

Tratamientos

Termoquímicos y Mecánicos



1 - Tratamientos Mecánicos

Tratamientos Mecánicos En caliente (Forja)

Pueden obtenerse grandes deformaciones sin que se produzca acritud. Si la aleación está formada por diversos constituyentes, debe tomarse como temperatura de forma la correspondiente al constituyente que tenga la temperatura de recristalización más elevada.

Pero es muy importante no subirla demasiado, pues el tamaño de los granos podría aumentar en exceso. Si tanto se ha elevado que se acerca a la de la fusión, el metal pasa a tener una estructura de granos muy grandes y se debilita. A este fenómeno se le llama quemado, y es imposible compensarlo con ningún otro tratamiento.

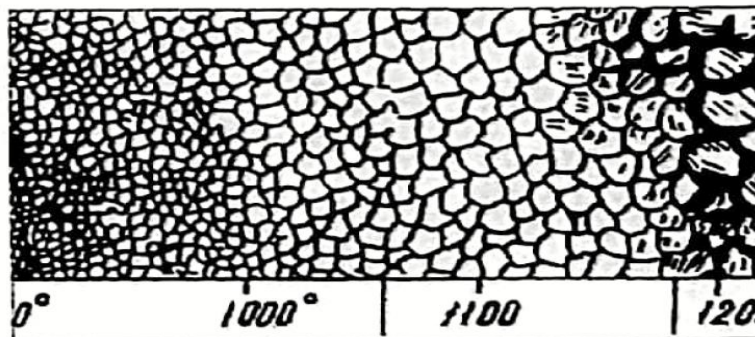


Fig. 41. Aumento del tamaño de grano de la austenita de un acero de 0,60% de C.

La forja da lugar a:

- Afino del grano, por trituración y reconstrucción del mismo en un tamaño más pequeño.
- Soldadura de las porosidades y sopladuras internas.
- Mejora de la macro estructura, por deformación y orientación de los granos, lo cual crea una especie de fibra.

Todo ello se traduce en una mejora de las características, si bien la creación de fibra da lugar a ciertas propiedades direccionales que aumentan aquellas en el sentido de la fibra, las reducen transversalmente. La intensidad de la deformación la da el coeficiente de forja, que es la relación entre las secciones inicial y final de la pieza sometida según la clase de trabajo y su forma de ejecución; la forja se denomina laminado, embutido, aplanado, estirado, recalado, extruido, estampado, etc.

Tratamientos Mecánicos en frío, deformación profunda.

Este tipo de tratamientos producen un aumento en la dureza y la resistencia a la tracción de los metales y aleaciones, disminuyendo su plasticidad y tenacidad. El cambio en la estructura se debe a la deformación de los granos y a las tensiones que se originan.

Cuando un metal ha recibido este tratamiento, se dice que tiene acritud. La

acritud en el diagrama de carga de un material (ensayo a tracción) es el endurecimiento a temperatura ambiente que sufre el metal, que evita que se siga deformando plásticamente la pieza o probeta para un valor de carga (a tracción) dada.

Restauración y recristalización:

Los metales sometidos a una deformación en frío van perdiendo con el tiempo parte de su acritud y recobran parcialmente sus características mecánicas iniciales, disminuyendo también las tensiones producidas por la deformación (internas).

Este efecto se llama restauración y se logra sin que se cambie la estructura granular del metal, pues los granos siguen siendo alargados y deformados. La recristalización consiste en transformar los granos alargados por la deformación en granos equiaxiales calentando el metal por encima de una temperatura determinada para cada metal o aleación (600°C-700°C para el acero). Se diferencia de la restauración porque se realiza una reconstrucción total de la estructura micrográfica del metal y, por tanto, recupera totalmente sus propiedades mecánicas iniciales.

Envejecimiento de los aceros

En los aceros el endurecimiento y la pérdida de tenacidad originados al ser estirados o laminados en frío, van aumentando lentamente con el tiempo hasta alcanzar el máximo al cabo de cierto tiempo, si el acero permanece a la temperatura ambiente.

