

## La Estructura en red de los materiales metálicos

### ATOMO, ELEMENTO, RED DE CRISTALES

Los elementos químicos construyen bloques de todo tipo de materia. Las fracciones más pequeñas de estos elementos se denominan átomos. Ciertas áreas con una distribución ordenada de átomos (estructura cristalina) se denominan **cristales**.

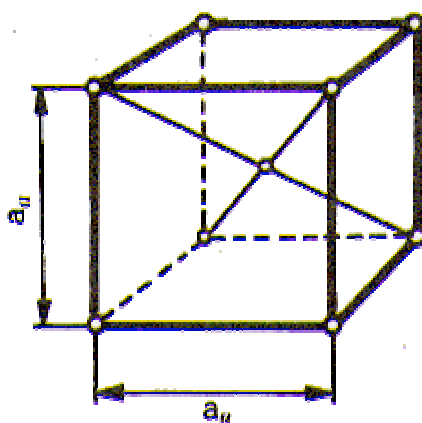
Los materiales utilizados en las aplicaciones técnicas se componen de una gran número de pequeñas **crystalizaciones** o **granos** de diferente orientación. El diámetro de estos granos es denominado **tamaño del grano**. Los granos similares están separados por las llamadas **uniones de grano** y los diferentes, por las **interfaces**. El término **fase** se emplea para micro áreas química y físicamente uniformes dentro de una estructura metálica. Defectos en la red, p.ej. desviaciones de la apropiada configuración geométrica como **dislocaciones** o **espacios vacíos**, también pueden ocurrir al interior de los granos.

### LA RED CRISTALINA DEL HIERRO PURO

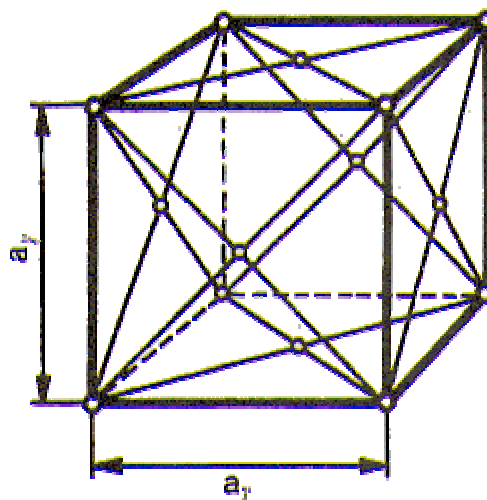
Dependiendo de la temperatura, la red de cristales de **hierro puro**- el mayor componente de los aceros puede ser cúbica centrada (hierro  $\alpha$ ) o cúbica centrada a la cara (hierro  $\gamma$ ). En una unidad de hierro  $\alpha$ , los átomos se ubican en las esquinas y en el centro del cubo. En el hierro  $\gamma$  hay átomos en las caras del cubo adicionalmente a aquellos ubicados en las esquinas pero no se encuentran átomos en el centro.

Por la mayor densidad de los átomos en el hierro  $\gamma$ , la transformación de hierro  $\alpha$  en hierro  $\gamma$  (ocurre a  $911^\circ\text{C}$ ), está acompañada de una reducción de volumen en aprox. 1%. Aparte de éste repentino cambio en el volumen, el parámetro de la red (= largo de un lado del cubo) y el volumen específico, se incrementan a medida que aumenta la temperatura. Este fenómeno se llama **dilatación térmica**. La retransformación en una red cúbica centrada (hierro  $\delta$ ) ocurre a los  $1392^\circ\text{C}$ . En el punto de fusión las vibraciones atómicas alcanzan un estado en donde la red cúbica se desintegra y se obtiene un estado líquido desordenado.

