



HORNOS INDUSTRIALES LTDA.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos son un modo importante de cambiar la resistencia, dureza, ductilidad y otras propiedades de los metales.

Los tratamientos térmicos involucran varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material.

En algunos casos el tratamiento térmico aplica, antes del proceso de formado, por ejemplo para ablandar el metal y ayudar a formarlo mas fácilmente mientras se encuentra caliente. En otros casos, se usa el tratamiento térmico para aliviar los efectos del endurecimiento por deformación que ocurre durante el formado y poder destinarla a una deformación posterior.

Y finalmente, el tratamiento térmico puede realizarse durante o casi al finalizarla secuencia de manufactura para lograr la resistencia y dureza requeridas en el producto según las necesidades del cliente.

El tratamiento térmico es un proceso de manufactura; por consiguiente es muy importante estudiar este tema en nuestro curso de "PROCESOS DE FABRICACIÓN".

Los principales tratamientos térmicos que se explicarán en detalle, y para los que se describirán las técnicas y equipos para los procesos son:

Recocido

Normalizado

Temple

Revenido

Austempering o Austemplado

Martempering o Martemplado

Carburizado

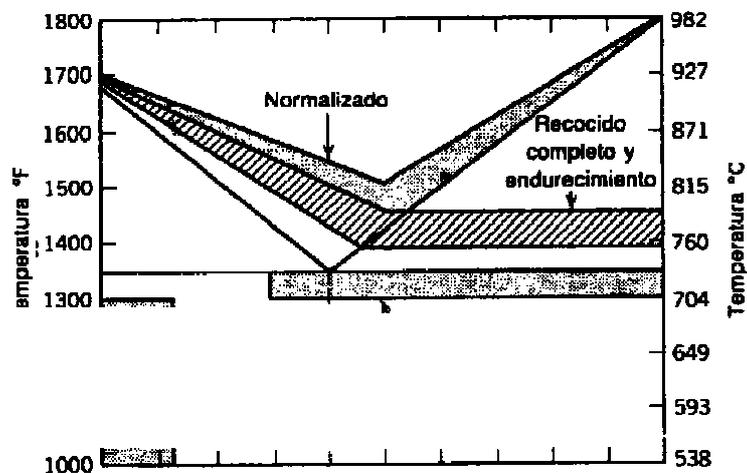
Nitrurado

RECOCIDO

El tratamiento térmico del hierro y del acero conocido generalmente como recocido puede dividirse en varios procesos diferentes: recocido total, normalización, recocido de esferoidización, disminución de esfuerzos (recocido) y recocido de proceso.

Recocido total

El recocido total se utiliza para ablandar completamente un acero endurecido, por lo general, con el fin de maquinar con más facilidad los aceros para herramientas que tienen más de 0.8 % de carbono. Los aceros de menor contenido de carbono se recosen también con otros propósitos. El recocido total se realiza calentando la parte en un horno hasta 50 °F (28 °C) arriba de la temperatura crítica superior (figura 1) y luego enfriándola muy lentamente en el horno o en un material aislante. (Nota: Una temperatura especificada de 50 °F sería de 10 °C, pero si se trata de un cambio en la temperatura, la diferencia sería de 28 °C). Ejemplo: 1 500 °F menos 1 500 °F = 50 °F y 843.3 °C menos 815.5 °C = 27.8 °C). Por medio de este proceso, la microestructura se vuelve perlita y ferrita gruesa, la cual es bastante blanda para maquinarse. Es necesario calentar a una temperatura más alta que la crítica, como en el recocido total, con el fin de recrystalizar los granos que contienen los carburos de hierro (perlita y martensita) en aceros de bajo carbono y volver a formar los nuevos granos, completamente blandos a partir de los antiguos duros (figuras 2a y 2b). Sin embargo, los granos de ferrita tensionados y deformados recrystalizarán por debajo de la temperatura crítica a alrededor de 900 °F (482 °C) y se transformarán en granos completamente blandos.



Recocido de relevado de esfuerzos

El recocido de relevado de esfuerzos es un proceso por el cual se recalientan los aceros al bajo carbono hasta 950 °F (510 °C). Mediante este proceso se eliminan los esfuerzos de los granos de ferrita (principalmente hierro puro) debidos a operaciones de trabajo en frío del acero tales como laminado prensado, soldadura, conformado o estirado. Los granos distorsionados vuelven a formarse o recrystalizan en unos nuevos más blandos.

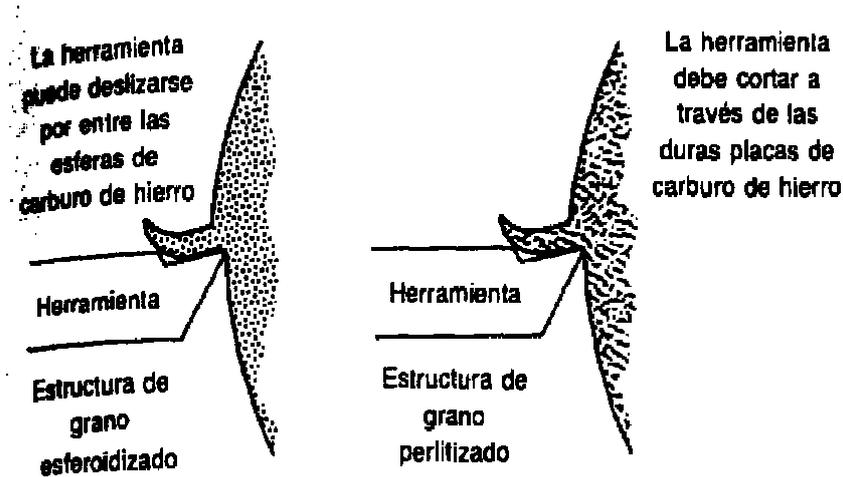


Figura 4. Comparación de la acción cortante entre los aceros al carbono esferoidizados y normales (*Machine Tools and Machining Practices*).



