

RECOCIDO, NORMALIZADO Y RELEVADO DE ESFUERZOS

RECOCIDO.

El tratamiento térmico del hierro y del acero conocido generalmente 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 recocen también con otros propósitos. Es necesario un recocido total cuando se suelda o previamente al tratamiento térmico de un acero al alto carbono que se maquina. 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. 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 transformaran en granos completamente blandos.

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 (figura 3a y 3b). 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. El normalizado se utiliza también para preparar el acero para otras formas de tratamiento térmico tales como el temple y el revenido. Algunas veces se normalizan las soldaduras para eliminar los esfuerzos de soldadura que se forman tanto en la estructura como en la soldadura.

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 (figura 4). 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 1300°F (704°C). El acero se mantiene a esta temperatura alrededor de 4 horas. Los carburos duros que se desarrollan a partir de las 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 (figura 5). En el acero se obtiene la ductilidad máxima por este método.

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 el laminado, prensado, soldadura, conformado o estirado. Los granos distorsionados vuelven a formarse o recristalizan en unos nuevos más blandos (figura 6 y 7).

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.

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 .

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 ladrillo 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 recido está el que consiste en sepultar el metal caliente en arena seca, cenizas o caliza. El normalizado del acero es un proceso sencillo. El metal se calienta y se mantiene durante cierto tiempo a la temperatura de normalizado y luego se saca del horno y se enfría en aire tranquilo.

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 1000°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. Temperatura de recristalización de algunos metales

<i>Metal</i>	<i>Temperatura de recristalización, °F</i>
<i>Aluminio de 99.999% de pureza</i>	175
<i>Bronce al aluminio</i>	660
<i>Cobre berilio</i>	900
<i>Latón de cartucho</i>	660
<i>Cobre de 99.999% de pureza</i>	250
<i>Plomo</i>	25
<i>Magnesio de 99.999% de pureza</i>	150
<i>Aleaciones de magnesio</i>	350
<i>Metal monel</i>	100
<i>Níquel de 99.999% de pureza</i>	700
<i>Acero al bajo carbono</i>	1000
<i>Estaño</i>	25
<i>Zinc</i>	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 proceso de recocido de los metales trabajados en frío no es usualmente un relevado de esfuerzos suficientes 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 posteriores.

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 arreglos 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. Cuanto 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.

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.

METALES NO FERROSOS

El recocido de la mayoría de los metales no ferrosos consiste en calentarlos a la temperatura de recristalización o al rango 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. 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 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.