

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ACEROS Y SUS APLICACIONES

POR

ING. JOSE LUIS MALDONADO FLORES

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

CD. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 1996

TM

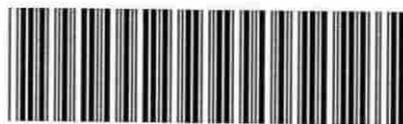
Z5853

.M2

FIME

1996

M3



1020118272



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

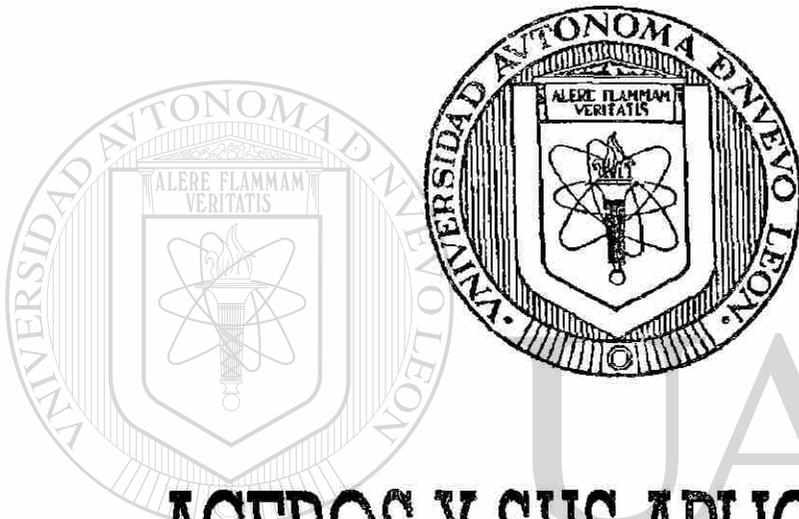


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ACEROS Y SUS APLICACIONES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

POR

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Ing. José Luis Maldonado Flores

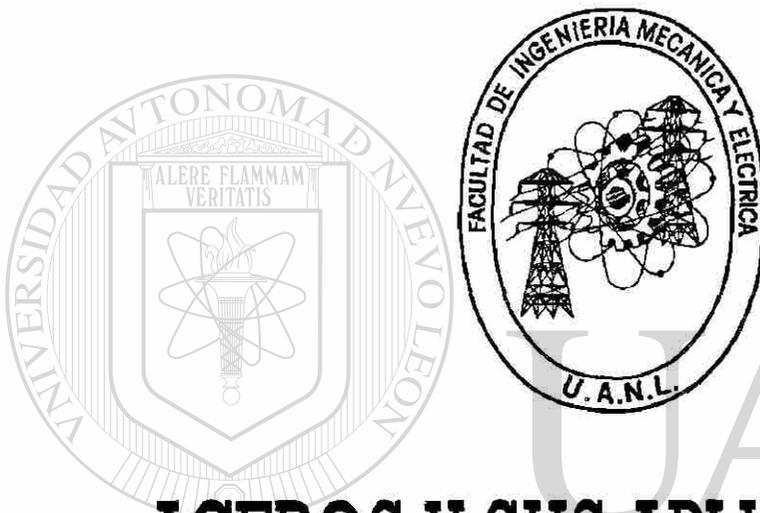
TESIS

*En Opción al Grado de Maestro en Ciencias de la
Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales*

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



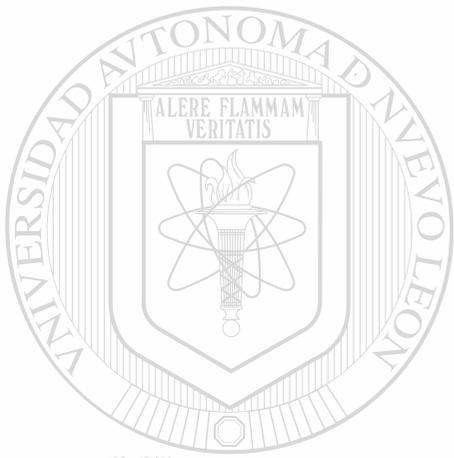
ACEROS Y SUS APLICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL **POR** DE BIBLIOTECAS

Ing. José Luis Maldonado Flores

TESIS

*En Opción al Grado de Maestro en Ciencias de la
Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales*

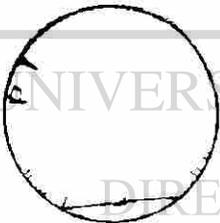


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



S

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis ACEROS Y SUS APLICACIONES realizada por el ING. JOSE LUIS MALDONADO FLORES sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la INGENIERIA MECANICA con especialidad en MATERIALES.

El comité de Tesis



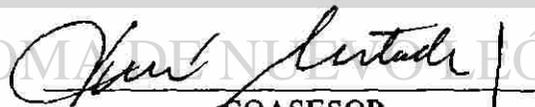
ASESOR

M.C. RODOLFO AYALA ESTRADA



COASESOR

M.C. HERIBERTO RUIZ CABALLERO



COASESOR

M.C. JOSE ESTRADA RODRIGUEZ



Vo. Bo.

M.C. ROBERTO VILLARREAL GARZA
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas aquellas personas que de una u otra manera estuvieron compartiendo conmigo la elaboración de esta Tesis ya que sin su ayuda no hubiera sido posible la elaboración de la misma, en especial a los Becarios y Servicio Social de Secretaría Académica.



Al ING. JESUS MORENO LOPEZ

Por compartir sus conocimientos y no tener reservas para brindar lo que era necesario para terminar esta Tesis.

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

a mi Asesor

M.C. Rodolfo Ayala Estrada

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

a mis Coasesores

M.C. Heriberto Ruíz Caballero

M.C. José Estrada Rodríguez

PROLOGO

En este trabajo se presentan las clasificaciones principales de los aceros al carbono, aceros para herramienta y aceros inoxidables, bajo las normas AISI, así como algunas de sus aplicaciones prácticas.

Para ello se considera las características de los aceros en función de su composición química, así como recomendaciones de tratamiento térmico, microestructuras representativas y diagramas de transformación lo que permite seleccionar el material más apropiado.

El medio que es el que determina el acero a utilizar, es considerado tomando los parámetros de temperaturas y carga. Para lo cual se plantea un problema práctico.

Por último se discute como la mala selección de un material, nos puede llevar a fallas catastróficas y nos invita a ser profesionales en el desempeño de nuestro trabajo.

SINTESIS

La información contenida en esta tesis está estructurada en cinco secciones, las cuales parten de la base general que conforma a un acero, características, propiedades y composición química para la selección adecuada de los mismos.

La primera parte hace referencia a la estructura y cambios alotrópico del hierro puro, diagrama de Fases Hierro - Carburo de Hierro, microestructuras, solubilidad, transformación de fase y tratamiento térmico.

La segunda parte muestra lo referente a los tipos de aceros al carbón en cuanto a las normas de designación y composición química, así mismo, se hace referencia a los aceros aleados, su composición química, dureza efecto del carbón y elementos de aleación, métodos para evaluar la dureza y ejemplo.

La tercer parte muestra la clasificación, designación, ejemplos y recomendación sobre tratamiento térmico en aceros para herramientas.

La cuarta sección trata lo referente a los aceros inoxidable su clasificación similitud y diferencias entre los diferentes tipos, ejemplos, microestructuras así como algunas recomendaciones para tratamiento térmicos.

En la última sección se muestra un caso práctico donde ocurre una falla por la mala selección del material.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INDICE

INTRODUCCION :

QUE ES EL ACERO

CAPITULO I:

- 1.1 ESTRUCTURA DEL ACERO
- 1.2 CAMBIOS ALOTROPICOS DEL HIERRO PURO
- 1.3 DIAGRAMA DE FASE HIERRO-CARBURO DE HIERRO
 - 1.3.1 SOLUBILIDAD DEL CARBONO EN EL HIERRO
 - 1.3.2 AUSTENITA
 - 1.3.3 CEMENTITA
- 1.4 TRANSFORMACION DE LA AUSTENITA
 - 1.4.1 ACERO EUTECTOIDE
 - 1.4.2 ACEROS HIPOEUTECTOIDES
 - 1.4.3 ACEROS HIPEREUTECTOIDES
 - 1.4.4 HISTERESIS
 - 1.4.5 HOMOGENIZACION DE LA AUSTENITA
 - 1.4.6 EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION
 - 1.4.7 TEMPERATURAS DE TRANSFORMACION
 - 1.4.8 CONTENIDO DE CARBON
 - 1.4.9 TRANSFORMACION ISOTERMICA DE AUSTENITA
 - 1.4.10 BAINITA
 - 1.4.11 MARTENSITA
 - 1.4.12 PROPIEDADES DE LOS PRODUCTOS DE TRANSFORMACION
 - 1.4.13 HABILIDAD DE ENDURECERSE
- 1.5 TRATAMIENTOS TERMICOS
 - 1.5.1 REVENIDO
 - 1.5.2 RECOCIDO
 - 1.5.3 PROCESO DE RECOCIDO
 - 1.5.4 RECOCIDO COMPLETO
 - 1.5.5 NORMALIZADO
 - 1.5.6 LIBERACION DE ESFUERZOS

CAPITULO II:

- 2.1 SISTEMAS DE DESIGNACION
 - 2.1.1 GRADO AISI-SAE
 - 2.1.2 SISTEMA UNIFICADO DE NUMERACION
 - 2.1.3 ACEROS AL CARBON ESTANDAR RESULFURIZADOS
 - 2.1.4 ACEROS AL CARBON ESTANDAR REFORZADOS Y RESULFURIZADOS
- 2.2 ACEROS ALEADOS
 - 2.2.1 COMPOSICIONES DE LOS ACEROS ALEADOS ESTANDAR
 - 2.2.2 COMPOSICIONES DE ACEROS AL BORO ESTANDAR
- 2.3 DUREZA
 - 2.3.1 EFECTO DEL CARBON
 - 2.3.2 EFECTO DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION
 - 2.3.3 METODOS PARA EVALUAR LA DUREZA
 - 2.3.4 VARIACIONES EN DUREZA
 - 2.3.5 ACEROS H
 - 2.3.6 LIMITES DE COMPOSICION QUIMICA

CAPITULO III:

- 3.1 CLASIFICACION DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS
- 3.2 SISTEMA DEL INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO
 - 3.2.1 ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDAS EN AGUA
 - 3.2.2 ACEROS PARA HERRAMIENTAS RESISTENTES AL IMPACTO
 - 3.2.3 ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDOS EN ACEITE DE TRABAJO EN FRIO
 - 3.2.4 ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDAS EN AIRE DE TRABAJO EN FRIO DE ALEACION MEDIA
 - 3.2.5 ACEROS PARA HERRAMIENTAS DE ALTO CONTENIDO DE CARBON, ALTO CONTENIDO DE CROMO DE TRABAJO EN FRIO
 - 3.2.6 ACEROS PARA HERRAMIENTAS DE BAJA ALEACION DE OBJETIVOS ESPECIALES
 - 3.2.7 ACEROS PARA FORMADO
 - 3.2.8 ACEROS PARA TRABAJO EN CALIENTE
 - 3.2.9 ACEROS DE ALTA VELOCIDAD

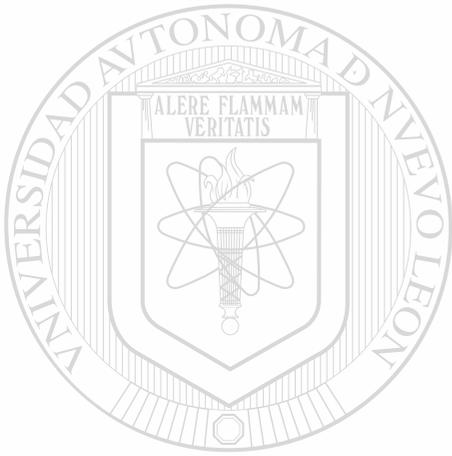
- 3.2.10 ACEROS PARA HERRAMIENTA ENDURECIDOS EN AGUA (SERIE W)
- 3.3 ACEROS PARA HERRAMIENTA RESISTENTES AL IMPACTO (SERIE S)
- 3.4 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRIO ENDURECIDOS EN ACEITE (SERIE O)
- 3.5 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRIO ENDURECIDO AL AIRE, ALEACIONES MEDIAS (SERIE A)
- 3.6 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRIO DE ALTO CROMO, ALTO CARBON (SERIE D)
- 3.7 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE BAJA ALEACION PARA PROPOSITOS ESPECIALES (SERIE L)
- 3.8 ACERO PARA FORMADO (SERIE P)
- 3.9 ACEROS HERRAMIENTA DE TRABAJO EN CALIENTE (SERIE H)

CAPITULO IV:

- 4.1 CLASIFICACION DE ACEROS INOXIDABLES FORJADOS Y VACIADOS
- 4.2 CLASIFICACION ESTANDAR DE FORJADO
 - 4.2.1 CLASIFICACION AUSTENITICA
 - 4.2.2 CLASIFICACION FERRITICA
 - 4.2.3 CLASIFICACION MARTENSITICA
 - 4.2.4 ENDURECIDOS POR PRECIPITACION
- 4.3 ACEROS INOXIDABLES VACIADOS
- 4.4 SIMILITUD Y DIFERENCIAS A TRAVES DE LAS CLASIFICACIONES
- 4.5 HORNO, CONTROLES DE TEMPERATURAS Y ATMOSFERAS PARA TRATAMIENTOS TERMICOS
 - 4.5.1 HORNO
 - 4.5.2 CONTROL DE TEMPERATURAS
 - 4.5.3 ATMOSFERAS PREPARADAS
- 4.6 ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS
 - 4.6.1 TRATAMIENTO TERMICO RECOMENDADO
 - 4.6.2 RECOCIDO DE LAS CLASIFICACIONES INESTABLES
 - 4.6.3 RECOCIDO DE LAS CLASIFICACIONES ESTABLES
 - 4.6.4 RECOCIDO DE GRADOS DE EXTRABAJO CARBON

- 4.6.5 LIBERACION DE ESFUERZOS DE LOS GRADOS AUSTENITICOS
- 4.6.6 NITRURADO DE LOS GRADOS AUSTENITICOS
- 4.6.7 GRADOS AUSTENITICOS FORJADOS
- 4.7 ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS
- 4.8 ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS
- 4.9 ACEROS INOXIDABLES ENDURECIDOS POR PRECIPITACION

CAPITULO V: CASO: SELECCION INADECUADA DE MATERIAL EN LA FABRICACION DE UN SOBRECALENTADOR.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INTRODUCCION

El acero es de los más importantes materiales de Ingeniería y construcción, esto se debe a que aproximadamente el 80% de todos los metales producidos corresponden al acero. El acero obtienen este grado de importancia debido a su combinación de resistencia, facilidad de fabricación y un amplio rango de propiedades con bajo costo.

Algunos aceros son relativamente blandos y dúctiles y pueden ser rápidamente formados dentro de varias formas como son cuerpos de automóviles, otros pueden ser endurecidos suficientemente para servir como aceros para herramientas de corte. Otros pueden ser hechos para poseer resistencia y tenacidad para uso en ejes de automóviles, envases ó recipientes contenedores. Un ejemplo prosaico es la hoja de rasurar que se encuentra extremadamente dura.

De estos ejemplos aparentemente la palabra acero es un término todo inclusivo que tiene muchas subclasificaciones; de hecho, hay varios miles de aceros distintos, juzgando con base en las variadas composiciones que se producen comercialmente.

¿Qué es un Acero?

Fundamentalmente todos los aceros son principalmente, o más apropiadamente, aleaciones de hierro y carbono. Los aceros llamados al simple carbono son aquellos que generalmente tienen aparte del carbono cantidades o porcentajes pequeños de Mn, Si, S, P. Un ejemplo es el acero 1045 que tiene un 0.45% de carbono, 0.75% de manganeso, 0.40% de fósforo, 0.50% de azufre, y 0.22% de silicio.

Los aceros aleados son aquellos que contienen cantidades o porcentajes específicos de otros elementos en una composición química los elementos más comúnmente aleados con estos aceros son el níquel, cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno. El Mn se encuentra también en esta categoría si se especifica dentro de un porcentaje mayor al 1%.

Uno o más de estos elementos de aleación pueden ser requeridos para proporcionar en los aceros características especiales o propiedades para aplicaciones de Ingeniería.

Por otra parte el carbono es el principal ingrediente en los aceros, la cantidad de carbono presente en los aceros de simple carbono tiene un efecto pronunciado sobre las propiedades de un acero y en la selección del tratamiento térmico aplicable para ciertas propiedades deseadas debido a la importancia del contenido de carbono, un método para clasificar el acero al simple carbono se encuentra en base al contenido del mismo.

Cuando sólo una pequeña cantidad de carbono está en un acero en particular este es llamado un **acero al bajo carbono**.

Un **acero al bajo carbono** generalmente contiene cantidades menores a 0.30% de C en peso. Cuando un acero contiene 0.30 a 0.60% C el acero es clasificado en un **acero al medio carbono**. Los aceros que contienen arriba de 0.60% de carbono se clasifican en aceros de alto carbono y aquellos que contienen arriba de .77% de carbono pueden ser llamados aceros de herramientas.

Raramente el contenido de carbono se encuentra en el rango de 1.3 al 2%. El límite superior de carbono en los aceros es del 2%, cuando más de este contenido de carbono esta presente la aleación Hierro-Carbono es considerada **hierro colado**. El contenido de carbono del hierro colado se encuentra en el rango de 2.3 al 4% de carbono.

Resumiendo el acero es una aleación de hierro carbono donde el contenido de carbono generalmente se encuentra en el rango de 0.05 hasta el 1% y ocasionalmente se encuentra en el rango de 1 a 2%.

Los aceros al simple carbono consisten sólo de hierro, excepto por 0.40% tanto de P como de S, algunas décimas de por ciento de Mn y Si. Una décima de por ciento de algunos elementos presentes no especificados en aceros al carbono como el Cr, Ni, ó Mo son conocidos como elementos residuales. El por ciento de dichos elementos no especificados viene a ser significativo para seleccionar el tratamiento térmico en ciertas aplicaciones. Si estos exceden ciertos niveles establecidos entonces un acero de mediana aleación es considerado más que un acero al simple carbón.

CAPITULO I

CONSTITUCION DEL ACERO

1.1 ESTRUCTURA DEL ACERO

La superficie de una pieza de un acero dado no indica que tenga ó presente esta estructura interna, pero si la pieza del metal es rota, la fractura mostrará una apariencia granular, los granos son generalmente tan pequeños que es necesario la amplificación para mostrar su presencia.

En principio para examinar un espécimen ó muestra de una pieza de metal bajo un microscopio adecuado, esta deberá ser primeramente preparada por desbaste en una superficie plana y después pulida con abrasivos finos obteniendo una superficie de acabado espejo, libre de ralladuras; la delgada película de metal será atacada, debido a la acción de pulido por el ataque de la superficie pulida con un agente químico revelador (por ejemplo, una solución al 5% de ácido nítrico en alcohol conocida como Nital, es comúnmente usado para atacar los aceros al carbono), revelando así su microestructura. Una fotomicrografía es una fotografía tomada con la ayuda de un microscopio, en este caso un microscopio metalúrgico conocido como metalográfico. Una fotomicrografía de hierro puro ó ferrita se muestra en la figura (1).

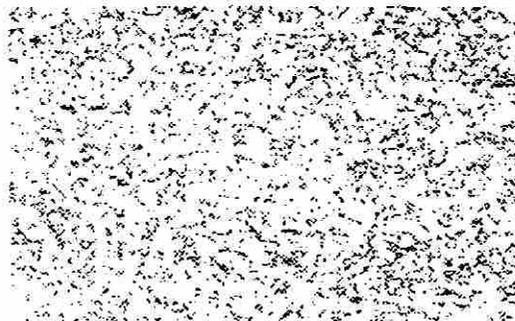


Figura 1 .- Fotomicrografía de Hierro Puro ó Ferrita

Esta fotografía muestra la microestructura de como se revelo por preparación y ataque apropiado el espécimen. Las fronteras de grano generalmente se muestran como líneas. Las áreas oscuras en la fotomicrografía son causados por la diferencia en la profundidad de ataque. Cada grano en la fig. (1) es un cristal simple de metal. Una amplificación de 100x es generalmente suficiente para mostrar el grano en un metal puro.

Amplificaciones hasta de 50,000x, son posibles obtener con el *microscopio de barrido electrónico* para exámenes metalográficos, por otra parte, una amplificación de 100x ó 500x son comúnmente usados.

Todos los metales sólidos son cristalinos por su naturaleza en la solidificación del acero, procedente de la formación de pequeños cristales en el metal fundido durante el proceso de solidificación.

El examen de metales por otra parte, bajo el más poderoso microscopio no podrá revelar los átomos en las redes espaciales, todo lo que se podrá ver son los granos individuales ó cristales. En principio para poder ver el arreglo de las redes cristalinas de los átomos en hierro ó acero serán necesarias amplificaciones, un pulido y un atacado de metal de cerca de 35,000,000 millones de veces más de lo que se pudiese ver a simple vista por lo que los pequeños granos observados bajo el microscopio, están hechos por una gran cantidad de átomos. Los granos o cristales de un metal pueden tener una forma externa y algunos varían en tamaño.

La estructura interna de un grano esta basada en el espacio de la red espacial del metal, en particular unido en un modelo definido ó estructura. Esta estructura atómica es llamada red espacial de algunos materiales cristalinos. A una temperatura fija los átomos en un grano, son espaciados a distancias definidas uno de otro y no pueden cambiar este espaciamiento, no es cierto que los átomos estén unidos juntos de esta manera, pero es usual dibujar los cristales como una red de trabajo tridimensional de átomos conectados por líneas imaginarias. Hay catorce tipos de redes posibles, en la metalurgia ferrosa necesitamos conocer solamente dos:

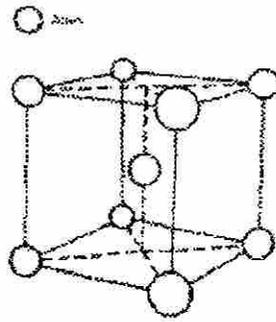


Figura 2 .- A).- BCC [cúbica centrada en el cuerpo]

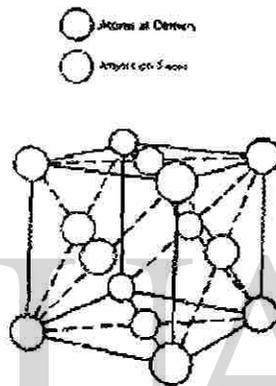
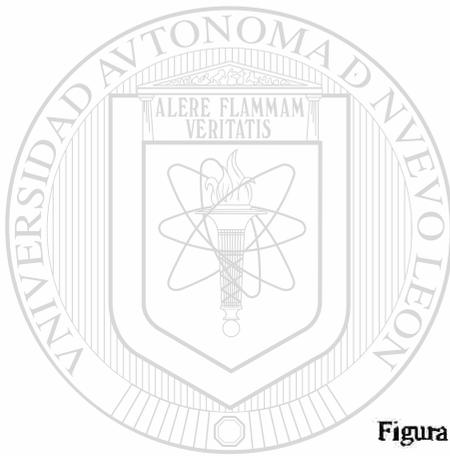


Figura 3 .- B).- FCC [cúbica centrada en las caras]

La estructura BCC tiene un átomo en cada esquina del cubo imaginario y uno en el centro del cubo. La estructura FCC tiene un átomo en cada esquina del cubo y uno en el centro de cada una de las seis caras.

El hierro puro así como el acero al carbón cuentan con la estructura cristalina BCC, a temperaturas ambiente en un rango de temperaturas elevadas cuenta con la estructura FCC. Este movimiento de átomos es referido por un cambio alotrópico.

La temperatura a la cual ocurre este cambio es conocida como temperatura de transformación. La ciencia de los tratamientos térmicos depende de la alotropía del hierro y de las variaciones de solubilidad del carbono en cada forma cristalina del hierro.

1.2 CAMBIOS ALOTROPICOS DEL HIERRO PURO

Debido a que el hierro es el elemento predominante en por ciento en peso en las aleaciones hierro - carbono, una breve revisión de los cambios alotropicos del hierro puro serán de gran valor como una guía para subsecuentes estudios detallados, asumiendo que el hierro puro se funde en un crisol aislado, permitiéndole enfriar lentamente y así graficar la temperatura de enfriamiento del hierro contra tiempo (figura 4) se puede observar que a una temperatura superior a 1540°C (2800°F) el hierro se encuentra en el estado líquido. A 1540°C (2800°F) el hierro comienza a solidificar sin que ocurra algún cambio en la temperatura hasta que el hierro está completamente sólido; esto está dado por la horizontal (a) en la figura 4.

En la curva de enfriamiento a 1540°C (2800°F) al solidificar completamente el hierro, la temperatura comienza a disminuir continuamente a una razón uniforme hasta alcanzar 1395°C (2540°F), en este punto hay sólo un pequeño retraso en la temperatura comparado con el de 1540°C (2800°F).

Entre 1540°C (2800°F) y 1395°C (2540°F) el hierro sólido presente se le conoce como hierro δ y presenta una estructura cúbica de cuerpo centrado (BCC). El retraso en (b) de la figura 4 indica que a 1395°C (2540°F) tiene un cambio en el hierro sólido. El hierro δ sufre un cambio a hierro γ con estructura cúbica de caras centradas (FCC). Este cambio en particular no tiene importancia a nivel comercial en las prácticas de tratamientos térmicos.

Cuando se completa la transformación a 1395°C (2540°F), la temperatura disminuye de nuevo a una razón constante hasta alcanzar los 915°C (1675°F) donde se presenta otro retraso (c) figura 4, permaneciendo constante la temperatura por un breve tiempo, a esta temperatura el hierro gama cambia a hierro alfa, con estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC). Esta transformación es de gran importancia en el tratamiento térmico de los aceros. El retraso a 770°C (1420°F) (d) en figura 4 no tiene importancia en los tratamientos térmicos ya que representa el cambio de no magnético a magnético del hierro, y se le llama punto Curie. Hay que hacer hincapié en que la figura 4 representa los cambios que ocurren durante enfriamientos muy lentos, tanto como sea posible en experimentos controlados en laboratorios, más que en condiciones de práctica comercial. Además al calentar lentamente el hierro, las transformaciones anteriores

tienen lugar de una manera reversible, las transformaciones que ocurren a razones lentas de enfriamiento y calentamiento son conocidas como transformaciones de equilibrio, debido a que se da el tiempo suficiente para que las temperaturas ocurran a las temperaturas indicadas en la figura 4.

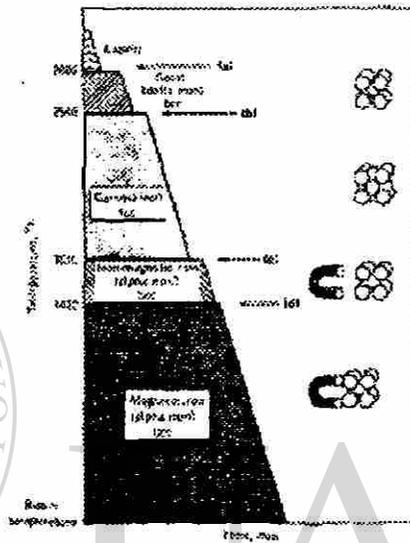


Figura 4.- Curva de Enfriamiento del Hierro Puro

Resumiendo, el proceso por el cual el hierro cambia de un arreglo atómico a otro, cuando calentamos a través de 915°C (1675°F), es llamada una transformación. Transformaciones de ese tipo no sólo ocurren en hierro puro sino también en algunas de sus aleaciones; cada composición de aleación, transforma a su propia temperatura característica, son estas transformaciones las que hacen a los tratamientos térmicos de los aceros muy significativos.

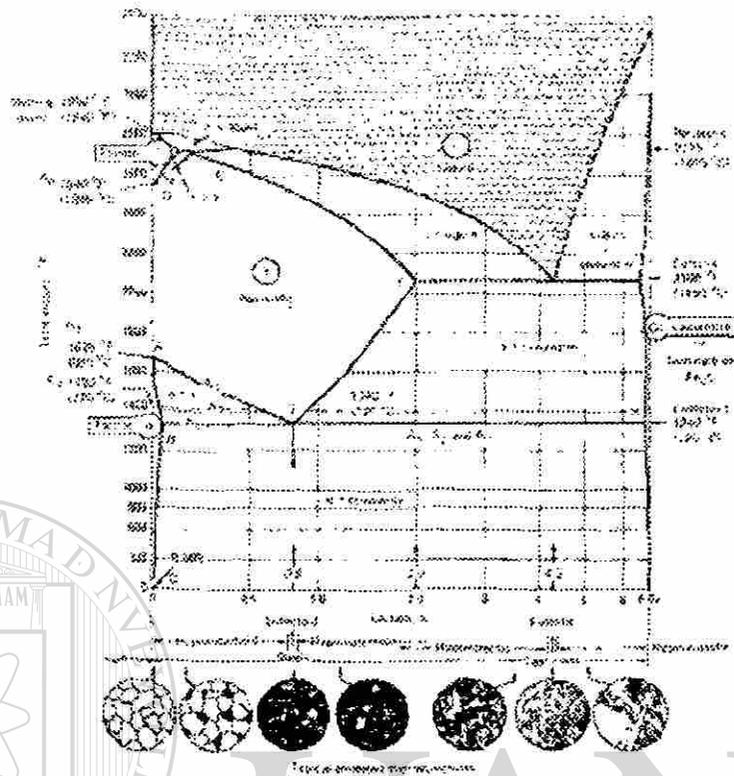


Figura 5.- Diagrama de Fase Hierro Carburo de Hierro

1.3 DIAGRAMA DE FASE HIERRO-CARBURO DE HIERRO

Cuando el hierro puro experimenta la transformación a 915°C (1675°F) el hierro es FCC y abajo de 915°C (1675°F) es BCC. Cuando cuatro átomos de carbono están presentes, dos cambios tienen lugar.

La temperatura de esta transformación tiene lugar sobre un rango de temperatura en lugar de una sola temperatura. Esta información ha sido condensada en el diagrama de fase hierro-carburo de hierro presentada en la Figura 5.

Una fase es una porción de una aleación física, química o cristalograficamente homogénea en todo, la cuál esta separada del resto de la aleación por superficies de distinta orientación.

Las siguientes fases ocurren en aleaciones hierro-carbono: Aleación fundida, austenita, ferrita, cementita y grafito. Puede notarse que cualquiera de estas fases, puede ser, por otra parte llamada constituyentes como la perlita o la bainita, debido a que algunas son mezclas y no son homogéneas en todo. Un diagrama de fase es una representación gráfica de la temperatura de equilibrio y los límites de composición de campos de fase y reacciones de fase en un sistema de aleaciones.

En el sistema hierro-carburo de hierro, la temperatura es graficada verticalmente y en forma horizontal es graficada la composición. En sistemas metálicos la presión generalmente es considerada constante. Cualquier punto en el diagrama, por lo tanto, representa una temperatura y composición definida. La práctica de tratamientos térmicos raramente involucra temperaturas arriba de 1035°C (1900°F).

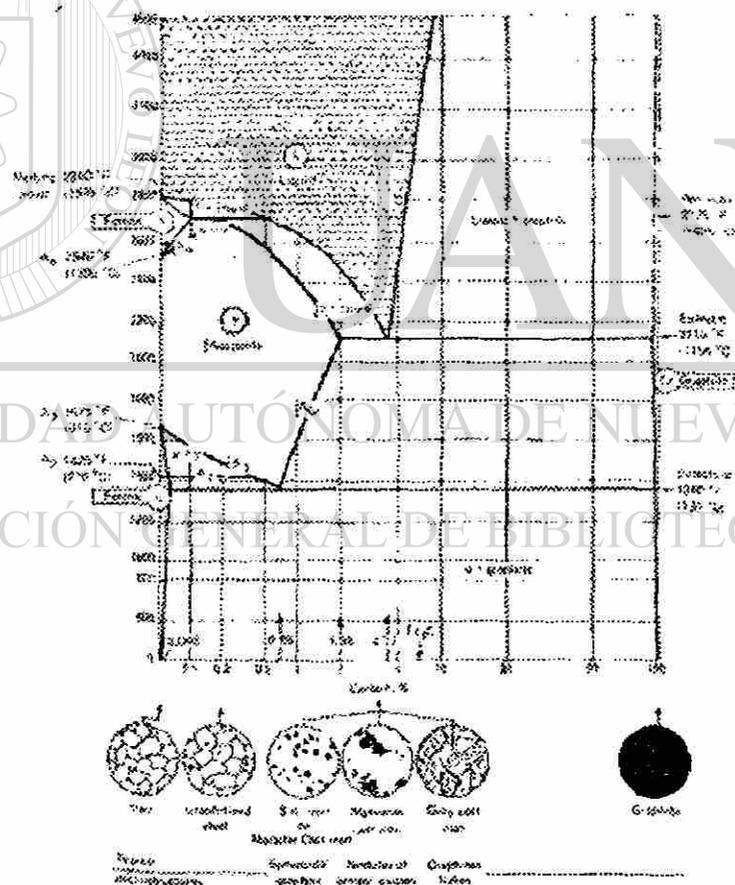


Figura 6.- Diagrama de Equilibrio Hierro Grafito

1.3.1 SOLUBILIDAD DEL CARBONO EN EL HIERRO

Puede ser relativamente fácil aceptar el hecho de que el carbono es uniformemente disuelto en hierro fundido. Es más difícil visualizar carbono sólido, o carburo de hierro, disuelto en hierro sólido. Sin embargo, es esta habilidad del hierro y el carbono de formar soluciones sólidas lo que hace posible el éxito del tratamiento térmico del acero.

Refiriéndonos a la figura 5, el área denominada como austenítica es el área en la cual el hierro puede retener mucho carbono disuelto. En efecto, algunas operaciones de tratamientos térmicos como son: Recocido, normalizado y temple, son llevados a el calentamiento del acero dentro de la región austenítica, para disolver el carbono en el hierro.

1.3.2 AUSTENITA

Es el término aplicado a la solución sólida de carbono en hierro FCC; en otras constituyentes en el diagrama, la austenita tiene cierta solubilidad definida de carbono, la cual depende de la temperatura el área sombreada de la figura 5, encuadrada por AGFED. Como se indica en el área de la austenita en la figura 5, el contenido de carbono en la austenita está en el rango de 0 a 2%. Bajo condiciones normales, la austenita no existe a temperatura ambiente en los aceros al simple carbono

Esto permite que los aceros al carbono al ser enfriados a diferentes razones desde la zona austenítica obtenga microestructuras que influyen en las propiedades mecánicas del acero a temperatura ambiente.

El límite de solubilidad para el carbono en la estructura cúbica de cuerpo centrado de las aleaciones hierro-carbono, se muestra por la línea ABC en la figura 5. Esta área del diagrama es llamada alfa, y la fase es llamada ferrita. La máxima solubilidad del carbono en hierro alfa, o ferrita, es 0.25% y ocurre a 725°C(1340°F). A temperatura ambiente la ferrita puede disolverse solamente a 0.008% de C, como se muestra en la figura 5.

1.3.3 CEMENTITA

Se puede notar que el diagrama de la figura 5 no se extiende más de 6.67% normalmente el carbono no esta presente en los aceros como tal, sino como cementita que es un compuesto de hierro y carbono que tiene la fórmula Fe_3C . La cementita consiste de 6.67% de C y 93.33% de hierro. Esta estructura está formada por un átomo de carbono y tres átomos de hierro. El diagrama de fase hierro-cementita no muestra las relaciones de fase entre el hierro y el carbón pero muestra las relaciones entre el hierro y el carburo de hierro. La cementita ó Fe_3C , también es llamada carburo de hierro.

1.4 TRANSFORMACION DE LA AUSTENITA

La transformación de la austenita en carburo y ferrita se da en diferentes microestructuras dependiendo de su composición actual y su rapidez de enfriamiento. Estas características se explicarán a continuación.

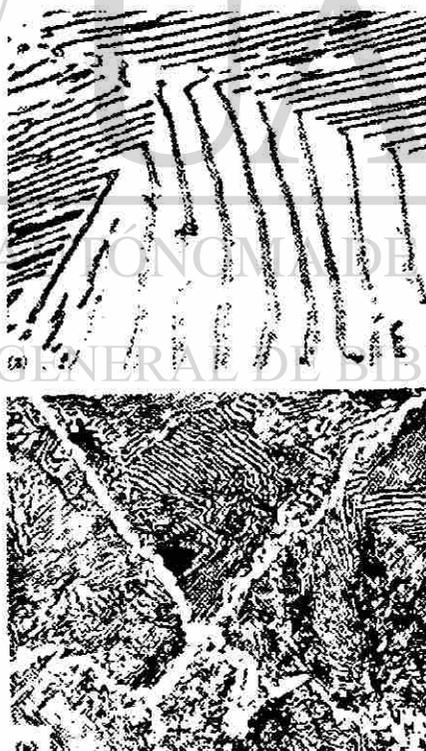


Figura 7.- Microestructuras de aceros eutecticos y hipereutecticos. (a) Perlita, 2500X. Mostrando capas alternas de ferrita y cementita. Areas claras son ferrita. Areas oscuras son cementita. (b) Perlita y cementita, 1000X. El material blanco que subrodea las colonias de perlita es cementita.

1.4.1 ACERO EUTECTOIDE

Un acero al carbón que contiene 0.77% de carbón se convierte en una solución sólida a cualquier temperatura en el rango de temperatura de la austenita, entre los 725°C (1340 ° F) y los 1370 ° C (2500 ° F). Todo el carbón es disuelto en la austenita. Cuando la solución sólida es enfriada lentamente, varios cambios ocurren a la temperatura de 725° C (1340 °F). Esta temperatura es una temperatura de transformación ó temperatura crítica del sistema hierro-cementita. A esta temperatura, un acero con 0.77% de carbón se transforma de una solución sólida simple homogénea a dos nuevas fases sólidas. Este cambio ocurre a temperatura constante y con la evolución de calor.

Las nuevas fases son ferrita y cementita, formadas simultáneamente; sin embargo, solo es una composición en el punto G en la figura 5, un acero con 0.77% de carbón; así es como ocurre el fenómeno de la formación simultánea de ferrita y cementita.

Estos dos nuevos elementos tal vez se desarrollen por separado de la austenita en otros aceros, como se explicará más adelante. La transformación en el punto G es conocida como la transformación eutectoide y como consecuencia, el acero en el que ocurre, 0.77% de carbón acero al carbón, es llamado acero eutectoide.

Cuando la ferrita y cementita son formadas por esta reacción eutectoide, el producto es llamado perlita. La figura 7 muestra la microestructura de la perlita y la cementita. La ferrita es idéntica en apariencia a la figura 1 mostrada con anterioridad.

La perlita está compuesta de placas alternas, o laminares, de ferrita y cementita. Ha sido nombrada perlita porque frecuentemente exhibe una presentación de colores similar a la presentación de colores obtenido de la madre perla.

Solamente el acero al carbón de 0.77% de carbón, para las familias de aceros al carbón, pueden tener 100% de perlita en su microestructura a temperatura ambiente después de un enfriamiento lento a través de la temperatura de transformación a los 725° C (1340 °F). Habiendo sido calentado lentamente a través de los 725°C (1340 °F), la situación antes descrita es revertida; la perlita cambiará a austenita a esta temperatura o un poco por encima de ella.

1.4.2 ACEROS HIPOEUTECTOIDES

Aceros al carbón que contienen menos que 0.77% de carbón son conocidos como aceros hipoeutectoides. El área marcada por AGB en el diagrama hierro-cementita es la representación de las microestructuras a temperatura ambiente de estos aceros; en esta área, la ferrita y la austenita, cada una de las cuales tienen diferentes contenido de carbono, pueden existir simultáneamente.

Hasta un enfriamiento lento, la ferrita libre se empezará a formar de la austenita cuando la temperatura cruce de la línea AB, en el área AGB, con cantidades crecientes de ferrita formándose mientras la temperatura continua en descenso estando en esta área. La ferrita libre es ferrita que no es parte de la perlita. En aceros al carbón, esto puede existir solamente en aceros hipoeutectoides.

Idealmente, bajo condiciones de muy lento enfriamiento, toda la ferrita libre será separada de la austenita para el tiempo en que la temperatura del acero alcance A_1 , la línea BG, a los 725°C (1340°F).

Las islas de austenita las cuales permanece a la temperatura de 725°C (1340°F), ahora tiene la misma cantidad de carbón que el acero eutectoide, o aproximadamente 0.77% de carbón.

Un poco por debajo, ó a la temperatura de los 725°C (1340°F), la austenita restante que aún no se ha transformado, comienza ahora su transformación, convirtiéndose en perlita.

Abajo del diagrama hierro-cementita, fig. 5, hay una gran variedad de microestructuras. El segundo de la izquierda será típico de un acero hipoeutectoide, con ferrita (alfa) en el área clara y perlita en el área oscura.

La secuencia de cambios de arriba se aplican para cualquier acero hipoeutectoide, y cualquier acero al carbón que contenga de 0.03% a 0.79% de carbón.

La proporción resultante de ferrita libre en las microestructuras de aceros dentro de este rango y bajo condiciones de lento enfriamiento, es inversamente proporcional al contenido de carbón del acero; un acero con un 0.05% de carbón tendrá aproximadamente 95% de ferrita libre, mientras que un acero con un 0.70% de carbón tendrá menos de 10% de ferrita libre.

Convencionalmente, el porcentaje de perlita en aceros hipoeutectoides de lento enfriamiento será directamente proporcional al contenido de carbón del acero. Un acero con un 0.05% de carbón tendrá aproximadamente un 5% de perlita, mientras que un acero con un 0.70% de carbón tendrá un 90% de perlita, aproximadamente.

Entonces, podrá ser posible estimar el contenido de carbón por medio de una microexaminación de un espécimen lentamente enfriado.

Cuando los aceros hipoeutectoides son lentamente calentados a través del área AGB, cambios opuestos ocurren.