FIGURA 2a. Las estructuras de esta micrografía tienen forma acicular y, por lo tanto, pueden ser martensita o bainita inferior. Probablemente, el material es muy duro y no es maquinable. El metal es acero SAE 1040 (500X).

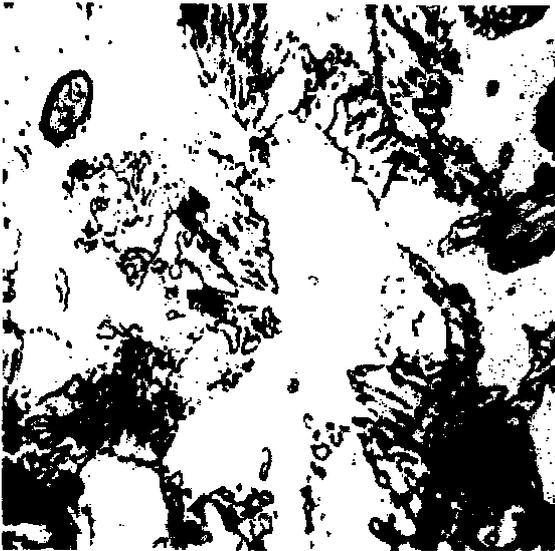
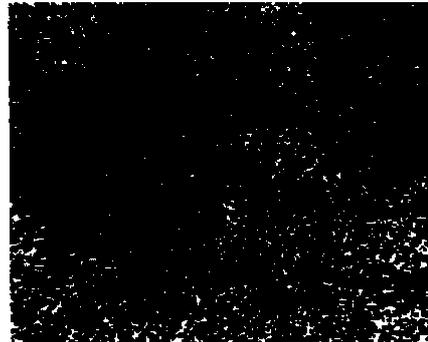


FIGURA 2b. El mismo material que se muestra en la figura 2a se ha recocido totalmente y ahora es maquinable. La martensita ha recristalizado en granos grandes de perlita y ferrita (500X).

Este tratamiento no afecta a los granos de perlita y algunas otras formas de carburo de hierro, al menos que se efectúe a la temperatura de esferoidización y se mantenga el tiempo suficiente como para que se lleve a cabo la esferoidización. A menudo, la eliminación de esfuerzos se utiliza sobre soldaduras porque la temperatura más baja limita la cantidad de distorsión debida al calentamiento. Por ejemplo, el recocido total puede distorsionar considerablemente al acero.

FIGURA 5. Acero SAE 1090 esferoidizado. El maquinado es mucho más fácil en esta condición que cuando el acero está normalizado o con recocido total (500X).



Recocido de proceso

El recocido de proceso (para recristalización después del trabajo en frío) es esencialmente el mismo que el recocido de relevado de esfuerzos. Se realiza a las mismas temperaturas y con los aceros al bajo y medio carbono. En la industria de los alambres y de las láminas de acero, el término se utiliza para designar los procesos de recocido que se usan en los procesos de laminado en frío o de estirado de alambre (trefilado) y en aquellos que se utilizan para relevar los esfuerzos residuales cuando sea necesario. El alambre y otros productos metálicos que deben conformarse y volverse a conformar en forma continua se volverían demasiado frágiles para continuar después de cierto grado de conformado. El recocido, entre varias operaciones de trabajo en frío, vuelve a formar los granos hasta la condición original de blandos y dúctiles, de modo que pueda continuar el trabajo en frío. Algunas veces, el recocido de proceso se conoce como recocido brillante y se lleva a cabo usualmente en un recipiente cerrado provisto de gas inerte para prevenir la oxidación de la superficie. En el recocido de proceso no ocurren transformaciones de fase debido a que la temperatura está por debajo de A_1 .



FIGURA 6. La microestructura de granos alargados de un acero al 0.10% de carbono, laminado en frío (1000X) (con permiso de *Metals Handbook*, volumen 7, copyright American Society for Metals, 1972).

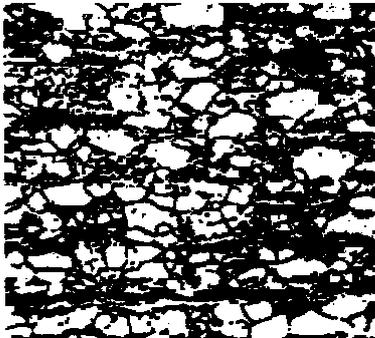


FIGURA 7. El mismo acero de 0.10% de carbono de la figura 6, pero recocido a 1 025 °F (552 °C). Los granos de ferrita se reforman en su mayoría a su estado original, pero los granos de perlita aún están distorsionados (1 000X) (con permiso de *Metals Handbook*, volumen 7, copyright American Society for Metals, 1972).

Rapidez de enfriamiento

Cuando más lento sea el enfriamiento al recocer los aceros al carbono, mayor será el tiempo al cual se puede formar la perlita gruesa, y por tanto, el acero será más blando. Las estufas u hornos especiales para recocido pueden producir resultados exactos, pero en el taller promedio pueden utilizarse otros métodos. El recocido total puede realizarse en un horno de tratamiento térmico si se calienta el metal hasta la temperatura de recocido y si se mantiene ahí durante una hora por cada pulgada de sección y luego se apaga el horno y se deja enfriar con la pieza dentro de él. Por lo general, los ladrillos del horno calientes retienen suficiente calor como para que la temperatura baje lentamente, lo suficiente para recocer la mayoría de los aceros para herramientas. También el recocido por esferoidización puede realizarse en un horno de tratamiento térmico. Entre otros métodos que se pueden usar para facilitar el enfriamiento muy lento de los metales que se calientan a la temperatura de recocido está el que consiste en sepultar el metal caliente en arena seca, ceniza o caliza.

