

CEMENTACIÓN

Introducción

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro - hierro - carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión.

Definición de cementación

La cementación es un tratamiento termoquímico austenítico que se realiza al acero de bajo **carbono** (menos del 0.25%) que no está **templado** con el objetivo de enriquecer en carbono (mas del 0.8 %) la capa superficial. El material se austenitiza en una atmósfera o en un ambiente rico en C, el cual difunde hacia el interior de la pieza, permitiendo a la austenita disolver altos porcentajes de éste.

Se somete el carbono elemental a altas temperaturas (900-950 °C), para que se produzca su difusión dentro del material de la pieza.

Gracias a la cementación la pieza tendrá dos capas: superficie cementada y núcleo sin cementar. Después de la cementación la pieza se somete a temple y revenido a bajas temperaturas. El núcleo, debido al bajo contenido de carbono, no admite temple, queda tenaz y puede trabajar bajo cargas dinámicas, y la zona periférica adquiere temple a una profundidad de cerca de 1 mm haciéndose resistente al desgaste por rozamiento.

. Cabe señalar que la cementación en lo posible debe usarse en aceros en los cuales no pueda crecer mucho el grano y se pueda templar directamente.

Objetivo de la cementación

El templado y revenido proporcionan dureza a la pieza, pero también fragilidad. Por el contrario, si no se temple el material no tendrá la dureza suficiente y se desgastará. Para conservar las mejores cualidades de los dos casos se utiliza la cementación.

La cementación tiene por objeto endurecer la superficie de una pieza sin modificación del núcleo, dando lugar así a una pieza formada por dos materiales, la del núcleo de acero con bajo índice de carbono, tenaz y resistente a la fatiga, y la parte de la superficie, de acero con mayor concentración de carbono, más dura, resistente al desgaste y a las deformaciones, siendo todo ello una única pieza compacta.

La cementación consiste en recubrir las partes a cementar de una materia rica en carbono, llamada cementante, y someterla durante varias horas a altas temperatura (1000°C). En estas condiciones, el carbono irá penetrando en la superficie que recubre a razón de 0,1 a 0,2 mm por hora de tratamiento.

La pieza así obtenida se le da el tratamiento térmico correspondiente, temple y revenido, y cada una de las dos zonas de la pieza, adquirirá las cualidades que corresponden a su porcentaje de carbono. En ocasiones se dan dos temples, uno homogéneo a toda la pieza y un segundo temple que endurece la parte exterior.

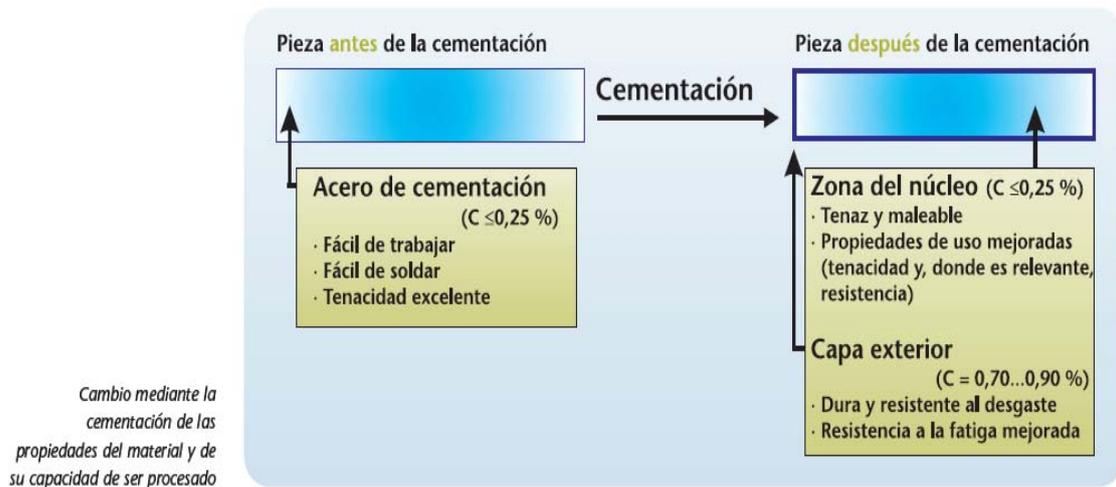
La cementación encuentra aplicación en todas aquellas piezas que tengan que poseer gran resistencia al choque y tenacidad junto con una gran resistencia al desgaste, como es el caso de los piñones, levas, ejes, etc.

