

Capítulo 6

ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES, CÓDIGOS Y ESPECIFICACIONES REQUERIDAS DE LOS MATERIALES

SECCIONES DEL CÓDIGO ASME DE CALDERAS

En el código ASME de calderas, Sección II, titulada «especificaciones de materiales», hay requerimientos extensos y detallados de los materiales, pruebas y notas. Hay cuatro partes en esta sección:

Parte A: Materiales ferrosos.

Parte B: Materiales no ferrosos.

Parte C: Varillas de soldadura, electrodos y material de relleno.

Parte D: Tablas de tensiones admisibles para cálculos de resistencia del código de calderas.

Las especificaciones de la Sección II son similares a las publicadas por la ASTM (Sociedad americana para pruebas y materiales) y a las especificaciones de los materiales de soldadura publicadas por la AWS (Sociedad americana de soldadura).

La Sección I detalla el material que debe utilizarse para las calderas de potencia. Otras secciones, que incluyen las calderas de calefacción, recipientes a presión no calentados y componentes nucleares, tienen su propio listado de materiales permisibles para las piezas consideradas.

Se han hecho provisiones en la Sección I para el uso de materiales no identificados con una especificación como la listada en la Sección II; sin embargo, deben satisfacerse ciertas condiciones como la recertificación por una parte «neutral» de que el material es equivalente al permisible listado, incluyendo que se han cumplido sus análisis químicos y propiedades mecánicas y sus requerimientos sobre dureza.

Se requiere que el proveedor entregue al fabricante de calderas y al inspector oficial la documentación completa.

Este capítulo suministra material metalúrgico introductorio y ciertas definiciones expresadas en el Código que son aplicables a la construcción y reparación eventual de calderas. Su propósito principal es introducir al lector en los diversos materiales de construcción y soldadura que precisan control de calidad de forma que sólo se usen materiales permitidos por el Código. Los textos metalúrgicos deberían consultarse para un mejor estudio con respecto a las propiedades de los materiales, su estructura cristalina y cómo son afectados con los procesos de fabricación.

Aleaciones ferrosas. La mayoría de las piezas a presión de las calderas están hechas de aleaciones ferrosas, lo que significa que están fabricadas de hierro y aleaciones a partir de hierro. Excepto las calderas de fundición y algunas especiales de calefacción, todas las demás normalmente tienen piezas de acero unidas por soldadura de fusión. Hay una demanda creciente para presiones de servicio más elevadas, lo que requiere materiales mejores y mejores tecnologías de fabricación. Esto se está consiguiendo mediante aleaciones sofisticadas, desgasificado al vacío en los procesos de fabricación del acero, tratamientos térmicos múltiples, ensayos y extensión de técnicas no destructivas y altos niveles y normas de control de calidad por citar unos pocos métodos que están siendo utilizados para obtener materiales mejores. El control de calidad de los procedimientos de soldadura utilizados y el control de la operación de soldadura han sido mejorados materialmente por el mayor énfasis dado a las especificaciones más restrictivas y requerimientos de inspección y documentación.

ESTRUCTURA MATERIAL

Si una pieza de metal se pule cuidadosamente, se sumerge por un corto período de tiempo en un ácido u otro reactivo adecuado y después se examina bajo un microscopio, se encontrará que está compuesta de pequeñas partículas o cristales. El metal, en vez de ser perfectamente uniforme, está formado por estas pequeñas unidades de materia.

Los materiales que parecen ser perfectamente homogéneos, en realidad están compuestos por un agregado de granos o cristales de materiales diferenciados. Una pieza de material tendrá por otra parte diferentes propiedades en diferentes puntos de su estructura. Incluso los metales puros están formados por un agregado de cristales que tienen diferentes propiedades en diferentes direcciones.

Un método conveniente para explicar algunas de las semejanzas y diferencias en las características de los metales es el de estudiar la disposición de los átomos en el material.

Matriz espacial. Un cristal de un metal determinado está compuesto por átomos dispuestos en un modelo geométrico definido y regular. Este modelo se conoce como matriz espacial y se determina mediante estudios de rayos X. Los átomos en un hierro o acero a *temperatura ambiente*, por ejemplo, están dispuestos en una matriz cúbica centrada. Esto es, los átomos están situados como en los vértices de un cubo, con un átomo en el centro, como se indica en la Figura 6.1a1. Este modelo se repite a sí mismo a través de una sola imitación, como se indica en la Figura 6.1a2.

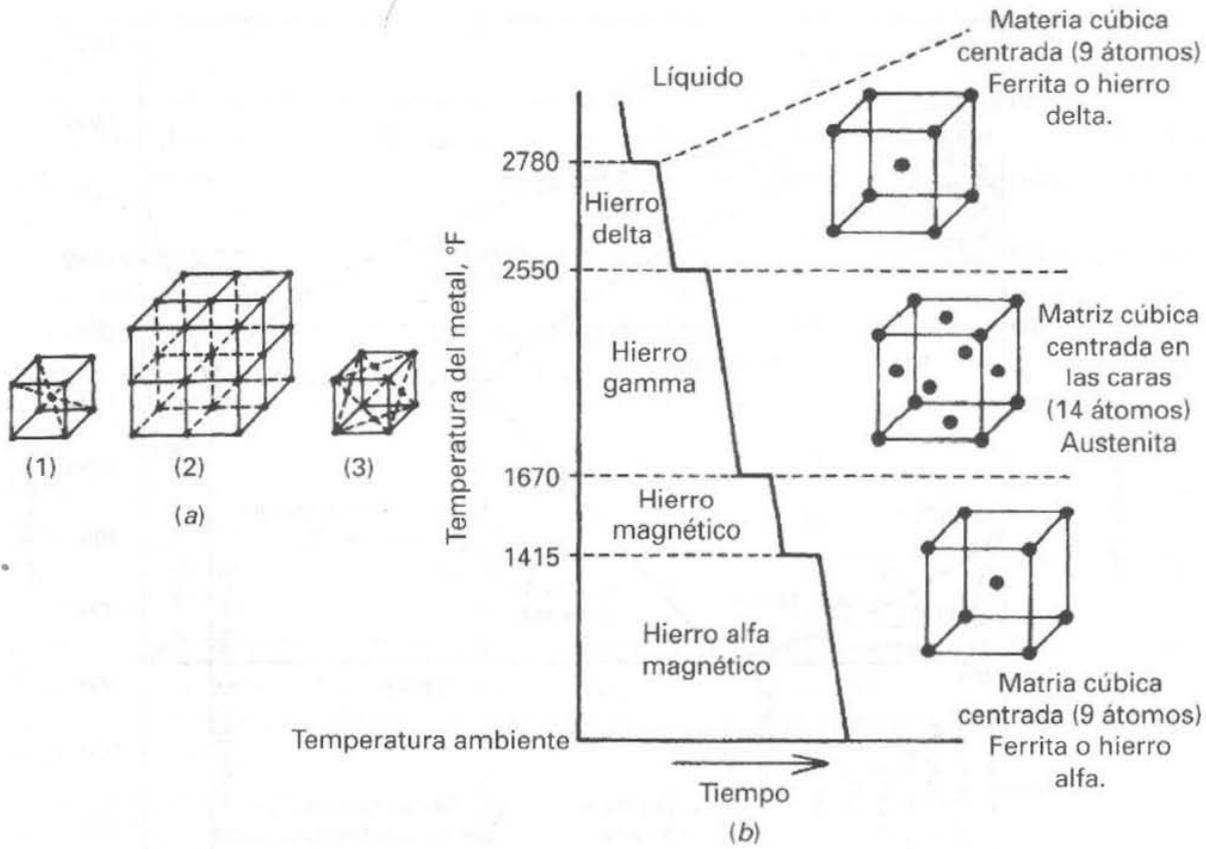


Figura 6.1. (a) Los átomos del metal están dispuestos en matrices espaciales como sigue: (1) Matriz cúbica centrada. (2) Unidades cúbicas cristalinas. (3) Matriz cúbica centrada en las caras. (b) Formas cristalinas del hierro a diferentes temperaturas.

Dos cristales adyacentes en una barra de hierro o acero tendrán la misma formación matricial, pero su orientación o las direcciones de los ejes de la matriz espacial serán diferentes. El cromo, vanadio, molibdeno y tungsteno también tienen la matriz cúbica centrada.

El hierro a alta temperatura cristaliza en una matriz cúbica centrada en las caras del cubo, o con un átomo en cada vértice y otro en el centro de cada cara, como se ilustra en la Figura 6.1a3. Hay un total de 14 sistemas matriciales.

Un metal puro cristaliza al enfriarse a través de su punto de solidificación; si un núcleo está presente, la cristalización consiste en el crecimiento de cristales alrededor de un núcleo en el punto de solidificación del metal. Una vez que se establece un núcleo en un metal líquido puro o por debajo del punto de solidificación, los átomos del material líquido comienzan a agregarse al núcleo. Los átomos se depositan a lo largo de direcciones definidas del cristal o matrices espaciales.