Esto es lo que se llama envejecimiento del acero, este fenómeno se puede acelerar calentado hasta 200°C o 300°C, con lo cual se alcanza mucho antes su máxima dureza. Este tratamiento se denomina envejecimiento artificial. Y como aumenta su fragilidad, y el acero entre 200°C y 300°C tiene un color azul revenido, a aquella se la conoce como fragilidad azul del acero. El envejecimiento y la fragilidad azul afectan solo al hierro no técnicamente puro y al acero.

Tratamientos Mecánicos En frío Deformación Superficial

Así como en la deformación profunda se logra endurecimiento por deformación de toda la masa se puede obtener en efecto menor martillando la superficie del metal, con lo cual se endurece por acritud, se eleva su límite de fatiga y se reduce la posibilidad de roturas originales por las fisuras artificiales. Modernamente se someten los muelles al bombardeo por perdigones, logrando endurecer así su superficie.

2 – Tratamiento Termoquímico; Cementación

La cementación es un tratamiento termoquímico que se aplica en piezas de acero. Se denominan termoquímicos o de cementación porque aparte de las operaciones de calentamiento y enfriamiento, se modifican la composición química del acero en la capa superficial mediante el aporte o la difusión de ciertos elementos (Carbono, Nitrógeno, Azufre, etc.).

La cementación tiene por objeto endurecer la superficie de una pieza sin modificar su núcleo, originando 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) 0,2% de carbono. Consiste en recubrir las partes a cementar de una materia rica en carbono, llamada cementante, y someter la pieza durante varias horas a altas temperaturas (típicamente, 900 °C). En estas condiciones, el carbono penetra en la superficie que recubre a razón de 0,1 a 0,2 mm por hora de tratamiento. A la pieza cementada 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.



Obteniéndose los siguientes fines:

- Aumentar la dureza superficial sin alterar la tenacidad del núcleo.
- Favorecer las cualidades de lubricación y rozamiento.
- Aumentar la resistencia al desgaste.
- Aumentar la resistencia a la fatiga.
- Mejorar la resistencia a la corrosión.

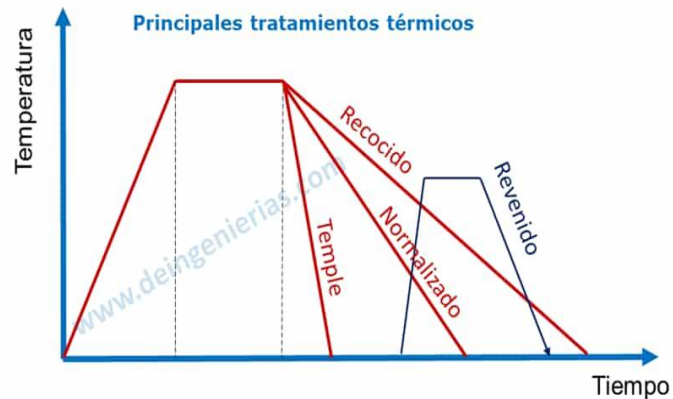
Son apropiados para cementación los aceros de bajo contenido de carbono. El cromo acelera la velocidad de penetración del carbono. Los aceros al cromo níquel tienen buenas cualidades mecánicas y responden muy bien a este proceso. Una concentración de níquel por encima del 5% retarda el proceso de cementación.

Según sean los requisitos de dureza y resistencia mecánica existen varios tipos de aceros adecuados para recibir el tratamiento de cementación y posterior tratamiento térmico.



Proceso de cementación:

Aumentar el contenido de carbono de la superficie de un acero mediante un calentamiento a temperaturas comprendidas entre 850°C y 950°C en presencia de un medio de capas de carbono, denominado agente cementante o carburante. La cementación va seguida siempre del temple y revenido. Se aplica a piezas que requieren gran dureza superficial (60 a 65 HRC) y resistencia al desgaste, junto a elevados niveles de ductilidad y resistencia para poder soportar esfuerzos de importancia. Emplean principalmente aceros de bajo contenido de carbono (menos del 0,2%) aleados o no.



Este proceso depende de varios factores que influyen sobre la estructura y el espesor de la capa (0,3 a 1,5 mm). Estos son:

- Composición del acero.
- Agentes cementantes.
- Temperatura de cementación.
- Tiempo de cementación.