Características de la cementación

- Endurece la superficie
- No le afecta al corazón de la pieza
- Aumenta el carbono de la superficie
- Su temperatura de calentamiento es alrededor de los 900 °C
- Se rocía la superficie con polvos de cementar (Productos cementantes)
- El enfriamiento es lento y se hace necesario un tratamiento termico posterior
- Los engranajes suelen ser piezas que se cementan

Etapas de la cementación

La cementación comprende tres etapas. En la primera etapa las piezas son expuestas a una atmósfera que contiene Carbono o Carbono y nitrógeno a una temperatura de entre 850 y 1.050 °C. En la segunda etapa se puede producir inmediatamente el temple (cementación) a partir de esa temperatura, o bien después de un enfriamiento intermedio y un recalentamiento a una temperatura de cementación específica del material. La tercera etapa, el revenido, sirve principalmente para aliviar tensiones internas y reducir la sensibilidad al agrietamiento durante el subsiguiente rectificado.



Aceros de cementación

Son apropiados para cementación los aceros de baja contenido de carbono, que conserven la tenacidad en el núcleo. El **cromo** acelera la velocidad de penetración del carbono. Los aceros al cromo níquel tienen buenas cualidades mecánicas y responden muy bien a este proceso. Una concentración de **níquel** por encima del 5% retarda el proceso de cementación.

Capa cementada.

Se da el nombre de capa cementada a la zona que después de la cementación queda con un contenido de carbono superior a la del acero y recibe el nombre de capa dura la zona superficial que después del último tratamiento queda con una dureza superior a 58-60 Rockwell-C, y que suele corresponder a la zona cuyo porcentaje de carbono es superior a 0.50-0.80 % de carbono.

Aunque de unos casos a otros hay bastantes diferencias, se puede considerar que en la mayoría de las piezas cementadas el espesor de la capa dura varía de la cuarta parte a la mitad (0.25 a 0.5) de la profundidad de la capa cementada.

Los espesores de las capas cementadas que normalmente se emplean en las piezas de maquinas y motores, se pueden clasificar en tres grupos:

1. Capas delgadas con menos de 0.50mm de espesor de cementacion. Estas profundidades de cementacion se utilizan para pequeñas piezas de acero al carbono,

endurecidas generalmente con sales de cianuro y templadas directamente desde la temperatura de cementación. Estas piezas deben utilizarse siempre sin rectificado posterior.

2. Capas medias de 0.50 a 1.50mm. estos espesores son los más corrientes para la mayoría de las piezas que se utilizan en la fabricación de máquinas y motores. Se pueden emplear cementantes sólidos, líquidos o gaseosos, con aceros al carbono, débilmente aleados o de alta aleación.
3. Capas de gran espesor, superiores a 1.50mm. son obtenidas, generalmente, por cementación con materias sólidas y con cementantes gaseosos y algunas veces, aunque más raramente, con cementantes líquidos.

Cualquiera que sea el proceso que se emplee, conviene que el contenido de carbono de la capa cementada no pase del 1% y debe procurarse que la parte periférica de la pieza después de rectificada, quede aproximadamente con 0.8 a 0.9 % de carbono.

Cuando el contenido en carbono de la zona periférica es mayor a la composición eutéctica de 0.90% de carbono, suelen aparecer redes de cementita o de carburos que pueden hacer frágil a la capa cementada y con tendencia a descascarillarse.

Selección de los aceros de cementación

Aunque es muy difícil dar unas reglas generales para la elección de aceros destinados a la fabricación de piezas cementadas, ya que es un problema extraordinariamente complejo, por ser muchos los factores que intervienen en el mismo, a título de orientación a continuación señalamos unas normas que pueden servir de base para su elección

<u>Piezas a fabricar</u>	<u>Clases de acero</u>	<u>Tratamiento recomendable</u>
Piezas pequeñas de formas regulares, en las que no es probable que se presenten problemas de deformaciones, ni es de gran interés ni la resistencia ni tenacidad del núcleo.	Acero al carbono	Temple al agua
Piezas de tamaño mediano y pequeño en las que deben cuidarse las deformaciones, y en las que interesa buena tenacidad y resistencias en el núcleo variables de 70 a 90 Kg/mm ² .	Aceros de media aleación	Temple al aceite o al agua
Piezas de cualquier tamaño en las que no se permiten deformaciones sensibles en el temple y en las que interesa buena tenacidad y alta resistencia en el núcleo variable generalmente de 90 a 150 Kg/mm ² .	Aceros de alta aleación	Temple al aceite

CLASES DE CEMENTACIÓN

Cementación gaseosa.