La perlita se transforma en austenita a la temperatura de los 725°C (1340°F), y las áreas de ferrita permanecen sin cambio alguno; en tanto el calor progresa a través del área AGB, gran cantidad de ferrita es transformada en austenita, de tal modo que cuando

la temperatura alcanza la línea AG, toda la ferrita será transformada en austenita, dando como resultado una estructura austenítica al 100% por encima de la línea AG.

La línea BG es comúnmente conocida como la temperatura A_1 o A_{e1} en la literatura y es una temperatura ajustada a 725°C (1340°F) para aceros al carbón no aleados. La línea AG es conocida usualmente como la temperatura A_3 o línea A_3 en la literatura, y como puede verse en el diagrama, la temperatura A_3 varía y es una función del contenido de carbón; es relativamente alto para aceros al bajo carbón y comienza a decrecer cuando el contenido de carbón va en aumento hacia el 0.77%.

1.4.3 ACEROS HIPEREUTECTOIDES

Los aceros que contienen de 0.77% hasta aproximadamente 2% de carbono son conocidos como aceros hipereutectoides. Suponiendo que un acero que contiene 1% de carbón ha sido calentado a la temperatura de 845°C (1550°F), suponemos una estructura 100% austenítica.

Cuando se enfría, no habrá cambios hasta que la línea GF, conocida como A_{cm} o línea de solubilidad de cementita, sea alcanzada. En este punto, la cementita comienza a separarse de la austenita; grandes cantidades de cementita se separan mientras que la temperatura del 1% del acero al carbón desciende por abajo de la línea A.

La composición de la austenita cambia de 1% de carbón a 0.77% de carbón. A la temperatura un poco menor de los 725°C (1340°F), la austenita que queda cambia a perlita. No ocurren más cambios en tanto la temperatura de enfriamiento va hacia una temperatura ambiente; por esto, las microestructuras a temperatura ambiente constan de perlita y cementita libre. En este caso la cementita libre existe como una red alrededor de los granos de perlita. Ver Fig. 7(b).

Al calentar aceros hipereutectoides, cambios opuestos ocurren. A la temperatura de 725°C (1340°F), perlita cambia a austenita. Al incrementarse la temperatura por encima de los 725°C (1340°F), la cementita libre se disuelve en la austenita, y en el momento en que la temperatura alcanza la Línea A_{cm} , toda la cementita se habrá disuelto formando austenita al 100%.

1.4.4 HYSTERESIS

Las temperaturas críticas A_1 , A_3 y A_{cm} son pausas de calentamiento o enfriamiento y han sido simbolizadas con la letra A, tomada de la palabra francesa 'arret' que significa pausa o punto de retardo, en curvas que han sido graficadas para mostrar calentamientos o enfriamientos de muestras. Cabe mencionar que por lo general los cambios ocurren a temperaturas específicas. Dichos cambios ocurrirán a la temperatura de transformación en el diagrama hierro-carburo de hierro, solo si es dado el tiempo suficiente, y puede ser graficado para aceros mostrando retardos a la temperatura de transformación tal como fueron mostrados para el hierro en la figura 4. Sin embargo, ya que los rangos de calentamiento en la práctica comercial usualmente exceden los rangos de los experimentos hechos en laboratorios, los cambios en el calentamiento usualmente ocurren a la temperatura de algunos grados centígrados por encima de la temperatura de transformación mostrada en la figura 5 y son conocidas como las temperaturas A_1 , tal como A_{c1} o A_{c3} . El subíndice C es tomado de la palabra francesa 'chauffage' que significa calentamiento.

De la misma manera, el lento enfriamiento en la práctica comercial, los cambios de transformación ocurren a una temperatura algunos grados centígrados por debajo de la temperatura de transformación mostrada en la figura 5. Esta es conocida como A_1 , o A_r ; el subíndice r se origina en la palabra francesa 'refroidissement' que significa enfriamiento.

Esta diferencia entre las temperaturas de transformación de calentamiento y enfriamiento varía con el rango de calentamiento o enfriamiento. Mientras más rápido sea el calentamiento, más alto será el punto A_c . Mientras más rápido sea el enfriamiento, menor será el punto A_r .

Así mismo, mientras más rápido sea el rango de calentamiento y enfriamiento, más grande será la separación entre los puntos A_c y A_r .

Como veremos posteriormente, el tiempo es un factor muy importante en todo lo referente a transformación.

1.4.5 HOMOGENIZACION DE LA AUSTENITA

Mientras el diagrama hierro-carburo de hierro solo muestra las fases que existen en el equilibrio, cuando los rangos de calentamiento y enfriamiento son muy bajos, la temperatura es significativa en la transformación completa de todos los constituyentes cuando el calentamiento está en el terreno de la austenita.

Es posible calentar un acero con 0.25% de carbón tan rápido hasta los 815 ° C (1500°F), que la solución y difusión de carbón no llega a completarse, resultando en parches de 0.77% de carbono austenítico donde existe perlita.

Para complementar la condición anterior, cualquier temperatura deberá ser incrementada o un tiempo suficiente deberá ser dado para que ocurra la difusión de carbón y la austenita tenga 0.25% de carbón distribuido uniformemente. Cuando la austenita tiene el carbón distribuido uniformemente, el proceso es conocido como homogenización. El tratamiento exitoso de calor requiere austenita homogénea como el primer paso a seguir. A falta de ella toda clase de resultados desastrosos pueden ocurrir.

1.4.6 EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION

El diagrama de fase hierro-carburo de hierro, muestra las relaciones de equilibrio para aleaciones de hierro y carbón puro. La presencia de líneas de impurezas en estas aleaciones no alterará dicho diagrama.

Sin embargo, cuando las adiciones en las aleaciones son hechas a el acero, la temperatura de transformación cambia y es frecuente que se dese determinar las temperaturas de transformación para alguna aleación en particular.

Ya que hay muchas aleaciones de acero que contienen varios elementos de aleación, sería poco práctico e innecesario determinar todo el diagrama de fase para cada aleación. Un método para determinar la temperatura de transformación es calentar un bloque del acero en cuestión a un rango uniforme y medir su temperatura en intervalos de tiempo frecuentes. Una gráfica de tiempo y temperatura formará una curva similar a la curva que se muestra en la fig. 8.

1.4.7 TEMPERATURAS DE TRANSFORMACION

Durante el nivel inicial de calentamiento, la temperatura del bloque se incrementa a un rango uniforme. A la temperatura T_1 , el rango de la absorción de calor decrece hasta alcanzar la temperatura T_2 y en este punto el rango vuelve a incrementarse. La temperatura T_1 es la temperatura crítica e indica el inicio de la transformación de ferrita en austenita. Ya que el calor de entrada al bloque era constante, seguirá la temperatura entre T_1 y T_2 . La transformación de ferrita en austenita también requiere cierta cantidad de energía termal.

En temperaturas de enfriamiento ocurren cambios opuestos. El bloque se enfría hasta que la temperatura T_2 es alcanzada. En este punto, el calor absorbido durante la transformación es liberado y el rango de enfriamiento comienza a bajar. Cuando la transformación de austenita en ferrita se ha completado, el enfriamiento vuelve a su rango original.

La liberación de calor durante el proceso de enfriamiento en ocasiones es conocido como recalcancia. Cuando una ruptura ocurre en la curva de enfriamiento o calentamiento, el progreso normal de la temperatura contra la curva de tiempo esta encontrada (a tope); esto se indica con el símbolo A_1 o A_3 , etc., para varias de las transformaciones.

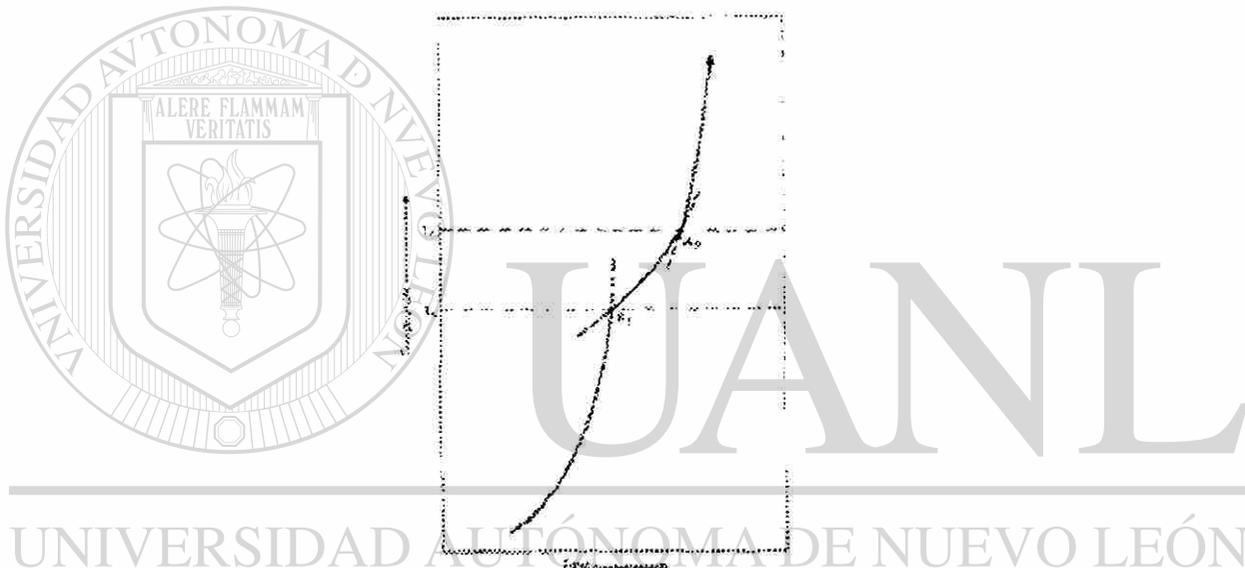


Figura 8 .- Curva de calentamiento para un acero hipoeutectoide. El acero se calienta a un rango de temperatura mientras esta en bcc. La temperatura de transformación A_1 ocurre un cambio en el rango de calentamiento. A la temperatura de transformación A_3 , el rango de calentamiento cambia de nuevo.

1.4.8 CONTENIDO DE CARBON

Las fases representadas en el diagrama de fase hierro-cementita son fases de equilibrio metaestable. Las temperaturas a las cuales ocurren las transformaciones son determinadas por las condiciones de lento calentamiento y enfriamiento. Para el contenido de carbón dado de los aceros hipoeutectoides, el acero contiene menos del 0.77% de carbón, bajo condiciones de lento enfriamiento de la austenita. Ahí existe una proporción definida de ferrita y perlita formada durante el enfriamiento a temperaturas por debajo de A_1 . Bajo condiciones de más rápido enfriamiento, en aire por ejemplo, la microestructura muestra más perlita de la que es producida bajo condiciones de equilibrio. La

perlita producida bajo estas condiciones no contiene el usual 0.77% de carbón, pero incluye un rango de concentraciones desde 0.7 hasta 0.9%.

No es difícil entender, en el caso de los aceros hipoeutectoides, porque el rápido enfriamiento producirá un exceso de perlita. La descomposición de austenita en ferrita y perlita es un proceso de difusión que involucra el movimiento de átomos de carbono. Los rangos de difusión dependen del tiempo y la temperatura.

Bajo condiciones de rápido enfriamiento, la temperatura crítica A_3 es pasada rápidamente, y muy poco tiempo es disponible para difundir átomos de carbono.

En muchos casos, es posible estimar el contenido de carbono de un acero, examinando la microestructura para determinar la cantidad de perlita presente.

De la discusión anterior, vemos que la historia previa de el acero es importante si un estimado exacto se va a hacer. Un acero enfriado rápidamente pasada la temperatura de transformación forma más perlita que si fuera enfriado lentamente. Una estimación de contenido de carbón en la base de la cantidad de perlita presente en la muestra puede llevar a un resultado altamente erróneo.

Para un acero dado, por lo tanto, un tratamiento de normalizado producirá más perlita que un recocido. La diferencia en cantidad, sin embargo, no es muy grande.

El diagrama de fase de hierro-cementita es también útil para el estimado de contenido de carbón de acero por una examinación de la microestructura.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Se hace como sigue:

- Un estimado es hecho de la fracción de el área la cual es perlita, el área que es ferrita, y la que es cementita, la cantidad de carbón en ferrita es despreciable.
- La perlita contiene 0.77% carbón, y la cementita, Fe_3C , contiene 6.7% de carbón.
- Entonces 0.77% por fracción de perlita más 6.7% por fracción de cementita = % de Carbón.

Por ejemplo, en la microestructura de la Fig. 7(b), hay cerca de 93% de perlita y 7% cementita. El carbón calculado que contiene es $0.77 \times 93 + 6.7 \times 0.7 = 1.197 \text{ C}$.

Actualmente, este acero tiene 1.25% carbón. La estimación de carbón de la microestructura es solo ocasionalmente hecha, por muchos métodos rápidos y precisos de análisis químicos que están disponibles. Un aparato comercial para analizar la cantidad de carbón en el acero toma solamente tres minutos para determinar el porcentaje apropiadamente. Por supuesto, en cada evento, una muestra representativa es de la más alta importancia.

1.4.9 TRANSFORMACION ISOTERMICA DE AUSTENITA

Cuando la descomposición del eutectoide de austenita toma lugar, los átomos de carbón se difunden en tal forma que el producto, perlita, tiene la apariencia de formarse en capas. Es decir, cuando es visto bajo el microscopio, capas alternas de cementita y ferrita pueden ser vistas. Con enfriado muy lento, la distancia entre cada capa se acrecienta en el caso de más rápido enfriamiento. Una diferencia en el espacio de las capas, sin embargo, puede ser aparente más que real debido al ángulo de corte, como se muestra en la figura 7(a). La razón para el espacio angosto en una muestra rápidamente enfriada puede ser atribuida a el rango de difusión reducida de carbón. Durante el enfriado rápido, hay solamente un tiempo corto comparativo durante el cual la difusión de carbón es ligera, y el espacio final de las capas de cementita es por lo tanto pequeña.

La formación de perlita de austenita es un proceso de nucleación y crecimiento. Como con todos los procesos de nucleación, se requiere algún tiempo para que los átomos carguen energía para comenzar el proceso de crecimiento.

Cuando se empuja una carretilla cargada a través de una superficie nivelada, un empuje extra quizá sea necesario por unos cuantos segundos para que la carretilla pueda iniciar su movimiento, pero una vez que ésta inicia su movimiento no es difícil mantenerla.

Tal es el caso cuando la perlita es formada. Aquí el empuje extra consiste en un supercongelamiento justamente abajo de A_1 . Como ejemplo, la formación de perlita en el plano de un acero al carbón que contiene 0.77% de carbón, será examinado. Esta es la composición eutectoide, y el único producto normalmente visible en la microestructura lentamente enfriada es la perlita. Si muchas pequeñas muestras de este acero son calentadas arriba de A_1 , la cual en

este punto coincide con A_2 y A_3 , una estructura austenítica completa será formada. En el diagrama de fase hierro-cementita, es visto que el acero de una composición eutécticoide se transforma completamente, en cierto tiempo, en austenita a la temperatura de $725\text{ }^\circ\text{C}$ ($1340\text{ }^\circ\text{F}$). Sin embargo, para asegurar que todas las partes del metal estén arriba de A_1 , estas muestras son calentadas a ($760\text{ }^\circ\text{C}$) $1400\text{ }^\circ\text{F}$ y rápidamente son colocados en baños de sal a la temperatura de $675\text{ }^\circ\text{C}$ ($1250\text{ }^\circ\text{F}$). Después de medio segundo una muestra es removida, la siguiente muestra es removida al segundo 1, la tercera al segundo 2, y otras al 4, 8, 16, 32, 63, 125, 250, 500 y 1000 segundos, y estos son templados en agua fría. Las series de muestras son examinadas metalográficamente para determinar el tiempo necesario para que la perlita forme sus núcleos y el tiempo necesario para que la perlita forme sus núcleos y el tiempo necesario para completar la formación de perlita.

La figura 9 muestra la microestructura de estas muestras. Los exámenes revelan que no hay perlita presente en muchas de las primeras muestras, pero todos las muestras siguientes revelan un incremento en las cantidades de perlita. En la última muestra, toda la estructura está compuesta de perlita.

A continuación, una segunda y tercer serie de muestras son colocadas en baños de sal a la temperatura de $620\text{ }^\circ\text{C}$ ($1150\text{ }^\circ\text{F}$) y se sigue el procedimiento descrito anteriormente. Estas muestras también son examinadas para determinar el inicio y fin de la formación de perlita. En base a los datos obtenidos en la figura 9, una curva ha sido graficada en la figura 10, mostrando cuanto tiempo es necesario para iniciar y completar la formación de perlita a cada temperatura.

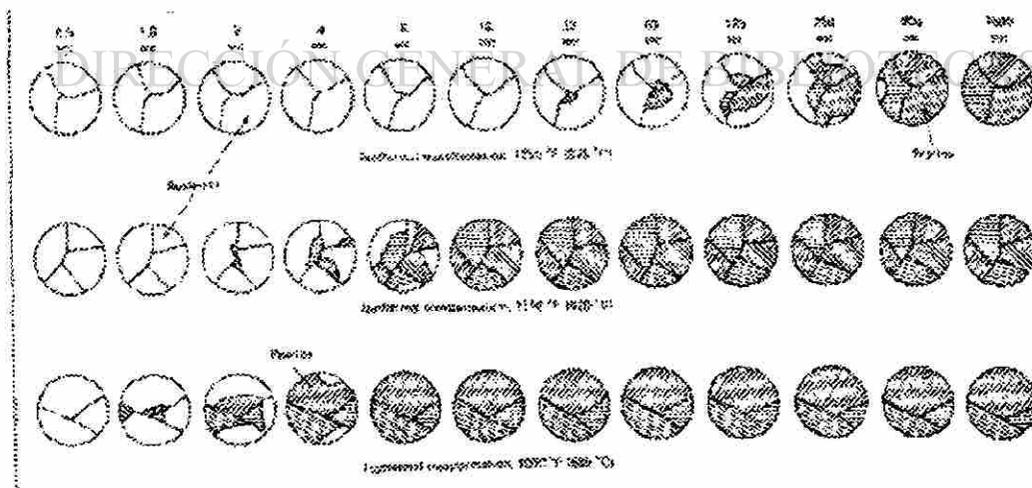


Figura 9.- Transformaciones isotérmica de acero al 0.80 % de carbón. Se muestran los cambios en la microestructura después que el acero es rápidamente enfriado a $675, 620$, y $565\text{ }^\circ\text{C}$ para tiempos variables a estas temperaturas. Nótese que el tiempo al cuál la transformación comienza y termina es diferente para cada temperatura

La línea P_s en la figura 10 indica el tiempo que toma la perlita en iniciar su transformación, y la línea f indica el momento en el que la austenita ha sido transformada. La perlita en la muestra sostenida a la temperatura de $565\text{ }^\circ\text{C}$ ($1050\text{ }^\circ\text{F}$) es fina, esto es, el espacio entre las capas alternas de ferrita y cementita son pequeñas. Las muestras sostenidas a la temperatura mas alta, $675\text{ }^\circ\text{C}$ ($1250\text{ }^\circ\text{F}$), produce perlita la cual es mucho más granular; por lo tanto, a mayor temperatura de transformación, mayor será la perlita granular.

¿Qué factores son responsables de la apariencia de estas curvas? De la discusión del diagrama de fase hierro-cementita, es sabido que por encima de los $725\text{ }^\circ\text{C}$ ($1340\text{ }^\circ\text{F}$) la muestra es completamente austenitica bajo condiciones de equilibrio. Cuando es enfriada por debajo de los $725\text{ }^\circ\text{C}$ ($1340\text{ }^\circ\text{F}$) la austenita tiene un muy fuerte impulso de cambiar a perlita. Sin embargo, la facilidad con que la austenita puede transformarse e en perlita se hace cada vez menor y menor conforme la temperatura se baja. No hay que olvidar que al incrementar la temperatura se incrementa el rango de reacción, y disminuyendo la temperatura, se reduce el rango. Cuando más austenita es enfriada por debajo de los $725\text{ }^\circ\text{C}$ ($1340\text{ }^\circ\text{F}$), más difícil es para los átomos de carbono al moverse.

De esta manera, hay dos fuerzas opuestas trabajando durante la transformación de la austenita. Una es el impulso en parte de la austenita transformándose en perlita. La otra es la habilidad de la austenita de transformarse al ser enfriada por debajo de la temperatura critica tomando en cuenta la movilidad decreciente de átomos de carbono y los rangos correspondientes al lento crecimiento.

A la temperatura de $675\text{ }^\circ\text{C}$ ($1250\text{ }^\circ\text{F}$), refiriéndonos a la figura 10, la austenita no se transforma a una gran velocidad. Por otro lado la temperatura es suficientemente alta para permitir la fácil difusión de átomos de carbono, y después de un tiempo suficiente la transformación será completada, formando una perlita granular. Aunque la difusión de carbón es todavía mas difícil a $565\text{ }^\circ\text{C}$ ($1050\text{ }^\circ\text{F}$), la tendencia de la austenita para transformarse es suficientemente alta para superar las condiciones pobres para difusión. De ahí, en este corto tiempo, los átomos de carbono no pueden moverse lejos, y la perlita formada es extremadamente fina.

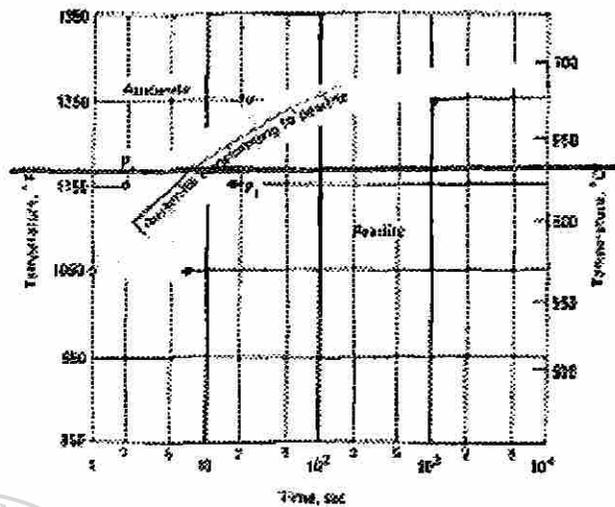


Figura 10.- Tiempo de transformación para la descomposición de austenita. Estos tiempos son para las temperaturas dadas en las figuras. Las curvas trazadas através de los puntos ayudan a determinar el comienzo y el final del tiempo para la transformación a cualquier temperatura.

1.4.10 BAINITA

El proceso que permite a la austenita transformarse isotérmicamente puede ser llevado a temperaturas aun menores de 565°C (1050°F).

A temperaturas más bajas, sin embargo, el impulso de la austenita para transformarse proviene del lapso del movimiento de los átomos de carbono.

Esto es, la austenita querrá transformarse, pero los átomos de carbono simplemente no podrán moverse rápidamente. Ya que los átomos de carbono no pueden moverse libremente, el tiempo necesario para que inicie la transformación es mayor a temperaturas por debajo de 565 °C (1050 °F).

En la figura 11, la curva de transformación isotérmica ha sido completada.

Ya que la difusión de carbón es seriamente ofuscada a estas bajas temperaturas, no es posible para suficiente carbón difundirse para producir perlita; en cambio, la austenita se transforma en otro producto el cual es llamado bainita. Está era conocida con los términos de sorbita y trustita, los cuales ya son obsoletos.

Dependiendo de la temperatura de formación, esta estructura varía de una mezcla fina de ferrita y cementita a aun lente innecesario de ferrita y cementita no visible. En la figura 11 la curva de la izquierda, indica el inicio de la formación de bainita; mientras que la de la derecha indica el fin de la transformación. Las temperaturas a las cuales se forman estas estructuras varían

aproximadamente entre los 525 y 275 °C (975 y 530 °F) para aceros eutectoides.

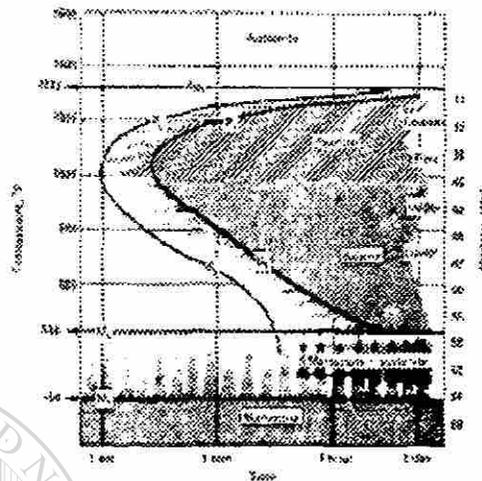


Figura 11.- Diagrama de transformación isotérmica completa para aceros a 0.80 % de carbono. La transformación de la bainita toma lugar isotérmicamente entre 275 y aproximadamente 525 °C. Si las austenitas rápidamente enfriaran desde encima de A1 y a temperaturas a bajo de 275 °C la martensita empieza a formarse. Entre mas dure el enfriamiento, mas martensita se forma. La transformación de austenita a martensita no se completa hasta que Mf no es alcanzada.

1.4.11 MARTENSITA

Al enfriar a temperaturas por debajo de los 275°C (530°F), otro producto de transformación es formado, el cual es llamado martensita.

La estructura de la martensita es muy similar a la bainita a baja temperatura. Esto es, tiene la forma de un lente, parecido a una aguja.

Fotografías de las microestructuras de martensita y bainita son presentadas en la figura 12. La martensita es conocida comúnmente por tener una estructura circular, lo que significa parecida a una aguja.

Las curvas que dependen del tiempo no pueden ser dibujadas para el inicio y fin de la reacción de martensita, porque la formación de martensita ocurre de manera diferente que de la perlita y bainita. La formación de martensita no depende del intervalo de tiempo a una temperatura específica pero empieza a formarse cuando la temperatura definitiva es alcanzada.

La curva mostrada en la figura 11 es llamada curva de transformación isotérmica, una transformación tiempo-temperatura, o simplemente curva TTT. Como se menciona anteriormente, solamente un acero eutectoide que contiene 0.77% de carbono ha sido considerado para dibujar su curva. Esta composición fue seleccionada para que solo una estructura sea considerada, esto es, la

transformación de una estructura completamente austenítica en un producto de formación: perlita, bainita o martensita.

Ahora consideraremos la curva TTT para un acero al carbón el cual no es una composición eutectoide. En el caso de un acero hipoeutectoide, esto es, uno con menos de 0.77% de carbón, la formación de ferrita ocurre por debajo de A3.

Cuando la línea A1 es alcanzada, la perlita es formada por el resto de la austenita. Similarmente, en el caso de un acero hipereutectoide, el cual contiene mas de de 0.77% de carbón, la formación de cementita comienza por debajo de la temperatura A (vease la figura 5). Una curva TTT para un acero de cualquiera de estos tipos es muy parecido a un acero eutectoide, en donde la forma S prevalece. El termino de curva S, es casi obsoleto. El carbón reduce la temperatura de formación de la martensita; la línea M3 para un acero hipereutectoide es cientos de grados mas baja para un acero hipoeutectoide.



Figura 12.- Microestructura de bainita y martensita. La bainita es mas oscura que la martensita.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



1.4.12 PROPIEDADES DE LOS PRODUCTOS DE TRANSFORMACION

El acero se transforma, tal y como hemos visto, de austenita a perlita granular, perlita fina o bainita. En adición, los aceros hipoeutectoides pueden contener ferrita combinada con perlita, bainita o martensita.

Por otro lado, los aceros hipereutectoides, pueden contener cementita combinada con perlita, bainita o martensita. Las propiedades de resistencia, dureza, ductilidad y tensión dependen del contenido de carbón y los productos de transformación.

Es posible obtener un amplio rango de dureza en los aceros, controlando las cantidades de perlita, bainita, ferrita, martensita y cementita producidas. Cada fase contribuye en la dureza del acero en proporción con la

cantidad presente. La proporción de cada fase presente es controlada en turno por la combinación del contenido de carbón y tratamiento térmico. Calentando un acero a la temperatura austenítica y posteriormente templándola para producir una estructura completamente martensítica, la dureza obtenida será la máxima para ese acero en particular. La dureza por si misma, suponiendo una estructura completamente martensítica, dependerá del contenido de carbón; un acero que contiene 1% de carbón tendrá mayor dureza que aquél que contenga 0.4% de carbón.

De la misma manera un acero más suave puede ser obtenido aplicando calor para producir una estructura austenítica y después enfriarlo a través de la temperatura de transformación para formar perlita granular. El resto de la estructura depende del contenido de carbón; esto es, los aceros hipoeutectoides contendrán ferrita y perlita; los aceros hipereutectoides contendrán cementita y perlita.

En nuestra discusión de la transformación isotérmica de la austenita y la formación de martensita, fue mencionado que la transformación de martensita es una función de la temperatura solamente y no depende del tiempo. La martensita continuará formándose después que la temperatura M_s sea alcanzada.

Aunque la formación de martensita es aparentemente independiente del rango de enfriamiento, es necesario enfriar lo suficientemente rápido para alcanzar la temperatura M y prevenir la formación de perlita. Refiriéndonos a la figura 11, puede ser visto que la perlita se formará rápidamente a los 565°C (1050°F). En la curva P, la austenita iniciará su descomposición mas temprano que las temperaturas mayor o menor.

Así es pues, una estructura completamente martensítica solo puede ser trazada para conservar austenita hasta que la temperatura M_s sea alcanzada.

Suponiendo que tenemos dos barras de un acero AISI 4340, uno de 1 pulg. de diámetro y el otro de 3 pulg. de diámetro. Suponiendo también que las uniones térmicas son colocadas en el centro y en la superficie de cada barra. Las barras entonces son calentadas a alguna temperatura elevada, 815°C (1500°F) por ejemplo, y posteriormente templadas en agua. Si las temperaturas son constantemente medidas y registradas, una puede ser hecha una marca de la manera en la cual la temperatura cambia con el tiempo.

Las curvas de enfriamiento obtenidas para la barra de una pulgada es algo parecida a las curvas mostradas en la figura 13. La superficie de la barra se enfría rápidamente porque esta en contacto directo con el temple medio. El centro de la barra, sin embargo, se enfría más lentamente. Debe ser claro, entonces, que el rango de enfriamiento para la temperatura inicial dada y el temple medio depende de la sección donde cruza la muestra.

El rango mínimo de enfriamiento, el cual no aleará formaciones de ferrita, bainita o perlita, es conocido como rango de enfriamiento crítico, mostrado como una línea opaca en la figura 13.

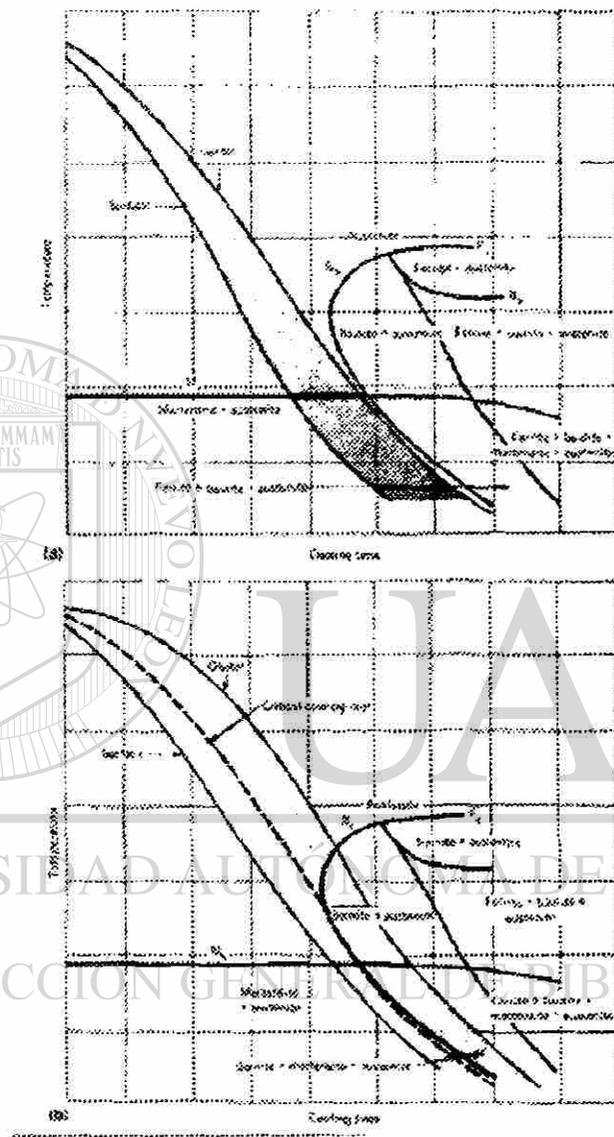


Figura 13.- Efectos en el tamaño de la sección. a) La curva de enfriamiento para una pulgada de diámetro barra de acero AISI 4340 se muestra en relación a la curva CCT para aceros AISI 4340. El rango de enfriamiento es lo suficientemente rápido para templar la barra entera a martensita. b) Una barra de diámetro de 3 pulgadas se muestra en relación a la misma curva CCT. Se enfría más lentamente bajo idénticas condiciones de templado, y debido a la masa, el centro consecuentemente se transforma parcialmente a ferrita y bainita

1.4.13 HABILIDAD DE ENDURECERSE

Ahora llegamos a un concepto muy importante de tratamiento térmico el cual es llamado 'habilidad de endurecerse'. La discusión hasta ahorita ha estado limitada a los aceros de carbono puro. Cuando ciertos elementos de aleación son añadidos, es posible obtener martensita a rangos de bajo enfriamiento crítico; esto es, ellas no tienen que ser enfriadas tan rápido para prevenir la formación de perlita. La formación de perlita es obstaculizada por la presencia de elemento de aleación, y más tiempo es requerido para iniciar su formación. Con el tiempo adicional, el rango de enfriamiento no necesita ser tan rápido para obtener el 100% de martensita.

Si dos bolas de 3 pulgadas, una hecha con un acero de aleación y la otra de acero al carbón puro, son templadas en el rango austenítico al mismo rango de templado y luego son seccionadas, será encontrado que la dureza del acero al carbón puro varía considerablemente del exterior, al interior, teniendo la mayor dureza en el exterior. Por otro lado, el acero de aleación tendrá casi la misma dureza. La habilidad de endurecerse, es entonces, la habilidad de un acero de ser endurecido totalmente, completamente martensítico.

En general, la resistencia de un acero es proporcional a su dureza: A mayor dureza, más resistente será el acero. Por razones antes mencionadas, no es posible endurecer completamente una pieza pesada hecha de un acero al carbón puro.

Al templar a la temperatura austenítica, algunas áreas en el interior de la parte se enfriarán más lentamente que el rango de enfriamiento crítico. Sólo las posiciones del exterior serán completamente martensíticas. Por otro lado, si un acero de aleación tiene suficiente habilidad de endurecimiento, la parte podrá ser completamente dura, utilizando la misma técnica de templado.

Basta decir hasta este punto que la mayor parte de los elementos de aleación, especialmente cromo, níquel, molibdeno y vanadio mejoran la habilidad de endurecimiento de los aceros.

No hay que confundir los términos dureza y habilidad de endurecimiento. El único factor que determina la máxima dureza de cualquier acero es el contenido de el carbón. Los elementos de aleación contribuyen sólo a la habilidad de endurecimiento y cada una por sí solas no hacen el acero más duro.

1.5 TRATAMIENTO TÉRMICO

La condición más dura para cualquier acero dado es obtenida por el templeado por una estructura completamente martensítica. Dado que la dureza esta directamente relacionada a la fuerza, un acero compuesto 100% de martensita esta a su condición más fuerte posible. Sin embargo, la fuerza no es la única propiedad que debe ser considerada en la aplicación de partes de acero. La ductibilidad debe ser igualmente importante.

1.5.1 REVENIDO

La ductibilidad es la habilidad de un metal de cambiar de forma antes de romperse. La martensita recién templeada es dura pero no dúctil, de hecho es quebradiza. El revenido (el antiguo término, estiramiento, es obsoleto) es necesitado para impartir ductibilidad a la martensita, usualmente con un pequeño sacrificio en fuerza por lo tanto el revenido incrementa grandemente la resistencia de la martensita para sacudir, chocar la carga.

El efecto del revenido puede ser ilustrado como sigue.

Si la cabeza de un martillo fuera templeada a una estructura completa de martensita, probablemente se quebraría después de algunos cuantos golpes. El revenido durante la manufactura del martillo imparte resistencia de choque con solamente un ligero decremento en la dureza. El revenido es logrado al calentar una parte templeada a algún punto bajo de la temperatura de transformación y manteniéndola en esta temperatura por una hora o más, dependiendo de su tamaño. La mayoría de los aceros son revenidos entre 400 y 1100 °F. (205 y 595 °C). Conforme se usan temperaturas más altas, la resistencia a la resistencia del choque de el acero es incrementada, pero la dureza y fuerza decrecen.

Los cambios mínimos estructurales que acompañan al revenido incluyen perdida del patrón de martensita acicular y la precipitación de pequeñas partículas de carburo. La microestructura de acero templeado y revenido es referido como martensita revenida.

1.5.2 RECOCIDO

El proceso de tratamiento térmico es de 2 estados de templeado y revenido es diseñado para producir acero de alta fuerza capaz de resistir choques y deformaciones sin romperse. Por otra parte, el proceso de recocido es para hacer el acero más fácil de deformar o maquinarse. En productos de acero de manufactura, el maquinado y operaciones de doblado severo son usualmente

empleados. Aunque el acero revenido no se corte o doble muy fácilmente y el recocido es inusualmente necesario.

1.5.3 PROCESO DE RECOCIDO

Consiste en calentar el acero a una temperatura justo abajo de A_1 por un corto tiempo. Esto hace al acero más fácil de formar. Este tratamiento térmico es comunmente aplicado en las industrias de lámina y alambre, y las temperaturas usualmente usadas son de 1020 a 1200°F (550 a 650°C)

1.5.4 RECOCIDO COMPLETO

Donde el acero es calentado de 50 a 100 °F. (90 a 180 °C) arriba de A_3 para aceros hipoeutectoides, y arriba de A_1 para aceros hipereutectoides, y el enfriado; lento, hace el acero mucho más fácil de cortar, y también de doblar. En el recocido completo, el enfriado debe hacerse muy lentamente de tal forma que una perlita rugosa, áspera se forma. El enfriado lento no es esencial para el proceso de recocido, ya que cualquier rango de enfriamiento de temperaturas abajo A_1 , resultara de la misma microestructura y dureza. Durante la deformación fría, el acero tiene una tendencia a endurecer en áreas deformadas, haciendolo mas difícil de doblar y confiable a la ruptura. Deformaciones alterna y operaciones de recocido son hechas o desarrolladas en la mayoría de acero manufacturados.

1.5.5 NORMALIZADO

El proceso de normalizado consiste en calentar a una temperatura arriba de A_3 y permitiendo que la pieza se enfríe a temperatura ambiente. La temperatura actual requerida para esto depende de la composición del acero, pero es usualmente alrededor de 1600 °F. (870 °C). Actualmente, el término normalizar no describe el propósito. El proceso debe ser más propiamente descrito como una homogeneización o tratamiento de refinamiento de grano. Dentro de cualquier pieza de acero, la composición no es usualmente uniforme, es decir, un área puede tener más carbón que el área adyacente a ella.

Estas diferencias de composición afectan la forma en la cual el acero respondera el tratamiento térmico. Si es calentado a una alta temperatura, el carbón se puede dispersar inmediatamente, y el resultado es una composición

razonablemente uniforme de un área a la siguiente. El acero es entonces más homogéneo y repondrá al tratamiento térmico en una forma más uniforme.

Dadas las características inherentes en el acero de moldeo el tratamiento de normalizado es más frecuentemente aplicado a lingotes posteriores al endurecimiento.

1.5.6 LIBERACIÓN DE ESFUERZOS

Cuando un metal es calentado, ocurre una expansión la cual es mas o menos proporcional a la elevación de temperatura. Después de enfriado un metal, la acción reversiva toma lugar. En esto se observa una contracción. Cuando una barra de acero o plata es calentado en un punto más que en otro, al soldar o durante la forja, esfuerzos internos son colocados durante el calentamiento, la expansión del área es calentada no puede tomar lugar no obstaculizada, y tiende a deformarse. Al enfriamiento, la contracción se previene de que ocurra por el metal frío otra vez, las fuerzas permanecen como esfuerzos internos, los esfuerzos también resultan de cambios de volumen que acompañan las transformaciones del metal y la precipitación. El término esfuerzo tiene un amplio uso en el campo metalúrgico. Es definido simplemente como carga o fuerza dividida por el área de sección avanzada de la parte a la cual la carga o fuerza es aplicada. Esfuerzos internos, o residuales, son malos porque pueden causar deformación de partes de acero cuando son maquinadas. Para liberar estos esfuerzos internos, o residuales, son malos porque pueden causar deformación de partes de acero cuando son maquinadas. Para liberar estos esfuerzos, el acero es calentado al rededor de 1100 °F.(595 °C), asegurándose que la parte entera es calentada uniformemente, entonces es enfriado lentamente de regreso a la temperatura del cuarto. Este proceso se llama recocido de liberación de esfuerzos, o simplemente liberación de esfuerzo.

CAPITULO II

ACEROS AL CARBONO

2.1 SISTEMA DE DESIGNACION

Mucho esfuerzo y estudio han sido puestos en proveer una lista simplificada de composiciones de acero para servir a los requerimientos metalurgicos e ingenieriles de los fabricantes y usuarios de productos de aceros. Estos estudios han resultado en composiciones de carbón y aleaciones de acero listados en las tablas 2 y 10 y son generalmente conocidos como Grados Estandar.

2.1.1 GRADO AISI-SAE

Con pocas excepciones, las composiciones de acero establecidos por AISI y SAE (Instituto Americano del Hierro y Acero y la Sociedad de Ingenieros Automotrices) usan una serie de 4 numero para designar los estandares de los aceros al carbón y aleados, especificados a rangos de composicion quimica. En 2 instancias de aceros aleados, una designacion de 5 numeros es usada.

