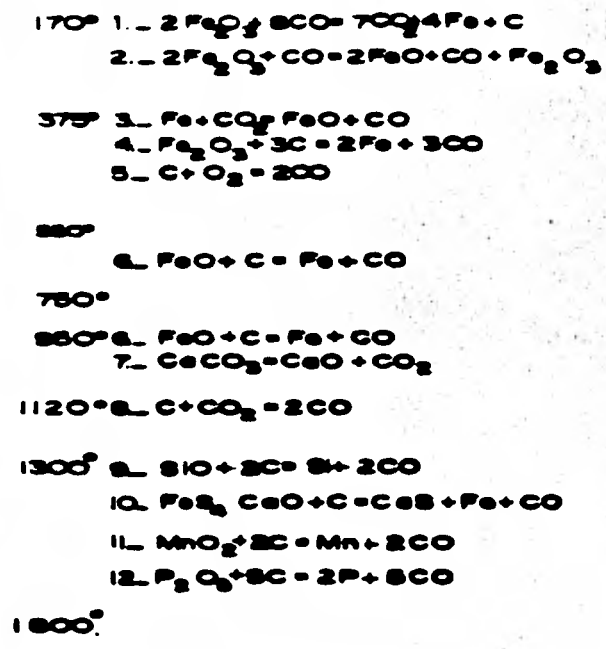
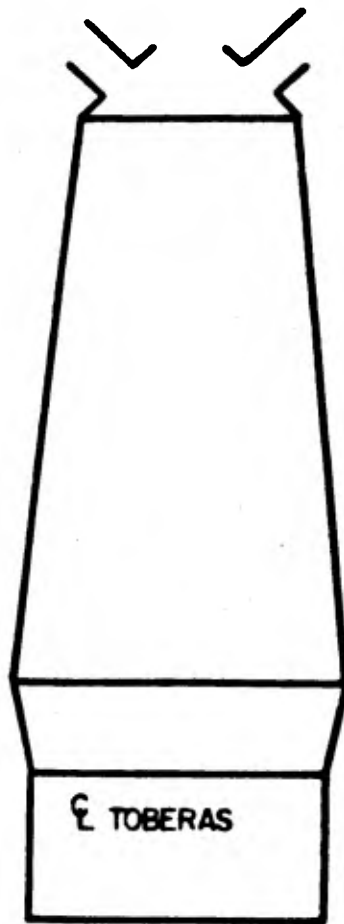


FIG. 1.2 REACCIONES QUIMICAS EN EL ALTO HORNO

Para producir una tonelada de arrabio se requieren - aproximadamente cargar por su boca 2 toneladas de mineral de - hierro, una tonelada de coque, media tonelada de dolomita y ca - liza y a su vez en la parte inferior del crisol se requiere inyec - tar entre 2 y 3 toneladas de aire precalentado y mezclado con - aceite atomizado, gas natural, gas de coque, carbón pulverizado y oxígeno.

El éxito de la operación en el horno en gran parte - depende de la distribución uniforme de los gases calientes, que - arrastran mínimas cantidades de carbonillas por los gases que as - cienden, para esto se hace que el horno esté funcionando a baja presión y un soplado de aire adecuado.

1.4 PROCEDIMIENTOS DE FABRICACION DEL ACERO

Como se vió anteriormente que del alto horno se ob - tiene el arrabio en forma de lingotes y que posteriormente se des - tina ya sea para aceración o para fundición, para el afino del - arrabio y la obtención del acero, se utilizan cuatro sistemas de - hornos y que son los siguientes:

1. Hornos Siemens-Martin o de Hogar abierto con afino de so - lera.
2. Hornos de convertidores o con afino por el viento.
3. Hornos eléctricos.

Que a su vez estos hornos se subdividen en:

- a. Hornos Siemens-Martin
 - Con revestimiento Acido
 - Con revestimiento básico
- b. Hornos de Convertidores:
 - Bessemer-Acido
 - Thomas-Básico

c. Hornos Eléctricos

- De Arco
- De resistencia
- De Inducción

d. Hornos de Crisol

- Fijos
- Basculantes

De cada uno de los sistemas mencionados, se dará una breve idea, y su estudio tendrá por objeto poner en evidencia de cada método, sobre la calidad del producto obtenido por cada uno. Claro está que hay en la actualidad, modernos hornos, que funcionan por bombardeo electrónico al vacío.

1.5 COMPOSICION FISICO-QUIMICA DEL ACERO

Químicamente el acero está compuesto por hierro (Fe) y Carbono (C), aparte de otros metales y metaloides, todos los cuales existen en forma de solución sólida, combinaciones simples, compuestos intermetálicos o fases y mezclas. El hierro es el componente que entra en mayor proporción en todos los tipos de aceros, y sus propiedades fundamentales varían por la presencia de otros metales como por ejemplo Cromo (Cr), Níquel (Ni), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Vanadio (V), y otros elementos tales como Carbono (C), Boro (B), Fósforo (P), azufre (S) y silicio (Si).

Físicamente el acero está formado por estructuras granulares poliédricas y estructuras cristalinas que pueden variar mucho en tamaño y forma. Además, hasta en los aceros fabricados con el mayor esmero contienen cantidades mínimas de constituyentes de reacción no metálicas como por ejemplo óxidos, sulfuros y silicatos. Estos productos son, generalmente perjudiciales, y se toman precauciones para reducirlos al mínimo. Sin embargo, para ciertos empleos específicos, se agregan deliberadamente al acero algunos elementos como fósforo (P), azufre (S), Selenio (Se) y plomo (Pb), con el fin de producir una cantidad deliberada de in-

clusiones no metálicas que comuniquen al acero algunas propiedades deseadas.

1.6 ACEROS AL CARBONO Y ACEROS ALEADOS.

El acero es una de las aleaciones Hierro-carbono que puede obtenerse industrialmente y su contenido de carbono varía desde un 0.06% hasta un 1.9%, y generalmente son forjables, características, entre otras que los distingue de las fundiciones. - Aun cuando más adelante se dan con detalle las clasificaciones del acero existen dos elementales: Acero al Carbono y Acero - Aleado. Si nos referimos a los elementos que componen el acero al finalizar el proceso de fabricación, se ha observado que el acero al carbono contiene únicamente elementos residuales, de otros elementos, cuya aparición, en cantidades controladas y limitadas, es producto de las materias primas utilizadas; si además de esos elementos, se agregan deliberadamente otros como Cromo, níquel, etc., el acero producido es un acero aleado. Excepcionalmente se pueden obtener aceros aleados hasta con un 2.5% de carbono (C).

1.7 PROCEDIMIENTO DEL SIEMENS-MARTIN O DE HOGAR ABIERTO. (Llamado también Horno de reverbero).

Este procedimiento tuvo dos etapas, una de experimentación y otra de adaptación con regeneradores, los cuales permitieron obtener con facilidad la temperatura deseada de fusión -- del hierro.

En la actualidad se usan dispositivos llamados regeneradores que son aparatos para intercambiadores o acumuladores de calor, consistentes en un emparrillado de ladrillos refractarios -- que trabaja al calentamiento y al enfriamiento, haciendo a este método uno de los más importantes para la fabricación de aceros.

Con este sistema se tiene ventaja de que se aprovecha para fundir chatarra, se presta también el empleo de fundición - bruta y es susceptible también para preparar aceros especiales.

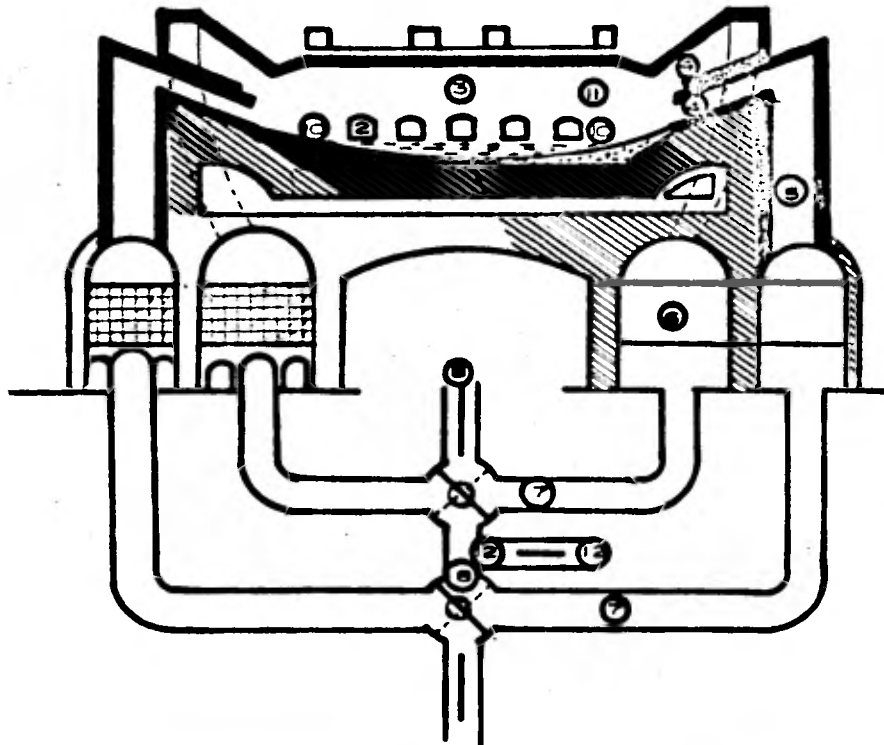


FIG. 1.3

ESQUEMA DE UN HORNO SIEMENS- MARTIN

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Solera o piso | 7. Conductos de humo |
| 2. Puertas de carga | 8. Válvulas de inversión |
| 3. Bóveda | 9. Crisol con acero y escoria |
| 4. Entrada de gas y aire (Quemador). | 10. Umbral. |
| 5. Conductos de Gas y Aire | 11. Laboratorio |
| 6. Regeneradores con emparrillado | 12. Chimenea. |

Los hornos Siemens-Martin, pueden ser fijos o basculantes y cuando es basculante, presentan grandes ventajas de que las operaciones de reparación y de colado son mucho más fáciles.

La conducción de una operación consiste en las cinco - fases siguientes: Carga, fusión, reacciones de afinado, oxidación-reducción, adiciones finales y colada.

1.8 HORNOS DE CONVERTIDORES

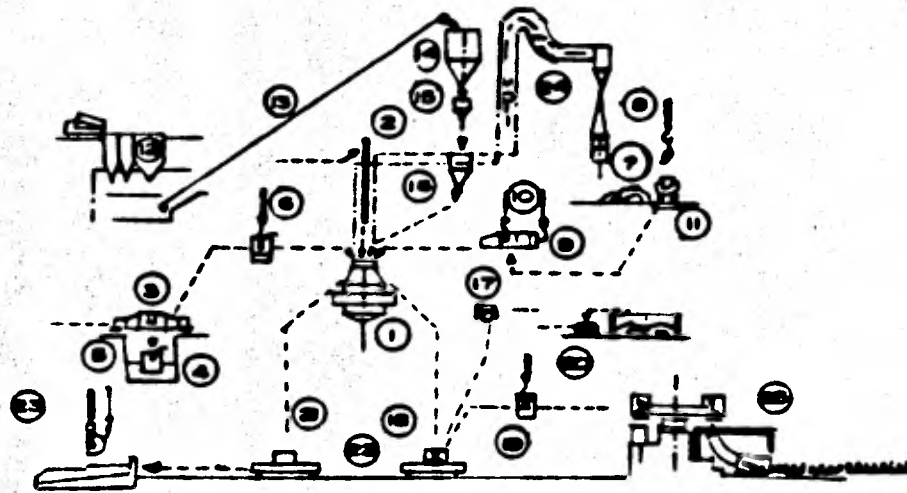
Como se dijo anteriormente, la fundición bruta o arrabio en líquido no se puede emplear directamente entonces debe - sufrir un fuerte afinado para convertirla en acero o en hierro forjable y a esta purificación se le da el nombre de conversión y el aparato para obtener se llama convertidor.

Los convertidores se utilizan bastante en las fundiciones de acero de tipo pequeño y mediano y en fundición de hierro colado. La operación dura aproximadamente 20 minutos y la capacidad de los convertidores varían de media tonelada a 18 toneladas por soplo aproximadamente.

Un convertidor es un recipiente de chapa de acero de forma de pera, revestida interiormente por ladrillos refractarios y con fondo perforado para permitir la entrada del aire, aunque ésta es la parte que más se desgasta, el convertidor puede girar - alrededor de un eje que está situado aproximadamente en el centro de gravedad para cargar el arrabio y descargar el acero fundido, se carga arrabio fundido dentro del convertidor y se introduce soplo de aire a presión a través del metal líquido y así se quema el carbono, el silicio y el manganeso por oxidación, liberando - éstos en forma de calor, aunque al final de la operación se agregan ferromanganeso y aluminio para desoxidar.

De acuerdo a estos sistemas de inyección los convertidores se clasifican en:

- De soplo por el fondo



DESCRIPCION DE LA FIGURA 1-5

- | | |
|--|--|
| 1. Convertidor | 14 . Tolvas de consumo diario de adiciones |
| 2. Lanza de oxígeno | 15 Tolva dosificadora |
| 3. Carra transportador de arrabio | 16 Tolva de carga. |
| 4. Báscula de arrabio | 17 . Cajas para ferroaleaciones |
| 5. Ollas de arrabio | 18 . Ollas de acero. |
| 6. Grúa para carga de arrabio | 19 . Carro transportador para acero |
| 7. Patio de chatarra | 20 . Grúa de colada |
| 8. Grúa del patio de chatarra | 21 . Ollas de escoria |
| 9. Cajas para chatarra | 22 . Carro transportador de escoria. |
| 10. Grúa para carga de chatarra | 23 . Grúa de patio para escoria . |
| 11. Báscula para chatarra. | 24 . Sistema depurador de gases |
| 12. Tolvas subterráneas para adiciones | 25 . Máquina de colada continua. |
| 13. Transportador de banda. | |

- De soplo lateral
- De soplo por arriba

1.9 HORNOS ELECTRICOS DE FUSION

Se puede llevar mejor la operación de refinado en estos hornos a consecuencia del mejor control de la composición de la escoria y de las temperaturas más altas que pueden alcanzar, estos hornos se clasifican en tres tipos.

1. Hornos de Arco (directo e indirecto)
2. Hornos de Resistencia
3. Hornos de Inducción (de baja y alta frecuencia)

En la obtención y refusión del acero sólo se emplean los hornos de arco y de inducción en los que pueden alcanzarse temperaturas hasta de 3500°C , los hornos de resistencia sólo se emplean para tratamientos térmicos o para la fusión de metales no ferrosos, por la dificultad de alcanzar altas temperaturas.

Tanto los hornos de arco como el de inducción tienen grandes ventajas:

- Primero. Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas hasta de 3500°C .
- Segundo. Pueden controlarse la velocidad de elevación de temperaturas y mantener a un cierto límite.
- Tercero. La carga queda libre de contaminación del gas combustible
- Cuarto. Se controla fácilmente la atmósfera que está en contacto con la masa fundida, ha-

ciéndola oxidante o reductora.

Quinto. Tienen mayor duración los revestimientos,

Sexto. Se instalan en espacios reducidos.

Séptimo. Su operación se realiza con mayor higiene

A. HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

Aunque existen hornos de arco directo que son monofásicos y bifásicos, en la actualidad los hornos de arco trifásico es el más empleado, cuyo revestimiento interior es con refractario ya sea básico o ácido.

Las partes esenciales son: Crisol, bóveda, electrodos, portaelectrodos, transformador de corriente y reguladores de electrodos. El crisol tiene de 2 a 6 metros de diámetro y de 3 a 60 toneladas de capacidad. La bóveda está construida de material refractario, normalmente de sílice por ser el más económico. Actualmente la energía eléctrica es llevada al crisol por medio de los electrodos, éstos soportan temperaturas elevadísimas y resistentes a la corrosión, por lo que son fabricados con mezclas de antracitas calcinadas y de alquitran, de coque y grafitados a 2200°C.

Los electrodos se consumen en parte por combustión y en parte por volatilización del carbono a razón de 5 a 6 Kgs. de grafito por tonelada de lingote, su precio normalmente representa un 15% de los gastos totales de la operación.

La potencia eléctrica de los hornos ha sido aumentada constantemente, así en 1954 un horno de 60 toneladas y 5200 mm. de diámetro se equipaba con un transformador de 15000 KVA, en 1958 el mismo horno se equipaba con un transformador de 18,000 KVA, actualmente los grandes hornos de 150 a 180 toneladas y diámetro de cuba de 7500 mm, son equipados con transformadores de 40000 KVA.

Esto quiere decir que cuando más alta sea la potencia eléctrica del horno más económico es su operación, porque se disminuyen pérdidas por radiaciones y energía eléctrica y en cambio aumenta la intensidad y la tensión, siendo también más fácil el cebado del arco y su longitud.

La regulación de la intensidad de la corriente eléctrica se efectúa una vez fijada la tensión de la corriente de alimentación del horno y se mantienen este valor a pesar del desgaste de los electrodos, hasta que se efectúa el progreso de la fusión y el espesor de la escoria, después con un regulador automático se levantan los electrodos, según las variaciones de intensidad que se producen en el proceso, éstos regularores pueden ser hidráulicos y eléctricos.

Los hornos eléctricos de arco tienen una enorme flexibilidad en cuanto al empleo de materias primas como chatarras y arrabio, también son empleados para fabricación de aceros especiales fuertemente aleados.

La fabricación de acero en hornos eléctricos de arco se realiza por tres procedimientos:

1. En Horno de revestimiento básico con dos escorias.
2. En hornos de revestimiento básico con una escoria
3. En hornos de revestimiento ácido

La operación para la fabricación de acero en estos hornos es:

PRIMERA FASE (Fusión y Oxidación). La fusión de la carga dura varias horas y al final de ella, se añade cal, unos 25 Kgs. por tonelada de carga. Para oxidar las impurezas, también usando óxido de hierro o introduciendo oxígeno gaseoso.

SEGUNDA FASE (Carburación y Reducción) en esta fase, se

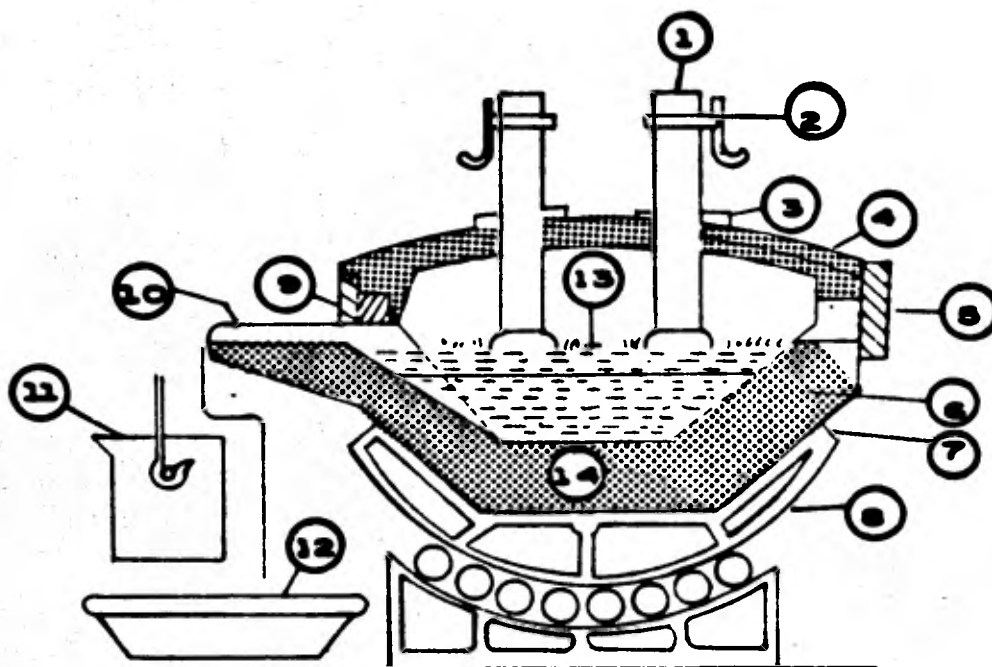


FIG. 1-6

ESQUEMA DE UN HORNO ELECTRICO DE ARCO

- | | |
|--|---------------------------|
| 1 . Electrodos. | 8 . Cremallera de volteo. |
| 2 . Mordaza y portaelectrodo | 9 . Pared lateral |
| 3 . Boquilla de electrodo | 10 . Canal de colada |
| 4 . Bóveda | 11 . Olla de colada |
| 5 . Puerta de trabajo | 12 . Caja de escoria |
| 6 . Revestimiento refractorio del crisol | 13 . Baño líquido |
| 7 . Casco de lámina | 14 . Piso o solera |

separa la escoria resultante y se recarbura el baño con coque o grafito, reconstruyendo nuevamente la escoria con cal, arena y espato, esta escoria altamente reductora, desoxida el baño y en el curso de la operación se le agregan los elementos de aleación necesarios para corregir la composición especificada, después de 10 a 15 minutos de espera, para bajar la temperatura se cuela el metal en cuchara.

B. HORNOS ELECTRICOS DE RESISTENCIAS

En los hornos de resistencias, el calor es desarrollado por la circulación de la corriente a través de resistencias distribuidas (unidades de calentamiento), montadas con separación de la carga. Se emplea la corriente alterna de una frecuencia estandar. El servicio de estos hornos es para la aplicación de calor a cuerpos sólidos, y se emplea para el tratamiento térmico de los metales, para el recocido del vidrio y para la cocción del esmalte vítreo. El servicio de las llamadas estufas cerradas está limitado a procesos de secado y cocción, ordinariamente por debajo de 260°C.

En los hornos de resistencias del tipo de Arco Sumergido, el calor es desarrollado por el paso de la corriente de electrodo a electrodo a través de la carga. La fabricación de productos básicos, tales como ferroaleaciones, grafito carburo de calcio y carburo de silicio, es su servicio general. Se emplea la corriente alterna de frecuencia estandar.

C. HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCION

Estos hornos se pueden considerar como transformadores cuyo arrollamiento primario está conectado a la red de suministro de energía eléctrica y el secundario lo constituye el metal.

Se construye de dos tipos:

- Hornos de canal
- Hornos sin canal

- a. Hornos de Canal. En estos hornos el arrollamiento secundario lo forman uno o varios arillos de metal líquido comunicados con el crisol que contiene la carga a fundir, estos hornos son de: excelente rendimiento, pero sólo se utilizan para aleaciones no ferrosas y hierro colado, rarisima vez se utiliza para acero, estos hornos son de baja frecuencia.
- b. Hornos sin Canal. Los hornos de inducción de alta o media frecuencia no requieren núcleo ni canal con el metal líquido, estos hornos están formados por un crisol refractario que contiene el metal, rodeado de una o varias bobinas primarias -- inductoras que son alimentadas por una corriente alterna, formando un transformador completo, y estas bobinas o arrollamientos están refrigerados por un circuito de agua, que circula por el interior del tubo.

El revestimiento refractario es una de las partes más delicadas de estos hornos sin canal, pues se limita su espesor a 50-100 mm. el revestimiento puede ser ácido o básico.

El revestimiento ácido es de sílice y su duración media es de 75 a 80 coladas. El revestimiento básico que es de magnesita, anteriormente tenía 2 ventajas, que era conductividad térmica y dilatabilidad excesiva, en la actualidad se está logrando fabricar por electrofusión, materiales adecuados para el revestimiento básico de estos hornos, cuya duración alcanza también 75 a 80 coladas.

La alimentación eléctrica de los hornos de inducción de alta frecuencia de 500 a 10,000 Hz, se hace por medio de -- convertidores rotativos compuestos por motores síncronos acoplados con alternadores monofásicos homopolares con bobinas inductoras -- fijas.

La frecuencia media utilizada es del orden de 600 Hz, con potencias unitarias hasta de 2,000 KW pudiendo acoplarse dos o más máquinas para alimentación de hornos de potencias superiores.

Para la alimentación de los hornos de baja frecuencia, se utilizan transformadores trifásicos para equilibrar la carga entre las tres fases.

1.10 CLASES DE ACEROS QUE SE FABRICAN EN HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCION

- A. Aceros de alta calidad, de construcción o herramientas, de características muy elevadas, utilizando materias primas de gran pureza.
- B. Aceros de alta aleación, aceros rápidos, inoxidables y en general, toda clase de acero cuya carga debe estar constituida por una gran proporción de ferroaleaciones.
- C. Aceros muy especiales, como son los refractarios, los magnéticos para imanes, los estelistas que exigen elaboraciones especiales.

1.11 COLADA CONTINUA DE LOS ACEROS ESPECIALES

Las plantas de colada continua que actualmente se encuentran en servicio, son para palanquillas con secciones cuadradas, aproximadamente cuadradas o redondas, o para desbastes planos con secciones rectangulares.

Las medidas oscilan para secciones rectangulares o semejantes, generalmente, entre 100 y 300 mm por lado y para los desbastes planos alcanzan un espesor hasta 300 mm y una anchura hasta 2,300 mm.

La capacidad de los grupos de fusión y el tiempo de colada fijan la magnitud de la instalación. El tiempo de colada posible se determina por la cadencia del horno para la colada en serie, por la duración de los elementos de materiales refractarios, como calderos de colar, artesas de colada y buzas de inmersión, así por el margen de temperatura en el cual, por motivos meta-

lúrgicos, se debe realizar la colada. La velocidad de la misma es función de la sección de la barra y de la calidad a transformar. Mientras que en instalaciones de desbastes planos para aceros de gran producción se conocen rendimientos de colada superiores a 5 toneladas/minuto y línea; se obtienen rendimientos menores en las instalaciones de colada continua para aceros especiales, debido a que las secciones a colar son más pequeñas, y la velocidad de colada tiene influencia decisiva en la formación interna de la barra.

PROPIEDADES DE LOS ACEROS

CAPITULO 2.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION

- 2.1 Propiedades físicas
 - Punto de fusión
 - Expansión térmica
 - Conductividad térmica
 - Permeabilidad magnética.
 - Densidad

- 2.2 Propiedades Mecánicas
 - Resistencia a la tracción
 - Límite de proporcionalidad
 - Límite elástico
 - Punto de fluencia
 - Límite de fluencia
 - Carga de ruptura
 - Ductilidad
 - Módulo de elasticidad de Young

- 2.3 Características Mecánicas
 - Resistencia a la abrasión
 - Resistencia a la corrosión
 - Templabilidad
 - Maquinabilidad
 - Soldabilidad

- 2.4 Dureza

- 2.5 Impacto

CAPITULO 2.- PROPIEDADES DE LOS ACEROS

INTRODUCCION

Para obtener el mayor rendimiento en la producción y el mayor ahorro de costos, es de suma importancia que el consumidor de aceros escoja el más adecuado para cada trabajo.

Para elegir el acero apropiado, es necesario averiguar las características requeridas en la herramienta, tales como dureza, profundidad de temple, gama de temperatura de temple, susceptibilidad al sobrecalentamiento, tenacidad, resistencia a la abrasión, duración del filo cortante, deformación y estabilidad dimensional al templar, dureza a temperaturas elevadas, maquinabilidad y susceptibilidad a formación de grietas de rectificado, etc. Cabe -- agregar que la calidad del acero no sólo es determinado por la -- aleación, sino también por muchos otros factores y características propias de cada tipo de acero.

1.1 Propiedades físicas.

Las propiedades físicas de los aceros que se consideran de importancia general y de validez prácticamente son:

Punto de fusión. Este se define como la temperatura a la cual -- una sustancia, bajo la presión atmosférica normal, cambia del -- estado sólido al líquido o viceversa.

Expansión Térmica. Es autodescriptiva y comúnmente expresada por un coeficiente en $\text{cm}/\text{cm}^{\circ}\text{C}$. Se supone que no va -- ría con la temperatura. Ocurren cambios discontinuados de volumen con cambios de estado, ya que existe un cambio en el acomoda-- miento de los átomos y moléculas dentro del material. El coefi-- ciente es sensible a la temperatura y, por lo general aumenta con ella.

Conductividad térmica. Es el paso de calor a través -

de sólidos. Su coeficiente "K" se expresa en unidades tales como (Cal. cm)/(°C.seg.cm²). El anterior coeficiente es sensible a la temperatura, éste decrece cuando la temperatura se eleva arriba de la temperatura ambiente.

Permeabilidad agnética. Es la relación de inducción magnética y la intensidad de campo magnetizante, sus dimensiones son evidentemente Henrios/metro. la permeabilidad depende de la historia magnética del hierro, fenómeno denominado histéresis. En efecto, puede existir un flujo en el hierro aún en ausencia de campo exterior; cuando el hierro se encuentra en este estado se denomina "iman permanente"

Densidad. Se define como la relación del peso de un material al de igual volumen de agua. La densidad es controlada por el peso atómico, radio atómico y número de coordinación. El último es un factor significativo porque controla el factor de acomodamiento, por lo tanto podemos considerar:

$$\text{DENSIDAD} = \frac{\text{PESO} / \text{CELDILLA UNITARIA}}{\text{VOLUMEN} / \text{CELDILLA UNITARIA}}$$

2.2 Propiedades Mecánicas

Son las propiedades que están relacionadas con la reacción elástica o inelástica que presenta un material cuando se le aplica una fuerza; o sean las propiedades que comprenden las relaciones entre el esfuerzo y la deformación.

Con el fin de determinar las propiedades mecánicas del acero, se realizan pruebas físicas o mecánicas sobre probetas o especímenes de forma y medidas estándar y en máquinas diseñadas y construidas especialmente para cada una de las pruebas.

A continuación se enumeran las principales propiedades mecánicas del acero:

Resistencia a la tracción. Esta prueba consiste en so

meter material maquinado o bien con la sección original del producto, a una carga cuantificada y suficiente hasta lograr la ruptura; las características que pueden determinarse mediante un ensayo de tracción son las siguientes:

Límite de Proporcionalidad. Es la zona de alargamientos proporcionales a las tensiones (véase figura 2.1) de tal modo que a incrementos iguales de las tensiones corresponden incrementos iguales del alargamiento. La tensión correspondiente al punto "P" a partir de la cual ya no se presenta esta proporcionalidad se conoce como límite de proporcionalidad.

Límite Elástico; es la tensión máxima, que al cesar de actuar la fuerza, no produce deformaciones permanentes en el material. En la mayor parte de los materiales, el límite elástico y el de proporcionalidad tienen valores numéricos casi iguales.

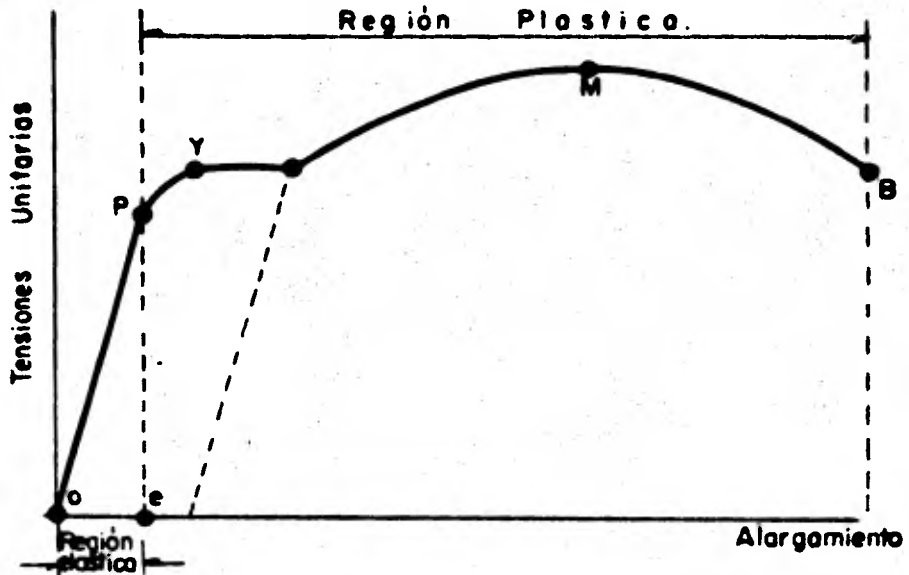
Punto de Fluencia; es la fuerza aplicada, superior al límite elástico, a partir de la cual, el alargamiento crece sin que haya un aumento de la carga, es el punto correspondiente al punto máximo del diagrama.

Límite de Fluencia o Límite práctico de elasticidad; -- hay materiales, como son los no ferríticos y los aceros de gran resistencia, en los que no se aprecia bien el punto de fluencia y en los cuales la tensión máxima utilizable es la correspondiente al límite de fluencia. En los diagramas el trazo XW paralelo a OP, en la intersección a la curva tensión-alargamiento, en el punto Y es el límite de fluencia.

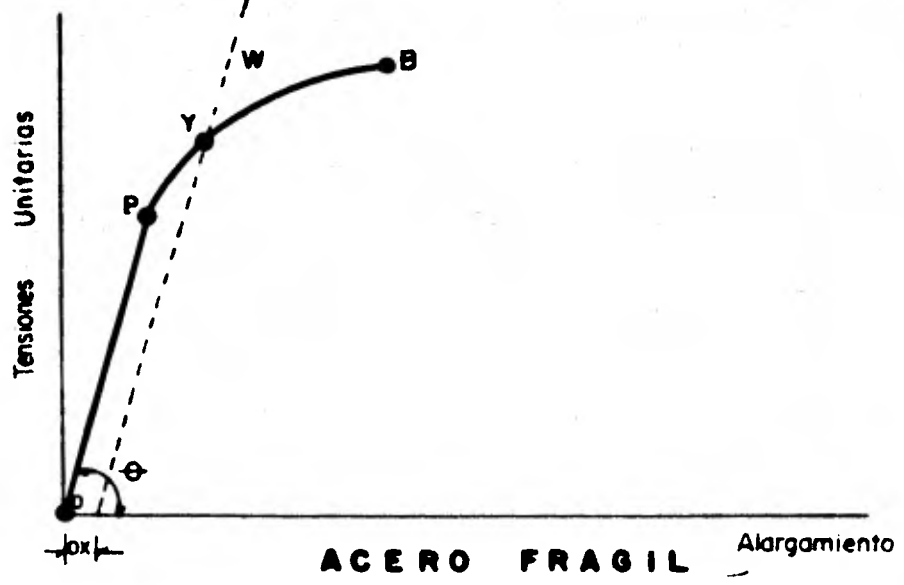
Carga Máxima o Resistencia a la Tracción. Es el valor máximo que puede adquirir la carga aplicada, considerando el área de la sección recta inicial (punto B).

Carga de Ruptura. En el caso de un material dúctil el alargamiento es uniforme. A partir de su valor máximo se produce en la probeta una disminución del área localizada en un lugar fijo, hasta que se produce la ruptura.

DIAGRAMAS TENSIONES — ALARGAMIENTO



ACERO DUCTIL



ACERO FRAGIL

Ductilidad. Es la mayor o menor deformación que es capaz de sufrir el material antes de la ruptura.

Módulo de Elasticidad de Young. Es la constante de proporcionalidad que permite conocer los alargamientos elásticos en función de las fuerzas de tensión y que da idea de la rigidez de un material.

A continuación expresamos algunas fórmulas útiles y -- aplicables a los conceptos anteriormente descritos.

$$\text{Reducción de área} = (A_i - A_f / A_i) \times 100 (\%)$$

$$\text{Alargamiento} = (L_f - L_i / L_f) \times 100 (\%)$$

$$\text{Resistencia a la tracción} = \text{Carga Máxima} / \text{área transversal inicial (Kg/mm}^2\text{.)}$$

$$\text{Esfuerzo a la cedencia} = \text{Limite elástico} / A_i \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

2.3 Características Mecánicas

Las características mecánicas de un acero, dependen - del contenido de carbono y de la aleación, de la estructura y - del grado y distribución de sus constituyentes, las más importantes son:

Resistencia a la Abrasión. Es la resistencia a la acción de un material duro, mecánicamente resistente, comunmente empleado para molienda o corte, generalmente de material cerámico o de material aleado.

Resistencia a la Corrosión. Fundamentalmente podemos distinguir dos tipos: la corrosión atmosférica y corrosión en interior de envases.

Corrosión atmosférica. La hojalata en aire seco, pero

la humedad del medio ambiente actúa como catalizador, produciendo óxidos de estaño y fierro.

Corrosión en el interior de envases con liberación de oxígeno, éste es un fenómeno complejo, ya que está controlado fundamentalmente por la pila electrolítica que se forma entre dos de los tres posibles electrodos que son estaño, ferroaleación y acero base, pudiendo en algunos casos intervenir además los óxidos de estaño y fierro. El tipo de alimento envasado, las condiciones de almacenamiento y el procedimiento de envasar, juegan un papel importante.

Templabilidad. Viene a ser la propiedad que tienen los aceros de adquirir una cierta dureza, tanto en profundidad como en distribución, al inducirse por medio de un temple, más adelante ampliaremos esta definición.

Maquinabilidad. La facilidad de maquinado o maquinabilidad de un acero, es sumamente difícil de clasificarse, en vista de que una misma calidad de acero puede variar en su maquinabilidad, dependiendo si se tornea, se fresa, se taladra, se cepilla o se forma cuerda.

En general en la práctica se puede medir la maquinabilidad, comparando el tiempo que trabaja la herramienta (buril, broca, cuchilla, etc.) entre cada afilada. La maquinabilidad de los aceros depende de la aleación, de la dureza y de la estructura.

La facilidad con que se puede maquinar un metal o aleación, depende principalmente de dos factores:

- a) La técnica mecánica empleada.
- b) La microestructura del material que se va a maquinar.

Soldabilidad. Es la característica de un metal de fusio

narse completa o incipientemente, con la superficie de otro metal, de manera que exista una estructura cristalina más o menos continua al pasar por la región de la unión.

La capacidad que tenga una aleación para soldarse, - depende de muchos factores; tales como fluidez, tendencia a la oxidación y volatilización de uno o más de sus elementos constituyentes, así como del comportamiento del metal de soldadura y sus metales de base circundante durante la solidificación y enfriamiento subsecuente.

Sin embargo, al desarrollar técnicas adecuadas, la mayor parte de los metales y aleaciones pueden soldarse con éxito - por uno u otro de los procedimientos normales.

2.4 Dureza

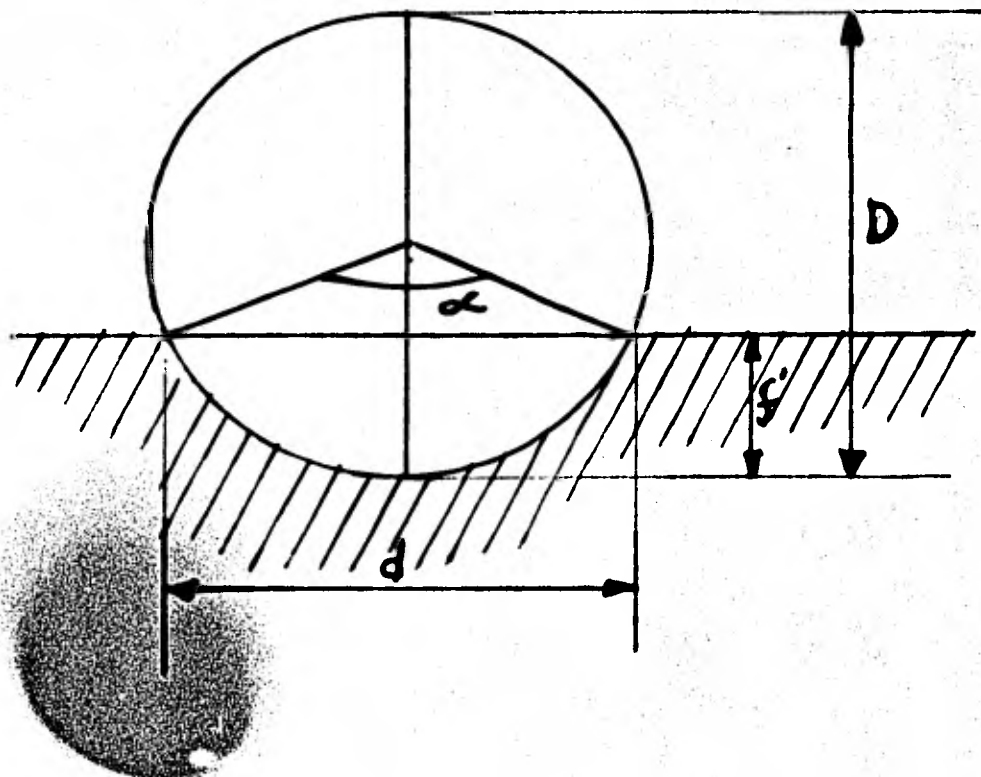
Es una medida de la resistencia al corte o penetración. Existen varios métodos para determinarla, teniendo cada uno de - ellos unidades diferentes, las más usuales para acero y hierro - - son:

- Brinell
- Rockwell
- Shore
- Vickers
- Knoop

Dureza Brinell. El método brinell para determinar la - dureza de los metales está basado en la resistencia a la penetra - ción.

Se puede definir la dureza con el índice que resulta -

de la presión ejercida sobre una bola llamada penetrador y la huella dejada por la misma, tanto en profundidad como en diámetro.



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

- P = Fuerza aplicada
- D = Diámetro de la bola-penetrador
- d = Diámetro de la huella permanente sobre la superficie en ensaye, y se mide con un microscopio de retículo graduado.

2.5 Impacto

La prueba de impacto es un ensayo dinámico, en el cual una probeta seleccionada cuya superficie ha sido rectificadas o pulida y generalmente ranurada, se rompe de un solo golpe en una máquina de prueba, diseñada especialmente y se miden los valores de energía absorbida necesaria para fracturar el espécimen.

Esta prueba indica la tenacidad de un material y su capacidad para resistir al choque. La fragilidad, que resulta de un tratamiento térmico incorrecto u otras causas, puede no ser revelada por la prueba de tracción, pero es generalmente evidente en la prueba de impacto. El método más usual es el de Charpy, aunque también se utiliza con mucha frecuencia el Isod.

MICROESTRUCTURAS. DIAGRAMA Fe-C. INFLUENCIA DE LAS MICROESTRUCTURAS SOBRE LAS PROPIEDADES

CAPITULO 3.

- 3.1 Estructura de los metales y las aleaciones.**
- 3.2 Estructura cristalina.**
- 3.3 Microestructura o estructura granular .**
- 3.4 Macroestructura.**
- 3.5 Diagrama de equilibrio de la aleacion Fe-C. Constituyentes microestructurales sobre las propiedades.**
- 3.6 Influencia de la microestructura sobre las propiedades.**
- 3.7 Variación en la composición.**
- 3.8 Variación del tamaño de grano.**
- 3.9 Análisis particular del diagrama de equilibrio térmico Fe-C.**
- 3.10 Transformaciones microestructurales.**
- 3.11 Líneas de transformación de la austenita en martensita.**
- 3.12 Productos de transformación de la austenita.**
- 3.13 Tipos de diagramas T.T.T.**
- 3.14 Curvas de enfriamiento continuo**
- 3.15 Aplicaciones de los diagramas T.T.T.**
- 3.16 Efectos de las aleaciones**
- 3.17 Desplazamiento del punto eutectoide.**
- 3.18 Retardación de los ritmos de transformación.**
- 3.19 Efectos sobre las propiedades mecánicas**

CAPITULO 3. MICROESTRUCTURAS. DIAGRAMA Fe-C. INFLUENCIA DE LAS MICROESTRUCTURAS SOBRE LAS PROPIEDADES.

3.1. ESTRUCTURA DE LOS METALES Y LAS ALEACIONES

Aunque los metales y las aleaciones en bruto no tengan en general, una forma exterior definida, tienen los átomos perfectamente ordenados en formas geométricas, y a esto deben en gran medida sus características metálicas. A esta ordenación o arquitectura interna se denomina estructura, y para su mejor entendimiento se distinguen tres estructuras; la cristalina, la microestructura o estructura granular y la macroestructura.

3.2 ESTRUCTURA CRISTALINA

Los átomos de los metales están situados ordenadamente en los puntos de una red espacial geométrica, constituida por repeticiones de una forma fundamental denominada cristal, cuya dimensión es del orden de 10^{-8} centímetros. Excepto casos especiales, todos los metales cristalizan en tres redes espaciales a saber: La red Cúbica Centrada en el Cuerpo, La red cúbica centrada en las caras y la red exagonal compacta.

En la red cúbica centrada en el cuerpo (c.c.) los átomos están dispuestos en los vértices y en el centro (figura 3.1) de un cubo. El cristal elemental se compone de dos átomos, uno en el centro y otro en el vértice, ya que cada vértice es común a ocho cubos, y por lo tanto le corresponde a cada cubo $1/8$ de vértice, y como son ocho los vértices, a cada cubo le corresponde $8 \times (1/8) = 1$ átomo de vértice. El número de coordinación, que es el número de átomos vecinos equidistantes es igual a 8.

En la red cúbica centrada en las caras (c.c.c.) los átomos están situados en los vértices y centro de cada cara (fig.3.2). El cristal está formado por cuatro átomos, uno de vértice y tres de cara. El número de coordinación es 12.

En la red exagonal compacta (HEX.C), los átomos están situados en los vértices de un prisma recto de base exagonal, en los centros de sus bases y en los centros de los tres triángulos equiláteros no adyacentes, situados en una sección a la mitad de la altura del prisma (fig. 3.3). Para que la red sea compacta es decir, que su número de coordinación sea 12, se debe cumplir la siguiente relación.

$$\frac{h}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1.633$$

Para el caso del Hierro puro, es importante conocer la formación de las diferentes estructuras cristalinas, las cuales se exponen en la fig. 3.4. Si se enfría lentamente una probeta de hierro puro, fundida, es decir, en estado líquido, se observa que se solidifica a la temperatura constante de 1539°C. Si la temperatura sigue descendiendo, se observa a los 1390°C una detención en el descenso de la temperatura, por producirse un cambio en la estructura de la probeta, la cual desprende calor. A los 900°C se produce otra detención y, por fin otra a los 750°C.

Si en lugar de enfriarse se calienta el hierro puro desde la temperatura ambiente, observamos que se repiten los mismos fenómenos, pero a temperaturas ligeramente superiores: 780°C (Ac₂), 920°C (Ac₃) y 1410°C (Ac₄).

Las diferencias en los valores de las temperaturas para el enfriamiento y el calentamiento se deben a la resistencia que oponen los sistemas cristalinos a transformarse según el proceso.

3.3 MICROESTRUCTURA O ESTRUCTURA GRANULAR

La microestructura tiene como elemento fundamental al grano, formado por agrupaciones de cristales. Las dimensiones de los granos es del orden de 0.2 a 0.02 mm., lo cual nos permite observarlos con microscopio metalográfico, y de allí su nombre de microestructura. La microestructura nos permite conocer

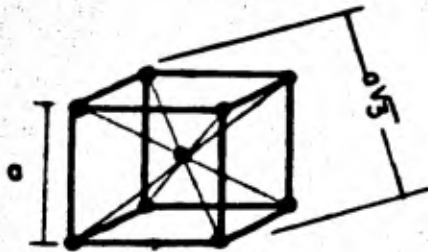


Fig: 3-1 — Cristal de la red cubica centrada.

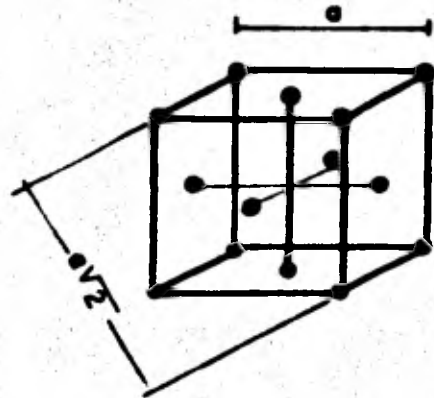


Fig:3-2 —Cristal de la red cubica centrada en las caras

$$\frac{b}{a} = \sqrt{\frac{2}{3}} = 1.633$$

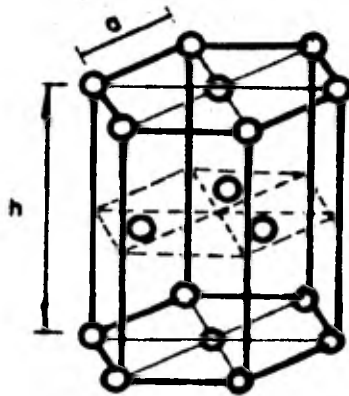


Fig: 3-3 — Cristal de la Red hexagonal compacta.

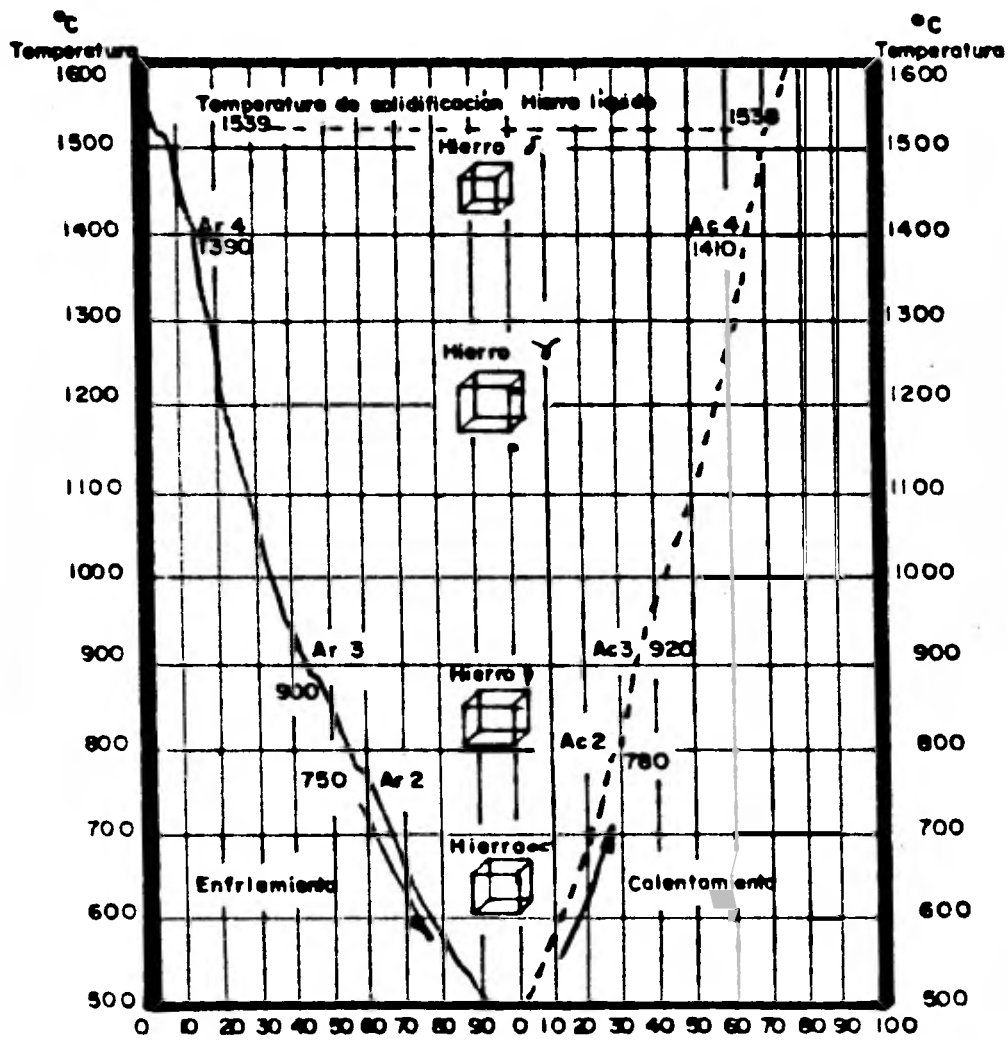


FIG. 3-4 FORMACION DE LAS VARIEDADES CRISTALINAS DEL HIERRO PURO.

la forma, distribución y dimensiones de las fases presentes en una aleación, lo cual es de gran ayuda para establecer la dependencia que existe entre la microestructura y las propiedades de las aleaciones.

La cristalización de los metales se inicia a partir de numerosos puntos de la masa metálica denominados centros o núcleos de solidificación (cristalización) creciendo en forma arborescentes; primero se forma un eje principal, y después en ángulo recto, ejes secundarios, y de éstos los ejes terciarios, y así sucesivamente va creciendo la cristalización por alargamiento progresivo y multiplicación de las dendritas, hasta que todos los intersticios entre cristales quedan llenos. La cristalización se detiene cuando las dendritas encuentran los cristales de núcleos de cristalización vecinos. Este tipo de cristalización se denomina dendrítica. El conjunto de los cristales formados a partir de cada centro de cristalización constituye un grano sin forma geométrica exterior, aunque con los cristales perfectamente ordenados.

3.4 MACROESTRUCTURA

La estructura macrográfica tiene como elemento fundamental la fibra, que se forma al alargarse y estrecharse los granos cuando se estiran o laminan los metales. La fibra se pone de manifiesto atacando la superficie del metal deformado por medio de un reactivo, y puede entonces observarse a simple vista. Para los procesos de forja y laminación es necesario trabajar el metal en el sentido de la fibra.

3.5 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DE LA ALEACION Fe-C. CONSTITUYENTES MICROESTRUCTURALES DE LA ALEACION Fe-C.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-C.

