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 par 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

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 límite 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 hacía 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 hacía 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 par 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
- Precalentamiento
- 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 especificas. 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

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 quimicas. 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 .

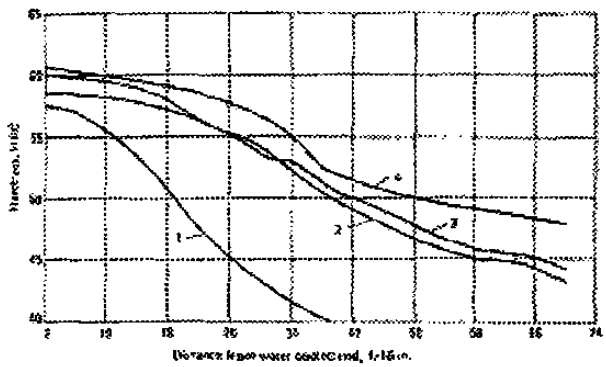
DUREZA. Calentar lentamente. Precalentar a 650 ° C (1200 ° F). Austenizar de 900 a 955 ° C (1650 a 1750 ° F), mantener por 15 a 45 minutos, entonces templar en aceite. Dureza de templado, 57 a 59 HRC.

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.

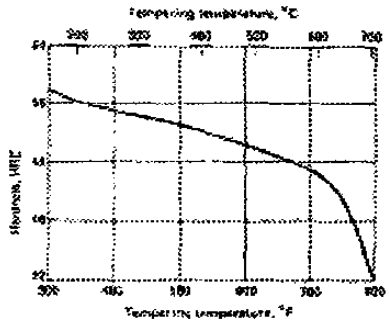
REVENIDO. Para prevenir la fractura, revenir dentro de 30 minutos si se templo a 900 °C (1650 °F), 15 minutos si es templado a 955 ° C (1750 ° F). El tiempo puede variar con el tamaño y la forma. Revenir de 205 a 650 ° C (400 a 1200 °F). Dureza aproximada de revenido correspondiente a la temperatura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

SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO.

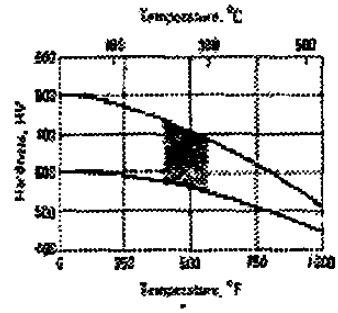
- Máquina de rugosidad
- Liberación de esfuerzos (opcional)
- Máquina de acabado
- Precalentamiento
- Austenizado
- Templado
- Estabilizado (opcional)
- Revenido
- Esmerilado final para el tamaño



S1:Endurecimiento temple-final. **1** : S1 conteniendo 0.53 C, 0.26 Si, 0.38Mn, 1.42Cr, 2.13W, **2.** S1 conteniendo 0.54 C, 1.02 Si, 0.41 Mn, 1.40 Cr.2.20 W. 3. S1 conteniendo 0.51 C, 0.26 Si, 0.39Mn, 1.43Cr, 2.15W, 0.51 Mo, 0.30 V **4.** S1 conteniendo 0.52 C, 1.04 Si, 0.42 M, 1.46 Cr,2.14 W,0.53 Mo, 0.32 V. Todos austenizados a 950 °C.

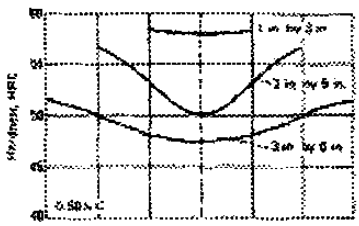


S1: Dureza contra temperatura de revenido. S1 austenizado a 955 °C y templado en aceite. Dureza de templado, 59 Hrc

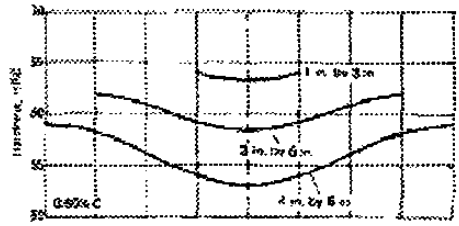


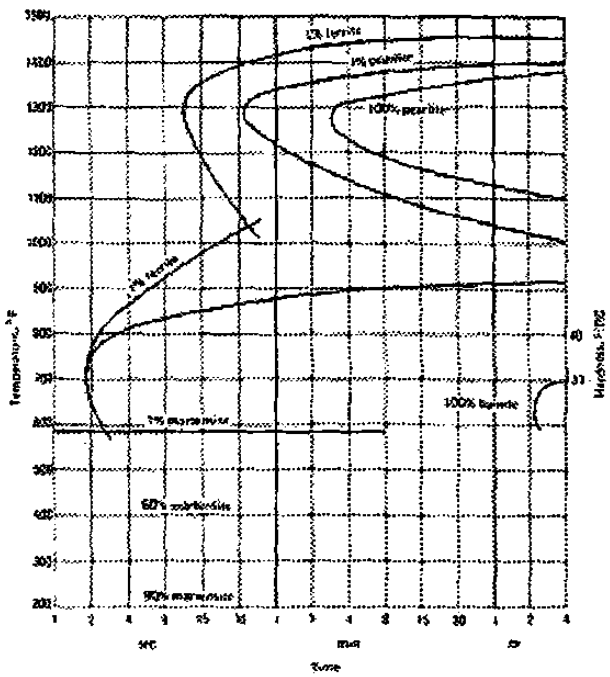
S1: Dureza contra temperatura de revenido. La porción sombreada muestra el rango óptimo para la mejor combinación de dureza.

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

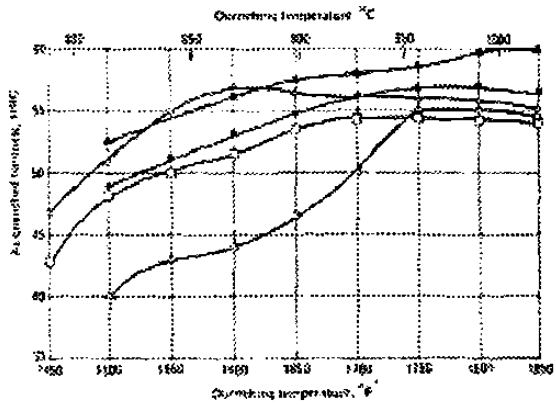


S1. Dureza de sección cruzada. El segundo contiene 0.50 % y 0.60 % C, austenizada a 925 °C y templado en aceite.



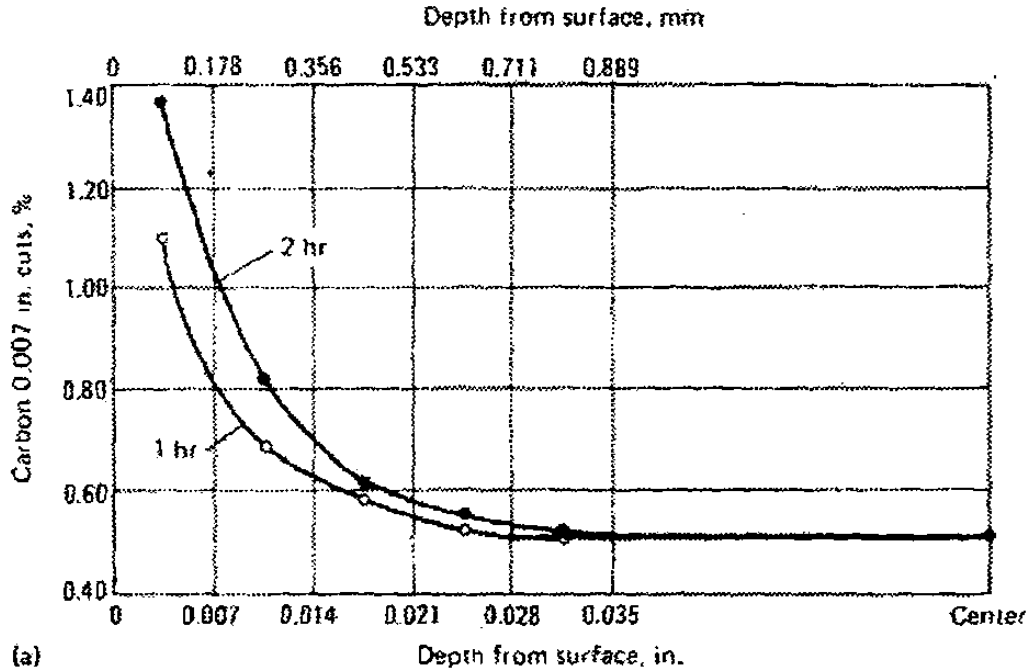


S1 . Diagrama de tranformación isotérmica . S1 contiene 0.50 C, 0.25 Mn, 0.75 Si, 2.50 W, 1.25 Cr, 0.20 B y austenizado a 925 ° C.