En las tablas de acero aleado que se presentan despues en esta seccion, algunos grados usan el prefijo de la letra E. Esto denota que el acero fue hecho por el porceso de horno electrico basico con practica especial. En las designaciones de cierto carbon y aceros aleados, el sufijo de la letra H significa que el acero es hecho para cumplir con limites especificos de dureza.

Las designaciones de carbono o acero aleado mostrando la letra B insertada entre el segundo y tercer numeros indican que el acero consiste 0.0005 a 0.0003 boro.

La letra L insertada entre el segundo y el tercer numeral de la designacion indica que este acero contiene de 0.15 a 0.35 plomo para maquinabilidad mejorada.

La tabla 1 representa un listado abreviado de los carbonos y aceros aleados AISI o SAE. Los primeros dos digitos para cada serie tienen un significado definitivo, proveyendo la composicion aproximada de elementos distintos del carbon.

Los últimos dos dígitos de las designaciones de 4 numerales y los últimos 3 dígitos de las designaciones de 5 numerales indican el significado aproximado del contenido del carbono del rango de permitibilidad de carbono. Por ejemplo, en grado 1035, el 35 indica un rango de carbono de 0.98 a 1.10. Estos dos dígitos son reemplazados por XX en la tabla 1. es usualmente necesario desviar ligeramente de este sistema y para interpolar números para algunos rangos de carbono y para variaciones en manganeso, sulfuro, u otros elementos con el mismo rango de carbono. Los rangos detallados de composición se proveerán para cada miembro de cada serie en otras tablas que siguen.

2.1.2 SISTEMA UNIFICADO DE NUMERACIÓN

El carbono estándar y los grados de aleación establecidos por AISI o SAE han sido ahora asignados con designaciones en el Sistema Unificado de Numeración (UNS) por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM E527) y la Sociedad Automotiva de Ingenieros (SAE J1086). En las tablas de composición que sigue, los números UNS son listados junto con sus números AISI-SAE correspondientes.

Los números UNS consisten de una simple letra prefijo seguida de 5 numerales. La letra prefijo G indica grados estándar de aceros aleados o carbono, mientras que el prefijo H indica los grados estándar que tienen ciertos límites de dureza. Los cuatro primeros dígitos de las designaciones UNS usualmente corresponden a designaciones estándar AISI-SAE, mientras que el último dígito (distinto de cero) denota algunos requerimientos adicionales de composición tales como el plomo o boro. El dígito es algunas veces un 6, el cual es usado para aceros designados que son hechos por el horno eléctrico básico con prácticas especiales.

El término acero carbono no necesariamente significan que el acero no contiene cualquier otro elemento de aleación. Hay, sin embargo, restricciones exactas en las cantidades de aleación que pueden ser contenidos en aceros carbono. Estos generalmente relacionados sobre restricciones son resumidos en los párrafos que siguen.

El acero se considera que es un acero carbono cuando no es especificado un contenido mínimo o requerido para aluminio (excepto lo relacionado a la deoxidización o el control de tamaño del grano), cromo, cobalto, columbio (niobio), molibdeno, níquel, titanio, tungsteno, vanadio, zirconio, o cualquier otro elemento añadido para obtener un efecto deseado de aleación.

Restricciones posteriores incluyen: (A) Cuando el mínimo especificado para cobre no excede 0.40 ó (B) cuando el máximo contenido especificado para cualquiera de los siguientes elementos no exceda el porcentaje anotado: 1.65 manganeso, 0.60 silicio, 0.60 cobre. El boro puede ser añadido a los acero carbono para mejorar la dureza (ver tabla 2).

En todos los aceros carbón, pequeñas cantidades de elementos de aleación o residuales, tales como níquel, cromo, y molibdeno, están presentes.

Su existencia es inevitable porque son retenidos de las materias primas usadas para fundición. Como regla, pequeñas cantidades de estos elementos tienen poca o ninguna importancia para el fabricante. Para propósitos de identidad y dada la amplia variación de propiedades, las composiciones de los aceros al carbón, estándar son presentados en cinco tablas separadas.

Series Designation	Description
Carbon steels	
10XX	Nonresulfurized, 0.30% manganese maximum
11XX	Resulfurized
12XX	Resulfurized and resulfurized
15XX	Nonresulfurized, over 1.00% manganese maximum
Alloy steels	
13XX	1.75 manganese
40XX	0.20 or 0.25 molybdenum or 0.25 molybdenum and 0.012 sulfur
41XX	0.50, 0.60, or 0.85 chromium and 0.12, 0.20, or 0.30 molybdenum
40XX	1.80 nickel, 0.50 to 0.60 chromium, and 0.25 molybdenum
46XX	0.65 or 1.00 nickel and 0.20 or 0.25 molybdenum
47XX	1.00 nickel, 0.45 chromium, 0.20 or 0.25 molybdenum
48XX	2.50 nickel and 0.25 molybdenum
51XX	0.80, 0.90, 0.93, 0.95, or 1.00 chromium
52XX	1.45 chromium
61XX	0.60 or 0.65 chromium and 0.13 or 0.16 vanadium minimum
66XX	0.55 nickel, 0.50 chromium, and 0.20 molybdenum
67XX	0.65 nickel, 0.50 chromium, and 0.25 molybdenum
68XX	0.55 nickel, 0.60 chromium, and 0.25 molybdenum
69XX	2.00 silicon or 1.40 silicon and 0.70 chromium
508XX (a)	0.26 or 0.50 chromium
518XX (a)	0.30 chromium
618XX (a)	0.30 nickel, 0.45 chromium, and 0.12 molybdenum
243XX (a)	0.45 nickel, 0.40 chromium, and 0.12 molybdenum

(a) El denominar Series Steel. (Source: AISI Steel Products Manual)

Tabla 1 . Porcentajes aproximados y tipos de elementos de identificación en aceros aleados y carbón estándar

2.1.4 ACEROS AL CARBON ESTANDAR REFOSFORIZADOS Y RESULTURIZADOS

La tabla 6 lista la composición de cuatro grados de acero al carbón que contienen cantidades más altas de las normales de fósforo así como de sulfuro. Un grado, 12L, 14L, ha sido refosforizado, resulturizado y plomado. Todas las condiciones y adiciones anteriores contribuyen a las características superiores de maquinabilidad superiores de estos grados.

Cualquier acero de este grupo puede producir con adiciones de 0.15 a 0.35 % plomo.

2.2 ACEROS ALEADOS

Un acero es considerado que tiene un grado de aleación cuando el rango máximo dado para el contenido de elementos de aleación excede uno o más de los siguientes límites: (a) 1.65 manganeso, (b) 0.60 silicio, (c) 0.60 cobre. Es también considerado un acero aleado cuando una cantidad mínima definitiva de cualquiera de los siguientes elementos es especificada o requerida dentro de los límites de los aceros aleados constructivos: (a) aluminio, (b) cromo, (c) cobalto, (d) columbio (nibio), (e) molibdeno, (f) níquel, (g) titanio, (h) tungsteno, (i) vanadio, (k) zirconio, o cualquier otro elemento para obtener un efecto de aleación especificado.

Como regla, la cantidad total de aleación en estos AISI-SAE Grados Estándar de Aceros Aleados no exceden aproximadamente 4.0 sobre y por encima de la cantidad normalmente permitida en acero carbón.

2.2.1 COMPOSICIONES DE LOS ACEROS ALEADOS ESTANDAR

Composiciones para un total de 58 diferentes aceros aleados son listados en la tabla 7. Parece ser que hay una gran similitud entre grados en algunas instancias y que la lista podría ser fácilmente reducida en números de grados. Sin embargo, muchas composiciones diferentes son requeridas para llenar los miles de requerimientos de propiedades mecánicas y físicas para productos manufacturados. Las demandas de fabricabilidad y economía son también factores que deben ser satisfechos, usualmente con composiciones químicas muy precisas.

Mientras las distintas composiciones listadas en la Tabla 7 no son producidas en cantidades iguales, cada uno de los aceros listados en esta tabla es producido en cantidades significativas por numerosos molinos. Un gran número de ellos están también para inducir mejor maquinabilidad.

2.2.2 COMPOSICIONES DE ACEROS AL BORO ESTANDAR

Las composiciones de los grados de aleación estándar que contienen 0.0005 a 0.003 boro son listados en la tabla 8. El boro provee un incremento en dureza para estos aceros que son relativamente aceros delgados.

2.3 DUREZA

La dureza y los métodos para incrementar esta propiedad, tales como adiciones de boro, son referidas varias veces dentro de este capítulo. Sin embargo, la dureza no necesariamente significa la habilidad de endurecer a un cierto valor Rockwell o Brinell. Por ejemplo, sólo porque un acero dado es capaz de ser endurecido a 65HRC no significa necesariamente que tienen una alta dureza. También, un acero que puede ser endurecido a solamente 40 HRC puede tener muy alta dureza. La Dureza se refiere a la capacidad de endurecer (profundamente) más que la máxima dureza alcanzable.

2.3.1 EFECTO DEL CARBÓN

El contenido de carbón de un acero determina la máxima dureza alcanzable, con énfasis particular en la palabra alcanzable. El efecto del carbon en la dureza alcanzable se demuestra en la figura 1. La máxima dureza alcanzable requiere sólo de aproximadamente 0.60 carbón. Sin embargo, los datos mostrados en la figura 1 son actualmente teóricos, porque se basan en el tratamiento térmico de secciones de barquillo delgado que son enfriadas desde su temperatura de austenización a la temperatura de cuarto en cuestión de segundos, por lo tanto se desarrolla 100% de martensita a través de sus secciones. Por lo tanto, la condición ideal mostrada en la figura 1 es raramente obtenida en la práctica. La figura 2 muestra un mejor ejemplo de dureza contenido de carbón porque es una condición ideal mostrada en la figura 1 es raramente obtenida en la práctica comercial.

El factor más importante influyendo en la máxima dureza que se puede lograr es la masa del metal que esta siendo templado. En una sección pequeña, el calor se extrae rápidamente, por lo tanto excediendo el rango crítico de enfriado del metal específico. El rango crítico de enfriado es el rango de enfriado que debe ser excedido para prevenir formación de productos de nomartensita. Conforme la sección de tamaño crece, se vuelve mucho más difícil extraer el calor lo suficientemente rápido para extraer el rango de enfriado crítico y de esta forma evitar la formación de productos nomartensíticos.

Una condición típica es mostrada en la figura 3, la cual ilustra el efecto del tamaño de la sección es la dureza de la superficie y es un buen ejemplo del efecto de la masa. Para secciones pequeñas arriba de 0.5 in (13mm), la dureza completa de alrededor de 63 HRC es lograda. Como el diámetro de la pieza templada es incrementada, los

rangos de enfriamiento y dureza decrecen, dado que el rango de temperatura crítico para este acero específico no fue excedido. Por lo tanto, la figura 3 también sirve como un excelente ejemplo de un acero de baja dureza. Los aceros de carbón plano se caracterizan por su baja dureza, con rangos de enfriamiento crítico durando solamente breves periodos. La dureza de todos los aceros esta directamente relacionada a los rangos de enfriamiento críticos. Entre más tiempo para un rango de enfriamiento crítico, más alta la dureza para un acero dado, casi sin importancia de contenido de carbón.

2.3.2 EFECTO DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN

La razón principal para usar elementos de aleación en los grandes estandar del acero es el incrementar la dureza. Los elementos de aleación usados en los aceros aleados estandar en la Tabla 7 estan confinados a: (a) manganeso, (b) silicio, (c) cromo, (d) níquel, (e) molibdeno, y (f) vanadio. Debido a las pequeñas cantidades usadas, el boro no es usualmente llamada una aleación. Los aceros que contienen boro, ya sean grados aleados o de carbón, son más usualmente llamados como aceros de boro-tratado. El uso de cobalto, tungsteno, zirconio, y titanio es generalmente confinado para herramientas u otros acero especiales.

Manganeso, silicio, cromo, níquel, molibdeno, y vanadio todos tienen sus efectos separados y desiguales en dureza. Sin embargo, los efectos individuales de estos elementos de aleación pueden ser completamente alterados cuando dos o más de estos elementos de aleación pueden ser completamente alterados cuando dos o más de estos elementos de aleación pueden ser completamente alterados cuando dos o más de estos son juntos. En periodos de aleaciones de tiempo corto, investigaciones extensivas fueron conducidas, y ha sido establecido que más dureza se puede lograr con menos contenido de aleación total cuando dos o mas aleaciones son usadas juntas. Esta practica es claramente reflejada en las composiciones de acero estandar mostrada en la Tabla 7. Este acercamiento no solamente salva las aleaciones que estan frecuentemente en suministro escaso, pero también resulta en más dureza a menor costo.

Por lo tanto, todos los aceros listados en las tablas 7 y 8 tienen significativamente mayor dureza que los aceros carbón listados en las tablas 3 a 6. Debe ser más enfatizado que la dureza varía ampliamente entre los grados aleados, que es la razón principal para la existencia de muchos grados.

Es obvio que la dureza es un factor muy importante en la selección discriminada de un grado de acero para partes tratadas termicamente. Un procedimiento estándar para evaluar la dureza de los aceros es necesaria para la relación inicial tanto como una herramienta para controlar la calidad.

Table 6 Compositions of Standard Re-phosphorized and Resulfurized Carbon Steels

Steel designation AISI or SAE	UNS No.	C	Chemical composition, %				
			Mn	P	S	Ps	
1020	G10200	0.18-0.25	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1025	G10250	0.23-0.30	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1030	G10300	0.30-0.40	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1035	G10350	0.35-0.45	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1040	G10400	0.40-0.50	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1045	G10450	0.45-0.55	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1050	G10500	0.50-0.60	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1055	G10550	0.55-0.65	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1060	G10600	0.60-0.70	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1065	G10650	0.65-0.75	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1070	G10700	0.70-0.80	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1075	G10750	0.75-0.85	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1080	G10800	0.80-0.90	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1085	G10850	0.85-0.95	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1090	G10900	0.90-1.00	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1095	G10950	0.95-1.05	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1100	G11000	1.00-1.10	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1105	G11050	1.05-1.15	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1110	G11100	1.10-1.20	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1115	G11150	1.15-1.25	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1120	G11200	1.20-1.30	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1125	G11250	1.25-1.35	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1130	G11300	1.30-1.40	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1135	G11350	1.35-1.45	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1140	G11400	1.40-1.50	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1145	G11450	1.45-1.55	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1150	G11500	1.50-1.60	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1155	G11550	1.55-1.65	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1160	G11600	1.60-1.70	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1165	G11650	1.65-1.75	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1170	G11700	1.70-1.80	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1175	G11750	1.75-1.85	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1180	G11800	1.80-1.90	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1185	G11850	1.85-1.95	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1190	G11900	1.90-2.00	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1195	G11950	1.95-2.05	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..
1200	G12000	2.00-2.10	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	0.10-0.15	..

Table 7 Compositions of Standard Alloy Steels

Steel designation AISI or SAE	UNS No.	C	Mn	P max	Chemical Composition, %				
					S max	Ni	Cr	Mo	
1020	G10200	0.18-0.25	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1025	G10250	0.23-0.30	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1030	G10300	0.30-0.40	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1035	G10350	0.35-0.45	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1040	G10400	0.40-0.50	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1045	G10450	0.45-0.55	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1050	G10500	0.50-0.60	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1055	G10550	0.55-0.65	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1060	G10600	0.60-0.70	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1065	G10650	0.65-0.75	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1070	G10700	0.70-0.80	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1075	G10750	0.75-0.85	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1080	G10800	0.80-0.90	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1085	G10850	0.85-0.95	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1090	G10900	0.90-1.00	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1095	G10950	0.95-1.05	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1100	G11000	1.00-1.10	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1105	G11050	1.05-1.15	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1110	G11100	1.10-1.20	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1115	G11150	1.15-1.25	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1120	G11200	1.20-1.30	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1125	G11250	1.25-1.35	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1130	G11300	1.30-1.40	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1135	G11350	1.35-1.45	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1140	G11400	1.40-1.50	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1145	G11450	1.45-1.55	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1150	G11500	1.50-1.60	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1155	G11550	1.55-1.65	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1160	G11600	1.60-1.70	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1165	G11650	1.65-1.75	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1170	G11700	1.70-1.80	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1175	G11750	1.75-1.85	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1180	G11800	1.80-1.90	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1185	G11850	1.85-1.95	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1190	G11900	1.90-2.00	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1195	G11950	1.95-2.05	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1200	G12000	2.00-2.10	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1205	G12050	2.05-2.15	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1210	G12100	2.10-2.20	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1215	G12150	2.15-2.25	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1220	G12200	2.20-2.30	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1225	G12250	2.25-2.35	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1230	G12300	2.30-2.40	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1235	G12350	2.35-2.45	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1240	G12400	2.40-2.50	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1245	G12450	2.45-2.55	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1250	G12500	2.50-2.60	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1255	G12550	2.55-2.65	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1260	G12600	2.60-2.70	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1265	G12650	2.65-2.75	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1270	G12700	2.70-2.80	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1275	G12750	2.75-2.85	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1280	G12800	2.80-2.90	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1285	G12850	2.85-2.95	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1290	G12900	2.90-3.00	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1295	G12950	2.95-3.05	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1300	G13000	3.00-3.10	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1305	G13050	3.05-3.15	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1310	G13100	3.10-3.20	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1315	G13150	3.15-3.25	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1320	G13200	3.20-3.30	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1325	G13250	3.25-3.35	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1330	G13300	3.30-3.40	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1335	G13350	3.35-3.45	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1340	G13400	3.40-3.50	0.30-0.60	0.015-0.030	0.010-0.12	..	..	..	..
1345	G13								

Table 10 Compositions of Standard Boron Alloy H-steels

Steel designation AISI or SAE	UNS No.	Chemical composition, %							
		C	Mn	P max	S max	Si	Ni	Cr	Mo
S37030	A30400	0.31-0.41	0.25-1.10	0.030	0.030	0.15-0.30	---	0.21-0.70	---
S31047	A30415	0.32-0.50	0.40-1.10	0.030	0.030	0.15-0.30	---	0.21-0.70	---
S31047	A30415	0.42-0.50	0.65-1.30	0.030	0.030	0.15-0.30	---	0.13-0.61	---
S31047	A30415	0.47-0.54	0.65-1.20	0.030	0.030	0.15-0.30	---	0.30-0.70	---
S31047	A30415	0.55-0.60	0.70-1.30	0.030	0.030	0.15-0.30	---	0.30-0.70	---
S31047	A30415	0.55-0.61	0.75-1.30	0.030	0.030	0.15-0.30	---	0.60-1.60	---
S31047	A30415	0.42-0.47	0.70-1.30	0.030	0.030	0.15-0.30	0.15-0.45	0.20-0.40	0.00-0.10
S31047	A30415	0.21-0.30	0.30-0.90	0.030	0.030	0.15-0.30	0.05-0.25	0.20-0.65	0.15-0.20
S31047	A30415	0.42-0.49	0.70-1.30	0.030	0.030	0.15-0.30	0.25-0.35	0.25-0.65	0.15-0.20
S31047	A30415	0.12-0.18	0.20-1.05	0.030	0.030	0.15-0.30	0.20-0.65	0.20-0.50	0.00-0.10
S31047	A30415	0.11-0.20	0.20-1.05	0.030	0.030	0.15-0.30	0.20-0.65	0.25-0.55	0.00-0.10
S31047	A30415	0.27-0.38	0.70-1.05	0.030	0.030	0.15-0.30	0.25-0.65	0.20-0.55	0.00-0.10

Tabla 10.- Composiciones de aceros H (aleados) de boro estándar

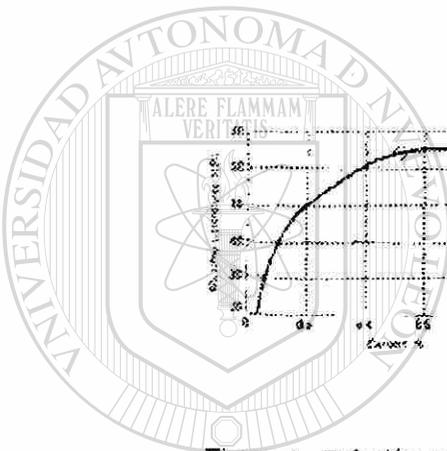


Figura 1.- Relación entre contenido de carbono y máxima dureza. La dureza total puede ser obtenida con tan solo 0.60 C

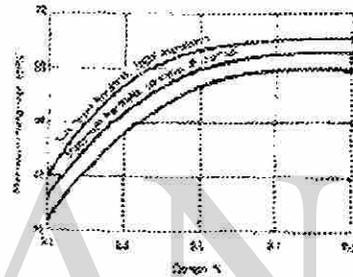


Figura 2.- Relación entre contenido de carbono y máxima dureza. Usualmente contenido en el endurecimiento comercial

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN



2.3.3 METODOS PARA EVALUAR LA DUREZA

Un número de pruebas de dureza han sido concebidos, cada uno con sus ventajas y limitaciones. La mayoría de estas pruebas no son usadas cada una o su uso es restringido a aplicaciones especializadas.

La prueba de templado final ha probado ser el método con el más alto grado de reproducción y ha sido adoptado casi universalmente para evaluar la dureza de virtualmente todos los aceros aleados estandar y para algunos grados de aceros carbón. Las pruebas son relativamente simples de hacer y pueden producir mucha información útil para el diseñador tanto como para el fabricante.

Barras de pruebas para las pruebas de templado final. Aunque las variaciones son algunas veces hechas para acomodar requerimientos específicos, las barras de pruebas para las pruebas de templado final son normalmente de 25.4mm (1 in) , un diámetro por 102 mm (4 in) de largo. Un collar de diámetro de 1 1/8 in (25.5 m.m) es dejado en un final para mantenerlo en una guía o patrón templado como se ilustra en la figura 4.

En esta prueba, el flujo de agua es controlada por una válvula conveniente, de tal forma que la cantidad golpeando el fin del especimen (fig.4) es constante en volumen y velocidad. El agua invade al final del especimen solamente, entonces lo drena. Por esto, los rangos de enfriamiento varían desde los más rápidos posibles en el final de templado hasta muy lento, esencialmente igual al enfriado a temperatura ambiente, por el contrario. Esto resulta en un amplio rango de dureza a lo largo de la barra.

Después que la barra de prueba ha sido templada, dos superficies paralelas opuestas y planas son aterrizadas con el largo de la barra a una profundidad de 0.381 mm (0.015 in). Las determinaciones de dureza Rockwell C son entonces hechas cada 1/16 in. Una instalación fija de indexado de especimen-mantenido es útil para esta operación por conveniencia tanto como por exactitud. Tales instalaciones fijas estan disponibles como accesorios de acoplamiento para probadores Rockwell convencionales. El siguiente paso es grabar las lecturas y trazarlas en papel gráfico para hacer una curva como ilustra la figura 5. Al comparar las curvas resultantes de las pruebas de templado final de diferentes grados de aceros, sin relativa dureza puede ser establecida. Los aceros con más alta dureza serán más duros a una distancia dada establecida. Los aceros con más alta dureza serán más duros a una distancia dada del templado final del especimen que los aceros que tienen menor dureza.

Por lo tanto , entre más plana la curva, más grande la dureza. En las curvas de templado final, la dureza no es usualmente medida más allá de aproximadamente 5mm (2 in), porque las mediciones de dureza mas alla de esta distancia son raramente de alguna significancia.

Alrededor de estas 51 mm (2 in) la distancia de el final de templado, el efecto del agua en el templado final se ha deteriorado, y el efecto de enfriamiento del aire circundante se ha vuelto significativo. Una curva absolutamente plana demuestra las

condiciones de muy alta dureza que caracterizan un acero endurecido al aire tales como algunas de las herramientas de aceros más altamente aleados.

2.3.4 VARIACIONES EN DUREZA

Ya que la dureza es un factor principal en la selección de los aceros y por que la dureza varía en un amplio rango para el carbón estándar y los aceros aleados, muchos grados están disponibles.

Como regla, la dureza en los grados de carbón estándar es muy baja, aunque aun hay una gran variación en dureza entre los diferentes grados. Esta variación depende de una gran extensión en el contenido de manganeso y algunas veces a una menor extensión en las aleaciones residuales que se presentan algunas veces.

Una curva de dureza para un alto grado de manganeso de acero carbón, 1541, se muestra en la figura 6. Esta curva representa cerca de la máxima dureza que puede ser obtenida de cualquier grado de carbón estándar.

En contraste a la curva mostrada en la figura 6, las curvas típicas de dureza para 4 diferentes aceros de carbón aleado 0.50 se muestran en la figura 7. Estos datos enfatizan el hecho que la máxima dureza obtenible es dada por el contenido de carbón, mientras las diferencias en el contenido de aleación afectan marcadamente la dureza.

2.3.5 ACEROS H

Debido a las variaciones normales dentro de los límites presentes de composición, sería irreal esperar que la dureza para un grado dado seguiría siempre una curva precisa como la mostrada en la figura 6 y 7. En lugar de eso, la dureza de cualquier grado variará considerablemente lo que resulta en una banda de dureza tal como la banda 4150 H en la figura 8.

Este acero fué normalizado a 870°C (1600°F), entonces austentizado a 845°C (1550°F) antes del templeado final. Las curvas más alta y baja que representan los límites de la banda de dureza no solamente muestran la posibilidad de variación en dureza en el templeado final, cansado por el rango de carbón permitible de 0.47 a 0.54, pero también la diferencia en dureza como resultado de los elementos de aleación estan en el lado alto o bajo de los límites prescritos.

La necesidad para datos de dureza para usuarios de acero han sido reconocidos. El trabajo cooperativo de AISI y SAE han sido responsable de desarrollar bandas de dureza para un largo número de aceros al carbón y aleados, principalmente el último.

Los aceros que son vendidos como bandas de dureza garantizada son conocidos como aceros H. Las partes numéricas de la designación son los mismos para los otros grados estándar, pero el sufijo de la letra H, como el 4140 H, lo identifica como un acero que tendrá los límites de dureza prescritos.

2.3.6 LIMITES DE COMPOSICIÓN QUIMICA

No todos los aceros listados en las tablas 3 al 8 están disponibles como aceros H, aunque la mayoría de los aceros aleados se pueden conseguir como grados H. Las tablas 2, 9 y 10 listan entre estos aceros al carbón y grados aleados que están actualmente disponibles como aceros H. En orden para dar a los productores de acero la latitud necesaria en la manufactura para límites de dureza común, las composiciones químicas de los grados normales han sido modificados para formar aceros H. Estas modificaciones permiten ajustes en el rango de manufactura de composición química. Estos ajustes corrigen la práctica de fundido para plantas individuales que de otra forma podrían influir las bandas de dureza. Sin embargo, las modificaciones no son lo suficientemente grandes para influir las características generales de la composición original de los aceros.

Figura 1: Relación entre contenido de carbón y máxima dureza.

Figura 2: Relación entre contenido de carbón y máxima dureza. Usualmente obtenida en dureza comercial.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

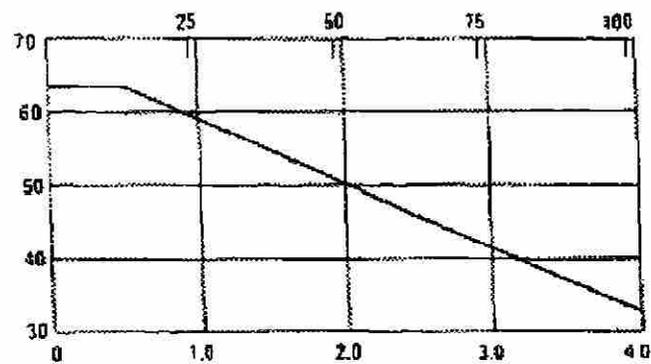


Figura 3: Efecto en el tamaño de la sección en dureza de superficie de un acero carbón 0.54. Templado en agua a 1525°F (830°C).

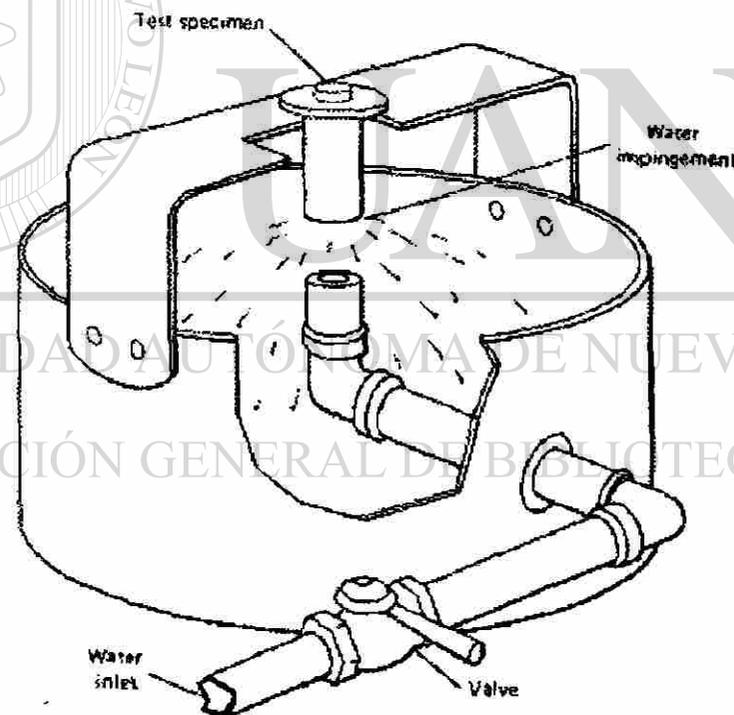


Figura 4: Templado final estándar (Jominy) espécimen de prueba y método de templado en el patrón de templado.

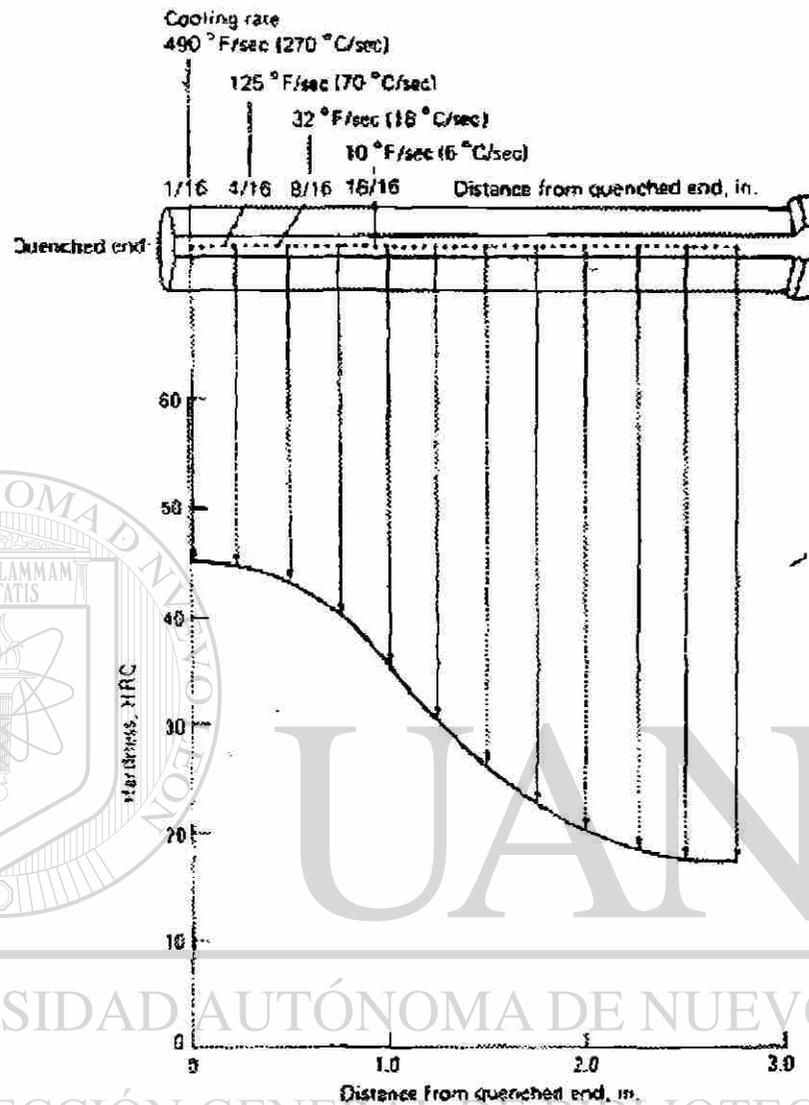


Figura 5: Método de desarrollo de la curva de templeado final al trazar la dureza contra la distancia de templeado final. La dureza trazada cada cuarto de pulgada para mejor claridad, aunque las lecturas Rockwell C fueron tomadas en incrementos de 1/16 de pulgada, como se muestra en la parte superior de la ilustración.

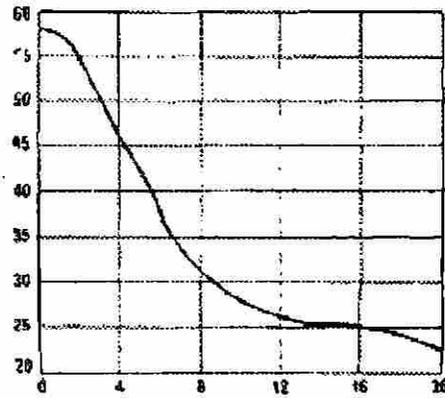
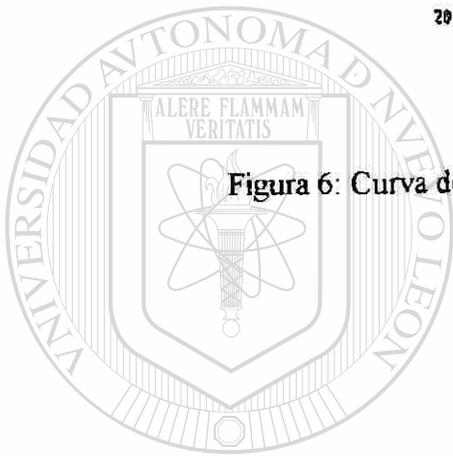


Figura 6: Curva de dureza de templeado final para acero carbón 1541



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

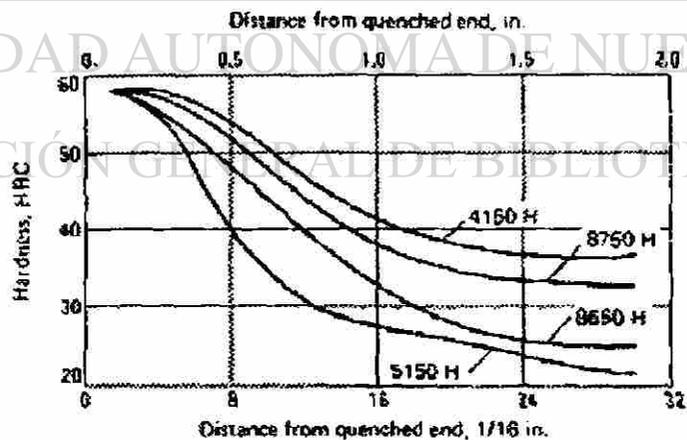
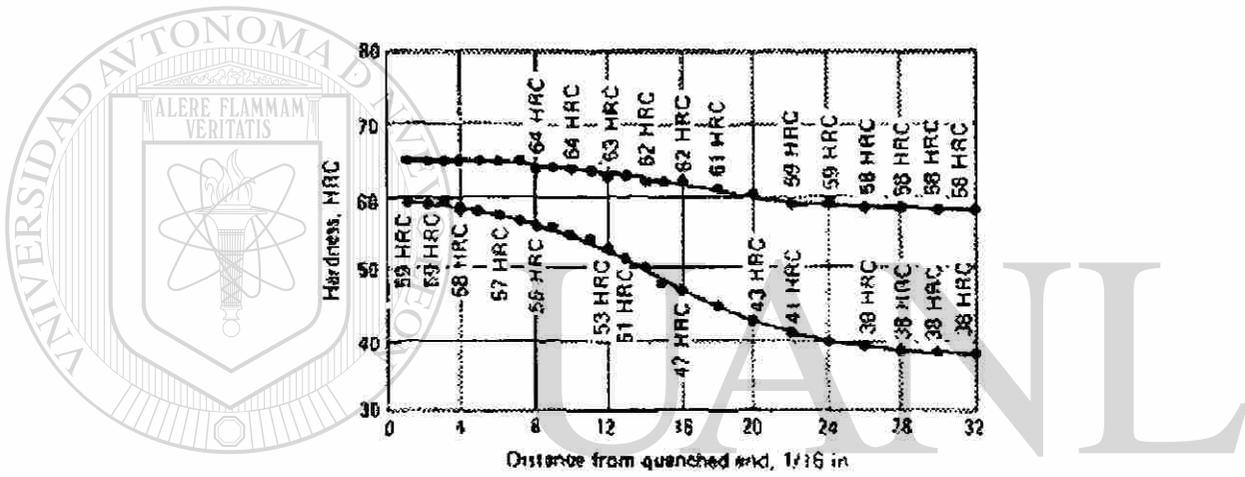


Figura 7: Curva de dureza para diferentes aceros aleados.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 8: Banda de dureza para un Acero aleado.

CAPITULO III

ACEROS PARA HERRAMIENTAS

Los aceros para herramientas representan un pequeño , pero importante segmento de la producción total del acero. Estos aceros son hechos y procesados para lograr altos estándares de control y calidad y son utilizados principalmente para herramientas, troqueles y diversos componentes mecánicos que demandan aceros con propiedades especiales. Más de 100 tipos diferentes de aceros para herramientas son producidos en la actualidad, y si todas las marcas establecidas son puestas todas juntas, el total excederá los 100.

Los aceros para herramientas varían en composición de los aceros al carbono puro, conteniendo hierro y arriba del 1.2% de carbón con insignificantes cantidades de elementos de aleación . Muchos aceros para herramientas son idénticos en composición al carbón y aceros aleados los cuales son producidos en grandes cantidades. Las diferencias radican en las pequeñas cantidades producidas y el alto nivel de calidad involucrado.

3.1 CLASIFICACION DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS

Los aceros para herramientas no se prestan para el tipo de clasificación usado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y el Instituto Americano del hierro y del Acero(AISI) para aceros de baja aleación, porque en este sistema una serie entera de aceros es definida numéricamente, basada en la variación del contenido de carbón solamente. Mientras que algunos aceros para herramientas al carbón y aceros para herramientas de baja aleación son hechas en un amplio rango de contenidos de carbón, la mayoría de los aceros para herramientas de alta aleación tienen comparativamente poco rango de carbón, lo cual hace que dicha clasificación no tenga significado. En cambio un sistema de clasificación combinada es utilizado con los aceros para herramientas, en el cual algunos aceros son agrupados por uso, otros por composición, o por ciertas propiedades mecánicas y todavía otros por el método de tratamiento térmico (precisamente por la técnica de templado.) Los aceros de alta velocidad son agrupados juntos porque ellos tienen ciertas propiedades en común, los aceros templados en agua porque ellos tienen propiedades comunes de dureza, los aceros de trabajo caliente porque también tienen ciertas propiedades comunes y los aceros al alto carbón, y aceros al alto cromo porque tienen composición similar y aplicaciones similares.

3.2 SISTEMA DEL INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO

La tabla que prosigue la introducción incluye la composición de la mayoría de las patentes de los aceros para herramientas. Las especificaciones UNS también son señaladas en esta tabla. Los elementos están ordenados en cantidades nominales las cuales podrán variar para cada productor de aceros para herramientas. Cuando los comerciantes de tratamientos térmicos reciben herramientas para tratar térmicamente, las cuales son identificadas solamente con el nombre del propietario, la identificación AISI deberá ser obtenida antes de efectuar cualquier operación de tratamiento térmico. cierto número de clasificaciones han sido borradas de la lista AISI porque fueron manufacturados en cantidades significantes, y los 72 aceros listados en la tabla cubren todos los requerimientos concebibles. Las estadísticas muestran que más del 50% del tonelaje total de aceros para herramienta producidos son *limitados* a no más de 12 ó 15 composiciones incluidas en la tabla.

El agrupamiento de los aceros para herramienta publicados por la AISI han sido de utilidad y los 9 grupos principales y sus símbolos correspondientes son dados como sigue:

NOMBRE	SÍMBOLO
ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDOS EN AGUA	W
ACEROS PARA HERRAMIENTAS RESISTENTES AL IMPACTO	S
ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDOS EN ACEITE	O
ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDOS EN AIRE	A
ACEROS PARA HERRAMIENTAS AL ALTO CARBON, ALTO CROMO	D
ACEROS PARA MOLDE O FORMADO	P
ACEROS PARA HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN CALIENTE	H
CROMO, TUNGSTENO, Y MOLIBDENO.	
ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TUNGSTENO, ALTA VELOCIDAD	T
ACERO PARA HERRAMIENTA DE MOLIBDENO ALTA VELOCIDAD	M

3.2.1 ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDAS EN AGUA

Las tres clasificaciones listadas en la tabla bajo el símbolo W son esencialmente aceros al carbón y son los más económicos de los aceros para herramientas. Ellos son templados en agua para obtener la dureza necesaria y, excepto en tamaños muy pequeños se endurecerá con corazón suave. Estos aceros pueden ser utilizados por una amplia variedad de herramientas, pero ellas no tienen limitaciones. aceros W están disponibles en un rango de contenido de carbón, y la selección del contenido de carbono esta basada en la temperatura máxima o la resistencia máxima que es la más importante.

El bajo contenido de carbón proporciona la máxima dureza. A pesar de que todos los aceros W tienen relativamente baja dureza, estas clasificaciones están disponibles usualmente en endurecimiento superficial, mediano o profundo, y esta propiedad es controlada por el productor. De las tres composiciones listadas, la W1 es la mas utilizada.