Un estudio de la matriz espacial o de las formaciones cristalinas que se crean cuando los metales se enfrían y solidifican a sus temperaturas de solidificación, ayuda a determinar los efectos de las aleaciones, velocidad de enfriamiento y consideraciones metalúrgicas similares. El hierro, por ejemplo, se transforma en varios tipos de cristales, y las correspondientes disposiciones de las matrices espaciales para estos tipos son las siguientes:

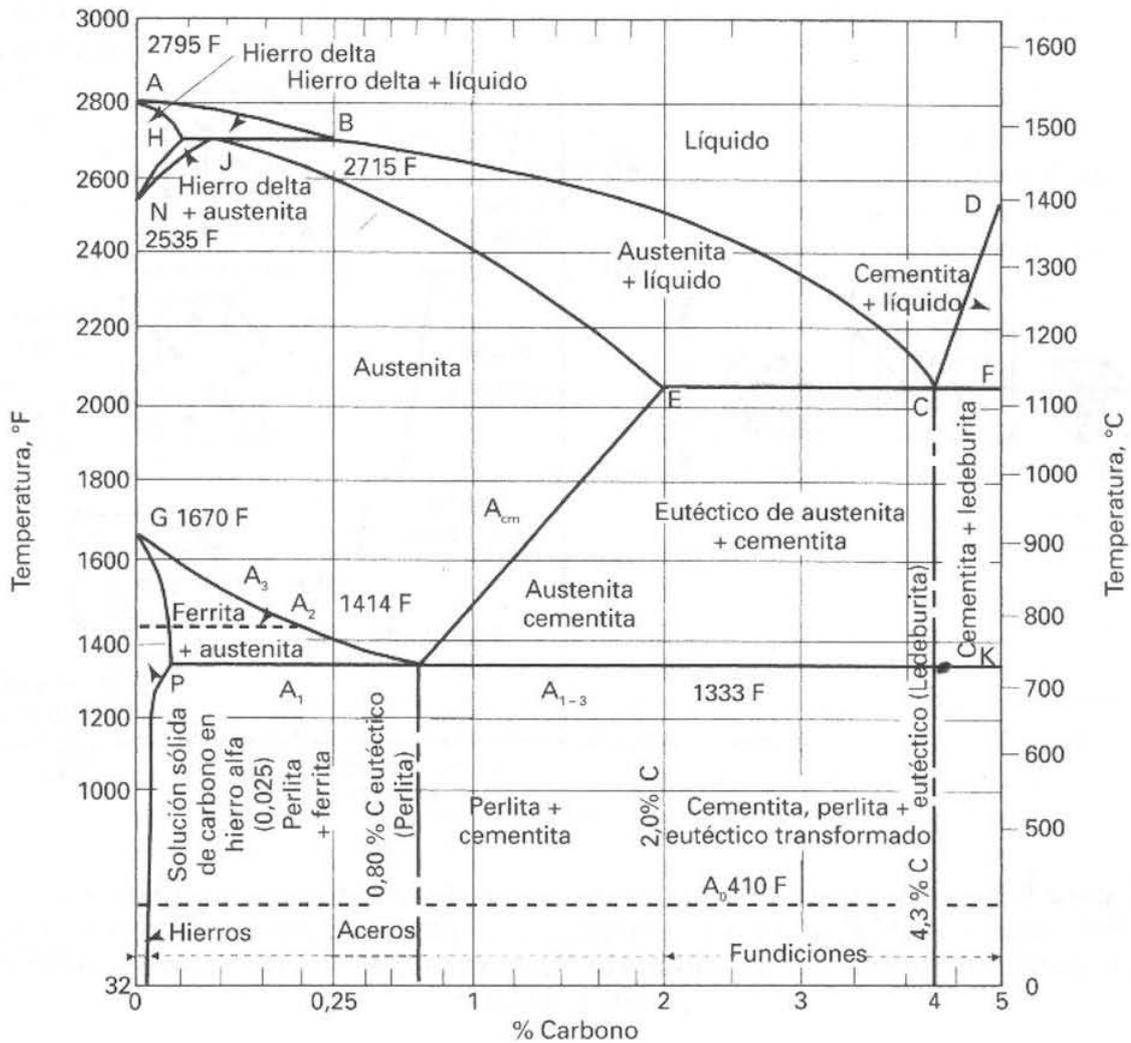


Figura 6.2. Este diagrama de equilibrio hierro-carbono muestra los límites de solubilidad del carbono en hierro. Los porcentajes de cada adición hasta el 100 % en la parte baja del gráfico; por ejemplo, 5 % carbono, 95 % hierro.

Tipo de hierro	Tipo de estructura cristalina
Hierro alfa, delta y ferrita	Matriz cúbica centrada (BCC)
Hierro gamma y austenita	Matriz cúbica centrada en las caras (FCC)

El hierro alfa alcanza la estructura BCC por debajo de 1.670 °F (910 °C)
 El hierro delta y la ferrita con la estructura BCC existen por encima de 2.534 °F (1.390 °C)
 El hierro gamma y la austenita con la estructura FCC existen entre 1.370 °F y 2.534 °F

A temperatura ambiente el hierro se compone de una matriz cúbica centrada en el cubo (véase la Figura 6.1b). En esta forma se le conoce como hierro alfa o ferrita alfa y es blando, dúctil y magnético. Sobrecalentando por encima de unos 1.415 °F (768,3 °C), el hierro alfa pierde su magnetismo pero conserva su estructura cristalina centrada en el cubo. Esta estructura cambia a cúbica centrada en las caras a aproximadamente 1.370 °F (910 °C), a cuya temperatura el hierro alfa se transforma

en hierro gamma y permanece no magnético. Continuando con el aumento de temperatura, ocurre otro cambio de fase a los 2.570 °F (1.410 °C) cuando se forma el hierro delta. Este último es idéntico en estructura cristalina (centrada en el cubo) a la del hierro alfa de baja temperatura. Es magnético y estable en su punto de fusión. No hay cambios de fase conocidos en la forma líquida (por encima de los 2.800 °F (1.538 °C)). Al enfriar muy lentamente desde el estado líquido los reagrupamientos atómicos descritos antes suceden en orden inverso. Una diferencia de entre un 2 y un 3 por 100 del contenido de carbono, una diferencia en el tratamiento térmico y una diferencia en la cantidad de trabajo o energía mecánica durante el proceso de conformación pueden ocasionar que varíe la resistencia final del 0,1 por 100 al 50 por 100, y el límite elástico puede variar de 10.000 a 270.000 psi (700 a 18.900 kg/cm²).

Las variaciones en resistencia, ductilidad y otras propiedades de una aleación hierro-carbono pueden explicarse haciendo referencia al diagrama típico de equilibrio para una parte del sistema hierro-carbono, como se muestra en la Figura 6.2. El rango de temperaturas se ilustra desde 0 a 1.535 °C (2.795 °F), punto de fusión del hierro puro. La proporción de carbono contenido va del 0 al 5 por 100, representando el rango o variedad de materiales a utilizar. Las aleaciones que contienen más del 5 por 100 de carbono son demasiado frágiles y débiles. El hierro bruto (arrabio) contiene entre el 0 y el 0,12 por 100 de carbono; el acero, entre el 0,12 y el 1,7 por 100; y la fundición, más del 1,7 por 100.

La Figura 6.2 representa los cambios de fase que ocurren en las aleaciones hierro-carbono a las temperaturas indicadas. Hasta aproximadamente un 4,3 por 100 de carbono presente en la solución, cualquier adición de carbono hace bajar el punto de fusión de la aleación.

Los metalurgistas utilizan los diagramas de equilibrio de las aleaciones para predecir cambios que pueden ocurrir con la temperatura a medida que la aleación precipita o solidifica. En la Figura 6.2, el enfriamiento de las aleaciones hierro-carbono tiene lugar a temperaturas como las mostradas por la línea de líquido ABCD. El contenido de carbono hasta el 2 por 100 va en solución sólida en el hierro. Si el contenido de carbono es mayor del 2 por 100 el exceso líquido forma un eutéctico con un compuesto de hierro y carbón. Los metalurgistas pueden predecir a partir de un diagrama de equilibrio qué fase de aleación estará a diferentes temperaturas basada en el porcentaje de contenido de la aleación.

En aceros al carbono, sólo pueden estar presentes tres fases en el estado sólido bajo condiciones de equilibrio:

Austenita: Es una fase de los aceros que consiste en la forma de hierro gamma con carbono en solución sólida. La austenita es no magnética y tiende a endurecerse cuando se trabajan en frío estos aceros austeníticos a temperaturas ordinarias.

Ferrita: Es hierro puro.

Cementita: Es carburo de hierro, Fe₃C, formado cuando el hierro y el carbono se combinan químicamente a alrededor de los 1.274 °F (690 °C).

En soldadura tienen lugar la fusión y solidificación, y los metalurgistas estudian el efecto que esto puede tener sobre las aleaciones. La Figura 6.2 representa las condiciones que pueden existir en una aleación hierro-carbono sin ningún otro elemento de aleación. Un aumento en la velocidad de enfriamiento del material de la aleación por inmersión en aceite o agua o la adición de otro elemento de aleación

como níquel, silicio o cromo puede dar como resultado un diagrama de equilibrio (ternario en vez de binario) distinto del mostrado en la Figura 6.2.

El tamaño de los cristales y la dispersión del carbono en el hierro afecta también a las propiedades del acero al carbono. Por ejemplo, pequeños cristales de carbono muy dispersos tienden a aumentar la resistencia y la dureza. La *finura del grano* es la reducción de la estructura cristalina por medio del tratamiento térmico o por una combinación del tratamiento térmico y trabajo mecánico. Los tamaños específicos de los granos pueden alcanzar el tamaño *grueso* (1 a 5) o *fino* (5 a 8) en las especificaciones del acero. La prueba de McQuaid-Ehn se usa para especificar los tamaños de los granos de un acero según las especificaciones de estructura metalúrgica en la Sección II, Materiales ferrosos.

Temperatura de transformación. En los aceros al carbono, sólo pueden presentarse tres fases en estado sólido en condiciones de equilibrio: *austenita*, *ferrita* y *ce-mentita*. El intervalo de temperatura dentro del cual se forma la austenita y también el intervalo de temperatura dentro del cual desaparece al enfriar, se llama rango o intervalo de temperatura de transformación. Las transformaciones al calentar no tienen lugar a las mismas temperaturas que al enfriar excepto si se dan velocidades infinitamente lentas de cambio de temperatura. Las temperaturas de transformación dependen del contenido de carbono de acuerdo con los diagramas de equilibrio.

Efectos del recalentamiento. En general, los efectos del recalentamiento de un metal son los inversos de los obtenidos en el enfriamiento lento. Por ejemplo, un acero conteniendo 0,2 por 100 de carbono y compuesto de perlita y ferrita se transforma en austenita, ya que el hierro alfa se transforma en hierro gamma en el rango crítico. Sin embargo, para este acero las temperaturas de transformación son alrededor de 86 °F (30 °C) más altas en el calentamiento que en el enfriamiento lento. Los cambios en el contenido de carbono y la presencia de otros elementos de aleación afectan al diferencial de temperatura.