S1 dureza contra temperatura de austenizaci'on

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 empauquetado 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 x1 ¼ de pulgadas.



3.4 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRIO 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 varia 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

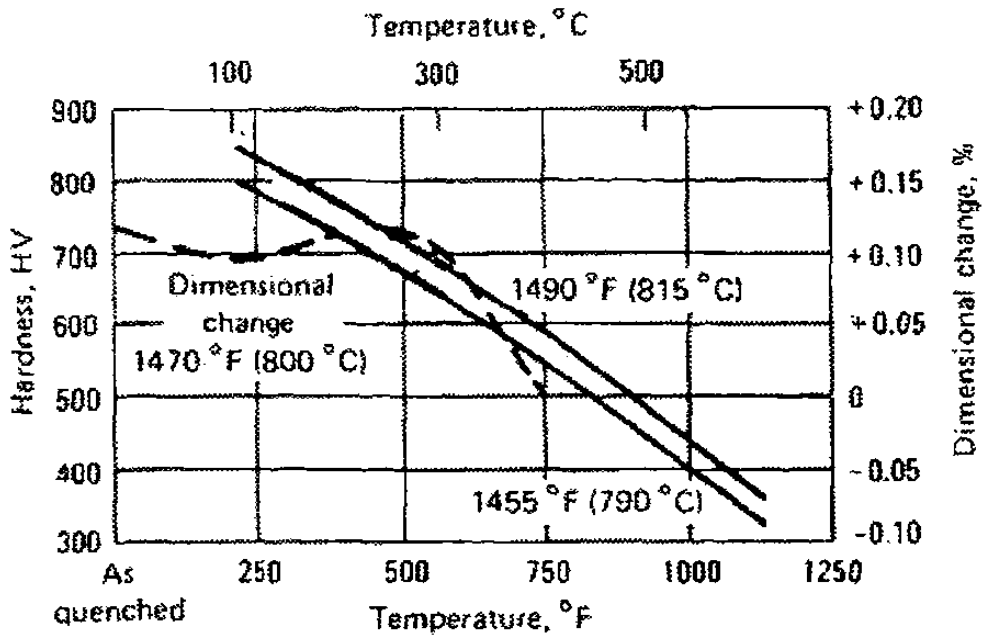
NORMALIZADO. Calentar a 870 ° C (1600 ° F). Tiempo de espera después del calentamiento uniforme, varía de 15 minutos para las secciones pequeñas a alrededor de una hora para las secciones largas . El trabajo se enfría a la temperatura ambiente.

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.

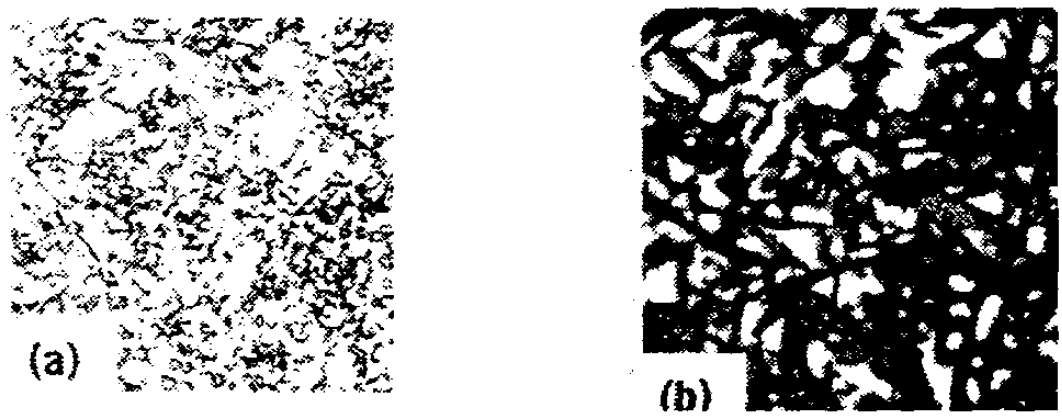
RECOCIDO CICLADO. Calentar a 730 ° C (1350° F), mantener por cuatro horas. Calentar a 780 ° C (1440 ° F), mantener por dos horas . Enfriar a 690 ° C (1275 °F), mantener por 6 horas. Enfriar al aire.

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.



O1 : Cambios dimensionales y dureza contra temperatura de revenido: Las líneas sólidas muestran con los límites inferior y superior de dureza después del revenido. La línea punteada es el cambio dimensional. El área sombreada , el rango de temperatura óptima .



O1. MICROESTRUCTURAS. a) La dispersión de partículas esferoidales de carburo en una matriz de ferrita . Es una característica de la condición del recocido total b) Normalizado por austenizado a 900 ° C por una hora y enfriado al aire.Martensita no revenida, algo de bainita, y austenita retenida, de sobrecalentamiento.

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 templado 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 endurecimientos 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 templados 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 grafítico, 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.

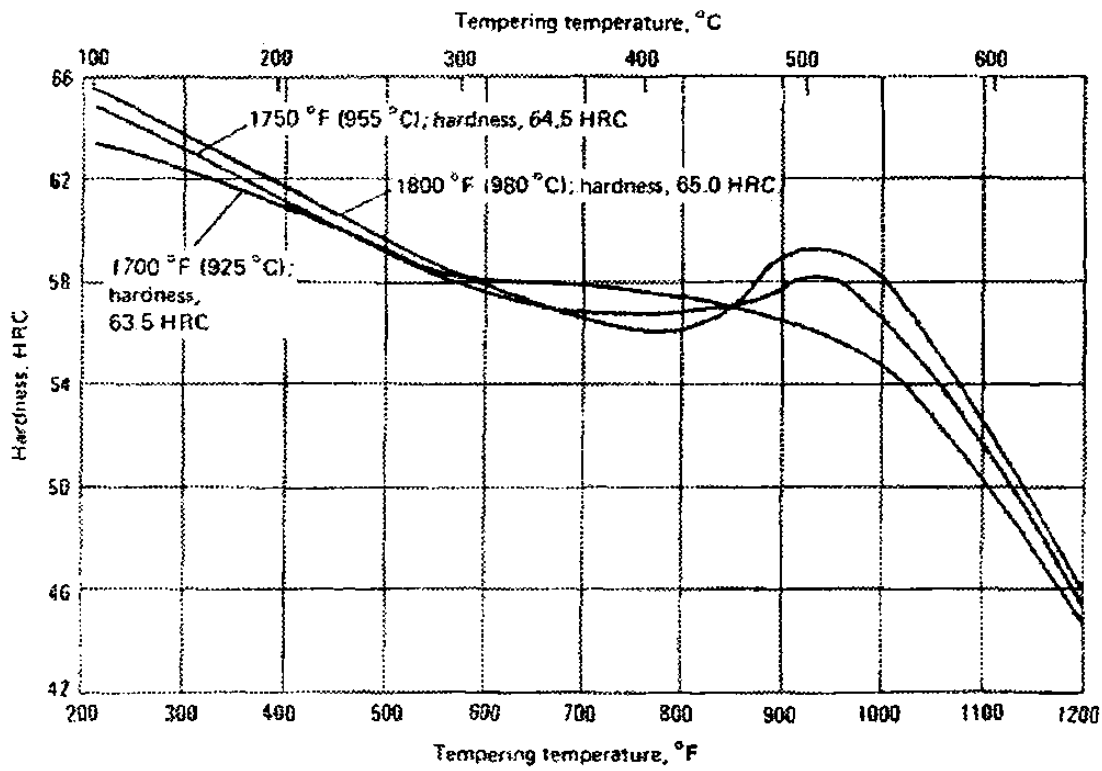
ENDURECIMIENTO. Calentar lentamente. Precalentar a 790 °C (1450°F), austenizar de 925 a 980°C (1700 a 1800°F), y mantener la temperatura por 20 minutos para las herramientas pequeñas a 45 minutos para las herramientas largas. El enfriado al aire debe hacerse para todos los lados, particularmente cuando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