3.2.2 ACEROS PARA HERRAMIENTAS RESISTENTES AL IMPACTO

Cinco aceros son listados bajo el símbolo S. Como podrá ser visto en la tabla, el contenido de aleación en estos aceros varían grandemente, resultando en una amplia variación de dureza entre las cinco clasificaciones. Sin embargo, todos los aceros S están destinados para aplicaciones que requieren extrema dureza incluyendo fuerza, cizallamiento y cincelamiento operando con aire. La clasificación S1 (relacionado con tungsteno), y S5 (Alto Silicio) son los más utilizados.

3.2.3 ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDOS EN ACEITE DE TRABAJO EN FRIO

Cuatro clasificaciones son listadas en la tabla bajo el símbolo O. como grupo, el endurecimiento de éstos aceros es mucho mayor que la de la clasificación W, por lo tanto, pueden ser endurecidos por medio del temple en aceite. La clasificación O1 es por mucho, la más popular de este grupo.

Una porción del carbón en O6 es en la forma de grafito, lo que proporciona mejor maquinabilidad, un factor importante en la fabricación de troqueles. En adición, las partículas de grafito en su microestructura proporciona un lubricante, dando a estos aceros una mejor vida en los troqueles para mejores operaciones. O7 en ocasiones es utilizado para ciertos troqueles en los que es esencial retener filo para cortar porque estos aceros tienen más carbón que adiciones de tungsteno.

3.2.4 ACEROS PARA HERRAMIENTAS ENDURECIDAS EN AIRE DE TRABAJO EN FRIO DE ALEACION MEDIA

Los aceros para herramientas de trabajo en frío listados bajo el símbolo A cubren un amplio rango de carbón y contenidos de aleación, pero todos tienen alto endurecimiento y muestran un alto grado de estabilidad dimensional en tratamiento térmico. Los tipos de bajo carbón, A8 y A9, ofrecen más resistencia al impacto que los otros aceros en este grupo, pero son menos resistentes al desgaste. El tipo A7, el cual tiene altos contenidos de carbón y vanadio, muestra máxima resistencia a la abrasión, pero debería restringirse para aplicaciones en donde la dureza no es la principal consideración. Como puede ser visto en la tabla, A10 también es un acero grafitico, y tiene propiedades similares a O6 excepto que A10 es mayor en dureza. De las clasificaciones listadas en este grupo, A2 es la más ampliamente utilizada.

3.2.5 ACEROS PARA HERRAMIENTAS DE ALTO CONTENIDO DE CARBON, ALTO CONTENIDO DE CROMO DE TRABAJO EN FRIO

Los aceros de trabajo en frío listados bajo el símbolo D son todos caracterizados por su alto contenido de carbón (1.5 a 2.35%) y un contenido nominal de cromo de 12.0%. Los tipos que contienen molibdeno pueden ser endurecidos en aire. Todas las clasificaciones de este grupo pueden ser endurecidas en aire. Todas las clasificaciones de este grupo tienen, en extremo, alta resistencia al desgaste abrasivo, la cual se incrementa a medida que se incrementa el carbón y vanadio. La clasificación D7 es una de las más conocidas de los aceros resistentes a la abrasión, y comúnmente es utilizada para ciertas aplicaciones rigurosas como moldes del ladrillo.

Sin embargo, las características que proporcionan su resistencia a la abrasión lo hacen muy difícil de maquinar o triturar. La clasificación D5, ya que es una adición de cobalto, puede ser utilizada para formación en caliente u operaciones de corte a temperaturas por encima de los 480 grados C (900 grados F). De las cinco clasificaciones listadas a este grupo, la D2 es la más utilizada.

3.2.6 ACEROS PARA HERRAMIENTAS DE BAJA ALEACION DE OBJETIVOS ESPECIALES

Los aceros para herramientas listados bajo el símbolo L cubren un amplio rango de contenidos de aleación y propiedades mecánicas. Son ampliamente utilizadas para componentes de troqueles y partes de maquinaria. Los dos, L6 y la versión de bajo

carbón de L2, comúnmente son utilizados para aplicaciones que requieren extrema dureza incluyendo herramientas para taladrar y presionar.

3.2.7 ACEROS PARA FORMADO

Los aceros para herramientas listados bajo el símbolo P son generalmente utilizados para aplicaciones de moldeo. Los tipos P₂ y P₆ tienen bajo contenido de carbón y usualmente tienen baja dureza para facilitar el enfriamiento de las impresiones. Son carburizadas para desarrollar las propiedades requeridas en la superficie para dar forma a plásticos por inyección y compresión

Los tipos P₂₀ y P₂₁ usualmente son previstos antes de la condición de endurecimiento para que la cavidad sea maquinada y la forma sea puesta directamente a servicio. Estas clasificaciones pueden ser utilizadas para dar forma a plásticos, troqueles de zinc y bloques de sostenimiento.

3.2.8 ACEROS PARA TRABAJO EN CALIENTE

Los aceros para trabajo en caliente son divididos en tres grupos : cromo, tungsteno, y molibdeno.

De las cinco clasificaciones de aceros para trabajo en caliente de cromo listados en la tabla , las clasificaciones H₁₁ y H₁₃ son las más utilizadas, las dos son utilizadas también para aplicaciones sin herramientas, notablemente han la industria aeroespacial. Las aplicaciones principales de herramientas incluyen introducción de troqueles, cuchillos para cortar y troqueles para aleaciones de aluminio.

Las clasificaciones H₁₄ y H₁₉ son en ocasiones utilizadas para aplicaciones donde la mayor resistencia al calor es requerida, incluyendo troqueles. Los tipos de tungsteno son utilizados para aplicaciones de trabajo en caliente donde la resistencia al efecto suave de elevadas temperaturas es la más importante y un grado menor de dureza puede ser tolerado. De las seis clasificaciones listadas en la tabla, H₂₁ y H₂₆ son las más comúnmente utilizadas.

Los tipos de molibdeno son modificaciones de bajo carbón y aceros de molibdeno de alta velocidad. Estos ofrecen excelente resistencia al efecto suave de elevadas temperaturas, pero al igual que el tipo de tungsteno, deben ser restringidos para aquellas aplicaciones en las que la menor ductilidad es aceptable.

3.2.9 ACEROS DE ALTA VELOCIDAD

Los aceros de alta velocidad son divididos en tres grupos: (a) Aquellos que llevan el símbolo T donde el tungsteno es el principal elemento de aleación; (b) Aquellos con el símbolo M que indica que el molibdeno es el principal elemento de aleación; (c) un grupo de aceros de mayor aleación que son utilizados para evaluar alta dureza.

T₁ fue el primero de los aceros de alta velocidad; a pesar de que todas las clasificaciones de tungsteno son utilizados con límites por el costo y habilidad cuestionable de tungsteno. De los 7 aceros T, T₁ como proposición general y T₁₅ alto vanadio y cobalto, son los más utilizados comúnmente. T₁₅ es utilizado para herramientas de corte que son expuestas a calor excesivo o servicios de abrasión.

Los aceros para herramientas M son distinguidos por tener al molibdeno como principal elemento de aleación, a pesar de que muchos contienen ciertas cantidades de Tungsteno o cobalto. Los tipos con mayor contenido de carbón y vanadio proporcionan resistencia a la abrasión, pero la maquinabilidad podrá ser adversa. Las series que comienzan con M₄₁ es caracterizada por la excepcional alta dureza que posee en los tratamientos térmicos, alcanza una dureza, tan alta como Rockwell C. Para ser utilizados como herramientas de corte, algunos de los aceros de alta velocidad M son exitosamente utilizados para aplicaciones de trabajo a frío como troqueles. Para esas aplicaciones, los aceros de alta velocidad son endurecidas a temperaturas más bajas que aquellas utilizadas para herramientas de corte.

3.2.10 ACEROS PARA HERRAMIENTA ENDURECIDOS EN AGUA (SERIE W)

Los tres tipos de aceros herramienta endurecidos en agua considerados (W₁, W₂, W₅) son esencialmente aceros al carbón y están entre los aceros herramienta menos caros. Como una clase, estos aceros son relativamente bajos en dureza, aunque son arbitrariamente clasificados y están disponibles como aceros de bajo espesor de dureza, de media dureza, y de tipos de dureza muy profunda. excepto en tamaños muy pequeños los aceros W endurecerán con una envoltura muy dura y un núcleo muy suave. Esta baja dureza es frecuentemente una ventaja, debido a esto se permite obtener las propiedades de núcleo duro en combinación con la dureza de alta superficie. Están disponibles en un rango de contenido de carbón, permitiendo la dureza máxima con un contenido de carbón ó la máxima resistencia usable con un amplio contenido de carbón, dependiendo para lo que se haya planeado usar.

Los aceros herramientas endurecidos en agua son más comúnmente endurecidos por el templado en agua o salmuera. Sin embargo las secciones delgadas pueden ser endurecidas ya sea por el templado en aceite con menos distorsión y peligro de que se rupturen a que haya ruptura si estas secciones fueran templadas en agua o salmuera. En general estos aceros no están normalizados excepto después de la forja o antes del

tratamiento de recalentado, para el refinamiento del grano y producir una estructura más uniforme. Las partes deben estar producidas contra la decarburización durante el enfriado al aire.

Estos aceros se reciben de la abastecedora en condición de recocido y no se necesita recocido posterior más adelante. La liberación de esfuerzos antes del endurecimiento es algunas veces empleado para minimizar la distorsión y las fracturas, particularmente cuando las herramientas son complejas han sido severamente trabajadas en frío. Similarmente, el precalentamiento antes de la austenización es inusual excepto para herramientas muy largas o aquellas con secciones cruzadas intrincadas.

Para producir la máxima profundidad de dureza en los aceros de herramientas de endurecimiento al agua, es esencial que sean templados tan rápido como sea posible. En la mayoría de las veces, el agua una solución de salmuera consistente de 10WT% de NaCl en agua es usado. Para un templado más veloz, una solución de salmuera que congelada pueda ser usada. Estos aceros deberían ser revenidos inmediatamente después del endurecimiento, preferiblemente antes de que alcance la temperatura ambiente. Los baños de sal, los baños de aceite y los hornos de aire son todos satisfactorio para el revenido. Sin embargo las temperaturas de trabajo para ambos, aceite y sal son limitadas; el mínimo para la sal es de cerca de 165 C (325 F), y el máximo para el aceite es de alrededor de 205 C (400 F).

Las herramientas deberían de ser colocadas en un horno tibio (de 200 a 250 F ó 93 a 120 C) y entonces ser traídos a la temperatura de revenido con el horno . La resistencia a la fractura por impacto inicialmente se incrementa con la temperatura de revenido alrededor de 180 C (360 F), pero cae rápidamente al mínimo que de cerca de 260 C (500 F). Un doble revenido puede ser requerido para revenir cualquier martensita que se haya formado de austenita revenida durante el enfriamiento en el primer ciclo de revenido.

W1 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

COMPOSICION QUIMICA

NORMA AISI

0.60 a 1.40 C

UNS

0.60 a 1.50 C , 0.15 Cr máx. , 0.20 Cu máx., 0.10 a 0.40 Mn, 0.10 Mo máx., 0.20 Ni máx., 0.025 P máx., 0.025 S máx., 0.10 a 0.40 Si, 0.10 V máx., 0.15 W máx.

ACEROS SIMILARES

UNS T72301

ASTM A686 (W1)

SAE J437 (W108, W109, W110, W112), J438 (W108, W109, W110, W112)

CARACTERISTICAS

Capaces de endurecerse en una superficie de dureza alta y un núcleo suave lo cual es muy usual en algunas aplicaciones de choque o impacto. Herramientas de bajo costo con muy buena resistencia usable, conforme el contenido de carbono se incrementa. Templado al agua con cobre estabilidad dimensional. Uso limitado para secciones uniformes correctamente con una mínima cantidad de elevadores de tensión o la fractura del templado puede ocurrir.

La forja comienza de 980 a 1065 C (1800 a 1950 F). Use el rango de temperatura superior para 0.60 a 1.25 C, y el rango de temperatura más baja para 1.25 a 1.50 C, no forjar más abajo de 815 C (1500 F).

PRACTICA DE TRATAMIENTO TERMICO RECOMENDADO

NORMALIZADO. Para 0.60 a 0.75 C, calentar a 815 C (1500 F), para 0.75 a 0.90 a 790 C (1450 F); para 0.90 a 1.10 C 870 C (1600 F); para 1.10 a 1.50, 870 a 925 C (1600 a 1700 F). Después de un calentamiento uniforme el tiempo de mantenimiento varia de aproximadamente 15 minutos para las secciones pequeñas y alrededor de una hora para las secciones largas.

El trabajo es enfriado a temperatura ambiente.

RECOCIDO. Para 0.60 a 0.90 C, calentar a 740 a 760 C (1360 a 1400 F), para 0.90 a 1.50 C, calentar a 760 a 790 C (1400 a 1450 F), use el limite más bajo para las secciones pequeñas y el más alto para las secciones largas. El tiempo de espera varia. Las secciones arriba de 25 mm. (una pulgada) requiere al menos 20 minutos, 203 mm. (8 pulg.) requieren 2.30 horas, para el empaquetado del recocido, manténgase por 1 hr. por pulgada de sección usada. Enfriense en un rango máximo de 28 C (50 F) por hr. a 540 C (1000 F), después de la cual el enfriamiento controlado ya no es necesario. La dureza después del recocido, es de 156 a 201 HB.

LIBERACION DE TENSION. Es opcional. calentar de 650 a 675 C(1200 a 1250 F) y mantener por una hora por pulgada de sección usada, (mínimo una hora). Y enfriar al aire.

ENDURECIMIENTO. El precalentamiento es necesario solamente para secciones intrincadas o secciones largas donde las temperaturas pudieran diferir apreciablemente de una superficie al centro. Calentar lentamente de 760 a 845 C (1400 a 1500 F), usando el final superior del rango de temperatura para contenidos de bajo carbono y el rango de temperatura menor para contenidos de alto carbono. Usando temperaturas del final superior del rango de temperaturas incrementará en la dureza. La austenización por 10 min. para las secciones pequeñas y 30 min. para las secciones largas. Templar en agua agitada o salmuera. Un rocío dirigido en una configuración de ranura, como una cavidad muerta o en un final de trabajo de un punzón es usualmente utilizada para obtener la

máxima dureza y la tensión compresiva residual en un área deseada. La dureza de templado aproximada es de 75 a 68 HRC.

REVENIDO. Revenir inmediatamente después del endurecimiento, preferiblemente antes de que la herramienta alcance la temperatura ambiente del cuarto, aproximadamente a 49 C (120 F) es óptimo . Permitir a las herramientas templadas permanecer a la temperatura del cuarto o colocarlas en un horno frío las llevaria hacia la fractura. Por lo tanto colocar las herramientas en un horno tibio de 94 a 120 C (200 a 250 F) inmediatamente después del templado para que vayan subiendo junto con el horno conforme suba la temperatura. Con excepción de piezas largas el trabajo se calentará a alrededor del mismo tiempo que el horno. Revenir a temperaturas no menores de 175 C (350 F) y/o arriba de 345 C (645 F). Una hora hasta la temperatura que es usualmente adecuada, un tiempo de impregnación térmica adicional disminuiría más adelante la dureza. Un doble revenido podría ser requerido. Las bajas temperaturas usadas en el revenido eliminan la necesidad para el control de la atmósfera. Dureza aproximada por revenido, 50 a 64 HRC.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO

- NORMALIZADO
- MAQUINA DE RUGOSIDAD
- LIBERACION DE ESFUERZOS (OPCIONAL)
- MAQUINA DE ACABADO
- RECALENTAMIENTO
- AUSTENIZADO
- TEMPLADO
- REVENIDO (DOBLE REVENIDO, OPCIONAL)
- ESMERILADO FINAL PARA EL TAMAÑO

W2

COMPOSICION QUIMICA

AISI: Nominal. 0.60 a 1.40 C, 0.25 V.

UNS: 0.60 a 1.50 C, 0.15Cr max, 0.20 Cu max, 0.10 a .040 Mn, 0.10 Mo max, 0.20 Ni max, 0.030 Pmax, 0.030 Smax, 0.10 a 0.40 Si, 0.15 a 0.35 V, 0.15 W max.

ACEROS SIMILARES:

UNS T72302

ASTM a686 (W-2)

FED QQ-T-580 (W-2)

SAE J437 (W209), (W210), J438 (W209), (W210).

CARACTERISTICAS:Capaz de endurecer en superficies de alta dureza y núcleos suaves lo cual es usual en algunas aplicaciones de choque. Los aceros para herramienta de bajo costo con muy buena resistencia de uso conforme el contenido de carbón se incrementa. Templados en agua con pobre estabilidad dimensional. Uso limitado para secciones que sean uniformes con la mínima cantidad de elevadores de tensión ó la fractura de templeado puede ocurrir.

FORJA:Para comenzar la forja a 1800 a 1950 °F (980 a 1065 °C), use el rango de temperatura más elevada para 0.60 a 1.25 C, y el rango de temperatura menor para 1.25 a 1.50 C, no forjar mas bajo de 1500 °F (815 °C).

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO.

NORMALIZADO.Para 0.60 a 0.75 C calentar a 1500 °F (815 °C); para 0.75 a 0.90 C, 1450 °F (790 °C); para 0.90 a 1.10, 1600 °F(870 °C); para 1.10 a 1.50 C, 1600 a 1700 °F (870 a 925 °C). Después de un calentamiento uniforme, el tiempo de espera varía de aproximadamente 15 min. en secciones pequeñas alrededor de 1 hr. para las secciones largas. El trabajo es enfriado desde la temperatura en el aire.

RECOCIDO:Para 0.60 a 0.90, calentar a 1360 a 1400 °F (740 a 760 °C); para 0.90 a 1.50C, calentar a 1400 a 1450 °F (760 a 790 °C). Usese el limite menor para las secciones pequeñas y el límite superior para las secciones largas. El tiempo de mantenimiento varía al menos 20 min. para secciones de 1 pulgada (25mm) a 2½ horas por secciones de 8 pulgadas (203 mm)). Para recocido empaquetado manténgase por 1 hora por pulgada de sección cruzada. Enfriara un rango máximo de 50 °F (28 °C) por hora hacia a bajo de 1000 °F (540 °C), después de lo cual el enfriamiento ya no es necesario. La dureza después del recocido, 156 a 201 HB.

LIBERACION DE ESFUERZOS

LIBERACION DE TENSION. OPCIONALCalentar a 1200 a 1250 °F (650 a 675 °C) y mantener por 1 hora por pulgada de sección cruzada (mínima por 1 hora). Enfriar en el aire.

ENDURECIMIENTO. El precalentado es necesario solamente para secciones intrincadas ó secciones largas donde las temperaturas podrían diferir apreciablemente de la superficie al centro. Calentar lentamente a 1400 °F a 1550 °F (760 a 845 °C), usando el final superior del rango de temperatura para contenidos de bajo carbono y el final inferior del rango de temperatura para contenidos de alto carbono. Usando temperatura hacia el final superior del rango de temperatura incrementará la dureza. El austenizado en secciones pequeñas por 10 min. y secciones largas por 30 min. Templar en agua agitada o salmuera.

Un rocío dirigido en una configuración de ranura, tal como una cavidad muerta, o en el final de un punzón de trabajo es usualmente usado para obtener la **máxima dureza**

y la tensión comprimida residual en un área deseada. La dureza aproximada por templado, 65 a 68 MRC.

REVENIDO. Revenir inmediatamente después de endurecer, preferiblemente antes de que la herramienta alcance la temperatura del cuarto; aproximadamente 120 F(49 °C) es óptimo. Permitiendo a las herramientas templadas permanecer en la temperatura del cuarto o colocarlas en un horno frío la lleva a la ruptura. Por lo tanto, colocar las herramientas en un horno tibio de 200 a 250 ° F (94 a 120 ° C) inmediatamente después del templado y traerlo a la temperatura de revenido con el horno. Con excepción de piezas largas, el trabajo se calentará aproximadamente al mismo rango que el del horno.

Revenir a temperatura no menores de 350 ° F (175 ° C) y arriba de aproximadamente 650 ° F(345 ° C). Una hora de temperatura es usualmente adecuada; el tiempo de impregnación térmica adicional disminuirá más adelante la dureza. Un doble revenido puede ser requerido. Las bajas temperaturas usadas en el revenido eliminan la necesidad por el control de la atmósfera. Dureza aproximada por el revenido, 50 a 64 HRC.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO

- NORMALIZADO
- MAQUINA DE RUGOSIDAD
- LIBERACION DE TENSION(OPCIONAL)
- MAQUINA DE ACABADO
- RECALENTAMIENTO
- AUSTENIZADO
- TEMPLADO
- REVENIDO (DOBLE REVENIDO OPCIONAL)
- ESMERILADO PARA EL TAMAÑO

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

W5

COMPOSICION QUIMICA

AISI, Nominal. 1.10C, 0.50 Cr.

UNS, 1.05 a 1.15 C, 0.40 a 0.60 Cr, 0.10 a 0.40 Mn, 0.030Pmax, 0.10 a 0.40 Si.

ACEROS SIMILARES

UNS T72305

ASTM A686 (W-5)

CARACTERISTICAS:Capaz de endurecer en superficies de alta dureza y núcleos suaves lo cual es usual en algunas aplicaciones de choque. Los aceros para herramienta

de bajo costo con muy buena resistencia de uso conforme el contenido de carbón se incrementa. Templados en agua con pobre estabilidad dimensional. Uso limitado para secciones que sean uniformes con la mínima cantidad de elevadores de tensión ó la fractura de templado puede ocurrir.

FORJA:Para comenzar la forja a 1800 a 1950 °F (980 a 1065 °C), use el rango de temperatura más elevada para 0.60 a 1.25 C, y el rango de temperatura menor para 1.25 a 1.50 C, no forjar mas bajo de 1500 °F (815 °C).

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO.

NORMALIZADO.Para 0.60 a 0.75 C calentar a 1500 °F (815 °C); para 0.75 a 0.90 C, 1450 °F (790 °C); para 0.90 a 1.10, 1600 °F(870 °C); para 1.10 a 1.50 C, 1600 a 1700 °F (870 a 925 °C). Después de un calentamiento uniforme, el tiempo de espera varía de aproximadamente 15 min. en secciones pequeñas alrededor de 1 hr. para las secciones largas. El trabajo es enfriado desde la temperatura en el aire.

RECOCIDO:Para 0.60 a 0.90, calentar a 1360 a 1400 °F (740 a 760 °C); para 0.90 a 1.50C, calentar a 1400 a 1450 °F (760 a 790 °C). Usese el limite menor para las secciones pequeñas y el limite superior para las secciones largas. El tiempo de mantenimiento varía al menos 20 min. para secciones de 1 pulgada (25mm) a 2½ horas por secciones de 8 pulgadas (203 mm)). Para recocido empaquetado manténgase por 1 hora por pulgada de sección cruzada. Enfriara un rango máximo de 50 °F (28 °C) por hora hacia a bajo de 1000 °F (540 °C), después de lo cual el enfriamiento ya no es necesario. La dureza después del recocido, 156 a 201 HB.

LIBERACION DE ESFUERZOS

LIBERACION DE TENSION.Opcional. Calentar a 1200 a 1250 °F (650 a 675 °C) y mantener por 1 hora por pulgada de sección cruzada (mínima por 1 hora). Enfriar en el aire.

ENDURECIMIENTO. El precalentado es necesario solamente para secciones intrincadas ó secciones largas donde las temperaturas podrían diferir apreciablemente de la superficie al centro. Calentar lentamente a 1400 °F a 1550 °F (760 a 845 °C), usando el final superior del rango de temperatura para contenidos de bajo carbono y el final inferior del rango de temperatura para contenidos de alto carbono. Usando temperatura hacia el final superior del rango de temperatura incrementará la dureza. El austenizado en secciones pequeñas por 10 min. y secciones largas por 30 min. Templar en agua agitada o salmuera.

Un rocío dirigido en una configuración de ranura, tal como una cavidad muerta, o en el final de un punzón de trabajo es usualmente usado para obtener la máxima dureza y la tensión comprimida residual en un área deseada. La dureza aproximada por templado, 65 a 68 MRC.

REVENIDO. Revenir inmediatamente después de endurecer, preferiblemente antes de que la herramienta alcance la temperatura del cuarto; aproximadamente 120 °F (49 °C) es óptimo. Permitiendo a las herramientas templadas permanecer en la temperatura del cuarto o colocarlas en un horno frío la lleva a la ruptura. Por lo tanto, colocar las herramientas en un horno tibio de 200 a 250 °F (94 a 120 °C) inmediatamente después del templado y traerlo a la temperatura de revenido con el horno. Con excepción de piezas largas, el trabajo se calentará aproximadamente al mismo rango que el del horno.

Revenir a temperatura no menores de 350 °F (175 °C) y arriba de aproximadamente 650 °F (345 °C). Una hora de temperatura es usualmente adecuada; el tiempo de impregnación térmica adicional disminuirá más adelante la dureza. Un doble revenido puede ser requerido. Las bajas temperaturas usadas en el revenido eliminan la necesidad por el control de la atmósfera. Dureza aproximada por el revenido, 50 a 64 HRC.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO

- Normalizado
- Maquina de rugosidad
- Liberacion de tension(opcional)
- Maquina de acabado
- Pre calentamiento
- Austenizado
- Templado
- Revenido (doble revenido opcional)
- Esmerilado para el tamaño

3.3 ACEROS PARA HERRAMIENTA RESISTENTES AL IMPACTO (SERIE S)

Los cinco principales aceros en este grupo (S1, S2, S5, S6, Y S7) pueden ser obtenidos con distintas variaciones en su composición para aplicaciones específicas. Estas variaciones pueden requerir modificaciones en el tratamiento térmico que puede ser obtenido desde el abastecedor de acero o determinado por pruebas actuales para aquellos aceros que no se describen abajo. Todos estos aceros contienen desde 0.40 a 0.60% de carbón para asegurar una alta dureza suficiente sin perjudicar la fuerza de impacto y la resistencia de choque.

Los aceros S no están normalizados y, cuando son recocidos, la temperatura de recocido recomendada no debe ser excedida. Esta es especialmente importante cuando se recoce aceros con un alto contenido de carbón. Los aceros de alto-silicon son susceptibles a grafitización y decarburización, la grafitización ocurre a temperaturas excesivamente de alto recocido. Como todos los aceros herramienta, los aceros de la serie S deben ser protegidos contra la decarburización. Los aceros silicon no deben ser impregnados térmicamente a esta temperatura.

Excepto por herramientas extremadamente intrincadas de una amplia variante de sección delgada, la liberación de esfuerzos antes del endurecimiento es rara vez requerida. Cuando la liberación de esfuerzos es empleada, el acero debe de ser enfriado en un horno alrededor de 510°C (950°F) y entonces enfriado al aire.

El precalentamiento previo a la austenización no es obligatorio, pero se desea para herramientas largas, para minimizar la distorsión, para acortar el tiempo a la temperatura de austenización, y para acelerar la producción. Para temperaturas de austenización abajo de 870°C (1600°F), una atmósfera de oxidación ligera es lo mejor, pero una atmósfera reducida es requerida para temperaturas arriba de 870°C (1600°F). Los hornos atmosféricos, los baños neutrales de sal, y el empaquetado de los medios sin contaminantes son ampliamente usados para la austenización.

Los tipos S2 y S5 podrían ser templados casi tan pronto como alcancen la temperatura de austenización; sin embargo, el S1 y el S7, los cuales tienen la más alta dureza de estos aceros, se mantienen a temperaturas de 15 a 45 minutos antes del templado. Todos los aceros resistentes al impacto deberán ser revenidos inmediatamente después del templado para prevenir la fractura. El tipo S1 es usualmente carburizado o carbonitrado para incrementar la dureza de su superficie y la resistencia de uso sin detractarse desde la fuerza de impacto a cualquier extensión.

S1 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

COMPOSICION QUIMICA. AISI: Nominal. 0.50 C, 2.50 W, 1.50 Cr. UNS: 0.40 a 0.55 C, 1.00 a 1.80 Cr, 0.10 a 0.40 Mn, 0.50 Mo max, 0.03 P max, 0.03 S max, 0.15 a 1.20 Si, 0.15 a 0.30 V, 1.5 a 3.00 W.

ACEROS SIMILARES (US y/o foráneos). UNS T41901; ASTM A681(S-1); FED QQ-T-570(S-1); (W. Ger.) DIN 1.2550; (Fr.) AFNOR 55 WC 20; (Ital.) UNI 58 W Cr 9 KU.

CARACTERISTICAS. Disponible en una variedad de composiciones químicas. Variantes de carbón, silicon, tungsteno, y contenido de cromo afecta la respuesta del tratamiento térmico. Las modificaciones en el tratamiento térmico pueden ser obtenidas del abastecedor de acero, si no se cubre en los siguientes datos. Altos contenidos de silicon promueven la grafitización a temperaturas excesivamente altas de recocido.

FORJA. Comenzar la forja a 1010 a 1120° C (1850 a 2050 °F), y no forjar a bajo de 870 ° C (1600 ° F).

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO

NORMALIZADO. No normalizar

RECOCIDO. Calentar 790 a 830 ° C (1450 a 1525 ° F). Usar los límites inferiores para las acciones pequeñas, y el límite superior para las largas. El tiempo de espera varía de una hora para las secciones ligeras y los hornos pequeños cargan a cuatro horas para las secciones largas y cargas largas. Enfriar a un rango máximo de 22° C (40 °F) por hora. El rango máximo no crítico después del enfriamiento de alrededor de 510 ° C (950 ° F). La dureza típica de recocido, 183 a 235 HB.

LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional. Calentar de 650 a 675 ° C (1200 a 1250°F) y mantener una hora por pulgada de sección cruzada (mínimo de una hora). Enfriar en aire .

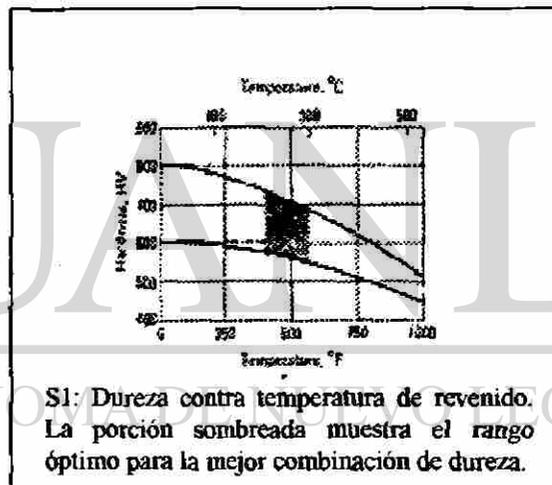
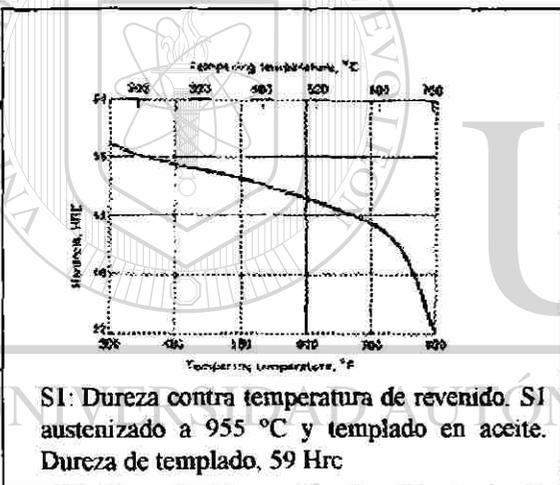
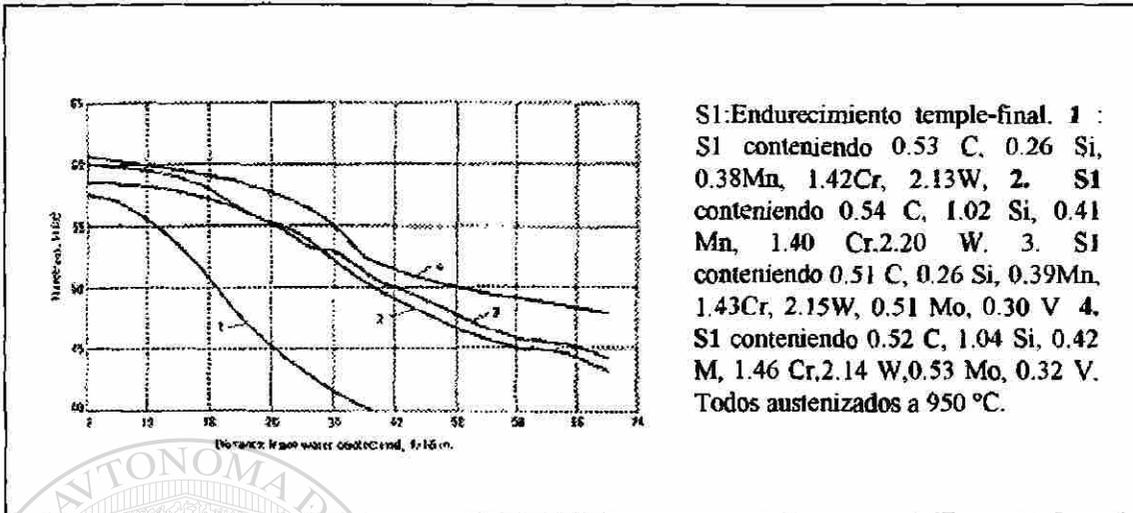
DUREZA. Calentar lentamente. Precalentar a 650 ° C (1200 ° F). Austenizar de 900 a 955 ° C (1650 a 1750 ° F), mantener por 15 a 45 minutos, entonces templar en aceite. Dureza de templado, 57 a 59 HRC.

ESTABILIZACION. Opcional. Para formas intrincadas, el revenido de liberación de esfuerzos de 150 a 160 ° C (300 a 320 °F) brevemente. Refrigerar de -100 a -195 ° C (-150 a -320 °F). Revenir inmediatamente después de que las partes alcancen la temperatura ambiente.

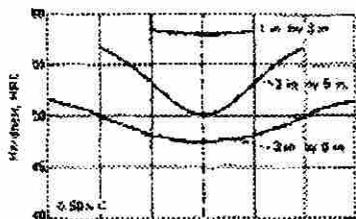
REVENIDO. Para prevenir la fractura, revenir dentro de 30 minutos si se templo a 900 ° C (1650 °F), 15 minutos si es templado a 955 ° C (1750 ° F). El tiempo puede variar con el tamaño y la forma. Revenir de 205 a 650 ° C (400 a 1200 °F). Dureza aproximada de revenido correspondiente a la temperatura de revenido, 58 a 40 HRC.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO.

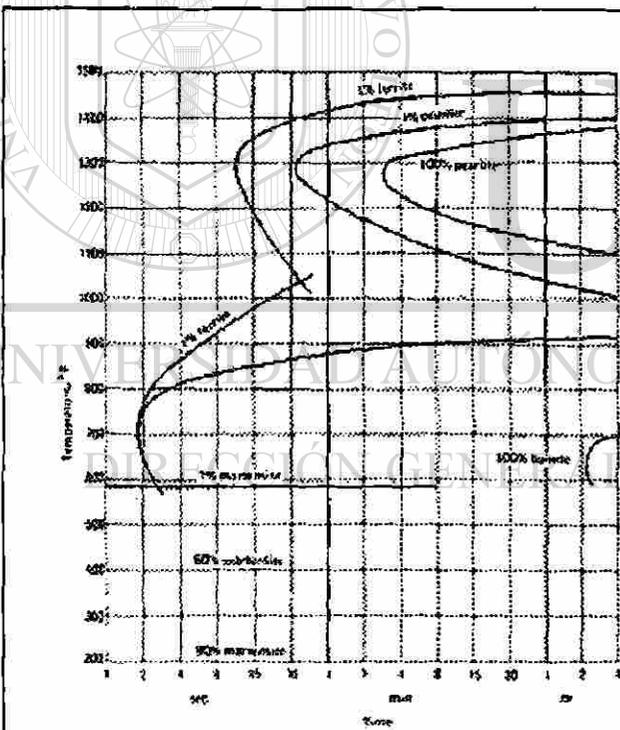
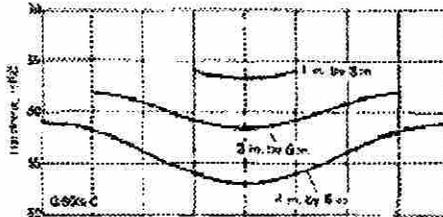
- Máquina de rugosidad
- Liberación de esfuerzos (opcional)
- Máquina de acabado
- Precalentamiento
- Austenizado
- Templado
- Estabilizado (opcional)
- Revenido
- Esmerilado final para el tamaño



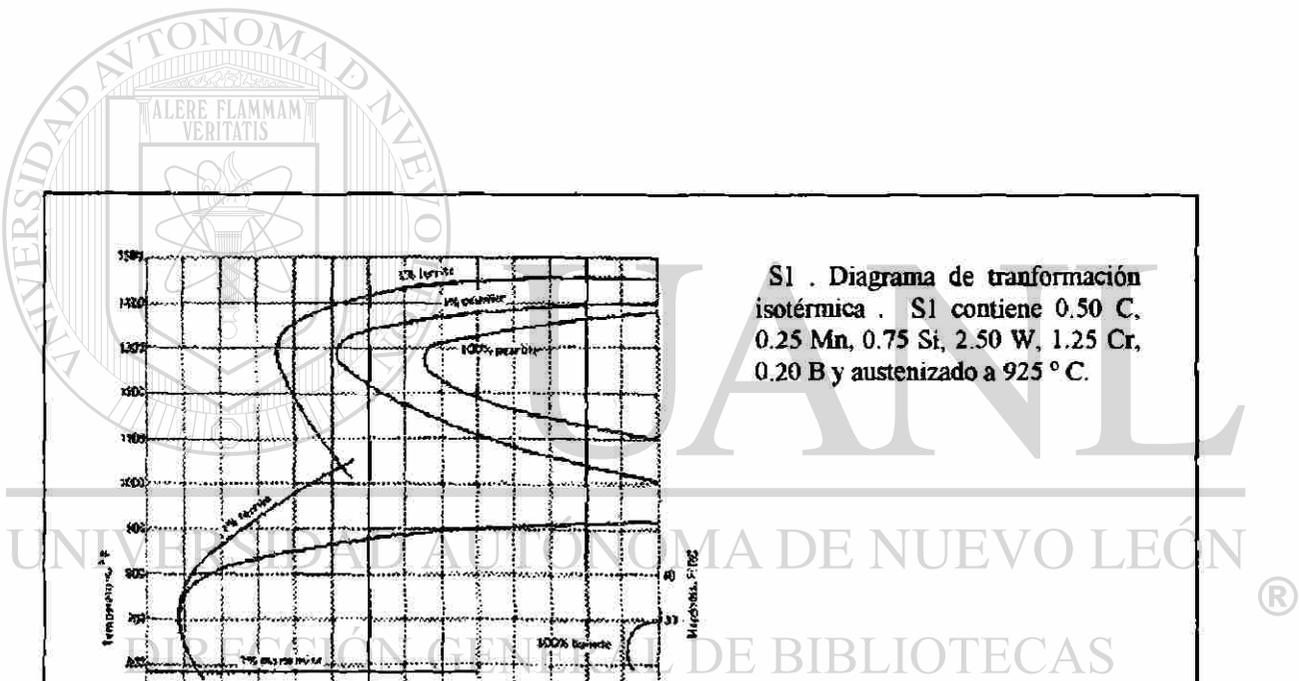
S1: Cross-Sectional Hardness. S1 containing 0.50% and 0.60% C. austenitized at 1700 °F (925 °C) and tempered in oil. (Source: Columbia Tool Steel)

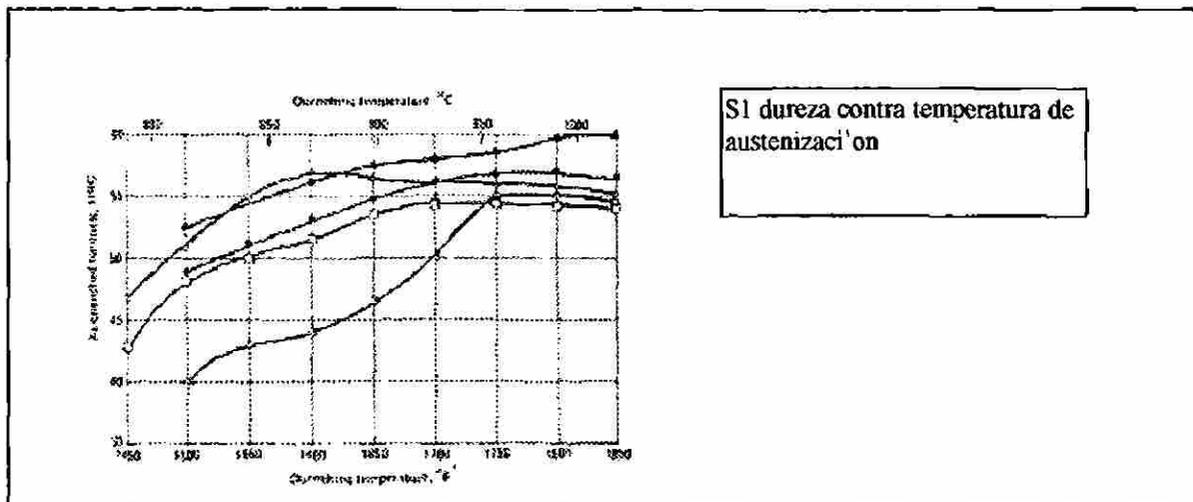


S1. Dureza de sección cruzada. El segundo contiene 0.50 % y 0.60 % C. austenizada a 925 °C y templado en aceite.