A causa de lo que indican los efectos de las diferentes velocidades de enfriamiento, las isotermas y los diagramas continuos de transformación son utilizados a veces por los metalurgistas para predecir los resultados de los diversos procesos de soldadura. En la soldadura de acero al arco, la estructura puede variar desde ferrita a martensita, dependiendo de las condiciones de soldadura. En la soldadura por puntos se obtienen grandes cantidades de martensita y es esencial un tratamiento térmico posterior a la soldadura si el contenido de carbono es mayor que aproximadamente el 0,25 por 100. Un diagrama de transformación indicará aproximadamente el tipo de microestructura en la zona adyacente de la soldadura. El tipo de microestructura deseado indicará también el proceso de soldadura más adecuado a utilizar.

CONTROL DE LAS PROPIEDADES DEL HIERRO FUNDIDO Y DEL ACERO

Alto horno. El primer paso en la producción de fundición y acero es la extracción del hierro de los minerales para hacer hierro bruto o arrabio. Esto se realiza en el alto horno (véase la Figura 6.3).

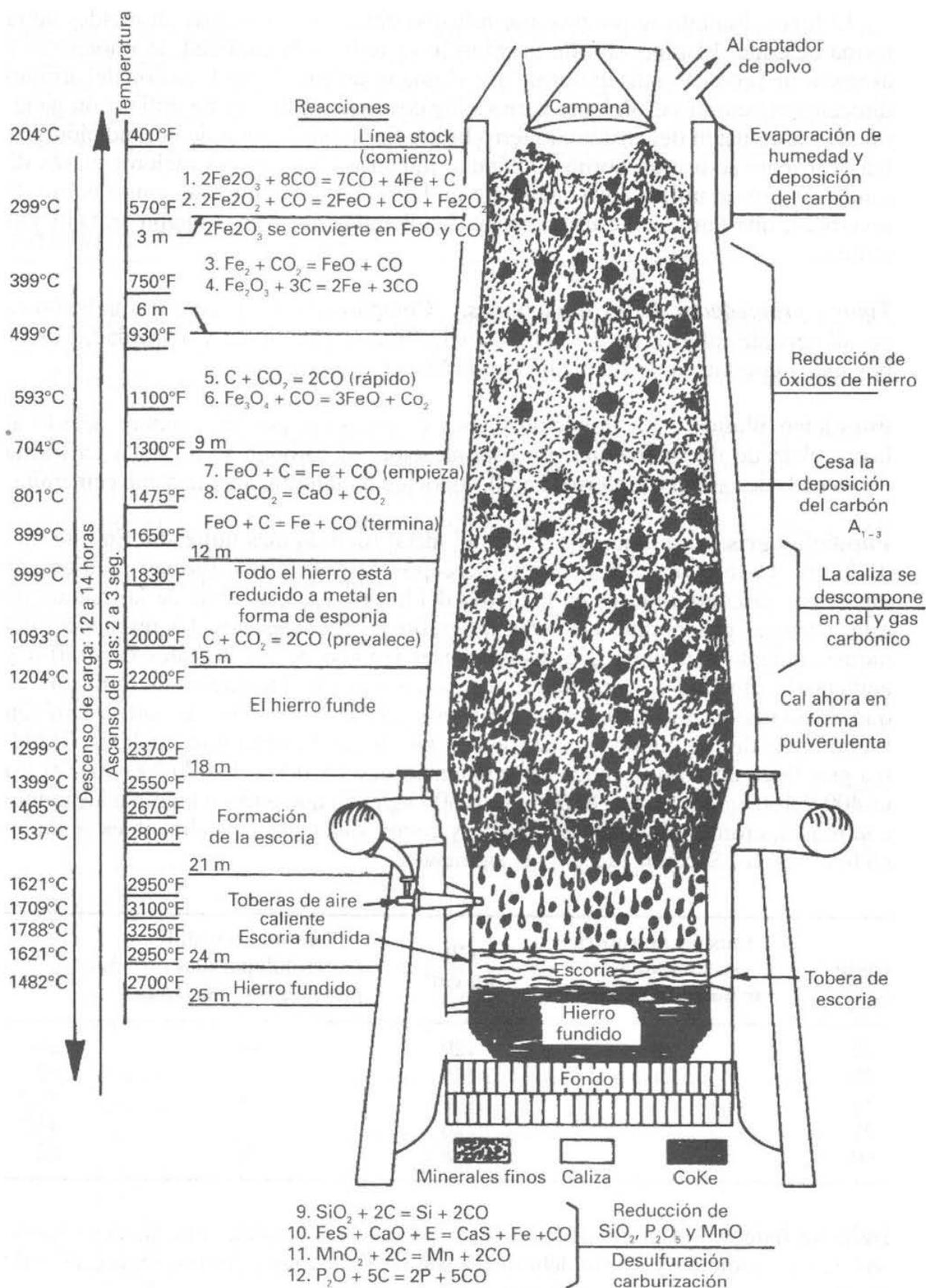


Figura 6.3. Reacciones en un alto horno para hacer fundición del mineral de hierro. (Cortesía de CF&I Steel Corp.)

El hierro fundido se produce por refusión del arrabio y colada en moldes de la forma deseada. El propósito de la refusión es reducir la cantidad de impurezas y asegurar un producto más uniforme que el que se obtendría por la fusión del arrabio directamente como sale del alto horno. Hay dos tipos de hornos de utilización general para la refusión del arrabio o hierro bruto. En la producción de la fundición gris más corriente se usa un horno de cúpula, mientras que para las mejores clases de fundición gris se utiliza corrientemente un horno de aire, conocido como horno de reverbero, que también se usa para las fundiciones que van a recibir tratamiento térmico.

Tipos y propiedades de las fundiciones. Comparada con el acero la fundición es decididamente inferior en resistencia, maleabilidad, ductilidad y tenacidad. Los tipos más importantes de fundición son la blanca y la gris.

Fundición blanca. La fundición blanca es conocida por ese nombre debido al lustre plateado de su fractura. En esta aleación, el carbono se presenta en forma combinada de carburo de hierro (Fe_3C), conocido metalúrgicamente como cementita.

Fundición gris. La fundición gris es el metal fundido más utilizado. En este tipo de hierro, el carbono está en forma de copos de grafito que forman multitud de muescas y discontinuidades en la matriz del hierro. La apariencia de la fractura de este hierro es gris porque las vetas de grafito están expuestas. La resistencia del hierro aumenta a medida que disminuye el tamaño de los cristales de grafito y aumenta la cantidad de cementita. La fundición gris es fácilmente mecanizable ya que el carbono-grafito actúa como lubricante para la herramienta de corte y también proporciona discontinuidades que rompen las virutas ya que están fundidas. El hierro gris tiene un amplio rango de resistencia que va desde los 20.000-30.000 psi (1.400-2.100 kg/cm^2) a los 90.000 psi (6.300 kg/cm^2) que pueden lograrse aleándolo con níquel, cromo, molibdeno, vanadio y cobre. Las tensiones admisibles según el código ASME, Sección IV, son las siguientes:

Clase	Tensión de rotura en kilopondios por pulgada cuadrada	CR kg/cm^2	Tensión admisible en kilopondios por pulgada cuadrada	σ kg/cm^2
20	20	129	4	26
25	25	161	5	32
30	30	193	6	38,7
35	35	226	7	45,2
40	40	258	8	52

Defectos físicos. Algunos de los defectos físicos más comunes que pueden presentarse en la fundición y que la debilitarán son las oclusiones, grietas, segregación de impurezas y estructura de grano grueso.

El azufre, que se combina con el manganeso o el hierro para formar sulfuros, vuelve frágil al hierro a alta temperatura. También incrementa las mermas. Por ello,

su proporción se limita normalmente a menos del 0,1 por 100 en las especificaciones de la fundición. El fósforo, en proporción de más del 2 por 100, hace al hierro frágil y lo debilita y empobrece. Sin embargo, también tiene el efecto de aumentar la fluidez y disminuir las mermas. Por ello es deseable al hacer fundiciones con formas complejas para piezas ornamentales donde la resistencia no es importante.

FABRICACIÓN DEL ACERO

La producción de acero a partir de la fundición implica la eliminación de tantas impurezas como sea posible, del ajuste del contenido de carbono al valor deseado y la adición de tanta aleación como sea necesaria para alterar y mejorar sus propiedades.

• La fabricación del acero empieza con fundición bruta o arrabio. La fundición bruta se transforma en acero por medio de la oxidación de las impurezas con aire, oxígeno u óxido de hierro, ya que las impurezas combinan más fácilmente con el oxígeno que el hierro. El hierro bruto puede refinarse por oxidación solamente en el proceso ácido o por oxidación en conjunción con una escoria fuertemente básica en el proceso básico. El carbono, silicio y manganeso se eliminan por ambos procesos, pero el fósforo y algo del azufre de la fundición pueden eliminarse solamente en el proceso básico. El fósforo permanece persistentemente con el hierro si la escoria es fuertemente ácida o cuando es alta en sílice y además no se elimina. Los principales métodos en fabricación de acero para la subsiguiente laminación o forja son el proceso básico de oxígeno, el proceso básico de núcleo abierto y el proceso básico de horno eléctrico. El acero fundido puede elaborarse por los métodos anteriores y también por el método ácido eléctrico y el método ácido de núcleo abierto. La carga del horno es chatarra de acero y fundición de hierro en ambos procesos, el básico del oxígeno y el básico de núcleo abierto, y chatarra de acero seleccionada en el proceso de horno eléctrico. Pueden utilizarse pellets de acero prerreducido en estos procesos como parte de la carga.

Proceso de horno eléctrico. Los aceros de alta aleación se fabrican usualmente en el horno eléctrico (véase la Figura 6.4), porque el proceso del horno eléctrico ofrece las siguientes ventajas sobre los otros procesos:

1. Pueden obtenerse las temperaturas deseadas a causa del buen control de temperatura dentro de límites precisos.
2. Pueden mantenerse en el horno condiciones oxidantes, reductoras o neutras. Esto permite la adición de elementos de aleación a la fusión con mejor calidad.
3. La colada o fusión está libre de la contaminación del combustible quemado.
4. El azufre y las impurezas sólidas no metálicas son eliminadas significativamente, así como las impurezas sólidas no metálicas.