La red de hierro  $\gamma$  también se puede representar como una red tetragonal centrada en el espacio. Entonces, la transformación de  $\gamma$  y  $\alpha$  puede ser imaginada como un cambio de la red tetragonal en dirección vertical con una simultánea elongación en sentido horizontal. Este proceso requiere solamente de un pequeño cambio de los átomos y de la transformación de la red. Por esta razón, esto ocurre no solamente con un enfriamiento lento sino también con enfriamiento rápido.



hierro  $\alpha$  = ferrita



ACEROS BOEHLER DEL PERU S.A.  
hierro  $\gamma$  = austenita

## LA RED CRISTALINA DE LAS ALEACIONES FERROSAS.

El hierro puro se usa muy escasamente en aplicaciones prácticas. En el caso del acero, se añaden otros elementos para formar **crisales de solución sólida o compuestos**.

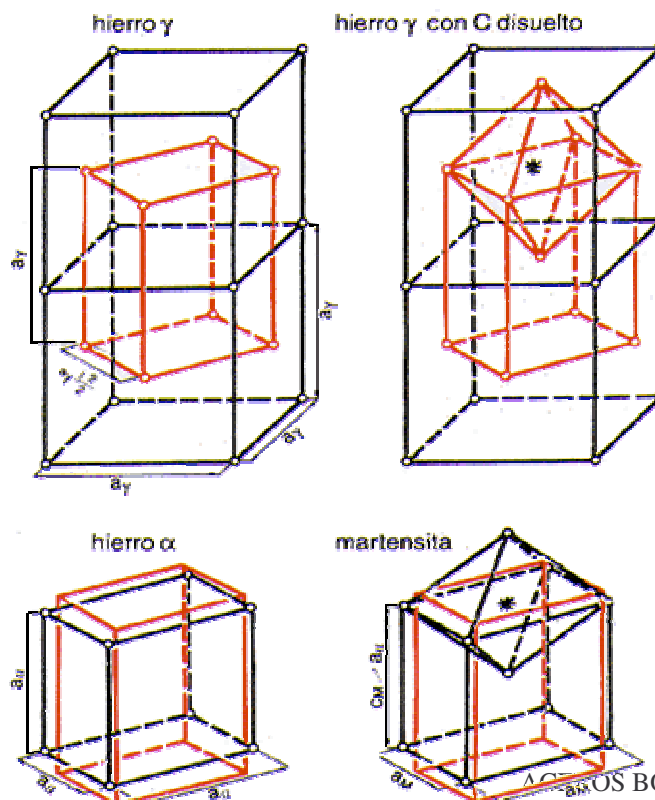
En los crisales de solución sólida los átomos de hierro en la red atómica de los granos de hierro pueden ser sustituidos por otros elementos (**soluciones sólidas de sustitución**, por ejemplo como cromo o níquel). Estos últimos también pueden ser dispersos entre átomos de hierro (**soluciones sólidas intercaladas**- por ejemplo carbono, nitrógeno o boro).

En las soluciones sólidas, pueden ocurrir ambos tipos de dispersión atómica la una al lado de la otra.

Si los átomos cambian de lugar predominantemente en una dirección, éste fenómeno se llama **difusión**. Debido a su tamaño, éste fenómeno sucede principalmente con átomos del tipo C que con átomos del tipo B. La difusión también se ve favorecida por defectos en la red, así como por las altas temperaturas. Además, se requiere una cierta cantidad de tiempo para que la difusión ocurra.

Si la disolución de un elementos no sigue siendo pislbe, se formarán nuevos compuestos, por ejemplo, nuevas fases. En el caso del carbono forman el compuesto  $Fe_3C$  (carburo de hierro=**ementita**). Los carburos se depositan a lo largo de las fronteras del grano o al interior de los granos de ferrita. Ciertos elementos, por ejemplo se habla de **mezclas** ( $Fe + Fe_3C$  y  $Fe+Pb$  respectivamente).

En el hierro  $\gamma$  se puede disolver hasta aproximadamente un 2% de carbono. La solubilidad del hierro  $\alpha$  es prácticamente cero a temperatura ambiente. En el caso de un enfriamiento rápido, el carbono no tiene posibilidad de escapar de la red por medio de la difusión y se impide la precipitación de los carburos. La deformación tetragonal resultante conduce a tensiones internas (tensiones de la red) y ésta es la razón de la alta dureza de la **martensita**. Esta deformación de la red puede ser expresada por la relación  $CM=a_m$ .  $CM$  crece fuértemente con el aumento del contenido de carbono mientras  $a_m$  disminuye ligeramente.