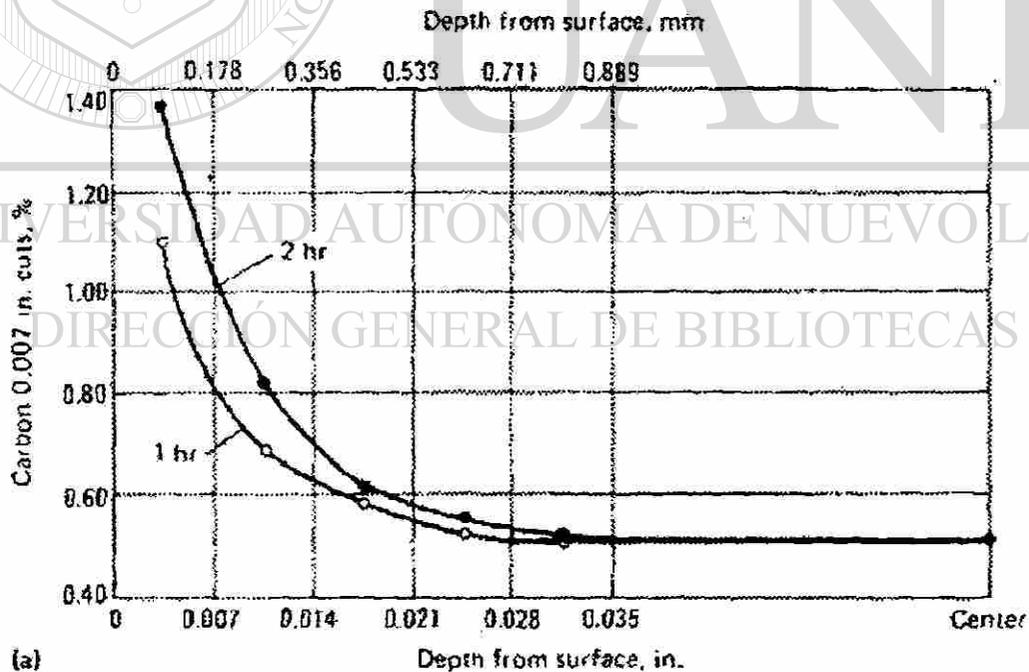


S1. Diagrama de transformación isotérmica. S1 contiene 0.50 C, 0.25 Mn, 0.75 Si, 2.50 W, 1.25 Cr, 0.20 B y austenizado a 925 °C.





S1 : DATOS DE CARBURIZADO. S1 contiene 0.50 C, 2.00 W, 1.65 Cr, 0.25 V, después del empaquetado de carburizado. a) Curvas de penetración del carbón después del empaquetado del carburizado una y dos horas a 900 ° C. b) Efecto de la temperatura de revenido en la dureza de la superficie y el núcleo de muestras templadas en aceites después del empaquetado del carburizado una hora 900 ° C. Las muestras fueron de 2x 3 x 1 ¼ de pulgadas.



3.4 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRÍO ENDURECIDOS EN ACEITE (SERIE O)

Los cuatro estándares de aceros herramienta de trabajo en frío endurecido en aceite son identificados por el símbolo " O " , seguido de los números 1,2,6 o 7 . Como grupo, su dureza es mucho mayor que la de los aceros herramienta endurecidos en agua (serie W), y puede, por lo tanto, ser endurecido por templado en aceite. El

tipo O1 es por mucho el más ampliamente usado, y se produce para virtualmente todos los aceros herramientas de fábrica. Algunas variaciones menores existen en la composición química del acero O1; sin embargo, estas variaciones no afectan el procedimiento del tratamiento térmico *significativamente*. Algunos de los carbones en el acero O6 son en forma de grafito, lo cual algunas veces es un factor en la fabricación de moldes intrincados. Las partículas de grafito en su microestructura también sirven como un lubricante de construcción que da mejor rendimiento en operaciones de extracción profunda. El tipo O7 algunas veces es usado en moldes que requieren la retención de bordes exactos- una propiedad alcanzada por la adición de tungsteno y un alto contenido de carbón.

Los aceros de la serie O generalmente son normalizados para producir una estructura de grano refinado más uniforme especialmente después de la forja o previo calentamiento a temperaturas mucho más altas que las recomendadas para la temperatura de austenización. Cuando las herramientas acabadas o semiacabadas son recocidas, deben ser protegidas de la decarburización y carburización durante el recocido. El acero tipo O1 puede ser ciclado recocido. La mayoría de las veces, la liberación de esfuerzos de las herramientas antes del endurecimiento final no disminuye la distorsión notablemente durante el endurecimiento; sin embargo, el precalentamiento de los aceros O *minimizará la distorsión durante el endurecimiento subsecuente*.

El rango de temperatura óptima para los baños de templado consistente de aceites convencionales es de 49 a 71 ° C (120 a 160 ° F). Se recomienda la agitación. Aunque es usualmente templado en aceite, el acero tipo O7 algunas veces es templado en agua o salmuera cuando la dureza máxima es requerida y están involucradas en secciones pesadas .

Si el control de la distorsión es particularmente importante, el mar-revenido algunas veces es ventajoso. un baño, aceite o sal fundidas, que es usualmente mantenida alrededor de - 4 a 10 ° C (25 a 50 ° F) arriba de la temperatura Ms es empleada. Los aceros O deben de ser revenidos después del templado, esto es, antes de que alcancen la temperatura ambiente. El rango de revenido más comúnmente usado es de 175 a 205 ° C (350 a 400 ° F) . El tiempo a esta temperatura varía con el tamaño de la sección.

O1

COMPOSICION QUIMICA.AISI :Nominal 0.09 C, 1.00 Mn, 0.50 Cr, 0.50 W.UNS: 0.85 a 1.00 C, 0.40 a 0.60 Cr, 1.00 a 1.40 Mn, 0.030 P max , 0.030 S max. 0.050 Si max, 0.30 V max, 0.040 a 0.60 W

ACEROS SIMILARES (U.S. y/o FORANEOS), UNS T31501; ASTM A681 (O-1); FED QQ-T-570 (O-1); SAE J437 (O1), J438 (O1); (W.GER.) DIN 1.2510; (U.K.) B.S. BO1.

CARACTERISTICAS. Alta estabilidad dimensional durante el tratamiento térmico. Endurecimiento relativamente poco profundo. Alta resistencia a la decarburización. Muy alta seguridad al endurecimiento.

FORJA. Comenzar la forja de 980 a 1065 °C (1800 a 1950 ° F). No forjar a bajo de 845 ° C (1550 ° F) .

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO

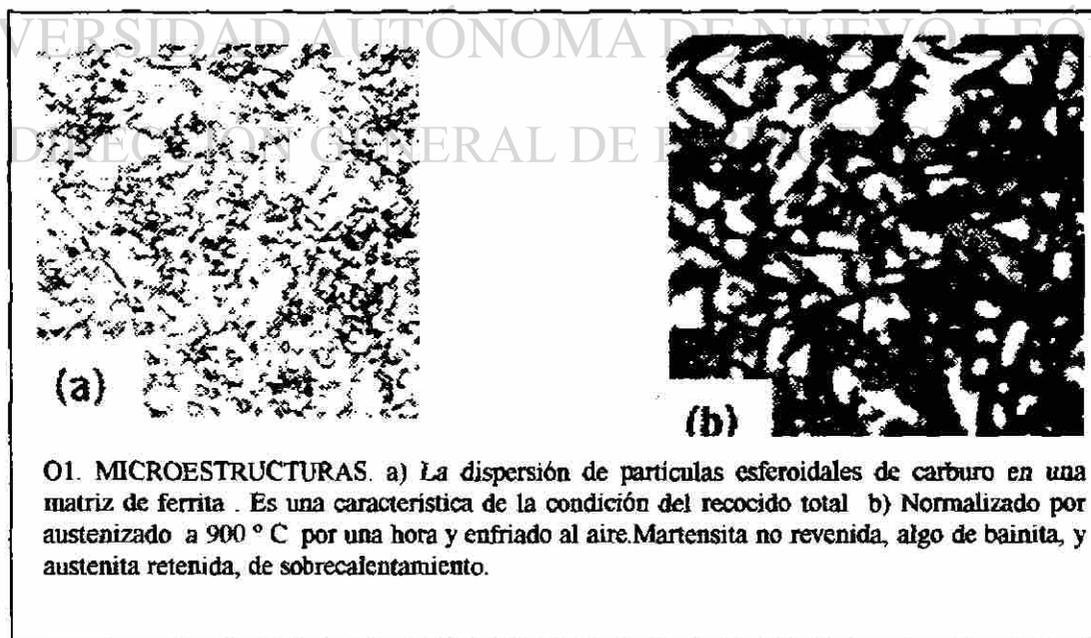
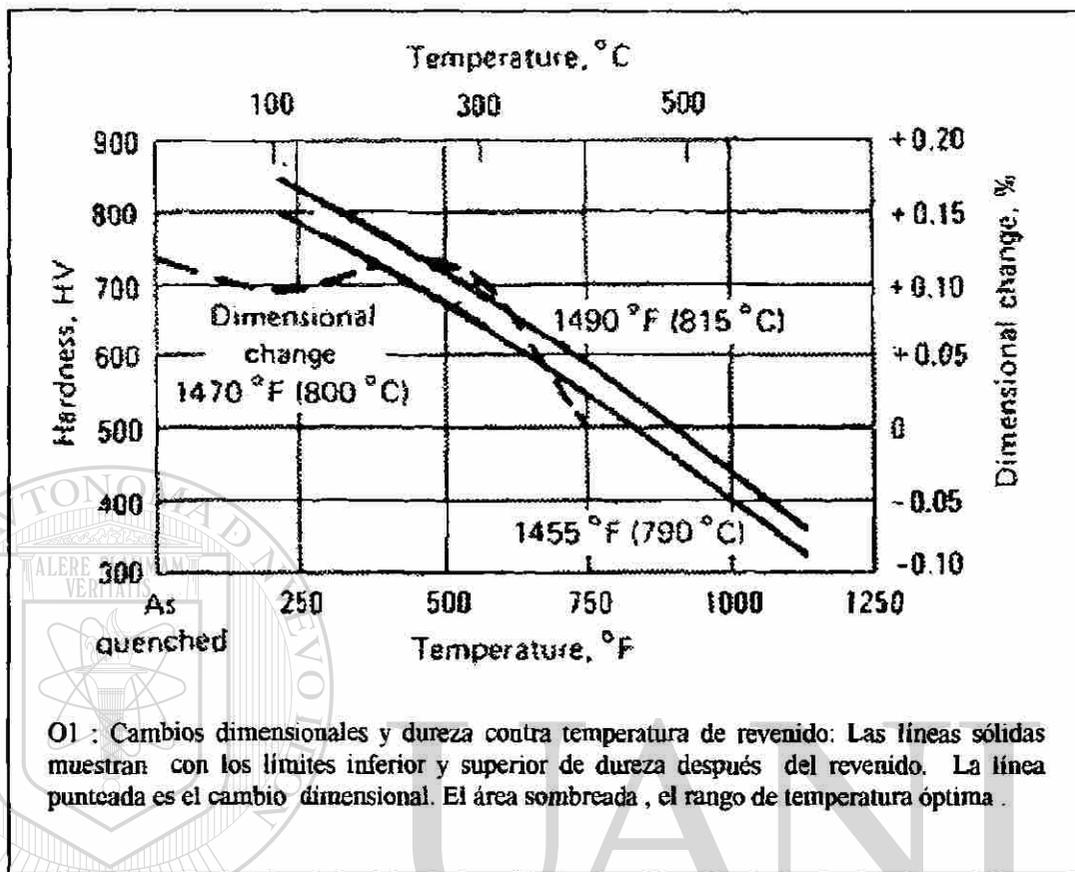
NORMALIZADO. Calentar a 870 ° C (1600 ° F). Tiempo de espera después del calentamiento uniforme, varía de 15 minutos para las secciones pequeñas a alrededor de una hora para las secciones largas . El trabajo se enfría a la temperatura ambiente.

RECOCIDO. Calentar de 760 a 790 ° C (1400 a 1450 ° F). Usar la temperatura más baja para las secciones pequeñas y las temperaturas más altas para las secciones más largas. El tiempo de espera es de una a cuatro horas. Use un tiempo más corto para las secciones ligeras y cargas de horno pequeñas, y un tiempo más prolongado para las secciones y cargas pesadas. Para el recocido empaquetado mantener una hora por pulgada de sección cruzada. Enfriar a un rango máximo de 22 ° C (40 ° F) por hora. El rango máximo no es crítico después del enfriamiento a bajo de 540 ° C (1000 ° F). Dureza típica de recocido, 183 a 212 HB.

RECOCIDO CICLADO. Calentar a 730 ° C (1350° F), mantener por cuatro horas. Calentar a 780 ° C (1440 ° F), mantener por dos horas . Enfriar a 690 ° C (1275 °F), mantener por 6 horas. Enfriar al aire.

LIBERACION DE TENSION. Opcional. Calentar de 620 a 650 ° C (1200 a 1250 °F) una hora por pulgada de sección cruzada (mínima una hora). Enfriar al aire.

DUREZA. Calentar lentamente. Precalentar a 650 ° C (1200 ° F). Austenizar de 790 a 815 ° C (1450 a 1500 ° F) de 10 a 30 minutos, entonces templar en aceite. Dureza de templado, 63 a 65 HRC.



3.5 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRIO ENDURECIDO AL AIRE, ALEACIONES MEDIAS (SERIE A)

Las ocho aleaciones medias, de aceros herramientas de trabajo en frío endurecidos al aire son identificados por la letra "A", seguida por los números del 2 al 4 y del 6 al 10. Todos tienen alta dureza y endurecimiento rápido cuando son enfriados al aire, el templeado medio recomendado. Excepto por el tipo A10, el normalizado más recomendado para cualquiera de los aceros de la serie A.

Todos estos aceros usualmente se entregan en su condición recocida por el fabricante y, por lo tanto, requieren recocido solamente después de la forja o soldadura, o después del reendurecimiento. La liberación de esfuerzos se desarrolla entre el maquinado final y rugoso, o es generalmente imitado a herramientas que no pueden ser afiladas después del endurecimiento o herramientas maquinadas a una forma final que puede ser enderezada después de la liberación de esfuerzos y antes del tratamiento térmico final.

Para minimizar la distorsión, estos aceros son casi siempre precalentados antes de ser austenizados para el endurecimiento. Son austenizados en sal derretida o en varios tipos de hornos, usando atmósferas gaseosas para la protección en contra de la oxidación y/o decarburización. Estos aceros con las temperaturas más bajas de austenización, notablemente A4, A5 y A6, son usualmente austenizados en plomo fundido o en hornos sin atmósferas protectoras. La ausencia de protección es, por su puesto, un riesgo calculado. Temperaturas de excesivo austenizado alto promueve la retención de austenita más allá del enfriamiento y esto debe evitarse. Todos los aceros de la serie A son templeados en aire.

Las prácticas de revenido para los aceros de la serie A son esencialmente los mismos que para las series D y O. El revenido usualmente comienzan cuando los aceros alcanzan una temperatura de 50 a 65 ° C (120 a 150 ° F). Dobles, y aún triples, el revenido es usual para maximizar la transformación de austenita a martensita. La Estabilización de la temperatura abajo de cero es empleado, siempre seguido de revenido para asegurar la fractura en la martensita recién transformada.

Los aceros de la serie A, notablemente el A2 y el A7, son usualmente nitrados después del endurecimiento y revenido, cuando la presencia de una capa de nitrado es ventajosa para una aplicación específica.

Los aceros herramientas A cubren un amplio rango de carbón y contenidos de aleación, pero todos tienen alta dureza y endurecimiento rápido al aire. Todos exhiben una alto grado de estabilidad dimensional en el tratamiento térmico. Esta propiedad acompañada de una buena resistencia de uso y un precio moderado (comparado con el costo de 12 % de grados de cromo de la serie D) hacen a los grados A populares para una multitud de aplicaciones.

El más ampliamente usado es el grado A2. No tiene la resistencia de uso de la serie D, la dureza de la serie S, o la resistencia a la suavidad a temperaturas elevadas de la serie H, pero es más alto en esas propiedades que los tipos de manganeso de esta serie.

Los tipos de bajo carbón A8 y A9 ofrecen una gran resistencia de choque más que otros aceros en este grupo, pero son menores en su resistencia de uso. El tipo A7, el cual tiene un alto contenido de vanadio y carbón, muestra resistencia máxima de abrasión, pero debe ser restringido a aplicaciones donde la dureza no es una consideración primordial. El A10 es un acero grafitico, y tiene propiedades similares al O6 excepto que el A10 es mucho más alto en dureza.

A2

COMPOSICION QUIMICA. AISI: Nominal. 1.00 C, 1.00 Mo, 5.00 Cr. UNS: 0.95 a 1.05C, 4.75 a 5.50 Cr, 1.00 Mn max, 0.90 a 1.40 Mo, 0.030 P max, 0.030 S max, 0.50 Si max, 0.15 a 0.50 V.

ACEROS SIMILARES. (U.S. y/o foráneos). UNS T30102; ASTM A681(A-2); FED QQ-T-570 (A-2); SAE J437 (A2), J438 (A2); (W.Ger) DIN 1.2363; (Fr) AFNOR Z100 CDV5; (Jap) JIS SKD 12; (Swed) SIS 2260; (U.K.) BA2.

CARACTERISTICAS. Endurecimiento profundo, con baja distorsión y tratamiento térmico muy seguro. Alta resistencia a la suavidad a temperaturas elevadas y resistencia media a la decarburización. Tiene una tendencia a retener austenita, la cual es usualmente eliminada o reducida a cantidades insignificantes durante el revenido o el doble revenido.

FORJA. Calentar lentamente. Precalentar de 650 a 675 ° C (1200 a 1250 °F). Comenzar la forja de 1010 a 1095 °C (1850 a 2000°F), y no forjar abajo de 900°C (1650°F). Enfriar lentamente.

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO

NORMALIZADO. No normalizar.

RECOCIDO. Calentar lenta y uniformemente de 845 a 870°C (1550 a 1600°F). Después de la impregnación térmica para el tamaño de la sección, restringir el enfriamiento a un rango máximo de 22° C (40° F) por hora hasta 540°C (1000°F), después de lo cual un rango más rápido puede ser usado. Dureza típica de recocido, 201 a 229HB. Este grado puede ser recocido isotérmicamente por el enfriamiento a 760 °C (1400°F) de la temperatura de recocido, manteniéndolo de 4 a 6 horas y enfriado al aire.

LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional. Calentar de 650 a 675 °C (1200 a 1250°F) y mantener una hora por pulgada de sección cruzada (mínimo una hora). Enfriar al aire.

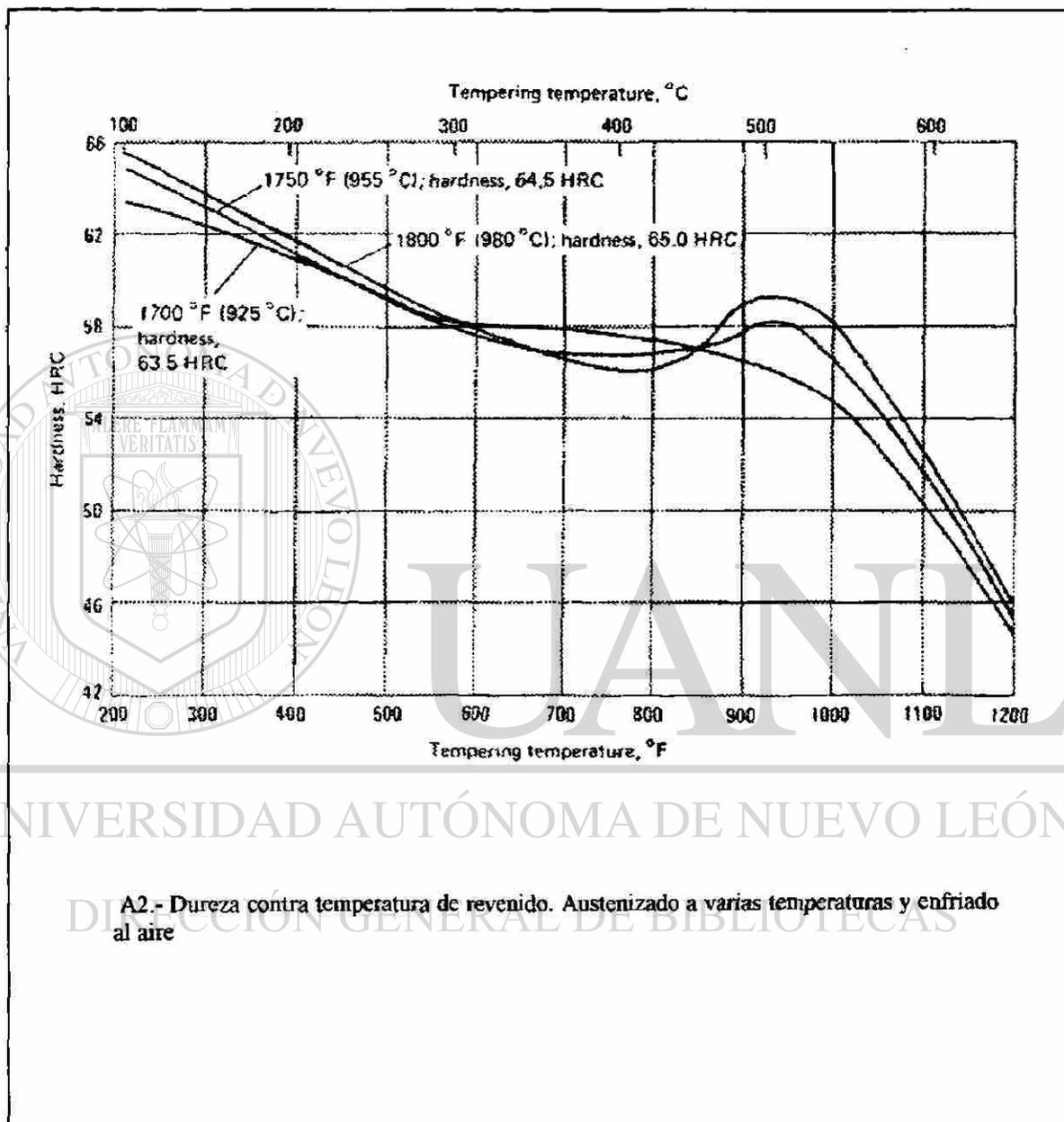
ENDURECIMIENTO. Calentar lentamente. Precalentar a 790 °C (1450°F), austenizar de 925 a 980°C (1700 a 1800°F), y mantener la temperatura por 20 minutos para las herramientas pequeñas a 45 minutos para las herramientas largas. El enfriado al aire debe hacerse para todos los lados, particularmente cuando se enfrían largas cavidades planas. Dureza de templado típica, 62 a 65 HRC.

ESTABILIZACION. Opcional. La baja temperatura del tratamiento puede incrementar la dureza y mejorar la estabilidad dimensional al reducir la cantidad de austenita retenida, particularmente cuando las temperaturas de la parte superior del rango de austenización son empleadas. Es más seguro y recomendado para el revenido de liberación de esfuerzos de 150 a 160°C (300 a 320°F) para un periodo corto antes de refrigerar a -85 °C (-120°F), particularmente para formas intrincadas ó herramientas que tienen cambios abruptos en tamaño de la sección. Revenir inmediatamente después de alcanzar la temperatura ambiente.

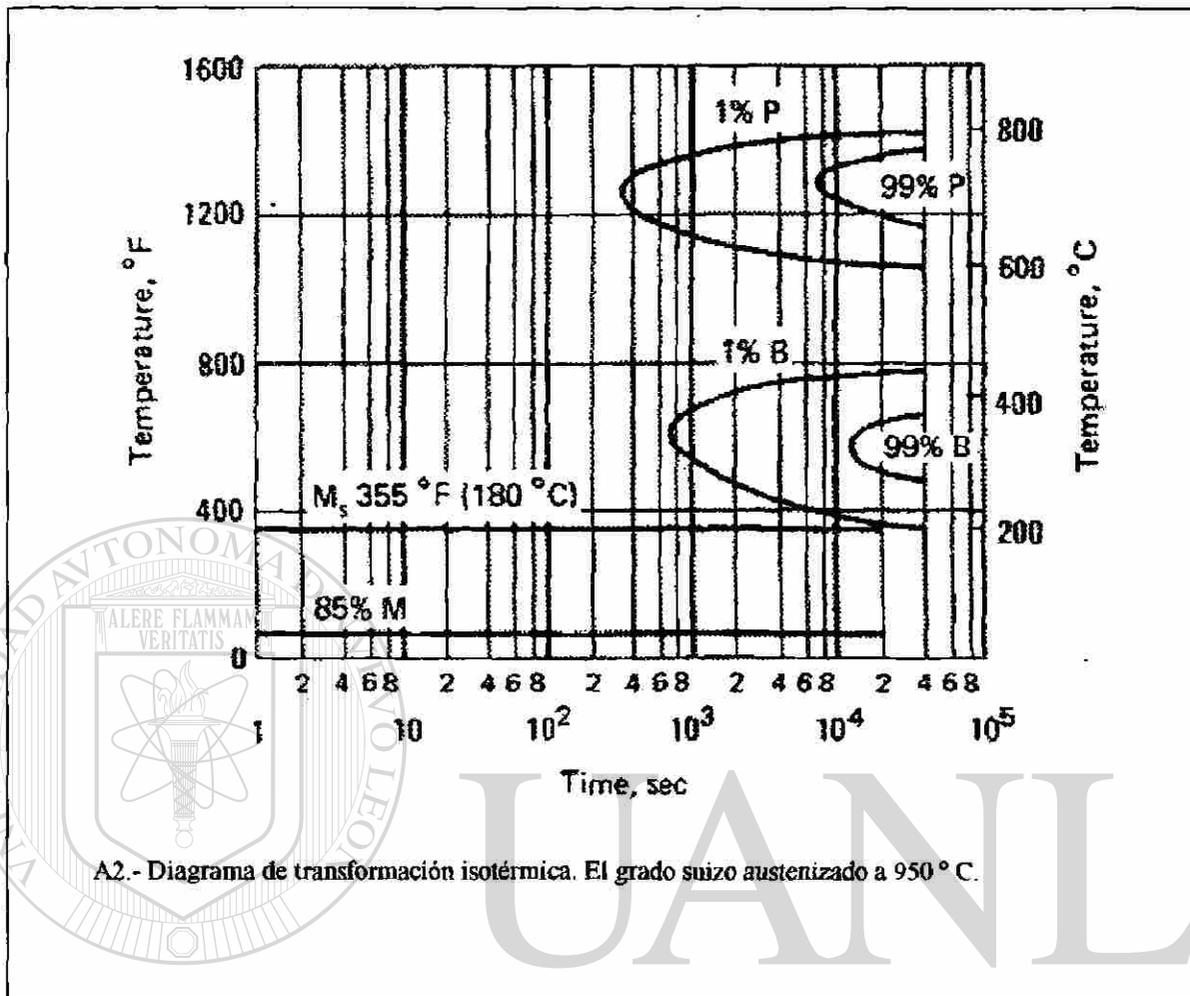
REVENIDO. Revenir inmediatamente de 175 a 540°C (350 a 1000°F) después la herramienta de 50 a 65°C (120 a 150 °F). El doble revenido, permite a la herramienta enfriarse a la temperatura ambiente antes de un segundo revenido. El rango de dureza después del revenido, 62 a 57 HRC. Revenir entre 175 y 230 °C (350 a 450 °F) es recomendable para una máxima resistencia de uso, y entre 370 a 400 °C (700 a 750°F) para una máxima resistencia de choque.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO.

- Máquina de rugosidad
- Liberación de esfuerzos (Opcional)
- Máquina de acabado
- Precalentamiento
- Austenizado
- Templado
- Estabilizar (Opcional)
- Revenido/ Doble revenido
- Esmerilado final



A2.- Dureza contra temperatura de revenido. Austenizado a varias temperaturas y enfriado al aire



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

3.6 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRÍO DE ALTO CROMO, ALTO CARBÓN (SERIE D)

Estos aceros se identifican por la letra "D", se caracterizan por un rango de contenido de carbón de 1.5 a 2.35 % y un contenido nominal de cromo de 12%. Estos aceros que contienen molibdeno pueden ser endurecidos al aire, mientras los que están libres de molibdeno (grado D3) son endurecidos por templeado en aceite.

No se recomienda que los aceros de la serie D sean normalizados. Generalmente, estos aceros se entregan en su condición recocida, pero deben de ser recocidos después de la forja y antes de el reendurecimiento. Las herramientas que no pueden ser afiladas después del endurecimiento son algunas veces liberadas de los esfuerzos después del maquinado de la rugosidad, especialmente aquellas con diseño delicados y muy marcadas en la sección cruzada. En muchos casos, el precalentamiento antes de la austenización reduce la distorsión subsecuente en las partes endurecidas al

minimizar los cambios dimensionales no uniformes durante el austenizado. Los aceros pueden ser austenizados por baños de sal derretida no oxidante, en vacío, o en varios tipos de hornos usando atmósferas gaseosas para evitar la decarburización, notablemente en atmósferas endotérmicas, amoníaco seco disasociado, ó hidrógeno seco. Las temperaturas excesivamente altas durante la austenización promueven austenita retenida y esto se debe evitar. Para obtener la solución requerida de carburo para dureza máxima, estos aceros deben mantenerse a la temperatura de austenización por el tiempo recomendado por lo menos.

Los aceros herramienta de la serie D, excepto el D3, son templados en sal o aire. Dependiendo del tamaño de la sección y otras variables físicas, pueden emplearse diferentes métodos para obtener un enfriamiento acelerado. Estos métodos incluyen el enfriamiento por templado en sal a 540°C (1000°F) y se mantiene lo suficiente para igualar la temperatura a través de todas las secciones de la herramienta, por ventilador o explosión de aire, o templado en aceite a templado negro en aceite hasta que el aceite está abajo de la temperatura a la cual se pone al rojo vivo, entonces se enfría a la temperatura ambiente. El revenido usualmente comienza cuando el acero alcanza una temperatura de 49 a 66 °C (120 a 150 °F). El doble o aún el triple revenido es comúnmente empleado para transformar la austenita retenida.

La baja temperatura del tratamiento de estabilización es opcional y puede incrementar la dureza y mejorar la estabilidad dimensional al reducir la cantidad de austenita retenida, particularmente cuando las temperaturas del rango superior de austenización se usan.

D2

COMPOSICION QUIMICA . AISI : Nominal. 1.50 C, 1.00 Mo, 12.00 Cr, 1.00 V, UNS: 1.40 a 1.60 C, 1.00 Co max, 11.00 a 13.00 Cr, 0.60 Mn max, 0.70 a 1.20 Mo, 0.030 P max, 0.030 S max, 0.60 Si max, 1.10 V max.

ACEROS SIMILARES (U.S. y/o foráneos). UNS T30402; ASTM A681 (D-2); FED QQ-T-570 (D2); SAE J437 (D2), J438 (D2); (W.Ger) DIN 1.2379; (Ital) UNI X 150 Cr Mo 12KU; (U.K.) B.S. BD2

CARACTERISTICAS. Es el más popular y disponible de los aceros de la serie D. Endurecimiento profundo, con baja distorsión y mucha seguridad en el endurecimiento. La alta resistencia a la suavidad y resistencia media a la decarburización. Rápidamente nitrado.

FORJA. Precalear de 650 a 705°C (1200 a 1300 °F). Comenzar la forja de 1010 a 1095 °C (1850 a 2000°F), y parar la forja a 925 °C (1700°F). Enfriar lentamente

después de forjar. Enfriamiento rápido en el aire desde temperaturas elevadas, tales como 925°C (1700°F), no es recomendable.

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO.

NORMALIZADO. No normalizar.

RECOCIDO. Protección de superficie en la forma de gas atmosférico con el punto propio de condensación, baños de sal no oxidante, o un paquete de material inerte es requerido para evitar la decarburización. Calentar lenta y uniformemente de 870 a 900°C (1600 a 1650°F). Usar el límite inferior para las secciones pequeñas y el superior para las largas. El tiempo de espera de una hora un cuarto para las secciones ligeras a seis horas para las secciones pesadas y cargas largas; de una hora y media por pulgada de espesor es una aproximación adecuada a seguir. Para el recocido empaquetado, mantener por una hora y media por pulgada de sección cruzada del paquete. Enfriar lentamente a un rango que no exceda 40 °F .

CICLO DE RECOCIDO. Calentar a 900 °C (1650 °F) por dos horas, enfriar lentamente a 775 °C (1425 °F) y mantener la temperatura de 4 a 6 hrs., entonces se enfría al aire.

LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional . Calentar de 675 a 705 °C (1250 a 1300 °F) por una hora por pulgada de sección cruzada (mínimo de una hora). Enfriar al aire

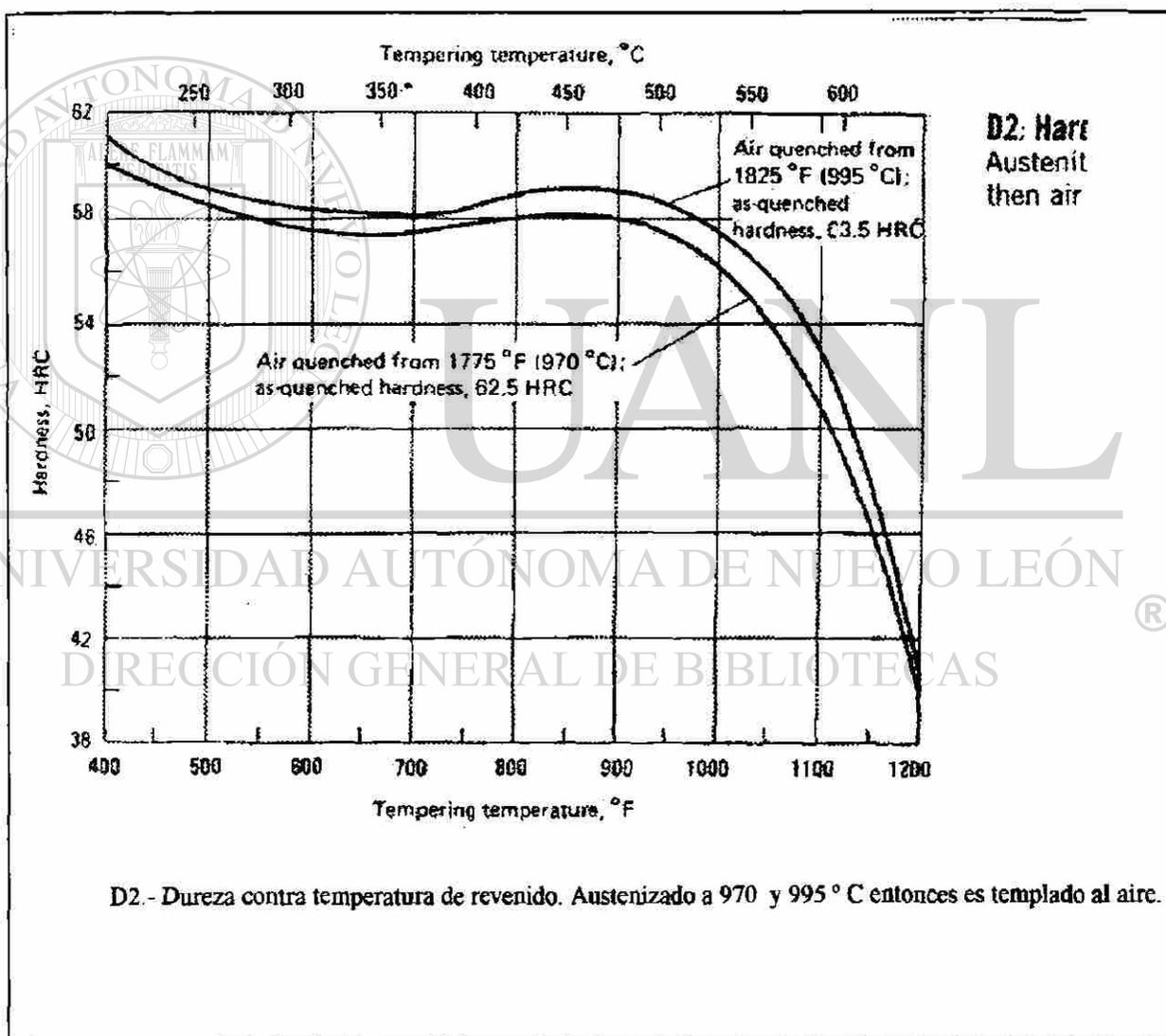
ENDURECIMIENTO. Calentar lentamente . Precalear a 815 °C (1500°F) y austenizar de 980 a 1025 °C (1800 a 1875 °F). Mantener esta temperatura por 15 minutos para herramientas pequeñas y 45 minutos para herramientas largas. Templar al aire y enfriar tan pronto como sea posible todos los lados. Un bloque de 3 por 6 por 10 plg. endurecerá de 62 a 64 HRC . Para el templeado en sal, templar en un baño de sal a 540 °C (1000 °F), mantener lo suficiente para igualar la temperatura, enfriar al aire.

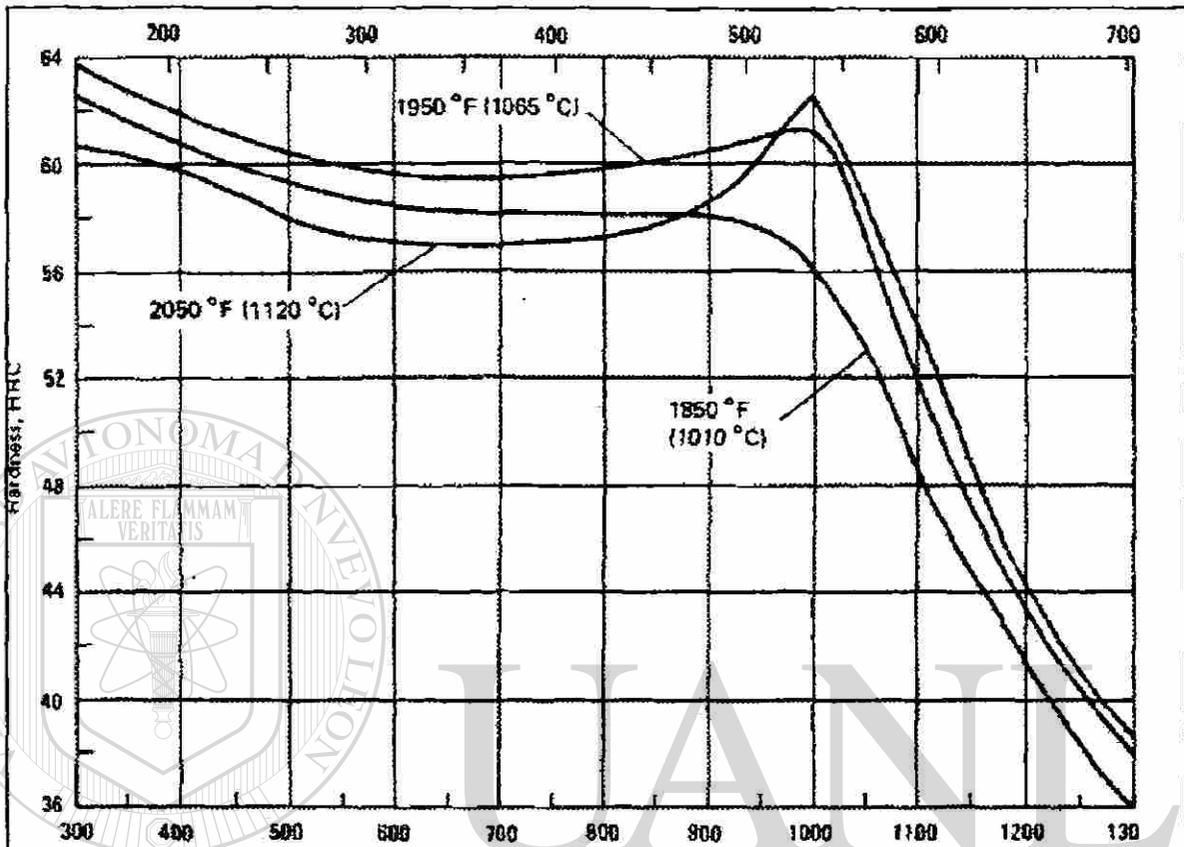
ESTABILIZACION. Opcional . El revenido para liberación de esfuerzos de 150 a 160 °C (300 a 320 °F) para un periodo corto antes de refrigerar a -85 °C (-120°F), particularmente para formas intrincadas que tienen cambios abruptos en el tamaño de la sección. Revenir inmediatamente después que la temperatura alcanza la temperatura ambiente.