El control de calidad y composición en el horno eléctrico es mejor que en el proceso de núcleo abierto, pero el coste es algo más elevado. Algunos aceros se

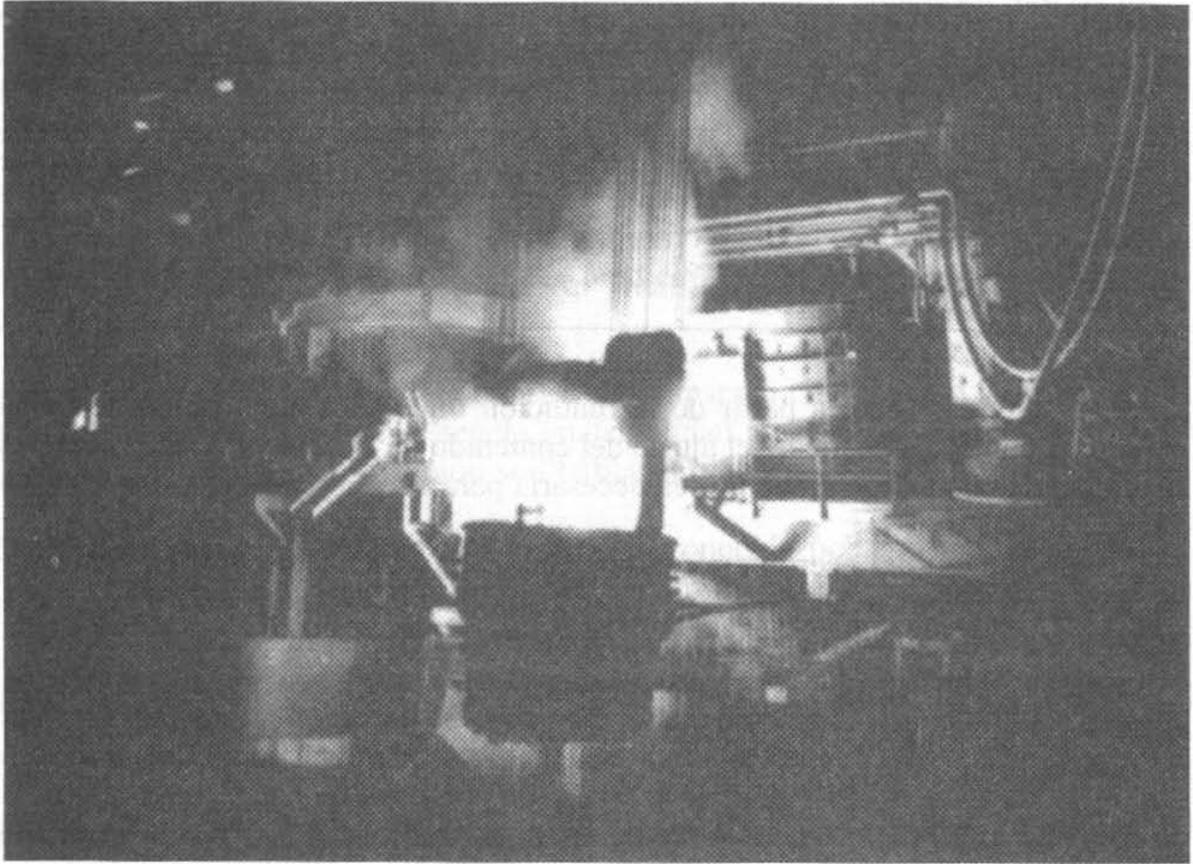


Figura 6.4. Horno de arco eléctrico descargando una colada fundida de 150 toneladas. (Cortesía de Lukens Steel Co.)

funden al vacío. Este procedimiento reduce los gases disueltos tales como oxígeno, nitrógeno e hidrógeno a un mínimo y reduce significativamente el número de inclusiones no metálicas.

Conformado del acero. Como el acero proviene del horno básico de oxígeno, horno de núcleo abierto, u horno eléctrico, puede moldearse directamente y tomar la forma deseada o bien disponerse en lingotes que pesan de 3 a 10 Tns. Después de la solidificación, a los lingotes se les da un conformado preliminar para laminarlos en forma de palanquilla, que pueden después reducirse a dimensiones finales por laminado, forja, estirado, u otras operaciones. Cada una de las operaciones afectará a la estructura cristalina, cambiando de este modo las propiedades del producto final. La Figura 6.5 muestra los diagramas típicos de tensiones para especímenes de acero de bajo carbono conformado por alguno de los más comunes métodos de fabricación.

La temperatura a la cual el acero se conforma mecánicamente tiene un profundo efecto sobre sus propiedades. El trabajo o conformado en frío aumenta la dureza, resistencia a la tensión y punto de rotura, pero sus índices de elongación-ductilidad y de reducción de sección disminuyen.

Los *tubos sin soldadura* para calderas están fabricados por penetración en caliente de las piezas en lingotes sólidos en máquinas especiales de agujerado diseñadas para ese propósito. Se realiza algún estirado en frío cuando los tubos requieren

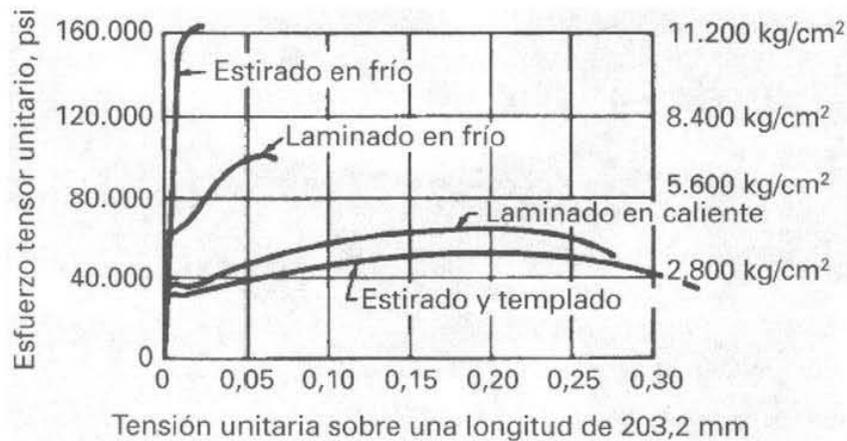


Figura 6.5. El método de las operaciones de conformado puede afectar a su resistencia final.

un acabado más fino o una tolerancia cerrada. Algunos tubos sin soldadura se hacen ahora por métodos de prensado y extrusión en caliente.

Los tubos soldados por *resistencia eléctrica* se elaboran conformando bandas planas en forma tubular denominada tubo estirado y después soldando los bordes con una máquina de soldadura por resistencia eléctrica. Comparados con los tubos sin soldadura, los tubos de caldera soldados por resistencia eléctrica tienen una superficie más fina, un espesor de pared más uniforme y menos excentricidad en el diámetro exterior de los tubos.

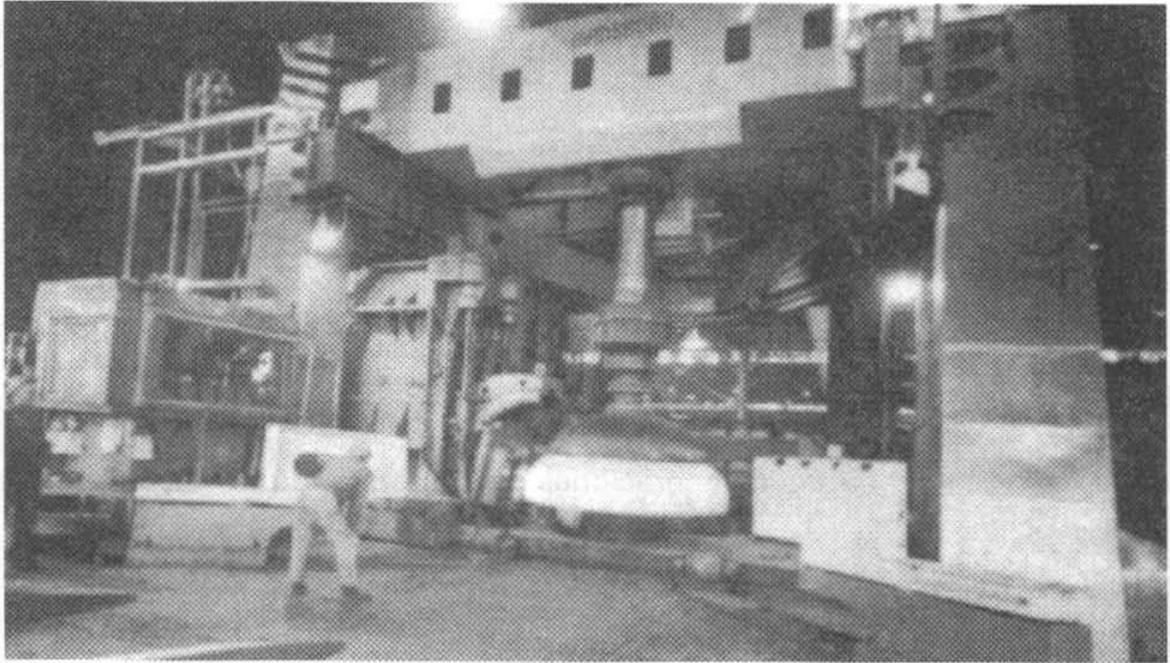
La Figura 6.6a de la página siguiente muestra una chapa de acero en caliente que está siendo conformada en fondo o casquete hemisférico en una máquina de conformado o forjado en caliente en una compañía de acero. Los fondos cóncavos se usan como piezas de cierre para los calderines de caldera, y son utilizados para recipientes a presión, reactores nucleares y todo tipo de vasijas o recipientes de procesos químicos y petrolíferos.

La Figura 6.6b muestra una laminadora haciendo una chapa plana.