Las soldaduras pueden cubrirse con capas térmicas (resistentes al calor) y luego calentarse con sopletes de propano para realizar la eliminación de esfuerzos. En este caso, la temperatura debe aumentarse quizá a 1 000 °F (537.7 °C), que es la temperatura de recristalización de una soldadura de acero. Usualmente, la velocidad de enfriamiento no es un factor crítico para las temperaturas de recristalización que se indican en la tabla 1.

Tabla 1 Temperaturas de recristalización de algunos metales

<i>Metal</i>	<i>Temperatura</i>
Aluminio de 99.999% de pureza	175
Bronce al aluminio	660
Cobre berilio	900
Latón de cartucho	660
Cobre de 99.999% de pureza	250
Plomo	25
Magnesio de 99.999% de pureza	150
Aleaciones de magnesio	350
Metal monel	100
Níquel de 99.999% de pureza	700
Acero al bajo carbono	1000
Estaño	25
Zinc	50

RECUPERACIÓN, LA RECRISTALIZACIÓN Y EL CRECIMIENTO DE GRANO

Cuando los metales se calientan a temperaturas menores a la temperatura de recristalización, ocurre una reducción en los esfuerzos internos. Esto se logra por el relevado de los esfuerzos elásticos de los planos reticulares y no por reformado de los granos distorsionados. La recuperación que se usa en los procesos de recocido de los metales trabajados en frío no es usualmente un relevado de esfuerzos suficiente para un posterior y vasto trabajo en frío (figura 8), sin embargo, se utiliza para algunos propósitos y se le llama recocido de relevado de esfuerzos. Más a menudo, la recristalización se requiere para reformar suficientemente los granos distorsionados con el fin de realizar trabajo en frío posterior.

La recuperación es un efecto de baja temperatura en la cual hay poco o ningún cambio visible en la microestructura. La conductividad eléctrica se incrementa y, a menudo, se nota una disminución en la dureza. Es difícil hacer una distinción clara entre la recuperación y la recristalización. La recristalización libera cantidades mucho mayores de energía que la recuperación. Los granos aplanados y distorsionados se reforman algunas veces hasta cierto grado durante la recuperación en forma de granos poligonales al mismo tiempo que ocurren algunos rearreglos de defectos tales como dislocaciones.

La recristalización no sólo libera cantidades mucho mayores de energía almacenada, sino que se forman granos nuevos y más grandes debido a la nucleación de los granos tensionados y la combinación de varios granos para formar unos más grandes. Para que se efectúe esta combinación de granos adyacentes, los límites de grano emigran a nuevas posiciones, las cuales cambian la orientación de la estructura cristalina. A esto se le conoce como crecimiento de grano.

Los siguientes factores afectan la recristalización.

1. Para que ocurra la recristalización, es necesaria una cantidad mínima de deformación.
2. Cuanto mayor sea el tamaño de grano original, tanto mayor será la cantidad de deformación en frío que se requiere para dar una cantidad igual de recristalización con la misma temperatura y

el mismo tiempo.

3. El incremento del tiempo de recocido disminuye la temperatura necesaria para la recristalización.
4. El tamaño del grano recristalizado depende principalmente del grado de deformación y, hasta cierto grado, de la temperatura de recocido.
5. Si se continúa el calentamiento después de que se completa la recristalización (granos reformados), se incrementa el tamaño de grano.
6. Cuanta más alta sea la temperatura de trabajo en frío, tanto mayor será la cantidad de trabajo en frío que se requiere para dar una deformación equivalente.

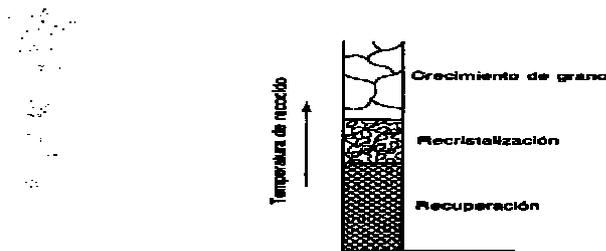


FIGURA 8. Cambios en la estructura del metal que ocurren durante los procesos de recocido.



FIGURA 8a. Copa estampada de aleación 280 (latón de cartucho, 70%) en la cual se aprecia una superficie áspera o de "cáscara de naranja" (tamaño real) (con permiso de *Metals Handbook*, volumen 7, copyright: American Society for Metals, 1972).



FIGURA 8b. Copa estampada de aleación 280 (latón de cartucho, 70%) con una superficie suave, sin "cáscara de naranja" (tamaño real) (con permiso de *Metals Handbook*, vol. 7, copyright: American Society for Metals, 1972).

Los metales que se someten a operaciones de trabajo en frío se endurecen y no puede realizarse más trabajo en frío sobre ellos sin peligro de laminación o rotura de éstos. Si se controlan las temperaturas de recristalización, es posible obtener diversos grados de ablandamiento. La temperatura de recristalización, proporcionada en la tabla 1 para aceros al bajo carbono, afectan solamente los granos de ferrita tensionados o trabajados, no los carburos (granos de perlita). Para recristalizar la perlita son necesarias temperaturas más altas de recocido. Un ejemplo práctico de la necesidad que existe de controlar el recocido es la fabricación de clavos.