Tipos de cementación:

- **Cementación sólida:** Se colocan las piezas completamente rodeadas de un agente cementante sólido (carbono, vegetal, huesos calcinados y mezcla caron) y en cajas metálicas, perfectamente tapadas, se introducen en hornos calentados a menos de 1000° C, donde se mantienen el tiempo necesario para que en las piezas se alcance el espesor de capa deseado. Luego se enfría, se las extrae de la caja y se les da el tratamiento térmico adecuado. Para cementar solo una parte de la pieza se emplean pastas, cinturas, cobreado, casquillos, etc. Para evitar contacto con el carbono.
- **Cementación líquida:** Los cementantes líquidos ejercen su acción en estado fundido y están constituidos por mezclas de sales (cianuro, cloruros, carbonatos, fluoruros, etc.), el proceso consiste en introducir las piezas en el baño de sales a la temperatura adecuada. Este método es más rápido y limpio, pero a su vez más tóxico y explosivo. Se pueden emplear dispositivos automáticos para la operación de cementación y temple.
- **Cementación gaseosa:** Las piezas son introducidas en hornos previamente calentados y en presencia de una atmósfera gaseosa carburante (gas de alumbrado preparado, mezcla de hidrocarburos, etc.) que han sido preparadas

en instalaciones adecuadas o en el mismo horno. Se emplean en la industria del automóvil y similares ya que ofrecen la posibilidad de trabajar en serie en hornos de continuos.

Los tratamientos térmicos posteriores a la cementación son algo complicados debido a que las piezas tienen un 0,10% a 0,20% de C en el núcleo y un 0,80% a 0,90% de C en la periferia, por tanto, las temperaturas de transformación son distintas: 900°C Y 750°C.

Si se calienta el acero a 900°C y enfría rápidamente, quedan templados el núcleo con un grano grande y muy frágil por efecto del sobrecalentamiento. En cambio, si se calienta a 750°C, la capa quedara templada, pero no el núcleo.

Por ello se emplean los tratamientos térmicos adecuados:

- Temple directo desde la temperatura de cementación y revenido posterior.
- Temple a temperaturas inferiores a Ac3 y revenido.
- Doble temple a temperaturas superiores a Ac3 y Ac1 y revenido.
- Temple a temperaturas superiores a Ac3 y revenido
- Austempering y Martempering.

3 – Tratamiento Termoquímico; Nitruración

INTRODUCCION

La nitruración es un proceso termoquímico de **endurecimiento superficial** en el que por la absorción de nitrógeno, se consiguen durezas extraordinarias en el exterior de las piezas de acero.

Proceso

Las piezas después de templadas y revenidas se colocan dentro de un horno, en el cual se mantiene una temperatura muy próxima a 500°C. Al calentarse el amoníaco a esas temperaturas se disocia, según la siguiente reacción: $2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3\text{H}_2$, formándose nitrógeno atómico, que se combina con el aluminio, cromo, molibdeno y hierro de los aceros formando nitruros en la capa periférica.

Características

- Los objetos que se desea nitrurar son siempre templados y revenidos antes de la nitruración, para que el núcleo central quede con una resistencia elevada y sea capaz de resistir, durante el trabajo, las grandes presiones que le transmitirá la capa exterior dura.
- Como después de la nitruración las piezas quedan ya duras superficialmente, no es necesario enfriarlas rápidamente desde elevada temperatura, evitándose las deformaciones por enfriamiento.
- La nitruración no modifica las características que se han obtenido previamente en el núcleo por temple y revenido, siempre que este último no haya sido hecho a temperatura superior a 500°C.
- Por ser la temperatura de nitruración relativamente baja, no hay aumento del tamaño del grano y tampoco es necesario someter las piezas nitruradas a ningún tratamiento de regeneración posterior.
- Después de la nitruración, se consigue una dureza superficial muy alta.
- Los aceros, después de la nitruración, resisten mejor la acción corrosiva del agua, vapor o atmósfera húmeda que los aceros ordinarios.
- Durante la nitruración se pueden proteger perfectamente las superficies de las piezas que no se desean endurecer dejando libres para nitrurar exclusivamente las zonas que deben quedar duras.
- Las capas nitruradas conservan gran dureza hasta los 500°C, especialmente cuando la duración del calentamiento no es muy prolongada.