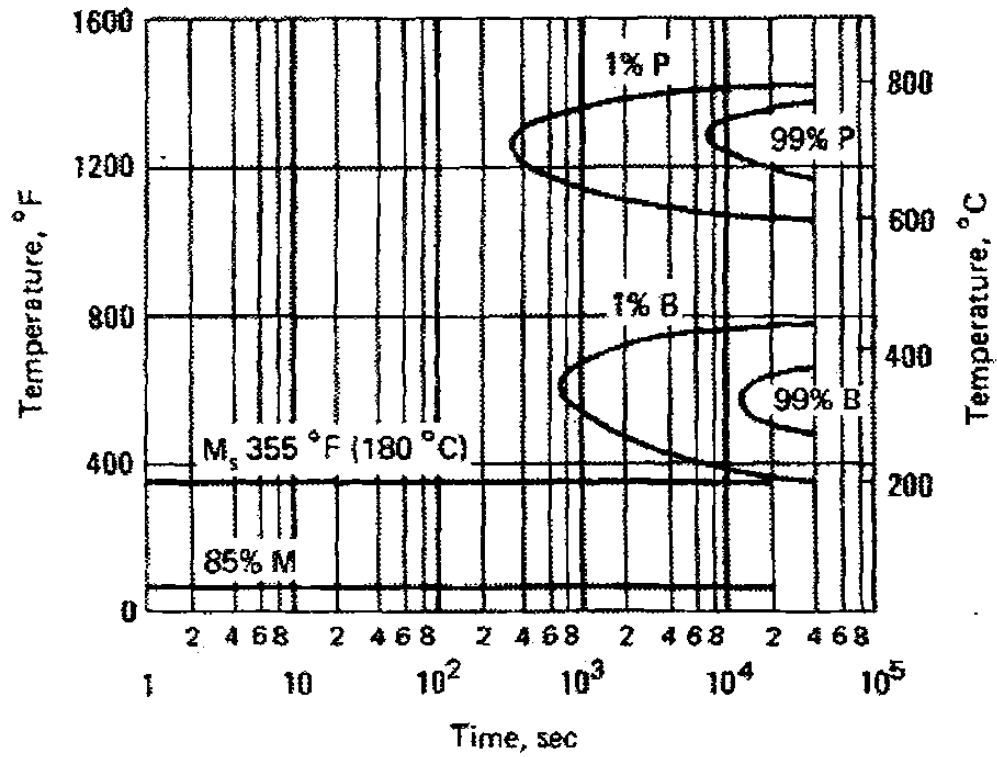
REVENIDO. Revenir inmediatamente de 175 a 540°C (350 a 1000°F) después la herramienta de 50 a 65°C (120 a 150 °F). El doble revenido, permite a la herramienta enfriarse a la temperatura ambiente antes de un segundo revenido. El rango de dureza después del revenido, 62 a 57 HRC. Revenir entre 175 y 230 °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



A2.- Diagrama de transformación isotérmica. El grado suizo austenizado a 950 ° C.

3.6 ACEROS PARA HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRIO DE ALTO CROMO, ALTO CARBON (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 templado 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. Precalentar 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

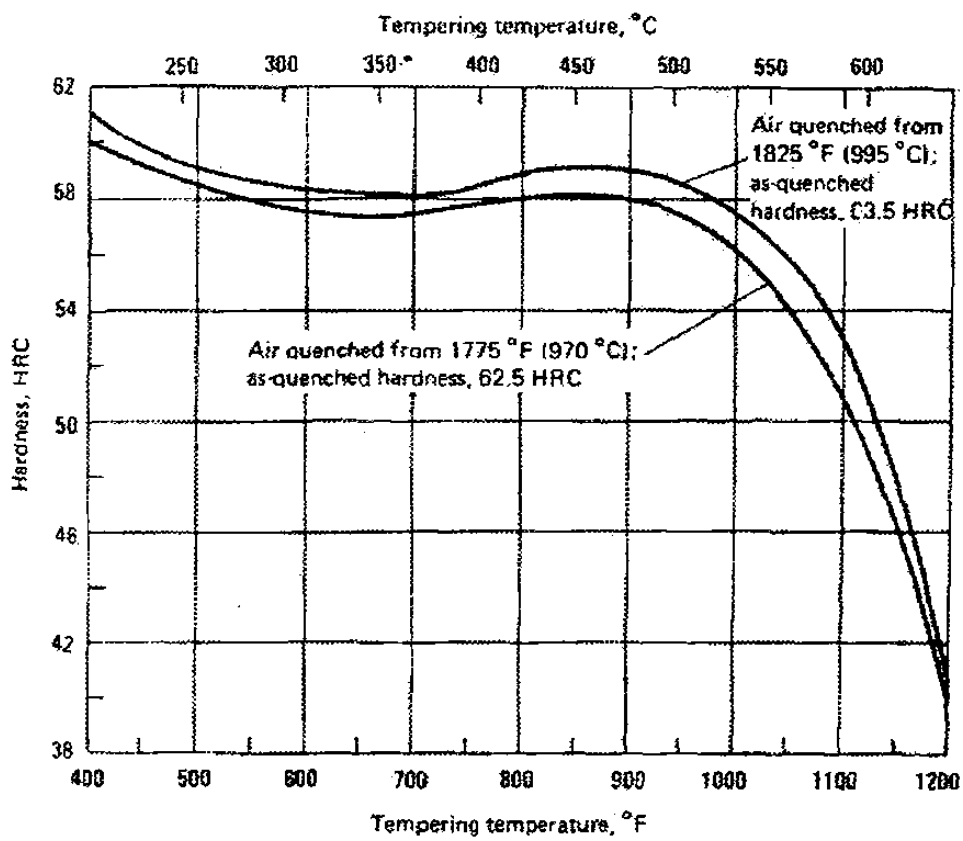
ENDURECIMIENTO. Calentar lentamente . Precalentar a 815 °C (1500°F) y austenizar de 980 a 1025 °C (1800 a1875 °F). Mantener esta temperatura por 15 minutos para herramientas pequeñas y 45 minutos para herramientas largas. Templar al aire y enfriar tan pronto como sea posible todos los lados. Un bloque de 3 por 6 por 10 plg. endurecerá de 62 a 64 HRC . Para el templado 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.

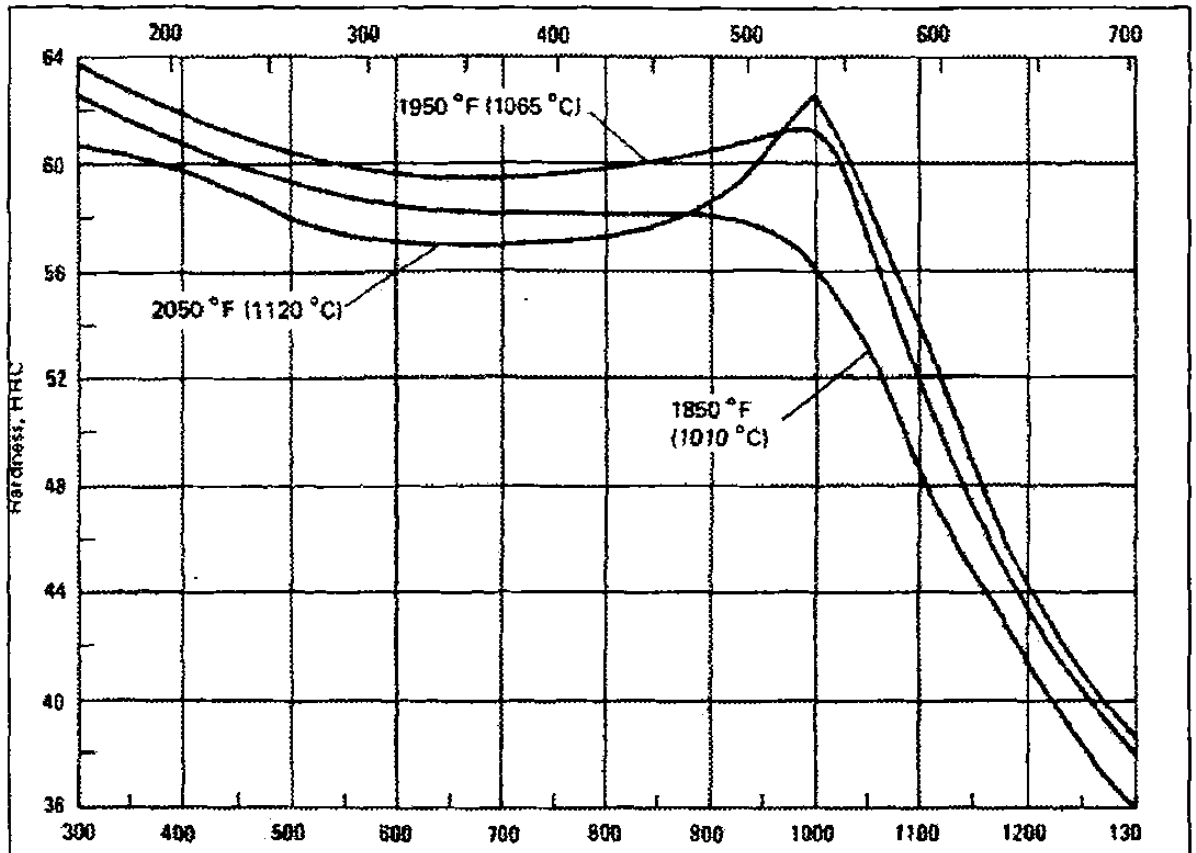
SECUENCIA RECOMENDADA PARA EL PROCESO

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



D2: Hart
Austenit
then air

D2.- Dureza contra temperatura de revenido. Austenizado a 970 y 995 ° C entonces es templado al aire.