Antes de formar en frío la cabeza del clavo, el alambre debe estirarse hasta una dureza que evite que se doble cuando reciba el impacto, pero no debe ser demasiado duro, porque después de la operación de formación de la cabeza en frío fragilizaría la zona de la cabeza. En ese caso, la cabeza caería cuando se golpeará con el martillo. Quizá se utilizaría la recuperación con algo de recristalización antes de formar en frío la cabeza del clavo.

METALES NO FERROSOS

El recocido de la mayoría de los metales no ferrosos consiste en calentarlos a la temperatura de recristalización o al rango 1 de crecimiento de grano y luego enfriarlos hasta la temperatura ambiente (tabla 1). La tasa de enfriamiento no tiene efecto en la mayoría de los metales no ferrosos tales como el cobre o el latón, pero el enfriamiento repentino en agua fría algunas veces es benéfico. Las temperaturas y procedimientos de recocido son muy importantes con algunos metales tales como los aceros inoxidable y los metales no ferrosos endurecidos por precipitación. Para mayor información, véase el capítulo 14 "El tratamiento térmico de los metales no ferrosos". El fenómeno de crecimiento de grano tratado en el capítulo 7, se encuentra a temperaturas más altas. Cuando se requiere gran cantidad de deformación para una operación, algunas veces se prefieren los granos grandes, aunque algunas veces se ve un defecto superficial, conocido como cáscara de naranja (figuras 9a y 9b), sobre los metales formados que tienen granos grandes. En este caso, puede utilizarse un recocido de eliminación de esfuerzos, o sea, una recuperación sin crecimiento de grano.

TEMPLE

Definimos temple como el tratamiento térmico del acero en el que se le confiere mayor dureza y resistencia a la tracción y elasticidad, mediante un enfriamiento rápido con una velocidad mínima llamada "crítica" en un medio de enfriamiento, tras haberlo calentado a temperaturas superiores a la crítica. Con el calentamiento se transforma toda la masa en austenita y después, por medio del enfriamiento rápido, la austenita se convierte en martensita, que es la microestructura de mayor dureza que puede alcanzar el acero.

La velocidad crítica de los aceros al carbono es muy elevada. Los elementos de aleación disminuyen en general la velocidad crítica de temple y en algunos tipos de alta aleación es posible realizar el temple al aire. A estos aceros se les denomina "autotemplantes".

El templado del acero se realiza en tres escalones: calentamiento a temperatura de temple, detención a esta temperatura y enfriamiento rápido. El temple se consigue al alcanzar la temperatura de austenización y además que todos los cristales que componen la masa del acero se transformen en cristales de austenita, ya que es la única estructura constituyente del material que al ser enfriado rápidamente se transforma en martensita, estructura que da la máxima dureza a un acero hipoeutectoide.

Los aceros inferiores a 0,3% de carbono no toman temple debido a que al ser enfriados rápidamente de la temperatura de austenización fijan estructuras no martensíticas como por ejemplo: Perlita y Ferrita.

La temperatura de austenización es variable, dependiendo del porcentaje de carbono que contenga el acero. De acuerdo con un diagrama de nombre Hierro Carbono se distingue una zona llamada hipoeutectoide a la cual pertenecen los aceros de porcentajes de carbono inferiores al 0,83% hasta 0,008% y otra superior a estas de nombre hipereutectoide.

Factores que influyen en la práctica del temple

- El tamaño de la pieza: cuanto más espesor tenga la pieza más hay que aumentar el ciclo de duración del proceso de calentamiento y de enfriamiento.
- La composición química del acero: en general los elementos de aleación facilitan el temple.
- El tamaño del grano: influye principalmente en la velocidad crítica del temple, tiene mayor templabilidad el de grano grueso.
- El medio de enfriamiento: el más adecuado para templar un acero es aquel que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica. Los medios más utilizados son: aire, aceite, agua, baño de Plomo, baño de Mercurio, baño de sales fundidas y polímeros hidrosolubles.

Los tipos de temple son los siguientes: temple total o normal, temple escalonado martensítico o "martempering", temple escalonado bainítico o "austempering", temple interrumpido y tratamiento subcero (que serán tratados más adelante algunos de ellos).

PROBLEMAS Y CAUSAS QUE SE PRESENTAN EN EL TEMPLE DE LOS ACEROS

PROBLEMA	CAUSA
Ruptura durante el enfriamiento	<ul style="list-style-type: none">• Enfriamiento muy drástico• Retraso en el enfriamiento• Aceite contaminado• Mala selección del Acero• Diseño inadecuado
Baja dureza después del temple	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de temple muy baja• Tiempo muy corto de mantenimiento• Temperatura muy alta o tiempos muy largos• Decarburación del Acero• Baja velocidad de enfriamiento• Mala selección del acero (Templabilidad)
Deformación durante el temple	<ul style="list-style-type: none">• Calentamiento disperejo• Enfriamiento en posición inadecuada• Diferencias de tamaño entre sección y continuas
Fragilidad excesiva	<ul style="list-style-type: none">• Calentamiento a temperatura muy alta• Calentamiento irregular

REVENIDO

Los aceros, después del proceso de temple, suelen quedar frágiles para la mayoría de los usos al que van a ser destinados. Además, la formación de martensita da lugar a considerables tensiones en el acero.

Por esta razón, las piezas después del temple son sometidas casi siempre a un revenido (al conjunto de los dos tratamientos también se le denomina "bonificado"), que es un proceso que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la temperatura crítica seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretenden resultados altos en tenacidad, o lento, para reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

Cuando se pretenden los dos objetivos, se recurre al doble revenido, el primero con enfriamiento rápido y el segundo con enfriamiento lento hasta -300 °C.