Al alearse el hierro con el carbono se desplazan las temperaturas de solidificación y transformación hacia valores tanto más bajos cuanto mayor es el contenido de Carbono. Aparecen --

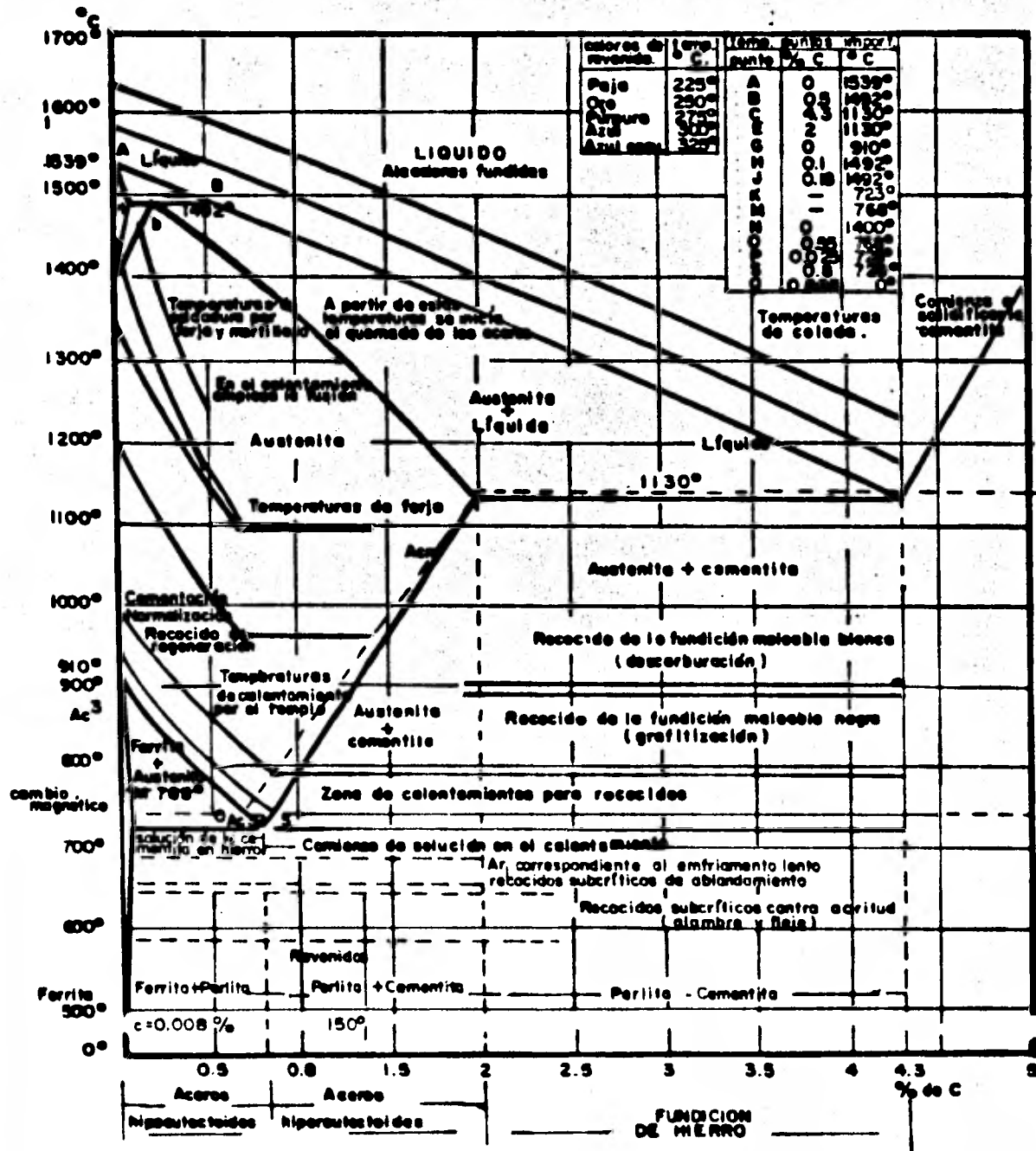


FIG. 3.5

Diagrama de equilibrio hierro - carbono y su relación con los tratamientos térmicos de uso más frecuente

además los puntos críticos A_{c1} y A_{r1} , que corresponden respectivamente a la formación de la solución sólida a partir de la perlita o a la descomposición de dicha solución en perlita. El punto de equilibrio A es de 723°C .

En el diagrama Hierro-Carbono (Fig. 3.5) las líneas continuas y las denominaciones de las estructuras se refieren al sistema metaestable, y las de trazos discontinuos al estable. Si las transformaciones se realizan según el sistema metaestable y sólo con grandes contenidos de carbono y enfriamientos muy lentos se produce la solidificación de estas aleaciones. En el sistema estable no se encuentra el carbono en forma del compuesto o fase cementita (Fe-C), sino como grafito.

CONSTITUYENTES MICROESTRUCTURALES DE LA ALEACION Fe-C.

Se exponen enseguida las características de los constituyentes de la microestructura de la aleación Fe-C.

FERRITA

La ferrita está constituida por los cristales (α) puede contener 0.10 de C. a 1492°C ; 0.025% a 723°C , y menos de 0.008% a la temperatura ambiente. Tiene estructura cc, es el más blando y dúctil constituyente de los aceros, y tiene dureza 90 brinell y resistencia a la ruptura de 28 Kg/mm. El alargamiento llega hasta 35 o 45%. Es magnético, en el hierro casi puro cúbico a cuerpo centrado.

AUSTENITA

La austenita es el hierro c.c.c. que puede disolver carbono y otros elementos de aleación. En el diagrama se encuentra la región de la austenita pura limitada por el polígono NbESG. A 1130°C puede disolver un máximo de 1.90% de C. Puede obtenerse una estructura austenítica en los aceros a la temperatura ambiente, enfriando muy rápidamente una probeta de --

acero de alto contenido de C o muy alta aleación desde una temperatura por encima de la crítica superior, pero como esta austenita no es estable, con el tiempo se transforma en ferrita y perlita o cementita y perlita. La austenita tiene una dureza 300 Brinell, resistencia de 100 Kg-mm y alargamiento de 30%. No es magnética.

CEMENTITA

La cementita es un carburo de hierro con 6.67% de Carbono, lo que corresponde a una fórmula química Fe_3C . Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza de 700 Brinell, es ferromagnética hasta los $215^{\circ}C$, después es amagnética.

PERLITA

La perlita son los agregados laminares formados por láminas alternadas de ferrita y cementita. Esta estructura laminar se clasifica según el espesor de las láminas: perlita gruesa, perlita fina (antes sorbita), y perlita finísima (antes troestita). La perlita no es una fase, sino, mezcla de fases, ferrita y cementita. Tiene un contenido de 0.8% de C. lo que corresponde a aproximadamente un 12% de cementita y un 88% de ferrita. Tiene dureza de 200 Brinell, resistencia a la tensión de 80 Kg/mm y un alargamiento del 15%. Es un acero aproximadamente eutectoide.

MARTENSITA

Es un constituyente no estable que se obtiene al enfriar tan rápidamente la austenita que no da tiempo a la formación de la perlita. Es sabido que en la formación de la perlita se precipita el carbono disuelto en la red antes de que ésta se convierta en la γ . En la formación de la martensita no hay tiempo para que el carbono salga de la red, por lo que queda atrapados sus átomos en la red, que se forma por un proceso complicado de cizallamiento, sobresaturándola y produciendo tensiones internas elevadas. En este hecho se basa la posibilidad de endurecer los ace-

ros por el temple. El llamado punto de la martensita se encuentra a unos 250°C . y por debajo de esta temperatura el carbono ya no puede abandonar la red mientras se produce la transformación. La martensita es el constituyente más duro después, de la austenita; su dureza varía de 50 a 68 Rc., su resistencia a la ruptura varía de 175 a 250 Kg./mm y su alargamiento de 2.5 a 0.5%. Es magnética. Su estructura es tetragonal a cuerpo centrado con una relación axial que depende de la composición.

LEDEBURITA

Se llama ledeburita a la estructura eutéctica en la que el exceso de carbono con respecto al 1.9% se encuentra distribuido en la masa fundamental en la forma de granos duros y grandes de carburo, es una mezcla auténtica de austenita y cementita.

BAINITA

Es el nombre de la estructura o estructuras que se forman en la descomposición isotérmica a temperaturas inferiores a aquellas que puede formarse perlita. A temperaturas de reacción justamente inferiores a aquellas a las que se produce la perlita más fina, el aspecto de la bainita es más homogéneo a la bainita que se forma a temperaturas más bajas. La bainita recién formada se ataca obscureciéndose, a diferencia de lo que ocurre con la martensita reciente, y parece que es un agregado de ferrita y partículas plenamente dispersas de carburo, aunque puede que inicialmente fuera ferrita sobresaturada de carburo.

FERRITA PROEUTECTOIDE

Ferrita que se separa de la austenita arriba de la temperatura eutéctica. La ferrita que se forma antes de la formación de perlita se llama ferrita proeutectoide.

HIERRO ALFA

Hierro con estructura cúbica a cuerpo centrado, el

cual es estable a temperatura ambiente.

MARTENSITA REVENIDA

La martensita recién formada se deja atacar muy lentamente, por ello aparece blanca en la microfotografía después de revenirla a temperaturas tan bajas, 100°C , se transforma en un microconstituyente, el cual se ataca rápidamente, apareciendo -- oscura en las fotografías. El ennegrecimiento por el ataque va -- acompañado de una segregación de carbono en forma de precipitado disperso, lo que hace que la estructura tetragonal pase a -- la fase cúbica de la ferrita.

La martensita va casi siempre acompañada de austenita retenida. Mediante un tratamiento térmico se puede revenir al estado que oscurece por el ataque a los cristales de martensita primeramente formados, mientras que la austenita restante se puede transformar en martensita blanca.

Inclusiones Metálicas. En los aceros aleados, además, de los constituyentes mencionados, hay otros elementos que pueden encontrarse en diferentes formas:

- a. Carburos. El cromo, molibdeno, wolframio, manganeso y el vanadio se combinan con el carbono para formar carburos aún más duros que la martensita.
- b. Disueltos en la ferrita, el níquel, cromo, aluminio, silicio, manganeso, cobre y fósforo pueden encontrarse disueltos en los aceros.
- c. Emulsiones de cobre y plomo.

Impurezas. Existen inclusiones no metálicas que perjudican a las propiedades de los aceros, como los sulfuros de manganeso, óxido de aluminio, silicatos que proceden de los refractarios de los hornos, de las escorias o de los procesos de oxidación

o desoxidación.

3.6 INFLUENCIA DE LA MICROESTRUCTURA SOBRE LAS PROPIEDADES

Como se ha visto, los diferentes constituyentes de la microestructura poseen diferentes propiedades, tal hecho pone de manifiesto la relación de dependencia entre las propiedades de los aceros y su microestructura. En esta parte del trabajo, se exponen las formas cómo puede modificarse la microestructura. Dichas formas son: Variación en la composición; variación en el tamaño de los granos; variación en la forma y distribución de las fases.

3.7 VARIACION EN LA COMPOSICION

Las propiedades como la dureza y la resistencia no pueden interpolarse entre las propiedades de las fases contribuyentes, debido a que el comportamiento de cada fase depende de la naturaleza de la fase adyacente, por tanto, resulta necesario y útil referir una propiedad, para su control a la composición de una de las fases. En la figura 3.6 se da un ejemplo de la variación de la dureza de un acero al carbono con respecto a la composición en % de los constituyentes. Asimismo se dan las gráficas de variación de: Límite de elasticidad y resistencia a la tensión (fig. 3.7); ductilidad (figura 3.8), todas contra la composición.

3.8 VARIACION DEL TAMAÑO DE GRANO

Un acero el cual haya sido modificado lentamente, dará lugar a una microestructura burda, es decir, con granos grandes. Por el contrario, un enfriamiento rápido a través de la temperatura de solidificación que obligue a una disminución rápida de la energía cinética de los átomos, no dará tiempo para que se destruyan núcleos cristalinos de los existentes, por lo cual, cuanto más rápido sea el enfriamiento, tanto menor será el número de núcleos destruidos y mayor el número de núcleos que subsistan, y

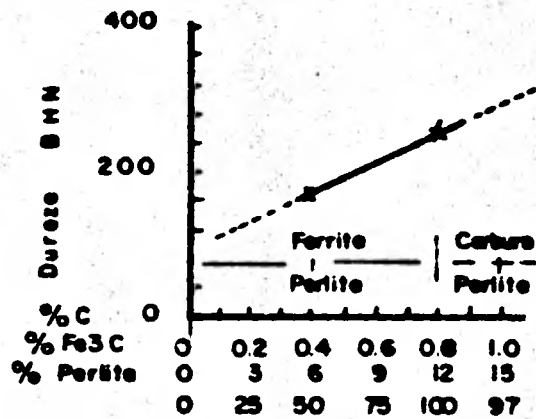


FIG. 3-6 COMPOSICION

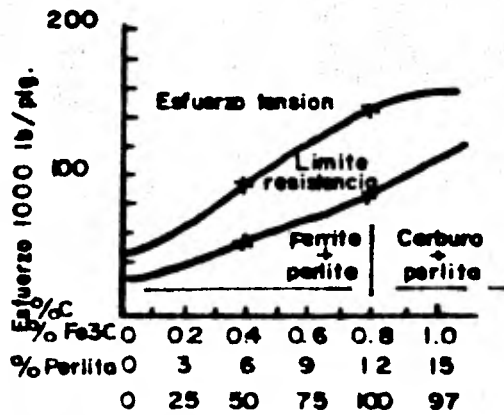


FIG. 3-7
COMPOSICION

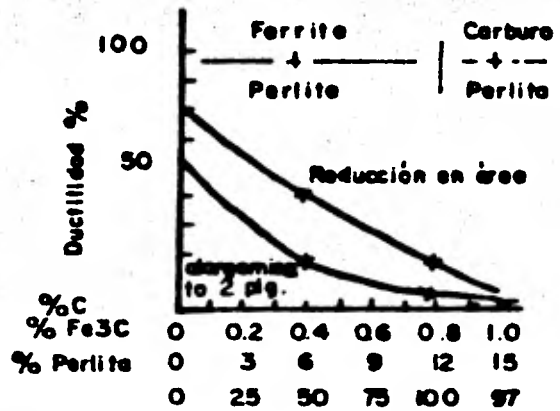


FIG. 3-8
COMPOSICION

como cada uno engendrará un grano al ser muchos aquellos, estos serán de pequeño tamaño.

3.9 ANALISIS PARTICULAR DEL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO TERMICO HIERRO-CARBONO

Este estudio es un proceso de tratamiento térmico que depende del equilibrio que se haya alcanzado en la estructura del acero bajo tratamiento.

En la figura 3.5 se ilustra el diagrama completo de equilibrio térmico, hierro-carbono. En este sistema los metales son completamente solubles entre sí en el estado líquido, pero sólo parcialmente solubles en el estado sólido. El diagrama queda un tanto modificado por los cambios estructurales que tienen lugar en la estructura cristalina del hierro a 910° y 1400°C . Sin embargo a pesar de la aparente complejidad del diagrama sólo tenemos tres partes importantes que considerar: Austenita (γ), ferrita (α) y cementita (Fe_3C). La austenita es la solución sólida que se forma cuando el carbono se disuelve en el hierro cúbico de caras centradas, mientras que la ferrita es la solución sólida débil que se produce cuando el carbono se disuelve en hierro cúbico centrado en el cuerpo, abajo de 910°C . La cementita es un carburo, Fe_3C , formado por la combinación de carbono con algo de hierro. Por claridad en las figuras 3.9, 3.10 y 3.11, se ilustran detalladamente las áreas importantes del diagrama de equilibrio.

A continuación consideraremos una estructura que contiene 0.3% de carbono al solidificarse y enfriarse lentamente a la temperatura ambiente. Esta aleación comenzará a solidificarse a unos 1515°C , formando dendritas de la solución sólida (δ). Estas dendritas se desarrollarán y cambiarán de posición debido a la difusión que se produce por el ritmo lento de enfriamiento hasta que, a 1492°C , serán de composición C (0.08% de carbono). El líquido restante se habrá enriquecido en carbono en proporción y será de composición B (0.55% de carbono). a 1492°C tiene lugar una operación peritéctica entre líquido res-

tante y la parte (δ), resultando en la desaparición -- de esta última y la formación de austenita (γ) de composición P (0.18% de carbono). Conforme la temperatura continúa descendiendo, el resto del líquido se solidifica como austenita (γ) y, cuando la solidificación es completa, la estructura consistirá de cristales de austenita centrados, de composición general 0.3% de carbono.

Puesto que el enfriamiento es lento, la difusión de carbono se facilita, y para cuando alcanza la línea FE figura 3.11 la estructura consistirá totalmente de cristales de austenita con un contenido de carbono prácticamente uniforme. Además, si consideramos un vaciado de acero de gran tamaño, en arena, y que la pieza ha permanecido un tiempo bastante grande a alta temperatura, el crecimiento del grano habrá sido -- excesivo, conduciendo a la formación de cristales austeníticos -- muy grandes, particularmente en el centro del vaciado.

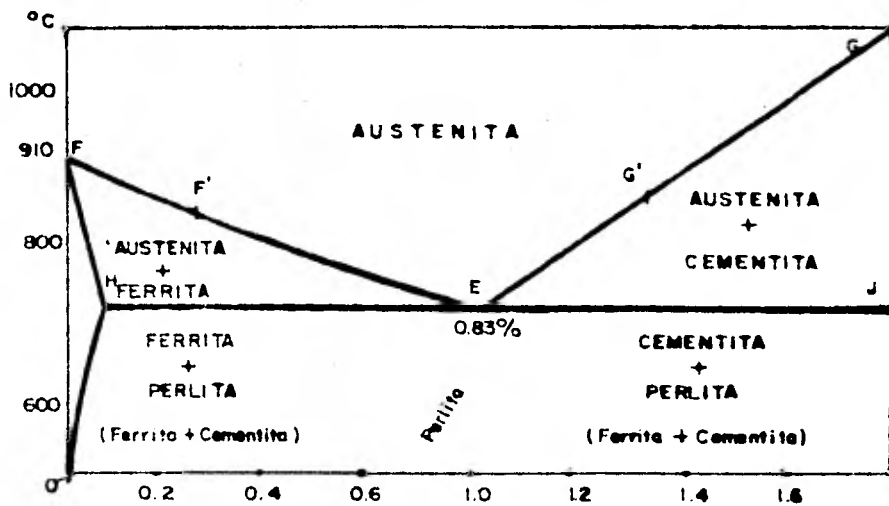
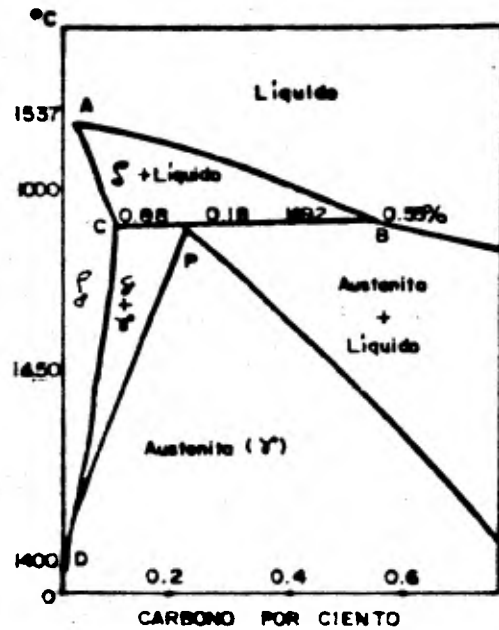
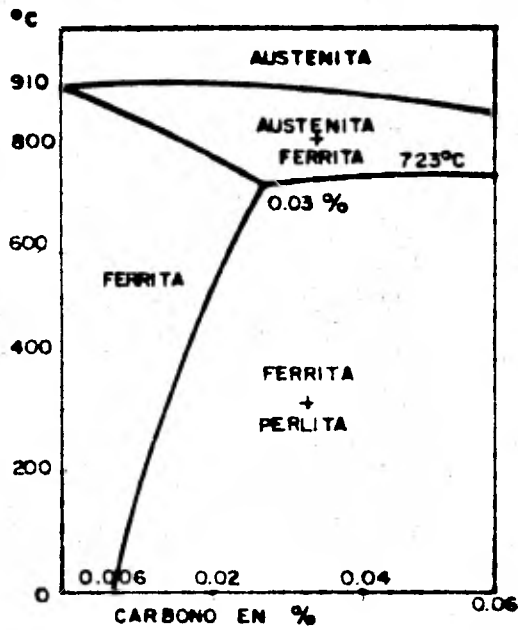
La temperatura crítica superior TCS de un acero, -- varía con su contenido de carbono y es aquella temperatura abajo de la cual la austenita comienza a transformarse en ferrita y cementita, bajo condiciones de enfriamiento lento. Esta se -- representará, pues, por un punto sobre FEG. En el caso del -- acero que se está considerando, la temperatura crítica superior -- se representa por F' y, al descender la temperatura abajo de -- este valor, la estructura cúbica de caras centradas se vuelve -- inestable y los cristales de ferrita comienzan a separarse de la -- austenita. Puesto que esta ferrita contiene menos de 0.03% de carbono, el contenido de carbono de la austenita restante aumentará progresivamente al formarse más y más ferrita hasta que, a 723° C (temperatura eutectoide), la estructura consiste de -- ferrita (que contiene 0.03% de carbono) y austenita (que contiene 0.83% de carbono), a 730° C, la austenita restante se -- transforma a la eutectoide perlita, depositando capas alternas -- de ferrita y cementita. La temperatura de 723° C a la cual --

se forma perlita, se llama temperatura crítica inferior TCI y es la misma para aceros al carbono de todas las composiciones, ya que la temperatura eutectoide es constante, es decir HEJ es horizontal.

Un acero con 0.83% de carbono comienza a solidificarse aproximadamente a 1470°C , depositando dendritas de austenita y, cuando se ha terminado la solidificación, la estructura consistirá de cristales centrados de austenita, composición general 0.83% de carbono, al enfriarse lentamente el acero, la estructura se vuelve más uniforme por difusión y no tiene lugar mayor cambio estructural, hasta que se ha alcanzado el punto E, figura 3.11. Para un acero de esta composición, las temperaturas críticas superior e inferior coinciden y la estructura austenítica se transforma, a esta temperatura, a otra que es totalmente perlítica.

Así pues, en un acero que se ha enfriado lentamente, de manera que le permitan llegar al equilibrio estructural, encontraremos una de las siguientes estructuras:

- a) Con menos de 0.006% de carbono, será enteramente ferrítico. En la práctica, esta aleación se clasifica como hierro comercialmente puro.
- b) Con un contenido de carbono entre 0.006% y 0.83%, la estructura contendrá ferrita y perlita.
- c) Con 0.83% de carbono exactamente, la estructura será enteramente perlítica.



- d) Con un contenido de carbono entre 0.83% y 1.7%, la estructura consistirá de cementita y perlita, en cantidades que dependerán del contenido de carbono.

Un acero al carbono ordinario que contenga - - menos de 0.83% de carbono, recibe generalmente el nombre - de acero hipo-eutectoide, mientras que uno que contenga más de 0.83% se conoce como acero hiper-eutectoide. Así un - - acero que contenga exactamente 0.83% de carbono se llama - acero eutectoide.

3.10 TRANSFORMACIONES MICROESTRUCTURALES

Diagrama de Transformaciones Isotérmicas de la Austenita.

Hasta hace pocos años, el único diagrama utilizado para el -- estudio de las transformaciones microestructurales de las alea-- ciones era el diagrama hierro carbono, tal como se vió ante-- riormente.

Pero en 1930, los Metalurgistas Buin y Davempont, de la "United States Steel Corporation Research Laboratory" -- estudiando la transformación de la Austenita a temperaturas - - constantes, idearon un diagrama que denominaron T.T.T. (Transformación, tiempo, temperatura), que constituye el más valio-- so auxiliar para el estudio de los tratamientos térmicos por la - forma, estos diagramas reciben en nombre también de " CURVAS DE LAS S".

La representación de la transformación isotérmica - de la Austenita se realiza llevando al eje de las ordenadas - -

las temperaturas de transformación y al eje de las abscisas los - tiempos de duración de la transformación en escala logarítmica - y siempre se parte de un tiempo pequeño. Las curvas se trazan anotando en la horizontal que pasa por cada temperatura los -- puntos de iniciación y fin de la transformación de la Austenita y muchas veces también los de un 25%, 50%, 75% y un 100% de transformación de la Austenita, uniendo los puntos de iniciación de la transformación y los % o fin de la transformación de la Austenita se obtiene una serie de curvas de las " S ". De acuerdo con esto Morris Cohen completa este diagrama de - - - T.T.T. con dos líneas horizontales, una llamada Ms que representa la temperatura de iniciación de la transformación de la -- Austenita en Martensita y otra Mf que representa el fin de la - transformación de la austenita en martensita, interpolando estas - dos líneas y la línea de % se obtiene el diagrama T.T.T. aun-- que se completa a este diagrama con una línea horizontal Ac₁ - que es la que marca el límite de la estabilidad de la austenita, o sea que a temperaturas superiores a la indicada por esta línea, la austenita permanece estable indefinidamente (ver fig. 3.12).

3.11 LINEAS DE TRANSFORMACION DE LA AUSTENITA EN MARTENSITA

Posteriormente se comprobó que la temperatura de -- iniciación de la transformación de la austenita en martensita no dependía del tiempo en que tuviera lugar la transformación, como ocurre en sorbita, troostita y bainita, sino que dependía - - exclusivamente de la temperatura de austenización, es decir - - que para cada acero de una composición determinada, comienza la transformación de la austenita en martensita a una temperatura constante que se representa con la línea Ms. Aquí el carbono es el elemento que tiene más influencia en el descenso de -- la temperatura de iniciación de la transformación de la austenita en martensita.

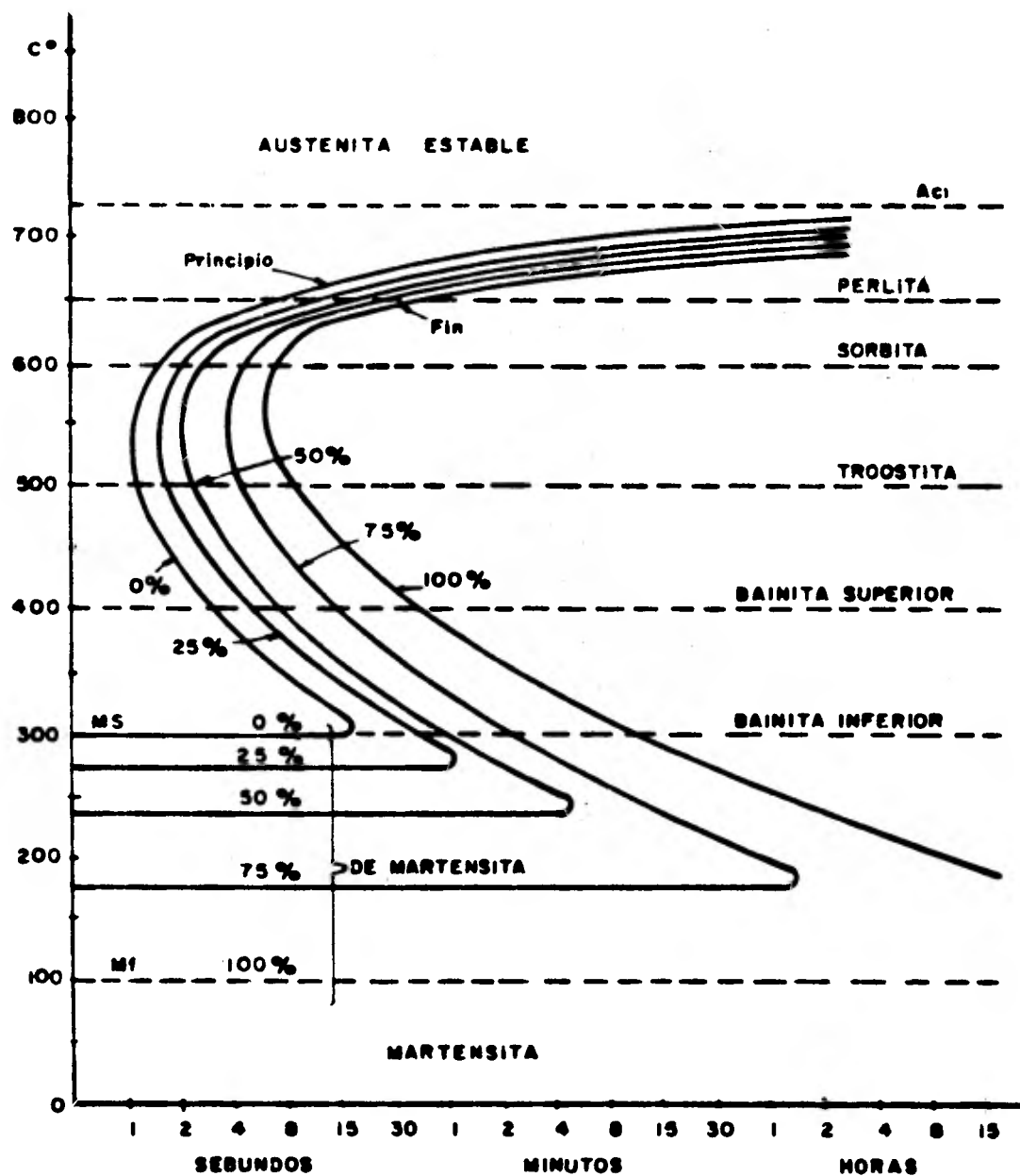


FIGURA 3.12

3.12 PRODUCTOS DE TRANSFORMACION DE LA AUSTENITA

Los productos de transformación isotérmicas de la austenita y los límites de las zonas de temperatura en que puede -- producirse cada uno de ellos y a manera de orientación son los siguientes:

Perlita	de 723°C	a	650°C
Sorbita	de 650°C	a	600°C
Troostita	de 600°C	a	500°C
Bainita superior	de 500°C	a	400°C
Bainita inferior	de 400°C	a	300°C
Martensita	de 300°C	a	50°C

Puesto que no todos estos productos representan a los diferentes aceros; por ejemplo, a temperaturas próximas a A_{c1} la perlita se presenta en forma globular, mientras que a temperaturas inferiores a A_{c1} , la perlita se presenta en forma laminar.

Entre las temperaturas A_{c1} y A_{c3} el único producto - de transformación de la austenita es la ferrita.

3.13 TIPOS DE DIAGRAMAS T.T.T.

La forma de las curvas del diagrama T.T.T. adopta - disposiciones muy variadas según la composición de los aceros, - agrupándose en cuatro tipos distintos.

- 1o. Diagrama T.T.T. de aceros al carbono eutectoides.
- 2o. Diagrama T.T.T. de aceros al carbono hipoeutectoides
- 3o. Diagrama T.T.T. de aceros al carbono hipereutectoides

4o. Diagramas T.T.T. de aceros aleados.

Por ser de nuestra competencia únicamente estudiaremos los diagramas T.T.T. de los aceros aleados, los cuales se dividen en cuatro tipos.

- Tipo 1 Aceros al Carbono, Cromo y Níquel
- Tipo 2 Aceros al Cr-Ni y Cr-Mo de baja aleación.
- Tipo 3 Aceros Cr-Ni, Cr-Mo y Cr-Ni-Mo de alta aleación.
- Tipo 4 Aceros complejos de temple al aire de herramientas, etc.

Hay dos métodos para el trazado de diagramas isotérmicos que son: continuos o dilatómetro y discontinuos o metalográfico.

Diagrama T.T.T. de aceros aleados. Los elementos aleados producen en general un fuerte desplazamiento de las curvas hacia la derecha, excepto el cobalto que las desplaza hacia la izquierda. Sin embargo el Níquel y el Manganeso no cambian el aspecto del diagrama, pero los elementos que forman carburos, como el cromo, molibdeno, wolframio y vanadio, producen una segunda zona de temperaturas, de transformaciones rápidas al nivel de la transformación de la austenita en bainita. (ver figura - 3.13).

3.14 CURVAS DE ENFRIAMIENTO CONTINUO

En general los procesos de enfriamiento seguidos en los tratamientos de los aceros, no son isotérmicos, sino de enfriamiento continuo, hay una pequeña diferencia entre las temperaturas de principio de transformación determinadas gráficamente en los diagramas T.T.T. y las comprobadas en los enfriamientos de los tratamientos térmicos.

Si las velocidades de enfriamiento son altas, las curvas de enfriamiento continuo no pasan por la zona perlítica ni bainítica, transformándose la austenita totalmente en martensita, la velocidad mínima de enfriamiento para que ocurra esto, deno-

minada velocidad crítica de temple, corresponderá a la curva - - de enfriamiento tangente a la nariz de la curva T.T.T. Si una - curva de enfriamiento continuo corta a las líneas de iniciación y fin de la transformación de la austenita en perlita ya no ocurrirá ninguna transformación en austenita, ya que el acero ya no posee más austenita, entonces el comienzo de la transformación se situará en un punto C inferior a B. Es decir, que la curva de principio de transformación para un enfriamiento continuo, está - un poco desplazada hacia la derecha y hacia abajo con respecto a la curva inicial de transformación del diagrama T.T.T. (ver figura 3.14).

3.15 APLICACIONES DE LOS DIAGRAMAS T.T.T.

Con la ayuda de las curvas de los diagramas T.T.T. - se han aclarado muchos procesos de transformación que ocurren -- en los tratamientos térmicos clásicos, como recocido, normaliza-- do y temple.

Así, por ejemplo, se comprende que en los recocidos- de enfriamiento lento, inferiores a los 20°C por hora, las transfor- maciones se realizan a temperaturas altas, en este proceso, toda - la austenita se transforma en ferrita y perlita o cementita y per-- lita.

En los procesos de normalización a velocidades de en- friamiento superior, la austenita se transforma parcialmente en fe- rrita o cementita y termina su transformación en bainita y marten- sita.

3.16 EFECTOS DE LAS ALEACIONES

Los elementos de aleación agregados pueden disolverse simplemente en la ferrita, o pueden combinarse con parte del car- bono, formando carburos, que se asocian con el carburo de hierro ya presente.

Los efectos principales que tienen estos elementos de -

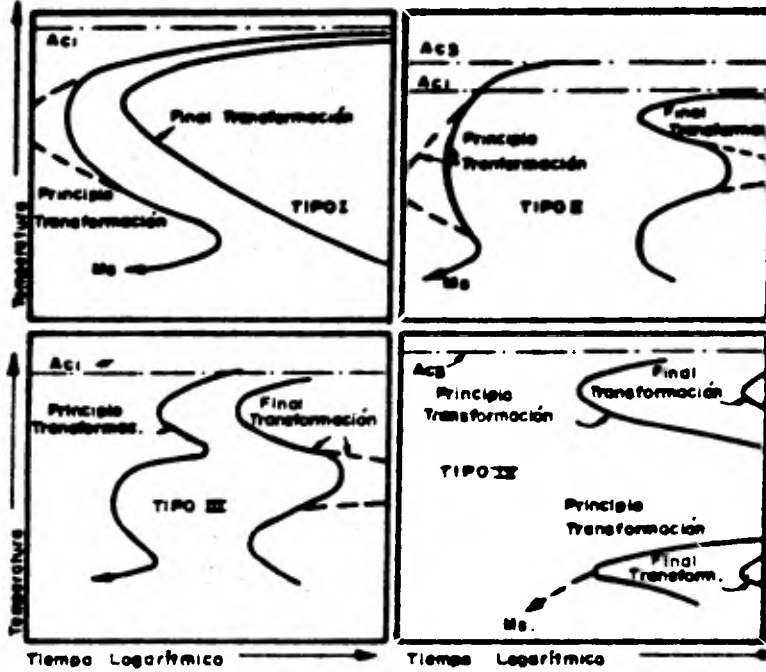


FIG. 3-13 DIAGRAMAS TTT TIPO DE ACEROS ALEADOS SEGUN MORRAL

TIPO I aceros al Cr y al Ni.
 TIPO II aceros al Cr-Ni y al Cr-Mn. Baja Aleación.
 TIPO III aceros al Cr-Ni, al Cr-Mn y al Cr-Ni-Mn. Alta Aleación.
 TIPO IV aceros complejos.

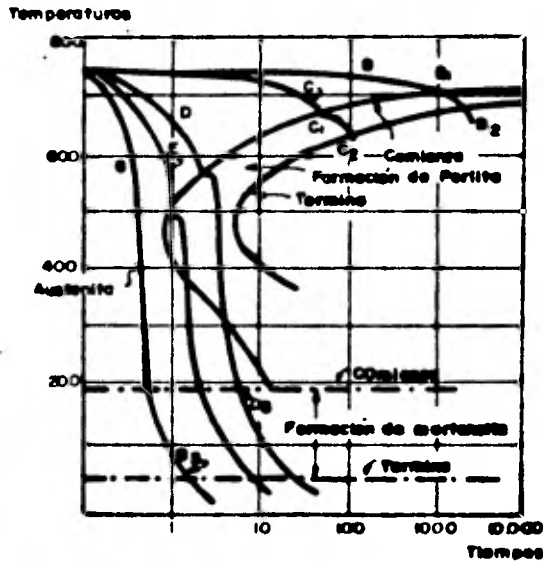


FIGURA 3-14

Representación de diversos tratamientos térmicos de enfriamiento continuo y la curva de Ms de un acero de 0.80% de C.

aleación sobre la microestructura y propiedades de un acero, pueden clasificarse como sigue:

A. Efecto sobre las temperaturas de transformación alotrópica.

Las temperaturas de transformación alotrópica que se consideran en los aceros especiales son las de 910°C , en las cuales una estructura cúbica de cuerpo centrada (α) de hierro puro, cambia a una cúbica de caras centradas (γ), y la de 1400°C , en la cual la estructura cúbica de caras centradas, cambia de nuevo a hierro cúbico centrado (δ). Estos puntos de cambio se designan como A_3 y A_4 respectivamente. La temperatura A_1 se encuentra en 723°C , punto en que tiene lugar el cambio austenita perlita en los aceros al carbono ordinarios, mientras que la temperatura A_2 está entre 769°C , arriba de la cual el hierro puro cesa de ser magnético. Este punto no tiene significado estructural especial.

Algunos elementos, principalmente níquel, manganeso, cobalto y cobre, elevan la temperatura A_4 y bajan A_3 . En esta forma, los elementos, cuando se incorporan a un acero al carbono, tienden a estabilizar la austenita (γ) y aumentar la zona de temperaturas, en la cual puede existir la austenita, como una fase estable. Otros elementos, entre los cuales se incluyen como los más importantes el cromo, wolframio, vanadio, molibdeno, aluminio y silicio, tienen efecto inverso, ya que tienden a estabilizar la ferrita (α) elevando la temperatura A_3 y bajando la A_4 . Estos elementos restringen el campo en el que puede existir austenita, formando así lo que se llama un "campo gamma (γ)".

Los elementos del grupo estabilizador (γ), tienen generalmente una estructura cúbica de caras centradas. Puesto que ésta es similar a la de la austenita, estos elementos retardan transformación de austenita a ferrita. Al mismo tiempo, estos elementos retardan la precipitación de los carburos y nuevamente esto tiene el efecto de estabilizar la austenita.

Los elementos estabilizantes (α) son generalmente aquellos

con una estructura cúbica centrada. Estos se disolverán fácilmente en hierro (α) que en hierro (γ), y al mismo tiempo disminuirán la solubilidad del carbono en la austenita. En esta forma, estabilizan la ferrita. El aumento progresivo en uno o más de los elementos estabilizantes -- (α) hará que se alcance un punto más allá del campo -- (γ) en donde no puede existir la fase (γ) a ninguna temperatura.

- B. Efectos sobre la estabilidad de los carburos. Algunos de los elementos de aleación, forman carburos muy estables -- cuando se agregan a un acero al carbono ordinario. Esto generalmente tiene un efecto endurecedor sobre el acero, -- particularmente cuando los carburos formados son más duros que el carburo de hierro mismo. Estos elementos incluyen: cromo, wolframio, vanadio, molibdeno, titanio y manganeso. Cuando se encuentran presentes más de uno de estos -- elementos, se forman con frecuencia una estructura que -- contiene carburos complejos.

Otros elementos tienen un efecto grafitizantes pronunciado sobre los carburos; esto es se hacen inestables a los carburos, de manera que estos últimos se desocian, liberando -- carbono grafitico. Estos elementos incluyen: silicio, níquel, aluminio y cobalto y las cantidades necesarias para causar grafitización son con frecuencia pequeñas. Por lo tanto, -- si es necesario agregar cantidades apreciables de estos elementos a un acero, sólo se puede hacer cuando el contenido de carbono sea extremadamente bajo. Alternativamente, si es necesario que el contenido de carbono sea elevado, deben agregarse uno o más de los elementos estabilizadores de carburos, para contrarrestar los efectos del elemento grafitizante.

3.17 DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO EUTECTOIDE

La adición de un elemento de aleación al acero al -- carbono, desplaza el punto eutectoide hacia la izquierda del dia

grama de equilibrio. Esto es, un acero puede ser completamente perlítico aún cuando contenga menos de 0.83% de carbono. Por ejemplo, la adición de 3% de manganeso a un acero que contenga 0.70% de carbono, hará que este último sea completamente perlítico. En forma semejante. Aun cuando un acero de alta velocidad contenga sólo 0.60% de carbono, su microestructura exhibe masas de cementita libre, debido al movimiento del punto eutectoide hacia la izquierda, a causa de los elementos de aleación presentes.

3.18 RETARDACION DE LOS RITMOS DE TRANSFORMACION

Al agregar elementos de aleación en el acero, reducimos el ritmo crítico de enfriamiento necesario para la transformación de austenita en martensita. Para obtener una estructura completamente martensítica, en el caso de un acero ordinario con 0.83% de carbono, debemos enfriarlo desde una temperatura superior a 723°C a la temperatura ambiente aproximadamente en un segundo.

Este tratamiento constituye un enfriamiento sumamente drástico que generalmente conduce a la disposición o agrietamiento de la pieza. Si se agregan pequeñas cantidades de elementos de aleación adecuados, por ejemplo níquel y cromo, reducimos este ritmo crítico de enfriamiento a tal grado que un temple en aceite mucho menos drástico sea lo suficientemente rápido para producir una estructura completamente martensítica. Si se aumenta aún más la cantidad de elementos de aleación, se reducirá también el ritmo de transformación, de manera que este acero puede endurecerse enfriándolo al aire. Los aceros de "endurecimiento en aire" tienen la ventaja particular de que se produce una distorsión comparativamente pequeña durante el endurecimiento. Esta característica de la aleación es de la mayor importancia.

3.19 EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS

Algunas de las más importantes se describen a conti--

nuación:

- La dureza aumenta por la estabilización de los carburos.
- La resistencia aumenta cuando los elementos de aleación se disuelven en la ferrita, y
- La tenacidad mejora debido al afinamiento del grano.

TRATAMIENTOS TERMICOS Y TERMOQUIMICOS

CAPITULO 4

- 4.1 Conceptos Generales
- 4.2 Proceso de recocido
- 4.3 Proceso de Normalizado
- 4.4 Recocido de regeneración, temple y normalizado
- 4.5 Temple
- 4.6 Velocidad crítica de temple
- 4.7 Elección del medio de enfriamiento mas adecuado
- 4.8 Templabilidad
- 4.9 Factores que influyen en la templabilidad
- 4.10 Medida de la templabilidad
- 4.11 Diámetro crítico ideal
- 4.12 Estudio de las Curvas en U
- 4.13 Ensayo de Jominy
- 4.14 Redondo equivalente
- 4.15 Clases de temple
- 4.16 Revenido
- 4.17 Fragilidad del revenido
- 4.18 Cementación
- 4.19 Cianuración
- 4.20 Nitruración
- 4.21 Ventajas de la nitruración
- 4.22 Carbonitruración
- 4.23 Sulfinización

CAPITULO 4. TRATAMIENTOS TERMICOS Y TERMOQUIMICOS

4.1 CONCEPTOS GENERALES

En principio, los únicos tratamientos que se utilizaban eran los térmicos, llamados también procesos térmicos a que se someten los metales para modificar su estructura y constitución, pero no su composición química.

El objeto de estos tratamientos térmicos era mejorar las propiedades mecánicas de los metales, obteniendo unas veces mayor dureza y resistencia mecánica y otras mayor plasticidad.

Más tarde se extendieron los tratamientos a otros procesos como la cementación, cianuración, etc. que además de someter los metales a calentamientos y enfriamientos, se modifica también la composición química de la capa superficial de la pieza, a estos tratamientos se les conoce con el nombre de TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS.

Aún existe otra clase de tratamientos con los que se obtiene la mejora de los metales por deformación mecánica, ya sea con la ayuda del calor o sin ella, este tipo de tratamiento recibe el nombre de TRATAMIENTOS MECANICOS.

Hay otros tipos de tratamiento que mejora la superficie de los metales sin variar su composición química básica, como son la Metalización, y el Cromado Duro, llamados también TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

Como resultado de esto, los procesos pueden ser Térmicos, mecánicos y de aportación de otro elemento en la superficie del metal.

CLASIFICACION DE LOS TRATAMIENTOS

Dentro de los tratamientos que se han dado quedan -

incluidos los clásicos, que son los térmicos, los modernos que son los termoquímicos y los superficiales, clasificándose como sigue:

TRATAMIENTOS TERMICOS	RECOCIDO NORMALIZADO TEMPLE TEMPLABILIDAD REVENIDO
TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS	CEMENTACION CIANURACION NITRURACION CARBONITRURACION SULFINIZACION
TRATAMIENTOS TERMOME CANICOS	
EN CALIENTE:	FORJA
TRATAMIENTOS MECANICOS	
EN FRIO:	DEFORMACION PROFUNDA DEFORMACION SUPERFICIAL
TRATAMIENTOS SUPERFICIA LES	CROMADO DURO TEMPLE LOCAL METALIZACION

Para esto el tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

4.2 PROCESO DE RECOCIDO

El recocido es un tratamiento térmico, consistente en un ca-

lentamiento a temperaturas adecuadas y de duración determinada, seguidos generalmente de enfriamientos lentos de la pieza tratada.

El objetivo principal es ablandar el metal y aleaciones para poder trabajarlas mejor, eliminando tensiones internas.

De acuerdo a esto se clasifican 4 clases fundamentales de recocidos, según la clase de anomalía que se trata de corregir:

- a) El recocido de homogeneización
- b) El recocido de regeneración o austenización completa
- c) El recocido contra acritud
- d) El recocido de estabilización

Y se dividen como caso particular y que son los más empleados los siguientes:

1. Recocidos supercríticos en los que se calientan el acero a temperaturas superiores a la temperatura crítica Ac_3 o Ac_{3-2-1} .
 - De austenización completa, recocido de regeneración
 - De austenización incompleta, recocido globular de austenización.
2. Recocido subcrítico, en los que se calienta el acero a temperaturas inferiores a temperaturas críticas Ac_1 y Ac_{3-2-1} .
 - Recocido globular
 - Recocido de ablandamiento
 - Recocido contra acritud
 - Recocido de estabilización

4.3 PROCESO DE NORMALIZADO

El normalizado es en realidad una variedad de recocido que se aplica exclusivamente a los aceros, este tratamiento consiste en un calentamiento de 40° a 50° C superior a la temperatura crítica Ac_3 y una vez que haya pasado todo el metal al estado aus

tenítico, se deja enfriar al aire tranquilo, se suele utilizar para piezas que han sufrido trabajos en caliente, trabajos en frío para forjas, laminación, etc. y enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos, también sirve para destruir efectos de un tratamiento anterior defectuoso. Se consigue así afinar su estructura y eliminar tensiones internas, se emplea exclusivamente para aceros al carbono de baja aleación (0.15 a 0.50 % de carbono).

4.4 RECOCIDO DE REGENERACION, TEMPLE Y NORMALIZADO

Los procesos que se siguen en estos tres tratamientos tienen entre sí, ciertas semejanzas que conviene destacar conjuntamente. En los tres casos se calienta el acero a una temperatura ligeramente superior a la crítica, y luego después de un período de permanencia a esa temperatura, suficiente para conseguir el estado austenítico, se enfrían las piezas. El enfriamiento es diferente en los tres casos.

En los recocidos se hace muy lentamente dentro del horno. En los temple, se hace muy rápidamente enfriando en agua, aceite, y en el normalizado el enfriamiento se efectúa al aire a una velocidad intermedia entre los temple y recocidos. Entonces se puede decir que la velocidad de enfriamiento es lo que caracteriza y diferencia principalmente estas tres clases de tratamientos. Hay que distinguir en estos procesos, tres períodos fundamentales:

Primero. Calentamiento

Segundo. Permanencia a temperatura y

Tercero. Enfriamiento

4.5 TEMPLE

El temple, como todos los tratamientos térmicos, es un proceso de calentamiento y enfriamiento, en donde el enfriamiento se realiza con una velocidad llamada crítica, que es generalmente muy rápida, el fin que se pretende conseguir en este ciclo de calentamiento, es que toda la masa del acero esté en estado austenítico y después de un enfriamiento rápido, se convierta

la austenita en martensita, que es el constituyente típico de los aceros templados, los medios de enfriamiento más convenientes es el agua, aceite, etc.

Por tanto, el proceso de temple consta esencialmente de dos fases: Una de calentamiento y otra de enfriamiento.

PRIMERA FASE. En calentamiento. Esta fase tiene por objeto en teoría, transformar toda la masa del acero en austenita, su desarrollo está definido por tres variables: Velocidad de elevación de temperatura, permanencia en la temperatura límite y temperatura límite. En donde la temperatura límite es la mínima que debe alcanzar un acero de una composición determinada, para que toda su masa pueda transformarse en cristales de austenita.

SEGUNDA FASE. El enfriamiento. Tiene por objeto, en teoría, transformar la totalidad de la austenita formada, en otro constituyente muy duro, denominado martensita, aunque en alguna variedad de temple el constituyente final deseado es la bainita. El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad de enfriamiento mínimo para que tenga lugar la formación de la martensita, esta velocidad se llama velocidad crítica de temple.

4.6 VELOCIDAD CRITICA DE TEMPLE

Es la velocidad de enfriamiento mínima para que la totalidad del acero se transforme en martensita. Las velocidades críticas de temple varían para los aceros al carbono de 200° a 600°C por segundo, según el porcentaje de carbono, los elementos de aleación en general hacen disminuir la velocidad crítica de temple, pudiendo alguno de ellos templarse al aire a velocidades inferiores a 50° C por segundo. (Ver fig. No. 4.1).

Factores que influyen en la práctica del temple: El tamaño de las piezas, su composición, el tamaño de su grano, y el medio de enfriamiento empleado, además la conductividad térmica del acero.

Influencia del tamaño de las piezas. Uno de los factores que más influyen en las características finales que se obtienen al temple una pieza de acero es su tamaño, en los perfiles delgados, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, se observará muy poca diferencia de temperatura entre la periferia y el interior de las piezas, pero si se trata de piezas de gran diámetro, se comprenderá perfectamente que la temperatura en su interior sea inferior en el calentamiento y superior en el enfriamiento a la de su periferia, ya que el calor no se transmite directamente al interior, sino a través del espesor de la misma, necesitando la transmisión un tiempo determinado que es el que produce el retraso con relación al proceso que sigue.

Influencia de la composición. El contenido de carbono influye en la temperatura y en la velocidad crítica de temple. La temperatura de temple es tanto más baja cuanto más se aproxima el acero a la composición eutectoide. La velocidad crítica de temple disminuye cuando el contenido de carbono aumenta.

Los elementos de aleación cambian la posición del punto eutectoide en el diagrama Hierro-Carbono, ya que el acero aleado eutectoide ya no tiene el mismo porcentaje de carbono, entonces se desplaza hacia la derecha ó a la izquierda.

Los elementos que más disminuyen la velocidad crítica de temple son el Mn, Mo, Cr, Si y el Ni. Y como consecuencia de la disminución de la velocidad crítica de temple, resulta mayor la profundidad de la zona templada de los aceros aleados, con los elementos citados.

Influencia del tamaño del grano. El tamaño del grano influye, principalmente, en la velocidad crítica de temple, en los aceros de grano grueso son menores que en las velocidades críticas de temple de los aceros de grano fino. En la figura No. 4.2, se puede ver como se desplazan hacia la derecha las curvas T.T.T. a medida que aumenta el tamaño del grano, y por tanto, disminuye la velocidad crítica de temple.

Influencia del medio de enfriamiento. Al sumergir una barra de --

acero a altas temperaturas en un líquido, tienen lugar las siguientes etapas:

Primera etapa. Inmediatamente después de introducir la barra, se forma una capa de vapor que envuelve el metal y que dificulta el enfriamiento y que por esta razón empieza siendo bastante lento, - influyen en esta etapa la temperatura inicial del baño, la temperatura de ebullición, la conductividad de su vapor y el grado de agitación del baño, que remueve el líquido en contacto con la barra.

Segunda etapa. Al descender la temperatura desaparece la envuelta de vapor, aunque el líquido en contacto con el metal sigue hirviendo y produciendo burbujas. El enfriamiento es rápido y se denomina enfriamiento por transporte de vapor, influyen en esta etapa el calor de vaporización y la viscosidad del líquido.

Tercera etapa. Cuando la temperatura del metal desciende por debajo de la temperatura de ebullición del líquido de temple, el enfriamiento se hace por conducción y convección, pero como la diferencia de temperatura entre el metal y el líquido es pequeña, - el enfriamiento es lento, dependiendo de la conductividad térmica del líquido y de su grado de agitación.

Por tanto, las propiedades de los líquidos que influyen en el enfriamiento de los aceros son: La temperatura inicial del baño, su temperatura de ebullición, su calor de vaporización, su calor específico, su conductividad calorífica, su viscosidad y la masa del baño y su grado de agitación.

4.7 ELECCION DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO MAS ADECUADO

El medio de enfriamiento mas adecuado para templar un acero es el que se consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica, siendo perjudicial que la velocidad de temple sea excesivamente grande, ya que se corre el peligro de producirse grietas y tensiones, debido al desigual enfriamiento de las piezas entre la superficie y el interior de ellas. Lo cual quiere decir que si el enfriamiento es más lento, es mas uniforme.

Las velocidades críticas son bastantes grandes en los aceros al carbono llegando hasta 350°C por segundo, para los aceros de $0.50\% \text{C}$ y 200°C por segundo en aceros de $0.80\% \text{C}$. En los aceros especiales las velocidades son mucho más bajas, siendo en algunos inferiores a 35°C . por segundo.

Los medios de enfriamiento más empleados son:

- AGUA, a una temperatura máxima de 20°C
- ACEITES, con las siguientes características: Viscosidad de 5 a 6° Enfler, hasta 20° de viscosidad máxima a la temperatura ambiente, deben ser los aceites poco volátiles, para que desprendan pocas burbujas al ponerse en contacto con el metal caliente y no se consuman mucho. Deben ser resistentes a la oxidación.
- PLOMO. Se emplea para templar herramientas de aceros especiales, como son muelles y alambres, cuerdas de piano, etc. la temperatura de fusión del plomo oscila entre 400° y 600°C , y posee gran conductividad térmica.
- MERCURIO. Se emplea para templar piezas delicadas, como instrumentos de cirugía, pero su elevado precio limita mucho su utilización.
- SALES FUNDIDAS. Actualmente se utilizan mucho los baños de sales fundidas, formadas por proporciones variables de cloruro, nitratos, carbonatos, cianuros, etc. que abarcan temperaturas desde 150° a 1300°C estas sales no sólo se utilizan como medio de enfriamiento para temple, sino también para calentar a una temperatura determinada un metal, y también para cementar y nitrurar.