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.

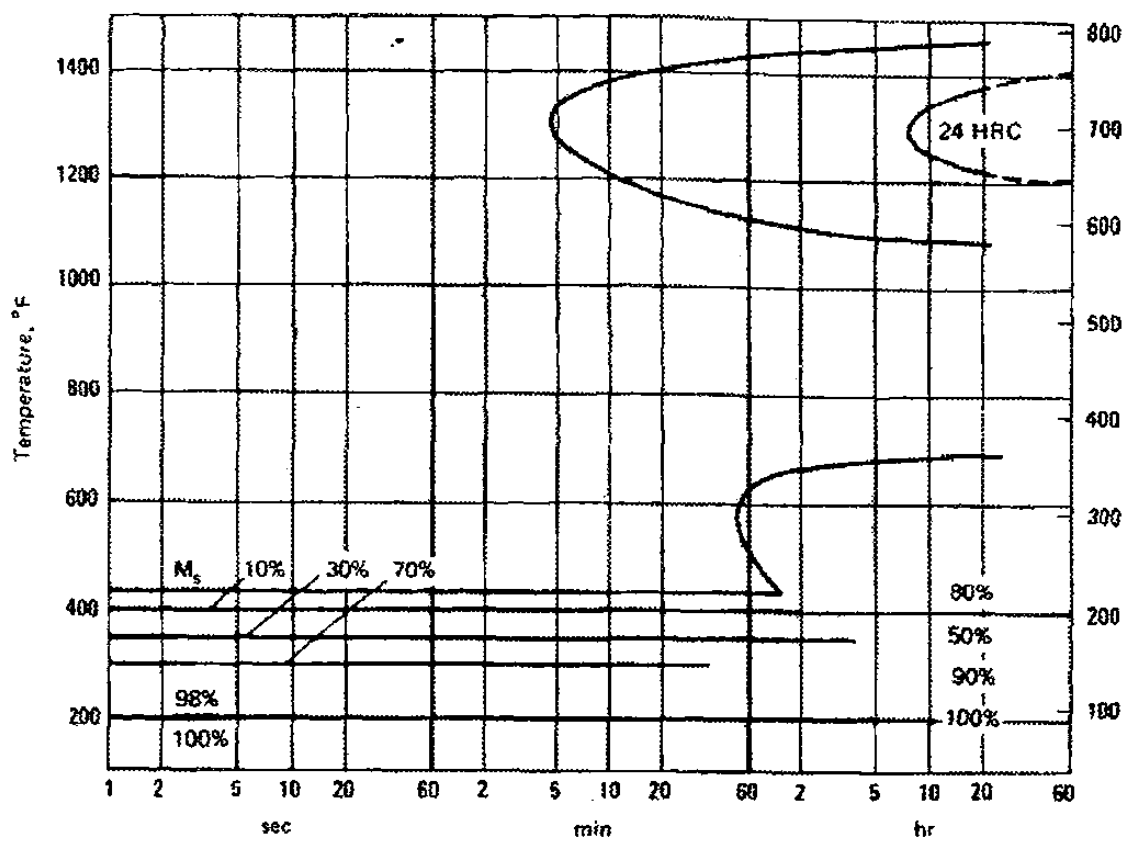
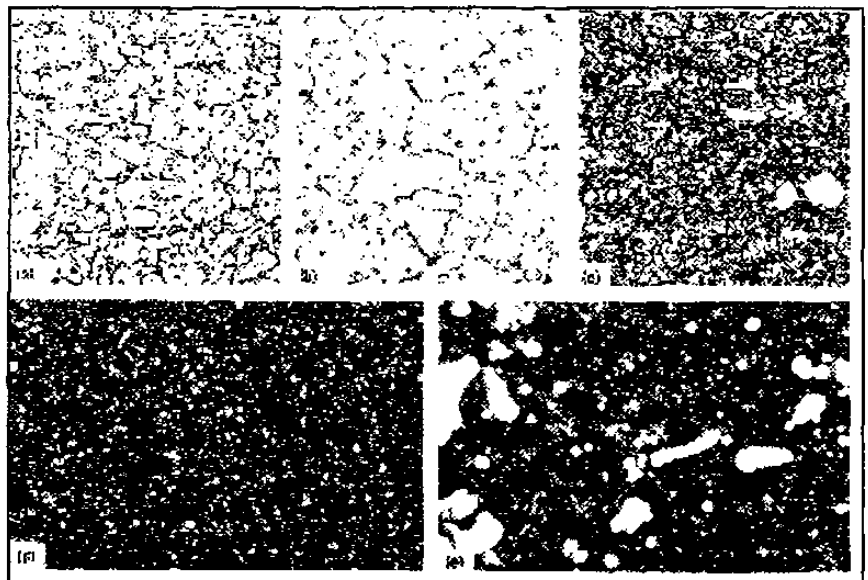


Diagrama de transformación isotérmica. Composición : 1.50 C, 11.50 Cr, 0.80 Mo, 0.20 V; austenizados a 180 °C.



a) Austenizado a 1010 ° C . templado al aire (no revenido). Aleaciones y partículas de carburo esferoidales pequeñas de grano en una matriz de martensita no revenida. *Dureza*, 64 Hrc b) Misma serie de tratamiento térmico como en el inciso a pero mostrado en una mayor magnificación. Dureza de la misma 64 Hrc. alguna austenita se presenta. c) Austenizados a 1010 ° C , enfriado al aire revenido a 480 °C por una hora d) *Precalentado a 790 °C*, austenizado *1010 °C*, *enfriado al* aire y doble revenido.e) Mismo cero y revenido como en el inciso d, pero con una mayor magnificación. Las partículas de carburo en una matriz de martensita revenida . La martensita a parece más obscura debido a una mayor temperatura de revenido (540 ° C).

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 puedes ser deoxidada para la rectificación para el control de la decarburización.

El aceite es el medio de templado mas 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 acero 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 si 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 construccionales, 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 decarburarización.

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, varia 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 limite inferior para secciones pequeñas y el limite superior para las secciones largas. El tiempo de espera varia 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.

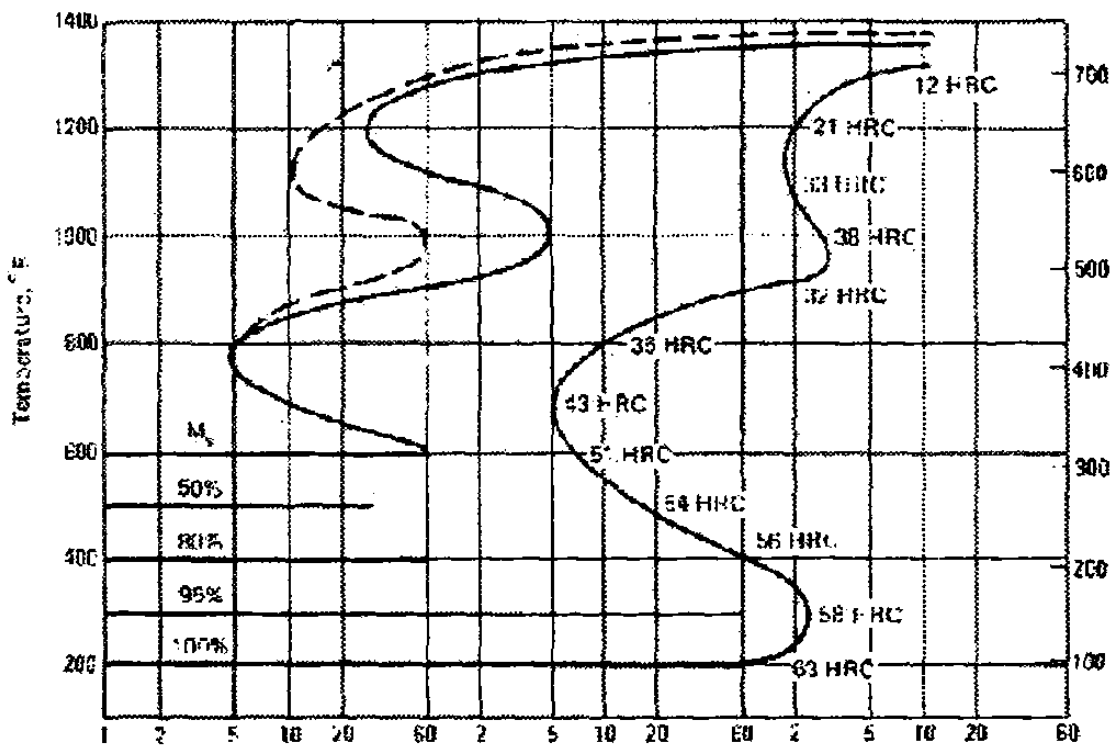
LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional. Calentar de 650 a 675°C (1200 a 1250 °F) una hora por pulgada de sección cruzada. Enfriar al aire.