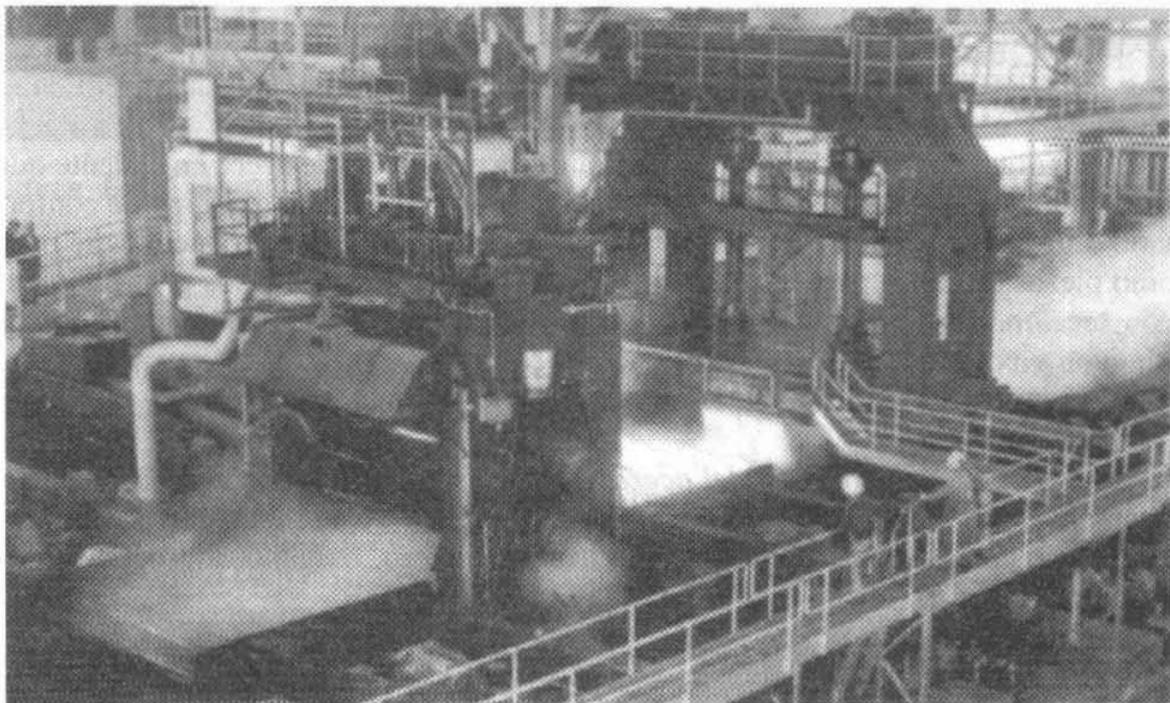
Impurezas de la manufactura del acero. La resistencia, ductilidad y propiedades relacionadas de las aleaciones hierro-carbono pueden verse afectadas por la presencia de elementos perjudiciales como azufre, fósforo, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno.

Azufre. El azufre tiene el mismo efecto sobre el acero que sobre la fundición, haciendo al metal menguar en sus propiedades en caliente, o frágil a temperaturas elevadas. Como resultado, puede ser perjudicial para el acero que va a utilizarse a temperaturas elevadas o, más particularmente, puede causar dificultades durante la laminación en caliente u otras operaciones de conformado. En los aceros con límites más estrictos, su proporción debe ser menor del 0,05 por 100.

Fósforo. El fósforo hace al acero bajar sus propiedades en frío o frágil a bajas temperaturas, de modo que es indeseable en piezas sometidas a cargas de impacto en frío. Sin embargo, tiene el efecto beneficioso de aumentar tanto la fluidez, que tiende a hacer más fácil la laminación en caliente, como la manejabilidad de las fundi-



(a)



(b)

Figura 6.6. Conformado en caliente del acero. (a) Forjado o conformado en caliente para producir un fondo cóncavo. (b) Proceso de laminación en caliente de lingotes para conformarlos en chapas planas. (Cortesía de Luckens Steel Co.)

ciones. Como el acero fundido es frágil en todo caso se añade fósforo para hacer el corte de fundición más limpio. La mayoría de las especificaciones para acero de estructura limita el contenido de fósforo a menos del 0,05 por 100.

Oxígeno. Cuando el acero está en estado líquido, cualquier oxígeno libre se combina fácilmente con el hierro para formar óxido de hierro. En el hierro o acero acabado, el óxido de hierro normalmente aparece en forma de inclusiones o motas distribuidas por todo el metal. Estas inclusiones inducen puntos de debilidad e incrementan la fragilidad, concentración de vacío y tensiones, que son indeseables porque promueven la formación de grietas que pueden dar como resultado una factura progresiva.

Hidrógeno. El hidrógeno, como el producido cuando el acero se sumerge en ácido sulfúrico para eliminar la capa de incrustaciones de laminación antes del estirado en frío, hace al acero frágil. El hidrógeno puede eliminarse por calentamiento del acero durante unas pocas horas, o aflora gradualmente del acero a temperaturas ordinarias (ambiente). Cuando está presente, el hidrógeno aumenta la dureza del acero.

Nitrógeno. El nitrógeno tiene un efecto endurecedor y de fragilidad sobre el acero. Esto puede ser perjudicial o deseable para producir una superficie dura, sobre el acero, bajo condiciones controladas de fabricación. Por ejemplo, en el proceso de integración, el acero al gas amoníaco a alrededor de 1.112 °F (600 °C) para producir una superficie dura, resistente al desgaste, sin disminuir la ductilidad del acero del centro de la pieza.

Inclusiones no metálicas. Las inclusiones no metálicas se forman durante la operación de laminado de chapa al conformar el acero. Muy a menudo, estas inclusiones producen escamado o planos en la chapa donde hay separación o vacíos de metal.

La calidad de la chapa de acero puede verse afectada significativamente por las inclusiones no metálicas. La presencia de inclusiones, como sulfuros y óxidos, afecta principalmente al comportamiento dúctil del acero. La calidad de un tipo particular de acero puede mejorarse por disminución de las inclusiones. Las pruebas no destructivas se usan mucho para aplicaciones a presiones críticas, como en reactores nucleares, en orden a hallar inclusiones.

Elementos de aleación en el acero. El propósito de añadir elementos de aleación al acero al carbono es impartir con producto acabado propiedades químicas que no están disponibles en piezas de acero al carbono fabricadas por procedimientos normales. Estas propiedades pueden implicar características deseables eléctricas, magnéticas o térmicas, así como consideraciones de ingeniería tales como: 1) alta resistencia a la tracción o dureza sin fragilidad; 2) resistencia a la corrosión; 3) elevada resistencia o límite de rotura a temperaturas elevadas o bajo cero; 4) otras características físicas deseables requeridas para resistir cargas especiales.

Carbono. Hasta un 1,2 por 100 de carbono en el acero aumenta la resistencia y ductilidad del mismo. Cuando el contenido de carbono está por encima del 2 por 100

se promueve la formación de grafito, que disminuye la resistencia y la ductilidad del acero. El contenido de carbono por encima del 5 por 100 ó 6 por 100 causa la fragilidad del metal con muy baja resistencia para cualquier aplicación de resistencia de cargas.

Manganeso. Por una combinación con el azufre, este elemento evita o previene la formación de sulfuro de hierro en las proximidades o entorno del grano. Esto minimiza las roturas superficiales a la temperatura del laminación del acero (defecto rojo), lo que da como resultado una mejora significativa en la calidad de la superficie después del laminado.

Níquel. Este elemento mejora la tenacidad o resistencia al impacto. A este respecto es la más efectiva de todos los elementos de aleación comunes para aumentar la tenacidad a bajas temperaturas.

Cromo. Este elemento contribuye a la resistencia a la corrosión y resistencia en caliente de aceros aleados. Como fuerte formador de carburos, el cromo se usa frecuentemente en aceros de tipo carburizado y de aceros de alta resistencia y elevado porcentaje de carbono para resistencias elevadas al desgaste. Una aleación de 18 por 100 de cromo y 8 por 100 de níquel (cromo-níquel 18/8) se utiliza mucho como acero inoxidable en equipos de presión que requieran resistencia y tenacidad a la corrosión.

Molibdeno. Como el níquel, el molibdeno no se oxida en el proceso de fabricación del acero, característica que facilita un control preciso del temple. Mejora mucho la resistencia a temperatura elevada y reduce la susceptibilidad del acero a la fragilidad del temple.

Boro. Como el boro no forma carburos ni refuerza la ferrita, puede alcanzarse un nivel de tenacidad sin un efecto adverso de la facilidad de mecanizado y conformado en frío que puede tener lugar con otros elementos comunes de aleación.

Aluminio. En cantidades entre el 0,95 por 100 y el 1,30 por 100, el aluminio se usa en aceros nitrurados a causa de su fuerte tendencia formar nitruros de aluminio, que contribuyen a una elevada dureza superficial y superior resistencia al desgaste.

Silicio. El silicio se combina con el carbono para formar carburos duros que, cuando están distribuidos adecuadamente en la aleación, tienen el efecto de aumentar la resistencia elástica sin pérdida de ductilidad.

Tungsteno. El tungsteno forma carburos duros estables cuando se añade al acero. Eleva la temperatura crítica, aumentando así la resistencia de la aleación a temperaturas elevadas.

Vanadio. Este elemento actúa como agente desoxidante como el aluminio lo hace sobre el acero fundido. Forma carburos muy duros, incrementando así la resistencia elástica de las aleaciones de acero de bajo y medio carbono.

Pueden añadirse otros elementos para aumentar la resistencia y tenacidad de laminación de los aceros en la categoría de alta resistencia y baja aleación

Tratamiento térmico de los aceros. Cuando un acero se calienta a cierta temperatura y después se enfría rápida o lentamente, sus propiedades físicas como el límite elástico, tensión de rotura y dureza pueden verse modificadas.

Los tratamientos térmicos caen dentro de dos categorías generales: aquellos que aumentan la resistencia, dureza y tenacidad por enfriamiento y temple y los que disminuyen la dureza y promueven la uniformidad por enfriamiento lento por encima del rango de transformación o por calentamiento prolongado dentro o por debajo del rango de transformación, seguido de enfriamiento lento.

El *recocido* consta de un calentamiento del acero a cierta temperatura y enfriamiento mediante un proceso relativamente lento. El recocido puede utilizarse para rebajar tensiones como las producidas por la forja o fundición, para afinar la estructura cristalina del acero o para alterar la ductilidad o su tenacidad.