Métodos de nitruración

La nitruración se realiza sobre material previamente templado y revenido a una temperatura superior a la empleada en la nitruración; las piezas deben encontrarse en las dimensiones finales, ya que después del nitrurado no debe realizarse ninguna operación de maquinado, sólo un pulido, porque se reduciría la capa de compuestos.

Podemos diferenciar cuatro tipos de nitruración:

- **Nitruración gaseosa.**
- **Nitruración líquida.**
- **Nitruración sólida.**
- **Nitruración iónica.**

Nitruración gaseosa:

La nitruración gaseosa se realiza en hornos de atmósfera controlada en los que la pieza se lleva a temperaturas entre 500 °C y 575 °C en presencia de amoníaco disociado. Este proceso se basa en la afinidad que tiene los elementos de aleación del acero por el nitrógeno procedente de la disociación del amoníaco.

Nitruración en baño de sales:

La nitruración en baño de sales se realiza a la misma temperatura que la nitruración gaseosa, entre 500°C y 575°C. Para ello se introduce la pieza en un baño de sales fundidas compuesto por cianuros (CN-) y cianatos (CON-) en estado fundido. Durante este tratamiento, el material absorbe C y N del baño. Dadas las bajas temperaturas a las que se opera, la carburación es muy pequeña, dando paso a la nitruración. Así, se forma una capa cuya composición química es de un 25 % de carburos y de un 75% de nitruros de hierro.

Nitruración sólida:

En la nitruración sólida las piezas se colocan cubiertas por una pasta de sustancias nitrurantes que se eleva a una temperatura entre 520°C y 570°C durante 12 horas.

Nitruración iónica o por plasma:

Es un tipo de nitruración gaseosa dirigida a aumentar la velocidad de difusión del nitrógeno y reducir el tiempo de tratamiento. Se realiza dentro de un reactor donde se ha hecho vacío antes de introducir los gases de nitruración. Estableciéndose un circuito eléctrico en el que la pieza a nitrurar es el ánodo, por efecto del calor, el nitrógeno molecular se descompone y se ioniza. Con ello se produce la difusión del nitrógeno por la superficie y la consiguiente formación de nitruros. Otros gases presentes y que actúan como soporte son el gas carburante, argón, etc.

Tabla 1: Valores de dureza en la capa de compuestos para diferentes aceros

Tipos de aceros	Nº	COMPOSICIONES %								Periferia	Núcleo central
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Mo	V	Dureza Vickers	Templado y revenido a 650° C, R (MPa)
Cr-Al-Mo	1	0,50	0,35	0,65	---	1,60	1,10	0,20	---	1.100	1235
	2	0,10	0,35	0,65	----	1,60	1,10	0,20	---	1.100	960
	3	0,30	0,35	0,65	----	1,60	1,10	0,20	---	1.100	890
Alto Cr, con Mo y V	4	0,25	0,35	0,65	—	1,60	1,10	0,20	---	1.100	745
	5	0,40	0,30	0,50	0,30	3,00	---	1,00	0,25	850	1300
	6	0,30	0,30	0,45	0,50	3,00	----	0,40	---	850	980
	7	0,25	0,30	0,45	0,50	3,00	---	0,40	---	850	774
Cr-Mo-V	8	0,35	0,30	0,50	--	2,00	--	0,25	0,15	750	960
	9	0,25	0,30	0,50	--	2,00	--	0,25	0,15	750	890
	10	0,22	0,30	0,50	--	2,00	--	0,25	0,15	750	815
Cr-Mo	11	0,30	0,30	0,60	0,60	1,00		1.20		650	900

INFLUENCIA DEL ACERO CON RELACION AL PROCESO DE NITRURACION (Wiegand)

4 – Tratamiento Termoquímico; Cianuración

La cianuración se puede considerar como un tratamiento intermedio entre la cementación y la nitruración, ya que el endurecimiento se consigue por la acción combinada del carbono y el nitrógeno a una temperatura determinada. Cuando se quiere obtener una superficie dura y resistente al desgaste, se realiza a una temperatura por encima de la crítica del corazón de la pieza entre 750 °C y 950 °C aproximadamente. Se introduce la pieza en una solución que generalmente consta de cianuro de sodio con cloruro de sodio y carbonato de sodio, el enfriamiento se hará directamente por inmersión al salir del baño de cianuro, con esto se obtiene una profundidad de superficie templada uniforme de unos 0,25 mm en un tiempo de una hora. Posteriormente hay que templar las piezas.