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.

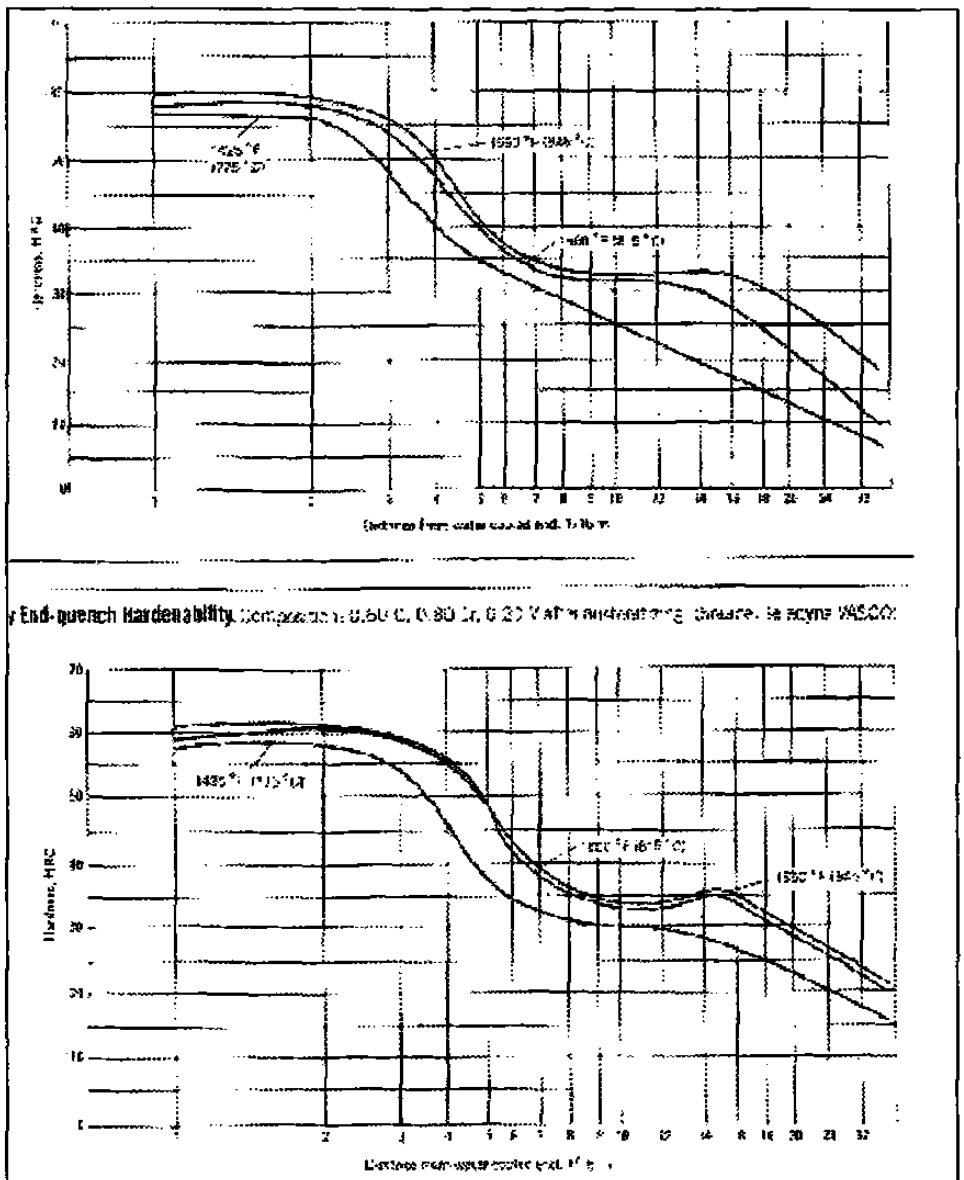
REVENIDO. Revenir de 175 a 540°C (350 a 1000°F) para una dureza de revenido aproximada de 63 a 45 HRC.

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 proposito especial contienen 0.45 C, 2.70 Mn, 1.00 Cr, 0.20 B. Temperatura de austenizado: 900 °C.



L2. Dureza de templado final Jominy. Aceros para herramientas con proposito 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 acero 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 dificil de maquinar. 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 similaridad a 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 templado 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 critico abajo de 540°C (1000°F). Dureza típica de recocido, 103 a 123 HB.

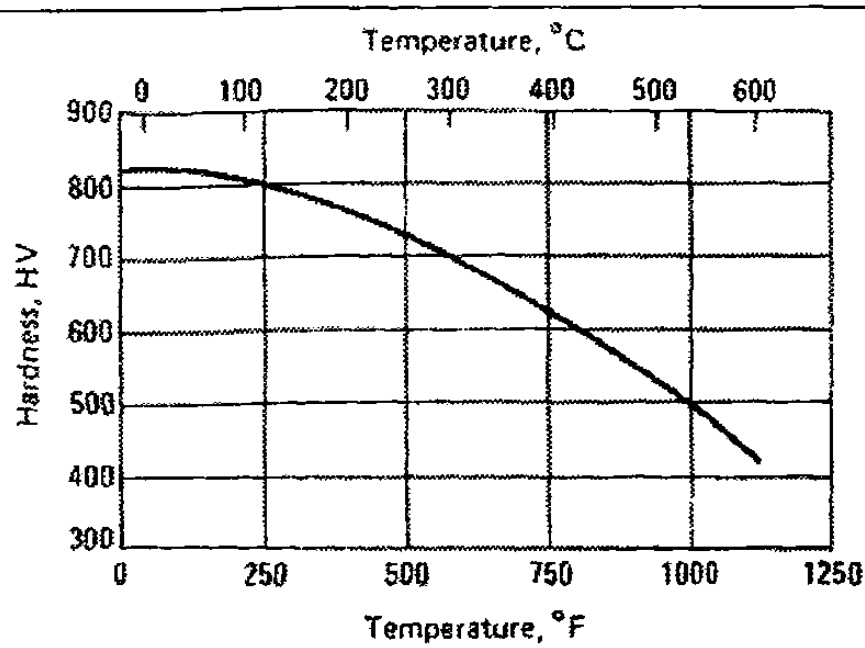
LIBERACION DE ESFUERZOS. Opcional. Calentar de 650 a 675°C (1200 a 1250°F) y mantener por una hora por pulgada de sección cruzada (mínimo una hora). enfriar al aire.

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

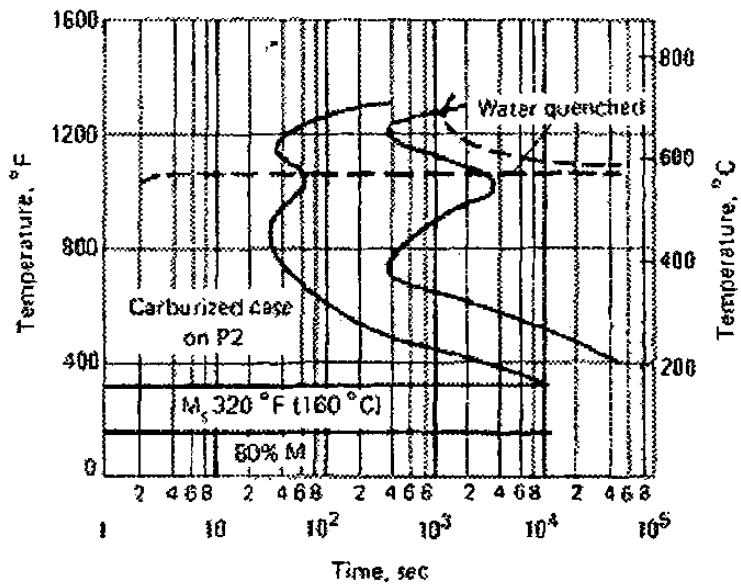
REVENIDO. Revenir de 175 a 260°C (350 a 550°F). Dureza aproximada del caso como corresponde a la temperatura de revenido, 64 a 58 HRC.