REVENIDO. Revenir inmediatamente de 205 a 540 °C (400 a 1000 °F) después de que la herramienta se ha enfriado de 49 a 66 °C (120 a 150 °F). El doble revenido, permite a la herramienta enfriarse a la temperatura ambiente antes de un segundo revenido. Rango de dureza después del revenido es de 61 a 54 HRC.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO

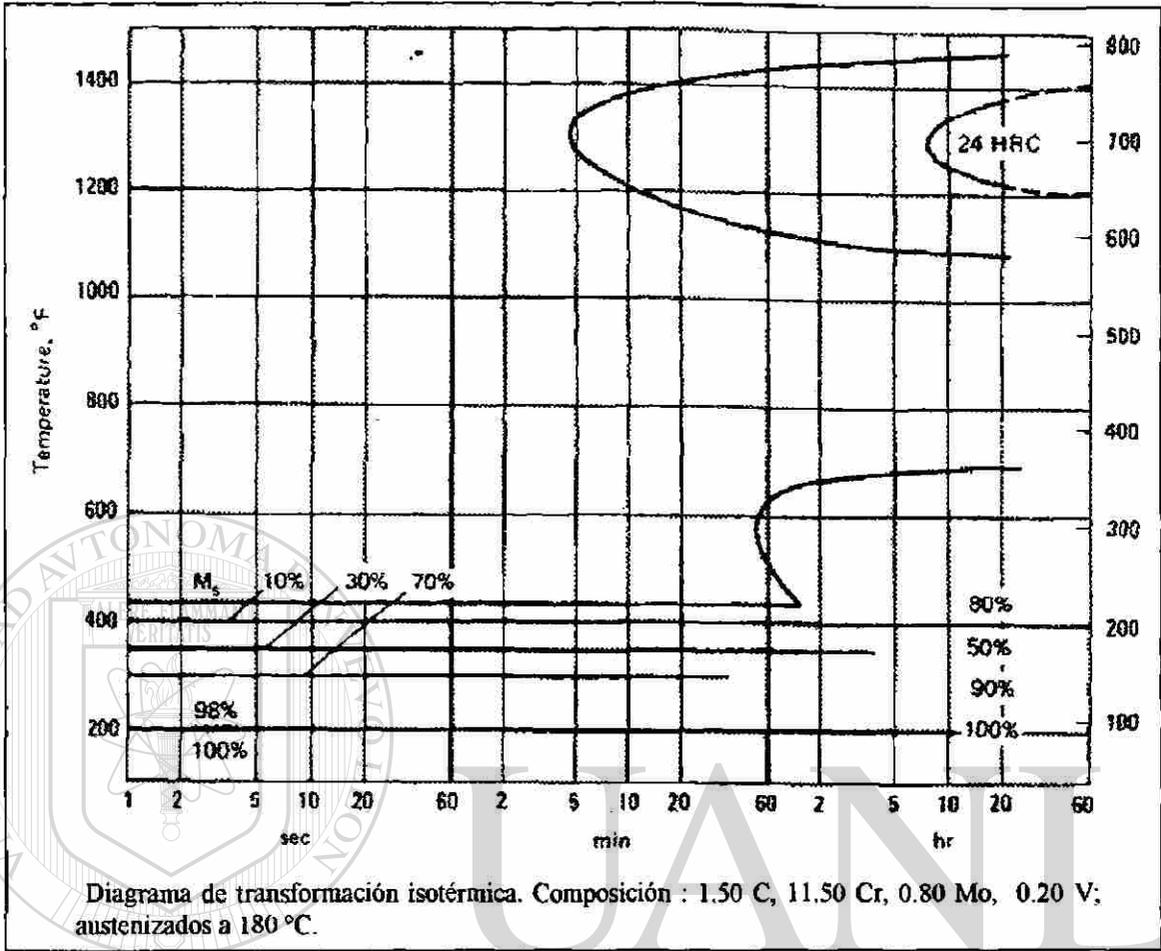
- Máquina de rugosidad
- Liberación de esfuerzos (opcional)
- Máquina de acabado
- Precalentamiento
- Austenizado
- Templado
- Estabilizar (opcional)
- Revenido / doble revenido
- Esmeritado para el tamaño final





Dureza contra temperatura de revenido. a) templado al aire b) templado en aceite en las temperaturas de austenización esperadas. tamaño de la muestra. una pulgada cubica.

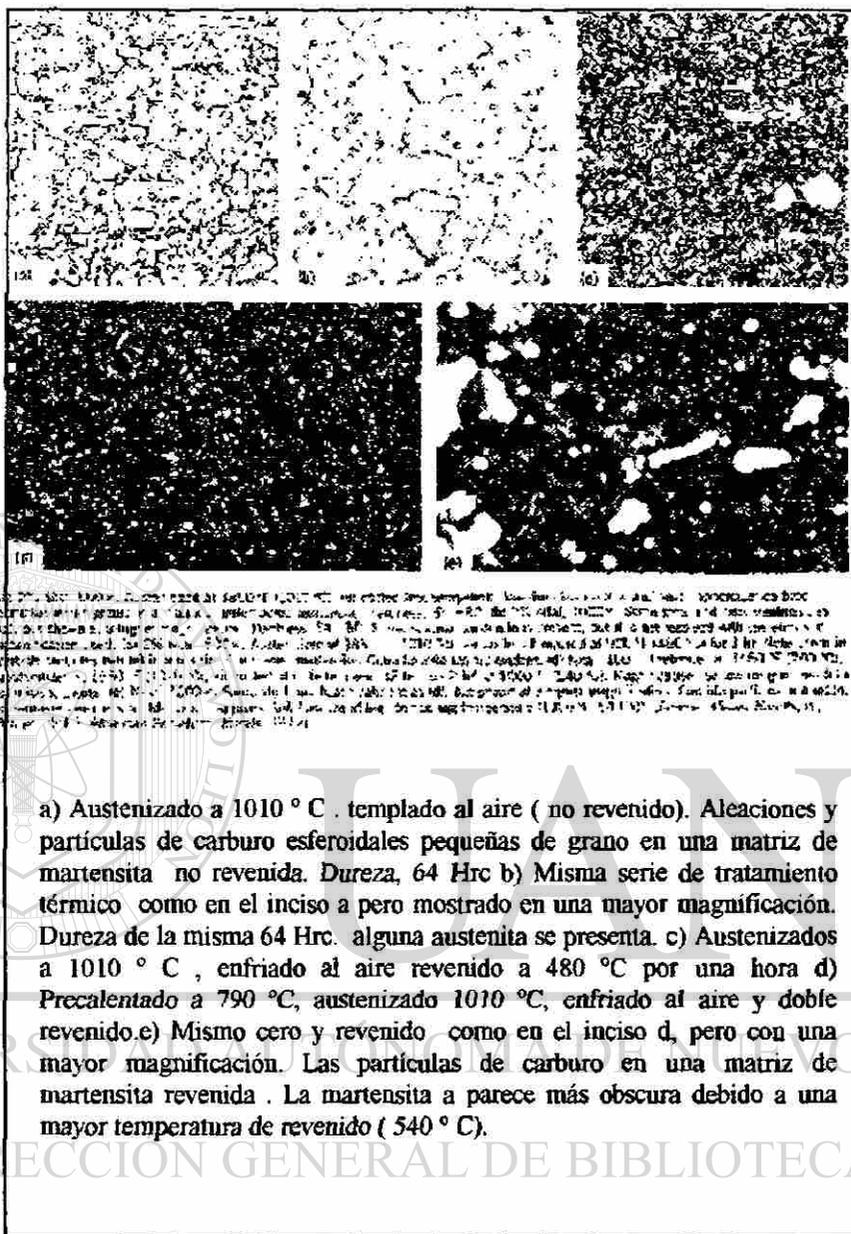
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





3.7 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE BAJA ALEACION PARA PROPOSITOS ESPECIALES (SERIE L)

Los aceros de la serie L son esencialmente similares en composición a los aceros herramienta endurecidos al agua, excepto que la adición de cromo y otros elementos provee a estos aceros con una más grande dureza y resistencia de uso. El tipo L2, por ejemplo, es similar al acero de cojinete 52100 excepto por el contenido de carbón.

Debido a sus temperaturas de austenización relativamente bajas, los aceros L tienen un tratamiento térmico sencillo.

Los aceros L deben de ser normalizados después de la forja o cuando están sujetos a temperaturas encima de las temperaturas de austenización. Para estos aceros, el normalizado consiste en calentar de 870 a 900°C (1600 a 1650°F) y se enfría al aire. Es recomendable usar una atmósfera protectora si todas las superficies no serán removidas por el maquinado.

El recocido debe seguir después del normalizado y preceder cualquier operación de reendurecimiento. La temperatura de recocido recomendada, en rangos de enfriamiento, y los valores esperados de endurecimiento de recocido se dan a bajo para los aceros individuales cubiertos en esta sección.

Para minimizar la distorsión durante el endurecimiento, la liberación de esfuerzos antes de el endurecimiento puede ser ventajoso para las herramientas complejas. Una práctica común para las herramientas complejas es la máquina de rugosidad, calentar de 620 a 650°C (1150 a 1200°F) una hora por pulgada de sección cruzada, enfriada al aire, y usar la máquina de acabado antes del endurecimiento.

Los aceros L rara vez requieren precalentamiento antes de la austenización. Los baños de sal y los hornos de atmósferas son satisfactorios para austenizar estos aceros. Un baño de sal neutra, tal como una mezcla conteniendo 70% de bario clorado y 30% de sodio clorado, es recomendada. Esta sal puede ser deoxidada para la rectificación para el control de la decarburización.

El aceite es el medio de templado más común usado para los aceros L. El agua o la salmuera puede ser usada para formas simples o para secciones largas que no tienen una dureza completa por el templado de aceite. Los aceros L responden bien al mar revenido.

Los aceros L deben de ser retirados del medio de templado de 52 a 82°C (125 a 180 °F) y deben ser revenidos inmediatamente después, o la fractura puede ocurrir. Revenir estos aceros de baja aleación a un mínimo de 120°C (250°F) es recomendable, aún si la dureza máxima se desea. El doble revenido es también recomendado.

L2

COMPOSICION QUIMICA. AISI:Nominal. 0.50 a 1.10 C (varios contenidos de carbón están disponibles), 1.00 Cr, 0.20 V. **UNS:**0.45 a 1.00 C, 0.70 a 1.20 Cr, 0.10 a 0.90 Mn, 0.25 Mo max, 0.030 Pmax, 0.030 S max, 0.50 Si max, 0.10 a 0.30 V.

ACEROS SIMILARES (U.S. y/o foráneos). UNS T61202; ASTM A681 (L-2); FED QQ-T-570 (L-2); (W.Ger) DIN 1.2210.

CARACTERISTICAS. Aceros de propósito general que contienen un 1% de cromo para dureza y resistencia de uso, y 0.20% de vanadio para el refinamiento de grano. Hay disponibles un rango de contenidos de carbón de 0.50 a 1.10%. Se considera que es similar a varios aceros aleados constructivos, dependiendo del contenido de carbón tiene alta seguridad al endurecimiento, profundidad media de endurecimiento y distorsión en el tratamiento térmico, baja a media resistencia de uso, alta maquinabilidad y resistencia a decarburización.

FORJA. Comenzar la forja de 980 a 1095°C (1800 a 2000°F). No forjar abajo de 845°C (1550°F).

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO

Normalizado. Calentar de 870 a 900°C (1600 a 1650°F). Tiempo de espera, después de un calentamiento uniforme, varía desde aproximadamente de 15 minutos para las secciones pequeñas a aproximadamente una hora para las secciones largas. El trabajo se enfría a la temperatura ambiente.

RECOCIDO. La protección de atmósfera contra la decarburización o carburización es requerida a menos que todas las superficies sean removidas para el maquinado antes del tratamiento térmico final y su uso. Calentar de 760 a 790°C (1400 a 1450°F). Usar el límite inferior para secciones pequeñas y el límite superior para las secciones largas. El tiempo de espera varía de aproximadamente una hora para las secciones ligeras y cargas de hornos pequeños a alrededor de 4 horas para las secciones pesadas y cargas largas. Para el recocido empaquetado, mantener una hora por pulgada de sección cruzada. Enfriar lentamente un rango no mayor de 22°C (40°F) por hora hasta 540°C (1000°F), después de lo cual el enfriado rápido no afectará la dureza final. Dureza típica de recocido, 163 a 197 HB.

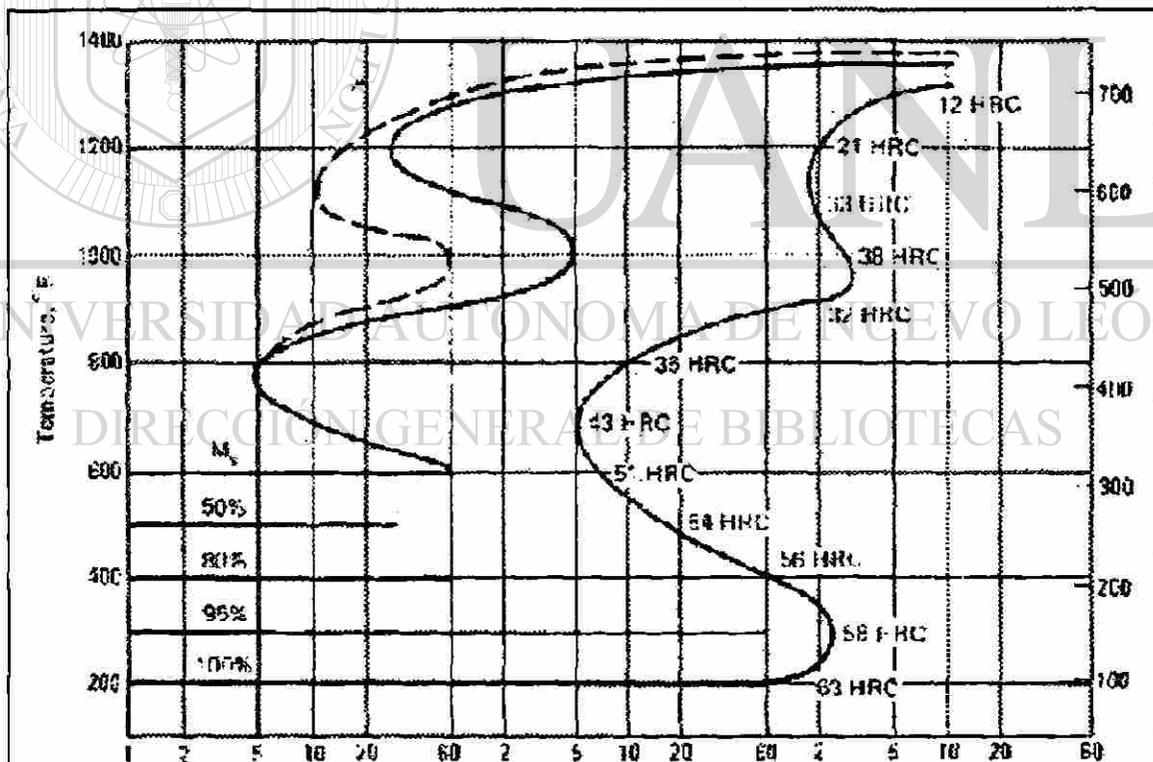
LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional. Calentar de 650 a 675°C (1200 a 1250 °F) una hora por pulgada de sección cruzada. Enfriar al aire.

ENDURECIMIENTO. Usar un medio protector como un gas endotérmico, sal derretida empaquetado, o vacío para prevenir la decarburización. Calentar lentamente (particularmente herramientas intrincadas). Austenizar de 845 a 925°C (1550 a 1700°F) para el templado en aceite, y 790 a 845°C (1450 a 1550 °F) para el templado en agua. Lo último puede ser usado para secciones largas que son simétricas, no complicadas, y que no tienen elevadores de tensión exactos. Sin embargo, no enfriar a menos de 60°C (140°F) y revenir inmediatamente. El tiempo de temperatura de austenizado varía de aproximadamente 10 minutos para las secciones pequeñas a 30 minutos para las secciones largas. Templar en aceite tibio y agitado a 52°C (125°F), y colocar inmediatamente en el horno de revenido. Dureza de templado, 54 a 51 HRC.

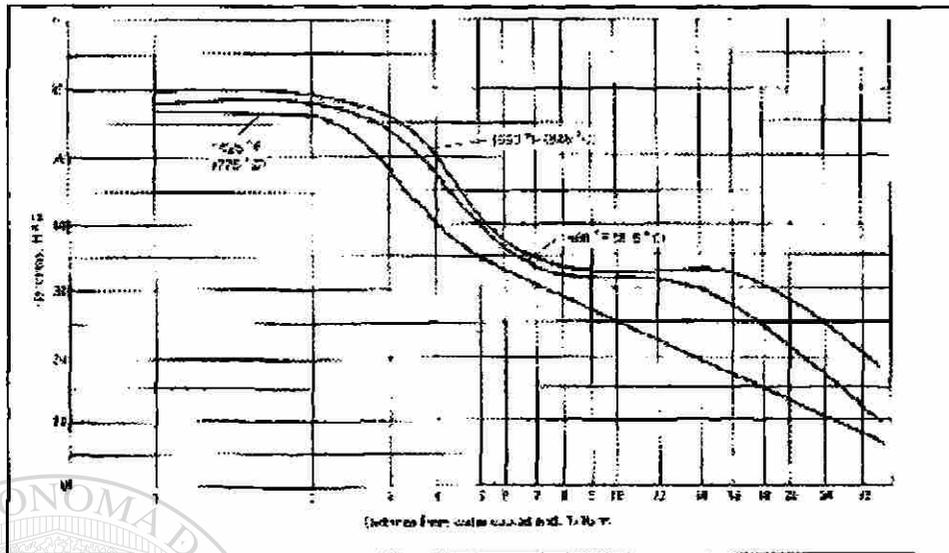
REVENIDO. Revenir de 175 a 540°C (350 a 1000°F) para una dureza de revenido aproximada de 63 a 45 HRC.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO

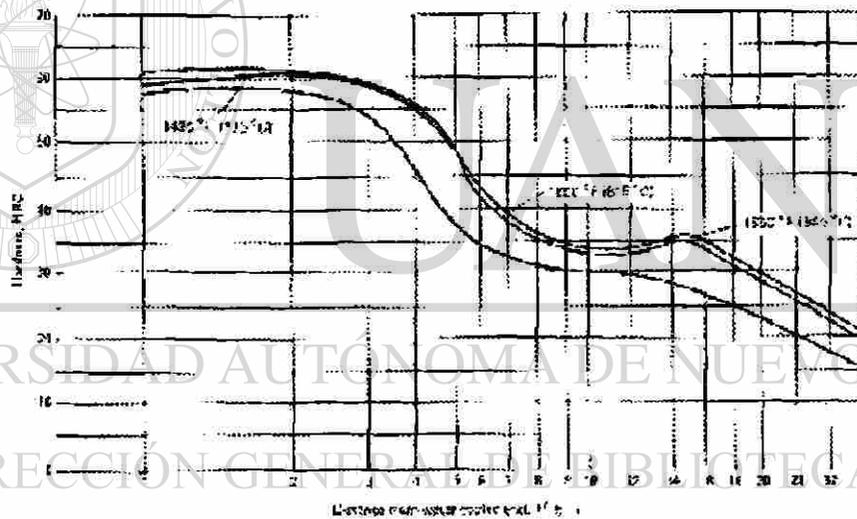
- Normalizado
- Máquina de rugosidad
- Liberación de esfuerzos (opcional)
- Máquina de acabado
- Austenizado
- Templado
- Revenido
- Esmerilado final para el tamaño



L2.- Diagrama de transformación isotérmica. Aceros para herramientas para propósito especial contienen 0.45 C, 2.70 Mn, 1.00 Cr, 0.20 B. Temperatura de austenizado: 900 °C.



End-quench Hardness (HRC) vs. Distance from water cooled end (inches) for steel composition 0.50 C, 0.80 Cr, 0.20 V, austenizing at 1825°F.



L2. Dureza de templado final Jominy. Aceros para herramientas con propósito especial conteniendo 0.50 C, 0.80 Cr, 0.20 V, después de la austenización.

L2. Dureza de templado final Jominy. Composición : 0.60 C, 0.80 Cr, 0.20 V, después de la austenización.

3.8 ACERO PARA FORMADO (SERIE P)

Los aceros de la serie P son únicos ya que su rango de contenido de carbón va de bajo a medio y su contenido de aleación de aproximadamente 1.5% o un máximo de alrededor de 5%. Dependiendo de su composición, los aceros P pueden ser usados para moldes plásticos, y, para una menor extensión, para moldear a matriz. Los grados de bajo carbón pueden ser carburizados y los grados de carbón medio son algunas veces nitrurados.

El recocido de estos aceros no es deseable ni necesario, porque una estructura de recocido total es más difícil de maquinarse. El proceso de carburización y nitrado es usualmente seguido de prácticas estándar para otros aceros de baja aleación o carbón. El tratamiento térmico de la serie P se parecen mucho a las prácticas empleadas para muchos aceros aleados y de carbón y tiene poca similitud con los métodos usados con aceros herramienta de altas aleaciones.

P2

COMPOSICION QUIMICA.AISI: Nominal 0.70 C, 0.20 Mo, 2.00 Cr, 0.50 Ni. UNS:0.10 C max, 0.75 a 1.25 Cr, 0.10 a 0.40 Mn, 0.15 a 0.40 Mo, 0.10 a 0.50 Ni, 0.03 P max, 0.03 S max, 0.10 a 0.40 Si.

ACEROS SIMILARES(U.S. y/o foráneos). UNS T51602; ASTM A681(P-2)

CARACTERISTICAS. Un grado de bajo carbón con buenas características de fresadora. Contiene Cr y Mo para dureza después del carburizado, y Ni para mejorar la fuerza del núcleo. La dureza total se obtiene por el templeado en aceite, el cual disminuye la distorsión. Rango medio en profundidad de endurecimiento, baja distorsión en tratamiento térmico, bajo en resistencia a la suavidad a temperaturas elevadas, y alto en resistencia a la decarburización.

FORJA. Comenzar la forja de 1010 a 1120°C (1850 a 2050°F), y no forjar abajo de 845°C (1550°F)

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO

NORMALIZADO. No es necesario normalizar.

RECOCIDO. Calentar de 730 a 815°C (1350 a 1500°F). Usar el límite inferior para secciones pequeñas y el superior para las secciones largas. El tiempo de espera varía de una hora para secciones ligeras y cargas pequeñas de horno, aproximadamente 4 horas para las secciones pesadas y cargas largas. Para el recocido empaquetado, mantener una hora por pulgada de sección cruzada. Evitar la carburización de la superficie, que drásticamente daña el flujo del metal cuando

se fresa. Enfriar un rango máximo de 22°C (40°F) por hora. El rango máximo no es crítico abajo de 540°C (1000°F). Dureza típica de recocido, 103 a 123 HB.

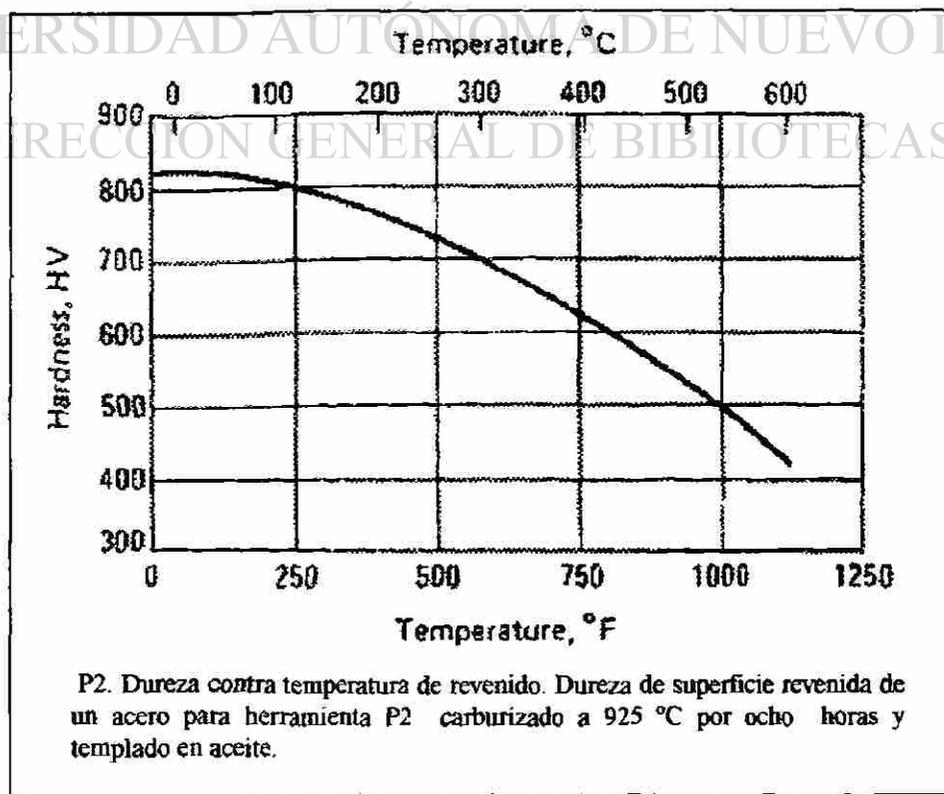
LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional. Calentar de 650 a 675°C (1200 a 1250°F) y mantener por una hora por pulgada de sección cruzada (mínimo una hora). enfriar al aire.

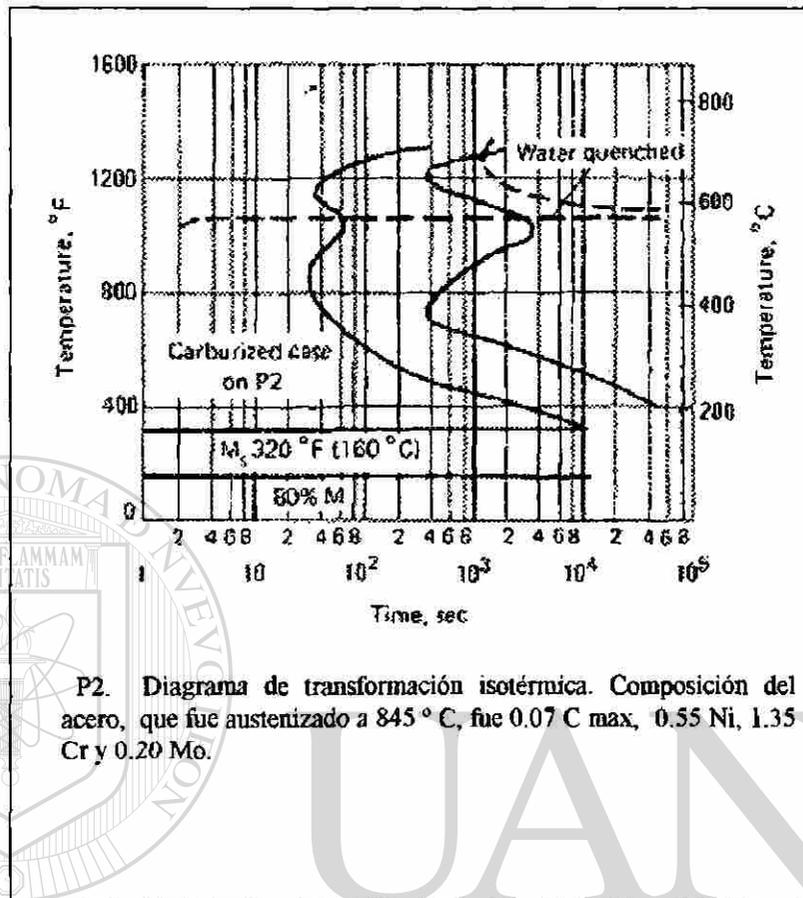
ENDURECIMIENTO. Carburizar de 900 a 925°C (1650 a 1700°F) a una profundidad en un caso deseado. Austenizar de 830 a 845°C (1525 a 1550°F). Mantener la temperatura de austenizado por 15 minutos una vez que la temperatura es uniforme a través de la herramienta. templar en aceite agitado tibio o salmuera. Dureza de templado aproximada, 62 a 65 HRC

REVENIDO. Revenir de 175 a 260°C (350 a 550°F). Dureza aproximada del caso como corresponde a la temperatura de revenido, 64 a 58 HRC.

SECUENCIA DEL PROCESO RECOMENDADA

- Máquina de rugosidad
- Liberación de esfuerzos (opcional, entre y después del fresado final)
- Máquina de acabado
- Carburizado
- Endurecido
- Templado
- Revenido
- Esmerilado final y pulir





P2. Diagrama de transformación isotérmica. Composición del acero, que fue austenizado a 845 °C, fue 0.07 C max, 0.55 Ni, 1.35 Cr y 0.20 Mo.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.9 ACEROS HERRAMIENTA DE TRABAJO EN CALIENTE (SERIE H)

Los aceros herramienta de trabajo en caliente se dividen en tres grandes grupos, cromo, tungsteno y molibdeno. La diferencia es para indicar la adición principal de aleaciones, aunque todos los aceros contienen cromo en cantidades que varían de 2 a 12%. Todos son usados extensivamente para aplicaciones de trabajo caliente.

Dado que estos aceros son parcial o completamente endurecidos al aire, el normalizado no se recomienda. Las temperaturas de recocido recomendadas, el enfriamiento en la práctica y los valores de dureza esperados son dados a continuación. El calentamiento para el recocido debe ser lento y uniforme para prevenir la fractura, especialmente cuando se hace el recocido a herramientas

endurecidas. El calentamiento disminuye desde el horno usualmente determina el rango de enfriamiento; las largas cargas de hornos se enfriaran en un rango menor que en las cargas ligeras. Los aceros H son extremadamente susceptibles a la carburización y decarburización y deben de ser cuidadosamente protegidos contra ambos. Usese el empaquetado, atmósfera controlada, o vacío.

Las herramientas de liberación de esfuerzos para los aceros de trabajo en caliente pueden ser benéficas si se hacen después de la máquina de rugosidad pero antes del maquinado final. Calentar las herramientas de 650 a 730°C (1200 a 1350°F). Este tratamiento minimiza la distorsión durante el endurecimiento, particularmente para herramientas que tienen cambios grandes en su configuración o cavidades profundas. El control dimensional más cercano puede ser obtenido por endurecimiento y revenido después del maquinado de rugosidad y antes del maquinado final. Sin embargo, la dureza final obtenida por este método debe estar dentro del rango de maquinabilidad. Con pocas excepciones, el precalentamiento es recomendado antes de el austenizado para los aceros de trabajo en caliente .

El rápido calentamiento desde las temperaturas de precalentamiento hasta la temperatura de austenizado es preferible para los tipos H19 hasta el H43. Con excepción de los aceros H10 a H14, el tiempo de temperatura de austenización debe ser únicamente suficiente para calentar el trabajo completamente. La impregnación térmica prolongada no es recomendable. Las herramientas hechas para los aceros de trabajo en caliente deben ser protegidas contra la carburización y decarburización cuando son calentadas para el austenizado. Una atmósfera endotérmica producida por un generador de gas es probablemente el medio más usado. El punto de condensación es normalmente mantenido de 2 a 7 °C (35 a 45°C) en el horno, dependiendo del contenido de carbón del acero y la temperatura de operación. El punto de condensación de 3 a 4°C (38 a 40°F) es ideal para los tipos H11 y H13 cuando el austenizado es a 1010°C (1850°F). Los baños de sal derretida son ampliamente usados. En fábricas pequeñas donde el uso de atmósferas protectoras no es posible debido al costo del equipo, el trabajo es empaquetado en resina de coque antes de calentarlo para el austenizado, esto es una práctica común.

El rango de los aceros para el trabajo en caliente es de una dureza alta a extremadamente alta. La mayoría logra una dureza completa al enfriarse al aire. Sin embargo, aún estos aceros teniendo la dureza más alta, las secciones pueden ser tan largas que provocan un endurecido insuficiente. En tales casos, una explosión de aire o un templado en aceite (nunca un templado en agua) es requerido para lograr una dureza completa. Algunos de los aceros H, especialmente los tipos de Molibdeno y Tungsteno, se laminarán considerablemente durante el enfriado a temperatura ambiente. Un templado interrumpido reduce esta laminación al eliminar el periodo largo de contacto con el aire a una temperatura elevada, pero también incrementa la distorsión.

Los aceros herramienta de trabajo en caliente deben ser revenidos inmediatamente después del templado, aunque la sensibilidad a la fractura en este estado varía considerablemente. El revenido múltiple sirve para transformar la austenita retenida y para minimizar la fractura debida a las tensiones de endurecimiento. Los aceros H contienen 0.35% ó menos carbón y son ocasionalmente carburizados para lograr una alta dureza de superficie (HRC 60 a 62). Para algunas aplicaciones los aceros son nitrados después del endurecimiento y revenido.

H10

COMPOSICION QUIMICA. AISI: Nominal. 0.40 C, 2.50 Mo, 3.25 Cr, 0.40 V, UNS: 0.35 a 0.45 C, 3.00 a 3.75 Cr, 0.25 a 0.70 Mn, 2.00 a 3.00 Mo, 0.030 P máx, 0.030 S máx, 0.80 a 1.20 Si, 0.25 a 0.75 V.

ACEROS SIMILARES (U.S. y/o foráneos). UNS T20810; ASTM A681 (H-10); FED QQ-T-570 (H-10); (Fr) AFNOR 32 DCV28.

CARACTERISTICAS. Son los aceros con más bajo contenido en aleación, pero ofrece propiedades de profundo endurecimiento a bajo costo relativamente. Tiene dureza alta y puede ser enfriado en agua en el servicio. Puede ser carburizado o nitrado para incrementar la dureza de la superficie con alguna pérdida en la resistencia de revisión de calentamiento. Tiene muy baja distorsión en el tratamiento térmico, alta resistencia a la suavidad a temperaturas elevadas y media resistencia de uso. Tiene maquinabilidad media a alta y media resistencia a la decarburización.

FORJA. Calentar lentamente. Precalear de 705 a 815°C (1300 a 1500°F), comenzar la forja de 1065 a 1150°C (1950 a 2100°F), y no forjar abajo de 900°C (1650°F). Enfriar lentamente.

PRACTICA RECOMENDADA PARA TRATAMIENTO TERMICO.

NORMALIZADO. No normalizar.

RECOCIDO. Protección de la superficie contra la decarburización al usar un paquete, atmósfera controlada, ó vacío es requerido. Calentar de 845 a 900°C (1550 a 1650°F). Usar el límite inferior para las secciones pequeñas y el límite superior para las secciones largas. Calentar lenta y uniformemente, especialmente las herramientas endurecidas. El tiempo de espera varía de aproximadamente una hora para las secciones ligeras y cargas pequeñas de hornos a aproximadamente cuatro horas para las secciones pesadas y cargas largas. Para recocido empaquetado, una hora por pulgada de sección cruzada. Enfriar lentamente en el horno en un rango máximo de 30°C (50°F) por hora hasta 540°C (1000°F),

después de lo cual el rango de enfriado rápido no afectará la dureza final. Dureza típica de recocido, 192 a 229HB.

LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional. Calentar de 650 a 675°C (1200 a 1250°F) mantener una hora por pulgada de sección cruzada (mínimo una hora). Enfriar al aire.

ENDURECIMIENTO. La protección de superficie contra la decarburización o carburización se requiere al utilizar baños de sal derretida, paquetes, atmósferas controladas, ó vacío. Para precalentamiento, las herramientas para el tratamiento de horno abierto deben ser colocadas en un horno de temperatura que no exceda los 260°C (500°F). El trabajo empaquetado en contenedores puede ser colocado en un horno de 370 a 535°C (700 a 1000°F). Una vez que las piezas (ó el contenedor) han logrado la temperatura, calentar lentamente (un rango máximo de 110°C por hora) a 815°C (1500°F). Mantener una hora por pulgada de espesor (ó por pulgada de espesor del contenedor si se empaca). Si el doble precalentamiento está disponible, tal como los baños de sal, los choques termales pueden ser reducidos al precalentarse de 540 a 650°C (1000 a 1200°F) y entonces precalentados de 845 a 870°C (1550 a 1600°F). Austenizar de 1010 a 1040°C (1850 a 1900°F) de quince a cuarenta minutos. Usar un tiempo menor para las secciones pequeñas y un tiempo más largo para las secciones largas. Templar al aire. Si se enfrió con una explosión de aire, el aire debe de ser seco y uniforme sobre la superficie a endurecerse. Para minimizar la laminación , las herramientas pueden ser templadas rápidamente en aceite para enfriar la superficie abajo de la temperatura de laminación (de alrededor de 540°C), entonces se enfría al aire, pero esto incrementa la distorsión.

El procedimiento más seguro es templar de la temperatura de austenizado en un baño de sal de 595 a 650°C (1100 a 1200°F), y mantener en el templado hasta que la pieza alcanza la temperatura del baño. Entonces retirar la pieza y permitir que se enfríe a la temperatura ambiente. Dureza de templado, 52 a 59 HRC.

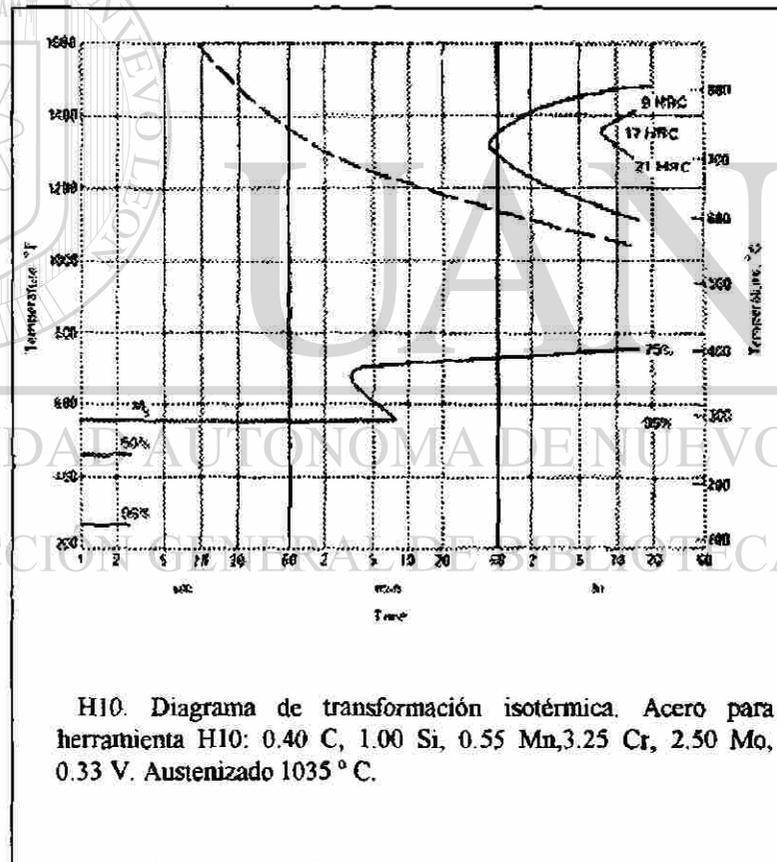
ESTABILIZACION. Opcional. Para formas intrincadas, el revenido para la liberación de esfuerzos es de 150 a 160°C (300 a 320°F) brevemente. Refrigerar de -100 a -195°C (-150 a -320°F). Revenir inmediatamente después de que la parte alcanza la temperatura ambiente.

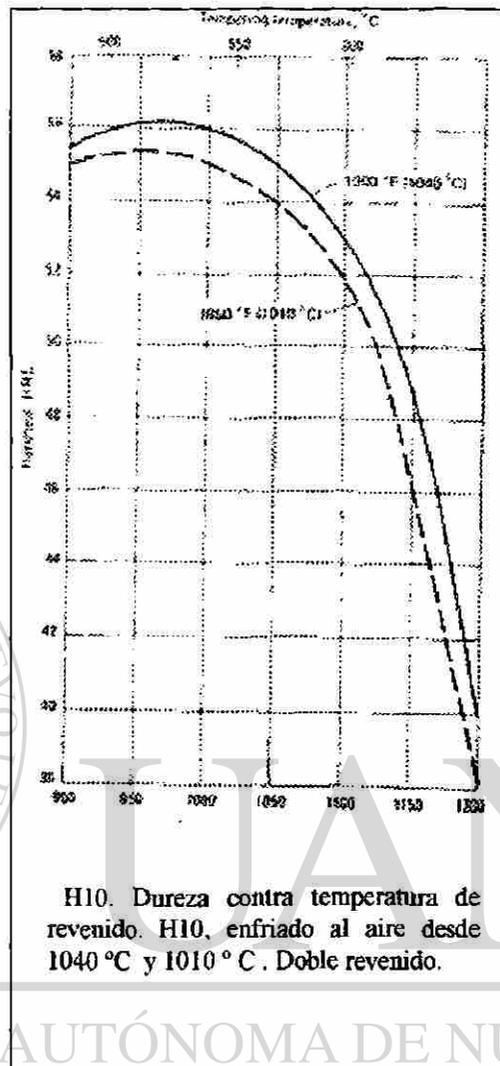
REVENIDO. Revenir inmediatamente después de que la herramienta alcanza alrededor de 50°C (125°F) de 540 a 650°C (1000 a 1200°F). La convección de los hornos de aire revenido calientan las herramientas a un rango moderadamente seguro. Los baños de sal son aceptables para partes pequeñas pero pueden causar que cavidades de formas intrincadas y largas se fracturen debido al choque termal. Revenir una hora por pulgada de espesor, enfriar a temperatura ambiente, y revenir usando el mismo tiempo de temperatura. El segundo revenido es esencial

y un tercer revenido es benéfico. La dureza de revenido aproximada, 56 a 39 HRC.

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO

- Máquinas de rugosidad
- Liberación de esfuerzos (opcional)
- Máquina de acabado
- Precalentamiento
- Austenizado
- Templado
- Estabilizar (opcional)
- Revenir
- Esmerilado final para el tamaño





DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
**ACEROS HERRAMIENTA DE ALTA VELOCIDAD DE TUNGSTENO
 (SERIE T)**

Los aceros herramienta de alta velocidad de tungsteno son usados primariamente para herramientas de corte tales como mandril, cortadores, taladros, fresadores, ranurador, escariadores y machos. Los aceros T no necesitan normalizado, pero deben ser completamente recocidos después de la forja ó cuando el reendurecimiento se requiere.

Los aceros de la serie T son siempre recalentados antes de el austenizado para minimizar los esfuerzos que pueden desarrollarse debido a la transformación de austenita alrededor de 760°C (1400°F). El doble precalentamiento es usualmente recomendado para minimizar el choque termal. Sólo herramientas pequeñas y aquellas que no han incorporado muescas exactas ó cambios abruptos en la

sección deben ser colocadas directamente en el horno de austenizado con seguridad razonable.

Las herramientas de la serie T dependen de la solución de varios carburos aleados complejos durante el austenizado para desarrollar cualidades de resistencia al calentamiento y habilidades de corte. Estos carburos no se disuelven en ninguna extensión apreciable a menos que el acero sea calentado a temperaturas aproximadas al punto de fusión del acero. Un acero como el T15, el cual contiene más de 3% de vanadio, puede mantenerse a la temperatura de austenización alrededor de 50% más largo que aquellos con menores cantidades. La fase de carburo de vanadio relativamente puro inherente en la microestructura de este acero es virtualmente insoluble a temperaturas abajo de el punto de fusión y restringe el crecimiento de el grano, permitiendo los tiempos de impregnación térmica más larga sin detrimento. Sin embargo, la temperatura de austenizado recomendada ya que este acero no debe ser excedido.