4.8. TEMPLABILIDAD

Se define la templabilidad como la aptitud de los aceros para dejarse penetrar y distribuir la dureza por el temple en el interior de las piezas.

La templabilidad se refiere únicamente a la facilidad de penetración por el temple y no a las características obtenidas con él. Así, por ejemplo, la dureza superficial obtenida con un acero al carbono de 0.60% C, al templearlo será superior a la de un acero Cr-Ni de 0.30% C, y sin embargo la templabilidad del acero Cr-Ni, es mucho mayor que la del acero al carbono, sin embargo la resistencia mecánica del acero al carbono es inferior a mayor diámetro o espesor que el acero al Cr-Ni. Por tanto la templabilidad se refiere a las cualidades del acero que facilitan la penetración del temple, y como consecuencia se obtienen mejores características mecánicas.

4.9 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TEMPLABILIDAD

Influyen en la templabilidad, principalmente, los elementos aleados y el tamaño del grano.

Los elementos que mas favorecen la penetración del temple, son el Mn, Mo y el Cr y con la aleación de estos elementos y el aumento del tamaño del grano, disminuyen la velocidad crítica del temple (figura 4.3)

4.10 MEDIDA DE LA TEMPLABILIDAD

Siendo la templabilidad una característica muy importante a tener en cuenta en la elección de los aceros, sobre todo para piezas grandes, estudiaremos los diversos métodos para analizar el comportamiento de los aceros en el temple, entre los mas utilizados son:

- Primero. El examen de la fractura de probetas templadas.
- Segundo. El estudio de las curvas de dureza en U o resistencia en el interior de las probetas templadas.
- Tercero. El ataque químico de las secciones transversales templadas.
- Cuarto. La determinación de las zonas de 50% de martensita

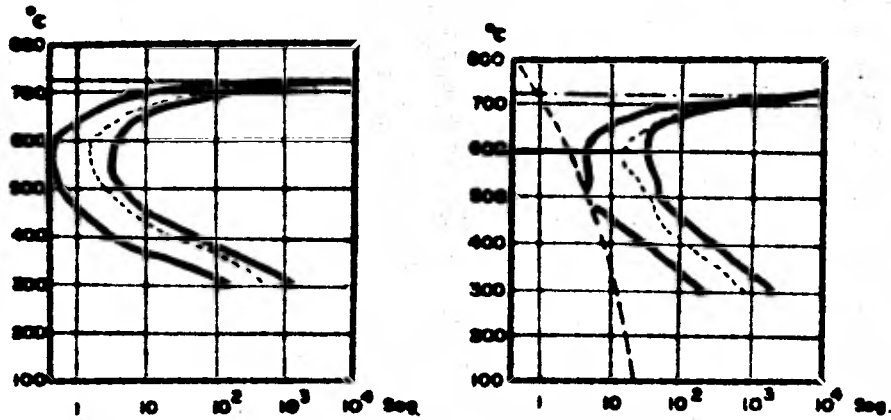


FIG.4-2 Influencia del tamaño del grano en la velocidad crítica de temple de un acero 0'87 por 100 de C, 0'30 por 190 de V. A) grano fino B) grano grueso.

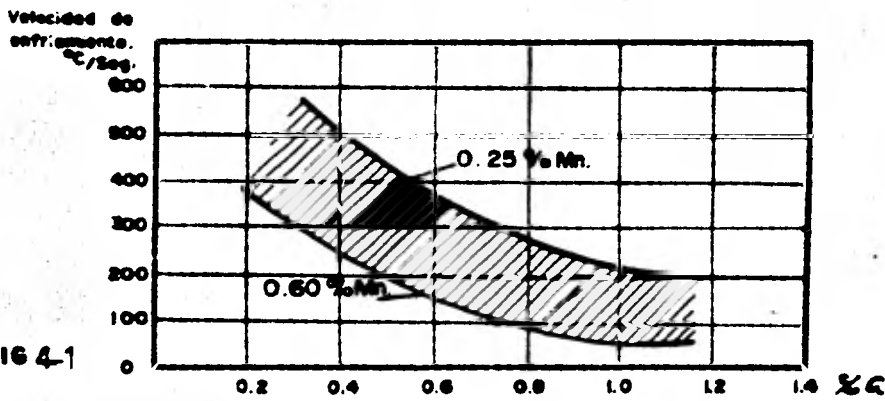


FIG 4-1

Velocidades críticas de temple de los aceros al carbono hipoeutectoides.

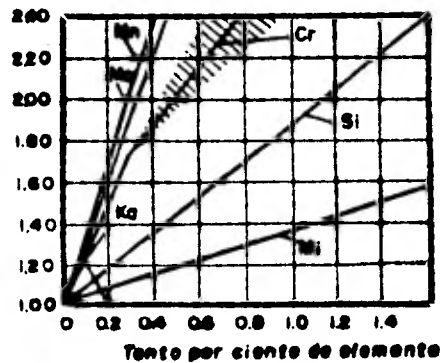


FIG.4-3 Influencia de los elementos aleados en la templeabilidad del acero (Grossmann)

Quinto. El examen JOMINY

Los factores que hay que conocer y tener en cuenta para determinar la penetración del temple de un acero son dos:

- La dureza y
- La distribución de la dureza en el interior de las piezas

Examen de las Fracturas. Se preparan barras de 3/4" de diámetro y una pulgada de longitud, del acero que se desea ensayar. Se templen enfriando en agua, después de fracturarlas por choque, se examina la fractura, la zona templada o exterior es de grano fino y la zona interior no templada es de grano grueso. (figura 4.4)

4.11 DIAMETRO CRITICO IDEAL

Diámetro crítico ideal es el diámetro máximo que puede tener una barra de un acero de composición y tamaño de grano determinado, para que después de templearla en un medio de capacidad de enfriamiento infinita tenga en su núcleo un 50% de martensita, el diámetro crítico ideal valora perfectamente la templeabilidad y permite calcular el diámetro máximo del acero templado en cualquier medio para obtener en su núcleo un 50% o un 99% de martensita. (fig. 4.5)

CALCULO DEL DIAMETRO CRITICO IDEAL

El valor del diámetro crítico ideal de un acero determinado, de composición y tamaño del grano conocidos, se puede calcular con las siguientes fórmulas:

$$\text{Diámetro} = G \times \sqrt{\%C.}$$

El coeficiente G depende del tamaño del grano A.S.T.M., según el cuadro siguiente.

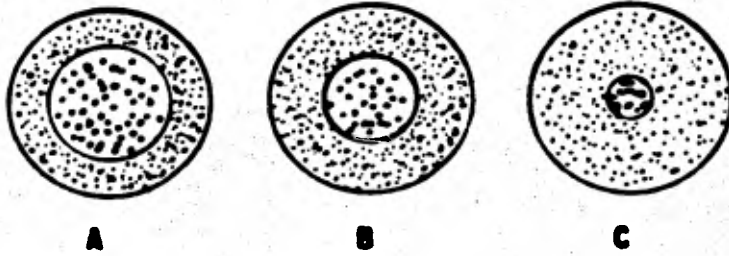


FIG 4-4 Determinación de la templabilidad por el examen de las fracturas de probetas templadas. Las zonas de grano grueso han quedado sin templar. A) acero de baja templabilidad. B) acero de templabilidad media. C) acero de alta templabilidad.

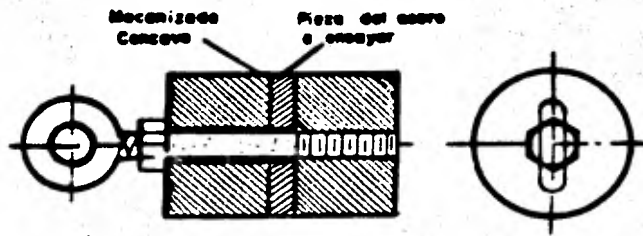


FIG 4-6 Dispositivo para la determinación de la templabilidad de los aceros por las curvas en U.

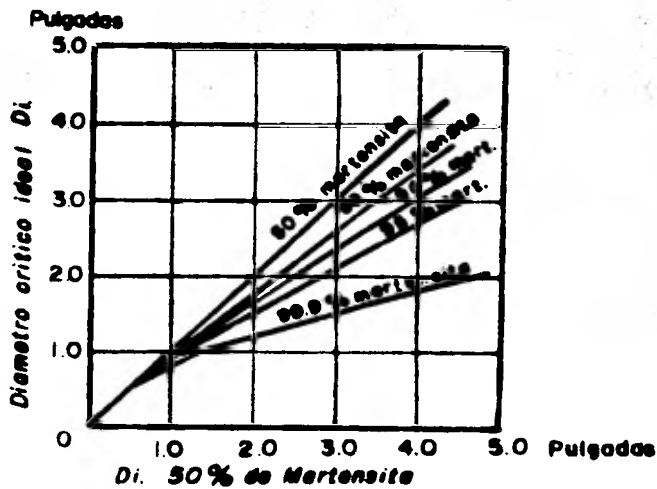


FIG 4-5 Equivalencia entre los diámetros críticos para distintos porcentajes de martensita en el acero templado.

COEFICIENTE DE GRANO PARA EL CALCULO DEL DIAMETRO CRITICO IDEAL

Tamaño del grano A.S.T.M.	50% de martensita	99% martensita
1.-	0.546	0.410
2.-	0.504	0.378
3.-	0.465	0.350
4.-	0.429	0.323
5.-	0.397	0.298
6.-	0.366	0.275
7.-	0.338	0.254
8.-	0.312	0.234

Si el acero contiene elemento de aleación se multiplica el valor anterior por los coeficientes obtenidos en el cuadro que sigue:

COEFICIENTE DE ALEACION PARA EL CALCULO DEL DIAMETRO CRITICO IDEAL

Manganeso	1 + 4.10% Mn.
Fósforo	1 + 2.83% P.
Azufre	1 - 0.62% S.
Silicio	1 + 0.64% Si.
Cromo	1 + 2.33% Cr.
Niquel	1 + 0.52% Ni.
Molibdeno	1 + 3.14% Mo.
Cobre	1 + 0.27% Cu.

4.12 ESTUDIO DE LAS CURVAS EN "U"

El ensayo consiste en cortar la barra en diámetro que se desea analizar con un espesor de 10 mm, se mecanizan y se rectifican ambas caras para que las huellas obtenidas al medir la dureza sean más nítidas.- Estos discos se colocan entre dos cilindros del mismo material y diámetro y se aprisionan el conjunto con espárrago roscado a uno de los cilindros, se temple y luego se desarma midiendo la dureza del disco en sus dos caras. Con las durezas -

medidas y su situación respecto al eje de las probetas, se dibujan las curvas denominadas curvas "U", cuya forma da una idea clara de la templabilidad de cada tipo de acero para un diámetro determinado (Fig. 4.6)

4.13 ENSAYO DE JOMINY

Consiste este ensayo en templar en condiciones determinadas el extremo de una probeta cilíndrica de acero. La probeta que se considera normal y la más utilizada es la indicada en la figura 4.7; así mismo la figura 4.8 nos muestra el modelo de una probeta especial para acero de baja templabilidad.

Las probetas deben normalizarse previamente a una temperatura de 80°C más elevada que el punto Ac_3 . La temperatura de temple será de unos 50°C a 60°C más elevada que Ac_3 el enfriamiento se realiza en una instalación especial para este ensayo, el cual recibe la probeta un chorro de agua a temperatura comprendida entre 10° y 40°C por un orificio de 12.5 mm. de diámetro de salida de agua, el caudal del agua se regula con una válvula de manera que la altura del chorro sea de unos 65 mm, cuando la probeta no está colocada encima de él. Entonces la canalización debe tener otra válvula independiente para abrir y cerrar rápidamente según figura 4.9.

La probeta debe sacarse del horno y colocarse en el aparato enfriador lo más rápidamente posible, manteniéndola sobre el chorro de agua durante 10 minutos, completando su enfriamiento de la probeta sumergiéndola en agua a temperatura ambiente. A continuación se determina la dureza sobre la línea central de estos planos en puntos situados a intervalos de $1/16''$ a partir del extremo templado. Los valores obtenidos se llevan a un gráfico en el que las ordenadas representan las durezas RC y las abscisas al extremo templado.

Las curvas Jominy no sólo dan ideas a primera vista de la templabilidad del acero por su mayor o menor inclinación, sino que los valores de las durezas a lo largo de la generatriz constituyen una verdadera medida de la templabilidad (se presenta

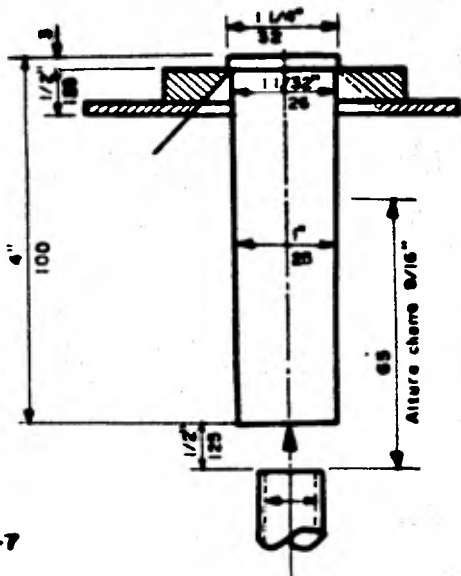


FIG 4-7

Probeta normal para el ensayo de Jóminy.

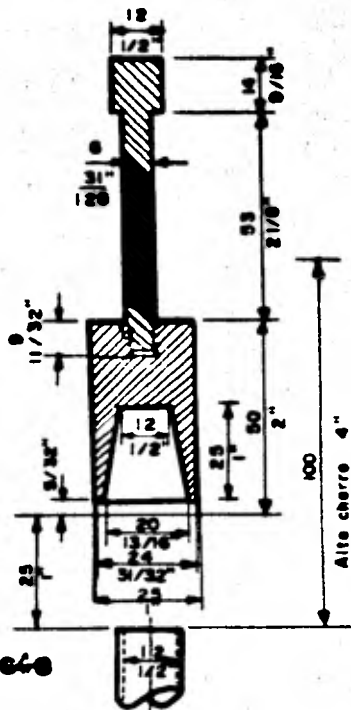
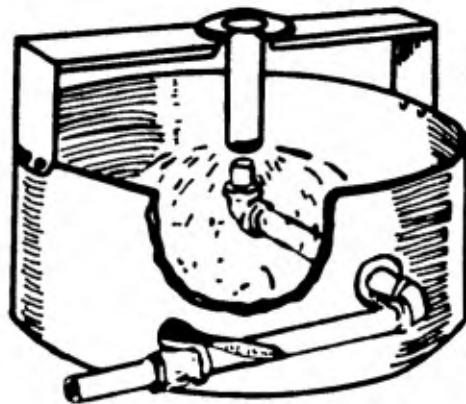


FIG 4-8

Probeta especial para el ensayo de Jóminy de aceros de baja templabilidad.

Aparato especial para la realizacion del ensayo de Jóminy

FIG 4-9



en el capítulo No. 7 una gráfica de este tipo).

4.14 REDONDO EQUIVALENTE

Hasta ahora se ha valorado la templabilidad de barras redondas. Pero como las piezas que se templan no son todas cilíndricas se ha tratado de hallar un redondo equivalente a la sección que interese sea cuadrado, rectangular u octagonal.

La gráfica de la figura 4.10 permite determinar el diámetro de una barra cilíndrica de acero que temple igual que una pieza de una sección dada con la misma severidad de temple.

a) Perfil plano (chapa). Se toma en las abscisas del gráfico de la figura mencionada el espesor de la chapa, se sube la ordenada hasta llegar a la curva denominada chapa se traza una horizontal y las abscisas del punto donde corte a la curva O , dará el diámetro del redondo equivalente, esta curva horizontal dará para perfil plano:

Primero.- La velocidad de enfriamiento en el punto en que corte al eje de las ordenadas.

Segundo.- El diámetro ideal del redondo equivalente cuyo núcleo se enfría a la misma velocidad, por la abscisa del punto en que la horizontal corte a la curva de diámetro ideal.

Tercero.- La distancia al extremo templado de la probeta Jominy que se enfría a la misma velocidad que el núcleo de la chapa.

b) Perfil rectangular de dimensiones axb .- Se haya el diámetro del redondo equivalente determinando primero la velocidad de enfriamiento correspondiente a una chapa de espesor a . Esta velocidad se hallará como el caso anterior, tomando la dimensión a en el eje de las abscisas, subiendo una ordenada hasta que corte a la curva de chapa y trazando una horizontal hasta que corte el eje de las ordenadas. El valor de la ordenada correspondiente a este punto será la velocidad buscada V_a . Se repite la operación para la chapa de espesor b y se halla la velocidad V_b , se suman las velocidades V_a y V_b , el diámetro de redondo equivalente vendrá dado por la abscisa del punto en que la horizontal trazada por el eje de las ordenadas en el valor $V_a + V_b$, corte a la curva de -

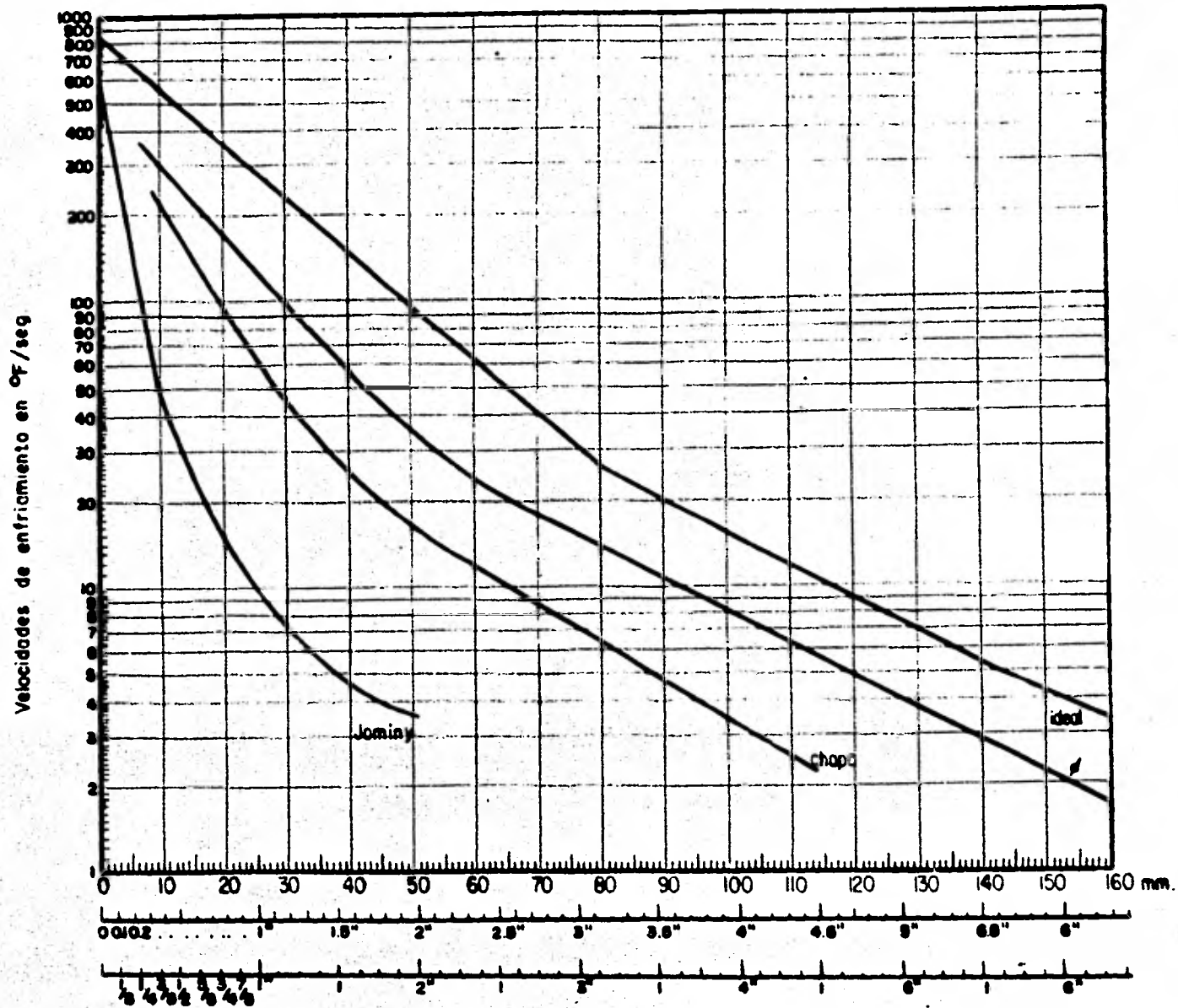


FIG-10

Diámetros expresores y distancias al extremo templado en mm. y pulgadas.

Curvas de equivalencia entre chapas y redondos templados en agua. (Colva Rodés)

los diámetros. La misma horizontal dará en su encuentro con las curvas correspondientes, el diámetro ideal equivalente y la distancia al extremo templado de la probeta Jominy.

c) Perfil cuadrado de dimensiones axa . Se halla la velocidad del enfriamiento correspondiente a una chapa de espesor a se duplica esta velocidad V_a y se traza por su valor en el eje de las ordenadas la horizontal como en el caso anterior.

d) Piezas prismáticas de dimensiones $axbxc$. Se determinan las velocidades V_a , V_b y V_c como en el caso b). Se suman las $V_a + V_b + V_c$ y la horizontal trazada por el valor de esta suma en el eje de las ordenadas, dará al cortar las curvas correspondientes los valores buscados.

e) Pefiles exagonales y octogonales. Se hallan los redondos equivalentes tomando valores intermedios entre las secciones circulares circunscritas y la de los cuadrados, teniendo en cuenta que cuando más lado tenga la sección considerada más se aproximarán sus valores a los del círculo.

4.15 CLASE DE TEMPLE

Actualmente se emplean ocho clases de temple, que se diferencian tanto por la técnica de operación como por los resultados obtenidos.

Temples Normales	De austenización completa
	De austenización incompleta
Temples interrumpidos	En agua y en aceite
	En agua y aire
Temples isotérmicos	Austempering
	Martempering

Oxiacetilénico

Temple superficiales

Por inducción

Temple normal de austenización completa. Se aplica generalmente a los aceros hipoeutectoides de menos 0.89%C. Se calienta el acero a una temperatura aproximada de 50°C por encima de la crítica superior Ac_3 , según indica en la figura 4.11. Se mantiene a esta temperatura, hasta que todo el material sea transformado en austenita. Y después enfría en el medio adecuado, agua, aceite, baños de sales y aire, etc. de manera que la velocidad de enfriamiento sea superior a la crítica. El único constituyente final del acero será la martensita si el temple es perfecto.

Temple normal de austenización incompleta. Se aplica generalmente a los aceros hipereutectoides de más de 0.89% de C y consiste en calentar el acero hasta una temperatura superior a 50°C la crítica Ac_3 para que se transforme únicamente la perlita en austenita. Después se enfría rápidamente a una velocidad superior a la crítica para que la austenita formada se transforme en martensita.

Temple interrumpido en agua y en aceite. Es un temple normal, con la diferencia de que el enfriamiento tiene lugar primero en agua, para que sea suficientemente rápido para rebasar la velocidad crítica y luego en aceite mientras tiene lugar la transformación de la austenita y martensita. Este tratamiento se utiliza para templar herramientas de forma complicada fabricadas con aceros de temple al agua. Y tiene por objeto evitar, con el enfriamiento más suave en aceite, que las diferencias de temperaturas en la masa de las piezas sean demasiado grandes durante la transformación de la austenita en martensita, evitando así deformaciones y grietas.

Temple Interrumpido en Agua y Aire. Consiste en interrumpir el enfriamiento de una pieza en agua, sacándola al aire cuando la temperatura de la pieza haya bajado hasta unos 250°C . Esto tiene la ventaja de que se igualan las temperaturas en diferentes zonas de la pieza y se evitan deformaciones y agrietamientos. También

se practica enfriamiento en aceite y después al aire.

Temple Isotérmico Austempering. Es un tratamiento isotérmico en el que se transforma la austenita a temperatura constante. Se denomina también temple diferido ó temple bainítico. Consiste este tratamiento en calentar el acero a una temperatura superior a la crítica Ac_3 y después enfriarlo bruscamente hasta una temperatura superior a MS (iniciación de la martensita) que oscila de 250° a $-550^\circ C$. La transformación se verifica isotérmicamente, transformándose la austenita en bainita, para que la estructura sea totalmente bainítica, el enfriamiento hasta la temperatura de temple, debe ser rápido, como se aprecia en la figura 4.12.

El constituyente final del acero templado es la bainita. No hace falta revenido, la principal ventaja del austempering es la ausencia de tensiones internas y grietas microscópicas que se producen en los temples ordinarios martensíticos. La tenacidad es mucho más elevada en las piezas tratadas con austempering que con las piezas templadas y revenidas normalmente. Este tratamiento se usa mucho para la fabricación de las piezas chicas o herramientas de acero al carbono de 0.50% de C a 1.20% de C. o de baja aleación.

Temple Isotérmico Martempering. Se efectúa calentando el acero por encima de la temperatura crítica Ac_3 y después se enfría a una velocidad superior a la crítica hasta una temperatura ligeramente superior a MS ., o sea de 200 a $300^\circ C$ que es la iniciación de la formación de la martensita, después se saca la pieza y se enfría al aire, al final se le da un revenido obteniendo así martensita revenida.

La principal ventaja y casi puede decirse el único objeto del martempering, es evitar las deformaciones y tensiones, puesto que se da tiempo al acero a igualar su temperatura en toda su masa, su aplicación queda limitada a piezas que no sean muy grandes.

El martempering se emplea en la fabricación de engranes, troqueles, pistas de cojinetes de bolas, etc. en todos los

casos las deformaciones producidas se reducen a una fracción muy pequeña de las que se producen con el temple normal. (ver figura 4.13)

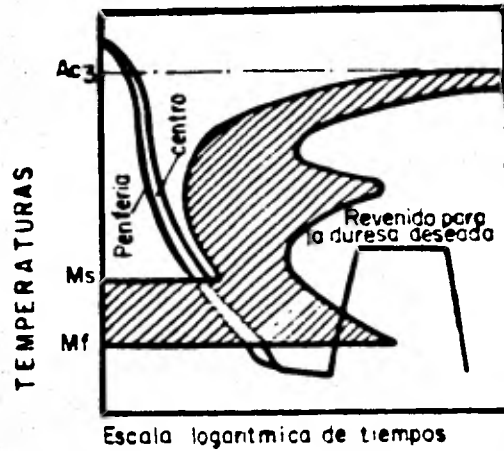
Temple Superficial Oxiacetilénico. Consiste en templar solamente la zona superficial del acero, calentándolo con una llama oxiacetilénica y enfriando después a una velocidad superior a la crítica, generalmente con chorro de agua, aunque algunas veces se realiza con corriente de aire o depósito de aceite o agua, se aplica preferentemente a los aceros de 0.30% a 0.60% de carbono, ya que en acero de mayor porcentaje de carbono se corre el peligro de que se desconche la capa superficial, la profundidad de la zona templada suele ser de 1 a 6 mm. y la velocidad de avance del soplete es de alrededor de 100 mm. por minuto.

Temple Superficial por Inducción. Su fundamento es el mismo que el del temple oxiacetilénico, pero en lugar de calentar superficialmente las piezas con una llama, se calientan por medio de corrientes de alta frecuencia y la temperatura alcanzada llega a sobrepasar los 1000°C y en pocos segundos.

Las instalaciones más empleadas de temple por inducción consta de un motogenerador que produce corriente alterna de una frecuencia variable entre 60 y 25,000 ciclos por segundo o un generador eléctrico productor de frecuencia de 100,000 a 5'000,000 de ciclos por segundo, las corrientes de alta frecuencia son llevadas a una bobina de 2 o 3 espiras de forma adecuada a las piezas que se han de templar, como se puede apreciar en las figuras 4.14 y 4.15.

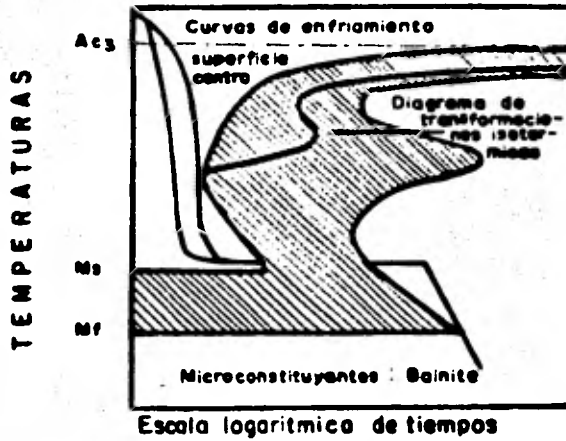
Se hace pasar la pieza a través de las espiras o se colocan éstas encima de la pieza, según el método de trabajo, e instantáneamente se calienta la periferia de las piezas a la temperatura de temple superior a A_c3 . El anillo provisto de orificios en su corona interior, por los que salen pequeños chorros de agua, produce el enfriamiento brusco de la pieza inmediatamente después de haberse calentado, la profundidad de la zona templada puede graduarse variando la frecuencia, la potencia y el tiempo de calentamiento.

FIG 4-



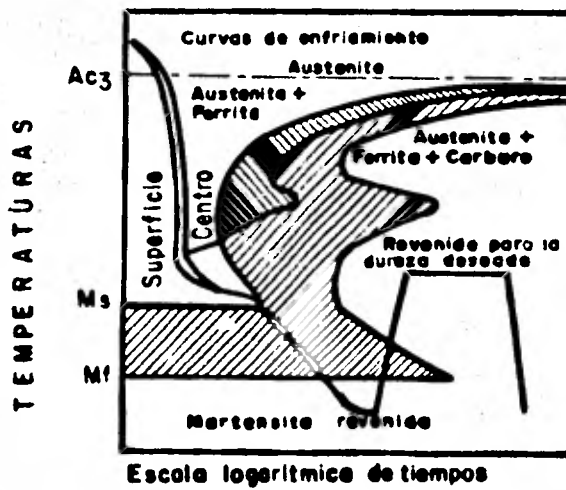
Representación esquemática del temple normal y revenido en el diagrama TTT.

FIG



Representación esquemática del austempering en el diagrama TTT.

FIG



Representación esquemática del Martempering en el diagrama TTT.

4.16 REVENIDO

Los aceros después del temple suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos para que van a ser destinados, por lo que a continuación se utiliza en revenido. Este consiste en calentar el acero a una temperatura crítica inferior a A_{c1} enfriándolo luego generalmente al aire y otras veces en aceite o agua, según la composición. Antiguamente a los aceros sometidos a los dos tratamientos, es decir temple y revenido se les llamaba ACEROS DE BONIFICACION.

El objeto del revenido es mejorar la tenacidad o resistencia y eliminar las tensiones internas que tienen los aceros templados.

- A) Modificación de las Características Mecánicas del Acero con el Revenido. Recordando que después de un temple teóricamente perfecto, el acero queda constituido por cristales de martensita, en esa forma el acero es muy duro, pero tiene poca tenacidad, si el acero templado se vuelve a calentar a diferentes temperaturas comprendidas entre 0° y 700°C y después se enfría al aire, la resistencia a la tracción disminuye progresivamente y al mismo tiempo aumenta la ductilidad y la tenacidad.
- B) Factores que influyen en el Revenido. Los principales factores que influyen en el revenido son: El estado inicial de la pieza, la temperatura del revenido, la duración del revenido y el tamaño de la pieza.
- C) Modificaciones de volumen en el revenido. Los aceros por efecto de las transformaciones que experimentan en el revenido en general se contraen. En la figura 4.16 puede verse lo que ocurre con diversos aceros al carbono. En la misma gráfica se señalan en las abscisas las temperaturas de revenido y en las ordenadas las dilataciones o contracciones que el acero experimenta por efecto del revenido. La primera anotación corresponde a los aceros en bruto de laminación y la segunda a los aceros templados, pudiendo observarse la di-

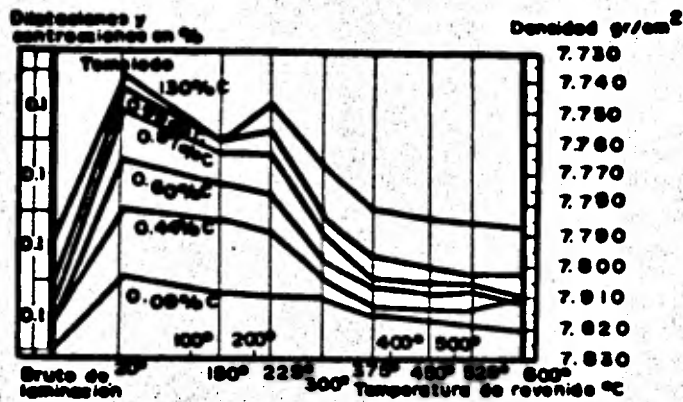


FIG 4-15

Dilataciones y contracciones que experimentan los aceros al carbono en función de la temperatura de revenido.

Esquema de instalación eléctrica para temple por inducción.

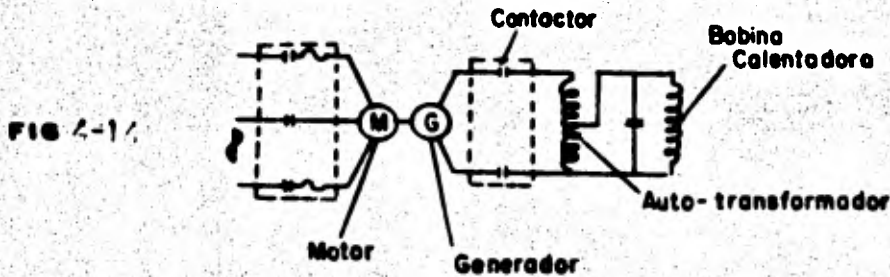


FIG 4-14

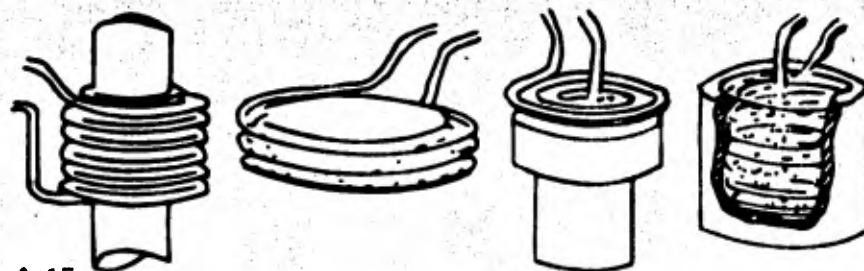


FIG 4-13

Algunos tipos de espiras calentadoras del temple por inducción.

latación que todos ellos experimentan en el temple, y la -
contracción que experimentan en el revenido.

Las transformaciones que ocurren en el revenido son -
de tres etapas principales:

PRIMERA ETAPA. Se realiza a bajas temperaturas, inferiores a -
300°C, y en ella se precipita un carburo de hierro y el conteni-
do en carbono de la martensita baja a 0.25% de C, como pode-
mos ver en la figura 4.17.

SEGUNDA ETAPA. Sólo se presenta cuando aparece austenita re-
tenida en la microestructura del acero templado y en esa etapa -
la austenita retenida se transforma en bainita, esa bainita, al ser
calentada en el revenido a altas temperaturas, sufre una precipita-
ción de carburo de hierro con formación final de cementita y ferrita.

TERCERA ETAPA. El carburo de que apareció en la primera -
etapa se transforma en cementita Fe_3C , a alta temperatura, la -
martensita formada se transforma en cementita y ferrita; en los -
aceros de alta aleación se presenta una cuarta etapa, en las altas
temperaturas de revenido que corresponde a la precipitación de -
carburos de aleación, que dan lugar a un endurecimiento secunda-
rio.

Se puede decir que en los revenidos a temperaturas re-
lativamente elevadas, la martensita se transforma en ferrita y par-
ticulas de cementita globular que por ser de tamaño muy fino son
difíciles de observar.

En general para el revenido se recomienda temperatu-
ras de 150° a 200°C aproximadamente, porque eliminan las tensio-
nes que tienen los aceros después del temple y aumentan la tena-
cidad, sin disminuir, o disminuyendo muy poco, la dureza del --
acero.

4.17 FRAGILIDAD DEL REVENIDO

Este fenómeno se presenta cuando después del temple,

el acero permanece durante bastante tiempo en la zona de temperaturas entre 450 y 550°C. Cuando el revenido se hace a temperaturas superiores a 550°C la fragilidad se puede producir si el enfriamiento es muy lento. Cuando el revenido se hace en la zona de 450° a 550° C y la permanencia a esas temperaturas es bastante prolongada, la fragilidad se presenta siempre en los aceros sensibles a este fenómeno, independientemente de la velocidad de enfriamiento. Entonces se deben evitar esas temperaturas de revenido y en el caso de emplearse se procurará que la duración sea lo mas corta posible, cuando se emplean temperaturas de revenido superiores a 550°C se puede evitar la fragilidad efectuando el enfriamiento muy rápidamente para evitar una permanencia de las piezas a esas temperaturas peligrosas.

4.18 CEMENTACION

La mayor parte de las piezas que componen las máquinas y motores se fabrican de tal forma que sus propiedades mecánicas sean bastante uniformes en toda la masa, sin embargo en ciertos mecanismos es necesario que algunas piezas tengan superficies muy duras y resistentes al desgaste y a la penetración y el núcleo central muy tenaz, para poder soportar los choques a que están sometidos. Los procedimientos mas usados actualmente para conseguir estas características son los tratamientos termoquímicos y los tratamientos superficiales.

La cementación es el tratamiento más antiguo de todos esos procedimientos termoquímicos y superficiales, y consiste en aumentar el contenido de carbono en la superficie de las piezas de acero, rodeándolas con un medio carburante y manteniendo todo el conjunto, durante un cierto tiempo a elevada temperatura, luego se templan las piezas, quedando con gran dureza superficial y núcleo central muy tenaz.

4.19 CIANURACION

Este procedimiento se emplea para endurecer superficialmente pequeñas piezas de acero. Los baños de cianurar contienen cianuro, carbonato y cianato sódico, con o sin cloruro sódico,

como diluyente.

El contenido de cianuro en el baño suele variar de 20 a 50%, el cianato sódico se forma por oxidación del cianuro durante el trabajo, operando a temperatura de 760° a 950° C y enviando baños cubiertos con escamas de grafito. El carbonato sódico es el último producto que se forma en los baños por descomposición u oxidación del cianuro, por la acción oxidante del aire.

El cianuro se oxida al reaccionar con el oxígeno del aire, dando cianato $2\text{NaCN} + \text{O}_2 = 2 \text{NaCNO}$.

El cianato sódico a la temperatura de trabajo se descompone por la acción del calor en cianuro sódico, carbonato sódico, óxido de carbono y nitrógeno naciente. $\text{NaCNO} + \text{CALOR} = 2\text{NaCN} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO} + 2\text{N}$.

El cianuro formado vuelve a comenzar el ciclo, siendo siempre el carbonato el producto final de la transformación.

El óxido de carbono que se libera durante la descomposición del cianato, se descompone en Carbono naciente y dióxido de carbono que en contacto con el acero caliente se disuelve en el hierro gamma y se difunde hacia el interior de la pieza.

La cianuración se emplea no solo para endurecer aceros de bajo contenido de carbono sino también en aceros de mayor contenido de carbono con y sin aleación. El principal inconveniente de los baños de cianuro es de no poder conseguir capas duras de gran profundidad.

4.20 NITRURACION

La nitruración es un procedimiento de endurecimiento superficial en el que por absorción de nitrógeno, se consiguen durezas extraordinarias en la periferia de las piezas de acero.

Las piezas que se desea nitrurar son siempre templadas y revenidas antes de la nitruración, para que el núcleo central que

de con una resistencia elevada y sea capaz de resistir durante el trabajo, las grandes presiones que le transmitirá la capa exterior dura. Las piezas después de templadas y revenidas se colocan en una caja cerrada, y todo el conjunto se introduce dentro de un horno a una temperatura de 500°C y se hace pasar amoníaco y al calentarse el amoníaco se efectúa la siguiente reacción: - -
$$2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3\text{H}_2$$
 formándose nitrógeno atómico que se combina con el aluminio, cromo, molibdeno, vanadio y hierro de los aceros, formando nitruros en la capa periférica.

Con procesos normales de 20 a 80 horas de duración se obtienen capas nitruradas de espesores variables de 0.20 a - 0.70 mm.

La nitruración no modifica las características obtenidas en el núcleo por temple y revenido, siempre que éste último haya sido hecho a temperatura superior a 500°C por ser la temperatura de nitruración relativamente baja, no hay aumento del tamaño del grano, por tanto no es necesario someter las piezas nitruradas a ningún otro tratamiento de regeneración posterior.

Los pasos a seguir en el proceso de nitruración son: Las piezas laminadas, forjadas y estampadas, se mecanizan dejando un exceso de unos 2 mm sobre las medidas finales, se templan a la temperatura deseada y se les da un revenido para conseguir en el núcleo la resistencia deseada, luego se termina la mecanización dejándolas casi exactamente a las medidas finales, algunas veces se les da un tratamiento para eliminar las tensiones del mecanizado, después se protegen las superficies que no se desea endurecer, se efectúa la nitruración pudiéndose hacer posteriormente un ligero rectificado.

4.21 VENTAJAS DE LA NITRURACION

Las propiedades más notables de las piezas nitruradas son las siguientes:

- A) Gran dureza, después de la nitruración se consiguen durezas elevadísimas que no se obtienen con otros procedimientos de

endurecimiento superficial, como se observa en la figura -- 4.18. Cuando interesa que la capa dura sea de gran tenacidad, conviene utilizar aceros que después de nitrurar queden con durezas de 650 a 850 Vickers.

- B) Gran resistencia a la corrosión, después de la nitruración, - estos aceros resisten mejor la acción corrosiva del agua dulce, agua salada, vapor o atmósferas húmedas que los aceros ordinarios, si se interesa la máxima resistencia a la corrosión no deben rectificarse las piezas después de nitruradas.
- C) Ausencia de deformaciones, como en el tratamiento de nitruración no es necesario enfriar las piezas rápidamente desde alta temperatura, en agua o aceite, se evitan los graves inconvenientes de los enfriamientos rápidos que pueden dar origen a deformaciones importantes.
- D) Endurecimiento exclusivo de determinadas superficies de las piezas, durante la nitruración se pueden proteger perfectamente las superficies que no se desea endurecer aunque éstas sean de formas irregulares.
- E) Retención de las durezas a temperaturas elevadas, las capas nitruradas conservan gran dureza hasta los 500°C especialmente cuando la duración del calentamiento no es muy prolongada.

4.22 CARBONITRURACION

La carbonitruración es un procedimiento muy empleado en la actualidad para endurecer superficialmente los aceros. Este tratamiento se diferencia de la cementación, en que parte del endurecimiento se consigue por la acción del nitrógeno, las piezas que se carbonitruran se calientan a temperaturas próximas a 850°C en una atmósfera gaseosa que cede al acero simultáneamente carbono y nitrógeno y enfriándolas en un medio adecuado para obtener gran dureza superficial y buena tenacidad en el núcleo.

Para introducir el carbono en el acero, se emplea un gas --

carbonoso o un líquido carburante que se vaporiza en el horno, - el nitrógeno absorbido por el acero proviene del amoniaco que se incorpora al gas.

Este proceso ha recibido diferentes nombres como cianuración seca, cianuración gaseosa y nitrocarburación, se comenzó a usar hacia el año de 1930, pero cuando se adquirió gran desarrollo, ha sido a partir del año de 1945.

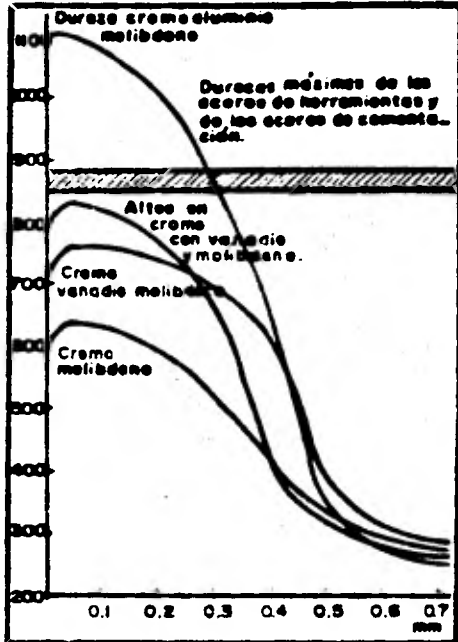
Una de las ventajas más importantes de la carbonitruración es que el nitrógeno absorbido en el proceso disminuye la velocidad crítica de temple del acero. Esto significa que la capa periférica de un acero carbonitrurado, temple mucho más fácil que cuando el acero ha sido solo cementado.

En la figura 4.19 puede observarse el efecto que sobre la templabilidad de un acero al carbono tiene la carbonitruración, realizada a diferentes temperaturas y la templabilidad del mismo acero ya cementado, se observa que la templabilidad debido a la presencia de nitrógeno es más acusada, cuando se emplean bajas temperaturas de carbonitruración. La presencia de nitrógeno en la austenita del acero carbonitrurado, cuando éste es calentado a alta temperatura de lugar a la mayor diferencia entre la cementación y la nitruración, la austenita con carbono y nitrógeno es más estable a bajas temperaturas que la austenita con carbono.

La austenita con carbono y nitrógeno se transforma en martensita a más baja temperatura que cuando no tiene nitrógeno.

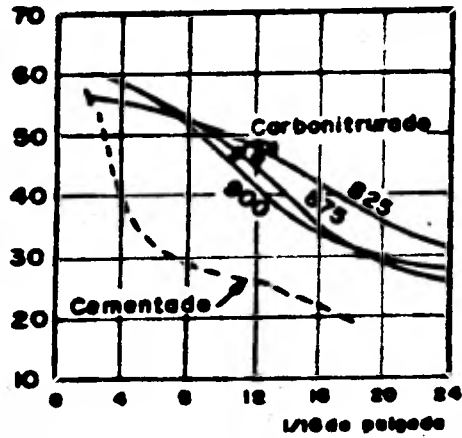
Los espesores de las capas endurecidas por carbonitruración varían de 0.1 a 0.6 mm.

La dureza de la capa periférica que suele variar de 60 a 65 Rc, dependiendo del contenido de carbono y nitrógeno, - de la cantidad de austenita retenida y de la presencia o ausencia de los compuestos complejos de hierro, carbono y nitrógeno que se forman cuando el proceso se hace a baja temperatura.



Durezas que se obtienen después de la nitruración de diferentes tipos de aceros.

FIG 4-18



Curvas Jominy correspondientes a la composición de la capa exterior cementada y carbonitrurada según los casos a 825°, 875° y 900° de un acero al carbono de C=0,08 %.

FIG 4-19

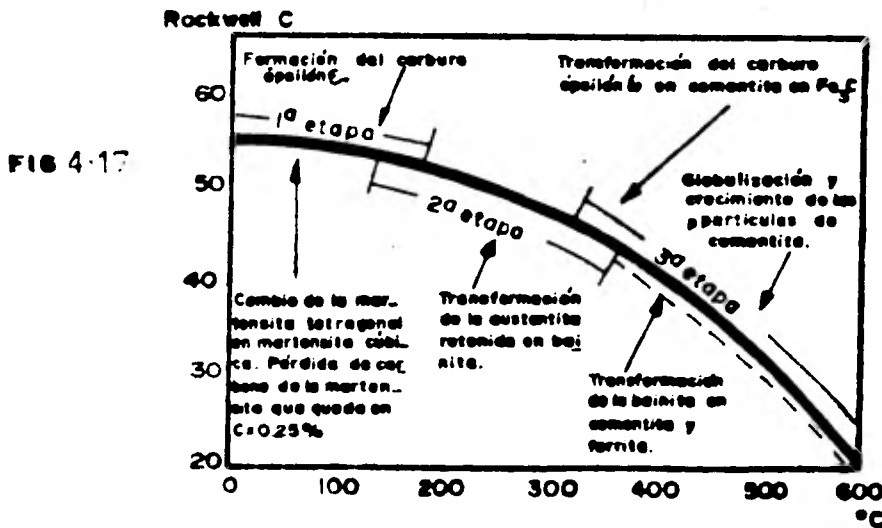


FIG 4-17

Principales etapas y transformaciones que sufren los aceros en el revenido.

Estos aceros conservan después de revenido, durezas más elevadas que los aceros de cementación, debido a la presencia de nitrógeno en la capa carbonitrurada. Generalmente es necesario emplear temperaturas de revenido más altas que las empleadas en la cementación para obtener la misma dureza, el empleo de temperaturas de revenido más elevadas es una ventaja para reducir bastante las tensiones residuales de las piezas.

La composición de la capa exterior depende de la temperatura y tiempo de tratamiento, de la composición de la atmósfera y del tipo de acero empleado, en general, cuanto más alta sea la temperatura de carbonitruración, mayor es la profundidad de la capa exterior dura. Cuando se emplea temperaturas bajas se llega a producir una capa de composición compleja, compuesta de hierro-carbono y nitrógeno que es dura sin necesidad de tratamiento térmico posterior, siendo necesario para que se produzca esa capa emplear altos porcentajes de amoníaco.

PRACTICA DE LA CARBONITRURACION

El equipo necesario para realizar la carbonitruración, está compuesto por un horno de cámara, de retorta o mufla, en donde se introduce el gas o la atmósfera que suministra carbono y nitrógeno, en forma apropiada para su incorporación al acero, y la instalación de preparación de la atmósfera correspondiente. -- Cualquier equipo que sirva para la cementación gaseosa, puede ser utilizado para carbonitrurar, ya que sólo hace falta adicionarle amoníaco a la atmósfera usada para la cementación. Para suministrar el carbono suele emplearse gas natural, gas de coque y gas gasógeno. También se emplean hidrocarburos líquidos que se vaporizan a alta temperatura. El amoníaco suele emplearse en estado líquido y se almacena en botellas. En realidad el proceso es muy parecido a la cementación gaseosa, con la diferencia de que en la carbonitruración se incorpora el amoníaco a la atmósfera del -- horno.

Una composición normal de un gas portador es la siguiente: $\text{CO} = 21\%$, $\text{H}_2 = 40\%$, $\text{CH}_4 = 1\%$, resto nitrógeno y -

trazas de CO_2 , H_2O y O_2 , este gas después de depurado, se utiliza mezclado con amoníaco solo o mezclado con amoníaco y pequeñas cantidades de hidrocarburos, con objeto de producir en cada caso las cantidades de C y N_2 convenientes, para que se formen capas periféricas de la dureza conveniente. La cámara del horno debe estar bien aislada del exterior para que no se modifique la composición de los gases que hay en su interior.

Con la adición de hidrocarburos se consiguen muy altos contenidos en carbono. Pero se debe cuidar estas adiciones, puesto que con el exceso de hidrocarburos suele producir hollín - que es muy perjudicial.

4.23 SULFINIZACION

Es un tratamiento desarrollado recientemente en Francia, éste mejora extraordinariamente la resistencia al desgaste de las piezas de acero, por la acción del azufre que se incorpora a la masa metálica por calentamiento a baja temperatura 565°C de las citadas piezas, en un baño de sales. Como en este tratamiento, aunque no se observa un aumento muy sensible de la dureza superficial del acero, si se produce en cambio un gran aumento de la resistencia al desgaste, al estudiar este tratamiento es necesario modificar en cierto modo, las concepciones generalmente admitidas sobre la relación que hay entre dureza y resistencia al desgaste.

Para el tratamiento, se suele usar un baño formado por dos sales: Una de bajo punto de fusión, constituida por carbonato sódico, con cianuro sódico y cloruro potásico, y una sal portadora del azufre, constituida por cloruro potásico con cianuro sódico y sulfito sódico. El contenido en sulfito sódico del baño suele ser un 12% aproximadamente. A veces se usa para relleno otra tercera sal de carácter neutro. En la sulfinización se produce una transformación superficial del metal con penetración de ciertos cuerpos en la capa superficial del metal que se produce en forma parecida a la fosfatación. Pero en la sulfinización el agente de penetración es el sulfocianuro y las temperaturas de tratamiento 565°C son mucho más elevadas que las de fosfatación.

En la sulfinitación se forman dos capas: Una superficial dura y frágil de muy poco espesor de 10 a 30 micrones y otra interior mas blanda y de mayor espesor. La profundidad total máxima que se alcanza en el tratamiento es de 0.30 mm.

Los pasos a seguir en este tratamiento son los siguientes:

- Primero. Mecanizado completo, dejando un exceso de 0.02 mm. para terminar luego por rectificado.
- Segundo. Precalentamiento de las piezas a fin de evitar un descenso importante de temperatura en el baño.
- Tercero. Introducir las piezas en el baño de 565°C; con 60 minutos de permanencia se obtiene 0.15 mm. de espesor, pero la superficie se satura rápidamente y después de 3 horas, la penetración es máxima, alcanzándose 0.30 mm. de profundidad. En los casos en que no es necesario el rectificado, con 0.15 mm. de profundidad son suficientes.
- Cuarto. Sacar del horno las piezas e introducirlas en agua para que se desprendan las sales.
- Quinto. Rectificado de las piezas en el caso de que sea necesario.

La propiedad mas importante que se confiere al acero con la sulfinitación, es una mejora extraordinaria en su resistencia al desgaste. En numerosos ensayos que se han hecho sobre ejes, cojinetes, levas, etc. con acero templado, con acero cementado y templado y con acero sulfinitado, se observa que las piezas sulfinitadas tienen una resistencia al desgaste extraordinaria y mucho mas elevada que las demás.

En este tratamiento la resistencia al desgaste, es debida mas que a un aumento de dureza, a la gran aptitud que tiene la capa sulfinitada al rozamiento.

CONCEPTO DE NORMALIZACION Y CLASIFICACION DEL ACERO

CAPITULO 5

- 5.1 Concepto de normalización y especificación**
- 5.2 Concepto de tipificación**
- 5.3 Clasificación del acero**
- 5.4 Clasificación del acero de acuerdo a la norma
AISI/SAE**
- 5.5 Clasificación de aceros de acuerdo a la norma
IAS (ARGENTINA)**
- 5.6 NORMAS Y CLASIFICACIONES NACIONALES**

CAPITULO 5

5.1 CONCEPTO DE NORMALIZACION Y ESPECIFICACION

Existe una gran variedad de clasificaciones y aunado a la diversidad de marcas nacionales de los aceros, siempre se hace indispensable la normalización de los aceros.