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. Dureza contra temperatura de revenido. Dureza de superficie revenida de un acero para herramienta P2 carburizado a 925 °C por ocho horas y templado en aceite.



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.

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 período 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 Pmáx, 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. Precalentar 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 enfrio 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.

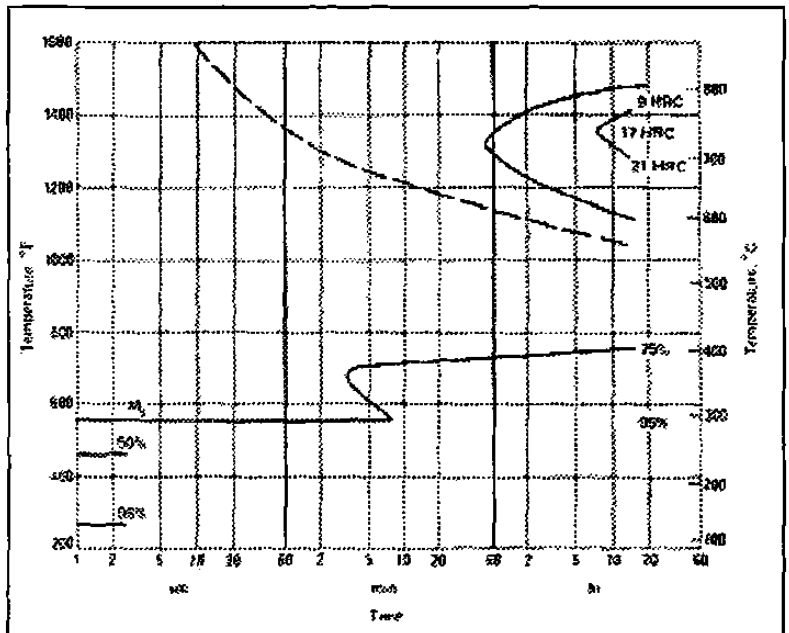
ESTABILIZACION. Opcional. Para formas intrincadas, el revenido para la liberación de esfuerzos es de 150 a 160°C (300 a 320°F) brevemente. Refrigerar de -100 a -195°C (-150 a -320°F). Revenir inmediatamente después de que la parte alcanza la temperatura ambiente.

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

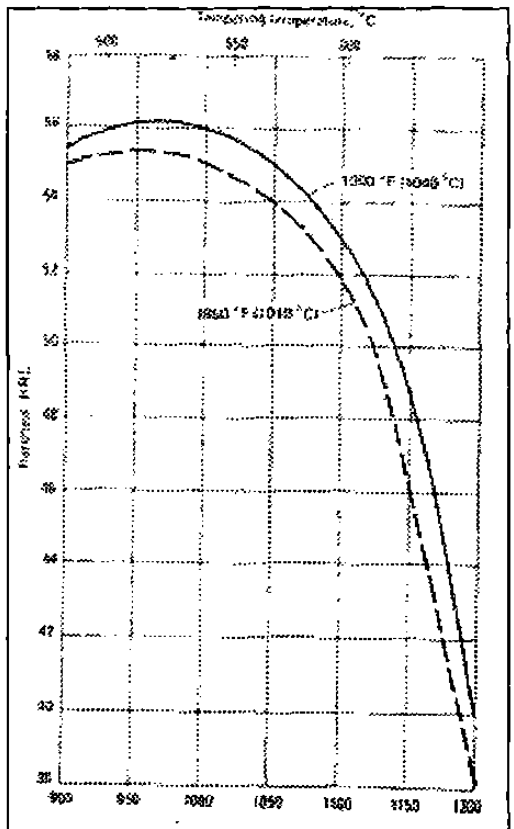
y un tercer revenido es benéfico. La dureza de revenido aproximada, 56 a 39 HRC.

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



H10. Diagrama de transformación isotérmica. Acero para herramienta H10: 0.40 C, 1.00 Si, 0.55 Mn,3.25 Cr, 2.50 Mo, 0.33 V. Austenizado 1035 ° C.



H10. Dureza contra temperatura de revenido. H10, enfriado al aire desde 1040 °C y 1010 ° C . Doble revenido.

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 al 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.

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 inoxidables.

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 inóxidables 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. Estás 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 inóxidables. La familia completa de aceros inóxidables 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 emtre 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 austeniticas, en las cuales cierta parte del níquel ha sido reemplazado por el manganeso. Las clasificaciones austeniticas 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 esfierzos y (c) Endurecimiento superficial por nitrurado.

Table 1 Composition of Standard Grades of Wrought Austenitic Stainless Steels

Type No.	UNS No.	Chemical composition(a), % C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Other elemen
201	S20100	0.15	5.50-7.50	0.060	0.030	1.00	16.00-18.00	3.50-5.50	...	0.25 N
202	S20200	0.15	7.50-10.00	0.060	0.030	1.00	17.00-19.00	4.00-6.00	...	0.25 N
205	S20500	0.12-0.25	14.00-15.50	0.060	0.030	1.00	16.50-18.00	1.00-1.75	...	0.32-0.40 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	0.150 min	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	0.60(b)	...
303Se	S30323	0.15	2.00	0.200	0.060	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	...	0.15 Se min
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	...	...
309S	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	1.00	18.00-20.00	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 × C Ti min
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 × C Cb + Ta min
348	S34800	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00-19.00	9.00-13.00	...	10 × C 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 Manual*)

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

Table 2 Composition of Standard Grades of Wrought Ferritic Stainless Steels

Type	UNS No.	Chemical composition(a), % C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Other elements
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 × 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	16.00-18.00	...	...
430F	S43020	0.12	1.25	0.060	0.150 min	1.00	16.00-18.00	0.60(b)	...
430FSe	S43023	0.12	1.25	0.060	0.060	1.00	16.00-18.00	...	0.15 Se min
434	S43400	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	0.75-1.25	...
436	S43600	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	0.75-1.25	5 X C Cb + Ta 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.	Chemical composition(a), % C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Other elements
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	11.50-13.50	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 inoxidables ferriticos para forjados.

Tabla 3.- Composición de grados estándar de aceros inoxidables martensiticos para forjado.

4.2.2 CLASIFICACIÓN FERRITICA

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 frio, 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 MARTENSITICA

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

temple, obteniendose 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 Vaciados Sociedad Américana de Fundidores, ha adoptado una serie de números para designar las aleaciones coladas que tienen composición y propiedades similares. Los aceros colados inoxidables 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.

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

AISI No.	UNS No.	Chemical composition(a), % 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	0.09	1.0	1.0	17.0	7.0	---	1.0 Al
632	S15700	0.09	1.0	1.0	15.0	7.0	2.2	1.2 Al
633	S35000	0.08	0.8	0.25	16.5	4.3	2.75	0.1 N
634	S35500	0.13	0.95	0.25	15.5	4.3	2.75	0.1 N
Austenitic type								
660	K66286	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: MEL Course 18, Lesson 1, American Society for Metals)

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

Alloy Casting Institute designation	Nearest AISI type	Chemical composition, % C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Other elements
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	---	--	---
CB-30	431	0.30	1.00	1.50	18-22	2.0	--	---
	431	0.15-0.22	1.00	1.00	15-16.5	1.5-2.5	0.5	-
CB 7Cu	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	446	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-30	312	0.30	1.50	2.00	26-30	8-11	--	---
CF-3	304L	0.03	1.50	2.00	17-21	8-12	--	---
CF-8	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-8M	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 × 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-8M	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: MEL Course 18, Lesson 5, American Society for Metals

Tabla 4.- Composición de grados estándar para aceros inoxidables 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 inoxidables. Una característica común de todas las clasificaciones de los aceros inoxidables es que estos contienen un mínimo de 11.5% de cromo. Esto es aproximadamente la cantidad mínima requerida para aceros inoxidables, 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 inoxidables 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 masrtensíticas 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 TERMICOS.