Se cementa colocando las piezas en baños de mezclas de sales fundidas (cianuro, HCN), de modo que el carbono difunde desde el baño hacia el interior del metal. Produce una capa más profunda, más rica en carbono y menos nitrógeno. Los baños de cianuro se usan generalmente en los procesos de temple de acero para impedir la descarburación de la superficie. Sus principales ventajas son: la buena eliminación de oxidación, la profundidad de la superficie es duradera, el contenido de carbono se reparte homogéneamente y de gran rapidez de penetración. También posee ciertas desventajas como son: el lavado de las piezas posterior al tratamiento para prevenir la herrumbre, la revisión de la composición del baño ha de ser de forma periódica y la alta peligrosidad de las sales de cianuro, dado que éstas son venenosas.

Podemos realizar la cianuración de dos maneras diferentes, como son:

- A la flama; el calentamiento del acero se realiza de forma local, de modo que con el enfriamiento se produzca un temple localizado en la región afectada. La profundidad de temple con este proceso varía de 1,5 a 6,5 mm, este método se emplea en superficies de piezas grandes por su deformación que es mínima. Para aceros al carbono el contenido de este debe ser entre 0,35 % a 0,70 %, aunque también puede templarse a la llama aceros contenido de carbono más alto si se tiene cuidado de impedir el agrietamiento de la superficie. Para obtener buenos resultados con este proceso se debe tener cuidado en la característica de la flama, la distancia a la superficie, su velocidad de movimiento y el tiempo de enfriamiento por inmersión. Es necesario un revenido para liberar el material de los esfuerzos, siendo suficiente por lo general una temperatura de 200 °C aproximadamente. Sus principales aplicaciones son: para el temple de dientes de engranes, levas, extremos de rieles, llantas metálicas de rueda, etc.



- Por inducción; el calentamiento se realiza por corriente eléctrica, el calentamiento por resistencia es útil para templar secciones localizadas de algunas piezas forjadas y de fundición, pero en general su principal aplicación es para calentar partes de sección transversal uniforme. El proceso se usa para templar superficies de piezas cilíndricas, los muñones de apoyo de los cigüeñales aplicando una corriente de alta frecuencia a la sección de apoyo durante unos cuantos segundos y cuando se ha calentado el acero a la profundidad deseada, se rocía agua sobre la superficie calentada a través de orificios hechos, los bloques del inductor que rodea al apoyo. La amplitud de la zona calentada puede regularse con toda exactitud que las curvas o filetes puedan quedar perfectamente sin posibilidad de fallar por fatiga y sin sacrificar la resistencia al desgaste.



5 – Tratamiento Termoquímico; Carbonitruración

Descripción y características

Objetivo

La carbonitruración es un procedimiento termoquímico muy empleado en la actualidad para endurecer superficialmente los aceros.

Proceso

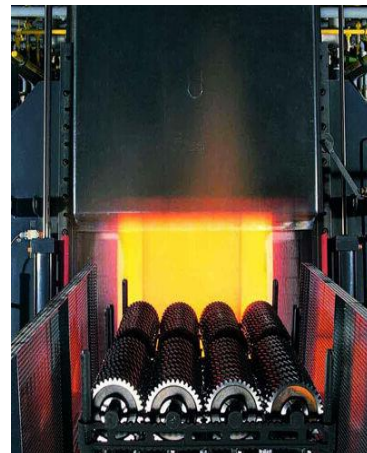
Las piezas que se Carbonitruran se calientan a temperaturas próximas a 850° en una atmósfera gaseosa que cede al acero simultáneamente carbono y nitrógeno y luego se enfrían en forma adecuada para obtener gran dureza en la zona superficial con buena tenacidad en el núcleo. El endurecimiento se consigue al templar las piezas cuya periferia han absorbido una cantidad importante de carbono favoreciéndose el endurecimiento por la presencia de nitrógeno en el acero. Para introducir el carbono en el acero, se puede emplear un gas carbonoso o un líquido carburante que se vaporiza en el horno. El nitrógeno absorbido por el acero proviene del amoníaco que se incorpora al gas.



Características

- Este tratamiento se diferencia de la cementación en que parte del endurecimiento se consigue por la acción del nitrógeno.