El *recocido de eliminación de tensiones* implica calentar hasta una temperatura que se aproxime al rango de transformación, manteniendo suficiente tiempo para alcanzar una temperatura uniforme a través de la pieza y después enfriar a temperatura ambiente atmosférica. El propósito de este tratamiento es descargar las tensiones residuales inducidas por la normalización, mecanizado, conformado por deformación en frío de cualquier tipo. Puede experimentarse algún ablandamiento y mejora de ductilidad dependiendo de la temperatura y tiempo implicado. La normalización implica calentar a una temperatura uniforme de cerca de 100 °F a 150 °F (37,8 °C a 65,6 °C) por encima del rango de transformación, seguido de un enfriamiento al aire.

El *endurecimiento* consiste en calentar el acero por encima del rango de transformación y enfriarlo repentinamente por inmersión en agua, aceite o algún otro medio de enfriamiento que absorba calor rápidamente.

El *temple* se define como un proceso de enfriamiento rápido desde una temperatura elevada por contacto con líquidos, gases o sólidos. El temple aumenta la dureza del acero si su contenido de carbono es 0,20 por 100 o más. También eleva el límite elástico y la carga de rotura y reduce la ductilidad; sin embargo, induce tensiones internas y el metal puede volverse frágil. Esto puede minimizarse por el recocido o recalentamiento del metal o material hasta una temperatura apropiada metalúrgicamente determinada para el metal o material implicado en la operación de temple.

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Las propiedades de los materiales para estructuras de ingeniería se describen generalmente bajo los siguientes encabezamientos:

1. *Físicas.* Éstas describirán la composición del material, estructura, homogeneidad, peso específico, conductividad térmica, capacidad para dilatarse y contraerse y resistencia a la corrosión.
2. *Conformabilidad.* Ésta se relaciona con la elaboración del material como la fusibilidad (soldadura), forjabilidad, maleabilidad para conformar el material por flexión y/o mecanizado.

3. *Mecánicas*. Las propiedades mecánicas describen la capacidad de un material para resistir cargas y se obtienen normalmente a partir de pruebas.

Las propiedades básicas mecánicas son los límites plásticos, módulos de elasticidad, cargas de ruptura, límites de resistencias y dureza. Características mecánicas secundarias determinadas de las básicas o simultáneamente con ellas son la resistencia, tenacidad, ductilidad y fragilidad.

La *resistencia* depende del tipo y naturaleza de la carga. La resistencia elástica de un metal se expresa por una correspondiente tensión del límite elástico. La resistencia al impacto se mide por el módulo de resistencia correspondiente. La resistencia de tenacidad se expresa por el límite correspondiente de tenacidad. Véase posteriormente los capítulos sobre tensiones, presiones y esfuerzos.

Otras cualidades además de la resistencia son también importantes.

La *dureza* es una característica relativa. Hay varios métodos para medirla, todos de naturaleza arbitraria. El número de dureza Brinell (Bhn) se obtiene como sigue: una bola de acero endurecido de 10 milímetros de diámetro se presiona bajo una cierta carga, F kilogramos, sobre la superficie pulida del material a probar; el diámetro D de la marca o huella dejada se mide en milímetros y la profundidad h se calcula a partir de ella. El número de dureza, Bhn, se expresa entonces como sigue:

$$\text{Bhn} = \frac{F}{10 \pi h}$$

También se puede utilizar el escleroscopio o durómetro Shore, que es un pequeño cilindro de acero con una punta endurecida a la que se permite caer sobre la superficie del material a probar, y la altura de rebote del cilindro se toma como medida de la dureza.

El número de dureza obtenido con el instrumento Rockwell se basa en la profundidad adicional a la que una punta o puntero se impulsa por una carga pesada más allá de la profundidad a la que el mismo puntero penetrado ha sido impulsado por una carga más ligera y definida.

Un material es *dúctil* si es capaz de soportar una deformación grande, permanentemente y todavía ofrecer una gran resistencia a la rotura. La medida de la ductilidad es el porcentaje de elongación (o alargamiento) o el porcentaje de reducción de área cuando se realiza una prueba o se lleva a rotura, y se usa como medida relativa. La ductilidad ayuda a eliminar la concentración localizada de tensiones a través de la elasticidad local. Es una característica necesaria de un material utilizado para soportar cargas vivas, especialmente donde pueden concurrir tensiones concentradas.

La *fragilidad* es una característica opuesta a la ductilidad y tenacidad. Un material puede considerarse frágil si su elongación a rotura por medio de tracción es menor que el 5 por 100 en un espécimen de 2" (50,8 mm) de longitud.

Tenacidad es un término usado para denotar la capacidad de un material para resistir el fallo bajo carga dinámica. El módulo de tenacidad se define como una cantidad de energía por unidad de volumen que un material puede soportar o absorber sin que ocurra fractura. El módulo de tenacidad es útil como índice para comparar la resistencia de los materiales a las cargas dinámicas, y es especialmente aplicable en el diseño de piezas móviles de maquinaria.

CÓDIGO ASME. DESIGNACIONES DEL NÚMERO SA

Los números SA, tales como el SA-178, de los tubos de caldera de acero al carbono soldados por resistencia eléctrica, se usan en las distintas secciones del código ASME de calderas para mostrar la especificación admisible del material para diferentes componentes de una caldera o recipiente a presión. La lista de materiales admisibles es bastante amplia y crece actualmente a medida que las laminaciones del acero y las metalúrgicas desarrollan nuevos materiales que encuentran aprobación por los comités de admisión y aprobación. La Sección II ofrece un listado de los requerimientos específicos para materiales aprobados en la Sección I. Esto incluye ahora tensiones admisibles para los materiales SA listados según la temperatura de trabajo. Dicha tabla de tensiones se muestra en las Figuras 9.2 y 9.3 del Capítulo 9, donde se revisan los cálculos de tensiones del código.

Se suministran a continuación unas pocas definiciones que son apropiadas al revisar los requisitos del código ASME de calderas.

Recubrimiento es todo material aplicado sobre un tubo de acero para aumentar su resistencia a la corrosión, pero que no contribuye a la resistencia del tubo para soportar la presión interna según las normas del Código.

Calidad de hogar (o caja de llamas) es un acero que es adecuado para su utilización en recipientes a presión que estarán expuestos a llamas o calor y por ello capaz de resistir las tensiones térmicas y mecánicas resultantes.

Calidad de calderas (o bridas) es un acero para utilización en recipientes a presión que no están expuestos al fuego o calor radiante. Se requiere una fabricación especial, pruebas y marcaje del acero como calidad de calderas.

Carga o colada de acero es el acero producido de una misma carga o colada de horno y consiguientemente prácticamente idéntico en sus propiedades.

Aceros resistentes al calor son aquellos aceros calificados o apropiados para el servicio a relativamente altas temperaturas porque conservan la mayor parte de su resistencia y aguantan o soportan la oxidación a estas temperaturas.

Acero calmado es un acero al que se le han añadido suficientes agentes desoxidantes en su fabricación para evitar la evolución de gases durante la solidificación y así reducir la posibilidad de porosidad en el acero.

Acero mermado en caliente es el metal que es o se vuelve frágil a elevada temperaturas.

Aceros maraging son un grupo de aceros martensíticos de alto contenido en níquel, que tienen elevada resistencia y ductilidad.

Martensita es una estructura distintiva que desarrollan muchos aceros al enfriarse lo más rápidamente posible desde la temperatura de temple. En esta forma, el acero alcanza su máxima dureza.

Test de McQuaid-Ehn es una prueba utilizada para revelar el tamaño del grano de un acero calentándolo por encima de su rango crítico en un medio carbonoso. Esto obliga al grano a mostrarse claramente cuando se ha pulido, tratado con agua-fuerte y visionado al microscopio. Los tamaños del grano van desde el número 8 (fino) al número 1 (grueso).

Microestructura es la estructura de los metales revelada al menos como por un examen de muestras pulidas y tratadas al agua-fuerte.

Fragilidad de neutrones es el resultado del bombardeo de un acero con neutrones tal y como ocurre en un reactor nuclear. En aceros, la fragilidad de neutrones produce una elevación de la temperatura de transición de dúctil a frágil.

Perlita es un constituyente del acero relativamente duro formado por capas alternativas de ferrita (hierro) y cementita (carburo de hierro). Cuando la proporción del carbono es del 0,8 por 100, se denomina acero eutectoide.

Endurecimiento por precipitación es el proceso de una aleación por calentamiento con el propósito de permitir a los constituyentes precipitar fuera de una solución sólida.

Acero estriado es un acero que cuando se hace la colada tiene suficiente oxígeno para evolucionar con apreciables cantidades de gases durante la solidificación. La evolución gaseosa da por resultado un acabado del acero con una superficie muy neta, pero con impurezas concentradas en el interior, de ahí el nombre.

Acero semicalmado es un acero que posee propiedades intermedias entre las del acero calmado y el estriado, y que se caracteriza por grados variables de uniformidad y composición cuando se manufactura.

Acero estirado es un acero o chapa de acero a partir de la cual se elaboran los tubos.

Solución sólida es la condición en la que un elemento se disuelve en otro elemento mientras el elemento que se disuelve está en forma sólida y no en estado líquido.

Requisitos del material según el código ASME. Deben seguirse por el fabricante o reparador ciertos procedimientos para estar seguros de que solamente se usan materiales especificados según la normativa de construcción de calderas. También es parte de la responsabilidad del inspector autorizado ayudar a implementar un procedimiento de control de calidad para asegurarse de que se utiliza material según el Código. Estos controles pueden (deben) incluir lo siguiente:

1. El material a utilizar para una caldera o recipiente a presión debe especificarse en la sección del Código bajo el cual se construye la caldera o recipiente a presión. Por ejemplo, si una caldera de alta presión está implicada debe listarse como material permisible en la Sección I (Calderas de potencia) o los datos deben presentarse para demostrar que tienen las mismas características fisicoquímicas que el material listado en el Código.
2. El fabricante de la caldera o recipiente a presión generalmente pide materiales según el Código a las acererías. El laminador de las chapas es responsable de efectuar las pruebas necesarias según las especificaciones dadas según la Sección II del código ASME de calderas y recipientes a presión*.
3. Los requisitos de la Sección II que el fabricante acerista debe haber realizado comprenden lo siguiente:
 - a) Análisis químico del acero para determinar si está dentro de los límites de las especificaciones del Código.
 - b) Pruebas para determinar si la estructura metalúrgica del grano está dentro de los límites de la especificación del Código.