Las herramientas de un solo punto que son para cortes pesados son usualmente austenizados efectivamente de 8 a 17°C (15 a 30° F) por encima de la temperatura de austenizado nominal para mejorar la dureza en caliente y resistencia de revenido. Entre más alta la temperatura se incrementa la solución de aleación, la resistencia de revenido y una dureza en caliente, pero también da como resultado que se sacrifique la dureza. Las herramientas de filo fino, tales como los machos y los ranuradores, pueden ser endurecidos a temperaturas de 14 a 28°C (25 a 50°F) abajo de la temperatura nominal de austenizado para impartir dureza añadida. Otros ajustes en la temperatura de austenización dependen del tipo de equipo térmico empleado.

Los aceros de la serie T pueden ser templados en aire, aceite, ó sal derretida. Estos aceros están normalmente sujetos a los tratamientos separados de revenido. La refrigeración puede ser utilizada para transformar la austenita retenida. Las herramientas endurecidas o revenidas y endurecidas se enfrían al menos a -84°C (-120°F) y revenidos ó doble revenidos a temperaturas de temperatura normal. Estos aceros pueden ser nitrados. Los líquidos de los baños nitrados, capaces de producir un caso más dúctil con un menor contenido de nitrógeno que los normalmente obtenidos en atmósferas nitradas gaseosas, se perfieren. El nitrado provee una alta dureza y resistencia de uso y un bajo coeficiente de fricción.

T1

COMPOSICION QUIMICA.

ACEROS SIMILARES (U.S. y/o foráneos)

CARACTERISTICAS. Ha sido el estándar 18-4-1 de aceros de alta velocidad por años. Disponible con varios niveles de contenido de carbón y tiene la ventaja

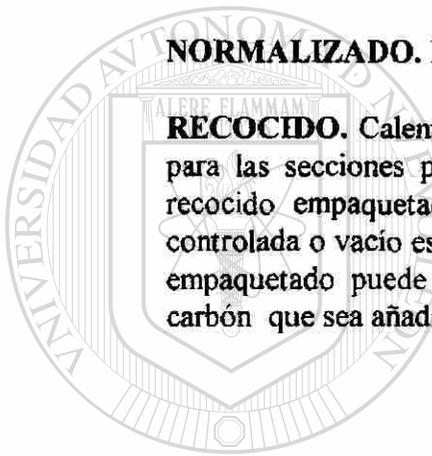
de una alta resistencia a la decarburización. Rangos muy altos en la resistencia de uso y en la resistencia de suavidad a temperaturas elevadas. Es similar a otros aceros de alta velocidad en que tienen menor dureza cuando se comparan con los aceros herramienta en general. Al usar temperaturas menores en el austenizado, sin embargo, da como resultado una menor dureza y una mejorada resistencia de impacto.

FORJA. Comenzar la forja de 1065 a 1175 °C (1950 a 2150° F), y no forjar abajo de 955°C (1750°F).

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL TRATAMIENTO TERMICO.

NORMALIZADO. No normalizar.

RECOCIDO. Calentar de 870 a 900°C (1600 a 1650°F). Usar el límite inferior para las secciones pequeñas y el límite superior para las secciones largas. El recocido empaquetado en contenedores muy cerrados o usar una atmósfera controlada o vacío es recomendada para minimizar la decarburización. El material empaquetado puede ser secado en arena o cal con una pequeña cantidad de carbón que sea añadida.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO IV

“ACEROS INOXIDABLES”

Históricamente, varios significados de retardo o previsión de la corrosión en los productos de hierro y acero han sido y todavía son ampliamente utilizados. Estos incluyen pintura o revestimiento con metales y algunas veces no metales que son provechosos para impedir la corrosión en ambientes específicos, pero los revestimientos tienen vida limitada. Estos requieren un remplazamiento periódico para prevenir la corrosión, la cual eventualmente tomará lugar.

Una proposición más general para minimizar o prevenir la corrosión es por aleación. Esto no sólo proporciona protección a la superficie, también ofrece protección contra la corrosión a través de la sección del producto de hierro y acero. Una gran familia de aleaciones resistentes al calor y la corrosión ha sido desarrollada para satisfacer muchos requerimientos para la resistencia a la corrosión, calor o ambos. Estos son conocidos como aceros inoxidable.

4.1 CLASIFICACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES FORJADOS Y VACIADOS

El Instituto Americano del Hierro y el Acero ha adaptado una composición estándar y ha designado números para más de 50 clasificaciones de aceros inoxidables forjados (tablas de la 1 a la 4). Estas aleaciones generalmente son conocidas como composiciones estándar. Como adición de los aceros numerados en las tablas de la 1 a la 4, existen por lo menos 100 (quizás muchas más) composiciones no estándar las cuales son fabricadas bajo nombres patentados. Estas clasificaciones no estándar son producidas relativamente en pequeñas cantidades, por lo que el AISI no las ha enumerado como clasificación estándar. En la mayoría de los casos las composiciones no estándar han sido desarrolladas para resistir la corrosión, calor, o ambos en algunos ambientes específicos.

4.2 CLASIFICACIÓN ESTÁNDAR DE FORJADO

Los números del tipo AISI son en general utilizados tanto por productores como por usuarios de aceros inoxidables. La familia completa de aceros inoxidables es dividida en cuatro grandes grupos. La característica básica de cada grupo y el significado de la designación del AISI son descritos brevemente a continuación.

4.2.1 CLASIFICACIÓN AUSTENITICA

La clasificación austenica tiene números de identificación entre 200 ó 300 (tabla1). Sin embargo, la mayoría de los aceros en la tabla 1 son series de aleación 300, clasificación cromo-níquel. Las series 200 representan una adición mayor a las series austeníticas, en las cuales cierta parte del níquel ha sido reemplazado por el manganeso. Las clasificaciones austeníticas son utilizadas más ampliamente en medios corrosivos; aunque algunas clasificaciones, especialmente el tipo 310, son utilizadas para superficies a temperaturas elevadas, arriba de los 650° C (1200° F).

Ya que la clasificación austenítica no cambia en su estructura cristalina, al aplicar calor está no responde al tratamiento térmico convencional de temple. Así pues, los únicos tratamientos térmicos que son utilizados para estas clasificaciones son: (a) Recocido completo por rápido enfriamiento de temperaturas elevadas, (b) Relevo de esfuerzos y (c) Endurecimiento superficial por nitrado.

Table 1 Composition of Standard Grades of Wrought Austenitic Stainless Steels

Type No.	UNS No.	C	Mn	P	S	Chemical composition(s), %		Ni	Mo	Other element
						Si	Cr			
201	S20100	0.15	5.50-7.50	0.030	0.030	1.00	16.00-18.00	3.50-5.50	...	0.25 N
202	S20200	0.15	7.50-10.00	0.030	0.030	1.00	17.00-19.00	4.00-6.00	...	0.25 N
205	S20500	0.12-0.25	14.00-18.50	0.030	0.030	1.00	16.50-18.00	1.00-1.75	...	0.30-0.40 N
301	S30100	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	6.00-8.00	...	...
302	S30200	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	...	...
302B	S30215	0.15	2.00	0.045	0.030	2.00-3.00	17.00-19.00	8.00-10.00	...	...
303	S30300	0.15	2.00	0.200	0.030 min	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	0.60-0.70	...
303Se	S30323	0.15	2.00	0.200	0.030	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	...	0.15 Se max
304	S30400	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	8.00-10.50	...	...
304L	S30403	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	8.00-12.00	...	...
	S30430	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	...	3.00-4.00 Cu
304N	S30451	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	8.00-10.50	...	0.10-0.16 N
305	S30500	0.12	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	10.50-13.00	...	...
308	S30800	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00-21.00	10.00-12.00	...	...
309	S30900	0.20	2.00	0.045	0.030	1.00	22.00-24.00	12.00-15.00	...	...
308S	S30908	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	22.00-24.00	12.00-15.00	...	...
310	S31000	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00	...	...
310S	S31008	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00	...	...
314	S31400	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50-3.00	23.00-26.00	19.00-22.00	...	...
316	S31600	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	...
316F	S31620	0.08	2.00	0.200	0.100 min	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	1.75-2.50	...
316L	S31603	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	...
316N	S31651	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	0.10-0.16 N
317	S31700	0.08	2.00	0.045	0.030	2.00	16.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00	...
317L	S31703	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00	...
321	S32100	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	9.00-12.00	...	5 x C Ti max
329	S32900	0.10	2.00	0.040	0.030	1.00	25.00-30.00	3.00-6.00	1.00-2.00	...
330	N08330	0.08	2.00	0.040	0.030	0.75-1.50	17.00-20.00	34.00-37.00	...	...
347	S34700	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	9.00-13.00	...	10 x C Cb + Ta min 10 x C
348	S34800	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	9.00-13.00	...	Cb + Ta min, 0.10 Ta max, 0.20 Co max
384	S38400	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	15.00-17.00	17.00-19.00	...	...

(a) Maximum, unless otherwise noted. (b) May be added at the manufacturer's option. (Source: AISI Steel Products Group)

Tabla 1.- Composición de grados estándar de aceros inoxidables auteníticos para forjado

Table 2 Composition of Standard Grades of Wrought Ferritic Stainless Steels

Type	UNS No.	C	Mn	P	Chemical composition(a), %			Mo	Other elements
					S	Si	Cr		
405	S40500	0.08	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50-14.50	...	0.10-0.30 Al
409	S40900	0.08	1.00	0.045	0.045	1.00	10.50-11.75	...	6 x C Ti min 0.75 max
429	S42900	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	14.00-16.00	...	...
430	S43000	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	18.00-18.00	...	...
430F	S43020	0.12	1.25	0.060	0.150 min	1.00	18.00-18.00	0.60(b)	...
430FSe	S43023	0.12	1.25	0.060	0.060	1.00	18.00-18.00	...	0.15 Se min
434	S43400	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	18.00-18.00	0.75-1.25	...
436	S43600	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	18.00-18.00	0.75-1.25	5 X C Ch + T min, 0.70 max
442	S44200	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	18.00-23.00	...	...
446	S44600	0.20	1.50	0.040	0.030	1.00	23.00-27.00	...	0.25 N

(a) Maximum, unless otherwise noted. (b) May be added at the manufacturer's option. (Source: AISI Steel Products Manual)

Table 3 Composition of Standard Wrought Grades of Martensitic Stainless Steels

Type	UNS No.	C	Mn	P	Chemical composition(a), %				Mo	Other elements
					S	Si	Cr	Ni		
403	S40300	0.15	1.00	0.040	0.030	0.50	11.50-13.00	...	...
410	S41000	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50-13.50	...	...
414	S41400	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.60-13.50	1.25-2.50	...	
416	S41600	0.15	1.25	0.060	0.150 min	1.00	12.00-14.00	...	0.60(b)	
416Se	S41623	0.15	1.25	0.060	0.060	1.00	12.00-14.00	...	0.15 Se min	
420	S42000	Over 0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	12.00-14.00	...	...
420F	S42020	Over 0.15	1.25	0.060	0.150 min	1.00	12.00-14.00	...	0.60(b)	
422	S42200	0.20-0.25	1.00	0.025	0.025	0.75	11.00-13.00	0.50-1.00	0.75-1.25 0.15-0.30 V 0.75-1.25 W	
431	S43100	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	15.00-17.00	1.25-2.50	...	
440A	S44002	0.60-0.75	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	...	0.75	
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	...	0.75	
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	...	0.75	

(a) Maximum, unless otherwise noted. (b) May be added at the manufacturer's option. (Source: AISI Steel Products Manual)

Tabla 2.- Composición de grados estándar de aceros inoxidable ferríticos para forjados.

Tabla 3.- Composición de grados estándar de aceros inoxidable martensíticos para forjado.

4.2.2 CLASIFICACIÓN FERRÍTICA

Las diez composiciones numeradas en la tabla 2 representan los aceros ferríticos importantes y son identificados con la serie 400. En resistencia a la corrosión, estos aceros generalmente tienen un rango mayor que la clasificación martensítica, pero sustancialmente menor que la mayoría de las clasificaciones austeníticas.

Las clasificaciones ferríticas son muy reconocidas porque su estructura es ferrítica a todas las temperaturas. Al igual que las clasificaciones austeníticas, no pueden ser endurecidas por el tratamiento térmico de temple. Reviniendo para desarrollar una baja dureza por trabajo en frío, es el único tratamiento térmico aplicado a la clasificación ferrítica a excepción del nitrurado el cual es usado en algunas ocasiones.

4.2.3 CLASIFICACIÓN MARTENSÍTICA

Este grupo es reconocido porque los aceros numerados tienden a cambiar su estructura cristalina por enfriamiento o calentamiento. Pueden ser endurecidos por

temple, obteniéndose una estructura completamente martensítica muy similar a la de los aceros aleados.

El grupo martensítico lo componen doce aceros, composiciones de los cuales se encuentran numerados en la tabla 3. Los aceros de este grupo también llevan la designación de la serie 400. El níquel aparece solo en dos clasificaciones y aún ahí la cantidad máxima es de 2.5. El contenido de cromo generalmente es más bajo que el de la clasificación austenítica. En general la resistencia a la corrosión de la clasificación martensítica es mucho más baja que la de la clasificación austenítica, en la mayoría de los casos, algo menos que la clasificación ferrítica.

Todas las clasificaciones martensíticas tienen extremadamente alta habilidad de endurecimiento pudiéndose obtener un endurecimiento total por temple al aire desde su temperatura de austenización.

En adición al endurecimiento por temple, todas las clasificaciones martensíticas que contienen menos de 0.40%C responden al endurecimiento de la superficie por Nitrógeno.

La máxima dureza que puede ser desarrollada en los aceros martensíticos depende del contenido de carbón, tal como lo es para los aceros aleados convencionales. Los tipos 403 y 410 son identificados por ser endurecidos a 40 RC ó un poco más alto. Y los más altos en contenido de carbón pueden ser endurecidos a 66 RC o comúnmente un poco más alto. Los tipos 403 y 410 tienen esencialmente la misma composición, pero el tipo 403 es una clasificación especial de calidad usado en aplicaciones en turbinas.

4.2.4 ENDURECIDOS POR PRECIPITACIÓN

Los seis aceros numerados en la tabla 4 son los miembros importantes del grupo de endurecidos por precipitación.

Estos son subdivididos de acuerdo con el tipo de estructura que desarrollan. Estos aceros son conocidos con la serie 600. En resistencia a la corrosión, estos aceros varían considerablemente a través de las diferentes clasificaciones en el grupo pero en general su resistencia a la corrosión se aproxima a la de los austeníticos.

La mayoría de los aceros endurecidos por precipitación, pueden ser endurecidos al menos hasta 44 RC y en ocasiones más pero no por medio de las técnicas convencionales de endurecimiento por templado usados en los aceros martensíticos. Las técnicas de endurecimiento para los aceros endurecidos por precipitación son como aquellas utilizadas para los metales no ferrosos. Esto es, generalmente se soluciona el tratamiento por el calentamiento por una temperatura intermedia, sin embargo, existe mucha diferencia en las técnicas utilizadas para las diferentes clasificaciones.

4.3 ACEROS INOXIDABLES VACIADOS

El Instituto de Aceros Aleados Vacados Sociedad Americana de Fundidores, ha adoptado una serie de números para designar las aleaciones coladas que tienen composición y propiedades similares. Los aceros colados inoxidable son representados por el acero 19 numerado en la tabla 5. La letra C denota aleaciones resistentes a la corrosión. Los equivalentes de forjado son proporcionada por la mayoría de estas aleaciones coladas numeradas en la tabla 5. La composición de las contrapartes de la fundición y forjado no son necesariamente las mismas. La fundición es comúnmente la razón principal para vaciar, la composición de las aleaciones coladas en la práctica común, la composición de cualquier aleación colada quizás sea modificada con alguna ampliación. Como regla general existe una pequeña, sino es que ninguna en la resistencia a la corrosión o respuesta al tratamiento térmico entre la versión de forjado y fundido de la misma aleación.

Tabla 4 - Composition of Standard Grades of Precipitation-Hardening Stainless Steels

AISI No.	UNS No.	Chemical composition, %						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Other elements
Martensitic type								
630	S17400	0.07	1.0	1.0	17.0	4.0	..	4.0 Cu, 0.15-0.45 Cb - Ta
Semiaustenitic types								
631	S17700	0.08	1.0	1.0	17.0	7.0	..	1.0 Al
632	S15700	0.08	1.0	1.0	15.0	7.0	2.2	1.2 Al
633	S35000	0.08	0.8	0.25	18.5	4.3	2.75	0.1 N
634	S35500	0.13	0.85	0.25	15.5	4.3	2.75	0.1 N
Austenitic type								
680	K66285	0.08	1.4	0.4	15.0	26.0	1.3	0.3 V, 2.0 Ti, 0.35 Al, 0.003 B

(a) Maximum, unless otherwise noted. (Source: MET, Course 18, Lesson 1, American Society for Metals)

Tabla 5 - Standard Designations and Chemical Composition Ranges for Corrosion-Resistant Cast Alloys

Alloy Casting Institute designation	Nearest AISI type	Chemical composition, %							Other elements
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo		
CA-6NM	..	0.06	1.00	1.00	11.5-14	3.5-4.5	0.4-1.0	..	
CA-15	410	0.15	1.00	1.50	11.5-14	1.0	0.5	..	
	416	0.15	1.00	1.50	11.5-14	1.0	..	0.20-0.35 Se	
CA-40	420	0.20-0.40	1.00	1.50	11.5-14	1.0	0.5	..	
	430	0.12	1.00	1.50	14-18	..	..	..
	431	0.30	1.00	1.50	18-22	2.0	..	..
CB-30	431	0.16-0.22	1.00	1.00	15-16.5	1.5-2.5	0.5	..	
CB-7Cr	17-4PH	0.07	0.70	1.00	15.5-17.7	3.6-4.6	..	2.5-3.2 Cu, 0.20-0.35 Cb	
	440A	0.60-0.75	1.00	1.50	16-18	0.50	..	..
	440C	0.95-1.20	1.00	1.50	16-18	0.50	..	..
CC-50	445	0.50	1.00	1.50	26-30	4.0	..	..
CD-4M Cu	..	0.04	1.00	1.00	25-27	4.75-6.0	1.75-2.25	2.75-3.25 Cu	
CE-39	512	0.30	1.50	2.00	26-30	8-11	..	..
CF-1	304L	0.03	1.50	2.00	17-21	8-12	..	..
CF-2	304	0.08	1.50	2.00	18-21	8-11	..	..
CF-20	302	0.20	1.50	2.00	18-21	8-11	..	..
CF-3M	316L	0.03	1.50	1.50	17-21	9-13	2.0-3.0	..	
CF-6M	316	0.08	1.50	2.00	18-21	9-12	2.0-3.0	..	
CF-8C	347	0.08	1.50	2.00	18-21	9-12	..	8 x C-1.0 Cb	
CF-16F	303	0.16	1.50	2.00	18-21	9-12	1.5	0.20-0.35 Se	
CG-6M	317	0.08	1.50	1.50	18-21	9-13	3.0-4.0	..	
CH-20	309	0.20	1.50	2.00	22-26	12-15	..	..
CK-20	310	0.20	1.50	2.00	23-27	19-22	..	..
CN-7M	..	0.07	1.50	1.50	19-22	27.5-30.5	2.0-3.0	3.0-4.0 Cu	

Source: MET, Course 18, Lesson 5, American Society for Metals

Tabla 4.- Composición de grados estándar para aceros inoxidable endurecidos por precipitación

Tabla 5.- Designaciones estándares y rangos de composición química para aleaciones vaciadas resistentes a la corrosión

4.4 SIMILITUD Y DIFERENCIAS A TRAVÉS DE LAS CLASIFICACIONES

El elemento cromo es la clave para la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable. Una característica común de todas las clasificaciones de los aceros inoxidable es que estos contienen un mínimo de 11.5% de cromo. Esto es aproximadamente la cantidad mínima requerida para aceros inoxidable, lo que generalmente es concedido para ser completamente resistentes al desgaste en un medio no contaminado, aun cuando la humedad se aproxima al 100%. Las clasificaciones 403 y 410 son aquellas, las cuales cuentan con un contenido de cromo más bajo. Otra característica que es común para todos los aceros inoxidable numerados en las tablas de la 1 a la 5 es su alta resistencia a todos los ácidos oxidantes, como el ácido nítrico.

Como se mencionó anteriormente, los requerimientos específicos para la resistencia a la corrosión o calor han llegado al desarrollo de aproximadamente 50 clasificaciones que son consideradas como estándar, además de 100 o más clasificaciones no estándar que se han desarrollado para aplicaciones especiales.

Variaciones mayores de los tipos básicos se muestran en la tabla 6. Por ejemplo, los tipos 202 y 302 se muestran como los tipos básicos del grupo austenítico. Entonces, la modificación y una razón para la modificación se muestran, para otra clasificación austenítica. Similarmente, los tipos básicos para las clasificaciones martensíticas y ferríticas son físicas, mecánicas y químicas pueden ser encontradas en el manual de Metales, Novena Ed., Vol. 3.

4.5 HORNOS, CONTROLES DE TEMPERATURA Y ATMÓSFERAS PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

La información de tratamientos térmicos dada a continuación se aplica para aceros inoxidable en general. En algunos casos, ciertos grupos o clasificaciones demandan consideraciones especiales la cual se explicará en secciones posteriores. Todas las clasificaciones de aceros inoxidable son más sensibles a variaciones en tratamientos térmicos que los aceros al carbón y aleados, y el equipo y control de los procesos debe ser mantenido a un nivel de calidad alto, no menor que aquel utilizado para aceros para herramientas de alta aleación.

4.5.1 HORNOS

Los hornos de fuego directo no son muy recomendables para aceros inoxidable por los períodos de uniformidad de temperatura. El calentamiento de tubo radiante y el calentamiento con hornos eléctricos o hornos de resistencias son satisfactorios para la mayoría de las operaciones en los procesos de calentamiento de los aceros inoxidable. El uso de hornos al vacío para ese tipo de trabajo aumenta constantemente.

Los baños en sal fundida son convenientes para algunos, pero no todas, las operaciones de tratamientos térmicos que involucran aceros inoxidables. Si los baños permanecen en condición de primera clase, estos son muy buenos para calentar la clasificación martensítica antes de templar o enfriar con aire.

Sin embargo, la sal utilizada como medio de calentamiento a la temperatura entre 955 a 1065°C (1750 a 1950°F). La mayoría está compuesta, de cloruro de Bario, el cual es

muy difícil de remover al menos que sea templado aproximadamente a la temperatura de 595°C (1100°F) en una sal la cual sea soluble en agua caliente. Este temple intermedio de ninguna manera interfiere con el proceso de endurecimiento. Baños de sal fundida también son satisfactorios por calentar la clasificación ferrítica por recocido, porque las temperaturas utilizadas en esta operación son acomodadas por sales que pueden ser removidas.

Como regla, los baños de sal no son recomendables para calentar la clasificación austenítica por recocido, ya que las temperaturas involucradas requieren sales de bario, y resultados muy pobres son aparecidos si el proceso de enfriamiento se alcanza a los 595°C (1100°F).

4.5.2 CONTROL DE TEMPERATURAS

Sin tener en cuenta el tipo de horno utilizado, el mejor sistema controlador de temperatura deberá ser utilizado, y mantenimiento de los sistemas de control por técnicos especializados.

Usualmente las temperaturas son medidas una o más veces, para que la temperatura de la pieza de trabajo sea medida.

Las termoelectricas tipo K son las más utilizadas, aunque los tipos R y S también son utilizadas. La exactitud de las termoelectricas deberá ser checada al menos cada dos semanas, algunas veces más seguido. La termoelectrica deberá ser descartada cuando su desviación exceda los 3°C (5°F).

Los detectores de sensores de radiación son también utilizados para el control de temperatura en hornos utilizados para tratamientos térmicos de aceros inoxidables. Con este tipo de sensor, el lente es enfocado en el trabajo. La superioridad de temperaturas por cambios en la radiación depende del diseño de horno y el tipo de las piezas de trabajo que se van a procesar.

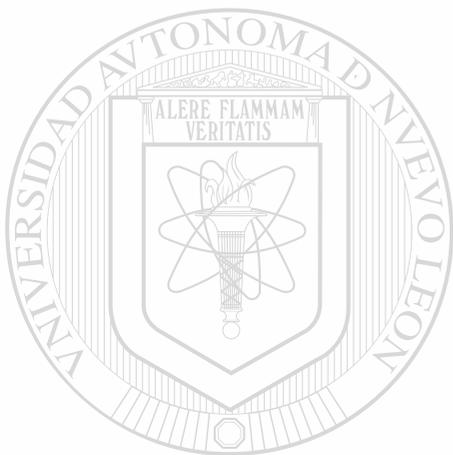
Los sistemas de control de temperaturas son preferibles para hornos utilizados para procesar aceros inoxidables, porque el tipo proporcionado entrega mejores temperaturas de control.

4.5.3 ATMOSFERAS PREPARADAS

La selección de la atmósfera para calentar aceros inoxidables dependen si las piezas serán removidas al terminar de trabajo de tratamiento térmico.

Cuando las piezas de trabajo tengan bases, las condiciones de la superficie son en ocasiones no críticas y en ocasiones oxidadas, descarburizadas o aún carburizadas pueden ser toleradas.

En adición a una atmósfera en vacío y los baños de sal, muchas atmósferas gaseosas pueden ser utilizadas bajo condiciones específicas. Sus desventajas y limitaciones se discuten a continuación.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AISI type	Changes in analyses from basic type
Austenitic, chromium nickel	
301	Cr and Ni lower for more work hardening
302	Basic type, 18% Cr + 8% Ni
302B	Si higher for more scaling resistance
303	P and S added for easier machining
303Se	Se added to improve machinability
304	C lower to avoid carbide precipitation
304L	C lower for welding application
305	Ni higher for less work hardening
308	Cr and Ni higher with C low for more corrosion and scaling resistance
309	Cr and Ni still higher for more corrosion and scaling resistance
309CT	Ch and Ta added to avoid carbide precipitation
309S	C lower to avoid carbide precipitation
310	Cr and Ni highest to increase scaling resistance
314	Si higher to increase scaling resistance
316	Mo added for more corrosion resistance
316L	C lower for welding application
317	Mo higher for more corrosion resistance and greater strength at high temperatures
318	Cb and Ta added to avoid carbide precipitation
321	Ti added to avoid carbide precipitation
347	Ch and Ta added to avoid carbide precipitation
347Se	Se added to improve machinability
348	Similar to 347, but low tantalum content (0.10)
384	Ni higher than 305 for severe cold heading
385	Similar to 384, but lower Cr and Ni
Austenitic, chromium nickel manganese	
201	Cr and Ni lower for more work hardening
202	Basic type, 18% Cr + 5% Ni + 8% Mn
204	C lower to avoid carbide precipitation
204L	C lower for welding application
Martensitic, straight chromium	
403	12% Cr adjusted for special mechanical properties
410	Basic type, 12% Cr
414	Ni added to increase corrosion resistance and mechanical properties
416	P and S added for easier machining
416Se	Se added to improve machinability
418Spec	W added to improve high-temperature properties
420	C higher for cutting purposes
420F	P and S added for easier machining
431	Cr higher and Ni added for better resistance and properties
440A	C higher for cutting applications
440B	C higher for cutting applications
440C	C still higher for wear resistance
440Se	Se added for easier machining
Ferritic, straight chromium	
405	Al added to 12% Cr to prevent hardening
430	Basic type, 17% Cr
430F	P and S added for easier machining
430Ti	Titanium stabilized
442	Cr higher to increase scaling resistance
446	Cr much higher for improved scaling resistance

Source: Allegheny Ludlum Industries

Tabla 6.- Son variaciones mayores de los tipos básicos de los aceros inoxidable.

ATMOSFERA EXOTERMICA

Con una proporción de gas de 6.5 ó 7 a 1, son usualmente satisfactorias para austenización ó recocido de aceros inoxidables, cuando su contenido de carbón no excede 0.15.

Los más altos contenidos de carbón son fuertemente susceptibles a la descarburización en las atmósferas exotérmicas. Las piezas de trabajo usualmente son cubiertas con una película delgada de óxido, la cual deberá ser removida al terminar para obtener máxima resistencia a la corrosión.

ATMOSFERA ENDOTERMICA

Han sido utilizadas extensivamente por varios aceros inoxidables. La principal desventaja al utilizar estas atmósferas es el peligro de carburizar si el potencial de carbón de la atmósfera no es precisamente controlado. La carburización es literalmente veneno para las superficies de aceros inoxidables.

ATMOSFERA DE VACIO

Proporciona la atmósfera casi perfecta para tratamientos térmicos de aceros inoxidables.

Mientras que la conductividad térmica de los aceros inoxidables varía através de los grados, está variación es libre de cualquier significancia práctica al planear los ciclos de calentamiento.

Sin embargo, las diferencias en conductividad térmica entre los aceros aleados y aceros inoxidables deberá ser considerada al establecer los ciclos de calentamiento.

Para aceros inoxidables, la conductividad térmica es aproximadamente la mitad de la de los aceros aleados. Por está razón el ciclo de tiempo que inicia cuando el instrumento muestra "la temperatura", deberá ser aproximadamente el doble tan largo como una pieza de acero inoxidable com se compara con una pieza de tamaño similar y peso, de aceros al carbón o aleados.

4.6 ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

Los aceros inoxidables austeníticos son divididos en tres grupos: (a) las composiciones normales inestables, como los tipos 201, 202, 205, 301, 302, 303, 304, 304N, 304, 308, 309, 310, 316, 316N, 329, 330 y 381 (de estos 201, 202, 304N y 316N son clasificaciones de alto nitrógeno); (b) Las composiciones estables principalmente los tipos 321, 347 y 348; y (c) Las clasificaciones extra-bajo carbón, como los tipos 304L, 316L y 317L .

4.6.1 TRATAMIENTO TERMICO RECOMENDADO

Los 30 aceros listados en la tabla incluida en esta sección no pueden ser utilizados excepto por trabajo en frío. De ahí, sólo tres tipos de tratamientos térmicos: (a) Recocido completo, (b) Relevo de esfuerzos y (c) Nitruado.

Sin tener en cuenta el tratamiento utilizado, cargar las partes de aceros inoxidables austeníticos en el horno requieren tratamientos especiales por su alta expansión térmica, alrededor del 50% mayor que los aceros al carbón ó aleados. De ahí, el espacio entre las partes deberá adecuarse para permitir esta expansión. Apilar, cuando sea necesario deberá emplearse juiciosamente para evitar deformaciones de las partes a temperaturas elevadas.

4.6.2 RECOCIDO DE LAS CLASIFICACIONES INESTABLES

Los aceros de las series 200, miembros de las series 300, de la 301 a la 317, y los tipos 329, 330 y 384 todos son inestables. Estos aceros son recocidos para asegurar resistencia máxima a la corrosión y para restaurar máxima suavidad y ductilidad, la cual resultado del trabajo en frío. Durante el recocido, los carburos, los cuales disminuye la resistencia a la corrosión intergranular, son disueltos. Las temperaturas de recocido, las cuales varían con la composición del acero, son dadas en la tabla incluida en esta sección.

Ya que la precipitación del carburo puede ocurrir a temperaturas entre los 425 y 900°C (800 y 1650 °F), la temperatura de recocido deberá estar con seguridad por encima de este límite. Aún más, ya que todo el carburo deberá estar en solución antes de que inicie el enfriamiento, y porque el carburo de cromo se disuelve lentamente la temperatura práctica más alta constituida con límite de grano es seleccionada. Esta temperatura está próxima a los 1095°C (2000°F).

El enfriamiento de la temperatura de recocido deberá ser rápido, no más de aproximadamente tres minutos en enfriamiento de los 870 a los 425°C (1600 a 800°F), pero también deberá estar constituida con limitaciones de distorsión. En cualquiera de las consideraciones de distorsión permitida, el templeado en agua es utilizado. Ya que su carburo se precipita más rápido, los tipos 309 y 310 invariablemente requieren temple en agua. Con algunas partes de sección delgada, aún estos rangos intermedios de enfriamiento producen distorsión excesiva, y las partes deberán ser enfriadas todavía en aire. Si el enfriamiento en aire no proporciona un rango suficiente para prevenir la precipitación de carburo, la resistencia a la máxima corrosión no será obtenida. Una solución a este problema es utilizar una clasificación estable.

4.6.3 RECOCIDO DE LAS CLASIFICACIONES ESTABLES

Los tipos 321, 347 y 348 contienen cantidades controladas de titanio, el cual produce al acero la inmunidad a la precipitación granular de carburo de cromo y sus efectos adversos a la resistencia a la corrosión. Sin embargo estas aleaciones quizá

requieran recocido para aliviar la tensión, incrementar la suavidad y ductilidad ó proporcionar estabilidad adicional.

Para obtener máxima suavidad y ductilidad, las clasificaciones estables son recocidas a las temperaturas mostradas en la tabla. Como las clasificaciones inestables, estos aceros no requieren temple en agua u otras aceleraciones de enfriamiento de las temperaturas de recocido para prevenir la subsecuente corrosión intergranular. El enfriamiento en aire generalmente es adecuado. Sin embargo secciones de 6.4 mm deberán ser templadas en agua o aceite.

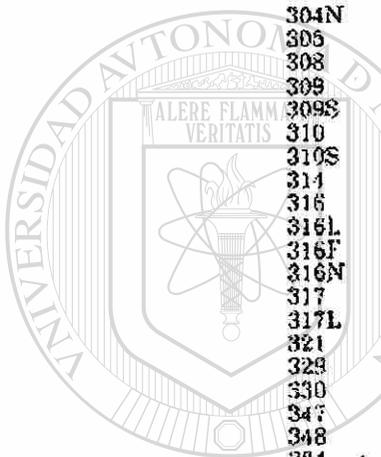
Cuando la máxima resistencia a la corrosión del tipo 321 es requerida, usar un tratamiento térmico correctivo estabilizador puede ser necesario. Este tratamiento consiste en mantener de 845 a 900°C (1550 a 1650°F) por más de cinco horas, dependiendo que tan delgada sea la sección. Tal tratamiento debe ser aplicado antes o durante el curso de fabricación. Si es necesario, este tratamiento deberá ser continuado por un tratamiento corto de relevo de esfuerzos a 705°C (1300°F) sin peligro de precipitación de carburos. Este tratamiento es raro, si se utiliza para los grados 347 y 348.

4.6.4 RECOCIDO DE GRADOS DE EXTRA-BAJO CARBÓN

Los tipos 304L, 316L Y 317L son intermedios en la precipitación de carburos de cromo para los grados estables e inestables. El contenido de carbón (0.03 máximo) es lo suficientemente bajo para reducir la precipitación de carburos intergranulares a un nivel seguro. Por lo tanto, estos aceros pueden estar en un rango de sensibilización de 425 a 815 °C (800 a 1500° F) para periodos de más de 2 horas y se enfrían lentamente en este rango, sin peligro de susceptibilidad para corrosión intragranular en medios de atmósfera natural. Esta característica es de valor particular en la soldadura, corte con flama, y otras operaciones de trabajo en caliente. Estos grados no requieren el tratamiento de templeado que los grados no estables requieren para retener carbón en una solución sólida. Sin embargo, las aleaciones de bajo-carbón no son satisfactorias para un largo servicio en el rango de temperatura de sensibilización, ya que no son completamente inmunes a la formación de carburos deleterios a la resistencia de corrosión.

Temperaturas de recocido completo para aceros inoxidables austeníticos

AISI	Type		Annealing temperature	
	UNS		°F	°C
201	S20100		1850-2050	1010-1120
202	S20200		1850-2050	1010-1120
205	S20500		1950	1065
301	S30100		1850-2050	1010-1120
302	S30200		1850-2050	1010-1120
302B	S30215		1850-2050	1010-1120
303	S30300		1850-2050	1010-1120
303Se	S30323		1850-2050	1010-1120
304	S30400		1850-2050	1010-1120
304L	S30403		1850-2050	1010-1120
...	S30430		1850-2050	1010-1120
304N	S30451		1850-2050	1010-1120
305	S30500		1850-2050	1010-1120
308	S30800		1850-2050	1010-1120
309	S30900		1900-2050	1040-1120
309S	S30908		1900-2050	1040-1120
310	S31000		1900-2100	1040-1150
310S	S31008		1900-2100	1040-1150
314	S31400		2100	1150
316	S31600		1850-2050	1010-1120
316L	S31603		1850-2050	1010-1120
316F	S31620		2000	1095
316N	S31651		1850-2050	1010-1120
317	S31700		1850-2050	1010-1120
317L	S31703		1900-2000	1040-1095
321	S32100		1750-2050	955-1120
329	S32900		1750-1900	955-980
330	N08330		1950-2150	1065-1175
347	S34700		1850-2050	1010-1120
348	S34800		1850-2050	1010-1120
384	S38400		1900-2100	1040-1150



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

4.6.5 LIBERACION DE ESFUERZOS DE LOS GRADOS AUSTENITICOS

El templado del rango de la temperatura de recocido dentro del periodo usual de tres minutos es un tratamiento térmico drástico. Este tratamiento puede generar nuevos esfuerzos, particularmente si el enfriado no es uniforme o si el artículo fabricado no es de contorno simétrico. El alabeado excesivo (distorsión térmica) puede ser encontrada. Los rangos de enfriamiento deben ser tan uniformes como sea posible, sin importar el clima, el artículo se enfría al aire, por rociadores de agua, o por inmersión completa.

La liberación de esfuerzos de partes templadas-recocidas puede ser logrado al calentarlos en el rango de temperatura de 230 a 400° C(450 a 750 ° F) para periodos de tiempos relativamente largos, frecuentemente varias horas. Este tratamiento no se deteriorara en su resistencia a la corrosión o en sus propiedades mecánicas. Esto puede ser aplicado para cualquier grado austenítico, aunque es más frecuentemente usado para grados inestables dado que estan más sujetos al templado drástico.

4.6.6 NITRURADO LOS GRADOS AUSTENITICOS

Los aceros inoxidables austeníticos pueden ser nitrurados por el proceso de gas, ya sea que el amoníaco sea disociado en unidades separadas de ruptura después de la zona de trabajo.

Solamente los grados estabilizados o de extra-bajo-carbón son recomendados para el nitrurado, por la obvia razón de que la temperatura del nitrurado es de 540°C (1000°F) en el rango de sensibilización.

Después, el caso de nitrurado, que puede ser logrado en los grados austeníticos es muy delgado, raras veces más de 0.127 mm (0.005 plg). Por lo tanto, el no terminar las operaciones puede ser permitido o el caso será removido. Además, el nitrar seriamente perjudica la resistencia de corrosión en la mayoría de los medios. Por lo tanto, el nitrurado de los aceros inoxidables austeníticos está hecho solamente por aplicaciones altamente especializadas; por ejemplo, donde el material debe de ser no magnético y aún tener una superficie resistente a la abrasión.

4.6.7 GRADOS AUSTENITICOS FORJADOS

Estos aceros son más difíciles de forjar que los aceros aleados o al carbón, ya que los aceros inoxidables austeníticos tienen la habilidad de retener calor. Sin embargo ya que no van a bajo del cambio de fase, la mayoría de ellos pueden ser forjados sobre un rango de temperatura razonable arriba de 925°C (1700°F). Las excepciones son los tipos de 309, 310 y 314 que no deben de ser forjados a temperaturas más arriba de 1095°C (2000°F) ya que son susceptibles a formación de ferrita delta, la cual daña la forjabilidad.

En la forja de los grados austeníticos, las temperaturas de acabados son más importantes. Preferiblemente, las temperaturas de acabados no deben de caer a bajo de 925°C (1700°F) y nunca por a bajo de 870°C (1600°F).

Todos los grados estabilizados menos el 321, 347, 348 y aquellos que usen el sufijo de la letra L (extra bajo carbón) deben ser enfriados, templados en líquidos si es necesario, desde aproximadamente 870°C (1600°F) a un calor negro en no más de 3 minutos.

Los rangos de enfriamiento para los grados estabilizados y los de extra bajo carbón son menos críticos. Por lo tanto, los grados más altamente aleados 309, 310 y 314 son limitados en sus temperaturas de acabados, ya que a más bajas temperaturas son más susceptibles de destrozamiento caliente y la formación de la fase sigma.

201

COMPOSICION QUIMICA . AISI Y UNS : Nominal 0.15 % C max, 5.50 A 7.50 % Mn, 0.060 %P max. 0.030%S max, 1.00 Si% max, 3.50 a 5.50%Ni, 16.00 a 18.00% Cr, 0.25% N max.

ACEROS SIMILARES (US Y/O EXTRANJERO) UNS S 20100; ASME SA 412; ASTM A412, A429, A666; FED QQ-S-766, SAE J405 (30201).

CARACTERISTICAS. Un grado austenítico usa una combinación de níquel y manganeso. Se usa principalmente en ambientes corrosivos o donde la apariencia de brillo metálico es requerido. Es endurecido solo por trabajo en frío. Su tratamiento térmico está limitado a recocido, para su recuperación o restauración de resistencia máxima a la corrosión, ablandamiento y ductilidad después de el trabajo en frío, relevado de esfuerzos, dado si se requiere para las tensiones que se frecuentan por el drástico temple desde la temperatura de recocido y/o en raras ocasiones, nitrurado para obtener una capa delgada para resistencia al desgaste.

FORJADO. Iniciar el forjado a la temperatura de 1150 a 1230°C (2100 a 2250°F). No olvidar la temperatura abajo de los 925°C (1700°F). Enfriar a un color negro en menos de tres minutos, utilizando temple en líquido si es necesario.

PRACTICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO RECOMENDADO.