- Una de las ventajas más importantes de la carbonitruración es que el nitrógeno absorbido en el proceso disminuye la velocidad crítica de temple del acero. Esto significa que la capa periférica de un acero carbonitrurado templea mucho más fácilmente que cuando el acero ha sido sólo cementado.



- La presencia de nitrógeno en la austenita del acero carbonitrurado cuando éste es calentado a alta temperatura, da lugar a la mayor diferencia entre la cementación y la nitruración. La austenita con carbono y nitrógeno es más estable a altas temperaturas que la austenita con carbono, y se transforma en el enfriamiento más lentamente. La austenita con carbono y nitrógeno se transforma en martensita a más baja temperatura que cuando no tiene nitrógeno.

- La composición de la capa exterior depende de la temperatura y tiempo del tratamiento, de la composición de la atmósfera y del tipo de acero empleado. En general, cuanto más alta sea la temperatura de carbonitruración mayor es la profundidad de la capa exterior dura. Cuando se emplean bajas temperaturas se llega a producir una capa de composición muy compleja compuesta de hierro, carbono y nitrógeno que es dura: necesidad de tratamiento posterior, siendo necesario para que se produzca esa capa emplear altos porcentajes de amoníaco.

PIEZAS PARA CARBONITRURAR

El proceso es adecuado para la producción masiva de pequeños componentes limpios. Debido a que la carbonitruración requiere una temperatura inferior en relación con la carburación.

Bulones y pernos, así como tornillería y engranajes, son elementos ampliamente usados para este proceso y lógicamente todo elemento destinado a desgaste por rozamiento o fricción. Igualmente, la distorsión disminuye.

TOMA DE DUREZAS DE CARBONITRURACION

La determinación de dureza se realiza generalmente por los ensayos de penetración. Los métodos más usados son: Rockwell y Vickers.

6 – Tratamiento Termoquímico; Sulfinización

Incorpora **azufre**, nitrógeno y carbono, (estos últimos en menor cantidad) a la superficie de la pieza, introduciéndola en un baño de sales de 570 °C.

Se suele emplear un baño formado por dos sales:

- a) Una sal de bajo punto de fusión: carbonato sódico con cianuro sódico y cloruro potásico (puede considerarse como una sal típica de cianuración).
- b) Una sal portadora de azufre: cloruro de potasio sódico y sulfito sódico.

A veces interviene un tercer tipo de sal, de relleno, que no es inerte en el proceso.

Las superficies sulfinizadas tienen propiedades antifricción. Este fenómeno se explica por la micro fusión de compuestos de azufre (de bajo punto de fusión) como consecuencia del incremento de temperatura generada en el rozamiento. Esto facilita el deslizamiento entre las piezas. La profundidad máxima de la capa que se genera gracias a este proceso es de 0,2 mm y se consigue en 3 horas.

Por otro lado, los compuestos duros incrustados en la matriz (nitruros), mejoran la resistencia al roce.

Las características que otorga la Sulfinización son:

- Gran resistencia al gripaje o agarrotamiento.
- Gran resistencia al desgaste y coeficiente de rozamiento bajo.
- Capa porosa, muy favorable para la lubricación.

Se utiliza en acero de bajo carbono. La incorporación superficial del azufre genera sulfuro de hierro (S_2Fe) como inclusión no metálica (impurezas), y se aloja en los bordes de grano lo que fragiliza al metal, lo cual hace que disminuya el punto de fusión. Después de la Sulfinización las dimensiones de las piezas aumentan ligeramente, aumentando su resistencia al desgaste, favoreciendo la lubricación y evitando el agarrotamiento (falta de flexibilidad).

Se aplica a piezas terminadas como por ejemplo:

- Ejes
- Camisas de cilindros
- Herramientas de acero de corte
- Engranajes.
- Piezas sometidas a rozamiento.



Microestructura de la capa sulfinizada.

Se forman dos capas:

- La capa exterior es dura, frágil y de bajo espesor (10 a 30 μm). Compuesta de nitruros de hierro y nitruros de elementos de aleación (Al, Cr y W, si están presentes)
- La capa interior es más blanda y de mayor espesor. La profundidad total que se alcanza es de hasta 0,30mm.