Cada fabricante produce una gran cantidad de aceros de diferentes marcas y tipos que considera más adecuada para los distintos usos y en todos los países industrializados, se emplea la materia prima que está al alcance en sus yacimientos ferríferos con lo que produce muchos tipos de aceros, mas o menos adecuados para una determinada aplicación.

Cuando contamos con una gran cantidad de tipos de aceros, el ingeniero puede elegir con gran precisión el que necesite para su proyecto, pero se dificulta encontrar la calidad deseada, en cuyo caso se puede encarecer su costo. Además si se fabrican diversos aceros, en pequeñas cantidades, se hace difícil seleccionar el material adecuado.

Para disminuir la confusión en el uso, aplicación y selección de los distintos tipos, así como para aumentar la economía en las fabricaciones y facilitar la existencia en el mercado de los aceros seleccionados, las Organizaciones técnicas de los distintos países han procedido a normalizar las diferentes calidades consideradas más adecuadas para cada uso.

En nuestro país cada organismo técnico tiene diferentes especificaciones al referirse desde el punto de vista estadístico a la fabricación, insumo, importación o exportación de los aceros no comunes, lo que implica un desconcierto al generarse la noticia.

El concepto de tipificación que es la parte que nos ocupa, así como los criterios para clasificar un acero, en seguida se detallan.

5.2 CONCEPTOS DE TIPIFICACION

La necesidad de tipificar, racionalizar o simplificar la producción de aceros especiales o no comunes, ha venido preocupando desde muchos años a las autoridades técnicas e instituciones pertinentes del país. Sin embargo, la competencia comercial internacional, los requerimientos cada vez más sofisticados de la industria mexicana que está avanzando a grandes pasos y la construcción de equipos junto a los avances de la investigación en el campo de la metalurgia, han desbaratado muchos intentos de racionalización abordados tanto a nivel nacional como internacional.

Esta situación afectó más gravemente a los países como México con menor desarrollo, especialmente en el sector siderúrgico metal-mecánico y automotriz; ya que estas industrias se han ido estableciendo en un principio, refiriéndonos a las dos últimas, como armadoras o ensambladoras de partes, aprovechando mano de obra barata y abundante, de fácil adiestramiento y han dependido en gran parte de la adquisición de piezas ya elaboradas en el exterior y progresivamente han aumentado su grado de integración, en la compra de aceros especiales, para maquinarlos y o darles los tratamientos necesarios para integrarlos como piezas o partes, o fabricar directamente con ellos utensilios o herramientas de mano.

La dependencia de un mercado de oferta competitivo y altamente especializado, con tradición de prestigio y calidad, ha hecho difícil e imposible en muchos casos, la implantación de industrias nacionales para la producción de aceros especiales. A lo anterior hay que agregar el hecho de que los licenciadores de las armadoras o fabricantes nacionales exigen especificaciones ligadas a marcas comerciales de aceros que obligan a una importación cautiva.

La enorme diversificación de tipos y grados de acero no comunes en el exterior, así como sus formas y tratamientos requeridos, ha llevado al extremo de que se pueden contar sus inventarios de aceros especiales por millares de toneladas y algunos con poca demanda. Todo esto desalienta naturalmente los inten-

tos de producción local.

Un factor, en cierto modo compensatorio de ese desaliento, es el que las plantas productoras de aceros especiales en una proporción importante de su producción, no requieren ni el tamaño o escala de producción de las grandes empresas integradas para la fabricación de aceros comunes o comerciales. Aunque la demanda de aceros especiales ha ido subiendo de proporción dentro del total de la demanda de acero, el proceso de su producción es menos masivo, de más cuidado y de coladas necesariamente menores, usándose preferentemente el horno eléctrico. Este es responsable de más del 40 por ciento del volumen total de producción de aceros especiales.

En nuestro país, nuestro mercado ha impulsado un mayor desarrollo relativo de la industria de los aceros especiales.

Los esfuerzos de tipificación ó racionalización, nos darían un aumento de productividad y tendría más éxito cuando el conjunto del mercado puede ser dividido en sectores de producción, caracterizados por tamaños de lotes y por procesos semejantes que utilicen los mismos equipos básicos. En este sentido se propone distinguir 4 sectores de producción que repercuten directamente en la selección de los equipos:

1. Aceros rápidos, para herramientas de trabajo en caliente y trabajo en frío, resistentes al calor, la corrosión, inoxidable y aceros de propiedades físicas especiales en forma de barras y techos forjados, barras y perfiles laminados y alambres trefilados.
2. Planchas, láminas y flejes de aceros inoxidable y otros aceros de alta aleación.
3. Planchas, láminas y flejes de acero silicio con propiedades magnéticas especificadas, además de aceros de media aleación o finos al carbono.
4. Aceros aleados y al carbono especiales, en forma predominan

te de barras, con algún porcentaje de perfiles, alambres y tubos para fabricación de rodamientos, muelles y para construcción mecánica, siendo éste último el de principal volumen de consumo de aceros especiales.

Aunque de diferentes significados específicos, se han usado los términos racionalización, tipificación y simplificación, indistintamente para señalar los esfuerzos para reducir el número de variedades de aceros que deban especificarse en la industria y el comercio.

Ya desde el año de 1957, en reunión de la NU/ - CEPAL, efectuada en nuestro país, Niemeyer analizaba también - el aspecto de la tipificación para reducir el número de variedades de aceros invocando que algunos fabricantes por sí solos producen cerca de mil tipos. Dice que hay un solo medio para mantener un número reducido de tipos de acero sin inconvenientes técnicos para el consumidor, que es sustituir las series de tipos de acero de calidad inferior por un acero de calidad superior para el mismo objetivo. Esta solución, a juicio de él, extremadamente simple debe tenerse en cuenta; la propia experiencia demuestra que este método da resultado. Con esta modalidad el consumidor recibirá un acero más valioso que lo que necesita. Para el fabricante esto significa un mayor costo de producción, pero este aumento se compensa perfectamente con la ventaja del programa reducido, que significa un mayor rendimiento y una disminución del capital inmovilizado por almacenamiento de semiproductos.

La perfección en la calidad de los aceros comunes y los progresos en la fabricación y uso de ciertos aceros especiales en forma masiva, ha ido haciendo cada vez más sutil la diferencia entre ambas clases. Por similitud se podría decir que hay una cantidad de aceros especiales que son de fabricación y uso vulgarizado y que representan un porcentaje cercano al 90 por ciento de su producción total. Dentro de este grupo o porcentaje, se impone una tipificación más exigente que permita bajar sus costos y disminuir los stocks.

5.3 CLASIFICACION DEL ACERO

Criterios de clasificación de los aceros:

Son muy variados, según los propósitos que se persigan, las agrupaciones que se pueden hacer de los aceros, como - por ejemplo:

- 1.- Por sus formas (tochos, barras, planchas, tubulares, etc.)
- 2.- Por el proceso de fabricación (Thomas, Bessemer, Siemens, al oxígeno, eléctrico, etc.)
- 3.- Por el proceso mecánico o físico de su formación (laminado en caliente, laminado en frío, extruido, estirado, colada - continua, forjado, etc.)
- 4.- Por el grado de elaboración (en bruto, semi-terminado, terminado, revenido)
- 5.- De acuerdo a las prácticas de desoxidación empleadas (aceros efervescentes, semicalmados y calmados)
- 6.- Por su composición química (aceros al carbono, aceros aleados y todos los grados correspondientes, según los elementos constituyentes y sus porcentajes)
- 7.- De acuerdo al contenido de carbono (bajo, medio y alto carbono) (o en hipoeuteooides o hipereuteooides, según el contenido de carbono sea inferior o superior a un 0.80%)
- 8.- De acuerdo a su estructura interna o superficial derivada de los tratamientos térmicos y otros a que sea sometido (ferríticos, austeníticos, martensíticos, etc., o bien templados y revenidos (bonificados) cementados, nitrurados, etc.
- 9.- Según sus propiedades magnéticas, de soldabilidad, de dureza, de resistencia, maleabilidad, ductibilidad, corrosión, -- abrasión, etc.)

- 10.- Por el destino final o uso apropiado o específico
- 11.- Distinción para propósitos aduaneros o tarifarios
- 12.- Clasificación para propósitos estadísticos (comerciales, técnicos o económicos)
- 13.- Clasificación por sectores de uso: (para estadísticas industriales, matrices de programación insumo-productos-proyecciones de demanda)

Para establecer el marco de referencia, que nos dará la clave para definir un acero especial, a continuación damos algunas definiciones de aceros, de acuerdo a algunas normas (en primer lugar la norma panamericana COPANT).

Acero al carbono. Es una aleación de hierro con 1.90% máximo de carbono que contiene además, otros elementos químicos cuyas propiedades características se deben fundamentalmente a la presencia del carbono. La proporción en que se encuentran presentes los elementos distintos del hierro y carbono es tal que su contenido es inferior a los valores que se indican en la tabla 2. En general, se considera acero al carbono al producto que cumple, con esta definición, el cual se obtiene sin la adición intencional especial de los elementos que ejercen influencia en modificar las características que provienen fundamentalmente de la presencia del carbono en la aleación.

Acero de Aleación. Es una aleación de hierro y carbono que contiene además algunos o todos los elementos químicos que se encuentran en la tabla 2, los que generalmente, se agregan intencionalmente durante su fabricación para conferir propiedades o características deseadas en el producto final; la proporción en que se encuentran presentes los elementos distintos del hierro y del carbono son tales que su contenido es igual o superior a los valores que se indican en la tabla 2, que son los valores establecidos.

De acuerdo a la Euronorma, clasifica los aceros de acuerdo a la composición y a la utilización de los mismos, y de

fine:

Aceros: "Se llama aceros las aleaciones ferrosas, que son en general aptas a la formación o manufactura en caliente.- Con excepción de ciertos aceros de alto contenido en cromo, tienen un tenor en carbono igual o inferior al 2%, tenencia límite que los separa de las fundiciones"...

Esta definición está valorada y aceptada en todos los países.

Aleación Ferrosa. "Se llama aleaciones ferrosas los metales cuyo porcentaje medio en peso de hierro es superior a aquel de todo -- otro elemento de aleación.

Euronorma, clasifica de acuerdo a la composición química como sigue:

ACEROS NO ALEADOS
ACEROS ALEADOS

Estas 2 clases se subdividen según su utilización en:

ACEROS DE BASE
ACEROS DE CALIDAD
ACEROS ESPECIALES

Los aceros aleados y no aleados definen límites de composición química de acuerdo a cada norma.

ACERO DE BASE. Son aceros para los que no se exige ninguna prescripción particular relacionada con su utilización.

ACEROS DE CALIDAD. Son aceros que en general no presentan regularidad a los tratamientos térmicos (no considerando el recocido como tratamiento térmico), pero en los cuales las condiciones de utilización exigen a la producción cuidados especiales, particularmente en lo referente al estado superficial, la estructura o el riesgo de ruptura por fragilidad.

ACEROS ESPECIALES. Estos están en general destinados a tratamientos térmicos a causa de su regularidad de respuesta a estos - tratamientos. Además por el hecho de las condiciones particulares de su elaboración, estos aceros presentan en general propiedades superiores a los aceros de calidad, especialmente en lo relativo a las inclusiones.

5.4 CLASIFICACION DE ACEROS DE ACUERDO A LA NORMA AISI/SAE

DEFINICIONES:

ACEROS AL CARBONO. Los principales factores que afectan las propiedades de los aceros al carbono son el contenido de C y la microestructura. Estos pueden contener hasta 1.65% de Mn., -- 0.6% de Si y 0.6% de Cu. Además de pequeñas cantidades de otros elementos. La microestructura queda determinada principalmente por la composición y el laminado final, el forjado, operación de tratamiento térmico y secundariamente, por las aleaciones residuales, contenidos no metálicos y gases en el acero, los que por su parte dependen de las prácticas de aceración.

La table A1, especifica la composición química de - los aceros al carbono, y es aplicable sólo a productos semiterminados para forja, a barras laminadas en caliente y las terminadas en frío, alambrón y tubos sin costura (no incluye productos planos).

Los grados (SAE y AISI) desde el 1005 o 1006 hasta 1095 llevan la misma numeración en ambas series, aunque algunas excluyen ciertos grados. Los dos últimos dígitos están referidos a un promedio de rango de porcentaje de carbono, por ejemplo 1020 -entre 0.18 y 0.23% de carbono; 1060 -entre 0.55 y 0.65% de - C- El contenido máximo de fósforo (P) es siempre 0.040% y de - azufre (s) es de 0.05%. El manganeso (Mn) varía desde 0.25 (cifra menor) hasta 1%. Los límites comúnmente usados de Silicio - (Si) van desde 0.10% mínimo hasta 0.30% máximo.

Los grados que tienen más de 1% en contenido de - Mn se representan en una serie aparte, la 15xx y forman parte de

la Serie SAE/AISI 1500, en la que los porcentajes de Mn. varían entre 1% y 1.65%. En estos casos la composición química de P y S se mantiene como en la serie anterior 0.04 y 0.05% respectivamente.

La clasificación SAE/AISI incluye también, entre los aceros al carbono, los aceros de corte libre o de fácil maquinado, que se caracteriza por ser resulturados o refosforados y resulturados. Esta serie corresponde a los números 11xx y 12xx.

TABLA A1

10xx	Grados de acero al carbono (no resulturados)
11xx	Grados de acero al carbono resulturados
12xx	Grados de acero al carbono resulturados y refosforados
12xx	Manganeso 1.75% (1.60 a 1.90)
15xx	Manganeso, sobre 1 a 1.65%
23xx	Níquel 3.50%
25xx	Níquel
31xx	Níquel 1.25% - Cromo 0.65%
33xx	Níquel 3.5% - Cromo 1.55%
40xx	Molibdeno 0.25%
41xx	Cromo 0.5 a 0.95% - Molibdeno 0.12 a 0.20%
43xx	Níquel 1.8% - Cromo 0.5 a 0.8%, Molibdeno 0.25%
44xx	Molibdeno 0.4 a 0.53%
46xx	Níquel 1.55 a 1.8% - Molibdeno 0.2 a 0.25%
47xx	Níquel 1.05% - Cromo 0.45% - Manganeso 0.20%
48xx	Níquel 3.5% - Molibdeno 0.25%
50xx	Cromo 0.28 a 0.40%
51xx	Cromo 0.80 a 1.05%
5xxxx	Carbono 1%, Cromo 0.5%, 1% o 1.45%
61xx	Cromo 0.80 o 0.95%, Vanadio 0.1 o 0.15% mín.
81xx	Níquel 0.3%, Cromo 0.40%, Molibdeno 0.12%
86xx	Níquel 0.55%, Cromo 0.5 o 0.65, Molibdeno 0.20%
87xx	Níquel 0.55%, Cromo 0.5, Molibdeno 0.25%
88xx	Níquel 0.55%, Cromo 0.5, Molibdeno 0.35%
92xx	Manganeso 0.85%, Silicio 2%
93xx	Níquel 32.5%, Cromo 1.2%, Molibdeno 0.12%
B	Indica Boro, ejemplo 51B60
BV	Indica acero al boro-vanadio, ejemplo TS 43BV12
L	Indica plomo, como en 10L18

Cuando se agrega Plomo (Pb) (Leer L), en un rango que varía entre 0.15 y 0.35%, se indica intercalando la letra L, entre la segunda y tercera cifra del número del grado, ejemplo - 12L13.

ACERO ALEADO. Los aceros aleados pueden ser descritos como - aquellos que presentan mejores propiedades a la presencia de uno o mas elementos especiales o a la presencia de mayores proporcio - nes de elementos, como Manganeso y silicio, que las que se pre - sentan ordinariamente en los aceros al carbono, se clasifican co - mo sigue:

- I Aceros aleados grado maquinaria o de construcción mecánica
- II Aceros aleados de herramientas
- III Aceros de alta resistencia de baja aleación
- IV Aceros inoxidables
- V Aceros al silicio para uso eléctrico

La definición AISI para aceros aleados es la siguien - te: Comunmente un acero se considera de aleación cuando el má - ximo del rango dado para el contenido de elementos excede uno - o más de los siguientes elementos:

Manganeso	1.65%
Silicio	0.60%
Cobre	0.60%

Entre los cuales un rango o una cantidad mínima de - finida de los siguientes elementos se especifica o requiere, dentro de los límites del campo reconocido de los aceros aleados de cons - trucción-mecánica: aluminio, cromo hasta 3.99%; cobalto, colum - bio, molibdeno, níquel, titanio, wolframio, vanadio, zirconio o - cualquier otro elemento para mejorar características, o que le den cualidades especiales. Se puede notar que se ha limitado al - - 3.99% el contenido de cromo, puesto que el contenido mayor de 4% se consideran el del grado inoxidables.

Identificación del sistema SAE/AISI

Serie SAE, del número 10xx, el número 1 indica ace

ro al carbono, 1010, 1085, 1112, etc.

El número 2 indica acero al níquel
el número 3 indica acero al níquel cromo

El segundo indica el porcentaje del elemento de aleación predominante, generalmente, los dos últimos dígitos dan el promedio del contenido de carbono en puntos o en centésimas de por ciento. Así 2340 indica acero al níquel de aproximadamente 3% de níquel y de 0.40% de carbono.

Algunos aceros aleados de bajo carbono, templados y revenidos para ultraservicio:

HY-80

HY-100

ASIM A

543-65

HY-130

ACEROS DE HERRAMIENTAS

DESIGNACION	SIMBOLO	TIPO
ACEROS RAPIDOS	M(1 a 47)	Al molibdeno
	T(1 a 15)	Al Wolframio
TRABAJO EN CALIENTE	H(1 a 19)	Al cromo
	H(20 a 39)	Al wolframio
	H(40 - 59)	Al molibdeno
TRABAJO EN FRIO	D(1 a 7)	Alto C y alto Cr
	A(1 a 10)	media aleación temple al aire
	O(1 a 7)	baja y media aleación temple al aceite
RESISTENTE AL IMPACTO	S(1 a 7)	± 0.5%C y baja y media aleación
PARA MOLDES	P(1 a 21)	Bajo carbono y baja y media aleación
PARA USOS ESPECIALES	L(1 a 7)	Baja aleación
	F(1 al 3)	Alto carbono y wolframio
DE TEMPLE AL AGUA	W(1 al 7)	Baja aleación C. 0.6% a 1.4%

ACEROS INOXIDABLES. Son aleaciones de: 1) Fe-Cromo; 2) Fe, -Cromo-Níquel; 3) Fe, Cromo, Níquel y Manganeso; 4) Fe, Cromo, -Manganeso y Nitrógeno. Ocasionalmente pequeñas cantidades de - otros elementos son agregados para acrecentar la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas, así como para inmunizar los aceros

a la acción de impurezas dañinas.

En relación a la resistencia a la corrosión, el contenido de cromo es la variable que la controla o determina, y el efecto del cromo puede ser acrecentado con la adición de molibdeno, níquel y otros elementos. Las propiedades mecánicas del acero inoxidable, como la de los aceros al carbono y los de baja aleación - son función de la estructura y composición del material. Así, los aceros austeníticos poseen las mejores propiedades al impacto a bajas temperaturas y la mejor resistencia a temperaturas elevadas, - mientras que los aceros martensíticos poseen la más alta dureza a temperatura ambiente. Los aceros inoxidables, por ser obtenibles en una amplia variedad de estructuras, poseen un rango de propiedades mecánicas, que combinado con su excelente resistencia a la corrosión los hace altamente versátiles en cualquier diseño.

ACEROS PARA TRABAJOS A ALTA TEMPERATURA. Esta clasificación no corresponde a una nueva serie, sino más bien al criterio - para seleccionar el mejor tipo que se avenga a las condiciones de trabajo permanente o cíclico a altas temperaturas, desde el punto de vista de la composición y tratamiento del acero que se busca, y en especial, de la economía en función del tiempo de servicio. La siguiente lista indica las propiedades que deben tenerse en cuenta para la selección de estos aceros:

1. Resistencia
2. Ductibilidad
3. Sensibilidad a la entalla
4. Resistencia a la oxidación o corrosión
5. Expansión térmica y conductividad
6. Resistencia al choque
7. Estabilidad
8. Comportamiento ante condiciones cíclicas

ACEROS PARA TRABAJOS A BAJA TEMPERATURA Y CONDICIONES CRIOGENICAS. Igual que en el caso anterior, se trata de - aceros que deban seleccionarse para trabajos comprendidos entre - 100 y 273°C. En general son tipos de aceros inoxidables austeníticos, con níquel; US STEEL usa sus propias denominaciones para estos aceros, pero indica sus equivalencias en términos de A.S.T.M. Y AISI.

CLASIFICACION DE ACEROS DE ACUERDO A LA NORMA IAS (ARGENTINA)

5.5 EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA DE ARGENTINA, SE ESTABLECE LA SIGUIENTE CLASIFICACION:

CLASIFICACION GENERAL DE ACERO (IAS)

GRUPOS	SUBGRUPOS	TIPOS
ACERO PARA CONSTRUCCION ESTRUCTURAL	1. AL C.	Bajo C Medio C Alto C
	2. ALEADOS	AL Cu Nb Mn
ACERO PARA CONSTRUCCION MECANICA	1. Al Carbono	B., M y A
	2. Fácil Maquinabilidad	AL S AL P y S Pb
	3. Aleados	Combinaciones varias de Mn., Ni., Cr., Mo. V. W. Si. y Al.
ACEROS PARA HERRAMIENTAS	1. Rápidos	Al Mo., al W. y otros
	2. Trabajo en Caliente	Al Cr., al W., al Mo., y otros
	3. Trabajo en frío	1. Al C. 2. Alto C. y baja aleación 3. id y media id 4. id y alto aleación 5. Resistente al impacto 6. Para moldes 7. Baja aleación uso esp. 8. Al C. y W.

GRUPOS	SUBGRUPOS	TIPOS
ACEROS RESISTENTES A LA CORROSION Y OXIDACION	1. Inoxidables 2. Refractarios	1. Austeníticos 2. Ferríticos 3. Martensíticos 4. Endurecimiento estructural
ACEROS PARA ELECTRODOS (PARA SOLDAR)	1. Al Carbono 2. Aleados	Bajo carbono
ACEROS PARA CIRCUITOS ELECTROMAGNETICOS	1. Al Carbono 2. Aleados	Bajo Carbono Al Silicio

5.6 NORMAS Y CLASIFICACIONES NACIONALES

En nuestro país las normas mexicanas relativas al acero de la Dirección General de Normas (DGN), se pueden extraer las siguientes, relacionadas con la composición química y designaciones de aceros:

No. Norma	Materia
B323	Sistema de clasificación y designación de los aceros según su composición química (1968)
B324	Composiciones químicas de aceros al carbono (1968)
B325	id id id aleados
B326	id id id inoxidables y resistentes al carbono, forjados o laminados (1968)
B273	Composición química de aceros al carbono usados preferentemente en la industria automotriz (1970)
B168	Composición química y tabla de templabilidad de aceros aleados sujetos a requisitos de templabilidad (1968)

Respecto a la norma B323, el sistema clasificado se menciona en el Capítulo VII, de esta tesis.

La clasificación que el Departamento de Estudios -- Económicos de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, hace de los aceros especiales, es como sigue:

ACEROS DE ALTA VELOCIDAD
ACERO GRADO HERRAMIENTAS
ACEROS INOXIDABLES
ACEROS GRADO MAQUINARIA

Esta clasificación como lo indica en su informe el -- Ing. Vicente Nacher Todo "Clasificación de los Aceros Especiales por sus Características y Propiedades", no corresponde a los aceros especificados por la D.G.N., y mucho menos a la clasificación que anteriormente hemos dado a conocer.

En la misma conferencia, se clasifican los aceros de herramientas, en 4 grupos, a saber:

ACEROS PARA TRABAJO EN FRIO (AISI)	W2, 0-1, A-2, D2, - D4 y L6
ACEROS RESISTENTES AL IMPACTO	S1 y S-5
ACEROS TRABAJO EN CALIENTE	H6, H11, H12, H13, H19 y H21
ACEROS ALTA VELOCIDAD	M2, T1, M7 y M33

Por lo que respecta a una clasificación estadística, la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, al -- publicar las estadísticas de importación, producción y consumo -- aparente de aceros especiales, emplea la siguiente denominación:

A.- PRODUCTOS LAMINADOS, FORJADO Y/O ESTIRADO

1. Alambrón
2. Barras Macizas
3. Perfiles

B. DERIVADOS

ALAMBRES: A su vez cada uno de esta sección están subclasificados en:

1. ALTA VELOCIDAD (SERIES AISI M y W)
2. INOXIDABLES (SERIES AISI 2xx, 3xx, 4xx y 5xx)
3. GRADO HERRAMIENTA (AISÍ W-S-O-A-D-H-L-F-P)
(excluido el M. y W)
4. GRADO MAQUINARIA
 - AL CARBONO (SERIE AISI 10xx y 15xx)
 - RESULFURADOS (SERIE AISI 11xx y 12xx)
 - ALEADOS (SERIE AISI: 13xx a 98xx; excepto 15xx)
 - AL PLOMO (AISÍ: 12L13 y 12L14)

Este estudio, propone establecer y definir lo que es un acero especial, en función de las características, usos y propiedades, es así como se propone la siguiente:

1. Cuando un acero, se le confieran propiedades especiales, y que pertenezca a la familia de al "CARBONO", se le denomine ACERO DE CALIDAD, estas propiedades incluyen temple, revenidos, etc. y de ninguna manera la aleación de cualquier otro elemento; no así el contenido de los elementos, mismos que pueden ser incrementados o disminuidos para revelar las características mencionadas.
2. Llamar Acero Especial, aquél que sea aleado, con los rangos y límites que se especifiquen y que no entren dentro de la familia anterior y
3. Llamar aceros finos, aquellos aceros especiales, que tengan tratamientos muy específicos, independientes del contenido en porcentaje de los elementos, y que le confieran propiedades particulares, ejemplo muy alta temperatura, muy alto rendi-

miento, etc.

Aparte se establecen dos grandes familias (proposición del Ing. Vicente Nacher)

ACEROS ALEADOS y
ACEROS NO ALEADOS

Los cuales se pueden dividir en:

ACEROS DE ALTA ALEACION
ACEROS DE BAJA ALEACION
ACEROS DE MEDIA ALEACION

Considerando los elementos de aleación, se podría - hacer una clasificación, basada en el número de elementos aleados, en cuyo caso se podría denominar:

ACEROS MONOALEADOS
ACEROS BIALEADOS
ACEROS TRIALEADOS
ACEROS POLIALEADOS

ESTUDIO DE LOS ACEROS ESPECIALES

CAPITULO 6

- 6.1 Introducción
- 6.2 Aceros Cementados
- 6.3 Aceros Rápidos
- 6.4 Aceros de Fácil Maquinado
- 6.5 Aceros de Herramientas
- 6.6 Aceros Inoxidables
- 6.7 Aceros Refractarios

CAPITULO 6. ESTUDIO DE LOS ACEROS ESPECIALES

6.1 INTRODUCCION

En este capítulo se expone el estudio de una serie de aceros especiales que han sido seleccionados y que a nuestro criterio representan el 90% de la producción en nuestro país y el resto lo dejamos para importaciones, todavía tan necesarias para algunas industrias automotrices.

Los aceros especiales están constituidos por hierro y los cinco elementos tradicionales C, Si, Mn, P y S y además algún otro elemento que se agrega intencionalmente para modificar ciertas características perfectamente definidas, claro está que esto no basta para definirlos, ya que se ha experimentado que algún acero al carbono con ciertos tratamientos termoquímicos y térmicos puede adquirir la calidad, la característica mecánica y física que podemos encontrar en un acero llamado especial, es por eso que se debería adoptar la nomenclatura llamada acero de calidad, acero fino, acero de base y acero especial, de lo cual hablamos en el capítulo que antecede.

A manera de ejemplo podríamos introducir a los aceros inoxidable dentro de la clasificación "Acero fino", así como los aceros de cementación, como de más calidad, ya que además de las propiedades características mecánicas que se buscan, destacan otras como son las químicas y eléctricas.

Dentro de los aceros de calidad podríamos referirnos al acero al carbono ordinario, debidamente controlado en su composición y limpieza, que con el tratamiento térmico, se convierte de calidad y todos aquellos aceros como son los de herramientas, los aceros rápidos y aquellas aleaciones sencillas, monoaleados y bialeados, como son los de fácil maquinado, como Acero Especial.

Dejando a los aceros ordinarios como de base, ya que estos se explican fácilmente por sí solos.

A continuación estudiemos algunos aceros seleccionados, dentro del contexto se menciona su necesidad de tipificación, su cuadro tecnológico y una propuesta de tipificación de cada uno de ellos.

6.2 ACEROS DE CEMENTACION

La cementación es el procedimiento de transformar la superficie parcial o total de un acero dulce a un acero duro elevando la temperatura de estados alotrópicos al estado gamma, el cual tiene la propiedad de disolver el carbono, aprovechando esta propiedad se consigue obtener de un acero suave un acero totalmente duro.

La cementación de hoy en día es la de obtener un acero de composición mixta con una zona exterior fuertemente carburada y un núcleo constituido del mismo acero suave, tenaz y resistente. La transformación se obtiene colocando un acero dulce en contacto con el carbono y a una temperatura mayor a su temperatura de transformación.

La operación de cementar se realiza colocando las piezas dentro de una caja envuelta con una materia carburante donde esta materia se descompone a alta temperatura y perfectamente tapadas se introduce en esta caja dentro de un horno a una temperatura de 850° a 950°C, permaneciendo el tiempo conveniente para obtener el espesor de cementación deseado.

Objeto de la Cementación. La necesidad de la mecánica moderna nos obliga a contar con un acero que tenga una gran resistencia a las causas de destrucción por desgaste y al mismo tiempo un límite elástico y una resiliencia apropiadas. Si empleamos un acero extraduro templado a una gran resistencia al desgaste resultaría frágil, lo cual no serviría para nuestro objetivo, ahora si empleamos un acero templado y con un revenido alto para proporcionar una buena resiliencia, resulta con una dureza inapropiada para resistir los rozamientos.

Para esto necesitamos tener un acero que cumpla con

estos dos objetivos y sabiendo que la dureza y la resiliencia son dos condiciones incompatibles, se ha tenido que recurrir a la cementación superficial o sea de un solo acero obtener un acero -- mixto o heterogéneo.

Carburando la capa exterior de un acero extra-dulce y por el temple obtenemos un acero durísimo, que servirá para resistencia al desgaste y en el núcleo un acero blando resistente a los choques y así queda compensada la fragilidad del primero con la resiliencia del segundo. A pesar de esto no son las únicas condiciones necesarias para un órgano determinado de una maquinaria o motor, sino se requiere también resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, resistencia al aplastamiento, etc. No obstante que la cementación es un tratamiento térmico muy sencillo surgen con bastante frecuencia complicaciones derivadas de los muchos factores que intervienen en el mismo, como son la forma y tamaño de las piezas, la composición y calidad de los aceros; los métodos de enfriamiento empleados, la temperatura y duración de los tratamientos, etc.

Principales Clases de Aceros de Cementación. Se emplean aceros al carbono y aceros aleados, todos estos aceros contienen generalmente de 0.05 a 0.25% de carbono, y en ocasiones cuando no nos interesa la tenacidad o resiliencia en el núcleo central se llega a emplear aceros hasta de 0.40% de carbono.

Hay tres factores para elegir un acero para cementación:

1. Tamaño de las piezas y sus tolerancias de dimensiones que se exigirán a las piezas y después se decide si el temple se hace en agua o en aceite.
2. La resistencia que debe tener la pieza en el núcleo central.
3. El precio que se llegue a pagar por el acero.

Los aceros de cementación de acuerdo con los elementos de aleación que contienen se clasifican en tres grupos:

1. Aceros al carbono.
2. Aceros de Media Aleación
3. Aceros de Alta Aleación

Por la resistencia y tenacidad que se puede llegar a alcanzar en el núcleo central de las piezas cementadas se pueden clasificar en tres grupos:

1. Aceros de gran tenacidad y baja resistencia, obteniendo en el núcleo central alargamientos superiores al 14%, resiliencias superiores a 12 Kg/cm^2 y resistencias variables de 60 a 80 Km/mm^2 .
2. Aceros de resistencia y tenacidad media, con resistencia en el núcleo variable de 80 a 110 Km/mm^2 .
3. Aceros de alta resistencia en el núcleo central de 110 a 160 Kg/mm^2 .

Por el método de realizar el temple se pueden clasificar en:

- 1.- Aceros de temple al agua
- 2.- Aceros de temple al agua o en aceite
- 3.- Aceros de temple al aceite

Finalmente por el tamaño del grano tenemos:

- 1.- Aceros de grano grueso del número 1 al 4
- 2.- Aceros de grano medio del número 5 al 6
- 3.- Aceros de grano fino del número 7 al 8

ACEROS AL CARBONO

En este grupo están los aceros ordinarios cuyos componentes principales son C, MN, Si y las impurezas que son P, S y O. para conseguir durezas hasta de 60 RC. A este tipo de acero después de cementación y temple es necesario enfriarlos rápidamente

te en agua, ya que la velocidad crítica de temple del acero con 0.90% C en la capa cementada es muy elevada. En este caso - el acero debe tener un porcentaje de 0.15 a 0.25% C para alcanzar el temple necesario y conservar la tenacidad.

Son contadísimas ocasiones que se cementa aceros de 0.40% C.

Ejemplo. Un acero de C - 0.10/0.25% Mn - 0.50/0.70% y Si - 0.35% MAX.- para este tipo de acero la resistencia en el núcleo alcanza 80 Kg/mm². Durante la cementación a los aceros al carbono les crece más el grano que los aceros aleados por tanto quedan frágiles y para conseguir tenacidad es necesario cuidar el proceso de regeneración que con frecuencia suele ser necesario después de la cementación.

Para piezas pequeñas suelen emplearse aceros con C 0.12% debido a que se endurece poco en el núcleo.

Los aceros al carbono por regla general deben templarse en agua y el porcentaje debe ser de 0.60 a 0.90% para obtener buenos resultados.

ACEROS DEBILMENTE ALEADOS

A este grupo pertenecen los aceros de baja aleación en donde la suma de los porcentajes de aleación Cr, Ni, Mo y Mn es inferior a 3%.

Ejemplos:

C - 0.14/0.17% Cr - 1.00% Mo - 0.20%, C - 0.21% Cr - 1.00% Mo - 0.20%

C - 0.10/0.20% Ni - 1.60/2.00% Mo - 0.20/0.30%

En la actualidad son más utilizados los aceros de 0.10/.25% de carbono triple aleación y bajo porcentaje de aleación Cr/Ni/Mo.

En estos aceros con la combinación de los elementos aleados adecuados se llega a alcanzar en el núcleo resistencias variables de 70/130 kg/mm².

ACEROS DE ALTA ALEACION

Son los que se emplean con elementos de aleación - arriba de 3% y carbono abajo de 0.20% y al dar la templabilidad alcanza una resistencia en el núcleo de 90/150 kg/mm² como - - ejemplo podemos citar los siguientes:

C - 0.10/0.20%
Ni - 3.00/5.00

C - .10/0.20%
Cr - 1.00%
Ni - 4.00%

C - 0.10/0.20%
Cr - 0.75%
Ni - 3.00%

Para las piezas de motores de aviación y otros de - - gran tamaño que deben ser de alta resistencia se emplean aceros - al Cr - Ni - Mo con un porcentaje de Mo. de 0.20/0.60% el bajo porcentaje de carbono es con el fin de no endurecer demasiado el corazón y llegue a disminuir sensiblemente la tenacidad, para evitar la presencia de austenita retenida en la periferia después del temple a veces se le da tratamientos especiales.

SELECCION DE LOS ACEROS DE CEMENTACION

Aunque es muy difícil dar unas reglas recomendables para elegir aceros que sea de cementación a continuación señalamos unas normas que puedan servir de base para su elección.

Aceros al carbono con temple al agua donde no hay mucho interés que tenga deformaciones, resistencia ni tenacidad al núcleo.

Piezas medianas donde sí hay interés que tenga resistencia y tenacidad en el núcleo y cuidado en las deformaciones, - estos son aceros de media aleación con temple al agua y al aceite, con una resistencia en el núcleo de 70/90 kg/mm².

Piezas de cualquier tamaño en las que no permite de-

formaciones sensibles en el temple, si interesa tenacidad y alta resistencia en el núcleo variable de 90/150 kg/mm² estos aceros son de alta aleación con temple en aceite.

POSIBLE CRECIMIENTO DEL TAMAÑO DEL GRANO DE LOS ACEROS DE CEMENTACION

Los problemas que se presentan en las piezas de cementación son; crecimiento de los granos y que ocasiona fragilidad y falta de tenacidad que son los problemas típicos de cementación y que son menos frecuentes para otros tipos de tratamientos esto es debido a la temperatura de 875/950°C de calentamiento más elevadas que las que corresponden a los temples o recocidos ordinarios y la duración del calentamiento es mayor que las que corresponde a otros temples como muelles, cigueñales, bielas, ejes, etc. si no se estudia o se resuelve este problema con frecuencia aparecen piezas cementadas muy frágiles que con un golpe se rompen.

El crecimiento del grano de los diferentes aceros se puede comprobar fácilmente cementando a 925°C durante media hora a 3 varillas de 8mm de los siguientes aceros: Uno al Carbono, otro al Cr-Mo y otro al Cr-Ni, templándolos en agua y golpeándolos para romperse, después de rota la varilla se observa que el acero al carbono queda muy frágil y con un grano muy grueso o grosero, que es debido al crecimiento del grano a la temperatura de 925°C, el acero al Cr-Ni, queda muy tenaz y con grano fino, y finalmente el acero Cr-Mo, queda con tenacidad intermedia.

Aunque los aceros de grano grueso tienen mayor templeabilidad que los de grano fino, todos los aceros de aleación son de grano fino y son los preferidos. En general, después de la cementación, las microestructuras de grano grueso y fino son bastante diferentes, los aceros de grano grueso presentan una estructura reticulada con la cementita contorneada y se llama estructura normal, en cambio la estructura de grano fino presenta cementita globulizada mas o menos esferoidal llamada anormal.

Influencia de los Elementos Aleados en los Aceros de Cementación. Entre estas influencias de los elementos de aleación están la templabilidad y los puntos críticos que son los que sufren variaciones más importantes. La templabilidad en la periferia y en el núcleo de las piezas cementadas queda muy modificada con la presencia de los elementos aleados. Estos también tienen una influencia bastante importante sobre las temperaturas críticas del material.

Tanto en lo que corresponde a la parte cementada como a la zona sin cementar, el níquel y el manganeso hacen descender los puntos críticos; en cambio el cromo y el molibdeno los elevan.

La figura 6.1, nos indica las temperaturas críticas de diversas aleaciones por medio de las líneas o curvas que se indican en la misma figura:

La línea A'D' corresponde a los aceros de 5% de níquel.
La línea A''D'' corresponde a los aceros de CrNi medios.
La línea A'''D''' corresponde a los aceros Cr-Mo y Cr-Va con 1% de Cromo.

Las temperaturas críticas de acero con 0.12% C son $Ac_1 = 723^{\circ}C$ y $Ac_3 = 870^{\circ}C$.

Las temperaturas de Cr-Ni de 0.10% C, 0.60% de Cromo y 3% de Ni son de $Ac_1 = 715^{\circ}C$ y $Ac_3 = 790^{\circ}C$. Las temperaturas de CR-MO son $Ac_1 = 775^{\circ}C$ y $Ac_3 = 875^{\circ}C$ con el siguiente análisis C - 0.12% Cr - 1.00% y Mo - 0.20% teniendo en cuenta que la cementación debe hacerse a temperaturas superiores a $30^{\circ}C$ ó a $60^{\circ}C$ al punto Ac_3 para el temple de la periferia así el acero se encuentra en estado austenítico que disuelve con gran facilidad el carbono entonces las temperaturas de cementación serán.

Aceros al Carbono	900/950°C
Aceros al Cr-Ni	850/900°C
Aceros al Cr-Mo	900/950°C

Si se emplearan temperaturas inferiores al punto Ac_3 una parte del acero se encontraría en estado ferrítico que no disuelve o disuelve en parte el carburo entonces la penetración del carbono en la cementación sería muy lenta.

Las temperaturas de tratamiento que se emplean para primer temple o temple del núcleo central suelen ser de 5 a 25°C más elevados que Ac_3 , así tenemos el acero al carbono:

Temple del núcleo central 890°C
Temple de la periferia 780°C

Acero al Cromo-Níquel

Temple del núcleo central 825°C
Temple de la periferia 780°C

Acero al Cromo-Molibdeno

Temple del núcleo central 890°C
Temple de la periferia 825°C

La velocidad de penetración y distribución del carbono en el interior del acero no se modifica sensiblemente por la presencia de los elementos aleados en el acero, sin embargo el níquel y silicio tienden a retardar esta penetración en cambio los elementos formadores de carburos como el cromo, Mo y Mn la aceleran.

Influencias que ejercen cada elemento en los aceros de cementación con el Mn : mejora la templabilidad y evita las descarburaciones y las deformaciones.

El Níquel mejora la tenacidad y resistencia de los aceros cementados, baja los puntos críticos y disminuyen el peligro de formación de cascarillas y descarburación, pero el níquel tiende a retardar la transformación de la AUSTENITA EN MARTENSITA, porque a altas temperaturas en la zona periférica de las piezas cementadas aparecen austenitas retenidas.

Corte

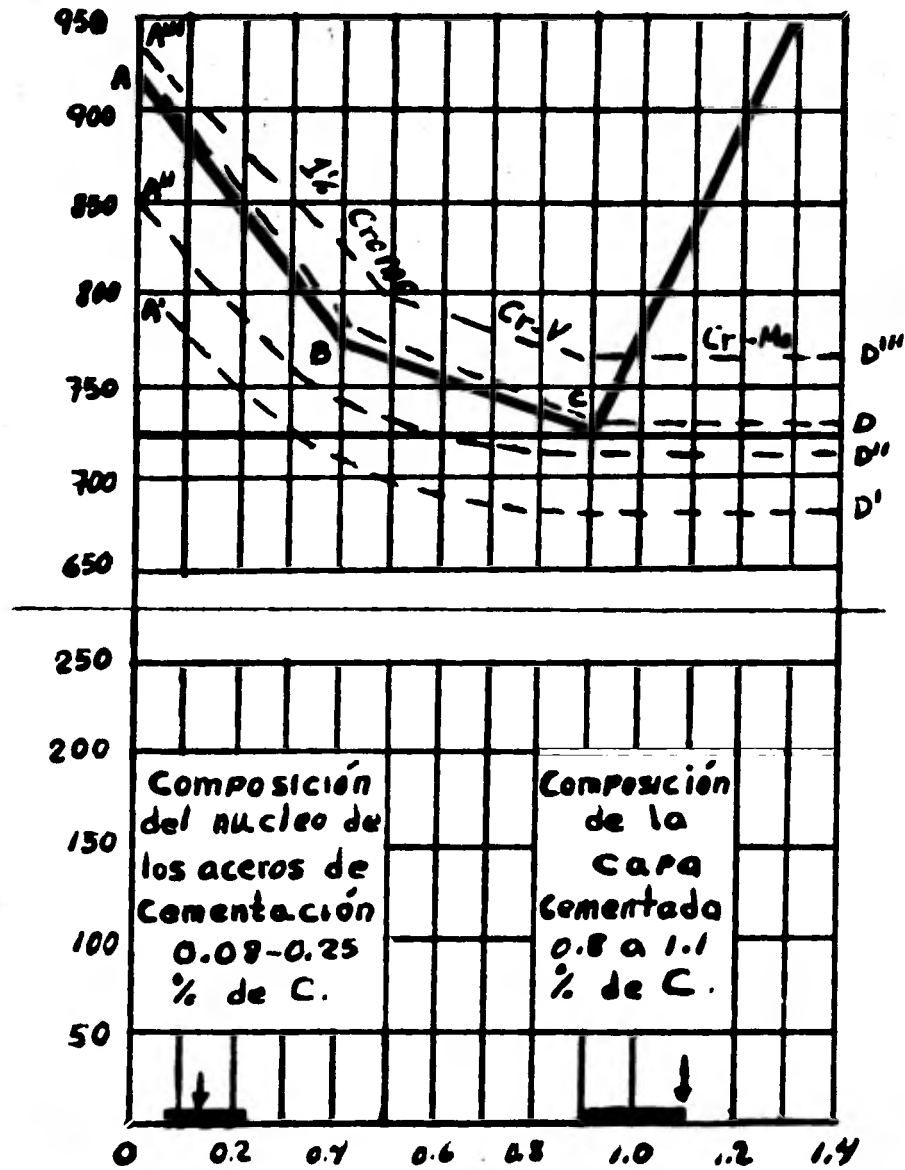


Fig. 6.1 Temperaturas críticas de diversos aceros al carbono y aleados.

- A' D' 5% de níquel
- A'' D'' Cromo-níquel medio
- A D Aceros al carbono
- A''' D''' 1% de cromo, Cromo vanacho - Cr-Mo.

El Mo. mejora la templabilidad y la resistencia al desgaste manteniendo dura la capa periferia de la pieza cementada durante el trabajo y a temperaturas elevadas.

Con la adición del níquel y cromo se ha conseguido a los aceros de Cementación alcanzar excelentes características mecánicas, El Ni. da a los aceros gran tenacidad que es el que les falta a los aceros al cromo y en cambio el Cr. les da gran dureza y resistencia al desgaste que no tienen los aceros al níquel.

Tanto el níquel como el cromo aumenta la templabilidad y la resistencia en el corazón y más se mejora la templabilidad con el Mo. con los aceros al Cr-Ni-Mo ha sido posible fabricar piezas cementadas de gran tamaño con resistencia y durezas muy elevadas.

CAPA CEMENTADA

Capa cementada es la zona que después de la cementación queda con un contenido de carbono superior a 0.50% C llamada capa dura que después del último tratamiento queda con una dureza superior a 700°vickers.

Los espesores de las capas cementadas se clasifican en tres grupos.

1.- Capas delgadas con menos de 0.50mm de espesor de cementación, éste tipo de capa se usa para piezas pequeñas de acero al carbono, y endurecidas generalmente con sales de cianuro y templadas directamente desde la temperatura de cementación y sin recificado posterior.

2.- Capas medias de 0.50/1.50 mm, estos espesores son los más comunes para máquinas y motores, se pueden obtener utilizando cementantes sólidos, líquidos y gaseosos, ya sea con acero al carbono, débilmente aleados y de alta aleación.

3.- Capas de gran espesor superiores a 1.50mm se obtiene por -

cementación con materias sólidas y con cementantes gaseosos y ra
ras veces con cementantes líquidos.

Cualquiera que sea el proceso que se emplee no con-
viene en general que el contenido de carbono pase de 1% en la
capa cementada y debe procurarse que la parte periférica de la -
pieza después de rectificado quede con 0.80/0.90% de C. para -
garantizar en el temple durezas de 62/65 RC (Rockwell), aunque
siempre conviene obtener durezas arriba de 60 RC que es aproxima-
damente el límite de durezas en que la lima ya no marca el ace-
ro.

Cuando el contenido de carbono en la zona periferia -
sea superior a la composición Eutectoide de 0.90% C. suelen apa-
recer redes de cementitas o carburos que pueden hacer frágil la ca-
pa cementada y con tendencia a descascarillarse, en estos casos -
conviene dar un recocido de difusión de 800/900°C a una atmósfe-
ra de difusión apropiada para disminuir el porcentaje de carbono -
de la periferia y uniformar el contenido de carbono en la zona pe-
riférica.

Características Mecánicas de la Capa Cementada

Las características de la capa cementada son casi siem-
pre independientes de las de núcleo, generalmente interesa que la
dureza superficial sea mayor a 60 RC. aunque en algunas piezas -
que sufren poco rozamiento son suficientes con dureza compendi-
das entre 52/60 RC.

Se consideran durezas muy buenas las mayores de 63 -
RC. buenas las comprendidas entre 62/63 RC. y aceptable entre -
60/62 RC.

En las pequeñas piezas estas durezas se consiguen lo -
mismo con los aceros al carbono templado en agua que los aceros
aleados templados en aceite aunque con ventaja los aceros aleados/
templados en aceite, porque al templar en aceite disminuye las de

formaciones y aumenta la uniformidad en los resultados.

Con los aceros aleados Cr-Mo se obtienen mejores durezas y resistencias al desgaste debido a la formación de carburos complejos en la zona periférica.

Para comprobar la dureza de la capa cementada, además de las máquinas para comprobar dureza Rc y Vickers, es muy útil el uso de una lima, esto se hace con una lima fina y nueva se puede distinguir las piezas que tienen durezas inferiores a - - 60RC porque se rayan con la lima, la producción se controla rápidamente y sobre todo a las piezas complicadas que no se pueden ensayar con máquinas ordinarias.

Algunas veces cuando no se alcanza esta dureza, es debido a que la temperatura de calentamiento descarburiza la capa periférica por la presencia de austenita retenida en la capa cementada.

MEDIDA DEL ESPESOR DE LA CAPA CEMENTADA Y DE LA CAPA DURA.

Para conocer en los procesos de cementación la penetración del carbono se pueden emplear varios métodos:

- a).- El más sencillo consiste en cementar junto con las piezas 2 ó 3 varillas del mismo material de 6 a 12 mm de diámetro después de cementadas se templen a 800°C en agua y se rompe la varilla pudiendo observar la capa en la periferia con grano más fino que la central que señala con bastante aproximación la penetración del carbono.
- b).- Otro método es cortar la varilla después de cementación y pulir las secciones transversales y atacarlas durante 30 segundos con ácido nítrico al 5%, las zonas cementadas se ennegresen y se puede medir con más precisión y con un contenido de carbono al 0.50%.
- c).- Otro procedimiento consiste en cortar las piezas o probetas

cementadas después de cementación y antes del temple final, se pule la sección transversal y se ataca con nital 5 y se mide el espesor del anillo periférico de color negro - que corresponde a la capa cementada con un microscopio - de retículo graduada de 10 a 50 aumentos se observa fácilmente el avance de la cementación.

d).- También se determina el espesor de la capa cementada con MICROSCOPIO.

Se corta transversalmente la pieza a ensayar y se hace ensayos de microdureza observando en qué punto del material la dureza es menor de 700 Vickers.

e).- También se hace el análisis químico dándose una idea exacta de la operación, se utiliza el acero que se quiere estudiar de 15 a 20mm. de diámetro y de 100 a 200 mm de long. se cementa y se tornea, después de analiza las virutas para conocer la distribución del carbono en el acero.

f).- Otra forma de conocer es torneando cónicamente una pieza cilíndrica cementada y se checa la dureza a todo lo largo de la generatriz determinando así la profundidad de la capa dura.

PROCESO DE CEMENTACION

Los procedimientos más usados para conseguir que una pieza tenga gran dureza superficial y resistente al desgaste y a la penetración y el núcleo central muy tenaz son:

CEMENTACION, CIANURACION, CARBONITRURACION, NITRURACION, SULFINIZACION, TEMPLE LOCAL, EL DEPOSITO DE SOLDADURA DE CAPAS SUPERFICIALES DELGADA DE ACERO DE ELEVADO CONTENIDO DE CARBONO Y EL CROMADO DURO.

La cementación consiste en aumentar el contenido de carbono en la superficie de las piezas de acero, rodeándolos con un medio carburante y manteniendo todo el conjunto durante un cierto tiempo a elevada temperatura, luego se temple las piezas quedando con -

gran dureza superficial.

Se puede utilizar cementantes **SOLIDOS, LIQUIDOS y GASEOSOS.**

Cuando se utilizan cementantes sólidos tiene una duración que oscila de 6 a 10 horas.

Cuando se trata cementantes líquidos (sales) tiene una duración - que varía de 1 a 6 horas.

Y utilizando cementantes gaseosos tiene una duración de 1 hora a varios días según los casos.

La operación se realiza a temperaturas comprendidas entre 850/900°C siendo las más utilizadas las más próximas a 900°C.

EN EL PROCESO DE CEMENTACION

Se distinguen 3 etapas fundamentales:

- 1.- Producción de carbono naciente en la periferia del acero
- 2.- Absorción de carbono en la zona periférica del acero
- 3.- Difusión del carbono hacia la zona central del acero

En realidad estas tres etapas se producen simultáneamente y se señalan por separados para facilitar el estudio de cada fase.

La cantidad y distribución del carbono absorbido por las piezas dependen de:

- Primero.- De la composición del acero sometido a la cementación.
- Segundo.- De la naturaleza de las sustancias cementantes.
- Tercero.- De la temperatura y de la duración de la cementación.

Una pieza después de cementación se forma dos capas una periférica o capa cementada con un alto contenido de carbono y otra el alma o núcleo central con la composición inicial, y por ésta dife-

rencia de composición necesitan diferentes tipos de tratamientos -
términos siendo esto favorable para las dos capas.

Para la cementación de las piezas con carburante -
sólido se emplean hornos calentados con carbón, gas, fuel-oil y -
electricidad, en ellos se colocan las cajas de cementar, con las
piezas y las mezclas cementantes dentro, cerrando bien las juntas
con barro o arcillas refractarias.

Se usan cajas de acero moldeado, de chapa soldada
y de chapa embutida.

En la cementación con líquidos, se utilizan crisoles
de acero refractarios al calor, (Inoxidables) que son los de mayor
duración, y se calienta el crisol con carbón, gas, fuel-oil y elec-
tricidad.

Para la cementación en baño de sales es muy utili-
zado un tipo de horno eléctrico que consta de 2 ó 3 electrodos -
que quedan sumergidos en el baño de sales, las sales fundidas son
conductoras para que a través de ella pase la corriente eléctrica
y el calor originado por el paso de esa corriente es suficiente pa-
ra el calentamiento del baño, se trabaja con voltajes de 8 a 30
voltios y de 10 a 130 KW. de la potencia del transformador. - -
(Las sales sólidas no son conductoras).

Para la cementación gaseosa se usan hornos fijos y
móviles, los hornos rotativos circulares y los hornos continuos sue-
len ser los más empleados cuando se cementan piezas pequeñas, -
para estos hornos la manipulación y el temple son automáticos.