En general los fines que se consiguen con este tratamiento son los siguientes:

- Mejorar los efectos del temple, llevando al acero a un estado de mínima fragilidad.
- Disminuir las tensiones internas de transformación, que se originan en el temple.
- Modificar las características mecánicas, en las piezas templadas produciendo los siguientes efectos:
 - Disminuir la resistencia a la rotura por tracción, el límite elástico y la dureza.
 - Aumentar las características de ductilidad y las de tenacidad.

Los factores que influyen en el revenido son los siguientes:

- La temperatura de revenido sobre las características mecánicas.
- El tiempo de revenido (a partir de un cierto tiempo límite la variación es tan lenta que se hace antieconómica su prolongación, siendo preferible un ligero aumento de temperatura de revenido).
- La velocidad de enfriamiento (es prudente que el enfriamiento no se haga rápido).
- Las dimensiones de la pieza (la duración de un revenido es función fundamental del tamaño de la pieza recomendándose de 1 a 2 horas por cada 25mm de espesor o diámetro).

La temperatura de revenido varía con el tipo de acero y el empleo y tipo de solicitaciones que haya de soportar la pieza. De una manera general cabe indicar los intervalos siguientes:

Aceros de cementación	140 a 200 °C
Aceros de herramientas	200 a 300 °C
Aceros para temple y revenido	350 a 650 °C
Aceros rápidos	550 a 580 °C

La duración del revenido es de gran importancia para que las transformaciones deseadas puedan

producirse con seguridad. Generalmente es de 1 a 3 hrs.

Los revenidos pueden ser homogéneos y heterogéneos:

-Homogéneos: La pieza en su totalidad esta a una temperatura uniforme, se realiza después del temple, con baños de aceite, sales, hornos de circulación de aire y de recocido, cuando las temperaturas son altas. Estas se usan en piezas de construcción, de fabricación en serie y herramientas.

-Heterogéneo: La pieza es sometida a diferentes temperaturas de revenido en diferentes partes; para que sea esto correcto la temperatura ha de estimarse generalmente sobre la base de los colores del revenido. Se emplean 2 procedimientos:

Auto revenido: Se sumerge en el medio de temple la superficie de trabajo, se la esmerila brillante, con rapidez, después de extraerla del baño.

Revenido externo: Se calienta la pieza templada de manera parcial y no uniforme.

AUSTEMPLING O AUSTEMPLADO

El austemplado o templado austenítico, convierte la austenita en una estructura dura llamada bainita. En el austemplado el acero se templea en sales fundidas a una temperatura de entre 232°C y 426°C (450 y 800°F). Esta temperatura produce una estructura con el grado de tenacidad y ductilidad deseadas. Cuando se mantiene una temperatura constante durante un tiempo suficiente para completar la transformación de la austenita, la estructura resultante es bainita. La bainita es más tenaz que la martensita de revenido. Es menos probable que ocurran el agrietamiento y el alabeo porque el descenso de temperatura en el austemplado es menos severo que en el temple ordinario o en el martemplado. Una desventaja del austemplado es que sólo se pueden someter a este proceso metales con áreas transversales delgadas; por ejemplo, hojas de cuchillo, hojas de afeitar y alambres. Los aceros que contienen 0.6% o más de carbono se austemplan con facilidad.

El austemplado depende de la temperatura del baño de templear y del tiempo que permanece el metal austenítico en el baño. Los baños de austemplar son por lo común mezclas de sales fundidas que contienen carbonato de sodio y cloruro de bario. Este baño de sal se mantiene comúnmente a una temperatura específica por medio de un quemador controlado por un termostato. Por ejemplo, si un acero en particular se debe templear a 343 °C (650 °F), ésta será la temperatura del baño. El acero se sumerge en la sal fundida y permanecerá en el baño durante un número determinado de segundos. A continuación se retira el metal del baño de sales y se deja enfriar en aire calmado. El tiempo y la temperatura del baño son importantes porque el metal tiene que permanecer en el baño el tiempo suficiente para que se forme por completo la bainita y la temperatura debe ser la adecuada para controlar el tipo de bainita formada. El austemplado es capaz de crear un artículo más tenaz que cualquier otro que haya sido templado y revenido en forma convencional o bien martemplado.

CARBURIZADO

Email: hornos@hornosindustriales.cl
T: (56 2) 237 3217 - (09) 8 669 7857
Avda. Zañartu 1521 - Ñuñoa - Santiago. Chile

Es un proceso usado para ciertos tipos de acero dúctil que aumenta la dureza de la superficie de 2 a 6 veces. Se conduce generalmente en una caja resistente al calor calentado la pieza a una temperatura de 900 °C.

Se puede efectuar este procedimiento con medios sólidos (carbón de madera con aditivos, baño de sales con cianuros), o con medios gaseosos CO, H₂, N₂, CmHn. La utilización de medios gaseosos es la más utilizada ya que permite un control de la profundidad del tratamiento.

Este ambiente con grandes cantidades de carbono aumenta los niveles de carbono en la superficie del metal en función del tiempo.

Después se efectúa un enfriamiento rápido para alcanzar la dureza superficial necesaria de forma que los aceros con bajo contenido en carbono, alcancen una superficie dura con un núcleo dúctil que proporcione a las piezas su máxima resistencia.

El control de temperaturas es del todo necesario en los procesos de carburizado.

Pequeños errores de temperatura, pueden modificar sensiblemente la duración del proceso, particularmente cuando se trate de alcanzar las mayores profundidades de carburizado.

NORMALIZADO

El tratamiento térmico de normalización del acero se lleva a cabo al calentar aproximadamente a 20 °C por encima de la línea de temperatura crítica superior seguida de un enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente. El propósito de la normalización es producir un acero más duro y más fuerte que con el recocido total, de manera que para algunas aplicaciones éste sea el tratamiento térmico final. Sin embargo, la normalización puede utilizarse para mejorar la maquinabilidad, modificar y refinar las estructuras dendríticas de piezas de fundición, refinar el grano y homogeneizar la microestructura para mejorar la respuesta en las operaciones de endurecimiento.