* En España, «Reglamento de Aparatos a Presión e Instrucciones Técnicas Complementarias» del MINER.

- c) Inspección de las chapas o tubos para notar si existen defectos como sopladuras, escoria, escamaciones, laminaciones o cualquier imperfección que pueda estar presente, y, si lo está, si cae dentro de los límites o tolerancias especificadas en el Código.
- d) Pruebas de tensión y doblado (flexión) especificadas en el Código para controlar si caen dentro de los límites de sus especificaciones.
- e) Pruebas de impacto para comprobar la fatiga o tensión de rotura.
- f) Informe de laminación demostrando que el material cumple las especificaciones; esto debe certificarse por la persona responsable del laboratorio de pruebas del fabricante del acero.

La chapa de acero para toda parte o pieza de caldera sometida a presión y expuesta al fuego o a productos de combustión debe ser de la calidad del hogar o caja de fuegos. Si no está expuesta al fuego o a productos de la combustión, la chapa puede ser de calidad caldera simplemente. Algunos aceros de calidad de hogar o caja de fuego son de acero al carbono-silicio, especificación SA-201, o acero al cromo-manganeso-silicio, de especificación SA-202 y/o acero al molibdeno, especificación SA-204. Compruebe el Código para otros aceros de calidad de hogar (caja de fuego) y refiérase a la especificación de material de ASME, Sección II, para sus propiedades y características físicas y químicas. Los calderines de acero sin costura forjados hechos de acuerdo con las especificaciones SA-266 y SA-336 para aceros aleados son utilizados para toda pieza de caldera a la cual se le permite calidad de hogar o calidad de caldera.

Los tubos o tubuladuras pueden estar hechos de acero al horno eléctrico, núcleo abierto, horno básico al oxígeno o ácido desoxidado según el proceso Bessemer de acuerdo a especificaciones normalizadas. Algunos materiales para tubos listados en la Sección I incluyen los aceros al carbono soldados por resistencia eléctrica tipo SA-178; acero al carbono para tubos sin soldadura para servicio de alta presión SA-192; y SA-210 que es un acero al carbono sin soldadura para tubos de caldera y tubos de sobrecalentadores. Otros aceros para tubos incluyen los de baja aleación tales como las series SA-213 TP, un material para tubos al cromo-níquel. Los materiales para riostras y tirantes de arriostamiento permitidos son los de riostras tubulares taladradas y roscadas SA-36 y SA-675. Las riostras, tirantes y virotillos redondos con extremo para conexión soldada deben ser SA-36 o SA-675. Los tubos de acero sin soldadura utilizados como arriostamiento deben ser del tipo SA-192 o SA-220.

Es importante comprobar la sección del Código con la que se construye una caldera por recipiente a presión o componente nuclear y se stampa o graba como objeto del Código para anotar si el material de una pieza está permitido con esa sección por el código ASME o normativa equivalente. Si la presión no excede de 250 psi (17,5 kg/cm²) y la temperatura no sobrepasa los 450 °F (232 °C) puede usarse la fundición gris SA-278 para piezas de caldera como conexiones de tubo, columnas de agua y válvulas o sus bonetes. El hierro fundido no puede utilizarse para toberas o bridas para ninguna presión ni temperatura, pero esto no se aplica a las calderas de baja presión. Las mismas piezas a presión enumeradas para fundición pueden fabricarse en fundición maleable (hierro maleable) tipo SA-395, excepto si la presión está limitada a un máximo de 350 psi (24,5 kg/cm²) y la temperatura a 450 °F (232 °C).

El espesor mínimo de chapa es de $1/4''$ (6,35 mm) para cualquier chapa sometida a presión. Una excepción la constituyen las calderas miniatura de construcción sin soldadura donde el espesor mínimo de chapa puede ser de $3/16''$ (4,76 mm). El espesor mínimo de pared tubular es de $3/8''$ (9,5 mm), excepto en calderas miniatura donde es de $5/16''$ (7,94 mm). El material de la chapa original debe ser no más de $0,01''$ (0,254 mm) más delgado que el requerido por la fórmula utilizada para calcular su resistencia, supuesto que la tolerancia de fabricación (o de cuando se mide la chapa) también tiene esta tolerancia de no menos de $0,01''$ (0,254 mm).

Tablas de tensiones normalizadas según el Código. Después de que el material ha sido identificado como permitido por la sección del Código bajo la que se construye o se repara la pieza o componente, las tensiones admisibles para las diferentes temperaturas pueden obtenerse de las tablas de tensiones de la Sección II, parte D, del código ASME. Esta tabla se muestra en el Capítulo 9 para resolver problemas de presiones admisibles utilizando las ecuaciones normales del Código y tensiones admisibles para la pieza o componente en consideración y para la temperatura media de trabajo esperada.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

1. Cite algunas propiedades mecánicas típicas que describan la capacidad de un material de acero para resistir cargas.

RESPUESTA: Las propiedades mecánicas que son importantes para describir un acero son su resistencia (de rotura), límite elástico, límite de tenacidad, dureza y módulo de elasticidad.

2. ¿Cuáles son los tres nombres más importantes dados al método utilizado para medir la dureza de un material de acero?

RESPUESTA: Brinell, Rockwell y Shore (escleroscopio o durómetro) son los métodos más importantes para describir la dureza de un acero.

3. ¿Cómo se define una matriz espacial?

RESPUESTA: Una matriz espacial es la disposición geométrica de los átomos en la formación de un cristal de un metal dado, tal como la matriz cúbica centrada en las caras o matriz cúbica centrada en el cubo, que describen la disposición de los átomos en un cristal de hierro.

4. ¿Cuál es la matriz espacial de un hierro alfa?

RESPUESTA: El hierro alfa se compone de matrices cúbicas centradas en el cubo.

5. ¿Qué significa eutéctico?

RESPUESTA: Un eutéctico es la aleación de una solución que tiene el punto de fusión más bajo de la solución.

6. ¿Qué es la temperatura de transformación en los aceros al carbono?

RESPUESTA: Es la temperatura dentro de la cual la austenita (acero no magnético) se forma por calentamiento y también el intervalo de temperatura dentro del cual la austenita desaparece al enfriarse en una solución hierro-carbono. La temperatura de transformación depende del contenido de carbono, como se ve en el diagrama de equilibrio para la solución de equilibrio hierro-carbono.

7. Cite algunos defectos físicos típicos que pueden encontrarse en el hierro fundido.

RESPUESTA: Sopladuras, grietas, segregación de impurezas, grano grueso y falta de estructura uniforme del grano son los defectos más comunes.

8. ¿Cuáles son los dos pasos principales en la fabricación del acero a partir del mineral de hierro?

RESPUESTA:

1. Eliminar el oxígeno del mineral produciendo el hierro bruto o arrabio.
2. Eliminar el exceso de carbono del hierro bruto o fundición para producir acero.

9. ¿En qué difiere el acero de la fundición?

RESPUESTA: El contenido de carbono es mucho menor; la resistencia mecánica mucho mayor y la ductilidad y resistencia de la carga de choque son mayores.

10. Brevemente, ¿cómo se quita el exceso de carbono del hierro para formar acero?

RESPUESTA: Soplando aire u oxígeno a través del hierro fundido. El oxígeno del aire se une al carbono por la combustión.

11. ¿Cómo se produce el acero de alta calidad?

RESPUESTA: Por el método del horno eléctrico, debido algo al control más preciso y al mínimo de factores oxidantes.

12. ¿Por qué no siempre se usa el método del horno eléctrico?

RESPUESTA: El costo de fabricación por este método es mayor.

13. ¿Cuáles son los requisitos del código ASME para propiedades químicas de los aceros de caja de fuegos (hogar) y de calidad calderas?

RESPUESTA: Para un acero de caja de fuegos, el mismo contenido de carbono; para chapas de no más de 3/4" (19 mm) de espesor será del 0,25 por 100, y para chapas de más de 3/4" (19 mm) de espesor, 0,3 por 100; el máximo contenido de fósforo (P) para el acero obtenido por el método ácido es del 0,04 por 100, y para el acero hecho por el método básico, 0,035 por 100; el máximo contenido de azufre es del 0,05 por 100.

14. ¿Cuál es el mínimo límite elástico requerido para el acero que sea calidad caldera o caja de fuego?

RESPUESTA: La mitad de la resistencia mecánica.

15. ¿Cuánto, por debajo del espesor especificado, puede laminarse una chapa de caldera y todavía ser admisible?

RESPUESTA: 0,010" (0,254 mm)

16. ¿Dónde y cómo será marcada una chapa de caldera?

RESPUESTA: En al menos dos sitios, a no menos de 1 pie (0,3 m) desde los bordes debería estar el nombre o etiqueta del fabricante, el número de ensayo, el tipo de acero y la resistencia mínima del rango de 10.000 lbs (4.550 kg/cm²).

17. ¿Qué determina la dureza de un acero?

RESPUESTA: El contenido de carbono, el contenido de aleación y la estructura del grano, a menudo debida al tratamiento térmico.

18. ¿Cómo puede cambiarse la estructura del grano y la dureza?

RESPUESTA: Mediante tratamiento térmico a temperaturas por encima del punto crítico inferior y por trabajo mecánico.

19. ¿Cuáles son las principales diferencias entre fundición y hierro maleable?

RESPUESTA: El hierro maleable es más dúctil, soportará con seguridad una carga de choque (impacto) considerablemente mayor que la fundición. Posee mayor resistencia.

20. ¿Qué son ductilidad y maleabilidad?

RESPUESTA: Estos términos son prácticamente sinónimos. Describen la capacidad de un material para soportar un grado comparativo de deformación sin fallo o desajustado de su resistencia a otras propiedades físicas.

21. ¿Cuál es la medida habitual de la ductilidad?