Las primeras cementación es gaseosas se llevaron a cabo con oxido de carbono, etileno, metano y gas del alumbrado y se utilizaban solo para la fabricación de blindajes.

En este proceso las piezas se mantienen entre 1 a 8 horas en una atmosfera carburante a temperaturas de 850 a 950° y se obtienen capas de 0,2 a 1,5 mm de profundidad. Solo en casos especiales como en la fabricación de blindajes se emplean procesos mas largos y se obtienen capas cementadas de mayor espesor.

Aunque la instalaciones son bastantes complicadas y costosas, la cementación de las piezas es muy sencilla y rápida; se obtienen resultados muy regulares y se pueden cementar

grandes cantidades de piezas en muy poco tiempo. El empleo de este procedimiento esta sustituyendo en muchos casos a la cementación en cajas, y a la cementación en sales. En la actualidad es el método de endurecimiento superficial mas utilizado en grandes talleres, fabricas de automóviles, motocicletas, etc, donde se preparan cantidades muy importantes de piezas cementadas.

Esta cementación tiene ventajas considerables con respecto a la cementación en medio sólido; el proceso es dos o tres veces mas rápido, la tecnología es menos perjudicial a la salud, y las propiedades del núcleo sin cementar resultan mejores debido al menor crecimiento del grano.

El proceso se realiza en hornos especiales, en cuyo interior se inyecta como gas cementante algún **hidrocarburo** saturado tales como metano, butano, propano y otros. Al calentar a unos 900-970 °C se desprende el carbono elemental que cementa el acero. Por ejemplo al calentar metano



Cementación con materias solidas.

Se utilizan diversas materias para suministrar el carbono que ha de absorber el acero durante la cementación. Las mas empleadas suelen ser el carbón vegetal, el negro animal, huesos calcinados, cuero, cok, etc., mezclados con carbonatos de bario, calcio y sodio. El carbono solo no se emplea porque con él no se suelen conseguir concentraciones altas de carbono en la periferia del acero.

La transferencia del carbono al acero, se verifica siempre por medio de los gases que se desprenden al calentarse las mezclas cementantes a alta temperatura, siendo en estos procesos el oxido de carbono el principal agente carburante.

El proceso de cementación por el carbón vegetal, coque, etc., se explica de la siguiente forma:

El carbón a elevada temperatura, en contacto con el oxigeno del aire da oxido de carbono:



Luego el oxido de carbono formado se descompone a elevada temperatura en carbono naciente y dióxido de carbono.



En algunos procesos (en especial cementación gaseosa), también se realiza la cementación por la acción del metano que se descompone en hidrogeno y carbono naciente



En todos los casos el carbono naciente que se forma es el que produce la cementación. Al estar en contacto con el hierro a alta temperatura se combinan



En todos los casos, para que se verifique con facilidad la absorción del carbono, es necesario que el acero se encuentre en estado austenítico, con el hierro en forma de gamma, condición que se cumple utilizando las temperaturas normales de cementación.

En este proceso se señalan tres fases diferentes: 1ª. Producción de carbono naciente en las proximidades de la superficie de acero. 2ª. Absorción del carbono en la zona periférica del acero; y 3ª. Difusión del carbono hacia la zona central.

Los principales inconvenientes de los cementantes sólidos son:

1. la gran duración de la operación, generalmente demasiado larga, ya que es necesario calentar hasta muy altas temperaturas las grandes cajas de cementación.
2. el elevado consumo de combustible, necesario para calentar el cementante y las cajas.
3. el elevado coste de preparación y colocación de las piezas en las cajas.
4. la dificultad de templar directamente las piezas desde la caja y, por tanto, la imposibilidad de emplear dispositivos automáticos para el temple al trabajar con grandes series.
5. la irregularidad de temperaturas en el interior de las grandes cajas de cementación.

La profundidad de la capa cementada aumenta con la temperatura y con la duración de la cementación y depende también de la actividad del carburante empleado y de la composición del acero que se va a cementar.