El hecho de enfriar más rápidamente el acero hace que la transformación de la austenita y la microestructura resultante se vean alteradas, ya que como el enfriamiento no se produce en condiciones de equilibrio, el diagrama hierro-carburo de hierro no es aplicable para predecir las proporciones de ferrita y perlita proeutectoide que existirán a temperatura ambiente. Ahora, se tendrá menos tiempo para la formación de la ferrita proeutectoide, en consecuencia, habrá menos cantidad de esta en comparación con los aceros recocidos. Aparte de influir en la cantidad de constituyente proeutectoide que se formará, la mayor rapidez de enfriamiento en la normalización también afectará a la temperatura de transformación de austenita y en la fineza de la perlita. El hecho de que la perlita (que es una mezcla eutectoide de ferrita y cementita) se haga más fina implica que las placas de cementita están más próximas entre sí, lo que tiende a endurecer la ferrita, de modo que esta no cederá tan fácilmente, aumentando así la dureza. El enfriamiento fuera del equilibrio también cambia el punto eutectoide hacia una proporción de carbono más baja en los aceros hipoeutectoides y más alta en los aceros hipereutectoides. El efecto neto de la normalización es que produce una estructura de perlita más fina y más abundante que la obtenida por el recocido, resultando un acero más duro y más fuerte.

El tratamiento habitual es de normalizado, para recuperar las propiedades de la soldadura. Con el tratamiento térmico se asegura la continuidad de las propiedades del material base - zona de transición - soldadura, obteniendo tamaños de grano similares y estructuras ferrito-perlíticas muy parecidas.

Con el tratamiento térmico se alivian además todas las tensiones generadas en el material al

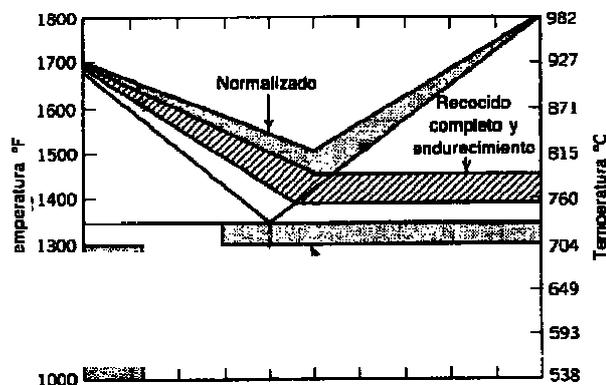
curvarlo.

El tratamiento térmico logra recuperar en la soldadura estructuras y características mecánicas sin afectar en gran medida las propiedades del material base.

La siguiente imagen es un horno de campana en donde se puede realizar el tratamiento de normalizado.



El normalizado es algo similar al recocido, pero se efectúa con diferentes propósitos. A menudo, los aceros al carbono medio se normalizan para darles mejores cualidades para el maquinado. El acero al carbono medio (0.3 a 0.6%) puede ser "gomoso" cuando se maquina después de un recocido total, pero puede ser suficientemente blando para el maquinado por medio del normalizado. La microestructura más fina, aunque más dura también producida por el normalizado le da a la pieza un mejor acabado superficial. La pieza se calienta a 100 °F (56 °C) por encima de la línea crítica superior y se enfría en aire tranquilo. Cuando el contenido de carbono está por encima o por debajo del 0.8%, se requieren temperaturas más altas (figura 1).



Las piezas forjadas y las piezas coladas que tienen estructuras granulares grandes e irregulares se corrigen utilizando un tratamiento térmico de normalizado. Los esfuerzos se eliminan, pero el metal no es tan blando como lo sería con el recocido total.

La microestructura resultante es una de perlita más ferrita de grano fino uniforme, incluyendo otras microestructuras, según el contenido de carbono y la aleación de que se trate.

ESFEROIDIZACIÓN

La esferoidización se utiliza para mejorar la maquinabilidad de los aceros al alto carbono (0.8 a 1.7 % C). Este tratamiento produce una estructura de grano de carburo esférico o globular en el acero más bien que una estructura laminar (en forma de placas) de perlita. Los aceros de bajo carbono (0.08 a 0.3%C) se pueden esferoidizar, pero su maquinabilidad empeora debido a que se vuelven gomosos y blandos, provocando el acumulamiento de borde en la herramienta y un acabado insatisfactorio. La temperatura de esferoidización es cercana a 1 300 °F (704 °C). El acero se mantiene a esta temperatura alrededor de 4 horas. Los carburos duros que se desarrollan a partir de la soldadura en los aceros al carbono medio, provocando su fragilidad, pueden cambiarse a los esferoides de carburo de hierro más dúctil por medio del proceso de esferoidización. En el acero se obtiene la ductilidad máxima por este método.

NITRURADO

Es el proceso que incorpora nitruros desde la superficie, para lograr elevada dureza y resistencia al rozamiento.

El proceso de nitrurado es parecido a la cementación pero difiere en que el material se calienta a los 510°C y se mantiene así en contacto de gas amoníaco. De esta manera los nitruros del amoníaco ayudan a endurecer el material.

También existe la modalidad líquida en la cual, el material es sumergido en un baño de sales de cianuro a la misma temperatura del nitrurado normal.

El **nitrurado** se realiza a unos 500 grados, se obtiene, cuando el material es adecuado, altísimas durezas. Es un proceso que lleva muchas horas en el horno por lo que es más costoso que el nitrocarburado.