La información de tratamientos térmicos dada a continuación se aplica para aceros inóxidables en general. En algunos casos, ciertos grupos o clasificaciones demandan consideraciones especiaes la cual se explicará en secciones posteriores. Todas las clasificaciones de aceros inóxidables 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 inóxidables 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 inóxidables. 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 inóxidables. Si los baños permanecen en condicion de primera clase, estos son muy buenos para calentar la clasificación martensitica 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 dificil 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 ferritica 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 debierá ser utilizado, y mantenimiento de los sistemas de control por tecnicos especializados.

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

Las termoeléctricas tipo K son las más utilizadas, aunque los tipos R y S también son utilizadas. La exactitud de las termoeléctricas deberá ser checada al menos cada dos semanas, algunas veces más seguido. La termoeléctrica 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 inóxidables. 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 inóxidables, porque el tipo proporcionado entrega mejores temperaturas de control.

4.5.3 ATMOSFERAS PREPARADAS

La selección de la atmósfera para calentar aceros inóxidables 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.

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	Cb 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	Cb 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 inoxidables.

ATMOSFERA EXOTERMICA

Con una proporción de gas de 6.5 ó 7 a 1, son usualmente satisfactorias para austenización ó recocido de aceros inóxidables, 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 inóxidables. 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 inóxidables.

ATMOSFERA DE VACIO

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

Mientras que la conductividad térmica de los aceros inóxidables 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 inóxidables deberá ser considerada al establecer los ciclos de calentamiento.

Para aceros inóxidables, 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 inóxidable com se compara con una pieza de tamaño similar y peso, de aceros al carbón o aleados.

4.6 ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

Los aceros inóxidables austeníticos son divididos en tres grupos: (a) las compociciones 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) Nitrurado.

Sin tener en cuenta el tratamiento utilizado, cargar las partes de aceros inóxidables 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 disuelto. Las temperaturas de recocido, las cuales varían con la composición del acero, son dadas en al 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 templado 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 cuál 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 CARBON

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 períodos de más de 2 horas y se enfrían lentamente en este rango, sin peligro de suceptibilidad para corrosión intragranular en medios de atmósfera natural. Esta caracteristica es de valor particular en la soldadura, corte con flama, y otras operaciones de trabajo en caliente. Estos grados no requieren el tratamiento de templado 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 austeniticos

Type AISI	Type UNS	Annealing temperature °F	Annealing temperature °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	1750-1800	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

4.6.5 LIBERACION DE ESFUERZOS DE LOS GRADOS AUSTENITICOS

El templado del rango de la temperatura de recocido dentro del período 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 inóxidables 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 austeniticos 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 suceptibles a formación de ferrita delta, la cuál 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 límitados en sus temperaturas de acabados, ya que a más bajas temperaturas son más suceptibles 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 frio. 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 frio, 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.

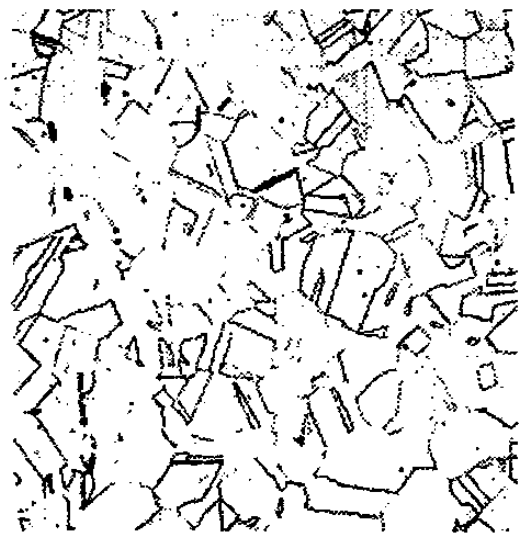
NORMALIZADO. No se debe normalizar .

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 inóxidables 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 inóxidables 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. Utilicese 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 inóxidables 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 depasividad 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 depasividad 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 inóxidables 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 calienta 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 enfriada 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 frágilidad 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 frágilidad 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 frágilidad. La condición de frágilidad puede ser eliminada por cualquiera de los tratamientos listados en la tabla, usando temperaturas claramente arriba de el límite superior de frágilidad, seguido de un rápido enfriamiento para prevenir que sea recurrente.

La fase sigma es un constituyente cristalografico que se forma lentamente a elevadas temeraturas 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 ductlidad, 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 limite 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 inoxidables ferriticos

Type	Temperature(a) °F	°C	Cooling method(b)
405	1350 to 1500	735 to 815	AC or WQ
409	1600 to 1650	885 to 900	AC
429	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 austeniticos. Casos un poco más profundos pueden ser formados en grados ferreticos , usando la misma práctica usada por los aceros austeniticos.. 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 especifico desarrolla una frontra 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 preferntemente 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 Quimica. 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 significante. 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 inóxidables martensíticos representan una porción de las Series 400 de aceros inóxidables. El resto consiste de aceros ferriticos, los cuales no pueden ser tratados térmicamente para endurecimiento. El tratamiento térmico de los aceros inóxidables martensíticos 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 inóxidables. 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 inóxidables 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 inóxidables 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 inóxidable 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 protectiva.

Los aceros inóxidables 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 inóxidables, 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 realizá 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 inóxidables 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 estan 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 inóxidables 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 volúmen. 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 recuperacción através de la condición de recocido son dados por (a) relevo de esfuerzos, (b) temple , (c) recocido subcrítico, y (d) recocido completo. Los aceros inóxidables 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.

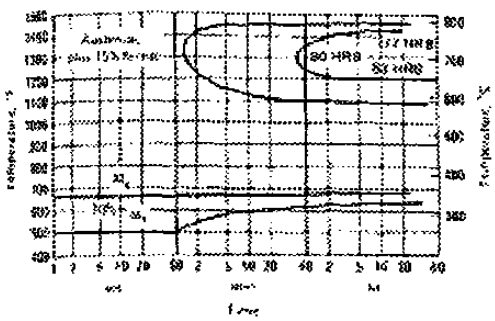
403

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.

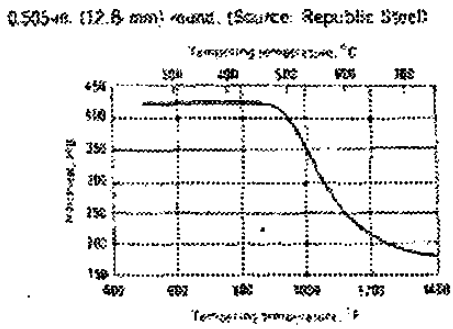
ACEROS SIMILARES (Americanos y Extranjeros): UNS S40300; AMS 5611, 5612; ASTM A176, A276, A314, A473, A479, A508, A511; FED QQ-S-763; MIL SPEC MIL-S-862; SAE J405 (51403); (W.Ger.) DIN 1.4024; (Jap.) JIS SUS 43, SUS 403, SUS 416; (U.K) B.S 420 S 29, En. 56 B.

CARACTERISTICAS. Cálidad 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 templo, 41 HRC.



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).

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 deacurdo con el tipo de estructura que desarrollen. En resistencia a la corrosión estos aceros pueden variar considerablemente através 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 martensiticas. Las técnicas de endurecimiento para las clasificaciones de endurecidos por precipitación son más parecidas a aquéllas 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 díficiles 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 inóxidables. 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 .

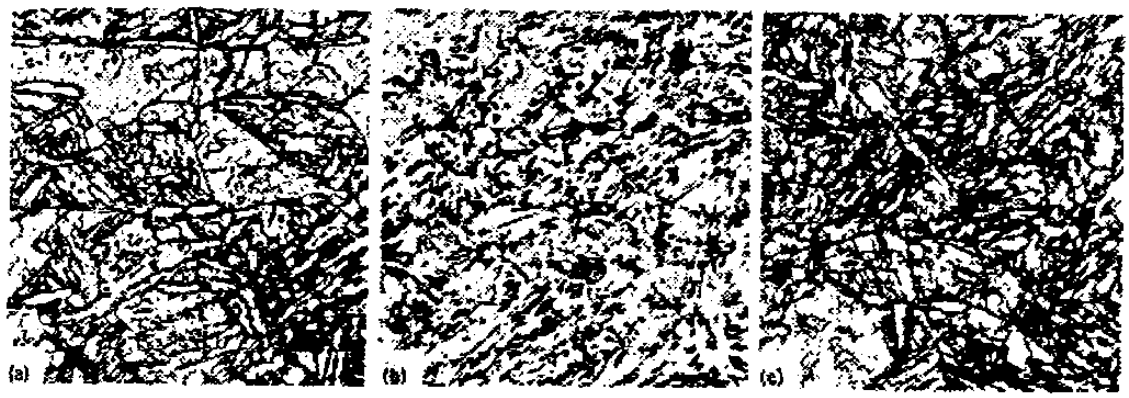
Forjado. Forjar dentro del rango de los 1040 a los 1150°C (1900 a 2100°F).