Cianuración.

En la cianuración el endurecimiento se consigue por la acción combinada del carbono y el nitrógeno, obteniéndose capas superficiales duras, de poca profundidad. El contenido de cianuro suele variar de 20 a 50%.

La composición de la capa cianurada varia mucho. En general, el nitrógeno se encuentra concentrado en la zona exterior y los contenidos en nitrógeno son mas altos que los contenidos en carbono en las zonas periféricas, y en cambio, en las zonas interiores ocurre al revés.

La profundidad de capa dura alcanzada depende del espesor de las piezas.

La cianuración se emplea no solo para endurecer aceros de bajo contenido en carbono, sino también algunas veces para aceros de mayor contenido en carbono con o sin aleación, en los que además de elevadas características en el núcleo, se desea también mejorar la dureza superficial.

Cementación líquida

Se cementa colocando las piezas en baños de mezclas de sales fundidas, (cianuro), de modo que el carbono difunde desde el baño hacia el interior del metal. Produce una capa más profunda, más rica en C y menos N. Sus principales ventajas son: eliminación de oxidación, profundidad de la superficie dura y contenido de C uniformes y gran rapidez de penetración; si bien posee ciertas desventajas como son: lavado de las piezas posterior al tratamiento para prevenir la herrumbre, revisión de la composición del baño en forma periódica y alta peligrosidad de las sales de cianuro, dado que éstas son venenosas.

Cementación en baños de sales:

Para pequeños espesores este procedimiento es mucho más rápido que la cementación con materias solidas, y es también mas sencillo. Las sales tienen la desventaja de ser muy

venenosas, y aunque los humos que desprenden no lo son, causan molestias e irritan las vías respiratorias.

La cementación con sales tiene la ventaja de que las instalaciones son sencillas y baratas. El precio de un horno de sales suele ser menor que el de cualquier otro tipo de horno.

En este proceso la gran dureza superficial que adquiere el acero es debida solo a la acción del carbono. El porcentaje de influencia del nitrógeno es tan pequeño que puede despreciarse.

Se utilizan generalmente baños de sales a base de cloruro sódico, con porcentajes variables de cloruro y carbonato sódico a los que se añade uno o más cloruros o fluoruros de bario, potasio, calcio o estroncio que actúan como agentes catalíticos aumentando notablemente la penetración de carbono, y con ello la profundidad de la capa dura que puede variar desde 0,2 a 3 mm.

- Con sales con 17 a 23% de cianuro a temperatura variable de entre 850 a 900°, se consiguen capas de espesor desde 0,2 a 1,5 mm.
- Con sales con 7,5 a 12% de cianuro a temperaturas de 875 a 950°, se consiguen sales de espesores variables entre 1 a 3 mm.

Para llevar a cabo un buen proceso de cementación hay que tener en cuenta:

- ✓ Que el contenido de cianuro sea el suficiente para generar el carbono activo.
- ✓ Que no haya un gran aumento de carbonato sódico.
- ✓ Que no haya una gran cantidad de cianato sódico y,
- ✓ Que la temperatura de cementación sea la correcta.

Diferentes clases de tratamientos que se pueden dar a las piezas cementadas

Según la clase de acero y el destino de las piezas que se van a cementar se pueden utilizar muchas clases de tratamientos.

En cada caso, la elección de uno u otro tratamiento, dependerá de su tamaño de grano, o sea de la tendencia del acero a adquirir una estructura gruesa durante la cementación y de las características que se quieren conseguir en el corazón y en la periferia de las piezas.

A continuación describiremos los más utilizados, señalando sus ventajas e inconvenientes y los casos en que conviene emplearlos.

1.º CEMENTACIÓN, TEMPLE DIRECTO DESDE LA TEMPERATURA DE CEMENTACION Y REVENIDO FINAL.

Este tratamiento se da generalmente cuando se cementa en baño de sales o en atmósfera carburante, y raramente cuando se cementa en cajas.

Se recomienda para las piezas de pocas responsabilidades y para cementaciones ligeras de 0,2

a 0,6 mm de espesor, en las que la tenacidad del núcleo no tiene mucha importancia. Conviene utilizar aceros de baja aleación u al carbono, de grano fino, no siendo recomendable emplear aceros de alta aleación, porque como el temple se hace desde muy alta temperatura (exageradamente elevada para la periferia), hay peligro de que quede la capa cementada con mucha austenita residual sin transformar. Con aceros de grano grueso, el corazón quedará frágil, porque después de la cementación los granos habrán crecidos exageradamente, y templando directamente desde la temperatura de cementación no se regenera el grano.