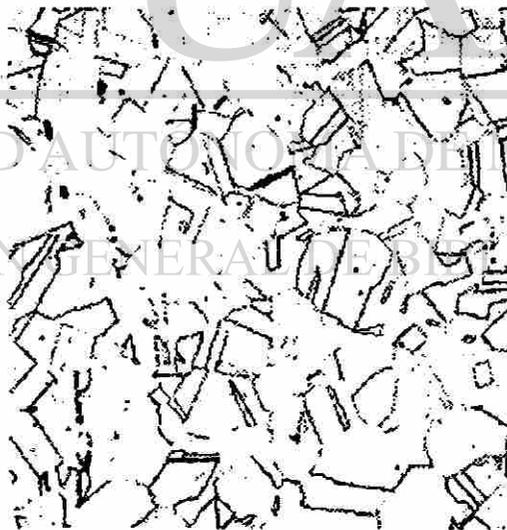
NORMALIZADO. No se debe normalizar .

RECOCIDO. Recocer a la temperatura de 1010 a 1120°C (1850 a 2050°F). Para prevenir en contra del adelgazamiento, las partes delicadas, dejan un amplio espacio para la expansión entre las partes. Las clasificaciones inoxidables se expanden aproximadamente el doble que los aceros al carbón y de baja aleación. Se debe permitir tiempo suficiente para el calentamiento después de que la unión térmica ha alcanzado la temperatura. Las clasificaciones inoxidables tienen aproximadamente la mitad de la conductividad térmica de los aceros al carbón y aceros de baja aleación. La elección de la atmósfera depende del objetivo final y de que si la superficie será removida. Para recocido brillante, utilizar aire ó una atmósfera de hidrógeno. Las partes deberán estar limpias y secas. Los gases inertes, argón y helio (los cuales son caros) y nitrógeno, pueden ser utilizados. Estos carecen del efecto reductor del hidrógeno, por lo que una decoloración suave en la forma del óxido de cromo puede resultar. Las sales, de atmósferas exotérmicas ó endotérmicas son satisfactorias para un recocido no brillante. La sal es difícil de remover, y porque alcanza el temple a los 595°C (1100°F) no es recomendable, porque la interrupción del temple a elevadas temperaturas no puede ser tolerado. Las atmósferas exotérmicas y endotérmicas deben ser cuidadosamente controladas al potencial de carbono equivalente para evitar la carburización la cual disminuirá la resistencia a la corrosión. El mismo problema sucede con la atmósfera de recocido. Si las condiciones oxidantes están presentes, la escala se formará. Difícil de remover en operaciones de desincrustación subsecuentes.

Enfriar rápidamente a la temperatura de recocido, no más de tres minutos a color negro. El tamaño de la sección determina el temple medio: agua para secciones pesadas, ráfagas de aire para tamaños intermedios y todavía aire para secciones delgadas. Observese que los carburos pueden precipitar a las fronteras de grano, cuando las partes son enfriadas muy lentamente entre los 425 y 890°C (800 y 1650°F).

RELEVO DE ESFUERZOS. Las partes pueden ser relevadas después del temple para llevar a cabo la estabilidad dimensional, por calentamiento de los 230 a los 400°C (450 a 750°F) por un gran número de horas, dependiendo del tamaño de la sección y sin cambios en la estructura metalográfica.

NITRURADO. No recomendable. Ocasiona serios daños en la mayoría de los medios. Rara vez produce más de 0.127mm de profundidad. Utilícese solamente en aplicaciones especiales donde el material debe ser no magnético y debe tener superficie resistente al uso. Si se nitrura, las partes deben estar en la condición de recocido. Todas las esquinas filosas debieran ser reemplazadas con un radio no menor de 1.59mm. La película del óxido de cromo primario, la cual protege los aceros inoxidables de la oxidación y corrosión, deberá ser removido antes que la nitruración tome lugar. Se realiza por ráfagas húmedas, desoxidación, reducción química en atmósferas reductoras, sumersión en sales ó por uno de los muchos procesos apropiados. Si existen dudas que completen y ocurra una deposición uniforme, reducciones más amplias del óxido podrán ser realizadas en hornos por procesos de reducción de la atmósfera de hidrógeno ó agentes de propiedades similares. Después de la deposición se deberá evitar la contaminación de la superficie por marcas de dedos ó manos. La nitruración simple se adecua de los 525 a los 550°C (975 a 1025°F), de 20 a 48 horas (dependiendo de la profundidad requerida). La disociación para ciclos simples tiene un rango de 20 a 35%. La dureza, es alta entre los 1000 y 1350 HK en la superficie. Los ciclos de 48 horas producen una extensión de 0.127 mm aproximadamente de 800 a 1000HK.



201: MICROESTRUCTURA.- Atacado con ácido nítrico - acético - ácido clorhídrico - glicerol. 250 X .Solera, recocida a 1065 °C (1950 °F) por 5 minutos. Enfriada rápidamente hasta temperatura ambiente. Granos equiaxiales de austenita y cristales recocidos

SECUENCIA DE PROCESOS RECOMENDABLE

- Trabajo en frío
- Recocido y Temple
- Remover la contaminación de la superficie (si se requiere)
- Relevo de esfuerzos
- Despasividad
- Nitruración (si se requiere)

4.7 ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

Los aceros inoxidables ferríticos permanecen ferríticos a todas las temperaturas, teóricamente, no son alotrópicos y no pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos y temple. Sin embargo, esto no siempre es completamente cierto. Algunos aceros ferríticos están en línea a la extensión como si el cromo estuviera en el lado bajo y el carbón en el lado alto alguna transformación de la austenita puede tomar lugar en el calentamiento. Esto puede transformarse a martensita después de enfriarse. La extensión en la cuál esto ocurre, sin embargo no es usualmente de gran significancia práctica.

Por lo tanto, el tratamiento térmico principal aplicado a los grados ferrítico es el recocido, el cuál se logra usualmente por enfriado rápido desde una temperatura elevada. En su condición recocida, los aceros inoxidables ferríticos desarrollan una máxima suavidad, ductilidad, y resistencia a la corrosión.

El recocido sirve primariamente para aliviar esfuerzos resultantes de soldadura o trabajo en frío. Secundariamente, provee una estructura más homogénea al eliminar los parches de la transformación del producto desarrollado durante la soldadura como resultado de 475 °C (885 ° F), quebradizos.

Los aceros ferríticos usualmente son recocidos a temperaturas arriba del rango de 475 °C (885 ° F) quebradiza y abajo de temperaturas a las cuales se puede formar austenita, la tabla incluye en esta sección prácticas de recocidos actuales para los grados ferríticos.

A un los grados ferríticos pueden retener austenita o martensita no revenida de una transformación parcial de austenita a altas temperaturas. El aluminio ha sido añadido a 405 para eliminar o minimizar la formación de austenita y la descomposición durante la soldadura. Donde la fusión de soldadura caliente este grado arriba de 1095 ° C (2000 ° F) puede resultar una fragilización. Esto es corregido por un tratamiento térmico subsecuente de 650 a 815 ° C (1200 a 1500 ° F).

Cuando el tipo 430 se ha enfriado rápidamente desde 925 ° C(1700 °F) puede volverse frágil, de la transformación de austenita tanto como un 30 % de martensita. La

austenita puede ser retenida, si se enfría rápidamente desde temperaturas más arriba de 1095 ° C (2000 ° F) . Esto puede ser corregido al calentar de 760 a 815 ° C (1400 a 1500 ° F).

Una forma de fragilidad peculiar de los grados ferríticos puede ser desarrollada desde una exposición prolongada a, o bajo enfriamiento interior, el rango de temperatura de alrededor de 400 a 525 ° C (750 a 975 ° F), con un efecto máximo variante como ocurre a 470, 475, o 480 ° C (875, 885, o 900 ° F). La fuerza de impacto al hacer una muesca es más adversamente afectada. Se cree que la fragilidad es causada por la precipitación de una ferrita de alto cromo. Su efecto incrementa rápidamente con el contenido de cromo, alcanzando un máximo en el tipo 446. Ciertos tratamientos térmicos, tales como el horno de enfriamiento para máxima ductilidad, debe ser controlada para evitar la fragilidad. La condición de fragilidad puede ser eliminada por cualquiera de los tratamientos listados en la tabla, usando temperaturas claramente arriba de el límite superior de fragilidad, seguido de un rápido enfriamiento para prevenir que sea recurrente.

La fase sigma es un constituyente cristalografico que se forma lentamente a elevadas temperaturas en acero al cromo conteniendo más de 16% de cromo y en acero al cromo-niquel conteniendo mas de aproximadamente 18% de Cr. La fase sigma incrementa la dureza la cual es útil, pero decrece la ductilidad, merma la tenacidad y resistencia a la corrosión. La temperatura mínima para su formación depende exponencialmente a la exposición al tiempo. Para propositos prácticos puede ser situado cerca de 1000 ° F (540 ° C). El límite superior varia con el contenido de la aleación .

Debido a su lento desarrollo, la fase sigma es primeramente un problema donde la larga exposición a elevadas temperaturas estan involucradas. Hay poca evidencia de que se obtiene durante el tratamiento térmico. La fase sigma puede ser redisuelta calentando por arriba de 1650 ° F (900 ° C) .

Tratamiento de recocido para aceros inoxidable ferríticos

Type	Temperature(a) °F	°C	Cooling method(b)
405	1350 to 1300	735 to 715	AC or WQ
409	1600 to 1650	885 to 900	AC
439	1450 to 1550	790 to 845	AC or WQ
430	1400 to 1500	760 to 815	AC or WQ
430F	1250 to 1400	675 to 760	AC or WQ
430FSe	1250 to 1400	675 to 760	AC or WQ
434	1450 to 1550	790 to 845	AC or WQ
436	1450 to 1550	790 to 845	AC or WQ
442	1350 to 1500	735 to 815	AC or WQ
446	1450 to 1600	790 to 870	AC or WQ

(a) Time at temperature depends on section thickness, but is usually 1 to 2 hr, except for sheet which may be soaked 3 to 5 min per 0.10 in. (2.5 mm) of thickness. (b) AC, air cool; WQ, water quench.

NITRURADO: En general los grados ferreticos son más fácilmente nitrurados que los grados austeníticos. Casos un poco más profundos pueden ser formados en grados ferreticos , usando la misma práctica usada por los aceros austeníticos.. Como

solo es cierto para grados austeniticos, el nitrurado también perjudica la resistencia a la corrosión de los aceros ferriticos, por lo que las aplicaciones para aceros inoxidables ferreticos son limitadas.

FORJADO: Para la mayor parte, el rango de temperatura de forja admisible es muy amplio, un poco restringida a altas temperaturas por el crecimiento de grano y la debilidad estructural. El tipo 405 es el único de este grupo para el cual la temperatura final se encuentra muy limitada. Esto es porque este grado específico desarrolla una frontera debil de grano, causado por la obtención de pequeñas cantidades de austenita. Otros grado ferreticos comunmente pueden ser terminados a temperaturas tan bajas como 400 °F(760 °C). Para el forjado del 446, la reducción final de 10% es preferentemente hecha por abajo de 870 °C (600 °F) para llevar acabo un refinamiento del grano y dar lugar a la temperatura de ductilidad . El forjado de aceros ferriticos debe ser siempre recocido.

405

Composición Química. AISI y UNS:

Nominal 0.08% max, 1.00%Mn max, 0.040%P max, 0.030%S max, 1.00%Si max, 11.50 a 14.50%Cr , 0.10 a 0.30%Al.

Aceros Similares:(E.U. y/o extranjeros) UNS. S 40500; ASME SA240, SA268; SA479; ASTM A176, A240, A268, A276, A314, A473, A479, A511, A580; FED QQ-S773; MIL SPEC MIL-S-862; SAE J405 (51405); (W.Ger .) DIN 1.4002; (Fr) AFNORZ6SA13; (Italia) UNIX 6CrAl13; (Japon) JIS SUS405; (G.B.) B.S.405 S 17.

CARACTERISTICAS. Pueden ser enfriados desde altas temperaturas sin un endurecimiento significativo. No susceptible a la ruptura de la dureza durante la soldadura. Ductil. Fácilmente Máquinado.

FORJADO. Inicia forjado de 1950 a 2050 °F (1065 a 1120 °C) termina de 1600 a 1700 °F (870 a 925 °C)

4.8 ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

Los aceros inoxidables martensiticos representan una porción de las Series 400 de aceros inoxidables. El resto consiste de aceros ferriticos, los cuales no pueden ser tratados térmicamente para endurecimiento. El tratamiento térmico de los aceros inoxidables martensiticos es el mismo que para los aceros al carbón y baja aleación. Su potencial para desarrollar máxima resistencia y dureza depende primordialmente del contenido de carbono. La principal diferencia metalúrgica es el alto contenido de aleación de los inoxidables. Esto causa la transformación de la martensita para que este inactiva y que la dureza sea alta. Por estas razones, la máxima dureza es producida

Por enfriamiento de aire en el centro de las secciones de aproximadamente 305 mm de grueso. El cromo es el principal elemento de aleación en estos aceros. Los aceros inoxidables martensíticos son más sensibles a los tratamientos térmicos variables que los aceros al carbón y baja aleación.

Ya que el costo inicial de los aceros inoxidables y el costo de procesarlos en partes, es alto, no hay ventaja al utilizarlos, a menos que se requiera resistencia a la corrosión. Por consiguiente, los procedimientos de endurecimiento discutidos en esta sección se limitan a aquellos que proporcionan resistencia a la corrosión.

Para evitar la contaminación, todas las partes e instalaciones de tratamientos térmicos deben estar completamente limpias antes de que sean colocadas en el horno. Las piezas e instalaciones deberán ser fabricadas de acero inoxidable o de alguna de las muchas aleaciones con base de níquel que contienen cantidades apreciables de cromo. La limpieza apropiada es particularmente importante cuando el tratamiento térmico va a realizarse en una atmósfera protectora.

Los aceros inoxidables martensíticos normalmente son duros debido a que se calientan por encima del rango de temperatura de transformación de los 925 a los 1065°C (1700 a los 1950°F) y enfriados en aire. Debido a la pobre conductividad térmica de los aceros inoxidables, el alto gradiente térmico y la alta tensión durante el calentamiento rápido pueden causar torseduras y fracturas en algunas partes. Para evitar este problema, el precalentado usualmente es recomendado antes del recocido o endurecido, especialmente para partes delgadas, partes con secciones delgadas y gruesas, partes con esquinas afiladas y ángulos reentrantes, partes trituradas pesadas, partes maquinadas con cortes profundos, partes que han sido formadas en frío y partes que han sido endurecidas por tratamientos de recalentado. El precalentado normalmente se realiza de los 760 a los 790°C (1400 a 1450°F), y el calor debe continuar sólo hasta asegurar que todas las porciones de cada parte han alcanzado la temperatura de precalentado. Los tipos 403, 410 y 416 requieren menos precalentado que los aceros inoxidables al alto carbón, como el 420 y 440.

Cuando se desea máxima resistencia a la corrosión, estos aceros deberán ser austenizados a lo más alto del rango de temperatura. Para aleaciones que están por encima de la temperatura de los 565°C (1050°F), se recomienda la parte baja del rango de austenización porque aumenta la ductilidad y propiedades de impacto. Los tiempos de remojado representan un compromiso entre (a) realizar la solución máxima de carburos de cromo-hierro para máxima resistencia a la corrosión y (b) evitar la descarburización, excesivo crecimiento del grano, retención de austenita, fracturas y fractura del temple.

Debido a su alta dureza, todos los aceros inoxidables martensíticos pueden ser templados en aire o aceite. El temple en aceite garantiza máxima resistencia a la corrosión y ductilidad en todas las aleaciones. El temple en aire puede ocasionar un decremento en la resistencia a la corrosión y ductilidad en los tipos 414, 420, 431 y 440. Estos aceros

pueden precipitar carburos en las fronteras de grano, si secciones pesadas son enfriadas lentamente al rango de temperatura cerca de los 870 a los 540 °C (1600 a 1000 °C). Los aceros de alto carbono, como el 440C y el Níquel 431 más alto, son probables de retener grandes cantidades de austenita sin transformar en la estructura templada, frecuentemente tanto como el 30% de su volumen. Una porción de la austenita retenida quizás sea transformada por el enfriamiento bajo cero (estabilizador), seguido del temple. Para aceros completamente duros, el incremento de grados de recuperación a través de la condición de recocido son dados por (a) relevo de esfuerzos, (b) temple, (c) recocido subcrítico, y (d) recocido completo. Los aceros inoxidables martensíticos en ocasiones son nitrurados para incrementar la dureza de la superficie y resistencia al impacto y para lograr el más bajo coeficiente de fricción.

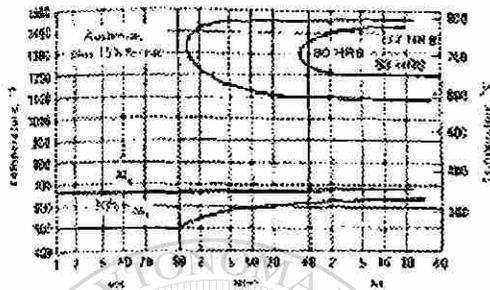
403

COMPOSICION QUIMICA. AISI Y UNS: Nominal. 0.15 C max, 1.00 Mn max, 0.040 P max, 0.030 S max, 0.50 Si max, 11.50 a 13.00 Cr.

ACEROS SIMILARES (Americanos y Extranjeros): UNS S40300; AMS 5611, 5612; ASTM A176, A276, A314, A473, A479, A508, A511; FED QQ-S-763; MIL SPEC MIL-S-862; SAE J405 (51403); (W.Ger.) DIN 1.4024; (Jap.) JIS SUS 43, SUS 403, SUS 416; (U.K) B.S 420 S 29, En. 56 B.

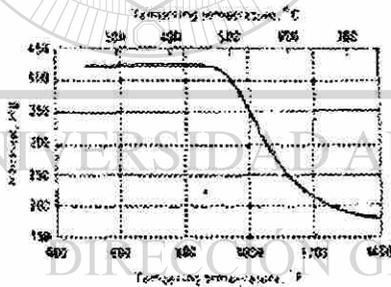
CARACTERISTICAS. Calidad especial es utilizada para turbinas y aplicaciones similares. De lo contrario comparable con el tipo 410. Puede ser templado en aire o aceite. Puede ser martemplado. Capaz de endurecer a los 42 HRC o un poco más alto. Puede ser templado para proporcionar un amplio rango de tensión y resistencia al impacto. Extremadamente endurecido profundamente. Máxima dureza obtenida por temple en aire. Puede ser recocido completamente. Buena resistencia a la corrosión. Susceptible a la fractura corrosiva en ambientes corrosivos. Magnético en todas las condiciones. Maquinabilidad exacta. Resistente a la oxidación arriba de los 815°C (1500°F).

FORJADO. Inicia el forjado de los 1095 a los 1205°C (2000 a 2200°F). No forjar por debajo de los 870 a los 925°C (1600 a los 1700°F).

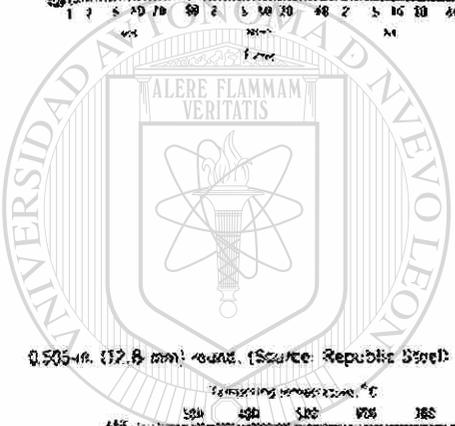


403: DIAGRAMA DE TRANSFORMACIÓN ISOTÉRMICO. Composición : 0,15% Cmax., 1,00 Mn max, 0,04 P max, 0,030 S max, 0,05 Si max, 11.5 a 13.0 Cr. Austenizado a 980 ° C (1800 °F). Dureza tal como se temple, 41 HRC.

0.505-in. (12.8 mm) round. (Source: Republic Steel)



403: DUREZA CONTRA TEMPERATURA DE REVENIDO. Composición : 0.10 a 0.115 C, 0.30 a 0.45 Mn, 0.014 a 0.018 P, 0.012 S max, 0.28 a 0.45 Si, 12.18 a 12.34 Cr, 0.34 a 0.63 Ni, 0.02 a 0.08 Mo. Tratado termicamente a 1010 °C (1850 °F), media hora. Templado en aceite: De 66 a 94 ° C (150 a 200 ° F). Templado en agua revenido durante dos horas. tratado termicamente, redondo de 14mm (0.550 in) .Redondo probado a 12.8 mm (0.505 in).



UANI

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.9 ACEROS INOXIDABLES ENDURECIDOS POR PRECIPITACION

De los aceros incluidos en el grupo de endurecidos por precipitación, seis aceros importantes, conocidos como la serie 600 serán discutidos. Estos aceros son subdivididos de acuerdo con el tipo de estructura que desarrollen. En resistencia a la corrosión estos aceros pueden variar considerablemente a través de las diferentes clasificaciones dentro del grupo, pero en general, su resistencia a la corrosión se aproxima a la de la clasificación austenítica.

La mayoría de las clasificaciones de los endurecidos por precipitación pueden ser endurecidos al menos hasta 44 HRC y en ocasiones hasta más alto, pero no por las técnicas convencionales de endurecimiento por temple utilizadas para las clasificaciones martensíticas. Las técnicas de endurecimiento para las clasificaciones de endurecidos por precipitación son más parecidas a aquellas utilizadas para los metales no ferrosos. La aproximación general al tratamiento de solución es calentando a una temperatura elevada, enfriando rápidamente, después endurecer calentando a una temperatura intermedia sin embargo, existe mucha diferencia en las técnicas para las diferentes clasificaciones.

Los aceros endurecidos por precipitación son relativamente difíciles de forjar los rangos de forjado son estrechos, preferentemente de los 1040 a los 1150°C (1900 a 2100°F) esto se aplica especialmente a los tipos martensíticos y semi-austeníticos 630, 631, 632, 633, y 634. El tipo austenítico 660 es menos sensible al rango de calentamiento, pero todos los aceros endurecidos por precipitación son más susceptibles a la fractura durante el forjado que otros grupos de aceros inoxidables. Todos los forjados hechos de aceros endurecidos por precipitación deben revestirse para prevenir la formación de fracturas.

630

Composición Química. AISI: Nominal. 0.07 C máx, 1.0 Mn máx, 1.0 Si máx, 4.0 Ni máx, 17.0 Cr máx, 4.0 Cu máx, 0.5 a 0.4 Cb-Ta. UNS: 0.07 C máx, 1.00 Mn máx, 0.040 P máx, 0.030 S máx, 1.00 Si máx, 3.00 a 5.00 Ni, 15.50 a 17.50 Cr, 3.00 a 5.00 Cu, 0.15 a 0.45 Cb+Ta.

Aceros Similares (Americanos y/o Extranjeros). UNS S17400; AMS 5342, 5343, 5344, 5355, 5604, 5622, 5643, 5825; ASME SA564, SA705; ASTM A564, A693, A705; MIL SPEC MIL - C-24111, MIL-S-81506, MIL-S-81591; SAE J467 (17-4PH).

Características. El tipo martensítico 630 combina la alta tenacidad y dureza con la excelente resistencia a la corrosión. Puede ser endurecido por un tratamiento térmico simple a baja temperatura que virtualmente elimina la distorsión.

Forjado. Forjar dentro del rango de los 1040 a los 1150°C (1900 a 2100°F).

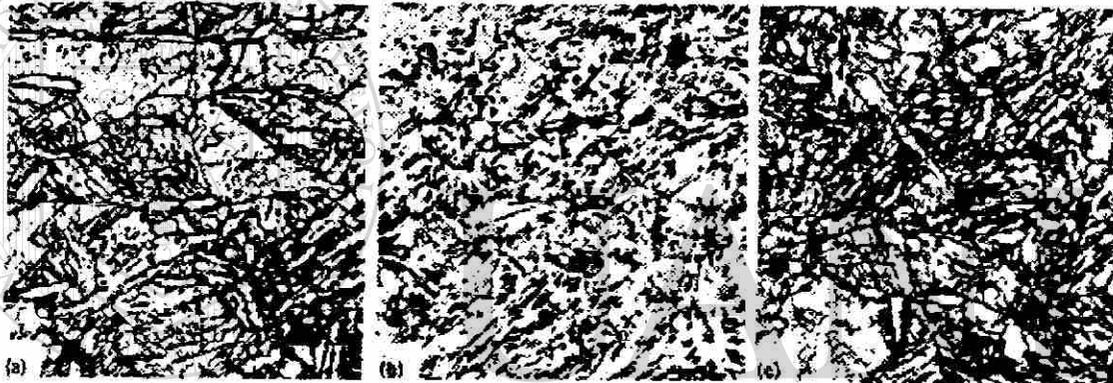
PRACTICA DEL TRATAMIENTO TERMICO RECOMENDADO.

Para esta clasificación y la mayoría de las otras clasificaciones de endurecidos por precipitación, las propiedades finales pueden diferir algo con variaciones en la temperatura aplicada. Sin embargo, el siguiente procedimiento es el más comunmente usado:

- Tratamiento de solución calentando de los 1025 a los 1050°C (1875 a los 1925°F)
- Templado en aceite a la temperatura ambiente.

Endurecer a los 480°C (900°F) por una hora y enfriar en aire (conocido como la condición H900).

Siguiendo este tratamiento térmico se puede esperar una dureza aproximada de 42 a 44 HRC.



630: MICROESTRUCTURAS. a) Atacado : ácido nítrico - acético, oxidado 10 % , 1000 X

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO V

EJEMPLO PRACTICO DE UNA MALA SELECCION DE MATERIAL

FALLA DE UN TUBO PERTENECIENTE A UN SOBRECALENTADOR, MATERIAL EQUIVOCADO

5.1 INFORMACION DEL EQUIPO EMPLEADO

Datos de la caldera:

Tamaño : 600, 000 lb vapor / hr (270,000 Kg /hr)

Presión de vapor : 1 800 psig (125 Kg/cm²)

Temperatura de vapor : 1005 ° F / 1005 ° F (540 ° C / 540 °C)

Combustible : carbón pulverizado.

El material fue reportado como un acero SA-213 T22, teniendo 1.5 pulgadas de diámetro exterior y un espesor de pared de 0.250 pulgadas, y la caldera había estado en operación durante 26 meses hasta que el tubo fallo.

Se efectuó una inspección visual en la falla del sobrecalentador mostrando lo siguiente:

- A) La falla exhibida presentó una rotura abierta algo violenta; esto forzó al tubo y provocó una doblez a un ángulo aproximado de 30 ° mientras fallo. El filo de la falla mostró un adelgazamiento en la pared del tubo de 0.250 pulgadas aproximadamente 0.175 pulgadas.
- B) El tubo se expandió hasta 1 25/32 pulgadas, y este presentó muchas líneas longitudinales de esfuerzos tanto externamente como internamente que corren paralelas a lo largo de la falla.
- C) El tubo presentó en su diámetro exterior escamas las cuales medían 0.034 pulgadas.
- D) Un espesor, fuertemente adherido en el diámetro interior de escamas midió 0.027 pulgadas.

La figura 1 muestra la seccion de la falla recibida para la examinación. Realizandose un análisis microestructural a 8 pulgadas de la falla, en el mismo plano que fallo.



Figura 1. El tubo que fallo exhibe una ruptura, y un espesor en el diámetro exterior e interior de escamas de óxido.

La figura 2 muestra una microestructura verdadera de la falla, y la figura 3 muestra la estructura varias pulgadas fuera; notese que los constituyentes son ferrita y grafito en ambas figuras. Entonces el material S.A. -213- T22 no es conocido como formador del grafito el calentamiento prolongados, un análisis químico fue desarrollado en el tubo que presento la falla. La tabla 1 muestra los resultados del análisis y la especificación requerida para un T-22 en comparación.

Tabla 1

Elemento	Composición %	SA-213-T22
Carbono	0.14	0.15 máx.
Manganeso	0.48	0.30-0.60
Silicio	0.19	0.50
Cromo	0.03	1.90-2.60
Molibdeno	0.03	0.87-1.13

La ineludible conclusión es que un material erróneo fue instalado, que de acuerdo a las especificaciones el material del tubo no era T-22 como se especificaba.



Figura 2. La microestructura fue tomada en la zona de fallo. La estructura esta compuesta de grafito y ferrita, esto indica una exposición prolongada a temperaturas elevadas. 200X, atacada con nital.

La unidad se encontro en operación durante 26 meses con un diseño de temperatura de vapor a la salida del sobrecalentador de 1005 ° F (540 ° C). A esta porción del sobrecalentador, las temperaturas esperadas se encuentran alrededor de 1050 ° F (565 °C), por arriba de los límites de seguridad de operación de un acero al carbono, mientras el rango de operación para el T-22 se encuentra dentro. A estas temperaturas el acero al carbono grafitizara completamente en el período de 18 000 hrs durante el cual la caldera ha estado en operación.



Figura 3. Microestructura a 8 pulgadas de la falla . La estructura en este punto es también ferrita y grafito. 500 X atacada con nital.

5.2 GRAFITIZACIÓN

El éxito de la operación de una caldera requiere el funcionamiento de aceros perlíticos por largos períodos de tiempo a un rango de temperaturas de 370 a 590°C (700 a 1100°F). Cambios ocurridos en los constituyentes microestructurales que tienden a bajar el nivel de energía interna del sistema metálico.

Perlita es una estructura de hojas delgadas o placas de carburo de hierro y ferrita, que estas son termodinámicamente inestables, relativas a la forma del hierro carburo de hierro y a la descomposición del carburo de hierro en ferrita y grafito. Una placa de carburo de hierro, que tiene una gran razón de volumen de superficie y por lo tanto, una alta energía superficial, y la energía superficial puede ser reducida por cambios, esto es de forma laminar a esferoideal. Reducciones futuras en la energía superficial pueden ser activadas por un decremento numérico de las partículas de carburo de hierro, de un gran número de pequeñas partículas a un pequeño número de grandes partículas. En la práctica, los cambios morfológicos se muestran como una progresión de perlita normal a una esferoidización del carburo de hierro. Este primer estado es roto bajo placas de carburo de hierro esferoideal, pero las colonias de perlita son aún claramente definidas. Cambios futuros en la microestructura muestra que una fina depresión de las partículas de carburo de hierro. Las figuras de la 1 a la 4 muestran esta progresión para el acero al carbón SA-210-A1

El estado final en la microestructura normalizada a uno de los estados de mínima energía interna, a la más grande estabilidad termodinámica, esto es ferrita y grafito. Partículas de grafito muestran una progresiva unión y crecimiento similar a las partículas de carburo de hierro: Primero por una muy fina depresión de grafito y últimamente la desaparición de las partículas pequeñas de grafito y la aparición de muchas grandes partículas de grafito. La figura 5 muestra la estructura de ferrita y grafito del material SA-210-A1. Todas estas transformaciones ocurren en un rango de temperatura mayor de 727°C (1341°F). Sin embargo, que ocurre a altas temperaturas en un corto tiempo, también puede ocurrir a bajas temperaturas, pero requeriría periodos de tiempo muy largos.

El parámetro de Larson-Miller P ha sido usado para determinar este intercambio tiempo-temperatura para la degradación difusional microestructural controlada.

$$P = T (20 + \ln t)$$

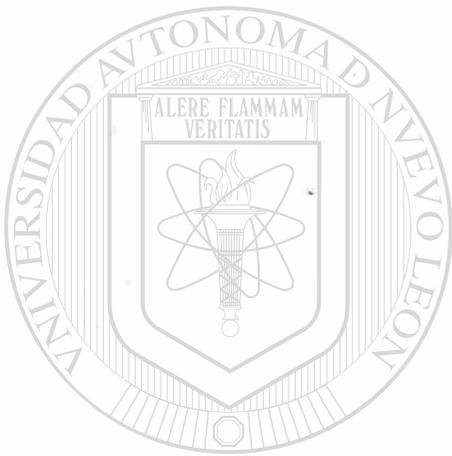
donde: T = temperatura en grados Rankine

t = tiempo en horas

y 20 es una constante empírica

Pequeños cambios en la temperatura, tienen un profundo efecto en el tiempo para, decir, que ocurra la esferoidización completa.

Como el acero es calentado arriba de 727°C (1341°F) la estructura de la ferrita y la perlita comienzan a transformarse a austenita y ferrita



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

5.3 MICROESTRUCTURAS

Las fotomicrografías que se muestran son representativas de microestructuras encontradas comúnmente en aceros ferríticos usados como tubería de calderas años en servicio. Ellos están agrupados para demostrar los cambios ocurridos en la morfología para una estructura normalizada de ferrita y perlita mostradas en un tubo nuevo. El primer estado en la transformación es a un *insitu breakdown* de la perlita : la forma de las colonias de perlita permanecen intactas pero las placas de carburo de hierro comienzan a esferoidizarse. Futuros cambios para una depresión de partículas cercanas a carburos esferoidales y finalmente, sigue la grafitización. La adición de estabilizadores de cromo que de esta manera mantienen los carburos igual por tiempos largos o a altas temperaturas sin grafitizar como se ha observado en los aceros aleados al cromo-molibdeno.

Aceros al carbón son el primer paso, tipificados por SA-178-A, y son representativos de SA-178-C y SA-210-A1. Adiciones de molibdeno mejoran la aleación y limita la resistencia a la oxidación pero no previene la formación de grafito. Los cambios microestructurales para el SA-209-T1 son similares a los aceros al carbón. Comparando un acero al carbón. Fotos 2.1-2.4 con el carbón más $\frac{1}{2}$ molibdeno SA-209-T1, fotos 5-8. Adiciones de cromo alteran la morfología del carburo de hierro tal que para un tubo nuevo la perlita no esta organizada como en los aceros al carbón, compare fotos 1, 9 y 13.

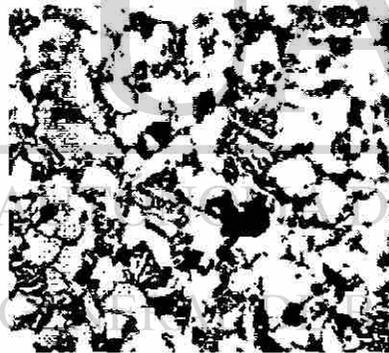


Figura 1. SA-178-A, Acero al carbon. La microestructura muestra ferrita y perlita en un acero de bajo contenido de carbón. 250X.

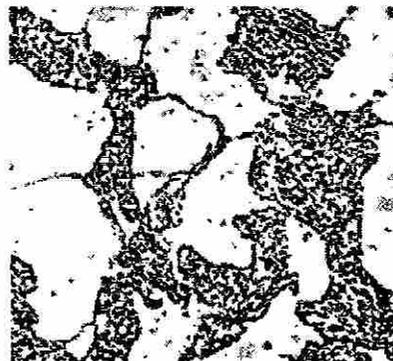


Figura 2. SA-178-A acero, La microestructura muestra el inicio de la esferoidización. Las colonias de perlita se encuentran aun definidas, pero la morfología del carburo de hierro esto muestra pequeñas esferas 750X.



Figura 3. SA-178-A, acero al carbon. La estructura justamente comienza la esferoidización. Las pequeñas manchas negras nos indican el estado inicial de la esferoidización. Los carburos comienzan a coalescerse en pequeñas largas partículas dispersas a través de la estructura 500X.



Figura 4. SA-178-A acero. Las partículas de grafito han crecido, y la cantidad de carburo de hierro decrece; esto es un avanzado estado de grafitización 500 X.

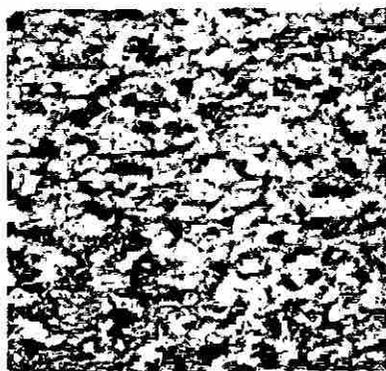


Figura 5. SA-209-T1. La microestructura normal consta de perlita laminar y ferrita 100X.

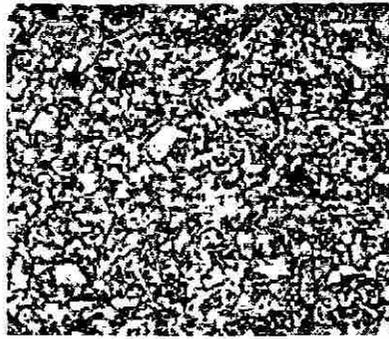


Figura 6. SA-209-T1. La microestructura muestra colonias de perlita aun definida, pero el carburo de hierro se encuentra en forma esferoidal 500 X

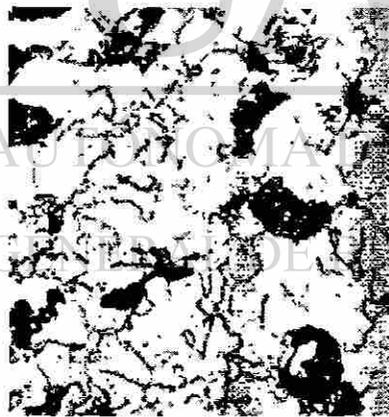


Figura 7. SA-209-T1. El estado final de la esferoidización o el estado inicial de la grafitización. Los carburos de hierro se encuentran uniformemente distribuidos através de la microestructura, y podemos ver la formación de los nodulos de grafito 500X.



Figura 8. SA-209-T1. El estado inicial de la grafitización. Notese que hay muy poco carburo de hierro presente, y las partículas de grafito han crecido comparandola con la misma que la figura 7.

En el paso final se muestra las microestructuras de un material de tubo y placa. Estos son caracterizados por tener altos contenidos de carbono pero son todavía aceros al carbón. Para un SA-106 ° B el contenido de carbón es 0.30 % max y deberá contener cerca de 37 % de perlita. Para un SA-106 C, SA-515-70 y SA-516-70 el contenido de carbón es de 0.35 % max, y deberá contener cerca de 45% de perlita, compare fotos 9, 10, 11 y 12. Por el uso de un acero de grano fino el impacto en las propiedades es mejorado y la nula temperatura de transición dúctil es disminuída, tanto el SA-516-70 y el SA-516-70 tienen la misma resistencia a la tensión, 70,000 psi, pero muy diferente tamaño de grano.

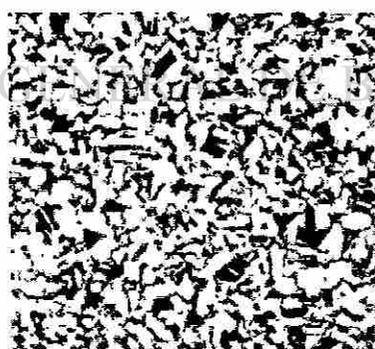


Figura 9. SA-106-Grado B. Material de tubo. Las áreas blancas muestran ferrita, las áreas negras son ferrita, pero ha estos aumentos las placas de perlita y ferrita no se distinguen. 100X.

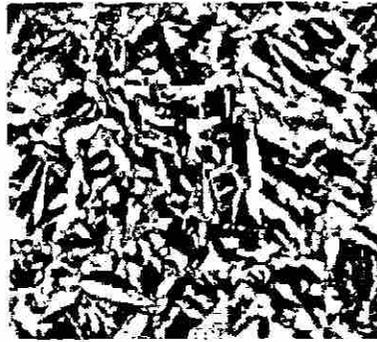


Figura 10. SA-106-Grado C. Material de tubo. Aleación similar a la 106- Grado B, muestra un alto contenido de carbón lo que nos da un gran porcentaje de perlita en la microestructura como es evidente con la comparación de la microestructura anterior. 100X

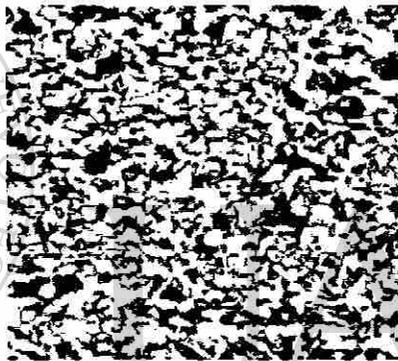


Figura 11. SA-515-Grado 70, material de placa. Microestructura normal de un acero carbono- mangenoso comúnmente usado para domos de baja presión. 100X

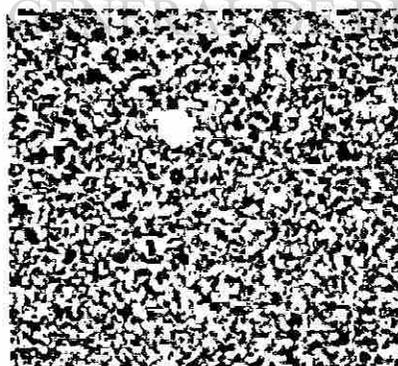


Figura 12.- SA-106 Grados 70, material de placa. Un material similar a la microestructura anterior excepto que esta fue fabricada con un tamaño de grano pequeño. El tamaño de grano fino de 516 grado 70, nos da mejores propiedades de impacto a bajas tempeturas. 100 X

BIBLIOGRAFIA

1.- LIBRO: HEAT TREATER'S GUIDE
STANDARD PRACTICES AND PROCEDURES FOR STEEL
AUTOR: PAUL M. UNTER WEISER
HOWARD E. BOYER
JAMES J. KUBBS
EDITORIAL: AMERICAN SOCIETY FOR METALS

2.- LIBRO: METALLURGYCAL FAILURES IN FOSSIL FIRED BOILERS
AUTOR: DAVID N. FRENCH
EDITORIAL: WILEY - INTERSCIENCE

3.- LIBRO: WHY METALS FAIL
AUTOR: R.D. BARER
B.F. PETERS
EDITORIAL: GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

4.- LIBRO: METALS HANDBOOK ATLAS OF MICROSTRUCTURES OF INDUSTRIAL ALLOYS
EDITORIAL: AMERICAN SOCIETY FOR METALS