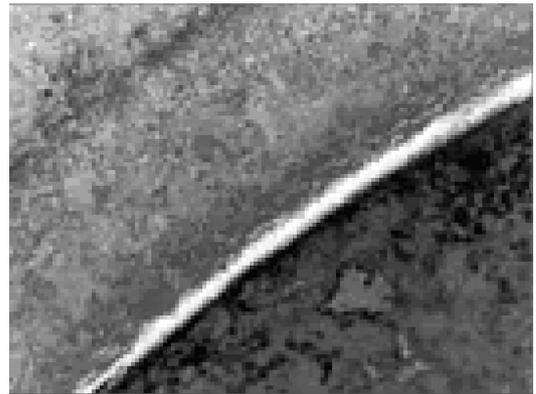
Nitruración gaseosa: Proceso desarrollado intensamente en los últimos años, tanto técnicamente como en la calidad de las instalaciones. Confiere a los materiales un excelente "coeficiente de rozamiento" gracias a la capa dura aportada (desde 0.25 a 0.5 mm).

Aplicaciones:

- Aceros que vayan a sufrir mucho roce y necesitan una excelente resistencia al desgaste.
- Matrices de extrusión de aluminio.
- Moldes, correderas, postizos, etc. que vayan a trabajar en inyección de plástico.
- En definitiva cualquier pieza que necesite resistencia al desgaste.

Ventajas:

- Dada la baja temperatura a la que se realiza este tratamiento se producen deformaciones inapreciables.
- Se consiguen altas durezas, pudiendo alcanzar los 1100 HV dependiendo del material utilizado.
- Se puede realizar un endurecimiento parcial de la zona que desee.
- El acabado después de tratamiento es excelente ya que se realiza en atmósfera con vacío previo.



El carbonitrurado se realiza aproximadamente a 860 grados con lo que el material sufre menos deformaciones, se obtienen capas más netas y de mayor dureza por el aporte de nitruros.

El nitrocarburo se realiza aproximadamente a 600 grados y por ello el material no sufre ningún tipo de deformaciones, puede aplicarse sobre cualquier tipo de **acero**, se obtienen durezas de alrededor de 52 RC (el espesor es de centésimas de mm) suficientes para conseguir una alta resistencia al desgaste.

NITRURACIÓN DE BAÑOS EN SALES.

Todas las sales fundidas con contenidos de cianuros ceden al acero, carbono y nitrógeno.

Estas sales fundidas a distintas temperaturas adquieren diferentes propiedades. Cuando la temperatura de un baño con elevado contenido de cianuro alcanza los 760° C, el efecto nitrurante disminuye, dando, por el contrario, una mayor actividad al efecto cementante. Por el contrario, a medida que esta temperatura decrece la carburación disminuye, dando paso totalmente al nitrógeno al llegar a los 600° C.

Los baños de nitruración deben contener, además de los cianuros, una parte de cianato, necesario para que el baño sea activo. En los baños de cementación, la formación de cianatos deberá evitarse.

Puede mejorarse el rendimiento mecánico de utillajes contruidos con aceros altamente aleados (rápidos, en caliente, etc.) sometiéndolos después del tratamiento de temple a un corto período de nitración de sales.

En fresas, brochadores, machos, hileras, escariadores, etc., y en estampas de trabajo en caliente, moldes, etc., puede alcanzarse hasta diez veces más su rendimiento.

Las sales utilizadas generalmente tienen su punto de fusión a los 300° C, y la zona de trabajo se sitúa entre los 500 y 550° C.

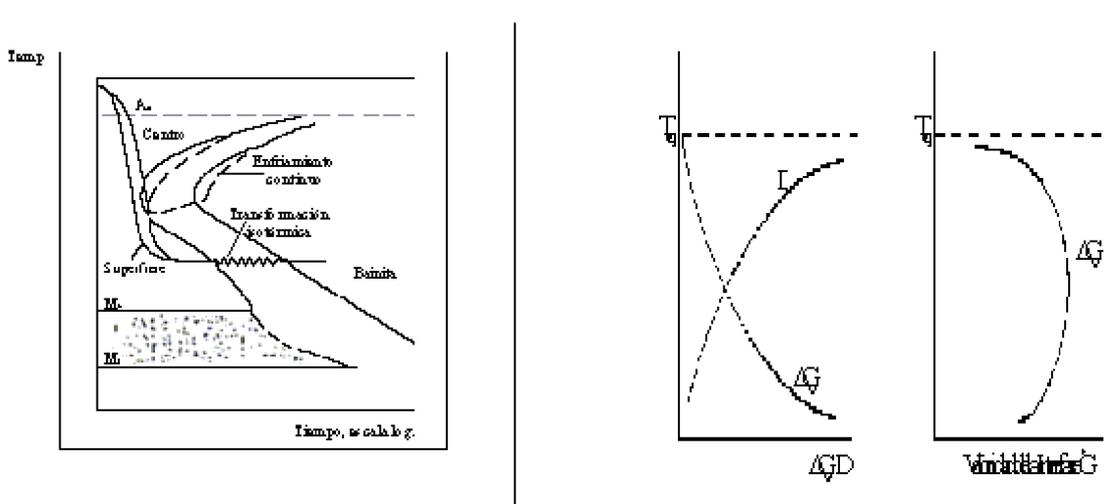
Los crisoles deberán ser contruidos en acero dulce. En las herramientas sometidas a esfuerzos de flexión o de torsión, escariadores, brocas, machos de roscar, etc., el tiempo de permanencia en el baño nitrurante será de pocos minutos (5 a 10). En fresas madre, moldes, etc., de mayor sección, el tiempo puede ser hasta 40 minutos.