2.º CEMENTACIÓN, ENFRIAMIENTO LENTO, TEMPLE A TEMPERATURA INTERMEDIA A_{c1} Y A_{c3} Y REVENIDO FINAL.

Este tratamiento se puede emplear con éxito cuando se usan aceros de alta aleación, que son generalmente de grano fino y no necesitan regenerar el corazón. Así se obtiene la máxima tenacidad del corazón, cuya resistencia será un poco inferior a la máxima que se obtiene templando a más alta temperatura.

Si se utiliza este tratamiento para aceros de grano grueso, la periferia quedará con buenas características, pero el corazón quedará bastante frágil por no haber sido regenerada. Con este tratamiento hay poco peligro de deformaciones.

3.º CEMENTACIÓN, ENFRIAMIENTO LENTO, TEMPLE A TEMPERATURA LIGERAMENTE SUPERIOR A A_{c3} Y REVENIDO FINAL.

Con este tratamiento se obtiene la máxima resistencia en el núcleo. La tenacidad del corazón será buena, pues aunque haya crecido el grano durante la cementación, se afinará por haber sido calentada el acero para el temple a temperatura ligeramente superior a A_{c3} . En este tratamiento hay peligro de que la periferia quede con grano grueso y sea frágil, porque ha sido templada desde muy alta temperatura. La dureza de la capa cementada puede ser un poco baja por quedar algo de austenita residual sin transformar.

Este es el tratamiento que debe emplearse con los aceros de media aleación y grano fino, siempre que se quiera conseguir la máxima resistencia en el corazón, como ocurre en algunas piezas empleadas en la industria aeronáutica, de automóviles, etc.

4.º CEMENTACIÓN, ENFRIAMIENTO LENTO, PRIMER TEMPLE A TEMPERATURA LIGERAMENTE SUPERIOR A A_{c3} , SEGUNDO TEMPLE A TEMPERATURA LIGERAMENTE SUPERIOR A A_{c1} Y REVENIDO FINAL.

Conviene emplear este tratamiento con los aceros al carbono y de media aleación y, en general, con todos los de grano grueso, en los que durante la cementación crece mucho el grano.

Hasta hace poco tiempo era el tratamiento más utilizado para piezas de responsabilidad, pero hoy, al poderse fabricar aceros de grano fino, se emplea en menos ocasiones.

Empleándolo, la periferia quedará dura y tenaz, y el corazón, que con el segundo temple ha recibido un temple imperfecto, quedará con una resistencia ligeramente inferior a la máxima y muy buena tenacidad.

Este tratamiento se suele utilizar todavía en algunos talleres, para aceros de alta aleación en piezas de gran responsabilidad, cuando se teme que la cementación haya hecho crecer el grano del acero y se quiere utilizar un tratamiento que asegure en el corazón la máxima tenacidad.

5.º AUSTEMPERING Y MARTEMPERING.

Cuando se quiere reducir al mínimo las deformaciones de las piezas cementadas, el temple se hace, enfriando en sales fundidas en lugar de en agua o en aceite.

Las durezas que se obtienen en la periferia dependen de muchos factores como son: composición, tamaño de las piezas, temperatura del baño de sales, tiempo de permanencia en el mismo, etc.

Piezas a fabricar	Clases de acero	Tratamiento recomendable
Piezas pequeñas de formas regulares, en las que no es probable que se presenten problemas de deformaciones, ni es de gran interés ni la resistencia ni tenacidad del núcleo.	Acero al carbono	Temple al agua
Piezas de tamaño mediano y pequeño en las que deben cuidarse las deformaciones, y en las que interesa buena tenacidad y resistencias en el núcleo variables de 70 a 90 Kg/mm ² .	Aceros de media aleación	Temple al aceite o al agua
Piezas de cualquier tamaño en las que no se permiten deformaciones sensibles en el temple y en las que interesa buena tenacidad y alta resistencia en el núcleo variable generalmente de 90 a 150 Kg/mm ² .	Aceros de alta aleación	Temple al aceite