CEMENTACION CON MATERIAS SOLIDAS

Se utilizan diversas materias para suministrar el car-
bono que ha de absorber el acero durante la cementación, las más
empleadas son carbón vegetal, el negro animal, huesos calcinados,
cuero, cock, etc. mezclas con carbonatos de bario, calcio y so-
dio; se ha comprobado que la transferencia del carbono al acero -
se verifica por medio de los gases que se desprenden al calentarse

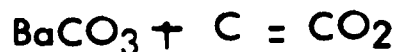
las mezclas cementantes a alta temperatura, siendo el óxido de carbono el principal agente carburante, entonces mientras no haya gases carburantes a su alrededor, el acero no absorbe carbono.

El proceso de cementación con carbón vegetal y co que se explica así:

El carbón a elevada temperatura y en contacto con el oxígeno del aire que hay en las cajas de óxido de carbono -- (CO), éste se descompone a altas temperaturas en carbono naciente y dióxido de carbono $2CO - CO_2 \uparrow C$ y éste carbono naciente es el que produce la cementación y al estar en contacto con el hierro a alta temperatura se combinan $C \uparrow 3Fe = CFe_3$ formándose carburo de hierro o cementita, luego se difunde el carbono o carburo de hierro hacia el interior de las piezas produciendo la cementación.

En todos los casos para que se verifique la absorción del carbono es necesario que el acero se encuentre en estado austenítico con el hierro en forma gamma, en éstas condiciones de 850/950°C el acero puede absorber de 1.40/1.70%C. Cuando el hierro se encuentra en estado alfa a 720°C la absorción del carbono apenas alcanza a 0.035%C.

En especial el carbonatobárico con el carbón vegetal aceleran la penetración del carbono naciente siendo el verdadero agente carburante al facilitar la formación del óxido de carbono.



Como las mezclas cementantes pierden con su uso su actividad constantemente, hay que renovarla.

Los principales inconvenientes de los cementantes sólidos son:

Primero.- La gran duración de la operación, ya que es necesario calentar a muy altas temperaturas las cajas de cementación.

Segundo.- El elevado consumo de combustible o carbón.

Tercero.- El elevado costo de preparación y colocación de las piezas en las cajas.

Cuarto.- La dificultad de templar las piezas directamente desde las cajas y la imposibilidad de emplear equipos automáticos.

Quinto.- La irregularidad de temperaturas en el interior de las grandes cajas de cementación.

La profundidad de la capa cementada aumenta con la temperatura y con la duración de la cementación, de la actividad del carburante empleado y de la composición del acero que se va a acementar.

La absorción de carbono por el hierro gamma es más activo cuanto menor sea el porcentaje de carbono del acero. Ejemplo, cementando un acero de:

C - 0.15%

Cr - 0.50%

Ni - 1.00%

a 925°C de temperatura con carbón vegetal de 60% y 40% de carbonato bórico se obtiene al cabo de 4 horas, una profundidad de 0.89 mm y una velocidad media de penetración de 0.22 mm por hora, a las 8 horas se llega a 1.60 mm y a las 16 horas a 2.30 mm de profundidad.

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL CON BAÑOS DE SALES FUNDIDAS

En los últimos años se ha generalizado extraordinariamente el uso de baños de sales para el endurecimiento superficial de los aceros para pequeños espesores y piezas sencillas, sometida a poco esfuerzo y con una producción en series medianas.

Es frecuente realizar la cementación con sales para obtener capas duras de 0.50 a 2mm de espesor. Esta cementación se consigue empleando baños de cianuro activados con agentes catalizadores. Esos baños se preparan con sales inertes como el cloruro y carbonato sódico, elementos activos como el cianuro sódico, cianuro cálcico o cianuro potásico y catalizadores como los cloruros y fluoruros de bario, calcio, estroncio, etc.

Los procesos de endurecimiento, empleando sales preparadas con cianuros, pueden dividirse en dos grupos: La cianuración y la cementación o carburación, que aunque semejantes en algunos aspectos pueden, sin embargo, considerarse como tratamientos diferentes.

En la cianuración el endurecimiento se consigue por la acción combinada del carbono y el nitrógeno, obteniéndose capas superficiales duras de poca profundidad. Se utilizan baños -- preparados a base de cianuro sódico o potásico, y sales inertes, -- empleándose porcentajes de cianuro muy elevados, 20 a 50% y -- temperaturas relativamente bajas, de 750/850°C.

En la cementación o carburación con sales se utilizan baños de sales preparados a base de cianuros y agentes catalizadores. El porcentaje de Cianuro suele ser bajo de 8 a 25%. La profundidad que se consigue es muy superior a la de cianuración, oscilando entre 0.20 a 3mm y aunque en la periferia siempre hay un pequeño porcentaje de nitrógeno, puede considerarse que el endurecimiento es debido principalmente a la acción del carbono.

La cementación con sales tiene la ventaja de que las instalaciones son muy sencillas y relativamente baratas, el precio de un horno de sales suelen ser menor que cualquier otro tipo de horno.

Sin embargo las sales tienen el inconveniente de ser muy venenosas y aunque los humos que se desprenden no lo son, -- sin embargo causan molestias e irritación en las vías respiratorias.

CEMENTACION EN BAÑOS DE SALES

En este proceso la gran dureza superficial que adquiere el acero es debido a la acción del carbono sin la influencia del nitrógeno.

Los baños de sales que se utilizan en este procedimiento se preparan con cianuro sódico, con porcentajes variables de cloruro y carbonato sódicos a los que se añade uno o más cloruros o fluoruros de sodio, bario, potasio o estroncio que actúan como activadores del proceso, aumentando la penetración del carbono y la profundidad de la capa dura de 0.2 a 3mm de espesor.

Las sales que se utilizan para la cementación de los aceros se clasifican en dos grupos de acuerdo con la penetración que con ella se consigue.

Sales de 17 a 23% de cianuro con alto porcentaje de cloruro sódico y bajo porcentaje de cloruro bórico y se emplean a temperaturas variables de 850/925°C para conseguir capas de 0.2 a 1.5mm de profundidad.

Sales de 7.5 a 12% de cianuro con alto porcentaje de cloruro bórico y bajo porcentaje de cloruro sódico para espesores de 1 a 3mm de espesor empleando temperaturas de 875/950°C.

Composición de las sales empleadas para la cementación de los aceros

	Capa cementada de 0.2 a 1.5 mm	Capa cementada de 1 a 3 mm
Cianuro sódico	17/23%	7.5/12%
Cloruro bórico	14/40%	45/55%
Otras sales alcalinas	0/3.5%	2/10%
Cloruro potásico	0	5.5/20%
Cloruro sódico	20/30%	0/15%
Carbonato sódico	menor de 30%	menor de 30%
Cianato sódico	menor de 1%	menor de 0.30%

Según los casos se suelen usar:

1.- Una sola sal, a base de cianuro y cloruro cálcicos con algo de cianuro sódico que contiene todos los elementos necesarios para cementar el acero y que a medida que se va gastando el baño sirve también para relleno.

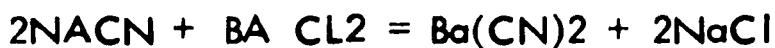
Esta sal suele contener $CNNa = 25\%$, $(CN)_2Ca = 0.5.5\%$ y $CL_2Ca = 70\%$, es muy barata, pero es higroscópica y es necesario lavar muy bien las piezas para evitar su corrosión. No es necesario hacer análisis del baño y observando el aspecto de su superficie se conoce su grado de actividad.

2.- Dos sales, una de las cuales suele ser una sal neutra o una mezcla de sales neutras, constituida generalmente por cloruro y carbonato sódico y la otra una sal de cianuro con cloruros activadores ($CNNa = 30\%$, $Cl_2Ba = 50\%$ y $CLNa = 20\%$ aproximadamente).

3.- También se suelen usar tres sales. Una de bajo punto de fusión neutra, compuesta generalmente por cloruro o carbonato sódico que sirve para iniciar la fusión de una pequeña parte del baño de sales. Otra sal de cianurar con 80 a 90% de cianuro sódico y 5 a 10% de carbonato sódico y la tercera, que es la sal catalizadora, con 70 a 85% de cloruro bórico, 5 a 10% de cianuro sódico, 10% de cloruro sódico y 10% de bórico, 5 a 10% de cianuro sódico, 10% de cloruro sódico y 10% de carbonato sódico.

En los baños de cementar lo mismo que en los de cianurar debe cubrirse la superficie de las sales con escamas de grafito para evitar pérdida de cianuro, por oxidación.

En los baños de sales activados con cloruro bórico la actividad carburadora de éste es debido por:



El carbono naciente que pasa al acero y con esta reacción aumenta la liberación del carbono activo, disminuyendo la formación de nitrógeno, cuya influencia es perjudicial en este tratamiento porque dificulta la penetración del carbono al acero. Como el porcentaje de cianato en el baño es un índice de la cantidad de nitrógeno que absorbe el acero, entonces para asegurar una buena penetración de carbono en los aceros se debe de mantener en los baños de penetración media en porcentajes de cianato inferiores a 1% y en los de gran penetración debe ser menores a 0.3%.

Las irregularidades que se presentan en este proceso se deben a las siguientes circunstancias.

- Primero.- Contenido insuficiente de cianuro para generar el carbono activo.
- Segundo.- Aumento exagerado del contenido de carbonato sódico.
- Tercero.- Cantidad excesiva de carbonato sódico.
- Cuarto.- Error en la temperatura de cementación.
- Quinto.- Bajo contenido de cloruro bórico.

Para conducir bien la cementación con sales debe conocerse el contenido de cianuro sódico del baño, para eso se usa el siguiente método.

Se comienza el análisis disolviendo dos gramos de la sal de baño de cementación con una matraz aforado de 250 cm³ lle no hasta la mitad de agua destilada cuando se haya disuelto las sales se le agrega 5 cm³ de yoduro potásico, se oscurece el líquido y se llena el matraz, se agita, se toma el líquido filtrado 125 cm³, con una bureta graduada, se le añade una solución de nitrato de plata convirtiéndose en color amarillo verdoso se anota el número en cm³ de solución de nitrato de plata en la probeta graduada antes y después de nitración y la diferencia señalan el porcentaje de cianuro que contiene el baño de sales.

CEMENTACION CON GASES

Después de varios experimentos en el siglo pasado el italiano Federico Giolitti fue el primero que publicó sus ensayos -

donde cementó con óxido de carbono, etileno, metano y gas de aluminado.

En este proceso manteniendo, las piezas de 1 a 8 horas en una atmósfera carburante a temperatura de 850/950°C se obtienen capas cementadas de 0.2 a 1.5mm de espesor o profundidad.

Para la fabricación de blindajes se emplean procesos más largos obteniendo desde luego capas cementadas de mayor espesor, aunque las instalaciones son más costosas y complicadas, la cementación de las piezas es muy sencilla y rápida, obteniendo resultados regulares y se pueden cementar grandes cantidades de piezas en muy poco tiempo. Su empleo está sustituyendo en muchos casos la cementación en cajas y en sales, es recomendable para las empresas cuyo producto es en serie, en la actualidad la cementación gaseosa es el método de endurecimiento superficial más empleado en grandes talleres, fábricas de automóviles y motocicletas, etc. donde se preparan cantidades muy importantes de piezas cementadas.

TIPOS DE HORNOS EMPLEADOS

Durante bastante tiempo la cementación gaseosa de piezas se ha efectuado casi exclusivamente en hornos rotativos, de eje horizontal, que se emplean todavía en la actualidad, con cierto peligro para la deformación de las piezas por el continuo choque y movimiento a que están sometidos. Posteriormente se comenzaron a emplear hornos continuos, en los que las piezas son transportadas a través del horno de un extremo a otro por medio de bandejas o cadenas móviles.

Para este tratamiento también se emplean hornos estacionarios, en los que las piezas se colocan en cestas o colgadas con alambres, según su forma y tamaño, introduciéndolas dentro de un recipiente cerrado a través del cual circula el gas carburante que es agitado por un ventilador colocado, en la parte superior del horno, terminada la operación se desplaza la tapa y se saca la cesta y se lleva al horno de difusión que se encuentra a más baja temperatura y luego se pasan las piezas al baño del temple.

ATMOSFERAS CARBURANTES

A parte del papel tan importante que desempeña el óxido de carbono aunque no es muy activo, es necesario la presencia de hidrocarburos en las atmósferas carburantes para acelerar la carburación y como gas carburante activo se suelen emplear el metano, butano, propano, etc. con buenos resultados.

La reacción principal en la cementación gaseosa es la siguiente:

$CH_4 = C + 2H_2$, siendo el carbono naciente el que al ponerse en contacto con el acero a elevada temperatura se disuelve en el hierro gamma.

En todas las atmósferas carburantes existen CO_2 y H_2 como elementos derivados de las reacciones fundamentales de la cementación, si en algún caso no se encuentran presentes es señal de que no se está produciendo la cementación del acero.

$2CO = CO_2 + C$ y $CH_4 = 2H_2 + C$ y sin estos elementos no se producirá la cementación del acero, la utilización del gas portador en la cementación gaseosa es muy interesante por ser más económicos y que rellena fácilmente la cámara del horno, además el gas portador desplaza el aire o gases que puede existir en las cámaras de los hornos y asegura una cierta presión en su interior del horno.

En la cementación con atmósfera gaseosa es frecuente efectuar el proceso de dos fases:

Primera.- Carburación a elevada temperatura en atmósfera muy carburante.

Segunda.- Difusión a más baja temperatura ($800^{\circ}C$ aproximadamente) en atmósfera neutra o ligeramente carburante.

FABRICACION DE PIEZAS CEMENTADAS

Para la fabricación de piezas cementadas el proceso

industrial que se suele seguir normalmente es, en líneas generales el siguiente.

Primero.- Mecanización de la pieza dejando sólo un ligero exceso de décimas o centésimas, según sea la pieza que se va a fabricar.

Segundo.- Cementación.

Tercero.- Tratamiento de regeneración y endurecimiento.

Cuarto.- Rectificado.

En ocasiones se realizan las operaciones de forma diferente, a veces cuando existen graves problemas de deformaciones, se dan a las piezas antes del mecanizado ciertos tratamientos especiales, temple, calentamientos de austenización con transformaciones isotérmicas, etc. otras veces antes de la cementación, se protege a las piezas con pinturas o por cobreado electrolítico, para evitar que cemen ten ciertas zonas del material. También hay piezas que se dejan mecanizadas a las medidas definitivas porque luego no es necesario el rectificado final, etc. Se comprenden fácilmente - que los métodos descritos no pueden ser una regla.

Los tratamientos de cementación, temperatura, duración de calentamiento, método de enfriamiento, etc. y los temple posteriores que es necesario dar a las piezas varían mucho de unos casos a otros, según sea la clase del acero y las características -- que se desean obtener.

En cada caso, la elección de uno u otro tratamiento dependerá de la forma y dimensiones de las piezas, de la composición del acero, de su tamaño de grano y de las características que se quieran conseguir en el corazón y en la periferia de las piezas.

A continuación describimos los más utilizados, señalando sus ventajas y desventajas y los casos en que conviene emplearlos.

Primero.- Cementación, temple directo desde la temperatura de cementación y revenido final.- Este tratamiento se da generalmente cuando se cimenta en baño de sales o en atmósfera carburante y raramente cuando se cimenta en cajas. Y se recomienda para las -

piezas de poca responsabilidad y para cementaciones ligeras de -- 0.4mm de espesor, donde la tenacidad del núcleo no tiene mucha importancia. Para eso conviene utilizar aceros de baja aleación o al carbono de grano fino más no aceros de alta aleación. Debido a la temperatura que se hace el temple que es muy alta, donde los granos crecen exageradamente y no se regeneran con el tratamiento posterior lo cual se obtiene una gran dureza en el corazón y en la periferia, pero con el peligro de que ambas zonas -- queden frágiles.

Segundo.- Cementación, enfriamiento lento, temple a temperatura intermedia entre AC1 y AC3 y revenido final. Este tratamiento se puede emplear con éxito cuando se usan aceros de alta aleación, que son generalmente de grano fino y no necesitan regenerar el corazón. Así se obtiene la máxima tenacidad del corazón, cuya resistencia será un poco inferior a la máxima que se obtiene templando a más alta temperatura. Si se utiliza este tratamiento para -- aceros de grano grueso, la periferia quedará con buenas características, pero el corazón quedará bastante frágil por no haber sido regenerado. Con este tratamiento hay poco peligro de deformaciones.

Para este tratamiento se emplean hornos de difusión a temperaturas ligeramente superiores a AC1, en estos hornos debe emplearse atmósfera controlada para evitar la descarburación de la capa cementada.

Tercero.- Cementación, enfriamiento lento, temple a temperatura ligeramente superior a AC3 y revenido final. Con este tratamiento se obtiene la máxima resistencia en el núcleo. La tenacidad del corazón será buena, aunque haya crecido el grano durante la cementación, se afinará por haber sido calentado el acero para el temple a temperatura ligeramente superior a AC3, la dureza puede ser un poco bajo en la capa cementada por quedar algo de austenita retenida sin transformar.

Este tratamiento se emplea para aceros de media aleación y grano fino, siempre que se quiera conseguir la máxima resistencia en el corazón, estas piezas se emplean en la industria -

aeronáutica y en el automovilismo, etc.

Cuarto.- Cementación, enfriamiento, primer temple a temperatura ligeramente superior a AC3 segundo temple a temperatura ligeramente superior a AC1 y revenido final. Se usa este tratamiento con los aceros al carbono y de media aleación y en general con todos los de grano grueso, hasta hace poco tiempo era el tratamiento más utilizado para piezas de responsabilidad, pero hoy en día al poderse fabricar aceros de grano fino, se emplea en menos ocasiones. Donde en la periferia quedará dura y tenaz y el corazón quedará con una resistencia ligeramente inferior a la máxima y muy buena tenacidad. Este tipo de temple suele utilizar cuando se teme que la cementación haya hecho crecer el grano del acero y se quiere asegurar que el corazón tenga la máxima tenacidad.

Quinto.- Austempering y Martenpering.- Cuando se quiere reducir al mínimo las deformaciones de las piezas cementadas, el temple se hace enfriando en sales fundidas en lugar de agua o aceite. Y las durezas que se obtienen en la periferia dependen de muchos factores como son:

Composición, tamaño de las piezas, temperaturas del baño de sales, y tiempo de permanencia en el mismo, etc.

PROTECCION DE LAS ZONAS QUE NO SE DESEA ENDURECER

Cuando interesa que ciertas zonas de las piezas queden blandas después de cementadas, hay que evitar que absorban carbono durante la cementación. Para protegerlas de forma adecuada, se utilizan diversos métodos.

Un método bastante empleado para impedir el total endurecimiento de las piezas, consisten en dejar un exceso de material en las zonas que se quiere que queden blandas, para mecanizar después de la cementación y antes del temple.

Si la cementación se hace en cajas, se puede evitar

el endurecimiento de las roscas u otras superficies fáciles de recubrir, protegiéndolas con varias capas de alambre de hierro, que se enrolla a su alrededor. De esta forma se cementará el alambre, sin que penetre en cambio el carbono en el acero de la pieza. Cuando se trata de barrenos se suelen rellenar con cementos especiales.

El procedimiento que tiene más aceptación de todos, es el cobreado electrolítico, se comienza pintando las superficies que se van a endurecer con cera, pinturas, lacas o resinas especiales. Una de las pinturas más usadas se preparan con los siguientes componentes.

100 gramos de cera
100 gramos de trementina
25 gramos de pez
25 gramos de asfalto
25 gramos de betún de judea

Luego se desengrasan bien las piezas y a continuación se introducen en un baño de cobreado electrolítico, en el que se precipita una capa de cobre sobre las zonas sin pintar, que son las que deben quedar blandas, quedando sin cobrear las zonas protegidas con pintura. Luego se colocan las piezas en las cajas de cementación y al elevarse la temperatura se queman las capas protectoras de cera, laca, resina, etc. cementándose esas superficies, sin que penetre el carbono a través de las superficies protegidas por el cobre.

El cobreado se suele hacer primero en medio básico - para conseguir la máxima adherencia y luego en ácido, para aumentar el espesor de la capa. Pero antes del cobreado se deben desengrasar perfectamente las piezas, después de esto se someten las piezas al cobreado básico con el que se consigue una delgadísima capa de unos 0.06mm de espesor de gran adherencia.

Un baño muy utilizado para este tratamiento de cobreado es el siguiente:

Cianuro de cobre 23 g. por litro

Cianuro de sodio	46 g. por litro
Carbonato de sodio	15 g. por litro

La temperatura del baño debe ser próxima a 25°C se emplean tensiones de 2 a 4 voltios con intensidades de 0.5 a 1.5 amperios por decímetro cuadrado de superficie. La duración de la operación suele variar de 10 minutos a media hora.

A continuación se efectúa el cobreado ácido con el que se consigue aumentar el espesor de la capa de cobre hasta -- unas 3 décimas de milímetro, mejorándose la protección que impedirá que el carbono penetre al interior.

La composición del baño suele ser:

Sulfato de cobre	200 gramos por litro
Acido sulfúrico	5 gramos por litro

Se emplean tensiones de 2 a 4 voltios, intensidades de 1 a 3 amp. y la duración suele variar de 30 a 60 minutos.

DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS A QUE ESTA SOMETIDA LA CAPA CEMENTADA

El espesor de la capa cementada más conveniente en cada caso, varía mucho de unas piezas a otras y depende de las dimensiones, forma y condiciones de trabajo, variando desde dos - o tres décimas de milímetros hasta varios centímetros. En la mayoría de las piezas de automóvil, maquinaria, aviación, etc. se usan espesores de 0.5 a 1.5 mm. En la industria del automóvil las presiones máximas sobre la periferia de las piezas cementadas de cierta responsabilidad, varían de 125 a 150 kg-mm².

Para conocer el grado de tenacidad de la capa cementada, algunas veces se suele someter a las piezas cementadas al ensayo brinell y luego se observa el efecto que ha causado. - Cuando la capa periferia es frágil, se agrieta o salta y cuando es tenaz permanece bien adherida. (Ver figura siguiente)

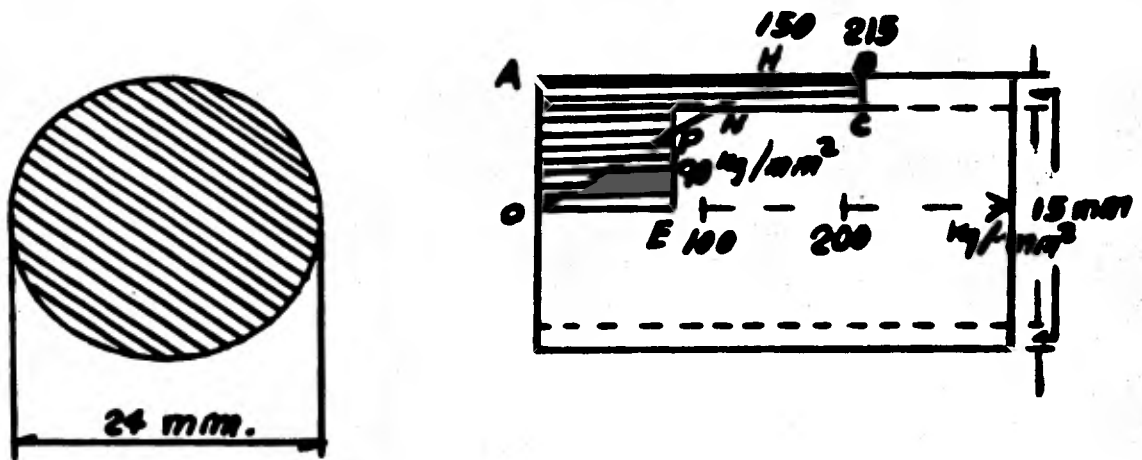


Diagrama de esfuerzo, correspondiente a una pieza cementada, de 24 mm de diámetro, sometida a flexión.

Nota: Los 15 mm corresponden al espesor de la capa cementada.

CARACTERISTICAS MECANICAS DEL NUCLEO CENTRAL

En las piezas cementadas, la resistencia del núcleo - puede variar desde 45 a 140 kg/mm². Utilizando aceros sin aleación de 0.10 a 0.15% de C y dando después de la cementación - doble tratamiento de 925°C y luego a 780°C, se obtienen en el núcleo de la pieza las siguientes características:

$$R = 45/85 \text{ kg-mm}^2; A = 15 - 25\%; = 15 - 30 \text{ kg/cm}^2$$

En los aceros al carbono de grano grueso, con un solo temple a 780°C, después de la cementación se obtiene:

$$R = 45 - 85 \text{ kg/mm}^2; A = 5 - 18\%; = 5 - 10 \text{ kg/cm}^2$$

Si el acero es de grano fino, con un solo temple a
125

780°C, las características que se obtienen son aproximadamente las mismas que las señaladas anteriormente para el tratamiento doble.

Cuando los aceros son de grano fino y el último temple se verifica a temperaturas comprendidas entre AC1 y AC3, en el núcleo central se obtienen características aceptables, a pesar de tratarse de un temple imperfecto del núcleo.

Con aceros de grano fino, cuando el interés fundamental es que además de gran dureza en la periferia las piezas -- tengan gran tenacidad, se templarán a temperaturas ligeramente superiores a AC1, si interesa en cambio gran dureza superficial y elevada resistencia en el núcleo habrá que hacer el temple a temperaturas ligeramente superiores a AC3. A continuación damos las características obtenidas con un acero al CR-Ni de 0.11% C, -- 0.68% de CR. y 3.05% de NI, de grano fino tamaño de grano -- 7-8, templado después de la cementación a diversas temperaturas en aceite.

Temperatura de Temple	Periferia dureza Rockwell-C	Núcleo Central		
		R kg/mm ²	A %	P kfm/cm ²
745°	62-65	86	16	23
770°	62-64	106	9.5	12
800°	61-64	109	9.0	10
825°	61-63	110	8.5	9.5

Todas estas características son en general, aceptables y se recomienda el temple de 745° cuando interesa gran tenacidad -- = 23 kg/cm², y el temple a 825° cuando se necesita gran resistencia = 110 kg/mm². Cuando tenemos un acero aleados de grano duplex-creemos recomendable en el caso de que se de un solo temple a las piezas cementadas, utilizar temperaturas superiores por lo menos en 50° a 60° al punto AC1, para evitar zonas con baja resiliencias.

Citaremos otros ejemplos, en los que también se aprecian perfectamente las variaciones que experimenta la resistencia del núcleo al variar las temperaturas de temple.

Las composiciones y temperaturas críticas de los aceros empleados en estos ensayos son los siguientes.

A.	C=0.17%	CR=0.4%	NI=1.75%	ACI=734°	AC3=803°
B.	C=0.10%	CR=1.45%	NI=3.28%	ACI=734°	AC3=807°
C.	C=0.17%	CR=0.12%	NI=1.86%	ACI=740°	AC3=809°
D.	C=0.22%	CR=0.52%	NI=0.48%	ACI=748°	AC3=827°

Se efectuaron tres clases de tratamientos.

Primero.- Cementación a 925° temple directo en aceite.

Segundo.- Cementación a 925° enfriamiento lento en la caja, temple a 815° en aceite los aceros A, B y C y a 840° el acero D.

Tercero.- Cementación a 925°, enfriamiento lento en la caja.

Primer temple a 815° en aceite al A y B y a 835° el C y D. segundo temple a 785° en aceite al A y B y a 800° el C y D.

Después del último temple la mitad de las probetas fueron revenidas a 150° y la otra mitad a 230° y los resultados obtenidos al ensayar estos aceros se detallan en la siguiente tabla.

Clase de Acero	Tratamiento	Revenido a 150% (máxima dureza de capa cementada).			Revenido a 230% Máx. Tenacidad del corazón con dureza aceptable en periferia.			
		R kg/mm ²	A %	ρ kg/cm ²	R kg/mm ²	A %	ρ kg/cm ²	
128	A	1o. Temple directo	125	12	7	124.5	12.5	8
		2o. Temple sobre AC3	91	15	14	90	15.5	15
		3o. Segundo temple	91	18	13.2	90	18	14.5
	B	1o. Temple directo	126	12	9.5	125.5	12	9.5
		2o. Temple sobre AC3	125	12.5	11	125	12.5	11
		3o. Segundo Temple	124	13	12	123	12.5	12.5
	C	1o. Temple directo	103	13.5	9.5	101	13	10
		2o. Temple sobre AC3	90	14.2	13.5	88.5	14	14
		3o. Segundo temple	90	17.5	16.5	88	18	18
	D	1o. Temple directo	144	10	6.5	142	10.5	6.5
		2o. Temple sobre AC3	135	9	7	133.5	9	7.5
		3o. Segundo temple	100	12	9	97	14	10.5

ANALISIS QUIMICO DE LOS ACEROS DE CEMENTACION DE LA SERIE SAE/AISI

	C	Mn	Si máx.	P máx.	S máx.	Cr	Ni	Mo	V
	1010	0.08-0.15	0.30-0.60	0.35	0.04	0.04			
	1015	0.15-0.20	0.30-0.60	"	"	"			
	1025	0.22-0.28	0.30-0.60	"	"	"			
	1315	0.10-0.20	1.30-1.60	"	"	"			
	2315	0.10-0.20	0.30-0.60	"	"	"	3.25-3.75		
	2320	0.15-0.25	0.30-0.60	"	"	"	3.25-3.75		
	2512	0.12 máx.	0.30-0.60	"	"	"			
129	2515	0.10-0.20	0.30-0.60	"	"	"	4.75-5.25		
	3115	0.10-0.20	0.40-0.60	"	"	"	0.55-0.75	1.10-1.50	
	3215	0.10-0.20	0.30-0.60	"	"	"	0.90-1.25	1.50-2.00	
	3220	0.15-0.25	0.30-0.60	"	"	"	0.60-1.25	1.50-2.00	
	3312	0.15 máx.	0.30-0.60	"	"	"	1.25-1.75	3.25-3.75	
	3225	0.20-0.30	0.30-0.60	"	"	"	1.25-1.75	3.25-3.75	
	3415	0.10-0.20	0.30-0.60	"	"	"	0.60-0.95	2.75-3.25	
	4115	0.10-0.20	0.30-0.60	"	"	"	1.50-1.80	1.40-1.70	0.15-0.25
	3120	0.17-0.22	0.60-0.80	"	"	"	0.55-0.75	1.10-1.40	
	4615	0.10-0.20	0.40-0.70	"	"	"		1.65-2.00	0.20-0.30
	4620	0.15-0.25	0.40-0.70	"	"	"		1.65-2.00	0.20-0.30
	4640	0.35-0.45	0.50-0.80	"	"	"		1.65-2.00	0.20-0.30
	4815	0.10-0.20	0.40-0.60	"	"	"		3.25-3.75	0.20-0.30
	5120	0.15-0.25	0.30-0.60	"	"	"	0.60-0.90		
	6115	0.10-0.20	0.30-0.60	"	"	"	0.80-1.10		0.15-0.20
	6120	0.15-0.25	0.30-0.60	"	"	"	0.80-1.10		0.15-0.20
	8620	0.18-0.23	0.70-0.90	"	"	"	0.40-0.60	0.40-0.70	0.15-0.25
	5160	0.55-0.65	0.75-1.00	"	"	"	0.70-0.90		

PROPUESTA DE TIPIFICACION DE LOS ACEROS DE CEMENTACION

DESIGNACION AISI	PROPUESTA	NOTIFICACION
---------------------	-----------	--------------

ACERO DE CEMENTACION NO ALEADO

1010	AC0008	Ac = Acero de Cementación
1015	AC0015	0 = ACERO No Aleado
1025	AC0022	008 = 0.08% de Carbono
1315	AC0010	015 = 0.15% de Carbono, etc.
2512	AC0012	

ACERO DE CEMENTACION AL NIQUEL

2315	C10N137	C = Acero de Cementación
2320	C15N137	10 = 0.10% de Carbono
2515	C10N152	NI = Níquel
		37 = 3.7% de níquel

ACERO DE CEMENTACION CROMO-NIQUEL

3115	C10CR15	C = Acero de Cementación
3215	C10CR20	10 = 0.10% de Carbono
3220	C15CR20	CR = Cromo
3312	C15CR37	15 = 1.5% de Níquel
3325	C20CR37	
3415	C10CR32	
3120	C17CR14	

ACERO DE CEMENTACION AL NIQUEL-MOLIBDENO

4615	C10M020	C = Acero de Cementación
4620	C15M020	10 = 0.10% de Carbono
4640	C35M020	MO = Molibdeno
		20 = 2.00% de Níquel

ACERO DE CEMENTACION AL CROMO VANADIO

6115	C10VCR11	C = Acero de Cementación
6120	D15VCR11	10 = 0.10% de Carbono
		V = Vanadio
		Cr = Cromo
		11 = 1.1% de cromo

ACERO DE CEMENTACION AL CROMO

5120	C15CR090	C = Acero de Cementación
5160	C55CR090	15 = 0.15% de Carbono
		Cr = Cromo
		090 = 0.90% de Cromo

ACERO DE CEMENTACION AL CROMO-NIQUEL-MOLIBDENO

4115	C1817MO	C = Acero de Cementación
8620	C060070MO	18 = 1.8% de Cromo
		17 = 1.7% de Níquel
		MO = Molibdeno
		060 = 0.60% de Cromo
		070 = 0.70% de Níquel

ACEROS DE CEMENTACION TIPIFICADOS Y SUS APLICACIONES

1. ACEROS DE CEMENTACION NO ALEADOS

AC0008	Piñones, tornillos sin fin, catarinas y pernos, engranes, bulones, ejes de pistones y piezas semejantes que deban presentar una resistencia en el núcleo de 45070 kg/mm ² ; también árboles de levas y piezas que con cementación alcanza una resistencia en el núcleo de 55-90 kg/mm ² .
AC0015	
AC0022	
AC0010	
AC0012	

2. ACEROS DE CEMENTACION AL NIQUEL

C10N137	Piñones, árboles de levas, bulones y piezas pequeñas que deban presentar en el núcleo después de cementar una resistencia de 85-115 kg/mm ²
C15N137	
C10N152	

3. ACEROS DE CEMENTACION AL CROMO-NIQUEL

C10CR15	Engranes, bulones, árboles de leva y piezas pequeñas que después de cementar presentan resistencia en el núcleo de 80-120 kg/mm ² y 120-140 kg/mm ² , dependiendo del porcentaje de carbono, la temperatura de temple y el medio de cementar.
C10CR20	
C15CR20	
C15CR37	
C20CR37	
C10CR32	
C17CR14	

4. ACEROS DE CEMENTACION AL NIQUEL MOLIBDENO

C10M020	Aceros de temple directo, piezas que deben presentar en el núcleo una resistencia de 80-115 kg/mm ²
C15M020	
C35M020	

5. ACEROS DE CEMENTACION AL CROMO VANADIO

C10VCR11	Dados, cabeceadores, punzones, cinceles, - cuchillas
C15VCR11	

6. ACEROS DE CEMENTACION AL CROMO

C15CR090 Cuchillas, cortadores, pasadores de clutch,
C55CR090 dados cortadores para tubo

7. ACEROS DE CEMENTACION AL CROMO-MOLIBDENO Y NIQUEL

C1817MO Piezas de dimensiones pequeñas y medianas -
que presentan una resistencia de 90-140 kg/mm²

8. ACEROS DE CEMENTACION AL CROMO NIQUEL MOLIBDENO

C060070MO Anillos de engranes, tornillos sin fin de direc-
ción de engranes de transmisión, árboles de le-
vas, flechas y piezas con resistencia en el nú-
cleo 80-130 kg/mm².

6.3 ACEROS RAPIDOS

Se les denomina aceros rápidos o acero autoendurecido debido a que con las herramientas que se fabrican estos aceros se pueden maquinar los materiales mucho más rápidamente, que los otros grupos que se mencionan en la clasificación de herramientas, es decir, las velocidades de corte son muy elevadas, ya que estos aceros mantienen la dureza y el filo cortante en caliente aunque se llegue a temperaturas de trabajo hasta de 500-600°C. En cambio los demás aceros de herramientas con temperaturas superiores a 250°C se ablandan y desafilan rápidamente.

Los aceros rápidos además de hierro-carbono y los elementos tradicionales, contienen normalmente Wolframio, Cromo, Vanadio, Molibdeno, Cobalto y Tierras Raras.

Las propiedades de estos aceros se obtienen siempre después de que los aceros han sido templados a muy alta temperatura 1200-1300°C muy superior a la que corresponde a todos los demás aceros, después se les da una o varios revenidos.

A mediados del siglo XIX, se utilizó un acero de auto temple que era una aleación de wolframio y manganeso.

C 0.90%; Mn 1.50%; Si 1.0%, W 5.5%; y Cr 0.40%

Estos aceros templados al aire, mantenían la dureza del filo cortante hasta 350°C, después de esta temperatura se desafilaban rápidamente.

En la fabricación de aceros rápidos, el productor debe preocuparse especialmente porque su acero posea una buena distribución de carburos y un tamaño de grano adecuado. Por supuesto que para estos aceros hay otras exigencias, tales como tamaño de carburos primarios, segregación microcristalina, etc., pero las dos arriba mencionadas son a las que generalmente los usuarios le asignan mayor importancia.

Solidificación de los aceros rápidos.

La distribución de los carburos, en los aceros rápidos fabricados por los métodos convencionales, es heterogénea. Esta puede ser de mayor o menor grado, dependiendo de las condiciones de fabricación, pero es inevitable que exista. En efecto su origen es debido a la forma de solidificación de los aceros rápidos.

En la figura 1 puede verse un corte vertical del diagrama Fe-W-C-Cr, para un contenido de 18% de W y 4% de Cr. desarrollado por K. Kuo J.

En el mismo , podemos seguir el proceso de solidificación de un acero rápido de, por ejemplo, 0.80% de carbono. Durante la caída de temperatura al pasar ésta los 1440°C, comienza a precipitarse ferrita en forma de dendritos. Esta ferrita contiene wolframio, vanadio y cromo en solución sólida, el contenido de los cuales va aumentando en cada nueva capa y se deposita alrededor de los ejes originales de los dendritos. A medida que la temperatura desciende, el líquido se va enriqueciendo en carbono y, a aproximadamente 1360°C, se precipita la fase gamma (austenita) la que lo hace alrededor de los dendritos presentes. Cuando se alcanza la temperatura de la reacción peritética (1345°C) líquido, ferrita y austenita reaccionan entre sí. La ferrita se vuelve inestable y debe, cuando sea alcanzado el equilibrio, desaparecer.

Esto sucede mientras el carbono de la austenita se difunde hacia la ferrita y, como ésta es rica en W-V y Cr, se comienza a formar el carburo de acero rápido, señalado con la fórmula M_6C , creciendo este en forma laminar. La ferrita residual se transforma en austenita.

Debajo del campo de la reacción peritética y a medida que desciende la temperatura del líquido residual se precipitan al mismo tiempo austenita y carburos. Esto da como resultado la formación del eutéctico, denominado ledeburita, el cual se dispone en forma de red alrededor de los cristales de ferrita y austenita. Esta forma de solidificación hace que los aceros rápidos sean muy propensos a la macro y microsegregación, presentando a la vez una red de carburos primarios.

Dicha red no puede ser fundamentalmente modificada por tratamiento térmico (por ejemplo: recocido por difusión) y sólo puede ser destruida por deformación en caliente. Las placas de carburos que componen el eutéctico, son rotas mecánicamente, pero al mismo tiempo obligadas a fluir en el sentido de la deformación, convirtiéndose en bandas. Aún con fuertes reducciones de sección no se consigue una dispersión homogénea de los carburos.

Esta alineación de carburos ha sido una constante -- preocupación para los usuarios de aceros rápidos y como consecuencia de ello han dictado normas propias para la aceptación del material, que han obligado a los productores a mejorar la tecnología de fabricación o ideas nuevas, para poder cumplir con las mismas.

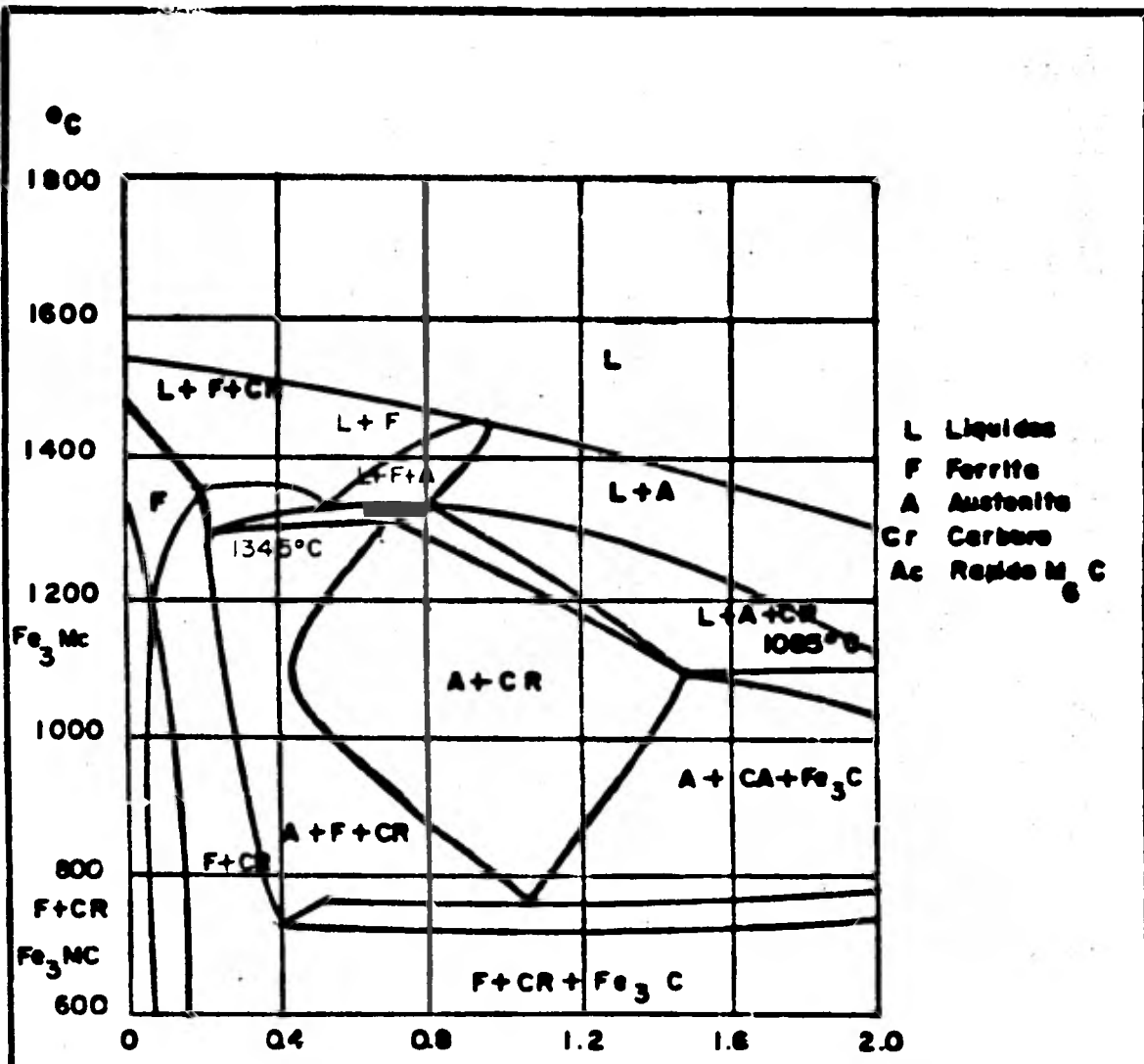
Hasta el presente, no está fehacientemente comprobado que la heterogeneidad en la distribución de los carburos (bandeado) sea causa evidente de un menor rendimiento de las herramientas. Pero hay razones lógicas para que, en herramientas de corte con dientes pequeños (macho roscadores, brochas, etc.), se pretenda tener una distribución lo más homogénea posible de los carburos.

Posibles métodos para mejorar la distribución de carburos.

Los posibles métodos para mejorar la distribución del carburo son:

- a. Condiciones de colado
- b. Inoculación
- c. Deformación plástica en caliente
- d. Procesos de refusión y de metalurgia de polvos

Habría teóricamente otras posibilidades, tales como agitación magnética del acero durante la solidificación, vibración por ultrasonido, aumento de la velocidad de solidificación del lingote por medio de placas de cobre, etc, pero muchos de dichos métodos, si bien han demostrado ser eficientes en pruebas de laboratorio, no han dado resultados consistentes en la práctica.



CONTENIDO DE CARBONO EN PESO %

Corte vertical del diagrama Temperatura - concentración Hierro-carbono-cromo, para un contenido de 1.8 % W y 4% de Cr.

Condiciones de Colado. Hay dos parámetros principales en el colado con los cuales, aparentemente, puede influenciarse la solidificación del lingote: la temperatura de colado y la forma de las lingoteras.

Las lingoteras de forma cuadrada producen una solidificación más rápida del lingote, estimándose que según el diseño de las mismas, la solidificación puede ser de 10 a 20% más rápida.

A su vez, la lingotera de baja altura con una baja relación altura/ancho y de gran conicidad, favorece la solidificación vertical del lingote y disminuye la segregación central que se presenta en los mismos.

La combinación de ambos factores debería dar como resultado un lingote en el cual la red de carburos ledeburíticos fuera más pequeña y de menor espesor.

Otra de las variantes que podría influir para que la solidificación se realizara con más rapidez, sería disminuir la temperatura de colado. Téoricamente, cuando menor sea el grado de sobrecalentamiento del acero, es decir, cuando más cercana esté dicha temperatura al punto de solidificación, ésta deberá producirse en más corto tiempo.

La velocidad de enfriamiento de un lingote está dada fundamentalmente por su volumen y solo puede influenciársela exteriormente en la parte inferior del mismo, en donde, por ejemplo, puede colocarse una placa de cobre sobre la que apoya la lingotera, acelerando el enfriamiento. Lateralmente, pasado un corto tiempo, el lingote se desprende de la lingotera, estableciéndose entre ambos una capa de aire, a través del cual el calor se pierde lentamente, por irradiación.

Sin embargo, la disminución de la temperatura de colada está condicionada a la obtención de una buena limpieza de acero, como así también, a la forma y tiempo de colado: por - -

ejemplo, para poder colar por placa es necesario aumentar la temperatura de colado.

Inoculación. Con este tratamiento se trata de conseguir una dispersión más homogénea de los carburos ledeburíticos, con ciertos elementos que provoquen un aumento de los centros de cristalización. Este procedimiento encuentra, sin embargo, muchas dificultades en los aceros rápidos, debido a la amplitud de la zona comprendida entre el comienzo y fin de la solidificación de los mismos, como así también a la gran diferencia de composición química de los componentes estructurales, como consecuencia de la baja velocidad de difusión de los elementos de aleación.

Con la inoculación se busca disminuir la estructura dendrítica afinar la cristalización primaria y hacer que la precipitación del eutéctico ledeburítico sea lo más fina y uniforme posible.

Los centros de cristalización formados por el inoculante deben reunir ciertas condiciones para ser efectivos. Deben tener un punto de fusión más alto que el del metal que se quiera tratar, como así también un peso específico similar; su estructura cristalina debe ser lo más parecida posible a la fase sólida del metal inoculado. Para conseguir que dichas partículas sean pequeñas y se encuentren homogéneamente distribuidas, deben buscarse elementos que reaccionen formándolos a la menor temperatura compatible con la fase líquida del metal y que su formación se produzca lo más tardíamente posible.

Como inoculantes se han utilizado una gran cantidad de elementos o aleaciones complejas, cuyo agregado al acero, en pequeñas cantidades, forman óxidos y/o nitruros que actúan como centros de cristalización, aún con temperaturas de hasta 120°C por sobre la del solidus del metal inoculado. Se ha utilizado el titanio, magnesio y tierras raras sin conocer los resultados positivos.

Deformación plástica en caliente. El trabajo en caliente (lamina- do, forjado) del lingote de acero rápido, es sin duda, el que más

contribuye al mejoramiento de la estructura del mismo.

Efectivamente, forjando o laminando el material, se logra destruir mecánicamente la red de carburos ledeburíticos, cuyas partículas por efecto del estiramiento que sufre el material, se alinean paralelamente al eje de la barra. Como es lógico, cuando más satisfactoria sea la estructura de fundición de lingote, es decir, cuanto más fina sea la red de carburos, la homogeneización de la misma por medio de la deformación plástica, será más eficiente.

Para que ello ocurra, es necesario proporcionarle al lingote una adecuada reducción de sección, que, generalmente ha blando, debe ser 2 o 3 veces mayor que la que se le debe dar a otros tipos de acero de menor aleación. En aceros rápidos con 9 a 18% de wolframio la deformación por forjado debe ser de 7 a 11 veces (85 a 95%). Se acepta entre los productores que reducciones del orden del 90% a 95%, dan como resultado una buena dispersión de los carburos.

Procesos especiales para mejorar la estructura de los aceros rápidos: Son fundamentalmente dos:

- refusión bajo escoria electroconductora y
- metalurgia de polvos

Con el primer proceso, como resultado de una intensa reacción metal-escoria, da como resultado una mejor limpieza microscópica, que produce una desulfurización más profunda y proporciona mejores propiedades físicas al producto final.

El proceso de refusión bajo escoria electroconductora consiste en fundir un electrodo consumible, de la misma composición del acero que se quiera fabricar y refinar a través de una escoria de composición especial. La escoria es calentada por el efecto de Joule y cuando la misma alcanza la temperatura de fusión del acero, caen desde la punta fundida del electrodo, gotas de metal líquido que, al atravesar la escoria, se va purificando.

pues ésta le extrae los óxidos, silicatos y sulfuros. Figura 632. Entre el lingote solidificado y la coquilla refrigerada queda una envuelta de escoria que favorece la cristalización unidireccional del metal, a la vez que produce un lingote de muy buena superficie.

Debido a que la solidificación transcurre desde la base hacia arriba, y como consecuencia de que el baño del metal líquido es de relativamente pequeño volumen, no hay, en el lingote así producido, macrosegregaciones del grado que es normal encontrar en los fabricados por el método convencional. Todo ello permite obtener una distribución uniforme de carburos, con lo que se consigue disminuir las diferencias en el ancho de las bandas presentes en la periferia y el centro del lingote, luego que éste ha sido deformado, variación que es muy notable en los productos -- provenientes de lingotes colados convencionalmente. Como es lógico, los beneficios de la refusión son más evidentes, si se toman en consideración barras de medidas grandes.

Pulvimetalurgia

Los aceros de corte rápido poseen una gran tendencia a la segregación durante su solidificación y esto constituye la causa fundamental de gran parte de los problemas que se presentan, tanto en la producción como en el uso de estos aceros. Un lingote corriente de acero de corte rápido tiene una red de carburos de grano grueso y, por lo general, la estructura del lingote es -- tanto más gruesa cuanto más grande es el lingote. Esta estructura reticular de carburos se descompone gradualmente durante la deformación en caliente y su distribución todavía no se hace uniforme. El grado de segregación en un lingote puede reducirse seleccionando cuidadosamente las mejores condiciones de solidificación, pero la segregación solo puede suprimirse enteramente mediante las técnicas pulvimetalúrgicas.

En Suecia, este proceso de pulvimetalurgia, se emplea con bastante aceptación, el proceso se llama Asea-Stora, se produce por atomización gaseosa un polvo esférico libre de óxidos super

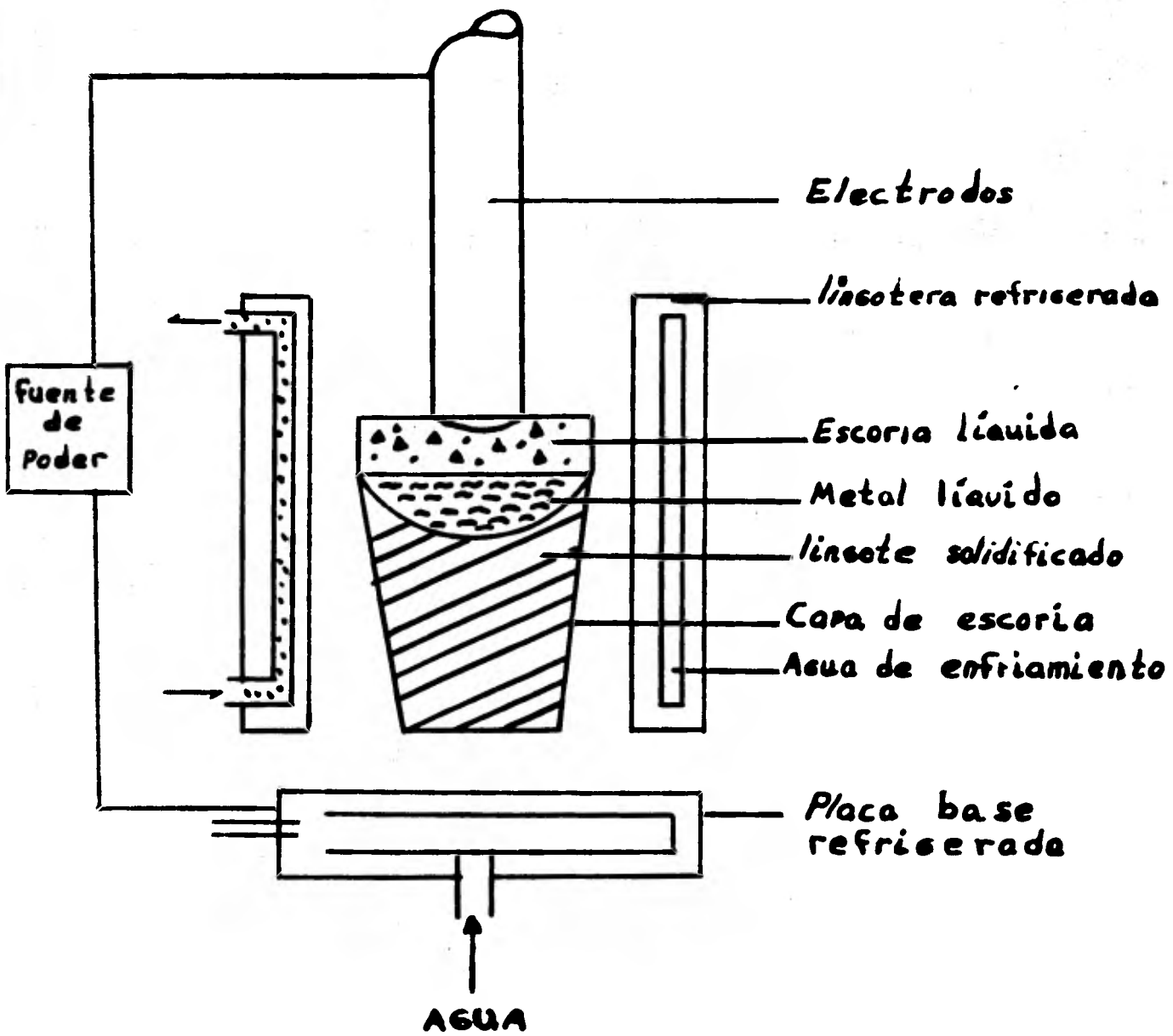


Fig. 6.32 Esquema del proceso de refusión bajo escoria electroconductora.

ficiales. Cada partícula de polvo tiene una composición química idéntica y gracias a la rápida solidificación, la estructura es extraordinariamente fina. El polvo se vacía en un recipiente de acero dulce sobre el cual se solda una cubierta para cerrarlo herméticamente a los gases. Para aumentar la conductividad térmica de la masa de polvo, el depósito se precompacta isoestáticamente en frío. La lata se calienta a la temperatura de compactación, -1150°C y luego se carga a una unidad de compactación isoestática en caliente a la que se aplica una presión de 1 kbar. Así se obtiene una palanquilla totalmente densa con 1.5 ton. con perfecta aglutinación de las partículas de polvo.