RESPUESTA: El porcentaje de elongación que se halla al hacer una prueba de resistencia.

22. ¿Qué es dureza?

RESPUESTA: Es la propiedad de un material para soportar la deformación superficial en aplicación de una fuerza externa.

23. ¿Qué es fragilidad?

RESPUESTA: Es una tendencia de un material a fracturarse al aplicarle una carga de choque.

24. ¿Hay relación definida entre dureza y fragilidad?

RESPUESTA: Normalmente no. Por ejemplo, algunos de los metales llamados blancos son bastante frágiles pero blandos.

25. ¿Hay alguna relación definida entre dureza y tenacidad?

RESPUESTA: Normalmente no. La tenacidad es una propiedad que capacitará a un material para soportar una deformación así como una abrasión como la que se requiere para los dientes de una excavadora.

26. ¿Qué son fatiga y rotura por fatiga?

RESPUESTA: Fatiga es el «cansancio» del metal. Es la rotura a través del grano cristalino de la estructura fibrosa de un material después de un número de aplicaciones de tensión

o inversiones de tensión. La resistencia a la fatiga es la capacidad de un material para resistir un gran número de aplicaciones de tensión o inversiones sin fallo (rotura).

27. ¿En qué dirección debe trabajar la fibra en las chapas de caldera y qué diferencia supone esto?

RESPUESTA: La fibra trabaja en la dirección en la que ha sido laminada la chapa, normalmente paralela a su dimensión longitudinal mayor. En fabricación, la fibra trabaja circunferencialmente, porque la dimensión mayor de la chapa está solicitada normalmente en esta dirección y para mantener la mayor carga tensora sobre la chapa se la requiere normalmente en esta misma dirección, así por ello denominada estructura fibrosa.

28. ¿Cuánto pesa una chapa de caldera de 12" × 12" × 1" (304,8 mm × 304,8 mm × 25,4 mm)?

RESPUESTA: El peso promedio de una chapa de acero de caldera es de : 0,28 lb/pulgada cuadrada (7,76 kg/cm²), por tanto:

$$12 \times 12 \times 1 \times 0,28 (3,048 \times 3,048 \times 0,254 \times 7,76) = 40,3 \text{ lbs (18,3 kg).}$$

29. ¿Cómo se diferencia el hierro forjado del acero?

RESPUESTA: El hierro forjado es de estructura mucho más fibrosa que la del acero. Si un punto (mota) de la superficie del metal se pule con una lija o esmeril (y un paño) la estructura fibrosa normalmente puede verse. Puliendo el metal en una piedra esmeril (rotativa) mostrará un chispeo rojizo del hierro forjado y unas chispas amarillentas del acero.

30. ¿Qué es una chapa «laminada» de caldera?

RESPUESTA: Una que contiene un estrato de escoria laminado por accidente.

31. ¿Qué daño produce una «laminación» o «escamado»?

RESPUESTA: Es un aislante que evita la conducción libre del calor. Si la chapa está en zona de alta temperatura, puede dar lugar a una ampolla a causa del sobrecalentamiento de la chapa en el lado de fuego y de la «laminación».

32. ¿Qué es fragilidad de «muesca»?

RESPUESTA: Es la susceptibilidad de un material a la fractura frágil en puntos de concentración de tensiones, como en una esquina o punto afilado. Cuando se realizan ensayos sobre materiales con una muesca, el material se considera frágil por muescas si la resistencia del elemento con muesca es menor que la del elemento sin ella.

33. ¿Es la tensión real resistente la que se graba sobre una chapa de acero o hay un rango o franja según el código ASME?

RESPUESTA: Para un acero al carbono, la resistencia real puede estar entre 55.000 y 65.000 libras/pulgada cuadrada (4.550 a 3.850 kg/cm²), pero la chapa se marca con 55.000 libras/pulgada cuadrada (3.850 kg/cm²), siendo el rango permisible de 10.000 libras/pulgada cuadrada (700 kg/cm²). Si la chapa cae ligeramente por debajo de 55.000 libras/pulgada cuadrada de resistencia, se marcaría 45.000 libras/pulgada cuadrada (3.150 kg/cm²).

34. ¿Qué es una incrustación de laminación y qué daño puede producir?

RESPUESTA: Es una escamación de óxido de hierro formada en la superficie de una chapa cuando, después de laminada a alta temperatura, se expone al aire. Puede ser causa de deterioro de la chapa en una caldera en servicio o puede promover y situar una corrosión localizada.

35. ¿Dónde puede hallarse la resistencia exacta de una chapa?

RESPUESTA: En el informe de laminación.

36. ¿Qué más enseña el informe de laminación?

RESPUESTA: El espesor, propiedades químicas, otras propiedades físicas requeridas, principalmente elongación y límite elástico, nombre del fabricante y los números de colada y chapa.

37. ¿Cuál es el efecto del azufre y el fósforo cuando se funden en el acero?

RESPUESTA: El azufre hace frágil al acero a alta temperatura, en lo que a menudo se refiere como «mermado» en caliente. El fósforo hace frágil al acero a bajas temperaturas, así que es indeseable en piezas sometidas a cargas de impacto cuando se enfrían. Esta fragilidad en frío se denomina a veces «mermado» en frío.

38. Al hacer una inspección en el almacén de un vendedor de chapas para calderas construidas según el código ASME, ¿qué será comprobado especialmente por un inspector oficial del Código?

RESPUESTA: La chapa deberá comprobarse en los siguientes términos:

1. Examinar los informes y notas del fabricante-laminador y anotar si la placa cumple las especificaciones del Código para el material.
2. Comprobar el sello de la chapa y notar si el estampillado identifica la chapa con el informe de laminación, incluyendo resistencia, espesor tipo y calidad de acabado.
3. Hacer un examen visual de la chapa para detectar posibles defectos tales como grietas, laminaciones, inclusiones, poros y condiciones similares cuestionables.

39. ¿Cuándo puede y debe utilizarse un acero de caja de fuego o calidad de caldera según el código ASME de calderas? ¿Qué proceso de fabricación está estipulado?

RESPUESTA: El acero calidad caja de fuego debe usarse cuando piezas o partes de caldera están expuestas al fuego o productos de combustión. Para otro servicio, el acero calidad caja de fuego o calidad de caldera puede utilizarse. El acero debería estar hecho en un proceso de horno de núcleo abierto o de horno eléctrico bien sea por el método ácido o el básico.

40. ¿Cuál es la presión máxima de trabajo permisible y la máxima temperatura admisible en una columna de agua hecha de fundición o fundición maleable?

RESPUESTA: Según el código ASME, para fundición: 250 psi (17,5 kg/cm²) y 450 °F (232 °C); para fundición maleable: 350 psi (24,5 kg/cm²) y 450 °F (232 °C).

41. ¿Quién es responsable del marcaje de la chapa de acero utilizada en calderas de alta presión?

RESPUESTA: El fabricante laminador que ha hecho la chapa.

42. Cite algunos tipos de fundición.

RESPUESTA: Los tipos de fundición son: blanca, gris, hierro maleable y fundición dúctil. Las fundiciones se clasifican por sus resistencias: 20.000, 30.000, 40.000 libras/pulgada², etc. (1.400, 2.100, 2.800 kg/cm², etc.).

43. ¿Qué proceso se usa para la fabricación de tubos?

RESPUESTA: Los tubos se fabrican bien por el método sin costura (sin soldadura) o por el proceso de soldadura a tope.

44. Defina fragilidad y rotura frágil.

RESPUESTA: Fragilidad es la fractura repentina de un material sin una deformación plástica previa. La rotura frágil es la propagación rápida de una grieta con un pequeño gasto de energía a medida que la grieta progresa hasta la última separación del metal.

45. ¿Qué es la deformación plástica?

RESPUESTA: Cuando un material es sometido a tensión (por ejemplo tracción) más allá de su límite elástico, ocurre una deformación permanente o distorsión en el metal, sin embargo, la distorsión tiene lugar de un modo dúctil.

46. ¿Suministra la Sección II, parte D, del código ASME otra información además de las tensiones admisibles de los materiales?

RESPUESTA: La Sección II, parte D, lista además de cada material, sus resistencias o límites elásticos y de rotura y también lista en las Secciones I, III y VIII si se permite un determinado material en particular. También incluye cuadros de presiones externas para cálculo de presiones admisibles sobre piezas o componentes de caldera sometidos a presión externa, como los tubos en las calderas piro-tubulares.

47. ¿Qué tipo de tuberías requiere un sello y certificación según el Código, incluso si está fabricado según las normas del código ASME B31.1 Tuberías de presión?

RESPUESTA: El preámbulo de la Sección I define esto como tuberías externas, consistentes en tuberías desde la caldera a cualquier válvula requerida por el Código. Esta tubería requiere informes según el Código para ser elaborada por un poseedor de sello SA o PP. La tubería implicada es de vapor a la válvula de corte, tubería de agua de alimentación, tubería de purga y venteo de vapor, drenaje de caldera y tuberías diversas exteriores como las de purga superficial, tubería de vapor y agua para columnas de agua y niveles de vidrio, y la línea de recirculación para una caldera de agua o alta temperatura.

48. ¿Qué presión de diseño se requiere según el Código para las tuberías de la pregunta 47?

RESPUESTA: Para tuberías de vapor, la presión de ajuste de la válvula de seguridad no puede ser inferior a 100 psi (7 kg/cm²). Para tuberías de alimentación de agua de purga, la presión de diseño debe ser al menos 125 por 100 de la presión máxima de trabajo admisible en la caldera o 225 psi (15,75 kg/cm²) por encima de la presión máxima de trabajo admisible, la que sea menor pero sin que pueda ser menor de 100 psi (7 kg/cm²).

La mayoría de las tuberías deben diseñarse para una presión al menos igual a la máxima presión de trabajo admisible de la caldera, pero no menor de 100 psi (7 kg/cm²).

49. ¿Pueden usarse el hierro galvanizado y el tubo de acero galvanizado y sus accesorios para la tubería de purga en una caldera de alta presión?

RESPUESTA: El tubo galvanizado no puede utilizarse para tuberías de purga según la normativa ASME B31.1 del Código de calderas de potencia.