Las piezas serán retiradas del baño dejando que se enfríen al aire, nunca deberán acabarse de enfriar en aceite o en agua. Un revenido posterior mejora las condiciones mecánicas del material nitrurado. La temperatura del revenido puede estipularse en los 500° C, con un tiempo de una hora, aproximadamente. Igual que en el proceso de nitruración las piezas deberán ser enfriadas al aire.

En ningún caso deberá ser aprovechado el baño de nitrurar para ejecutar el apagado de piezas austenizadas, puesto que los perfiles de las herramientas se harían frágiles, por efecto de una brusca y descontrolada nitruración.

MARTEMPERING

Es un procedimiento que consiste en calentar el acero a la temperatura de austenitización y enfriarlo bruscamente, en un baño de sal o de aceite caliente, hasta una temperatura levemente superior a M_s , manteniéndose constante para uniformizar la temperatura de la pieza, (el tratamiento isotérmico se detiene antes de que comience la transformación bainítica), luego se enfría hasta producir 100% de martensita, Figura 4.2-6, con este tratamiento se produce martensita con menor riesgo de distorsiones y fracturas por choque térmico.



El objetivo de este tratamiento es alcanzar altas cotas de endurecimiento debido a un drástico cambio en su estructura perlítica hasta alcanzar la martensita.

El ámbito de aplicación se tiene en las aleaciones eutéctoides.

El proceso de transformación martensítica es de una sola etapa, si bien, la velocidad de enfriamiento es el parámetro importante.

VARIABLES DE LA TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA

La temperatura es la variable que controla la cantidad de martensita transformada y, por tanto, del grado de endurecimiento alcanzado.

La transformación martensítica es una transformación independiente del tiempo y solo dependiente del valor absoluto de las temperaturas, lo que se define como **transformación atérmica**.

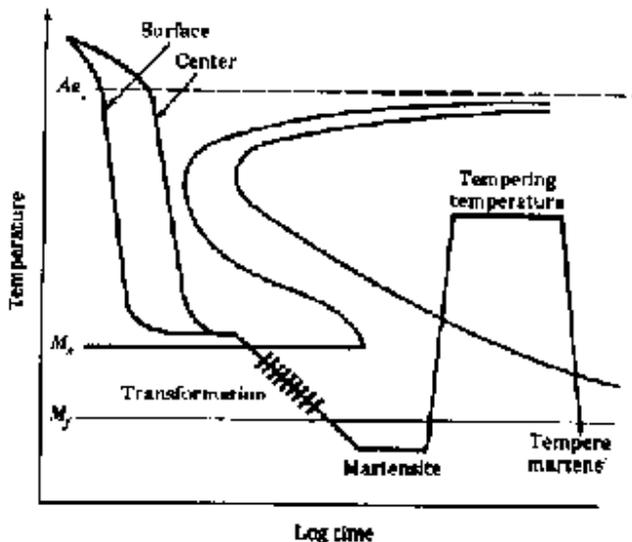
La velocidad de enfriamiento, V_e que es tangencial a las curvas de transformación isotérmica, determina la velocidad mínima requerida para conseguir la total transformación martensítica. Esta velocidad V_c , se denomina **Velocidad crítica de temple**.

Características de la martensita

Se observa un crecimiento en características de la martensita hasta alcanzar el contenido en carbono del eutectoide que corresponde al máximo. Las características residentes aumentan con el contenido en carbono de la austenita, que es idéntico al de la martensita resultante.

El tratamiento de calor del A que implicaba el austenitisation siguió por el paso que apagaba, en una tarifa rápidamente bastante para evitar la formación de la ferrita, del pearlite o del bainite a una temperatura levemente sobre el punto del M_s . El empapar debe ser suficientemente largo evitar la formación del bainite. La ventaja de martempering es la reducción de las tensiones termales comparadas a apagar normal. Esto evita el agrietarse y reduce al mínimo la distorsión.

Martempering



CONCLUSIONES

La industria ha mejorado y progresado a pasos acelerados durante los últimos años, por tal motivo el ser humano a tenido la necesidad de buscar métodos que permitan a la industria, lograr procesos para asegurarse de que sus productos cumplan con los requisitos mínimos de calidad, establecidos por la propia empresa, así como cumplir los requerimientos del cliente para lograr una mayor competitividad.

De tal manera, a lo largo de la historia, se ha tenido la necesidad de darle mejores propiedades a los materiales, ya que las que presentan con normalidad los materiales, no cumplen con los requerimientos necesarios para ciertas aplicaciones, para esto se han implementado diferentes tratamientos térmicos que permiten lograr las más diversas características del acero y sus aleaciones, así como de otros muchos metales.

En consecuencia dichos tratamientos tienen una importancia primordial en las distintas fases de fabricación de la industria moderna.

Como lo hemos estado analizando a lo largo de las exposiciones, los procedimientos en los tratamientos térmicos son muy numerosos y variados según el fin que se pretende conseguir.

La gran cantidad de tratamientos térmicos, las distintas aleaciones y sus reacciones y las diferentes exigencias técnicas requieren soluciones y conocimientos profundos de la materia.

El tratamiento térmico pretende endurecer o ablandar, eliminar las consecuencias de un mecanizado, modificar la estructura cristalina o modificar total o parcialmente las características mecánicas del material. Podemos distinguir dos razones principales para efectuar tratamientos térmicos en los cuales se pretende conseguir un endurecimiento (temple) o un ablandamiento (recocido).

Es importante comprender que cada proceso tiene su campo de aplicación específico y sólo en pocos casos se puede sustituir uno por otro. Por ello es conveniente consultar antes de elegir el material a usar, acerca del proceso más apropiado y hacer los ensayos de puesta a punto correspondientes. También es prudente remitir muestras del material elegido para verificar sus cualidades con respecto al tratamiento elegido.