Estas palanquillas pueden someterse al trabajo en caliente mediante los métodos convencionales para obtener formas y tamaños deseados. Gracias a la ausencia de segregación mejora mucho la maquinabilidad en caliente, lo que abre nuevas posibilidades para producir aceros de corte rápido altamente aleados.

Así han logrado producir un acero de corte rápido - ASP que tienen una distribución completamente uniforme de carburos muy pequeños y esta estructura jamás varía, cualquiera sea el tamaño de la barra o el contenido de elementos de aleación. Esto los distingue de los aceros de corte rápido fabricados por los métodos clásicos cuya estructura se hace más gruesa y menos uniforme cuanto mayor es el tamaño de la barra y mayor el contenido de aleaciones.

Tenacidad.

Para lograr una buena eficiencia de la herramienta es esencial que el nivel de tenacidad del acero sea lo suficientemente alto. Un filo de corte de tenacidad inadecuada puede sufrir un desprendimiento en pedazos grandes, pero es más frecuente que fragmentos de tamaño microscópicos puedan arrancarse repetidamente de la herramienta. Entonces se embota el filo, se aceleran otros procesos de desgaste y después quedan rastros visibles de este desprendimiento irregular de los fragmentos. Sin embargo causa de la mala eficiencia de la herramienta es la insuficiente tenacidad y

no la mala resistencia a la abrasión.

Los principales factores que gobiernan la tenacidad de los aceros de corte rápido son la estructura y el tratamiento térmico. Es bien sabido que la adición de cobalto reduce la tenacidad hasta cierto punto.

La figura 2 muestra el efecto de la distribución del carburo sobre la resistencia de un acero de corte rápido M2 sometido a tratamiento térmico para alcanzar 65 HRC.

Dureza en Caliente y Resistencia a la Abrasión.

En ciertas circunstancias la temperatura del filo de corte puede ser lo suficientemente alta como para causar un ablandamiento y un flujo plástico del material de la herramienta. La propiedad crucial del acero de corte rápido es, en estos casos, la dureza en caliente. Estas condiciones pueden prevalecer cuando la velocidad de maquinado es alta y cuando el filo de corte ya está roto por otros procesos de desgaste.

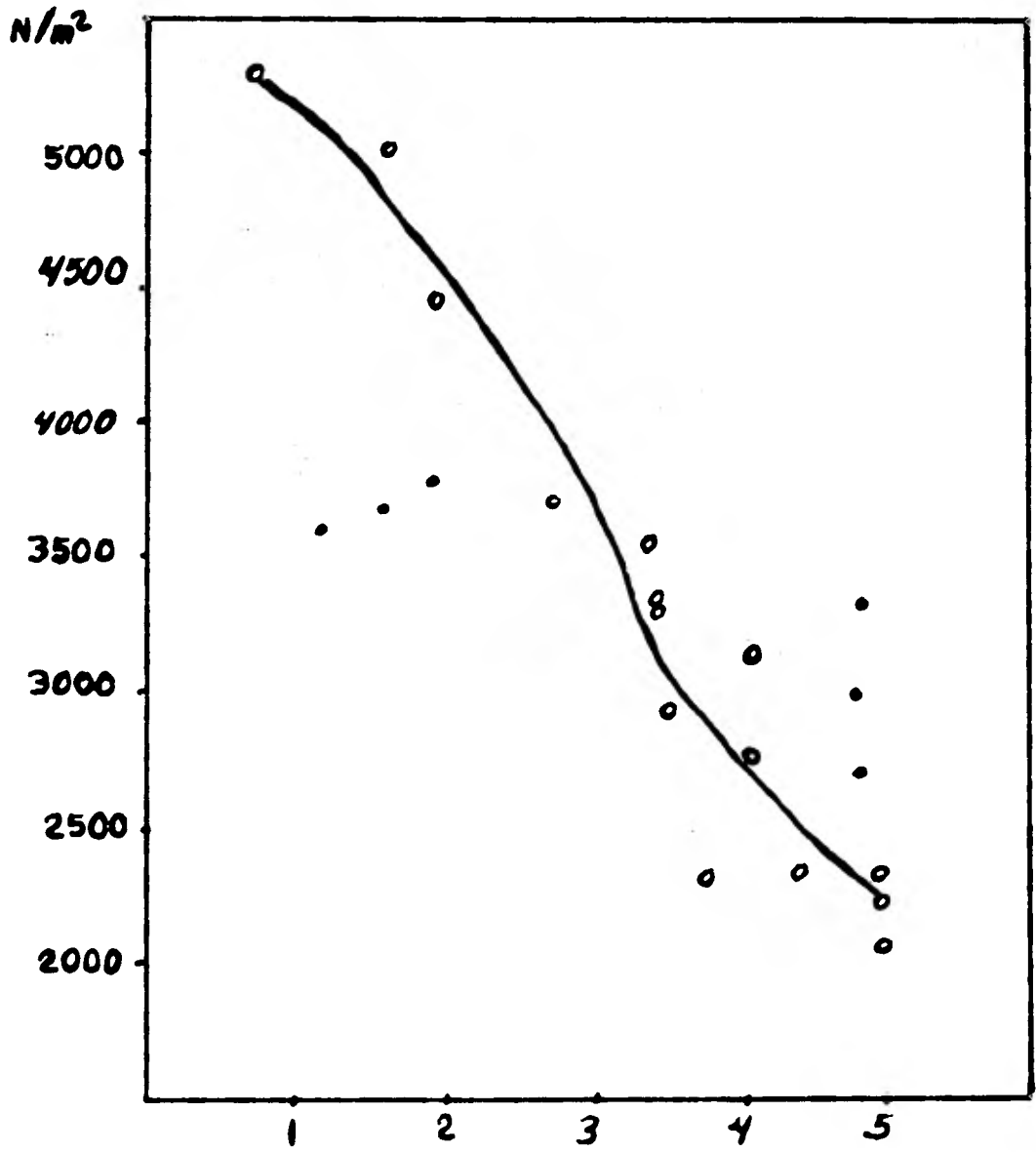
La dureza en caliente de los aceros rápidos es en gran parte cuestión de estabilidad térmica y grado de agrupación de los carburos precipitados durante el revenido. La temperatura de endurecimiento puede mejorar esto, pero el grado normal de segregación no cambia los factores mencionados mas arriba en un grado significativo. Debido a su gran técnica los aceros de pulvimetalurgia, puede aplicárseles una temperatura de endurecimiento más alta o usarse un contenido más alto de cobalto elevando la dureza en caliente, mientras la tenacidad se mantiene aún encima del nivel crítico. En otras palabras parte del mejoramiento en tenacidad puede intercambiarse por una mejor dureza en caliente.

En los casos en que la tenacidad, la resistencia, las propiedades de fatiga y la dureza en caliente son suficientemente altos, se presume que la abrasión de la herramienta es determinada por la resistencia a la abrasión. Esta propiedad depende de la cantidad de carburos en el acero y hasta cierto punto o grado de

la dureza por tratamiento térmico por procesos convencionales.

De especial importancia, naturalmente, es la cantidad de carburo de vanadio en el acero. El tamaño y la distribución en este caso de los carburos no tienen importancia entre la técnica convencional y el de pulvimetalurgia, sin embargo la tenacidad superior que se observa en estos últimos aceros, permite que se aumente la dureza por tratamiento térmico y que se usen grados con mayor contenido de carburo, mejorando de esta manera la resistencia a la abrasión reteniendo al mismo tiempo un nivel de tenacidad suficientemente elevado.

Finalmente se ilustra la preparación de una carga en horno eléctrico para la fabricación del acero rápido (ver cuadro número 1).



COLADA DE 6 TON. DE ACERO RAPIDO

HORNO BASICO. MARCHA CON UNA ESCORIA (SIN OXIDACION)

Análisis deseado: C 0.70/0.75; Mn 0.20/0.40; Si 0.20/0.40
 P 0.03 máx.; S 0.03 máx.; %
 Cr 4/4.5; W 17/19; V 1/1.25

Carga: Chatarra de acero rápido de igual composición..... 4 ton.
 Chatarra de hierro dulce (C0,15;Mn 0.40; Si 0.25; PO,040; S 0,050) 2 ton.

	C	Mn	Si	P	S	Cr	W	V	
A.R.	28	12	12	1,2	1,2	160	760	40	Kg
H.D.	3	8	5	0,8	1	---	---	--	Kg.
	31	20	17	2	2,2	160	760	40	Kg.
	0,51	0,33	0.28	0,033	0,037	2,7	12,7	0,67	%

Hora	Detalles del proceso
0	Se carga con cesta las 6 ton. de chatarra, junto con 170 kg. de ferrovolframio - - (80% W) para elevar el volframio al 15%. Con la carga se añaden 100 Kg. de cal y 15Kg. de cok para elevar el carbono a 0,6.
0.05	Se conecta a 150 V.
1.00	Se baja la tensión a 125 V.
1.40	Carga fundida. Se manda muestra al laboratorio. Se añaden 25 Kg. de cal y 10 Kg. de espato.
1.55	Llega el análisis del laboratorio: C 0,60; W 14,5. Se añaden 10 Kg. de cok. Se - baja la tensión a 100 V.
2.30	Se saca muestra para medir temperatura.
2.35	Se reduce la escoria con 6 kg. de ferrosilicio (40 % Si). Se baja la tensión a 80 V.
2.45	Se añaden 15 Kg. de cal y 10 Kg. de cok
3	Se añaden las aleaciones para ajustar la composición: 225 Kg. de ferrovolframio (80 % W; 0,75 % C) 154 Kg. de ferrocromo (70 % Cr; 5% C) 70 Kg. de ferrovanadio (50% V; 1% C) El carbono añadido con las ferroaleaciones es: Con el ferrovolframio..... 1,7 Kg. Con el ferrocromo 7,7 Kg. Con el ferrovanadio 0,7 Kg. 10,1 Kg.
	Este carbono eleva el contenido del caldo en 0.15% con lo cual se tiene 0,75 %.
3.20	Agitar el caldo.
3.45	Prueba de temperatura y muestra al laboratorio.
3.55	El laboratorio indica carbono 0,69%.
4.00	Se añaden 3 Kg. de cok y se baja la tensión a 60 V.
4.15	Desoxidación con ferrosilicio (40 % Si). Se añaden 15 Kg.
4.20	Desoxidación con aluminio y última prueba de temperatura.
4.25	Se cuela reteniendo la escoria

Cuadro número 1.

COMPOSICION QUIMICA DE LOS ACEROS RAPIDOS

NORMA SAE/AISI	C	Si	Mn	Co	Cr	Mo	V	W	%Otros
M1	0.78-0.85	0.10-0.40	0.10-0.40		3.75-4.00	8.00-9.00	1.00-1.25	1.50-1.65	
M2	0.80-0.85	0.10-0.40	0.10-0.40		4.00-4.25	4.75-5.25	1.70-2.10	6.00-6.50	
M3	1.00-1.10	0.10-0.40	0.10-0.40		4.00-4.25	5.70-6.25	2.40-2.55	6.00-6.25	
M3:2	1.10-1.20	0.10-0.40	0.10-0.40		4.00-4.25	5.00-6.25	3.00-3.30	5.60-6.25	
M4	1.25-1.30	0.10-0.40	0.10-0.40		4.25-4.50	4.50-4.75	3.75-4.25	5.50-6.00	
M6	0.75-0.80	0.10-0.40	0.10-0.40	11.5-12.50	3.75-4.25	4.75-5.25	1.25-1.55	3.75-4.25	
M7	0.97-1.03	0.10-0.40	0.10-0.40		3.75-4.00	8.50-8.75	1.90-2.10	1.50-1.75	
M8	0.80-0.85	0.10-0.40	0.10-0.40		4.00-4.50	4.30-4.70	1.35-1.65	5.25-5.75	Cb 1.25
M10	0.85-0.90	id	id		4.00-4.25	8.00-8.50	1.90-2.10		
M15	1.50-1.60	id	id	4.75-5.25	4.00-4.75	3.00-5.00	4.75-5.25	6.25-6.75	
M30	0.80-0.85	id	id	id	3.75-4.25	8.25-8.50	1.10-1.40	1.50-1.80	
M33	0.85-0.95	id	id	7.75-8.25	3.50-4.00	9.25-9.75	1.00-1.30	1.30-1.70	
M34	0.87-0.93	id	id	8.00-8.50	3.50-4.00	8.45-8.95	1.85-2.25	1.30-1.60	
M35	0.80-0.85	id	id	4.75-5.25	3.90-4.40	4.75-5.25	1.75-2.15	6.15-6.65	
M36	0.80-0.90	id	id	7.75-9.00	3.75-4.25	4.25-5.25	1.65-2.00	5.50-6.00	
M41	1.05-1.15	0.45	0.20-0.40	4.80-5.20	3.80-4.50	3.80-4.00	1.70-1.90	6.60-7.10	
M42	1.10	0.30	0.30	8.0	4.0	9.0	1.0	1.5	
M50	0.80	0.20	0.30		4.0	4.3	1.0		
T1	0.70-0.75	0.10-0.40	0.10-0.40		4.00-4.10	0.70	1.00-1.20	18.0-18.25	
T2	0.80-0.85	id	id		4.00-4.25	0.50-0.75	2.00-2.15	18.0-18.50	
T2	0.95-0.98	id	id		id	id	id	id	
T3	1.08-1.13	id	id		id	0.70-0.90	2.90-3.30	18.0-18.50	
T4	0.70-0.75	id	id	4.75-5.25	4.00-4.50	0.60-0.80	1.00-1.25	18.0-19.00	
T5	0.77-0.85	id	id	7.60-9.00	id	0.65-1.00	1.85-2.00	18.50-19.0	
T6	0.75-0.85	id	id	11.50-12.2	id	0.60-0.80	1.60-2.00	18.75-20.0	
T7	0.70-0.75	id	id		4.50-5.00		1.50-1.80	13.50-14.5	
T8	0.75-0.80	id	id	5.00-5.25	3.75-4.25	0.75	2.00-2.25	13.75-14.0	
T9	1.22-1.28	id	id		id	id	3.75-4.25	18.0-18.50	
T15	1.50-1.60	id	id	4.75-5.25	4.50-4.75	0.50	4.75-5.00	12.5-13.50	

146

DESIGNACION DE LOS ACEROS RAPIDOS EN DISTINTOS PAISES

ALEMANIA	ESPAÑA	U.S.A.	SUECIA	RUSIA	BRASIL	ALEMANIA ESTE	FRANCIA	CHECOSLOVAQUIA
S12-1-4-5		T15		R9K5F5		X133WCo12.5		19858
S12-1-5-5		M35			VK-SE	X85WMoCo6.5.5.	12-0-5-5	
S6-5-2-5		T2						
S18-0-2-2		M42					2-9-1-8	
S2-10-1-8		M30-M33						
S2-9-2-8		T8			VWK-5			
S12-1-2-5	F553	T4	2754	R18K5F2		X79WCo18.5	18-0-1-5	
S18-1-2-10	F554	T5	2756		VWK-10	X76WCo18-10	18-0-2-10	
S6-5-2		M2	2722		VWK-2	X82WMo6.5	6-5-2	19830
S6-5-3		M3					6-5-4	
S2-9-1		M1			VWK-1		2-8-2	
S2-9-2		M7			VWK-7			
S18-0-1	F552	T1	2750	R18M	VWT-1	X74WV18.1	18-0-1	
S18-0-2		T2						

U.S.A.	HUNGRIA	GRAN BRETAÑA	ITALIA	JAPON	POLONIA
T15		BT15	UX150WCoV130505KU		SK5V
M35	R8			SKH55	
T42	R11	BT42		SKH57	SK10V
T4	R2	BT4	UX78WCo1805KU	SKH3	SK5
T5	R1	BT5	UX80WCo1810KU	SKH4A	
M2	R6	BM2	UX82WMo0605KU	SKH9	SW7M
M1	R10	BM1	UX82MoW09KU		
T1		BT1	UX75W18KU	SKH2	SW18
T2			UX82WV18KU		
M3				SKH53	

TABLA DE LAS PROPIEDADES DE TRABAJO DE LOS ACEROS RAPIDOS Y SU DUREZA CORRESPONDIENTE

Designación AISI/SAE	°C	°C	Resis. a la	Calenta- miento °C	Temple		TEMPLE	REVENIDO	DUREZA HRC
	Forjado	Recocido	Tensión HB 30		Prec. 1a. Fase °C	2a. Fase °C			
M1	1100-900	790-820	225-280	450-600	850	1050	1180-1220	530-550	64
M2	id	id	id	id	id	id	1200-1240	540-560	64
M3	id	770-820	230-280	id	id	id	id	550-570	64
M7	id	780-810	id	id	id	id	1190-1230	540-560	64
M30	id	790-820	235-300	id	id	id	id	550-570	64
M33	id	id	id	id	id	id	id	id	64
M35	id	id	240-300	id	id	id	1210-1250	id	64
T1	1150-900	820-850	240-300	450-600	850	1050	1250-1290	550-570	64
T2	id	id	id	id	id	id	id	id	64
T4	id	id	id	id	id	id	1260-1300	560-580	64
T5	id	id	id	id	id	id	id	id	64
T8	id	770-820	id	id	id	id	1240-1280	550-570	64
T15	1100-900	780-810	id	id	id	id	1220-1260	560-580	65

ACEROS RAPIDOS

CLASIFICACION Y PROPUESTA DE TIPIFICACION

ACERO RAPIDO AL WOLFRAMIO

WOLFRAMIO

A70W18

A80W18

A-Acero de Alta Velocidad

70=0.70% de Carbono

W.-Wolframio

18= 18% de Wolframio

8= 8% del Elemento

ACERO RAPIDO AL COBALTO WOLFRAMIO

CO-W

A70COW18

A77COW18

A75COW19

A75COW14

ACERO RAPIDO CROMO WOLFRAMIO

CR-W

A70CRW14

ACERO RAPIDO VANADIO WOLFRAMIO; Vanadio Mayor del 3%

VW

A108VW18

A122VW18

A150VW12

ACERO RAPIDO AL MOLIBDENO; DONDE MOLIBDENO ES MAYOR DEL 8%

MO

A78MO8

A97MO8

A85MO8

A80MO8

ACERO RAPIDO AL COBALTO; Cobalto mayor del 8%

Co

A75C011

A85C08

A105C08

A87C08

A80C08

ACERO RAPIDO AL COBALTO-MOLIBDENO-WOLFRAMIO

CO-MO-W

A150CMW6

C = COBALTO

A80CMW6

M = MOLIBDENO

A105CMW6

ACERO RAPIDO AL COBALTO MOLIBDENO

CO-MO

A110COM9

ACERO RAPIDO MOLIBDENO-TIERRAS RARAS

A80M0C8125

CB = CEBIO

125 = 1.25% de Cebio

ACERO RAPIDO MOLIBDENO WOLFRAMIO

A85MW6

A100MW6

TABLA DE PROPIEDADES DE LOS ACEROS RAPIDOS

TIPO DE ACERO DGNM	CARACTERISTICAS	APLICACIONES
Acero rápido al Wulfranio	Gran estabilidad en el temple, preferentemente usado para herramientas de corte continuo - brindando gran rendimiento.	Herramientas de torno de todo tipo, cuchillas de fresas, brocas, herramientas para cepillos, fresas de alto rendimiento, mechas espirales, machos de roscar, escariadores, sierras para metales, hojas de sierra muy exigidas, herramientas de corte múltiple
Acero rápido al Cobalto	Acero rápido con alto porcentaje de cobalto, máximo poder de corte y alta tenacidad.	Herramientas y piezas destinadas a trabajos de taller sumamente pesados. Herramientas de torneado, cepillar, mortajar, expuestas a máximos esfuerzos.
Acero rápido al Molibdeno	De alta capacidad de corte y notable tenacidad.	Herramientas de torno, brocas, cepillos, y fresas, mechas espirales de gran rendimiento, escariadores, herramientas de roscar de todo tipo, segmentos, hojas dentadas de sierras circulares y sierras para metales.
Acero rápido al Molibdeno	Acero rápido de gran resistencia a la abrasión.	Acero de gran rendimiento para el maquinado de partes de acero semiendurecido o bien tratadas térmicamente con durezas hasta de 30-36-HRc.
Acero rápido al Cobalto-Molibdeno	Acero de alta velocidad de trabajo, conservando alta dureza a temperaturas elevadas.	Fabricación de herramientas de corte que requieren un balance óptimo entre la resistencia al desgaste a altas temperaturas y gran tenacidad. Acero de alto rendimiento para maquinar aceros tratados hasta con una dureza de 40HRc (400 BHN)
Acero rápido al Cobalto-Molibdeno-Wolframio	Acero rápido, conserva filo cortante hasta altas temperaturas, aumentando la velocidad de corte y la profundidad del mismo.	Se utiliza en trabajos donde se requiere cortes pesados y alta resistencia de dureza al rojo. Herramientas de virutamiento y de golpe, con altas velocidades de trabajo y avance como: brocas helicoidales, perfiladoras, roscadoras, herramientas para torneado, buriles, etc.

6.4 ACEROS DE FACIL MAQUINADO

La maquinabilidad de los aceros depende de la aleación, de la dureza y de la estructura.

La facilidad del maquinado o maquinabilidad de un acero es sumamente difícil clasificarla en vista de que una misma calidad de acero puede variar en su maquinabilidad dependiendo si se tornea, se fresa, se taladra, se cepilla o se forma cuerda.

En general se puede medir en la práctica la maquinabilidad comparando el tiempo que trabaja la herramienta (buril, broca, cuchilla, etc.) entre cada afilada.

Por ejemplo: aceros altamente aleados (aceros rápidos y aceros con 12% cromo), que contienen grandes cantidades de carburos, que son difíciles de maquinar, debido a la alta dureza de estos carburos, las herramientas tienden a desgastarse. Cabe mencionar que el acabado después de maquinar puede tener mejor apariencia en algunos casos, cuando el acero es un poco duro. Aceros sumamente blandos en ocasiones tienen un acabado muy terso.

SAE IIII, III2, III3:

Esta clase de aceros se destinan a aquellos usos en que el maquinado fácil es el requisito principal. Se caracterizan por un mayor contenido de azufre, que los aceros al carbono normales. Esta adición de azufre es en detrimento de las propiedades de embutición en frío, soldabilidad y características de forja.

En general los usos son parecidos a los de los aceros de contenido igual de carbono y de manganeso. Estos aceros se llaman comúnmente Barra Bessemer para tornillería, y se consideran los mejores aceros para el maquinado, mejorándose la maquinabilidad dentro del grupo cuando se incrementa Azufre.

Se emplean para una amplia variedad de piezas de maquinaria. Aunque de excelente resistencia para el estirado en

frío y no se usan comúnmente como piezas vitales. Estos aceros pueden nitrurarse y cementarse, pero cuando es necesario el tratamiento térmico, se recomiendan los aceros Siemens.

SAE 1109, 1114, 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120 y 1126:

Los aceros de este grupo se usan cuando interesa tanto un fácil maquinado como una mejor adaptabilidad al tratamiento térmico. Los de menos carbono se emplean para piezas pequeñas que han de nitrurarse o carbonitrurarse. Los SAE 1116, 1117, 1118 y 1119 llevan más manganeso para mejor templabilidad, permitiendo el temple al aceite después de la cementación.

Los de más carbono, SAE 1120 y 1126 proporcionan mayor dureza del núcleo cuando esto es necesario.

SAE 1132, 1137, 1138, 1140, 1144, 1145, 1146 y 1151:

Este grupo de aceros tiene características comparables a las de los aceros del mismo contenido de carbono, con la excepción de los cambios provocados por el mayor contenido de Azufre, como se ha indicado anteriormente.

Son ampliamente usados para las piezas que se han de fabricar en gran cantidad, o en donde las roscas, el nervado u otras operaciones originan el problema de herramental especial.

El SAE 1137, por ejemplo se usa mucho para tuercas, pernos y espárragos roscados con máquina. Los de más manganeso SAE 1132, 1137, 1141 y 1144, ofrecen mayor templabilidad, siendo los tipos de más carbono convenientes para el temple al aceite para muchas piezas. Todos estos aceros pueden templarse por calentamiento por inducción o con la llama, si se desea.

NOTAS PARA TIPIFICACION DE ACEROS

Aceros de fácil maquinado

La gran evolución experimentada en la pasada década por las máquinas herramientas, ha impuesto en el mercado la necesidad de fabricar aceros de fácil maquinado, capaz de responder a las exigencias, cada día más elevadas de la industria.

Dicho desarrollo ha ido desterrando el concepto clásico que parecía ligar los aceros de fácil maquinado a la fabricación de piezas de poca responsabilidad, a tal grado que hoy día la maquinabilidad de un acero puede llegar a constituir un criterio fundamental de elección.

Actualmente, gracias a los numerosos ensayos y estudios tecnológicos llevados a cabo, se tiene un conocimiento más profunda de los diversos factores que pueden influir sobre la maquinabilidad, elementos tales como: S, P, N, Se, Te, Pb; utilizando como elementos de aleación afectan el número de inclusiones, forma composición y reportación de las mismas, grado de oxidación del baño de acero, temperaturas y velocidades de colada, etc. es de esta manera como se ha conseguido aumentar sensiblemente la maquinabilidad de este tipo de aceros.

No hace muchos años se hablaba de velocidades de corte económicas, comprendidas entre 60 y 80 metros por minuto, actualmente, los modernos aceros de fácil maquinado permiten alcanzar velocidades de corte de 170 metros por minuto y superiores aún. Al mismo tiempo, el conocimiento de los factores que influyen sobre la conformación de las inclusiones, ha permitido fabricar aceros en los que los sulfuros, seleniuros, fósforos, etc. se presentan en forma globular, lo cual eleva la cohesión transversal haciendo posible que estos aceros puedan ser sometidos a ligeras operaciones de estampación o extrusión en frío.

Actualmente se pueden fabricar 3 calidades de aceros de fácil maquinado, capaces de satisfacer las modernas exigencias

de la industria:

a) Aceros al azufre.- La maquinabilidad de esta calidad se logra mediante la adición de azufre. Como es sabido, un contenido alto en azufre, es de gran interés, tanto para obtener una mejor maquinabilidad como para lograr un buen acabado superficial de las piezas maquinadas. La acción del azufre consiste en una interrupción de la microestructura metálica de la ferrita por medio de inclusiones de sulfuro de manganeso, de tamaño y plasticidad adecuada. Mientras que en el maquinado de aceros corrientes, de bajo contenido en carbono, se forma una rebaba en espiral larga y rizada como consecuencia de su elevada tenacidad, en cambio, en los aceros con alto contenido de azufre se forma una rebaba frágil que se fragmenta con facilidad, lo que facilita el maquinado. Al mismo tiempo, el azufre reduce el coeficiente de fricción entre la rebaba y la herramienta, lo que se traduce en una mayor duración de ésta. Para que se logren dichos efectos, es necesario que la forma, plasticidad, composición y grado de difusión de las inclusiones estén debidamente armonizados. En especial la forma de las inclusiones se ha revelado como un factor de influencia decisiva sobre el maquinado, habiéndose comprobado que esta magnitud es tanto más elevada, cuanto más anchas y cortas sean las inclusiones que presenta el acero.

b) Aceros con azufre y plomo.- En este tipo de aceros la adición del plomo es del orden de 0.20%; este elemento actúa eficazmente sobre el maquinado, originando una mejoría que puede estimarse entre un 20 y un 30% en relación con otro acero de la misma composición base, pero que no lleva plomo adicionado.

Debemos hacer notar que el plomo es insoluble en el acero a bajas temperaturas y forma una dispersión de partículas finas. Estas partículas facilitan el desprendimiento de la rebaba actuando al mismo tiempo como un lubricante entre la rebaba y la herramienta, con lo cual aumenta la vida de ésta.

El principal inconveniente que presenta el plomo como elemento de aleación, es su tendencia a segregarse y a repartirse en forma poco homogénea en la matriz del acero. De ahí que la fabrica-

ción de estos tipos de aceros requiere una técnica delicada y un riguroso control, ya que pequeñas deficiencias en el proceso, pueden dar lugar a segregaciones importantes que disminuyen la calidad del producto.

c) Aceros con azufre, selenio y plomo.- Este tipo de aceros presenta el estado más avanzado en el campo de los aceros de fácil maquinado. En estos aceros, a la acción del azufre y del plomo se une la influencia aditiva del selenio.

El selenio, que forma seleniuros de aspecto semejante al de los sulfuros, tiene la propiedad, cuando se añade en condiciones bien determinadas al baño del acero, de producir la llamada coagulación de las inclusiones. Al mismo tiempo disminuye su plasticidad evitando que estos se estiren durante la laminación.

Esta acción globulizante mejora sensiblemente la tenacidad del acero en sentido transversal, haciendo posible que el material resista, sin agrietarse, pequeños trabajos de conformación en frío, que hasta ahora no podían realizarse con aceros de fácil maquinado.

En lo que atañe al aumento de la maquinabilidad originada por el selenio, tanto los ensayos del laboratorio como los resultados prácticos obtenidos en el taller, han mostrado que puede estimarse en un 25 a 40% en relación con los aceros de la misma composición base sin selenio.

ESTADOS UNIDOS

Aceros de fácil maquinabilidad

Composición de los aceros AISI - SAE de The Society of Automotive Engineers y The American Iron and Steel Institute (1947).

SAE	AISI	% C	% Mn	% P	% S
1111	B1111	0.13	0.60-0.90	0.07-0.12	0.08-0.15
1112	B1112	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23
1113	B1113	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33
1109	C1109	0.08-0.13	0.60-0.90	0.040	0.08-0.13
1114	C1114	0.10-0.16	1.00-1.30	0.040	0.08-0.13
1115	C1115	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.08-0.13
1116	C1116	0.14-0.20	1.10-1.40	0.040	0.16-0.23
1117	C1117	0.14-0.20	1.00-1.30	0.040	0.08-0.13
1118	C1118	0.14-0.20	1.30-1.60	0.040	0.08-0.13
1119	C1119	0.14-0.20	1.00-1.30	0.040	0.24-0.33
1120	C1120	0.18-0.23	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
1126	C1126	0.23-0.29	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
1132	C1132	0.27-0.34	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
1137	C1137	0.32-0.39	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
1138	C1138	0.34-0.40	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
1140	C1140	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
1141	C1141	0.37-0.45	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
1144	C1144	0.40-0.48	1.35-1.65	0.040	0.24-0.33
1145	C1145	0.42-0.49	0.70-1.00	0.040	0.04-0.07
1146	C1146	0.42-0.49	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
1151	C1151	0.48-0.55	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
1211		0.13	0.60-0.90	0.07-0.12	0.10-0.15
1212		0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23
1213		0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33
12L13		0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33
12L14		0.15	0.85-1.15	0.04-0.09	0.26-0.35
1215		0.09	0.75-1.05	0.04-0.09	0.26-0.35
1211					
1212	Aceros resulfurados				
1213	y refosforados				
1215					
12L14					

Las demás series son de aceros resulfurados (fácil maquinabilidad)

**COMPOSICIONES DE LOS ACEROS DE FACIL MAQUINABILIDAD CON NORMAS
EXTRANJERAS, ESPECIFICAMENTE EN BASE A LA NORMA DIN ALEMANA**

ALEMANIA

Aceros de fácil maquinado

Designación SEL	DIN	% C	% Si	% Mn	% P	% S
9 S 20	1651	0.09	-	0.55	0.07	0.20
10 S 20	1651	0.10	0.40	0.55	0.07	0.20
15 S 20	1651	0.15	0.40	0.55	0.07	0.20
22 S 20	1651	0.22	0.40	0.55	0.07	0.20
35 S 20	1651	0.35	0.50	0.65	0.07	0.20
45 S 20	1651	0.45	0.50	0.65	0.07	0.20
60 S 20	1651	0.60	0.50	0.65	0.07	0.20

FRANCIA

Aceros de fácil maquinado

AFNOR	% C	% Si	% Mn	% P	% S
S250	0.14	0.08	0.90-1.50	0.110	0.225-0.35
S250Pb	0.14	0.08	0.90-1.50	0.110	0.225-0.35
S300	0.15	0.09	1.00-1.60	0.110	0.27-0.44
S300Pb	0.15	0.08	1.00-1.60	0.110	0.27-0.44

RUMANIA

Aceros de fácil maquinado

STAS No.	Tipo	% C	% Si	% Mn	% P	% S
1350	AUT 9	.12	-	.50-.90	.035-.11	.15-.25
1350	AUT 12	.08-.16	.15-.35	.60-.90	.08-.15	.08-.20
1350	AUT 12 M	.07-.16	.15-.40	.60-1.10	.100	.15-.25
1350	AUT 20	.15-.25	.15-.35	.60-.90	.060	.08-.15
1350	AUT 20M	.15-.25	.15-.40	.60-1.10	.100	.15-.25
1350	AUT 30	.25-.35	.15-.35	.70-1.00	.060	.08-.15
1350	AUT 40 M	.35-.45	.15-.35	1.20-1.60	.060	.18-.30

Equivalencias entre diversos aceros que se fabrican en España

ACEROS DE CONSTRUCCION

GRAN MAQUINABILIDAD

I.H.A.	HEVA	BELLOTA	CENIMI	LLODIO	OLARRA	AFORA
F211	ALS	CS-FM	-	FMS	OPA 2	A 211
F212	ALS-P	-	-	FMP	OPA 4	A 212

Composición de los aceros del Instituto del Hierro y del Acero

ESPAÑA

I.H.A.	% C	% Mn	% Si	% P	% S
F211	.15/.25	.25	.09	.09	.20/.30
F212	.10/.30	.75/1.5	.10/.30	.04	.10/.20

CHECOSLOVAQUIA

Aceros de fácil maquinado

NORMA

ANALISIS

C S N	% C	% Si	% Mn	% P	% S
11 107	.012	-	0.40-0.90	0.100	0.110-0.16-0.26
11 109	0.13	-	0.90-1.50	0.100	0.21-0.32
11 110	0.07-0.16	0.40	0.60-1.10	0.100	0.15-0.25
11 120	0.15-0.25	0.40	0.60-1.10	0.100	0.14-0.24

BULGARIA

Aceros de fácil maquinabilidad

NORMA : BDS

ANALISIS

N	Tipo	% C	% Si	% Mn	% P	% S
6886	1	0.12		0.50-0.90	0.110	0.15-0.25
6886	3	0.07-0.16	0.40	0.60-1.10	0.100	0.15-0.25
6886	5	0.15-0.250	0.15-0.40	0.60-1.10	0.100	0.15-0.25

YUGOSLAVIA

Aceros de fácil maquinabilidad

NORMA : JUS

ANALISIS

N	Tipo	% C	% Si	% Mn	% P	% S
0.505	C.1190	0.06-0.12	0.25	0.60-0.90	0.070	0.260
0.505	C.1290	0.12-0.18	0.10-0.40	0.60-0.90	0.070	0.260
0.505	C.1480	0.32-0.39	0.15-0.35	0.60-0.90	0.070	0.250

POLONIA

Aceros de fácil maquinabilidad

NORMA

ANALISIS

P N

N	Tipo	% C	% Si	% Mn	% P	% S
84026	A10X	0.12	0.05	0.90-1.30	0.04-0.80	0.24-0.34
84026	A11	0.07-0.13	0.15-0.40	0.50-0.90	0.060	0.15-0.25
84026	A45	0.42-0.50	0.15-0.40	0.50-0.90	0.060	0.15-0.25

GRAN BRETAÑA

Aceros de fácil maquinado

Designación EN	B.S.	% C	% Si	% Mn	% P	% S
1A	220M07	0.15	-	0.90-1.30	0.070	0.20-0.30
-	225M36	0.32-0.40	0.25	1.30-1.70	0.060	0.12-0.20
-	225M36	0.32-0.40	0.25	1.00-1.40	0.060	0.20-0.30
-	225M44	0.40-0.48	0.25	1.30-1.70	0.060	0.20-0.30
-	230M07	0.15	-	0.90-1.30	0.070	0.25-0.35

ITALIA

Aceros de fácil maquinado

UNI	% C	% Si	% Mn	% P	% S
10S20	0.06-0.13	0.05	0.60-1.00	0.080	0.15-0.25
10S22	0.06-0.12	0.10-0.40	.50-.90	0.070	0.18-0.26

SUECIA.

Aceros de fácil maquinado

SIS	% C	% Si	% Mn	% P	% S
1940	.22-.28	.15-.35	.70-1.10	.070	.200
1957	.32-.39	.10-.40	.80-1.20	.060	.15-.25
1973	.46-.54	.10-.40	.80-1.20	.060	.15-.25

CUADRO TECNOLÓGICO

a) ANALISIS QUIMICO

SAE	% C	% Mn	% P	% S
1112	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23
1113	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33

b) DUREZAS Y RESISTENCIAS APROXIMADAS

SAE	BRUTO DE FORJA O LAMINACION			RECOCIDO								
	Brinell			Kg/mm								
1112	128	155	178	43	55	64	105	120	127	36	40	45
1113	130	155	180	45	55	65	110	120	130	40	42	45

c) TRATAMIENTOS TERMICOS TIPICOS

SAE	Grados de Carburación				
	Normalización °C	Carburación °C	Enfriar (I)	Recalentar °C	Enfriar (I)
1112	- - - - -	815-898 (2)	B	- - - - -	- - - - -
1113	- - - - -	732-851 (3)	D	- - - - -	- - - - -
	2º Recalentado °C	Enfriar (I)	Revenido (4) °C		
	- - - - -	- - - - -	Discrecional		
	- - - - -	- - - - -	Discrecional		

Grados de Tratamiento Térmico °C

SAE	Normalizar	Recocer	Templar	Enfriar (1)	Revenir
11112	871-926 y/ó	760-815(6)	829-856	B	Según dureza deseada
11113	- - - - -	- - - - -	815-843	B	

- (1) Símbolos: A-Agua o salmuera; B-agua o aceite; C-enfriar - lentamente; D-aire o aceite; E-aceite; F-agua, salmuera o - aceite.
- (2) Baños activados o de cianuro; puede darse el calentamiento - de refino como en otros procedimientos.
- (3) Atmósferas carbonitruradas; puede darse el calentamiento de - refino.
- (4) Aunque se han dado temperaturas de revenido, éste no es obli - gatorio en muchas aplicaciones. Generalmente se emplea para el aligeramiento parcial de tensiones y mejorar la resistencia contra las grietas del rectificado.
- (5) Las temperaturas de normalización, por lo menos 10°C. por - encima de las temperaturas de carburación, son las recomenda - das algunas veces cuando es de vital importancia la mínima - distorsión en el tratamiento térmico.
- (6) El enfriado lento produce estructura esferoidal en estos aceros de alto carbono que a veces se requiere para los efectos de - maquinado.
- (7) Puede templarse al agua o en salmuera con técnicas especiales como enfriado con inmersión o tiempos parciales, pues de otro modo se fracturarían al templarse.

Tomando en consideración que los países industrializados cuentan con su propia especificación numeral de los aceros; que hace posible en los dibujos y copias, emplear la especificación numeral que es parcialmente descriptiva de la clase de material representado por tales números.

La primera cifra indica la clase a que pertenece el acero: así "M" significa acero de fácil maquinabilidad; la segunda y tercer cifra indican el contenido medio de carbono en puntos o centésimas del 1%. Las tres últimas cifras indican el contenido de azufre, que es el elemento que da características de fácil maquinabilidad.

A continuación se da una tipificación probable para México para los aceros de fácil maquinabilidad.

NORMA	% C	% Mn	% P	% S
M13S15	0.13	0.60-0.90	0.07-0.12	0.08-0.15
M13S23	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23
M13S33	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.23-0.33
M13S13	0.08-0.13	0.60-0.90	0.040	0.08-0.13
M16S13	0.10-0.16	1.00-1.30	0.040	0.08-0.13
M17S13	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.08-0.13
M18S18	0.14-0.20	1.10-1.40	0.040	0.16-0.23
M19S13	0.14-0.20	1.00-1.30	0.040	0.08-0.13
M20S13	0.14-0.20	1.30-1.60	0.040	0.08-0.13
M20S26	0.14-0.20	1.00-1.30	0.040	0.24-0.33
M21S10	0.18-0.23	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
M23S10	0.23-0.29	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
M27S10	0.27-0.34	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
M32S10	0.32-0.39	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
M34S10	0.34-0.40	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
M37S10	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
M37S13	0.37-0.45	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
M40S24	0.40-0.48	1.35-1.65	0.040	0.24-0.33
M42S4	0.42-0.49	0.70-1.00	0.040	0.04-0.07
M45S12	0.42-0.55	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
M48S13	0.48-0.55	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13

M = Acero de fácil maquinado

3 = 0.13% de Carbono

S = Azufre

5 = 0.15% de azufre

6.5 ACEROS PARA HERRAMIENTAS

En este grupo se incluyen todos los aceros que normalmente sirven para la fabricación de útiles o herramientas destinados a modificar la forma, tamaño y dimensiones de los materiales por corte, presión o arranque de viruta.

La fabricación de aceros de herramienta es muy antigua, pues mil años antes de Jesucristo se fabricaban ya en Egipto herramientas con hierro cementado que después del temple adquirían una dureza superficial extraordinaria. Durante muchos siglos la cementación del hierro dulce fue prácticamente el único método empleado para la fabricación de herramientas. En la Edad Media se caldeaban las herramientas, soldando al hierro por martillado en caliente, bandas o tiras de acero que después del temple adquirían gran dureza. En 1740 Benjamín Hunstman inventó el procedimiento de fusión al crisol, que durante el siglo XIX fue el método más empleado para la fabricación de aceros de herramientas de calidad. En el último tercio del siglo pasado, gracias al descubrimiento de los métodos Bessemer y Siemens, se pudieron fabricar grandes cantidades de aceros que, aunque no de alta calidad, eran utilizados para fabricar algunos tipos de herramientas. Finalmente, hacia 1900 se inventó el horno eléctrico de arco y hacia 1921 el horno eléctrico de inducción de alta frecuencia, que son los que actualmente se emplean para fabricar la mayor parte de los aceros de herramientas de calidad.

Hasta mediados del siglo XIX todas las herramientas se construían con acero al carbono y aunque a partir de 1870 se empezaron a fabricar algunos aceros de herramientas aleados, se puede considerar que hasta el año 1900 prácticamente todas las herramientas se fabricaban con aceros ordinarios al carbono. Ha sido en el siglo XX cuando se ha comenzado a emplear en gran escala los aceros aleados de herramientas.

Es interesante señalar que en la actualidad está bastante generalizada la idea de que es necesario o casi imprescindible emplear aceros especiales o aleados para la fabricación de herramientas. Esto ocurre a veces por falta de conocimiento de las

posibilidades de los aceros de baja aleación o por creer que no se pueden realizar ciertos trabajos si no se dispone en un cierto momento de aceros aleados de precio elevado. No se debe olvidar que hasta hace pocos años no existían los aceros aleados y -- con los aceros al carbono se fabricaban troqueles y cizallas, se es- tampaban toda clase de materiales, se torneaban y fresaban miles de piezas de las formas más diversas.

Sin embargo, a pesar de lo que se acaba de exponer, también es digno de señalarse que aunque los aceros al carbono y de baja aleación son muy útiles, hay ocasiones en que no pueden ser utilizados convenientemente por falta de dureza en caliente, -- por dar lugar a grandes deformaciones en el temple; por no adquirir dureza suficiente cuando se trata de grandes espesores, etc., -- y es entonces cuando es necesario recurrir a los aceros aleados.

CLASIFICACION POR METODO DE OBTENCION

Aún cuando existen numerosas clasificaciones que pueden servir para agrupar los aceros de herramientas, en virtud de -- las diferencias que aparecen por el procedimiento de fabricación, el primer criterio de clasificación que contempla este aspecto, divide a los aceros de herramientas en:

- Aceros de herramientas fabricados en convertidor Bessemer
- Aceros de herramientas fabricados en hornos -- Siemens
- Aceros de herramientas fabricados en hornos eléctricos

La diferencia que se establece entre los aceros Bessemer, Siemens y de hornos eléctricos, es debida no sólo al menor contenido de fósforo, azufre y oxígeno que se refleja en general -- en un más elevado grado de limpieza, sino además en la garantía que ofrece cada proceso de fabricación. En general, en la mayoría de las fábricas donde se obtienen los aceros en convertidores -- Bessemer y hornos Siemens no se tiene el cuidado y atención que en los hornos eléctricos. Por lo que es bueno establecer entre --

ellos una primera clasificación.

Las características mecánicas que se obtienen de - - ellos no son sin embargo de enormes diferencias. Para un mismo contenido en carbono, las durezas serán sensiblemente similares y la selección del tipo de acero para un determinado uso se puede hacer casi con el mismo criterio. Convendrá tener en cuenta que los aceros de horno eléctrico suelen contener menos manganeso que los de Siemens y Bessemer y por tanto estos últimos tendrán mayor templabilidad y una velocidad crítica de temple ligeramente inferior que la de los aceros de horno eléctrico. Se suele emplear - un mayor contenido de manganeso en los hornos Siemens y Bessemer principalmente para contrarrestar la perniciosa influencia de - su elevado contenido de azufre y para facilitar la desoxidación - del acero. La inferior calidad que en general tienen los aceros Siemens y Bessemer se puede apreciar en la práctica industrial por el mayor porcentaje de grietas, roturas y deformaciones en el temple y menor tenacidad de las herramientas fabricadas con esos aceros.

Los aceros de herramientas de horno eléctrico se pueden dividir a su vez en los siguientes grupos:

- Aceros al carbono
- Aceros rápidos
- Aceros indeformables
- Aceros para trabajo en caliente
- Aceros de corte no rápidos
- Aceros para trabajo de choque y corte en frío
- Aceros austeníticos resistentes al desgaste
- Aceros grafíticos

Para tener una mejor idea, en las tablas siguientes se agrupan algunos de los tipos más importantes indicándose además en cada caso, las composiciones correspondientes de tal forma que se tenga una información de las propiedades de las diferentes variedades.

En el caso particular mexicano, se ha procedido a -

una clasificación de los aceros para herramienta elaborados también por el proceso de horno eléctrico. Esta clasificación está asentada en la Norma Oficial Mexicana NOM B-329 considerándose siete grupos principales, identificándose bajo las consideraciones SAE-AISI. Dichos grupos son:

- Aceros de alta velocidad
- Aceros para trabajos en caliente
- Aceros para trabajos en frío
- Aceros resistentes al impacto
- Aceros para moldes
- Aceros herramienta para usos especiales
- Aceros temple al agua.

Con fines de información, a continuación se muestran las tablas de clasificación contenidas en la Norma Oficial antes citada.

TABLA 1
CLASIFICACION E IDENTIFICACION DE LOS ACEROS HERRAMIENTA

Elementos de identificación por ciento

Columna 1 Designación DGN	C	Mn	Si	T	Mo	Cr	V	Co
ACEROS ALTA VELOCIDAD								
Símbolo M, Tipos al Molibdeno								
M 1	.80	---	---	1.50	8.00	4.00	1.00	---
M 2	.85	---	---	6.00	5.00	4.00	2.00	---
M 3 Clase 1	1.05	---	---	6.00	5.00	4.00	2.40	---
M 3 Clase 2	1.20	---	---	6.00	5.00	4.00	3.00	---
M 7	1.00	---	---	1.75	8.75	4.00	2.00	---
M10	.90	---	---	---	8.00	4.00	2.00	---
M15	1.50	---	---	6.50	8.50	4.00	5.00	5.00
M33	.90	---	---	1.50	9.50	4.00	1.15	8.00
M34	.90	---	---	2.00	8.00	4.00	2.00	8.00
M35	.80	---	---	6.00	5.00	4.00	2.00	5.00
M36	.80	---	---	6.00	5.00	4.00	2.00	8.00
M41	1.10	---	---	6.75	3.75	4.25	2.00	5.00
M42	1.10	---	---	1.50	9.50	3.75	1.15	8.00
M43	1.25	---	---	1.75	8.75	3.75	2.00	8.25
M44	1.15	---	---	5.25	6.25	4.25	2.25	12.00
M45	1.25	---	---	8.25	5.25	4.25	1.75	5.50
M46	1.25	---	---	2.00	8.25	4.00	3.20	8.25
Símbolo T, Tipos al Tungsteno								
T 1	.70	---	---	18.00	---	4.00	1.00	---
T 5	.80	---	---	18.00	---	4.00	2.00	8.00
ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE								
Símbolo H								
H10 - H19, incl., Tipos al Cromo								
H10	.40	---	---	---	2.50	3.25	.40	---
H11	.35	---	---	---	1.50	5.00	.40	---
H12	.35	---	---	1.50	1.50	5.00	.40	---
H13	.35	---	---	---	1.50	5.00	1.00	---
H19	.40	---	---	4.25	---	4.25	2.00	4.25

Columna 1 Designación DGN	C	Mn	Si	T	Mo	Cr	V	Co	Ni
ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE H20 - H39 incl., Tipos al Tungsteno									
H21	.35	--	--	9.00	--	3.50	--	--	--

ACEROS PARA TRABAJOS EN FRIO Símbolo D, Tipos Alto Carbono, Alto Cromo									
D 1	1.00	--	--	--	1.00	12.00	--	--	--
D 2	1.50	--	--	--	1.00	12.00	--	--	--
D 3	2.25	--	--	--	--	12.00	--	--	--
D 4	2.25	--	--	--	1.00	12.00	--	--	--

Columna 1 Designación DGN	C	Mn	Si	T	Mo	Cr	V	Co	Ni	Al
ACEROS RESISTENTES AL IMPACTO Símbolo S										
S 1	.50	--	--	2.50	--	1.50	--	--	--	--
S 2	.50	--	1.00	--	.50	--	--	--	--	--
S 5	.55	.80	2.00	--	.40	--	--	--	--	--

ACEROS PARA MOLDES Símbolo P										
P 1	.10	--	--	--	--	--	--	--	--	--
P 2	.07	--	--	--	.20	2.00	--	--	.50	--
P 4	.07	--	--	--	.75	5.00	--	--	--	--

ACEROS HERRAMIENTA PARA USOS ESPECIALES Símbolo L, Tipos baja aleación										
L 6	.70	--	--	--	.25+	.75	--	--	1.50	--

Columna 1 Designación DGN	C	Mn	Si	T	Mo	Cr	V	Co	Ni	Al
ACEROS TEMPLE AL AGUA Símbolo W										
W 1	.60/1.40++	--	--	--	--	--	--	--	--	--
W 2	.60/1.40++	--	--	--	--	--	.25	--	--	--
W 4	.60/1.40++	--	--	--	--	.25	--	--	--	--
W 5	1.10	--	--	--	--	.50	--	--	--	--

Columna 1 Designación DGN	C	Mn	Si	T	Mo	Cr	V	Co	Ni
Símbolo A, Tipos Media Aleación de Temple al Aire									
A 2	1.00	--	--	--	1.00	5.00	--	--	--

Símbolo O, Tipos Temple al Aceite									
O 1	.90	1.00	--	.50	--	.50	--	--	--
O 6	1.45	--	1.00	--	.25	--	--	--	--

170

+ Opcional
 ++ El contenido de carbono puede variar nominalmente dentro de estos valores, de acuerdo con las aplicaciones.

Algunos de estos aceros pueden ser producidos con adición de azufre para mejorar su maquinabilidad

ACEROS AL CARBONO

Para la fabricación de herramientas para ciertos usos, se emplean aceros sin elementos de aleación con porcentajes variables de carbono usualmente entre 0.50% y 1.4%. Para herramientas que deban tener gran tenacidad como martillos, picos, etc., se emplean aceros de bajos contenidos de carbono (0.50% a 0.7%). Para herramientas de corte como brocas, cuchillas, etc., se usan aceros de 1.00% a 1.4% de carbono. Para matrices de forja, estampa, etc., calidades intermedias que van de 0.80% a 1.00% de carbono.

Para conseguir en cada caso la máxima dureza, deben ser templadas en agua, y como los enfriamientos enérgicos producen grietas con facilidad además de deformaciones, es necesario realizar los tratamientos con gran precaución.

ACEROS INDEFORMABLES

Reciben este nombre los aceros que en el temple casi no sufren deformaciones y con frecuencia después del temple y revenido quedan prácticamente con las mismas dimensiones que tenían antes del tratamiento. Esto se consigue empleando principalmente el cromo y el manganeso como elementos de aleación. Estos aceros templean con un simple enfriamiento al aire o en aceite sin necesidad de someter el acero a bruscas variaciones de temperatura. Además, en estos aceros las transformaciones microscópicas que ocurren en el temple van acompañadas de muy pequeñas alteraciones de volumen.

ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE

Estos aceros que se emplean con dureza inferior a todos los demás, deben tener gran tenacidad para resistir los continuos golpes a que están sometidos, a la vez que deben tener buena resistencia para soportar los cambios bruscos de temperaturas que tienden a agrietar el acero. Con el empleo del wolframio -

en porcentajes de 4 a 9% y pequeñas cantidades de cromo y molibdeno se obtienen los mejores resultados. Algunas composiciones típicas son:

	C	W	Cr
%	0.3	9	3
%	0.3	4	1
%	0.32		5

ACEROS DE CORTE NO RAPIDOS

Aquí se agrupan varios aceros aleados, principalmente con cromo y wolframio, muy empleados para la fabricación de herramientas de corte que no deben trabajar en condiciones muy forzadas. Pueden considerarse como una calidad intermedia entre los aceros rápidos y los aceros al carbono y la mayoría de las herramientas fabricadas con ellos suelen quedar con durezas comprendidas entre 60 y 66 Rockwell-C.