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 nitrico - acetico, oxidado 10 % . 1000 X

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/cm^2)
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 diametro 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 efectuo una inspección visual en la falla del sobrecalentador mostrando lo siguiente:

A) La falla exhibida presento una roptura abierta algo violenta; esto forzo al tubo y provoco una doblez a un ángulo apróximado de 30 ° mientras fallo. El filo de la falla mostro un adelgazamiento en la pared del tubo de 0.250 pulgadas aproximadamente 0.175 pulgadas.

B) El tubo se expandio hasta 1 25/32 pulgadas, y este presento muchas líneas longitudinales de esfuerzos tanto externamente como internamamente que corren paralelas a lo largo de la falla.

C) El tubo presento en su diámetro exterior escamas las cuales medían 0.034 pulgadas.

D) Un espesor, fuertemente aderido en el diámetro interior de escamas midio 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 exibe 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 muesstra 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 quimico 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 niel 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 esferoidal. 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 esferoidal, 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

5.3 MICROESTRUCTURAS

Las fotomicrografias que se muestran son representativas de microestructuras encontradas comúnmente en aceros ferriticos 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 ½ 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.

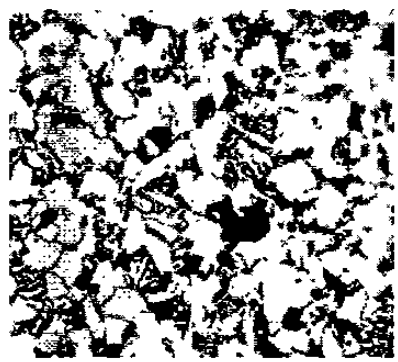


Figura 1. SA-178-A,Acero al carbon. La microestructura muestra ferrita y perlita en un acero de bajo contenido de carbón. 250X.

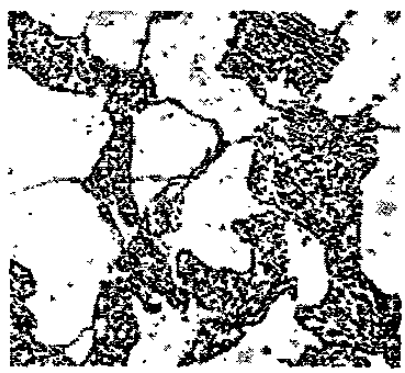


Figura 2. SA-178-A acero, La microestructura muestra el inicio de la esferiodización. Las colonias de perlita se encuentran aun definidas, pero la morfologia del carburo de hierro esto muestra pequeñas esferas 750X.

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 coalecerse en pequeñas largas partículas dispersas atravez de la estructura 500X.

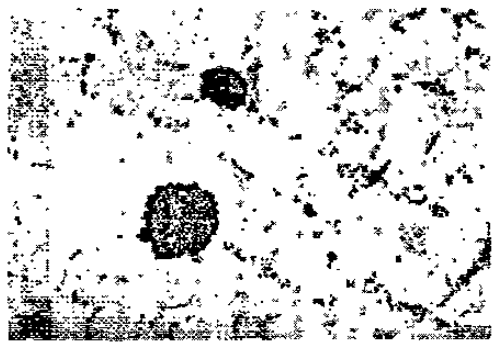


Figura 4. SA-178-A acero. Las partículas de grafito han crecido, y la cantidad de carburo de hierro decrese; esto es un avanzado estado de grafitización 500 X.

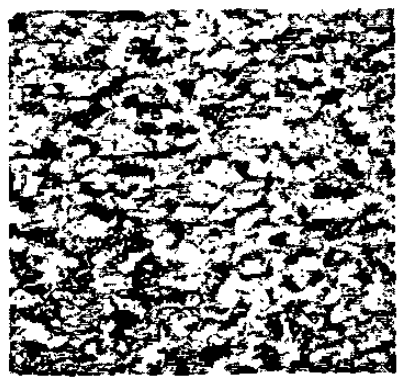


Figura 5. SA-209-T1. La microestructura normal consta de perlita laminar y ferrita 100X.

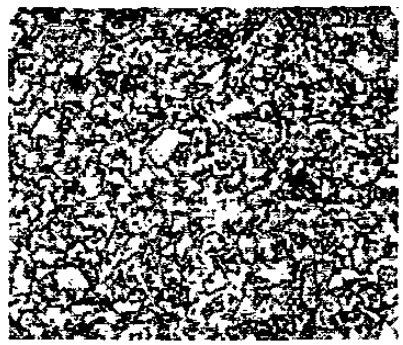


Figura 6. SA-209-T1. La microestructura muestra colonias de perlita aun definida, pero el carburo de hierro se encuentra en forma esferoidal 500 X

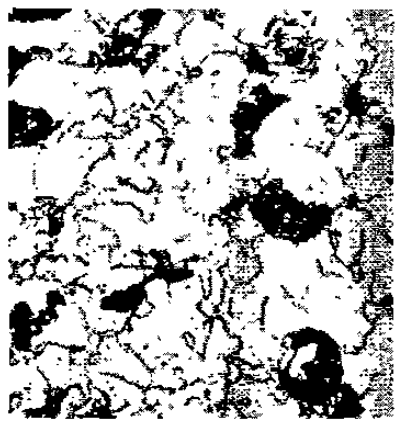


Figura 7. SA-209-T1. El estado final de la esferoidización o el estado inicial de la grafitizacion. Los carburos de hierro se encuentran uniformemente distribuidos atravéz de la microestructura, y podemos ver la formación de los nodulos de grafito 500X.

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 cresido 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.

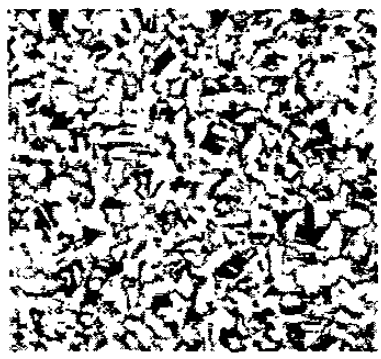


Figura 9. SA-106-Grado B. Material de tubo. Las áreas blancas muestran ferrita, las áreas negras son ferrita, pero ha estos aumentos las placas de perlita y ferrita no se distinguen. 100X.

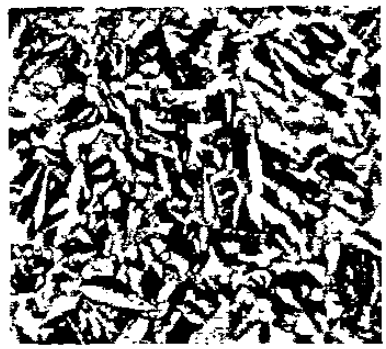


Figura 10. SA-106-Grado C. Material de tubo. Aleación similar a la 106- Grado B, muestra un alto contenido de carbón lo que nos da un gran porcentaje de perlita en la microestructura como es evidente con la comparación de la microestructura anterior. 100X

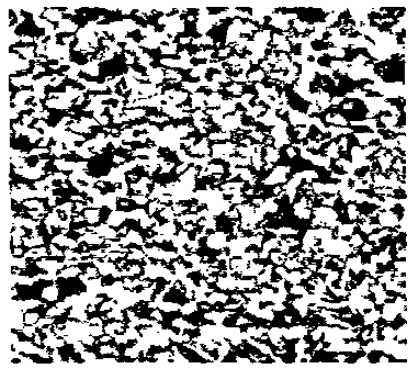


Figura 11. SA-515-Grado 70, material de placa. Microestructura normal de un acero carbono- mangeneso comunmente usado para domos de baja presión. 100X

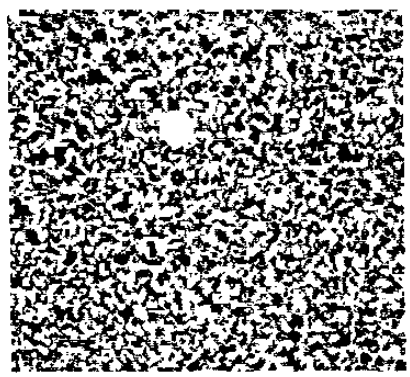


Figura 12.- SA-106 Grados 70, material de placa. Un material similar a la microestructura anterior excepto que esta fue fabricada con un tamaño de grano pequeño. El tamaño de grano fino de 516 grado 70, nos da mejores propiedades de impacto a bajas tempeturas. 100 X

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

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