La adición de cantidades variables de wolframio y cromo les aumenta notablemente su resistencia al desgaste, que es muy superior a la de los aceros al carbono. Esos elementos contribuyen también a reducir las deformaciones del temple y aumentar su tenacidad al afinarse extraordinariamente el tamaño de grano.

ACEROS PARA TRABAJO DE CHOQUE Y CORTE EN FRIO

En las herramientas fabricadas con estos aceros, debe combinarse una dureza suficiente para el corte con una tenacidad aceptable para que no se rompan en los choques a que están sometidos. Se suelen emplear aceros aleados con cromo y wolframio. Algunas composiciones típicas son:

	C	W	Cr
%	0.55	2	1.25
%	0.45	2	1.25

Otro acero que para este fin se usa con éxito es el clásico acero para muelles Mn-Si con la siguiente composición.

0.55% de carbono
 0.80% de manganeso
 1.70% de silicio

ACEROS AUSTENITICOS RESISTENTES AL DESGASTE

Para ciertas aplicaciones como bocas de dragas, mandíbulas, placas de molinos, trituradoras, etc., interesa emplear materiales de gran resistencia al desgaste. Esas piezas se fabrican con éxito con un acero de 12.5% de manganeso y 1.20% de carbono que es austenítico a temperatura ambiente. Aunque su dureza no es muy elevada, tiene una extraordinaria resistencia al desgaste y da mejores resultados que ningún otro acero.

ACEROS GRAFITICOS

Estos aceros se caracterizan por la presencia de grafito en su estructura. En los demás aspectos son similares a los aceros de herramientas clásicos que después del temple quedan con una estructura en su mayor parte martensítica. La presencia de grafito favorece el rozamiento de las herramientas y reduce el desgaste de las mismas. En estos aceros el contenido de carbono y silicio es generalmente elevado.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS

DUREZA Y TENACIDAD

La primera y más importante característica que se busca

en las herramientas usualmente es la dureza. Las herramientas se utilizan con durezas que normalmente varían dentro de unos límites bastante amplios y que siempre van ligadas a la tenacidad que deben poseer. En general si la herramienta es muy dura, será también frágil y, en cambio, para que sea muy tenaz debe ser relativamente blanda.

La dureza máxima con que suelen quedar las herramientas es aproximadamente de 65 Rockwell-C, que se puede obtener fácilmente después del temple con aceros con más de 0.65% de carbono. Con esa dureza todos los aceros son bastante frágiles y los perfiles delgados y las piezas con ángulos vivos se rompen si son bruscamente golpeados.

La menor dureza con que normalmente quedan los aceros para herramientas es de 30 Rockwell-C, que se obtiene generalmente con aceros de 0.30 a 0.65% de carbono después del temple y revenido, y se emplean en ese estado cuando las herramientas además de gran dureza deben tener gran tenacidad para soportar sin romperse o agrietarse los continuos choques, como ocurre por ejemplo, en el caso de matrices de forja, martillos o yunques.

Todas las demás herramientas se emplean con durezas intermedias, según sea el uso a que van a ser destinadas y la tenacidad que deban poseer.

En la construcción de herramientas hay que tomar en cuenta que en muchos casos la dureza y tenacidad con que quede el material dependen también del proyecto y del tratamiento que se les de. En muchos casos interesa que en una misma pieza existan ciertas zonas con características muy diferentes a las exigidas en la zona de trabajo. Es decir, que sea muy dura en la zona de trabajo y tenaz y resistente al choque en otras, con lo que a veces se mejoran las condiciones de la herramienta y se prolonga notablemente su vida o utilización.

INDEFORMABILIDAD

Al templar aceros al $\frac{1}{4}$ carbono o de baja aleación, siempre

pre se producen más deformaciones que al temple los aceros llamados indeformables. Conviene considerar dos causas que contribuyen a que aparezcan las deformaciones en las herramientas.

1. El rápido y a veces desigual enfriamiento de las herramientas (casi siempre tienen perfiles complicados o irregulares).

Esta fase del tratamiento es diferente en los aceros al carbono y en los indeformables, ya que en los primeros el temple se hace en agua y en los segundos en aceite o aire. En los aceros al carbono siempre se realiza el temple en agua porque de otra forma es imposible alcanzar la dureza necesaria. De esta forma el enfriamiento es muy brusco y hay diferencias importantes de temperatura entre unas zonas y otras de las piezas, dando lugar a deformaciones.

Como en los aceros indeformables el enfriamiento es en aceite o al aire, las diferencias de temperatura entre unos puntos y otros de las piezas son pequeñas las deformaciones que se causan son pequeñas también.

- 2.- El cambio de volumen debido a cambios de constituyentes microscópicos.

En general, todos los aceros en el temple sufren aumentos de volumen, sin embargo, en los aceros indeformables estos aumentos son menores que en los aceros al carbono.

También por lo general en el revenido los aceros se contraen e inclusive en algunos casos poco frecuentes el volumen antes y después del tratamiento resulta casi el mismo, debido a que para el revenido se emplean temperaturas que contrarrestan los aumentos de volumen ocurridos durante el temple.

RESISTENCIA AL DESGASTE

En los aceros templados se ha comprobado que su microestructura es un factor muy importante en cuanto a la resistencia

cia al desgaste.

El rendimiento de los aceros al carbono, cuya estructura después del temple es martensítica, puede mejorarse mucho si en ella aparecen uniformemente distribuidos carburos de gran dureza.

La resistencia al desgaste de los aceros de alta aleación, es debida a la presencia de partículas de carburo, que para alcanzar los mejores resultados es necesario que estén embebidas en una matriz de gran resistencia.

El problema de la fabricación de herramientas con gran resistencia al desgaste consiste en elegir los aceros que después del temple y revenido cumplan las características anteriores. En ocasiones se nitruran las herramientas formándose nitruros de plomo, vanadio y molibdeno en la periferia, que tienen una gran resistencia al rozamiento.

DUREZA EN CALIENTE

La dureza en caliente siempre es inferior a la dureza en frío. Se ha visto que en los aceros al carbono la dureza disminuye al elevarse la temperatura. En los aceros aleados con wolframio, cromo, molibdeno, vanadio, cobalto, etc., se conserva una dureza aceptable hasta altas temperaturas.

El efecto beneficioso de estos elementos de aleación, se debe en gran parte a la formación de carburos que favorecen la dureza en caliente. En el caso del cobalto, a pesar de no formar carburos, su presencia aumenta la resistencia en caliente de la matriz.

Para la fabricación de herramientas para forja y estampación en caliente es muy importante que los aceros resistan bien los bruscos y repetidos enfriamientos y calentamientos sin romperse, deformarse o agrietarse. Experimentalmente se ha comprobado que el wolframio es el elemento que tiene la influencia más beneficio

sa en este sentido y empleando aceros aleados con él, y una pequeña cantidad de cromo se obtienen buenos resultados en herramientas que trabajan en caliente y con repetidos choques.

ACEROS DE HERRAMIENTAS AL CARBONO

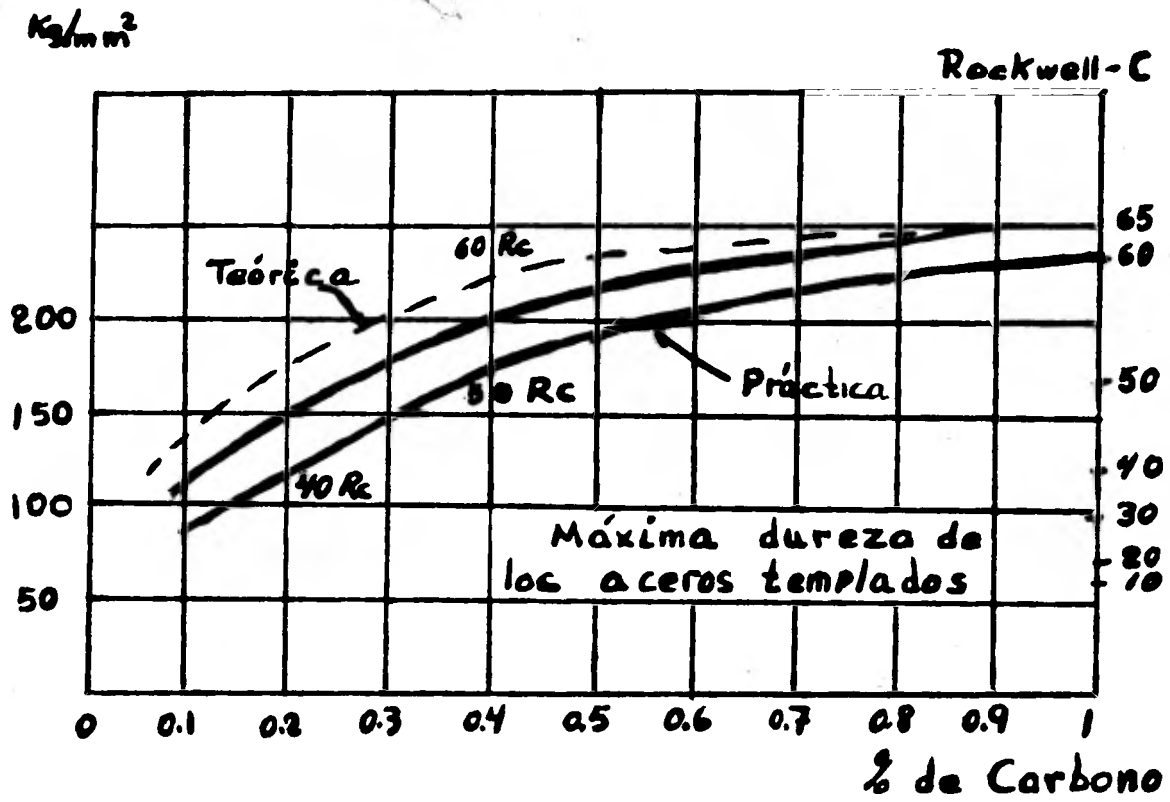
Las variables que más influencia tienen en sus propiedades son, naturalmente, el contenido de carbono que suele estar entre 0.50 y 1.40%, el contenido de manganeso que generalmente se encuentra de 0.20% a 1.00%; y el tamaño de grano austenítico, que conviene sea lo más fino posible. En los aceros de herramientas de cierta calidad, los demás elementos como silicio, azufre y fósforo normalmente se presentan en límites muy estrechos y las pequeñas variaciones que suelen experimentar esos elementos no se reflejan en general en variaciones importantes de las características ni en el comportamiento posterior de los aceros. Sin embargo conviene recordar que para que un acero de herramientas sea de calidad, sus porcentajes de fósforo y azufre deben de ser inferiores a 0.30%.

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CARBONO

Si consideramos el caso de que todos los elementos menos el carbono permanecen constantes, siendo por ejemplo sus valores: 0.30% de manganeso; 0.20% de silicio; 0.012% de azufre y 0.015% de fósforo y que también el tamaño de grano es constante podemos conocer fácilmente la influencia del carbono observando una gráfica como la mostrada a continuación, en la que se señala la dureza que se obtiene al ensayar los aceros después del temple. En los aceros al carbono para herramientas, al aumentar el porcentaje de carbono aumenta en general la resistencia y la dureza y disminuye la tenacidad en cualquiera de los estados templado, normalizado o recocido.

CARACTERISTICAS MECANICAS EN BRUTO DE FORJA O LAMINACION

En este estado los aceros al carbono de herramientas con contenidos que varían de 0.50 al 1.40% de carbono tienen -



resistencias que varían de 68 a 110 kg/mm² y durezas que oscilan desde 200 a 320 Brinell, demasiado elevadas para poder ser mecanizados. Por eso, después de la forja y laminación y antes de utilizarlos es necesario ablandarlos sometiendo siempre a un tratamiento de recocido.

TEMPERATURAS CRITICAS

Todos los aceros con contenidos de carbono de 0.50 a 1.40% tienen el punto A₁ a 721°C. Los aceros hipoeutectoides con 0.50 a 0.90% de carbono tienen el punto A₃ a temperaturas variables desde 800 a 721°C y los hipereutectoides con 0.90 a 1.40% de carbono tienen el punto A₃₂₁ a 721°C y el punto A_{cm} entre 721 y 980°C.

TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos térmicos que con más frecuencia se dan a los aceros de herramienta son recocido, temple y revenido. También son utilizados los tratamientos isotérmicos y los temple-interrumpidos primero en agua y luego en aceite, en los casos en que se quieran evitar grietas y deformaciones. Algunas ocasiones se llegan a normalizar estos aceros.

Teniendo en cuenta que el temple de los aceros hipoeutectoides se hace a unos 50° por encima del punto A_{C3}, el de los hipereutectoides a 50° por encima del punto A_{C321}, el recocido de regeneración a unos 30° por encima de esas temperaturas y el recocido subcrítico a unos 50° por abajo del A_{C321}, con ayuda del diagrama hierro-carbono se pueden elegir fácilmente las temperaturas más convenientes en cada caso.

RECOCIDO

El recocido de los aceros al carbono de herramientas es realizado a 780°C con una permanencia a temperatura de 1 a 6 horas aproximadamente, según sea el espesor de las piezas, seguido de un enfriamiento lento a velocidad inferior en todo momento a 20° por hora hasta 600° y enfriando luego al aire. De esta forma

se obtienen estructuras de cementita esferoidal sobre un fondo de ferrita y quedan los aceros con durezas comprendidas entre 170 y 200 Brinell.

Si en la zona de 720° a 600° el enfriamiento se hace a una velocidad superior a la citada de 20°/hora, el material que dará relativamente duro y será más difícil de mecanizar.

Cuando se desea realizar un recocido rápido para -- ablandar en poco tiempo un acero de herramientas, pero sin tener gran interés en que la dureza que se obtenga sea la mínima que es posible alcanzar, se puede emplear el recocido subcrítico a -- 680° y enfriar luego al aire, obteniéndose durezas que van de 180 a 250 Brinell.

Con estos aceros sólo en contados casos se hacen recocidos de regeneración por encima de la temperatura A_{cm} , seguidos de enfriamiento lento, porque hay peligro de que se aumente demasiado el tamaño de grano. Los aceros suelen quedar con durezas que van de 180 a 260 Brinell y además aparece casi siempre una micro-estructura de tipo perlítico que en general es más difícil de mecanizar que la estructura globular. En general interesa que en los aceros al carbono hipereutectoides recocidos que la cementita se presente en forma globular uniformemente repartida y no formando perlita. Así se consigue que después del temple los carburos que quedan sin disolver se encuentren bien distribuidos en la masa y con ello se conseguirá que sea grande la resistencia al desgaste del material.

Debe tenerse también gran cuidado con la temperatura de recocido, porque si ésta es demasiado alta se favorece la formación de carburos grandes, y en general es preferible que éstos sean del tamaño más pequeño posible, ya que así las herramientas serán más tenaces. En general se recomienda que con los aceros al carbono recocidos, el tamaño de los carburos sea variable de 1 a 3 micras.

En el recocido de los aceros al carbono de herramientas debe cuidarse bien la naturaleza de la atmósfera del horno pa

ra evitar descarburaciones en la superficie del material, que son muy perjudiciales. El recocido conviene hacerlo en hornos con atmósfera controlada o en hornos bien cerrados sin entrada de aire con atmósfera ligeramente reductora. Las herramientas se suelen recocer frecuentemente en cajas cerradas llenas con carbón vegetal bien seco o virutas de fundición.

TEMPLE

El temple de los aceros al carbono de herramientas normalmente se hace calentando a 760-825°C y enfriándolos luego en agua. Algunas veces cuando se trata de perfiles muy delgados el enfriamiento se hace en aceite y con frecuencia se realiza el temple interrumpido enfriando primero en agua y después en aceite.

Para el temple de los aceros de contenido en carbono variable de 0.50 a 0.90% es frecuente realizarlo, como se señaló antes, calentando a una temperatura superior en 50° a la A_{C3} de cada acero. En cambio, cuando el contenido de carbono es superior a 0.90%, el temple se puede realizar en dos formas diferentes: una, con austenización incompleta calentando a 760°- 800° aproximadamente, temperaturas que son ligeramente superiores al punto A_{C321} . La otra, con austenización completa, calentando a 760°- 1000°, temperaturas ligeramente más elevadas que el punto A_{cm} correspondiente a cada acero. Por lo regular se emplea la primera solución de austenización incompleta y sólo en contados casos se lleva a cabo la austenización completa. Cuando se desea aumentar algo la penetración del temple se emplean temperaturas intermedias entre las citadas anteriormente.

Las máximas velocidades críticas de temple corresponden a los aceros de bajo contenido de carbono (0.50%), siendo éstas de 450° a 250° por segundo. Las velocidades menores corresponden a los aceros de elevado contenido de carbono (1.20 a 1.30%) alcanzando de 50° a 200° por segundo. Sin embargo, cuando en los aceros hipereutectoides el temple se hace con austenización incompleta a temperaturas sólo ligeramente superiores al punto A_{C321} (760°- 800°), las velocidades críticas de temple varían de

forma algo distinta a como se señaló antes. En ese caso, los aceros de menor velocidad crítica de temple son generalmente los de 0.75 a 0.85% de carbono. Esto es debido a que al realizarse la austenización incompleta en los aceros de más de 0.85% de carbono, se evita el crecimiento del tamaño del grano por la presencia de glóbulos de cementita que no llegan a disolverse en la austenita. Además la presencia de carburos favorece (en los enfriamientos desde el estado austenítico) la formación de perlita, troostita, etc., lo cual tiende a dificultar la realización del temple.

Esa baja velocidad crítica de temple en los aceros de 0.75 a 0.85% de carbono, inferior a la de los aceros de 1.00 a 1.40%, se aprecia por la penetración del temple que se determina en los ensayos de fractura. En esos ensayos se observa que los aceros de 0.75 a 0.85% de carbono tienen mayor penetración de temple que los de 1.30% de carbono. Por tanto, las estructuras que se obtienen después del temple normal (austenización incompleta) de los aceros al carbono se pueden clasificar en dos grupos: estructuras martensíticas y estructuras martensíticas con glóbulos de carburo de hierro o cementita.

La estructura totalmente martensítica se obtiene después del temple teóricamente perfecto con los aceros de menos de 0.90% de carbono; y en los aceros de más de 0.90% de carbono, cuando en el calentamiento para el temple se ha llegado a la austenización completa. La estructura martensítica con glóbulos de cementita se obtiene en cambio normalmente en los aceros de más de 0.90% de carbono, templados a temperaturas ligeramente superiores al punto AC321.

Como los glóbulos de cementita son muy duros y resistentes al desgaste, las herramientas fabricadas con aceros de más de 0.90% de carbono que quedan después del temple con esa microestructura, se comportan muy bien en los trabajos de corte y en otras labores en las que es necesaria gran resistencia al desgaste.

El temple de los aceros al carbono de herramientas debe hacerse en general, como ya se ha indicado, con enfriamiento

en agua, ya que la velocidad crítica de temple de estos aceros es bastante elevada, para sobrepasarla, se necesita un enfriamiento - energético. Sin embargo, para evitar grietas y roturas, a veces se emplean temples parciales o interrumpidos.

TEMPLE INTERRUPTIDO. TEMPLE EN AGUA Y ACEITE

En los aceros al carbono de herramientas es quizás - donde el conocimiento de la técnica del temple tiene más influencia en los resultados que se obtienen. Las herramientas de forma irregular o de perfiles un poco complicados fabricados con estos - aceros, son, en general, bastante difíciles de temprar. En cambio, el tratamiento de una herramienta de forma muy irregular fabricada con un acero de alta aleación, es relativamente fácil, porque el temple de esta clase de aceros se puede hacer con enfriamiento al aire o en aceite, y no se presentan por lo general deformaciones. Con los aceros al carbono es muy difícil fabricar - ciertas herramientas porque para temprarlas es necesario darles un enfriamiento energético y como consecuencia frecuentemente aparecen grietas o deformaciones importantes.

Sin embargo, con el empleo del temple interrumpido se han encontrado soluciones que permiten utilizar con éxito los - aceros al carbono de bajo precio y obtener herramientas bien templadas, sin grietas ni deformaciones.

Un buen temple interrumpido se consigue cuando la - primera parte del enfriamiento se hace muy rápidamente, condición fundamental para que las herramientas queden con gran dureza (esto se entiende con mayor facilidad estudiando estos fenómenos con ayuda de la curva de la S). Si en la primera fase, al atravesar - el acero la zona de 600° el enfriamiento no es muy rápido, no se conseguirá la máxima dureza. Para que los aceros al carbono templen, es necesario que en los primeros momentos el enfriamiento - sea muy rápido; en cambio, al llegar el acero a unos 300° o 400° no importa que el enfriamiento sea lento. Para evitar grietas o - deformaciones en el temple, conviene que al llegar el acero a estas últimas temperaturas, conviene que no existan grandes diferencias de temperatura en las piezas.

Por ser el acero poco plástico, a temperaturas inferiores a 400° las diferencias muy grandes de temperaturas entre unas partes y otras de las piezas son muy peligrosas. En esa zona de temperaturas (inferiores a 400°) diferencias grandes de temperatura ocasiona problemas por las contracciones normales que experimenta el material al enfriarse y por las transformaciones microscópicas que en esos casos ocurrirán en las diferentes partes de las piezas.

Cuando esas diferencias de temperaturas sean grandes, todos esos fenómenos ocurrirán en momentos diferentes, y las tensiones y peligros de grietas son mucho mayores que si se produjesen a la vez en todas las partes de las piezas, por tener aproximadamente la misma temperatura. Esto último se puede realizar sin dificultad en algunos casos, con enfriamiento lento a partir de los 300° a 400° . Este enfriamiento, por otra parte, no presenta ningún inconveniente, pues para que el acero temple y se endurezca no es necesario que en las zonas de temperaturas inferiores a 400° el enfriamiento sea rápido.

Todas estas condiciones se cumplen en las herramientas realizando el calentamiento a 760° - 825° por ejemplo, y enfriando luego de 5 a 20 segundos en agua y pasando luego al aceite. Una norma bastante generalizada de mantenimiento de las piezas en el agua, es mantenerlas por 3 segundos, si son de 5 mm de espesor; 5 segundos las de 10mm; 8 segundos las de 20mm y 20 segundos las de 50mm. En todos los casos se pasa después al aceite. Realizando en esa forma, se evitan deformaciones y roturas y se obtiene gran dureza.

En todos estos casos conviene advertir que en las diferentes partes de las herramientas de cierto espesor, las transformaciones se producen de formas diferentes, pues mientras en la periferia, por ejemplo, se consigue un temple perfecto, en el interior las velocidades de enfriamiento son diferentes y los fenómenos se llevan a cabo de manera muy distinta. Sin embargo, a pesar de esas diferencias, que en general hay entre el corazón y la periferia, la realidad es que de esta forma se obtienen buenos resultados que amplían extraordinariamente el campo de aplicaciones -

de estos aceros.

REVENIDO

El revenido después del temple es siempre necesario - en los aceros al carbono de herramientas para mejorar la tenaci--dad. En general se realiza a muy baja temperatura (150°- 400°) para que no disminuya la dureza. Es interesante señalar que aún realizándose a temperaturas tan bajas, tiene una influencia muy fa--vorable en el rendimiento de las herramientas. Con este tratamien--to se eliminan tensiones peligrosas y se transforma la martensita --tetragonal en cubica, que es un constituyente más estable. El en--friamiento después del revenido se hace por lo regular al aire.

PENETRACION DE TEMPLE DE LOS ACEROS AL CARBONO PARA HERRAMIENTAS

Una de las particularidades de los aceros al carbono para herramientas es que son, en general, de muy poca penetra--ción de temple, y en perfiles de 20, 50 o más milímetros de espe--sor, la capa dura no penetra más de 2 a 5 mm. Por lo general, en las herramientas de acero al carbono gruesas, se consigue una--dureza de 60 a 65 Rockwell-C. Esto se comprueba entallando --con una piedra de esmeril una pieza templada de bastante espesor y luego rompiéndola por choque. En el aspecto de la fractura se observan dos capas: Una periférica más dura, de grano fino, con--más de 60 Rockwell-C, y otra central, más blanda, con aspecto --más rugoso de dureza inferior a 50 Rockwell-C. Esto es debido a que la velocidad crítica de temple de los aceros al carbono de he--rramientas es muy grande y a pesar de enfriarse las piezas en el --agua, esa velocidad solo se rebasa en la periferia que temple, no alcanzándose en la zona central, que queda sin templar.

En cambio, en los aceros de herramientas de alta - -aleación como los aceros rápidos y los aceros indeformables, tienen bajas velocidades críticas de temple y por ello, aún en perfiles --gruesos se endurecen hasta el corazón aunque el enfriamiento se --haga al aire.

La falta de templabilidad de los aceros al carbono, que a primera vista parece que solo puede tener inconvenientes, es en algunos casos ventajosa, ya que esa falta de dureza en la parte central sin temprar va unida a una tenacidad superior a la del otro acero duro en estado de temple, y el uso de estos aceros es a veces recomendable en algunos casos en que se aprovecha además de la dureza superficial la tenacidad del núcleo.

TAMAÑO DE GRANO Y CALIDAD DE LOS ACEROS AL CARBONO DE HERRAMIENTAS

LA CALIDAD DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS

Es, en general, más difícil de determinar y de conocer que la de los aceros de construcción. En estos se suele determinar la calidad con la medida de sus características mecánicas, contenido de P y S, grado de limpieza del acero y otros ensayos complementarios. Si la combinación de la resistencia, alargamiento y resiliencia es buena, si el estado de limpieza macroscópica es aceptable y el ensayo de fatiga es también bueno, se puede decir que un acero de construcción es de buena calidad. En los aceros de herramientas, en cambio, las características que en general se utilizan para calificar la calidad son diferentes.

Los aceros al carbono de herramientas y de buena calidad se caracterizan por no agrietarse en el temple, por quedar con un grano muy fino, muy duros y relativamente tenaces, siendo capaces de resistir, dentro de ciertos límites, trabajo continuo y de choques repetidos sin romperse. Sin embargo, es en las calidades intermedias en las que resulta difícil calificar con precisión a un acero.

Actualmente el tamaño de grano de estos aceros y su penetración de temple, son las características que mejor orientación dan sobre la calidad. Se ha visto que los aceros que después del temple presentan fracturas de grano fino y poca penetración de temple, son de buena calidad. En general, no se agrietan en los tratamientos térmicos, experimentan pocas deformaciones en el temple y tienen buena tenacidad. En cambio, los ace-

ros que después del temple tienen la característica de grano grueso y gran penetración de temple, suelen dar malos resultados. Por regla general el tamaño de grano fino va acompañado de poca penetración de temple y los aceros de grano grueso con gran penetración.

Templando perfiles delgados de 5 a 10mm de espesor a temperaturas crecientes de 760°, 815°, 845°, 875° y 925° por ejemplo, se ve que generalmente los aceros que en la práctica - dan buenos resultados presentan grano fino en la fractura aunque el calentamiento se haga a temperaturas elevadas de 845° y a veces de 875° y 925°. En cambio, en los aceros que dan malos resultados se obtienen al templar ya a 815° u 845° fracturas de grano grueso.

Se ha comprobado experimentalmente que al templar redondos de 20mm de aceros al carbono de herramientas de buena calidad a temperatura creciente, se observa en la fractura que la penetración de la capa dura, que es de 2 a 4mm, cuando el temple se hace a baja temperatura (760° a 800°), aumenta sólo ligeramente cuando se templan esos aceros a 845°, 875°, y 950°. En cambio, en los aceros que dan malos resultados, después del temple a 845° y 875°, la penetración de la capa dura penetra, por ejemplo 6, 8 y a veces hasta 10mm.

Por lo tanto, se ve que los buenos resultados y los malos, tienen sin duda alguna relación con el tamaño de grano de fractura del acero y con la penetración de temple a temperatura creciente. En la actualidad se acepta que la capacidad de crecimiento de grano y el aumento de la penetración de temple al ser calentados los aceros al carbono de herramientas a temperaturas crecientes, es un índice de la calidad del material.

Para conocer la calidad de un acero de este tipo, se suele recomendar el temple de un perfil de 20mm de espesor - - aproximadamente a temperaturas crecientes de 760°, 815°, 845°, 875° y 925°, por ejemplo. Romper luego las probetas y observar en la fractura el tamaño de grano y la penetración de temple.

UTILIZACION DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTA AL CARBONO

En los aceros en que interesa gran dureza y máxima tenacidad, como cuando se han de fabricar martillos, alicates, de sarmadores, hachas, matrices de forja, etc., bastará con aceros de 0.50 a 0.70% de carbono. Cuando interesa gran dureza pero además es necesario gran resistencia al desgaste, con calidad al corte, como es el caso de brocas, terrajas, fresas, limas, navajas de afeitar, etc., se eligen aceros de 1.00 a 1.40% de carbono, en los que la presencia de carburos sin disolver aseguran una gran resistencia al desgaste. Finalmente, cuando deben fabricarse herramientas con características intermedias a las que corresponden a los dos grupos anteriores, es decir, gran dureza con buen filo de corte a las que no se exija ni una extraordinaria tenacidad ni gran resistencia al desgaste, como en el caso de cuchillas, troqueles, matrices, navajas, etc., se emplean calidades intermedias con 0.70 a 1.00% de carbono.

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MANGANESO

El contenido de Mn en estos aceros que normalmente es de 0.20 a 0.40%, llega a elevarse en algunos casos especiales a 0.60 y 1.00%. Al aumentar el contenido de Mn aumenta la penetración de la dureza hacia el interior, porque disminuye la velocidad crítica de temple. Como entre los elementos de aleación el Mn es uno de los que ejerce influencia más sensible a la penetración de temple (parecida a la del Mo) conviene tener en cuenta esa influencia, ya que al aumentar el contenido de Mn a 0.60 a 0.80% puede considerarse que el acero ya no es un simple acero al carbono. A veces una gran penetración de temple en el acero puede ser debida al Mn, y por eso conviene controlar este elemento para que en cada caso obtener los mejores resultados.

ENSAYO DE CHOQUE POR TORSION

Siendo la tenacidad una de las propiedades que más se desea que posean las herramientas es, sin embargo, una característica difícil de medir. Se han hecho numerosos ensayos para co

nocer la tenacidad de estos aceros, pero casi siempre con resultado negativo. Los ensayos Charpy e Izod son difíciles de adaptar en los aceros de herramientas, porque las cifras que se obtienen son muy bajas y aparecen irregularidades muy notables e inexplicables en los resultados. Sin embargo recientemente se ha desarrollado un ensayo de choque por torsión que en la actualidad puede considerarse como el mejor método para estudiar la tenacidad de estos aceros.

Para el ensayo, se preparan probetas de media pulgada de diámetro y unos 100mm de longitud que se rompen luego del temple y revenido.

En la máquina de ensayos, la probeta se coloca horizontal, sujeta por un lado al cuerpo fijo de la máquina. En el otro lado se le ajusta sujetándola fuertemente una pieza de unos 100mm de longitud y 12mm de espesor, que forma con la probeta una 'T'. En la máquina hay dispuesto un motor que gira a una velocidad fija y que, dando cara a la probeta lleva un disco con dos puntas salientes colocadas paralelas a la probeta.

La rotura de la probeta se realiza al acercarla a la parte móvil del aparato, deslizando sobre una 'bancada' dispuesta especialmente para ello. Las puntas del disco tropiezan con la pieza que forma con la probeta una 'T' y el acero se rompe por torsión, como consecuencia del fuerte golpe que recibe. Midiendo la velocidad de giro de la parte móvil, que en momento del ensayo giraba ya sin motor, a una velocidad de régimen constante, se conoce la pérdida de velocidad, por lo que podemos conocer la energía absorbida en el choque.

Realizando el ensayo con aceros al carbono templados y revenidos a diferentes temperaturas, vemos que con los aceros al carbono se obtienen en todos los casos curvas mostrando que después del revenido a 180° aproximadamente se tiene con la máxima dureza, una máxima resistencia de choque por torsión. Asimismo, con revenido a 250° , la resistencia al choque por torsión es mínima.

Tratándose de un ensayo en que el material está sometido a un esfuerzo muy parecido al de las brocas, deben tenerse muy en cuenta estos resultados y revenir los aceros al carbono cuando se fabrican esa clase de herramientas a 180° y no emplear temperaturas de 250°.

ACEROS DE HERRAMIENTAS AL CARBONO CON PEQUEÑAS CANTIDADES DE ELEMENTOS DE ALEACION

Debido a que las propiedades de estos aceros no difieren significativamente de los aceros al carbono existen criterios para considerarlos dentro de una misma clase. Destacan sin embargo, los aceros que contienen vanadio y cromo como elementos de aleación.

ACEROS DE HERRAMIENTAS AL CARBONO CON PEQUEÑAS CANTIDADES DE VANADIO

La adición del vanadio se hace principalmente para afinar el grano y con ello aumentar la tenacidad y disminuir la penetración de temple. La composición de estos aceros es idéntica a la de los aceros al carbono, con la adición de 0.10 a 0.20 % de vanadio.

El vanadio en estos aceros forma carburos estables, que son solubles en la austenita sólo a temperaturas superiores a 900°. En el caso de realizarse el temple a temperaturas de 780°-850°, los carburos sin disolver impiden el crecimiento del grano austenítico, la penetración del temple es muy pequeña y el grano de la fractura muy fino.

De esta forma, conociendo el efecto que en la templabilidad y en el crecimiento de grano tiene la temperatura de calentamiento y la presencia de V. se comprende que con la adición de este elemento se puede regular perfectamente el tamaño del grano y la templabilidad, que además se puede modificar elevando o bajando la temperatura de temple. Con el empleo de V. se evita además el crecimiento del grano, la fragilidad y se puede llegar a un control muy exacto de la profundidad de la capa dura

en las piezas.

Mientras en los aceros ordinarios al carbono hay peligro de crecimiento de grano cuando el calentamiento se hace a 850° - 900° , en los aceros con V. como se ha dicho, el grano se conserva fino aunque el calentamiento se realice a esas temperaturas y aún superiores. El sobrecalentamiento de los aceros al carbono en el temple ocurre muy frecuentemente en muchos talleres en que por hacerse el temple en fraguas o en hornos sin el debido control de temperaturas, los tratamientos no se hacen a las temperaturas correctas. En esos casos, el uso de los aceros de herramientas al carbono con V es muy recomendable, porque a pesar de efectuarse los tratamientos en malas condiciones, las herramientas quedan con grano fino y gran tenacidad.

ACEROS DE HERRAMIENTAS AL CARBONO CON PEQUEÑOS CONTENIDOS DE CROMO

Cuando para algunos casos especiales interesa en los aceros al carbono conseguir una templabilidad ligeramente superior a lo normal, se suelen emplear aceros con pequeños porcentajes de cromo. La composición de estos aceros es idéntica a la de los aceros al carbono, con la adición de 0.20 a 0.80% de Cr.

Cuando se trata de grandes piezas, por ejemplo, la penetración de temple que se consigue en los aceros al carbono es muy pequeña y a veces suele ocurrir también que no se llega a conseguir una dureza superficial muy elevada. En esos casos, suele ser conveniente el empleo de pequeños porcentajes de Cr, que sin modificar las características fundamentales, reduce ligeramente su velocidad crítica de temple y con ello aumenta la penetración de temple y aumenta también un poco la dureza superficial. En este caso, lo mismo que antes con el V (que actuaba en forma inversa), se llega a realizar un gran control de la profundidad de la capa dura, de las piezas.

ACEROS INDEFORMABLES

Generalmente puede considerarse que estos aceros per

tenecen a alguna de las siguientes familias:

1. Aceros con 1 a 3% de Mn, de temple en aceite y al aire
2. Aceros con 5% de Cr, de temple al aire
3. Aceros con 12% de Cr, de temple en aceite y al aire

Estos aceros se caracterizan principalmente porque las herramientas fabricadas sufren menores deformaciones que las fabricadas con aceros al carbono. A continuación citaremos las propiedades que mejor identifican a estos aceros indeformables.

1. INDEFORMABILIDAD EN EL TEMPLE

Debido a que llegan a templar y adquirir alta dureza con enfriamiento en aceite o al aire. De esta forma su enfriamiento en el temple es relativamente lento y en esta fase del proceso, particularmente en piezas de formas complicadas, no hay grandes diferencias de temperatura entre unos puntos y otros del material y no se crean tensiones, deformaciones ni roturas.

2. ALTA DUREZA

Después del temple y revenido, resultan durezas de 62 a 65 Rockwell C.

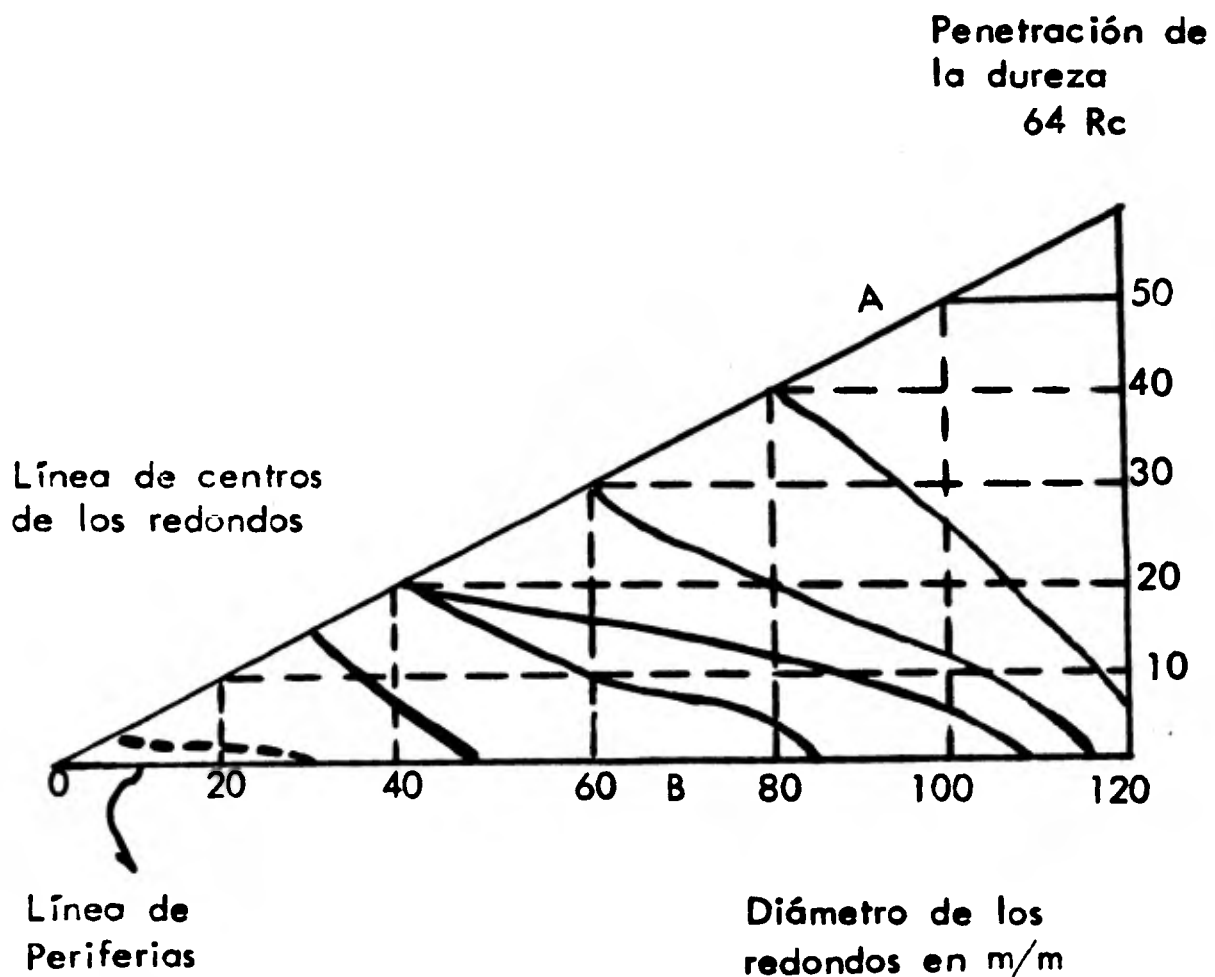
3. GRAN RESISTENCIA AL DESGASTE

Los aceros indeformables de 5 a 12% de Cr tienen una extraordinaria resistencia al desgaste, debido a la presencia de gran cantidad de carburos aleados en su microestructura.

4. MENORES VARIACIONES DE DIMENSIONES

La dilatación lineal y el aumento de volumen que los aceros indeformables experimentan al temple, es mucho menor que en los aceros al carbono. El ensayo Jominy que permite diferenciar muy bien la templabilidad de los aceros de construcción con 0.20 a 0.50% de C, no señala claramente las diferencias que hay en la templabilidad y penetración del temple de los diferentes ace

ros indeformables. En este aspecto representaciones gráficas como la que se muestra a continuación son más útiles que el ensayo Jominy. En ella puede verse cómo en los aceros de mayor -- templabilidad, que son los de temple al aire, se alcanzan después del temple 64 Rockwell C en el interior de redondos gruesos. También se observa cómo en los aceros de temple al aire, se llega a alcanzar 64 Rockwell C en la periferia de redondos de mayor diámetro que en los aceros aleados de menor templabilidad y que en los aceros al carbono.



En la citada figura se nota también que las intersecciones de las líneas de cada acero con la línea A, sirven para determinar en el eje de las abscisas los máximos diámetros de redondos de aceros de diversas calidades en los que después del temple se consiguen en los centros de los redondos durezas de 64 Rockwell C. Las intersecciones de las líneas de cada acero con el eje de abscisas B nos señala los máximos diámetros en los que después del temple se alcanza en la periferia 64 Rc. Por interpolación se puede conocer lo que sucede en zonas intermedias.

El empleo de los aceros indeformables es muy interesante en los casos en que las herramientas no pueden ser rectificadas después del temple o no admiten mas que un ligero rectificado, es decir, cuando se trata de herramientas en las que las deformaciones deben ser mínimas y las medidas después del tratamiento deben ser casi exactamente las mismas que en el momento en que se terminó la mecanización. Esto es de interés en los casos en que se quiere eliminar el rectificado final para no aumentar el costo de las herramientas y cuando se trata de herramientas de formas tan complicadas que la mecanización para rectificado es casi imposible de realizar.

Las variaciones lineales o de volumen que estos aceros experimentan en los tratamientos térmicos, son interesantes de conocer. Todos los aceros aumentan de volumen en el temple y este aumento varía bastante de unos casos a otros, según sea la composición del acero, la forma, el tamaño y espesor de las piezas, la temperatura de temple y el medio de enfriamiento.

Para prever las deformaciones que pueden aparecer en las herramientas después de los tratamientos térmicos, es interesante señalar que también en el revenido los aceros experimentan cambios de volumen. En general, los aceros de herramientas al carbono y algunos de baja aleación templados, experimentan en el revenido una contracción. Los aceros de alta aleación frecuentemente también suelen experimentar una contracción, pero en cambio se dilatan luego ligeramente cuando se emplean temperaturas más altas de revenido.

Estudiando y conociendo bien las propiedades de cambio de volumen y las transformaciones microscópicas que experimentan estos aceros en el temple y revenido, se puede elegir en cada caso temperaturas de temple y revenido adecuadas para que el material prácticamente quede casi con las mismas medidas que tenía antes del tratamiento. Las particularidades más importantes de las tres familias de aceros indeformables citadas antes se señalan a -- continuación.

Los aceros al Mn tienen la ventaja de ser de un precio relativamente bajo, bastante próximo al de los aceros al carbono o de baja aleación y ser de temple en aceite y algunos de -- ellos de temple al aire y por ello, son mucho más indeformables -- que los aceros ordinarios que es necesario templar en agua. También tienen la ventaja de que el temple se realiza a temperaturas relativamente bajas, próximas a 825° , fáciles de alcanzar en la -- mayoría de los hornos. En cambio, las variaciones de volumen y las deformaciones en el temple de estos aceros al Mn, aunque pequeños, son sin embargo algo mayores que las de los aceros de -- 5.00 y 12.00% de Cr y su resistencia al desgaste es también menor que la de esos aceros al Cr. En cambio, en estado de recocido los aceros al Mn son más fáciles de mecanizar que otras clases de aceros indeformables y se trabajan con menos dificultad que los aceros indeformables de alta aleación circunstancia que en algunos casos tiene mucha importancia.

Los aceros de 5% de Cr sufren muy pequeñas variaciones de volumen en los tratamientos y experimentan también muy pequeñas deformaciones en el temple de las piezas porque son de temple al aire. Tienen mayor resistencia al desgaste que los aceros -- al Mn y menor que los aceros de 12% de Cr. La temperatura de temple de 950° es bastante elevada.

Los aceros de 12.00% de Cr experimentan pequeñas variaciones de volumen en los tratamientos y son los de mayor resistencia al desgaste de todos, debido a la presencia de gran cantidad de carburos de Cr. Por templarse con enfriamiento al aire -- o en aceite, las deformaciones que experimentan en el tratamiento son pequeñas. En general, los troqueles fabricados con estos ace-

ros pueden cortar sin necesidad de ser afilados, mayor número de piezas que los fabricados con otros aceros. El temple debe de realizarse a temperaturas más elevadas, 975° aproximadamente, lo que a veces es un inconveniente por ser temperatura un poco alta para ser alcanzada en algunos tipos de hornos.

ACEROS INDEFORMABLES AL MANGANESO

En la actualidad se usan para trabajos de no mucha responsabilidad y para pequeñas series, en los que por otra parte conviene que el precio no sea muy elevado. Como el Mn hace descender las temperaturas críticas, el temple de estos aceros no presenta grandes dificultades, por realizarse a temperaturas relativamente bajas (845°- 800°). Además, tiene la ventaja de ser en estado recocido mucho más fáciles de mecanizar que los aceros de 5.00 y 12.00% de Cr.

Con frecuencia el ligero aumento de volumen que experimentan estos aceros al Mn en el temple, es contrarrestado por la pérdida que sufre el material al oxidarse cuando el calentamiento para el temple se hace en atmósfera de aire, formándose una delgada capa de óxido que luego se desprende en cascarilla.

6.6 ACEROS INOXIDABLES

Para la designación de los aceros resistentes a las corrosiones se han empleado a través del tiempo las denominaciones que las fábricas les han impuesto buscando unas expresiones más o menos comerciales que faciliten la comprensión del acero de que se trata.

El "Acero Inoxidable" como expresión propiamente dicha se emplea de modo amplio para expresar todo cuanto se quiere manifestar que es capaz de soportar la acción atmosférica o bien el ataque de los ácidos en caliente o frío, y también la oxidación a temperaturas elevadas.

Las aplicaciones de los aceros inoxidables pueden considerarse divididas en dos grandes grupos. El primero de ellos es

el que recoge las necesidades de una alta resistencia a la corrosión y también la elevada resistencia a la oxidación a alta temperatura. En el segundo se agrupan los aceros a los que se les demanda unas características ya no puramente de inoxidable, sino que deben poseer unas propiedades mecánicas de dureza, resistencia, tenacidad o ductilidad, etc. y en muchos casos, una resistencia notable al desgaste por rozamiento y esmerilado.

Generalmente, los aceros resistentes a la corrosión cubren un campo bastante amplio de composiciones químicas y propiedades físicas, las cuales llevan una serie de aplicaciones más comunes, que no siendo en absoluto limitativas, si dan en cambio una idea de las aplicaciones.

El contenido de cromo varía generalmente entre el 10% o 12% al 18 o 20%, no obstante, en algunos aceros sobrepasa o disminuye respectivamente estos valores, es decir, varían de acuerdo a las características que deban estar acentuadas.

De acuerdo con la estructura de los aceros inoxidables, éstos suelen clasificarse en: Austeníticos y Ferríticos, según sea la microestructura obtenida después de haber sido calentado a elevada temperatura y enfriados seguidamente al aire.

La importancia de esta clasificación es notable porque de su estructura microscópica dependen en gran parte sus propiedades. Dichas propiedades van variando progresivamente de una calidad a otra de modo poco definido, en ocasiones un acero clasificado en un grupo, puede ser indistintamente utilizado en otro grupo.

Es importante tener en cuenta en la construcción de máquinas donde se emplea acero inoxidable, prever las precauciones necesarias para evitar el agarrotamiento de piezas en movimiento, o en contacto con ellas, puesto que siendo un acero blando, no es endurecible por tratamiento térmico, además también conocer que todos los aceros inoxidables, para alcanzar las máximas propiedades de inoxidable, deben ser empleados habiéndose tratado térmicamente.

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

Un concepto claro de la palabra "austenita" es, el de un constituyente formando por solución sólida de carburo de hierro gamma que a su vez es el estado alotrópico del hierro a temperatura arriba del punto crítico Ac_3 . La austenita se forma en los aceros al ser éstos calentados después de traspasado el punto de transformación. La austenita no es magnética. Esta característica se infiere, por tanto, a los aceros inoxidable de este grupo.

Los aceros inoxidable austeníticos tienen como principales componentes, al cromo (16 - 26%) y al níquel (6 - 22%).

Debido al porcentaje grande de níquel y al tratamiento térmico adecuado la estructura de este tipo de acero inoxidable, es distinta de las de los grupos siguientes: El acero austenítico obtenido de este modo se caracteriza por su buena resistencia a la tracción, de unos 65 kg/mm², así como por su buena tenacidad y ductilidad. El límite de fluencia del acero austenítico, sin embargo, es bajo relativamente, de unos 25 kg/mm² y en este estado el material no es magnético.

Pertencen a este grupo los aceros inoxidable cromo-níquel y cromo-níquel-manganeso y responden, entre otros, a los tipos 201, 202, 301, 302, 309, 316 (AISI-SAE). Todos estos aceros son austeníticos, esencialmente no magnéticos en estado de recocido y no se endurecen por tratamiento térmico, siendo el contenido total de níquel y cromo por lo menos de un 23%.

Se trabajan en caliente con toda facilidad y pueden trabajarse en frío, teniendo siempre presente que con este tipo de trabajo se endurecen rápidamente. Son muy resistentes al choque y difíciles de mecanizar, salvo que contengan azufre y selenio.

Estos aceros se caracterizan por ser, de todos los inoxidable, los que presentan mayor resistencia mecánica y a la formación de cascarilla de temperaturas muy elevadas. Asimismo la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable austeníticos es generalmente mayor que la de los aceros martensíticos o ferríticos.

Estos aceros presentan un fenómeno de corrosión intergranular durante su calentamiento a temperaturas comprendidas entre 420 y 870^o C, ocasionando por la precipitación de carburos en las uniones de los cristales.

ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

Martensíticos, proviene de martensita, que es una solución sólida de carburo de hierro en hierro Alfa. Es un constituyente duro del acero, característico de los aceros templados. El enfriamiento, desde la temperatura del temple, debe ser rápido y efectuarse en agua en los casos de acero al carbono, y en aceite o en aire en determinados casos de aceros especiales.

El cromo es su componente principal, en proporciones que oscilan entre el 12 y el 18%. Las calidades varían también con las proporciones del contenido de carbono, desde 0.10% a 0.16% salvo las series 440 A, B y C que varían de 0.60% a 1.20% de carbono, cuando son templados adquieren estructura martensítica dura y según su contenido de carbono, se obtiene la dureza en forma graduada. Mediante el temple y revenido de los aceros de poco carbono, que oscila entre el 0.10% y el 0.20% se alcanzan valores de dureza y resistencia comparables a los de los aceros corrientes de aleación cromo-níquel, temple y revenidos. Por el contrario, los aceros de este grupo con mayor contenido de carbono, que se halle de 0.60% a 1.20% tienen propiedades que son parecidas a las de los aceros de aleación para herramientas en general y cortantes. Todos los aceros de este grupo templen al aceite o aire. Este tipo de acero si es magnético. Están especialmente indicados para la construcción de cajas de cementación; cajas para recocer, soleras de hornos, parrillas de hornos; tubos protectores para pirómetros; elementos para horno, etc...

Entre los aceros pertenecientes a este grupo podemos indicar los tipos 403, 410, 414, 416, 416 Se, 420, 431, 440, 440 A, 440 B, 440 C, 501 y 502, pueden trabajarse en frío sin ninguna dificultad, sobre todo los de bajo contenido de carbono, son de fácil mecanización, resisten la acción corrosiva de los agentes atmosféricos y de algunos agentes químicos y se trabajan fácil-

mente en caliente. La máxima resistencia a la corrosión la alcanzan estos aceros cuando se temple a las temperaturas recomendadas.

ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

Teniendo en cuenta que la ferrita es el hierro libre en estado alfa, que es el estado alotrópico del hierro a temperatura baja, cristalizado en forma cúbica, se presenta libre en los aceros que contienen menos de 0.90% de carbono, formando granos irregulares mezclados con perlita. Por otra parte, la perlita es una mezcla formada por ferrita y cementita, que generalmente se halla dispuesta en forma de láminas alternadas.

Este grupo está integrado por los aceros pertenecientes a los tipos 405, 430, 430F, 430 FSe y 446, son aceros al cromo sin níquel y se caracterizan por no poder ser tratados térmicamente como los aceros ordinarios ya que no admiten temple. Son magnéticos y pueden trabajarse tanto en frío como en caliente, presentando su máxima ductilidad, resistencia a la corrosión y menor dureza posible en el estado de recocido. Estos aceros presentan a temperaturas elevadas una resistencia menor que los aceros martensíticos, pero su resistencia a la formación de cascarilla y a la corrosión es generalmente mejor.

DESIGNACION SAE-AISI DE LOS ACEROS INOXIDABLES.- Este tipo de aceros se utiliza en aquellos casos en que se necesita resistencia a la corrosión y también al efecto de las temperaturas elevadas. Para identificarlos se utiliza un sistema numérico de tres cifras, de los cuales las dos últimas no tienen ningún significado especial y la primera indica el grupo a que pertenece en la forma siguiente:

**DESIGNACION (SAE-AISI)
DE LA SERIE**

G R U P O

2XX	Cromo-Níquel-Manganeso: No templable. Austenítico y no Magnético
3XX	Cromo-Níquel: No templable. Austenítico y No Magnético.
4XX	Cromo: Templable, Martensítico, Magnético.
4XX	Cromo: No templable, ferrítico y Magnético
5XX	Cromo: Bajo en cromo, resistente a Alta temperatura

GRUPOS DE ACERO INOXIDABLES (SAE - AISI)

GRUPO	No. de SERIE	% COMPONENTES
AUSTENITICO	2 XX	(CR 16-18) (NI 3.5-5.5)
AUSTENITICO	3 XX	(CR 16-26) (NI 8-22)
MARTENSITICO	4 XX	(CR 11.50-18.00) (NI 1.25-2.50)
FERRITICO	4 XX	(CR 11-27) (NI 1.00 Max)
MARTENSITICO	5 XX	(CR 4-6) (MO. 50 Max.)

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS (NO ENDURECIBLES POR TRATAMIENTO TERMICO)

SAE	C %	Mn%	SI%	CR%	NI%	Otros% AISI
30301	0.08-0.15	2.00	1.00	16.00-18.00	6.00- 8.00	301
30302	0.08-0.15	2.00	1.00	17.00-19.00	7.00-10.00	302
30304	0.08-max.	2.00	1.00	18.00-20.00	8.00-11.00	304.
30309	0.20-max.	2.00	1.00	22.00-24.00	17.00-15.00	309
30310	0.25-max.	2.00	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00	310
30316	0.08-max.	2.00	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	Mo2.00 - 3.00 316
30321	0.08-max	2.00	1.50	17.00-19.00	8.00-12.00	Cb-Ta - 10 X Cmin 321

INOXIDABLES AL CROMO MARTENSITICOS (ENDURECIBLES)

51410	0.15 max	1.00	1.00	11.50-13.50	-----	410
51414	0.08-0.15	1.00	1.00	11.50-13.50	1.25-2.50-----	414
51416	0.15 max	1.25	1.00	12.00-14.00	-----0.60 Max.Mo	416
51440A	0.60-0.75	1.00	1.00	16.00-18.00	----- 0.75 Max.Mo	440
51501	Aprox -0.10	1.00	1.00	4.00- 6.00	----- .50 Max.Mo	501

INOXIDABLES AL CROMO FERRITICOS (NO ENDURECIBLES POR TRATAMIENTO)

51430	0.12 max	1.00	1.00	14.00-18.00	-----	430
51442	0.70 max	1.00	1.00	18.00-23.00	-----	442
51446	0.20 max	1.50	1.00	23.00-27.00	N .25.max	446

De acuerdo a la Tabla No. 2 en que se describe la composición química en % de la mayoría de Aceros Inoxidables según su grupo, se concluye que no existe relación alguna entre la clasificación - (SAE-AISI) y la composición química de los mismos:

Según los grupos tenemos los Aceros Inoxidables Austeníticos que se identifican con el Dígito 2XX y 3XX, en el que los 2 Dígitos últimos (XX) no tienen ningún significado, y el primero (2) indica solamente el grupo a que pertenece.

Siguiendo esta norma se establece que el usuario de estos aceros - los identifica comercialmente por el Acero 316 o 410, sin saber - exactamente que significan estos números. Basándonos en la tabla No. 2 y teniendo en cuenta en primer Dígito de la Clasificación (SAE-AISI) proponemos la siguiente nomenclatura para la identificación de Aceros Inoxidables.

Continuaremos utilizando los Nos. 2, 3, 4 y 5 que identifican los grupos a que pertenecen según la tabla No. 1, a continuación anteponemos la inicial "IN" de Inoxidables y continuamos con los - Dígitos de contenido Máximo de Cromo-Níquel, Cromo-Molibdeno y Cromo-Manganeso que son los elementos que le confieren las propiedades de ser Inoxidables y Anticorrosivos: Ejem. a continuación.

TABLA No. 1

ACEROS INOXIDABLES EJEMPLOS:

DGNM

301	IN-31808:	IN-INOXIDABLE 3-GRUPO AUSTENITICO CROMO-NIQUEL 18-CONTENIDO EN % CROMO % 08-CONTENIDO EN % NIQUEL
309	IN-32415:	IN-INOXIDABLE 3-GRUPO AUSTENITICO CR-N 24-CONTENIDO MAX. EN % CROMO 15-CONTENIDO MAX. EN % NIQUEL
316	IN-31814:	IN-INOXIDABLE 3-GRUPO AUSTENITICO CR-N 18-CONTENIDO MAX. EN % CROMO 14-CONTENIDO MAX. EN % NIQUEL
416	IN-414MO	IN-INOXIDABLE 4-GRUPO MARTENSITICO CROMO-MO- LIBDENO 14-% EN CROMO, 0.60% EN MOLIBDENO
501	IN-506MO	IN-INOXIDABLE 5-GRUPO MARTENSITICO CROMO-MO- LIBDENO 06-6% DE CROMO
430	IN-41800	MO-AL MOLIBDENO 50%

PROPUESTA DE TIPIFICACION PARA LOS ACEROS INOXIDABLES

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

SAE/AISI	DGNM	
301	IN31808	IN = INOXIDABLE
302	IN31910	3 = GRUPO AUSTENITICO AL
304	IN32011	CROMO-NIQUEL
309	IN32415	18 = 18% DE CROMO
310	IN32622	08 = 8% DE NIQUEL
316	IN31814	
321	IN31912	

ACEROS INOXIDABLES AL CROMO MARTENSITICOS

410	IN41400	IN = INOXIDABLE
414	IN414NI	4 = GRUPO MARTENSITICO
416	IN414MO	CROMO MOLIBDENO
440A	IN418MO	14 = 14% DE CROMO
501	IN506MO	NI-MO = NIQUEL MOLIBDENO

ACEROS INOXIDABLES AL CROMO FERRITICOS

430	IN41800	IN = INOXIDABLE
442	IN42300	4 = GRUPO MARTENSITICO
446	IN427N	CROMO-MOLIBDENO
		18 = 18% DE CROMO
		N = NITROGENO

APLICACIONES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

- IN32011 Piezas mecánicas que deban presentar gran resistencia a la corrosión. Artículos para la industria textil, de colorantes, láminas y barras de acero inoxidable del tipo 18/10; maquinado rápido. Dureza Brinell 130-180.
- IN31910 Igual que el anterior, pero con mayor maquinabilidad y barras del tipo 18/8. Dureza Brinell 130-180.
- IN31814 Piezas sometidas a severas condiciones de corrosión, en las industrias químicas, del papel, etc. Láminas y barras de acero inoxidable del tipo 18/11/2. Dureza brinell 130-180.
- IN31814 Piezas sometidas a condiciones severas de corrosión que no pueden ser tratadas térmicamente después de la soldadura. Dureza Brinell 130-180.
- IN31912 Piezas que deban presentar buena resistencia a la corrosión después de haber sido soldadas.

ACEROS INOXIDABLES AL CROMO MARTENSITICOS

- IN41400 Piezas resistentes a la acción del aire húmedo, - agua, vapor de agua y agentes medianamente corrosivos de la industria alimenticia. Barras para - bonificar. Dureza 140-180 Brinell. Temple al - aceite, artículos domésticos, tenedores, cucharas, pueden troquelarse, estirarse y rechazarse.
- IN41400 El mismo acero pero templado en aceite, en agua o enfriado en aire a 950-1000°C y revenido a --

650-750°C, sirve para paletas de turbinas, remaches, chavetas, cabezas de bastón de golf, tubos estirados, trabajo estructural y ornamental.

IN414MO Barras de acero al cromo maquinable. Dureza - 150-200 Brinell

ACEROS INOXIDABLES AL CROMO FERRITICOS

IN41800 Cubiertos de cocina, artículos decorativos, piezas de la industria química y del petróleo, etc. láminas de acero inoxidable al carburo. Dureza 130-170 Brinell.

¿Qué requiere de un acero el usuario del mismo?

La selección de los aceros inoxidable para una determinada aplicación significa frecuentemente, encarar el problema sin conocer experimentalmente el resultado en la práctica de los mismos. Son bastantes comunes los casos en que es necesario considerar la resistencia a la corrosión, las características mecánicas y el método de fabricación para poder efectuar una buena selección de un acero inoxidable, dado que las propiedades de los mismos difieren ampliamente de un tipo a otro.

El siguiente cuestionario señala factores que deben considerarse al seleccionar un acero inoxidable dada sus propiedades de él, sin embargo existen otros factores secundarios que pueden influir en el rendimiento práctico de estos aunque generalmente no llega a comprometer el éxito de su uso.

- 1.- Composición química
- 2.- Resistencia a la corrosión y altas temperaturas
- 3.- Resistencia a la tracción
- 4.- Dureza Brinell
- 5.- ¿Debe ser forjada la pieza?
- 6.- ¿Debe el acero trabajarse fácilmente?
- 7.- ¿Debe el acero ser magnético?
- 8.- ¿Debe ser la pieza soldada?
- 9.- El acero puede ser sometido a un tratamiento térmico a fin de alcanzar las características físicas y la máxima resistencia a la corrosión.
- 10.- Indicaciones para reconocer piezas forjadas o soldadas.

ACEROS INOXIDABLES

EMPRESAS PRODUCTORAS

ACEROS ANGLO, S.A.

Aceros Inoxidables
Ferríticos (410, 416, 420F, 430F)
Austeníticos (303CE, 304, 309, -
310, 316)

ACERO SOLAR, S.A.

Ferríticos (SERIE 400)
Austeníticos (SERIE 300)
Resistentes al calor (inclusive -
SERIE 300)
Otros, se fabrica la SERIE 200 y
500, así como Aleaciones Especia
les para resistencias Eléctricas Ba
se Níquel y Cromo-Aluminio.

PRODUCTOS GAVALDON, S.A.

Aceros Inox: Produce Exclusivamen
te barras macizas en pequeños diá
metros.

SIDERURGICA NACIONAL

Ferríticos (410, 416)
Austeníticos (303, 303 CE, 304, 316)
OTROS (21-59M, 21-12N, SILIO)

AMSCO MEXICANA, S.A.

Esta Empresa produce piezas fundi
das en Acero Inoxidable.
Ferríticos (410, 420, 431, 446 y 327)
Austeníticos (304, 302, 316, 347, -
303, 317, 309, 310, 330)
Resistentes al Calor (446, 327, 302B,
309, 310, 330)
Además producen otros tipos de pie
zas fundidas como: Blindajes, Piezas
para maquinaria pesada de minería,
Cementera, Constructora, Azucare
ra, Ferrocarrilera, etc.

COLADA DE 10 TON. DE ACERO INOXIDABLE 18/8

HORNO BASICO. MARCHA CON DOS ESCORIAS Y SOPLADO DE OXIGENO

Análisis deseado: C 0,10 máx.; Mn 0.40/0,80; Si 0,30/0,60
 P 0,04 máx.; S 0,04 máx
 Cr 18/20; Ni 8/10

Carga: Chatarra de acero inoxidable de igual composición 5 ton
 Chatarra de hierro dulce 5 ton

A.I.	5	30	20	1	1,5	900	400 Kg
A.D.	7,5	15	10	1	2	--	-- Kg
	12.5	45	30	2	3,5	900	400
	0.12	0.45	0.30	0.02	0.035	9	4 %

Hora	Detalles del proceso
0	Se carta con cesta las 10 ton. de chatarra. Con la carga se añaden 115 Kg. de dolomía y 230 Kg. de arena negra para formar la escoria
0.05	Se conecta a 175 V.
0.15	Se eleva la tensión a 200 V.
2.00	Carga fundida. Se manda muestra al laboratorio
2.10	Llega el análisis del laboratorio: C 0,15; Cr 8. Se añaden 30 Kg. de ferrosilicio (75% Si) para recuperar el cromo de la escoria, y para hacer la más fluida.
2.25	Soplado de 100 m ³ de oxígeno (en 10 minutos).
2.35	Se manda muestra al laboratorio
2.40	El laboratorio indica: C 0,08.
2.45	Desoxidación final de la escoria con 90 Kg. de ferrosilicio (75% Si) y 60 Kg. de aluminio
3	Desescoriado
3.20	Adiciones para formar la segunda escoria: 25 Kg. de dolomía, 50 Kg. de chatarra y 12 Kg. de ferrosilicio molido (75% Si).
3.25	Se manda muestra al laboratorio
3.35	El laboratorio indica C 0,07 - Cr 7
3.40	Se ajusta la composición del cromo y del níquel añadiendo 1,600 Kg. de ferrocromo (75% Cr) precalentado a 800°C y 500 Kg. de níquel.
5.10	Colada

6.7 ACEROS REFRACTARIOS

DEFINICION

Se denominan aceros refractarios los aceros que pueden trabajar adecuadamente durante largos períodos a temperaturas superiores a los 400°C , por ejemplo: válvulas de escape para motores de aviación; parrillas para estufas de esmaltado; cadenas portadoras, placas de arco y de piso para hornos; rotores de turbinas de gas; válvulas para horno Siemens de hogar abierto; cajas de recocido; recubrimientos de pirómetros; retortas soportes de elementos de sobrecalentadores, puertas de fogón de locomotoras, etc.

RESISTENCIA A LA FLUENCIA

A temperaturas moderadas, un acero al carbono puede trabajar con una resistencia mecánica y una dureza adecuada. El límite elástico ordinario es la característica que limita su aplicación. Pero a temperaturas superiores a 350°C o 400°C la resistencia y la dureza decrecen notablemente. La deformación plástica ocurre a cualquier tensión que se aplique, pero la velocidad a que se produce aumenta con el incremento de la tensión a una temperatura dada. La resistencia de fluencia o límite de fluencia define los valores de las tensiones correspondientes a las diferentes velocidades de deformación. A temperaturas elevadas la resistencia de fluencia se selecciona de manera que la deformación se produzca a una velocidad baja adecuada, es decir, que la deformación se produzca en un tiempo relativamente grande.

Los aceros refractarios trabajando a elevadas temperaturas se caracterizan porque tienen adecuada resistencia a la tensión, a la abrasión, a la corrosión y a la oxidación.

INFLUENCIA DE LA MICROESTRUCTURA

Como se vio en el Capítulo 3, un acero que tiene una microestructura fina (grano fino) posee mayor resistencia que uno que tiene una microestructura con grano grande. Y ello es de

bido a que los límites de grano (que están en mayor número en la microestructura fina) interfieren con los deslizamientos porque los planos en las dislocaciones no son continuados a lo largo del material. Luego a temperaturas elevadas, los aceros refractarios deben ser capaces de mantener estable una microestructura fina. Esto se consigue empleando elementos de aleación con alto punto de fusión, porque, a mayor temperatura de fusión mayor temperatura de recristalización, la cual ocurre con un crecimiento de grano, lo que suaviza los cristales.

Son elementos típicos que limitan el crecimiento de grano: el Titanio, Vanadio, Aluminio, Niquel. El cromo favorece la resistencia a la corrosión. El Molibdeno y el Wolframio aumentan la resistencia a la oxidación. Forman carburos muy duros que le dan al acero resistencia a la abrasión: El Titanio, Vanadio, Molibdeno, Wolframio, Cromo y el Manganeso.

CUADRO TECNOLÓGICO DE LOS ACEROS REFRACTARIOS

En las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 se presentan las principales propiedades, características y aplicaciones de los aceros refractarios de uso común en México. Asimismo en la tabla 6.4 podemos observar las diferentes nomenclaturas utilizadas para designar un acero refractario, señalándose las equivalencias aproximadas con las normas existentes.

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS REFRACTARIOS Y PARA VALVULAS

CUADRO No. 6.1.

TIPO AISI	PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL RECOCIDO A TEMPERATURA AMBIENTE			
	Resistencia a la tensión 1000 psi	Resistencia a la ceden cia 1000 psi	Alargamiento %	Dureza
309	95	45	45	85 Rb
310	95	45	45	85 Rb
343	90	35	25	235 BH \bar{N}
446	80	50	20	170 BH \bar{N}
*028	95	40	50	85 Rb

Estas propiedades y características son para perfiles - como barras, soleras, etc. La empresa Solar produce además de estas calidades los tipos AISI 312, 327 y 330, pero todas bajo especificación ACI o ASTM para piezas fundidas.

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS REFRACTARIOS

CUADRO No. 6.2.

TIPO AISI	PROPIEDADES MECANICAS A TEMPERATURAS ELEVADAS					Temperatura de oxidación	
	Resistencia a la cedencia en - caliente					Temperatura máxima de- servicio con tfnuo en - aire C.	Temperatura máxima de- servicio inter- mitente en - aire C.
Carga para un alargamiento de 1% en 10,000 hrs. 1000 psi.							
	540	590	650	700	815°C		
309	16.5	12	10	6	3	1065	1010
310	33	23	15	10	3	1120	1040
446	6.4	2.9	1.4	0.6	0.4	1065	1120
302B			7.0	4.5	1.0	955	870

Estas propiedades y características son para perfiles como barras, soleras, etc. También Solar produce además de estas calidades los tipos AISI 312, 327 y 330, pero todas bajo especificación ACI o ASTM para piezas fundidas.

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS REFRACTARIOS

CUADRO No. 6.3.

Tipo AISI	Tratamiento Térmico			
	Temperatura inicial de - forja °C	Temperatura de recocido °C	Temperatura de recocido de alivio de esfuerzos°C	Intervalo de temperaturas de fusión °C
309	1120-1230	1040-1120	-	1400-1455
310	1100-1230	1040-1150	200-400	1400-1455
446	1055-1120	790-870	-	1425-1510
302B	1120-1230	1010-1120	-	1370-1400

Estas propiedades y características son para perfiles como barra, soleras, etc. Solar produce además de éstas calidades los tipos AISI 312, 327 y 330, pero todas bajo especificación ACl o ASTM para piezas fundidas.

TABLA NUM. 6.4. TIPIFICACIONES UTILIZADAS

TIPO AISI	EQUIVALENCIAS NACIONALES				COMPOSICION QUIMICA EN %						
	DGN	SOLAR	ANGLO	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Otros
309	309	MERCURIO VI	C09	0.20	2.00	1.0	0.045	0.03	22/24	12/15	
310	310	MERCURIO X	C10	0.25	2.00	1.5	0.045	0.03	24/26	19/22	
214	446	446		0.20	1.5	1.0	0.04	0.03	23/27		
			D46	0.2	1.5	1.0	0.04	0.03	23/27	0.25 Max.	
343	343			0.5	0.8/1.8				12/15	12/15	4.0W.
302B		302B		0.15	2.0	2/3	0.045	0.03	17/19	8/10	

PROPUESTA DE TIPIFICACION PARA LOS ACEROS REFRACTARIOS

TIPO AISI	TIPO DGNM	
302 B	RIN31910	R = REFRACTARIO
309	RIN32415	IN = INOXIDABLE
310	RIN32622	3 = GRUPO AUSTENITICO -
446	RIN42700	CROMO-NIQUEL
343	RIN31515	19 = 19.00% DE CROMO
		10 = 10.00% NIQUEL

USOS Y APLICACIONES DE ACEROS REFRACTARIOS

RIN31910	Resistente al calor y en atmósfera controlada a base de óxido de carbono o hidrocarburos.
RIN32415 RIN32622	Elementos de hornos, calentadores de aire, láminas y barras refractarias resistentes hasta 1200°C con dureza de 170-220 Brinell.
RIN42700	En general materiales expuestos a elevadas <u>tempe</u> raturas que no contengan gases sulfurosos.
RIN31515	Válvulas de escape de alta tenacidad para máquinas de trabajo pesado así como válvulas de motores de aviación.

NECESIDAD DE LA TIPIFICACION DE ACEROS ESPECIALES PARA MEXICO, DADA SU ACTUAL EVOLUCION TECNICA

CAPITULO 7

- 7.1 Disponibilidad local de los aceros especiales
- 7.2 Estructura
- 7.3 Situación de mercado
- 7.4 Necesidad de tipificación en México
- 7.5 Criterios para seleccionar los tipos de aceros, dada la evolución actual y futura de la industria
 - 7.5.1 Estudio de Mercado
 - 7.5.2 Nuevas tendencias en la fabricación
 - 7.5.3 Sustitución de una aleación de calidad inferior por una de calidad superior
- 7.6 Estadísticas de control de calidad
- 7.7 Organismos indicados para lograr la tipificación

CAPITULO 7. NECESIDAD DE LA TIPIFICACION DE ACEROS ESPECIALES PARA MEXICO DADA SU ACTUAL EVOLUCION TECNICA

7.1 DISPONIBILIDAD LOCAL DE LOS ACEROS ESPECIALES

ANTECEDENTES

Esta importante industria surge prácticamente en el año de 1960 como consecuencia del establecimiento de los programas de integración de la industria automotriz, y las primeras empresas que se establecieron en México, con la más alta especialización, para fabricar aceros especiales, fueron:

- Aceros Anglo, S.A., Aceros Solar, S.A., Campos Hermanos, S.A., Fundidora de Aceros Tepeyac, S.A. y Siderúrgica Nacional, S.A.

El principio no fue fácil, ya que los consumidores -- preferían por su calidad y precio los aceros importados, pero gracias a la tenacidad y entusiasmo de estas empresas, se lograron niveles de calidad aceptables y se conquistó poco a poco la confianza de los clientes, desarrollándose así esta industria, que además, sirvió de base para la actividad de otras que utilizan aceros especiales como: La industria química, la de maquinaria, petroquímica, la industria de forja, de plástico, de cobre, de aluminio y otras, -- que han visto facilitado su trabajo al encontrar en el mercado nacional los aceros que requieren, y que anteriormente era necesario importar.

En la actualidad puede considerarse que la industria -- de los aceros especiales en México, ha alcanzado tal desarrollo -- que se producen alrededor de 250,000 a 300,000 toneladas anuales de mas de 150 calidades diferentes de diversos acabados como: forjado, laminado, rectificado, torneado, estirado, etc., en medidas que van desde 4 mm. hasta 600 mm. de diferentes formas, a saber: Cuadradas, redondas, etc.

7.2 ESTRUCTURA

La industria siderúrgica en nuestro país está integrada en el siguiente orden:

Empresas Integradas. Admiten esta denominación por tener un proceso de producción íntegro, o sea inicia su operación desde la explotación de los yacimientos de materia prima, hasta la obtención del producto terminado.

Empresas Semi-integradas. En este grupo se encuentran aquellas que no emplean como producto base el mineral de fierro y el carbón para la elaboración de su producto, sino que parten de chatarra y aleación para obtener aceros con determinadas propiedades.

Empresas Relaminadoras. Su función estriba únicamente en transformar el lingote o cualquier producto siderúrgico susceptible de utilizarse al producto terminado.

Las empresas integradas en el país son cuatro en total: AHMSA, FUNDIDORA DE MONTERREY, S.A., HYLSA y TAMSA, siendo las dos primeras las únicas que producen aceros especiales en un 35% de la producción nacional.

Las empresas semi-integradas participan con el 65% de la producción nacional, debido a que gran parte de su producción la enfocan hacia los aceros especiales.

Las empresas relaminadoras se dedican al procesamiento del lingote como son los productos laminados, forjados, estirados, etc., por lo tanto no son considerados productores de aceros especiales.

7.3 SITUACION DEL MERCADO

Todos sabemos de la situación actual del mercado mundial que a medida que las necesidades económicas de los países en vía de desarrollo, se incrementa en una forma constante, de esto se deriva como objetivo fundamental de las mismas la in-

ustrialización, requiriendo un mayor volumen de productos siderúrgicos, que son considerados después de los energéticos como puntales del desarrollo industrial de cualquier país y aunado a esto la búsqueda constante de aceros con nuevas propiedades, mismas que se logran con la adición de uno o varios elementos aleados.

En la actualidad las aleaciones con base en el acero, son las principales responsables del progreso y establece el nivel de desarrollo de cada país, por las cantidades y tipos de aceros especiales que consume y del incremento en la demanda de los mismos.

En México la industria de los aceros especiales trabaja a plena capacidad, sin embargo se encuentra con una gran cantidad de pedidos que no puede surtir, aunque la producción está imponiendo nuevos records. Los clientes están pidiendo cada vez más acero; no obstante la situación es difícil, ya que la escasez de algunas calidades y medidas es verdaderamente importante. Esto es motivado por el alto nivel de la actividad socio-económica, así como la variación de los precios nacionales e internacionales; lo que provoca que muchos consumidores busquen aprovisionarse de acero cada vez que se prevee una alza en los precios.

La actividad económica exige nuevas instalaciones o importantes programas de ampliaciones de las ya existentes de tal manera que se pueda satisfacer la gran demanda y además compensar el decremento de las utilidades, en relación con las ventas que se han manifestado a partir de la devaluación de nuestra moneda.

En el momento actual, algunas compañías productoras de aceros especiales, están emprendiendo nuevos programas de expansión en los que ojalá estén considerando utilizar equipo y tecnología más moderna, como lo serían el empleo de procesos de desgasificación bajo vacío con los que se consiguen aceros más limpios, homogéneos y resistentes; en definitiva de mejor calidad.

Los centros de servicios juegan un papel muy importante en la disponibilidad local de aceros especiales, puesto que man

tienen en forma permanente existencias de las diversas calidades y medidas que requieren los usuarios. Son Centros de Servicios y no distribuidores, ya que este término está bastante deformado y devaluado, pues en el mejor de los casos, se interpreta como re-vendedor y puede entenderse aún como encarecedor.

En México los principales centros de servicios de aceros especiales son: Aceromex Atlas, S.A.; ACEROS ASSAB, S. A. DE C.V.; ACEROS FORTUNA, S.A.; MARATHON MEXICANA, S.A.; METALES DE CALIDAD Y SERVICIOS INDUSTRIALES, S.A., que cuentan con sucursales en las principales ciudades de la República Mexicana, como Monterrey, N.L., Guadalajara, Jal., Puebla, Pue., y Querétaro, Qro.

Estas empresas además de mantener stocks importantes de aceros especiales, prestan servicios de gran utilidad como: - Asistencia técnica, equipo de corte, servicio de reparto y en algunos casos cuentan con instalaciones para dar tratamientos térmicos, adecuados de enorme importancia para la vida útil de un acero. No obstante el esfuerzo de los fabricantes y Centros de Servicio, llega un momento en el que por exceso en la demanda no se encuentran en posibilidad de surtir ciertos pedidos, provocando que el consumidor tenga que esperar largos períodos, para obtener el material que les es indispensable para seguir trabajando.

Ante este problema ¿Cuáles son las soluciones que se pueden ofrecer a nuestros consumidores?

Consideramos las tres que a continuación se enuncian:

- 1.- IMPORTACION
- 2.- AUMENTO EN LA PRODUCCION
- 3.- SUSTITUCION DE MATERIALES

1. IMPORTACION

Tratándose de importaciones, encontramos que cuesta trabajo coincidir en las clasificaciones.

Uno de los esfuerzos más positivos que se están realizando con el fin de unificar criterios sobre lo que es un acero especial son los trabajos realizados y plasmados en la euronorma 20-74, sobre definición y clasificación de aceros, la cual está siendo adaptada por la comunidad económica europea, y otros -- países de Europa Occidental entre los cuales se encuentra España con su norma equivalente UNE 36004-75

Si por casualidad caen en nuestras manos catálogos de industrias dedicadas a la fabricación de aceros llamados especiales, tanto mexicanos como de cualquier otro país del continente americano, europeo o asiático, nos encontramos con que para darle cierta validez, nos colocan junto a la denominación propia, las equivalencias correspondientes a tipificaciones de países industrialmente poderosos, es decir: SAE - AISI, DIN, IHA - TNA, Ti pificación francesa BSC, etc.

2. AUMENTO EN LA PRODUCCION

En nuestro concepto, esta es la respuesta ideal para resolver nuestro problema, por las siguientes razones:

- a. El consumidor tendrá una disponibilidad inmediata del producto.
- b. Se incrementará la producción industrial del país
- c. Se crearán nuevos empleos
- d. Habrá un muy importante ahorros de divisas
- e. Al incrementarse las ventas habrá un mayor margen de utilidad para los fabricantes, debido a que la demanda ya existe en es te momento.
- f. En el futuro, dado que la escasez está a nivel mundial, existe la posibilidad de exportar.

3. SUSTITUCION DE MATERIALES

Esta es una medida práctica que se puede realizar de inmediato, ya que cuando no contamos con un acero específico pa ra determinado uso, podemos utilizar algún otro que por sus características físicas y análisis químico y aunado a un tratamiento térmico adecuado, resulte apto para tal fin.

7.4. NECESIDAD DE TIPIFICACION EN MEXICO

De lo antes mencionado se desprende que la disponibilidad local de los aceros especiales es crítica. Por tanto resulta obvia la conveniencia de incrementar la producción nacional que nos permita, por ahora cubrir la demanda insatisfecha y, posteriormente exportar. Sin embargo, tal vez por ahora sea necesaria la importación aunque después se reduzca paulatinamente.

Considerando las características del sector siderúrgico, su desarrollo no puede improvisarse. Existen importantes aspectos que deben estudiarse a fondo y en detalle para formular cualquier programa que impulse el crecimiento de dicho sector; entre los cuales podemos mencionar los siguientes factores u obstáculos:

1. El principal problema dentro de ese contexto son:
 - la inactividad parcial de los bienes de capital
 - la reducción relativa de mano de obra especializada
 - los plazos de entrega o suministros de materia prima, se efectúan con mucha demora que van de 6 meses a un año, y
 - las limitaciones de tipo legal impuestas a las importaciones.
2. Los sistemas de crédito es otro de los factores que en un momento dado desempeñan un papel decisivo en el desarrollo industrial, ya que hay argumentos que no se les ha prestado la debida atención, como son las solicitudes de financiamiento - principalmente a la pequeña y mediana industria, que son las que requieren de este tipo de impulso.

Por otro lado, también se presentan aspectos como - las fuertes inversiones con períodos largos de recuperación que requieren de un sólido apoyo financiero, la disponibilidad de materias primas, políticas fiscales, estructura en que se desarrolla el comercio exterior. Tales características y una justificada necesidad de crecer oportuna y equilibradamente, nos imponen la conveniencia de contar con una coordinación que regule dicho crecimiento.

Dentro de los diferentes aspectos técnicos que deben considerarse para la elaboración de adecuados programas, nosotros señalaremos la necesidad de tipificar los aceros en México, es decir, nuestro trabajo de tesis plantea la necesidad de designar las calidades que tiendan a aumentar la eficiencia en los procesos de producción, y aporte los elementos que puedan servir de base para lograr dicha tipificación nacional.

Un elemento básico para seleccionar los tipos de aceros que deben designarse, lo constituyen las estadísticas reales de consumo y aplicaciones. La elaboración de tales estadísticas requiere de la colaboración y buena voluntad de la industria siderúrgica integrada y la no integrada, además de la intervención de los centros de servicios y usuarios en gran escala (industria de la construcción, industria automotriz, fabricantes de herramientas, de máquinas herramientas, etc.). Los más importantes criterios para seleccionar las calidades idóneas se analizan en el inciso 7.5, como una aportación concreta nuestra.

En nuestro concepto, la tipificación queda enmarcada en una clasificación, es decir, una clasificación implica necesariamente la adopción de una nomenclatura, para designar los aceros especiales. Actualmente como se vio en el capítulo 5, las clasificaciones y tipificaciones en uso en los diferentes países, son establecidas adoptando diferentes criterios y, además no coinciden con las usadas en México. Esto último provoca dificultad para relacionar con claridad las equivalencias entre lo que se tipifica como acero especial en México y lo así designado en el exterior. - - Nuestro trabajo argumenta y propone una clasificación de los aceros especiales basada en sus propiedades y características, como se puede apreciar en el capítulo que antecede, y en el cual tomando como base dicha clasificación se argumenta y propone una tipificación para una selección de aceros.

7.5 CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS TIPOS DE ACEROS DADA LA EVOLUCION ACTUAL Y FUTURA DE LA INDUSTRIA

Los criterios que aquí se señalan tienen el carácter -

de lineamientos que sirvan de base para la elaboración de trabajos más detallados. Respecto de la selección, es importante considerar las experiencias de otros países al abordar el problema de la tipificación, como son España, la India, que demuestran que las características de la materia prima nacional es determinante.

El grado de influencia y los efectos de cada criterio se conocerán al momento de concluir su estudio, sin embargo por su importancia se analiza primero el estudio de mercado.

7.5.1 ESTUDIO DE MERCADO

El flujo actual de información sobre estadísticas es deficiente, y por ello se requiere de la colaboración de fabricantes y usuarios. El objetivo primario es conocer: Capacidad instalada, capacidad de producción, programas de expansión, demanda total, demanda insatisfecha, importaciones, etc. Tales estadísticas deben señalar tipo de aceros y aplicaciones. (En el anexo 1, se puede observar la capacidad instalada, los principales productores y la expansión de algunas principales empresas instaladas en nuestro país).

Es importante que el estudio incida sobre las condiciones en que se realiza el comercio exterior, por ejemplo la clasificación arancelaria, para evaluar los efectos de las políticas de proteccionismo (GATT) que rigen en Estados Unidos de Norteamérica y Europa.

Las perspectivas que se observan en la fabricación de maquinaria y equipos varios, es otro aspecto que debe analizarse, de modo que se evalúe la relación fabricación de bienes de capital/consumo de aceros especiales; por ejemplo, la fabricación de equipo para la industria alimenticia y azucarera reclamará más acero inoxidable, los sistemas de trituración de la industria minera reclamará más acero aleado al alto manganeso, cromo-molibdeno bajo y alto carbono y Ni-HARD, o equivalentes que sean resistentes a la abrasión y al impacto. La fabricación de diferentes tipos de turbinas requerirá los siguientes aceros: Tipo SAE-403, aceros inox

dables y refractarios para álabes de turbina de vapor, palas de - compresor de turbinas de gas y piezas de altas propiedades.

Tipo AISI-309S para dispositivos de diafragmas para rociadores y - turborreactores.

Tipo AISI-321 para motores a chorro y enfriadores para motores - diesel estacionarios.

Tipo AISI-347 para tubos para salida de gases de aviación.

Tipo AISI-410 para piezas muy tensionadas en turbinas de gas, anillos para motores a chorro, álabes de turbinas sometidas bajo corrosión y erosión por líquidos.

El estudio debe cubrir el comportamiento de las materias primas para evaluar su disponibilidad. Como se sabe el uso de hierro esponja en fabricación de aceros permite obtener aceros mas limpios que si se utilizara chatarra, debido a la dificultad de eliminar algunas impurezas que contiene esta última. También es útil conocer la disponibilidad de elementos de aleación como cromo, níquel, molibdeno, vanadio, wolframio, etc.

7.5.2 NUEVAS TENDENCIAS EN LA FABRICACION

La escasez de energéticos y los problemas de abastecimiento de materias primas, empiezan a ejercer una influencia - considerable, no solo en la economía sino también en la tecnología de los países altamente industrializados.

¿Cuáles serán esos impactos en el caso de los aceros especiales, estando tan ligados al desarrollo industrial de todos los países?

Aquí se analizan los cambios que empiezan a producirse y las tendencias a futuro. Los datos que se presentan corresponden a Estados Unidos de Norteamérica y Europa, sin embargo, deben reflejarse en gran medida en el caso de México, ya que los

diseños de equipos, máquinas y tecnología provienen de dichos países.

A. EL USO DE ACEROS DE BAJA ALEACION Y ALTA RESISTENCIA EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, COMO MEDIO DE LOGRAR AHORRO EN EL PESO DE LA MAQUINARIA Y -- ENERGETICOS.

Los requerimientos oficiales para que los vehículos tuvieran una mayor resistencia al impacto y un control más eficiente en la emisión de gases provocaron un aumento en el peso y -- una baja de alrededor del 15% en la eficiencia de la máquina; -- por otra parte se exigió un rendimiento mínimo de 20 mpg.9.5 Km/Lt.

La sustitución de materiales para reducir el peso fue una decisión correcta. Los ingenieros de Chrysler corp. han encontrado que los aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA) pueden usarse adecuadamente reduciendo costos. Los nuevos subcompactos de Chrysler han incorporado alrededor de 60 kgs de aceros de alta resistencia con ahorros en el peso del 15 al 30%.

La Cía. Youngstown Sheet & Tube Co. tiene varios tipos de aceros, con límites de fluencia desde 50,000 a 140,000 psi. Además está buscando una mejor formabilidad con un acero de fase doble (fase-duo, ferrita y martensita) actualmente en investigación. Este acero es deformable en el estado en que se recibe y al hacerlo se endurece y se envejece posteriormente a un límite de fluencia arriba de 80,000 psi.

Los aceros para cementación aleados con molibdeno han probado ser metalúrgicamente adecuados y más económicos que los aceros de la serie AISI 4800 en aplicaciones que requieren alta templabilidad y superior tenacidad.

Otro acero de baja aleación sin níquel, el EX 15 debe evaluarse como sustituto para el acero AISI 8620. Los factores económicos requieren una mayor consideración, menciona Teledyne Portland Forge - el diferencial de costo actual, que favorece al --

EX 15, representa un ahorro de \$ 1,900.00 dólares en cada - -
100,000 lbs de acero procesado. Además el EX 15 tiene mejor -
maquinabilidad y templabilidad.

B. TENDENCIAS ORIGINADAS POR LA CRISIS DE ENERGETICOS. MODIFICACIONES EN LA COMPOSICION QUIMICA Y EN LOS TRATAMIENTOS TERMO-MECANICOS

Una tendencia en Europa es utilizar tratamientos de -
deformación en frío y en caliente para ahorrar en peso de equipos,
y por consiguiente de energéticos. Por ejemplo los cucharones pa-
ra excavadoras mecánicas se están fabricando con aceros de baja -
aleación y alta resistencia. En este caso se usa placa deformada
en frío con alta resistencia a la fricción, con lo cual los equipos
llegan a tener más capacidad de carga. Mientras en Estados Uni-
dos la mayoría de los cigueñales se hacen fundidos, en Europa se
fabrican forjados, lo que permite lograr un buen ahorro en peso.

Recientes investigaciones han dado a luz que las adi-
ciones de tierras raras inhiben la fragilidad en el acero 4340 a -
una resistencia a la tensión de 250,000 psi. El 4340 standard -
fragilizado falló en 17 horas; las probetas de 4340 tratado con -
0.28 de cerio o lantano duraron 167 horas y estaban libres de fra-
gilidad cuando se suspendió la prueba.

Las investigaciones efectuadas en Bell Helicopter es-
tán buscando lograr un mejor acero para engranes. El objetivo es
desarrollar un grado de cementación que se temple al aire y que -
pueda revenirse entre 200 y 260°C. Otras especificaciones inclu-
yen alta dureza (60 Rc en la superficie y 40Rc en el núcleo), sol-
dabilidad por haz de electrones, buena tenacidad y resistencia a -
la fatiga.

En Europa se ha observado una marcada tendencia a -
utilizar hornos al vacío, ya que el ahorro de energía que se logra
es considerable.

C. MODIFICACIONES TENDIENTES A AHORRAR MATERIALES ESTRATEGICOS

En lo concerniente a aceros inoxidable el ahorro de cromo está obteniendo mayor prioridad ya que la situación en Rhodesia tiende a empeorar. Jessop Steel propone 2 modificaciones a los tipos standard - es una modificación del tipo 304; el otro un tipo 302 modificado. El tipo 304 modificado conserva el cromo - porque tiene mayor resistencia (40,000 psi de límite de fluencia y 85,000 psi de resistencia a la tensión) de manera que se pueden utilizar calibres más delgados. El tipo 302 contiene menos cromo (17 a 18% contra 18 a 20%) que el tipo standard 304. En el tipo modificado el carbono se mantiene a 0.08% máximo (contra 0.15% en la aleación standard) para controlar la corrosión y los demás elementos se ajustan para asegurar una formabilidad igual a la del tipo 304.

Westinghouse Electric piensa que los aceros inoxidables al cromo, especialmente los ferríticos, encontrarán uso en tuberías de reactores. Las ventajas son libertad de corrosión atmosférica y de corrosión por cloruros, mayores esfuerzos permisibles - que la aleación cuproniquel 90-10, y un bajo coeficiente de endurecimiento por trabajo en frío.

Una necesidad urgente, es la de aceros resistentes - que puedan soportar los ambientes encontrados en las aplicaciones de perforación de pozos petroleros y de gas natural profundos. Deben desarrollarse materiales que pueda usarse a niveles más altos de resistencia mecánica y que no sean susceptibles a la corrosión por esfuerzos en ambientes que contengan ácido sulfhídrico, agua salada y bióxido de carbono a temperaturas elevadas. La Cía. - Climax Molybdenum Co., informa que las modificaciones con más alto contenido de molibdeno de los grados standard AISI para tubería se están comportando satisfactoriamente en tubería de perforación y tubería de revestimiento para pozos petroleros.

Para el caso de Tubería de Conducción, la compañía Climax Molybdenum Co. establece que una gran parte de los 3220

kms de largo y 48 pulgadas de diámetro exterior de la tubería de conducción será fabricado con acero al molibdeno - columbio. Este y otros aceros menos aleados desarrollados para aplicaciones de tubería de conducción en ambientes árticos están también encontrando uso en aplicaciones de maquinaria industrial. La razón, indica un ingeniero de materiales, su mejor resistencia mecánica y mejores propiedades a bajas temperaturas que los aceros al carbono y a costos considerablemente menores que los aceros aleados al níquel.

Carpenter Technology Corp. ha desarrollado las aleaciones 53 y 14, que son aceros de cementación que se dice tienen una resistencia al revenido significativamente mayor que la de las aleaciones convencionales AISI 9310 y AISI 3310. Su mayor dureza superficial e interior debe mejorar la resistencia mecánica y la vida de engranes utilizados en aeronáutica y componentes similares. La aleación 53 combina resistencia al revenido con alta dureza al rojo en la superficie, alta resistencia al impacto en el núcleo y tenacidad. Se prefiere el temple al aceite, aunque el acero es técnicamente templable al aire. La aleación 14, de temple al aire, es particularmente útil para partes susceptibles de sufrir distorsión o agrietamiento durante el tratamiento térmico y para partes expuestas en servicio ya sea a temperaturas elevadas o a temperaturas bajo cero.

Aceros para Herramienta: La creciente utilización de chatarra de aceros alta velocidad en los procesos de aceración de estos aceros ha incrementado los niveles de los elementos residuales cobalto, níquel y cobre en los productos terminados. Están siendo estudiados los efectos de estos elementos en las propiedades. Sin embargo, menciona Universal Cyclops, se cree que los niveles actuales no son perjudiciales para su comportamiento y de acuerdo a esto, se han incrementado los niveles en las especificaciones.

Otro pronóstico sobre aceros alta velocidad de Climax Molybdenum, indica una tendencia a substituir los tipos con más alto molibdeno como el M-7, M-2 y otros grados por tungsteno. El cambio está siendo incitado por los diferenciales de precio cada

vez menores entre los aceros alta velocidad al tungsteno y al molibdeno.

D. NUEVOS RUMBOS EN LOS ACEROS INOXIDABLES

En respuesta a una preocupación creciente sobre los abastecimientos de cromo, los laboratorios están investigando el sistema de aleaciones hierro-aluminio como fuente de aceros inoxidables libres de cromo y aleaciones resistentes al calor. Nevada Engineering and Technology Corp. dice que las aleaciones Fe-Al-Mn tienen potencial para reemplazar a los aceros inoxidables austeníticos al hierro cromo-níquel y existen fundadas esperanzas de que el sistema de aleaciones hierro aluminio proporcione aleaciones útiles comercialmente. Hasta que ese momento llegue habrá que continuar apoyándose en las aleaciones Fe-Cr y Fe-Cr-Ni.

Por otra parte, los aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación (17-4PH 15-5PH, etc.), continuarán ganando terreno en aplicaciones no aeronáuticas debido a su dureza y resistencia mecánica, excepcionalmente altas y su excelente resistencia a la corrosión.

Cabe mencionar también en lo referente a aceros -- inoxidables, el uso cada vez mayor de los tipos estabilizados con columbio o con titanio. Por ejemplo, la aleación HK-40 (una aleación fundada resistente a altas temperaturas) ha sufrido fallas en las juntas de conexión de tubos de reformador de etileno, causadas por fatiga térmica debida a precipitación de carburos. La adición de 1.5% de columbio eliminó este problema. Lo mismo se puede mencionar en el caso de otros aceros inoxidables como 330, HT, HU, etc.

En el campo de los reactores nucleares mucha investigación está centrada en el sistema de almacenamiento del líquido enfriador, un factor de costo significativo. La mayoría de los sistemas para sodio se construye con los tipos inoxidables 304 y 316, aunque algunos generadores de vapor llevan tubos del acero ferrítico 2 1/4 Cr - 1 Mo para evitar la corrosión por esfuerzos -

inducida por los halógenos. Sería altamente deseable usar un acero ferrítico para todo el sistema de presión: Se reduciría el potencial para el agrietamiento por corrosión y esfuerzos, se generarían más bajos esfuerzos térmicos.

Son candidatos para estas aplicaciones los aceros ferríticos 9 Cr - 1 Mo y el Super - 12 Cr; sin embargo, de acuerdo al laboratorio nacional de Oak Ridge, los grados existentes no son adecuados para construcciones soldadas. Una solución al problema de la soldabilidad puede encontrarse en los resultados de un programa conjunto de los laboratorios de Oak Ridge y Combustion Engineering de los aceros 9 Cr - 1 Mo: "Agregando cantidades controladas de ciertos formadores de carburos, tales como tungsteno, titanio y columbio y controlando los contenidos de otros elementos como el níquel, resulta un acero susceptible de trabajarse en frío con buena tenacidad y soldabilidad. Su resistencia a la fluencia en caliente a 600°C se aproxima a la del tipo 316 y sobrepasa ampliamente la del acero convencional 9 Cr - 1 Mo".

7.5.3 SUSTITUCION DE UNA ALEACION DE CALIDAD INFERIOR POR UNA DE CALIDAD SUPERIOR

Ya desde 1957, en reunión de la NU/CEPAL, efectuada en nuestro país, The Niemeyer analizaba también el aspecto de la tipificación para reducir el número de tipos de aceros, invocando que algunos fabricantes, por sí solos producen más de 1000 tipos. Decía que hay un solo medio para mantener un número reducido de tipos de aceros sin inconvenientes técnicos para el consumidor, que es sustituir las series de calidad inferior por un tipo de acero de calidad superior para el mismo uso. Esta solución a juicio de él, extremadamente simple, debe tenerse en cuenta; la propia experiencia demuestra resultados positivos. Tal método supone mayores costos de producción para el fabricante, pero tendría la ventaja del programa reducido, que significaría un mayor rendimiento.

Respecto a la sustitución de aleaciones, es conveniente investigar sobre las especificaciones (composición química, pro-

iedades mecánicas, etc.) de aceros cuyos alcances, en cuanto a uso, sean similares, para determinar el grado de calidad. En este sentido, la Compañía Homelite Div. de Textron, está reemplazando los aceros de baja aleación por aceros al carbono de más bajo costo, en aquellos casos en que los aceros de baja aleación habían sido sobre especificados. La compañía Teledyne Portland Forge, está utilizando el acero 1524 en lugar del 8620 porque cuesta 11 centavos de dólar menos por kilo; el 1541 cuesta 6.6 centavos menos por kilo que el 4140 y 11 centavos que el 8620.

7.6 ESTADÍSTICAS DE CONTROL DE CALIDAD

Se mencionó anteriormente sobre la conveniencia de investigar sobre las especificaciones; en este sentido nosotros proponemos la elaboración de estadísticas en base a datos recopilados de los controles de calidad, estos son:

- a). Análisis químico
- b). Tamaño de grano austenítico
- c). Templabilidad.
- d). Inclusiones no metálicas
- e). Dureza
- f). Resistencia
- g). Fluencia
- h). Alargamiento
- i). Impacto (resiliencia)
- j). Forja (compresión)
- k). Macroataque
- l). Microestructura
- m). Pruebas no destructivas; ultrasónicas, electromagnéticas, rayos X, Rayos Gamma, etc.
- n). Control dimensional, etc.

Con el fin de llevar el debido control de lo arriba señalado, diariamente, por parte de los fabricantes, se proponen, las formas que aparecen en las figuras al final de este capítulo.

La selección de los tipos de aceros mediante los cri-

terios arriba expuestos, no puede prescindir de una revisión de las normas ya establecidas. Es decir, cualquier alteración en las especificaciones, tipificaciones y aún en las clasificaciones debe -- quedar contenida en las normas.

En el anexo número 1, se puede observar la capacidad instalada, los principales productos y la expansión de algunas principales empresas de aceros especiales instaladas en nuestro país.

7.7 ORGANISMOS INDICADOS PARA LOGRAR LA TIPIFICACION

Resulta conveniente la constitución de Comisiones integradas por Instituciones Técnicas, Gubernamentales, asociaciones -- de consumidores y fabricantes, que se avoque a la solución del -- complejo problema de la tipificación.

La siguiente lista es una relación de organismos propues -- tos para integrar dichas comisiones.

- A). Instituciones Técnicas: Instituto del Hierro y del Acero. Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria -- Siderúrgica. Instituto Nacional de Investigaciones Siderúrgicas.
- B). Instituciones Gubernamentales: Dirección General de Normas Industriales. Comisión Coordinadora de la Industria Siderúrgica.
- C). Asociaciones de Consumidores: Asociación Mexicana de la Industria Automotriz. Asociación Nacional de Fabricantes de -- Productos Automotrices.
- D). Asociaciones de Fabricantes: Cámara del Hierro y del Acero; Aceros Anglo, S.A.; Aceros Ecatepec, S.A.; Aceros Solar; S.A.; Campos Hermanos, S.A.; Fundiciones del Hierro y del Acero, S.A.; Fundidora de Aceros Tepeyac, S.A.; Productos Gavaldón, S.A.; Siderúrgica Nacional, S.A.; Siderúrgica -

Mexicana, S.A.; Aceros Corsa, S.A.; Cía. Siderúrgica de
Guadalajara, S.A.

E). Empresas descentralizadas: Siderúrgica Mexicana. SIDERMEX.

Anexo Núm. 1

EMPRESA: CIA. SIDERURGICA DE GUADALAJARA, S.A.

CAPACIDAD INSTALADA: 2 hornos eléctricos de 25 toneladas, - de colada continua, para billets de 5 1/2 x 5 1/2" y 4 1/2 x 4 1/2"

PRINCIPALES PRODUCTOS: Varilla corrugada, perfiles estructurales de canal y vigeta. Pueden fabricar Billets de 4 1/2 x 4 1/2" en acero 1015 y 1018 controlado.

EMPRESA: ACEROS ANGLO, S.A.

CAPACIDAD INSTALADA: 1 horno eléctrico de inducción, molino de laminación en caliente de 10" y 14" y banco de estiraje.

PRINCIPALES PRODUCTOS: Barras estiradas en frío de alta aleación para herramientas.

EMPRESA: SIDERURGICA NACIONAL, S.A.

CAPACIDAD INSTALADA: 2 hornos eléctricos de 3 y 6 tons. Molinos de laminación en caliente de 10" , 14" y 18".

PRINCIPALES PRODUCTOS: Barras redondas, exagonales, cuadradas y rectangulares. Herramientas, laminadas en caliente, forjado o acabado en frío. Idem. para maquinaria en material 4140 y 8620.

EMPRESA: CAMPOS HERMANOS, S.A.

CAPACIDAD INSTALADA: 3 hornos eléctricos de 18, 35 y 40 Tons. 2 laminadoras de 610 mm y 686 mm de diámetro para palanquilla y 1 laminador de 356 mm para barras exagonales.

PRINCIPALES PRODUCTOS: Tochos, palanquillas, lingotes, forjas, barras laminadas en caliente, estiradas en frío, forjadas, torneadas, rectificadas, perfiles comerciales, soleras y gruas viajeras de 1 a 750 toneladas y billets en 1018, 1045, 4140, 8620, etc.

EMPRESA: ACEROS SOLAR, S.A.

CAPACIDAD INSTALADA: 2 hornos eléctricos de 4.5 y 6 Tons.
3 hornos de inducción de alta frecuencia de 1 tonelada, 9000 Tons. para barras y 3000 Tons. para piezas fundidas al año.

PRINCIPALES PRODUCTOS: Barras redondas, cuadradas, rectangulares, alambón y acero para herramientas.

EMPRESA: ACEROS ECATEPEC, S.A.

CAPACIDAD INSTALADA: 3 hornos eléctricos de 15 Tons. cada uno 2 máquinas de colada continua.

PRINCIPALES PRODUCTOS: Lingotes, palanquillas, barras macizas de acero especial, barras para concreto, perfiles comerciales y estructurales, torres galvanizadas para líneas de transmisión.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Higgins, Raymond A
Ingeniería Metalúrgica. Metalúrgica Física Aplicada
Tomo I
Compañía Editorial Continental, S.A.
México 1977
- 2 Nacher Todo, Vicente
Conferencia "Clasificación de los Aceros Especiales
por sus características y Propiedades".
Instituto Mexicano del Hierro y del Acero, A.C.
México. 1979
- 3 Moffat, William G, Pearsall, George W. y Wulff, John
Ciencia de los Materiales. Estructura
Tomo I
Editorial Limusa. Wiley, S.A.
México. 1968
- 4 C. W. Wegst
STAHLSCHLUSSEL
Herausgabe und Vertrieb Verlag Stahlschlüssel
Wegst KG.
II Vollständig New Bearbeitete und Erweiterte
Auflage 1977. Alemania
- 5 Diccionario Enciclopédico Ilustrado
Plaza y Janes
Barcelona España, Plaza y Janes
1967. 6 Volúmenes
V. 4
- 6 Apraiz Barreiro, José
Tratamiento Térmico de los Aceros
Editorial Dossat. 7a. Edición.
Madrid. 1971

- 7 Lasheras, Esteban José María
Tecnología de los Materiales
Ediciones Cedel. 3a. Edición.
Barcelona, España 1965.
- 8 Castells Ruiz, Juan
Metalografía del Acero
Ediciones Elizalde, S.A.
Barcelona España
- 9 Latapi Sarre, Juan
"Compendio de Términos Siderúrgicos Básicos"
Altos Hornos de México, S.A.
México. 1975
- 10 Timoshenko, S
Resistencia de Materiales
Editorial Espasa-Calpe, S.A.
Madrid. 1970
- 11 Begeman, Myron I y Amstead, B.H.
Procesos de Fabricación
Compañía Editorial Continental, S.A.
México. 1975
- 12 Vlack, Van
Materiales para Ingeniería
Editorial Addison Wesley
- 13 Shanley, F.R.
Mecánica de Materiales
Editorial Mc Graw Hill

1951
1952
1953

1954
1955
1956

1957
1958
1959

1960
1961
1962

1963
1964
1965

1966
1967
1968

1969
1970
1971