OS BOEHLER DEL PERU S.A.

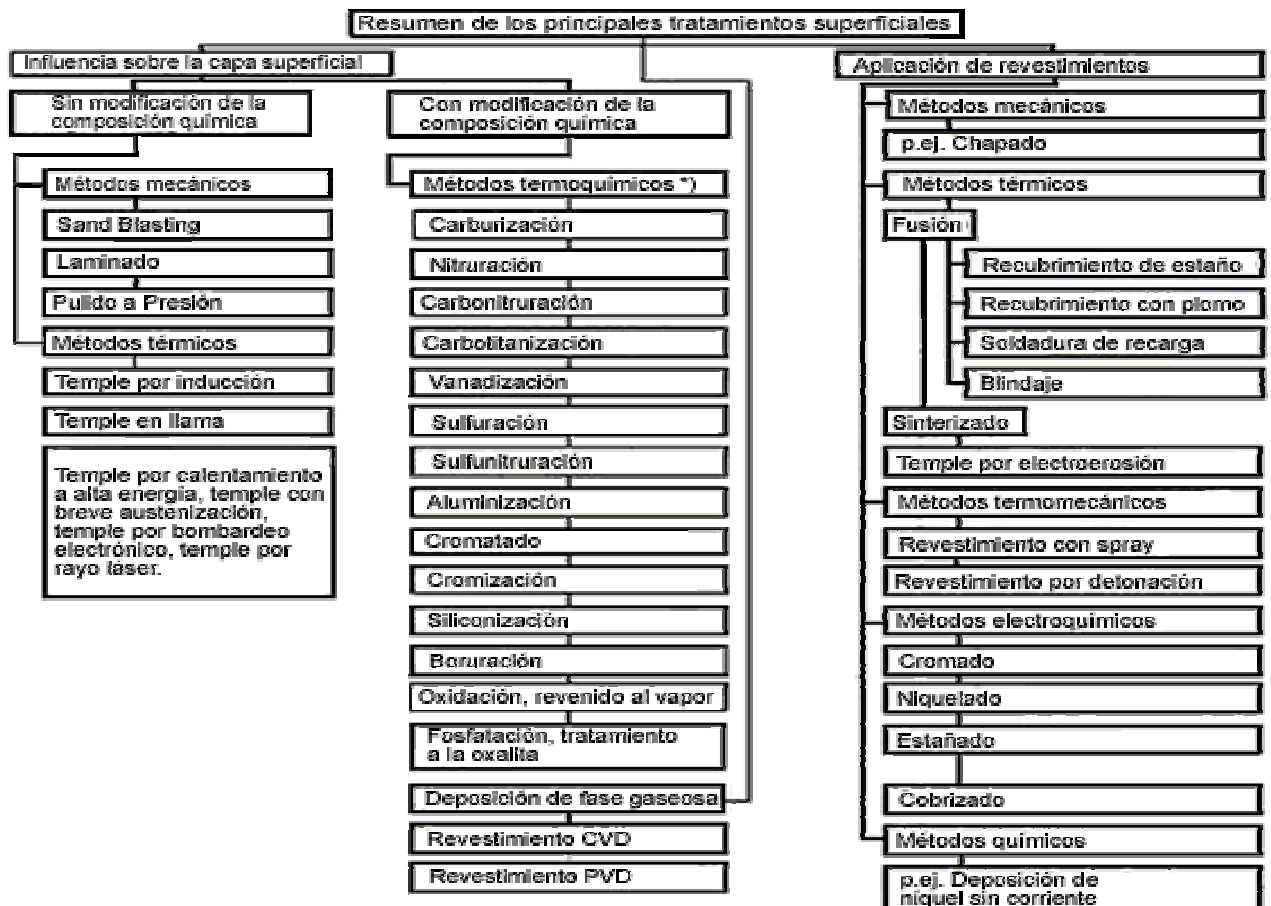
Costantes de la red = hierro  $\alpha$   $a = 2,87 \cdot 10^{-7} \text{ mm}$ ;  
 hierro  $\gamma$   $a_\gamma = 3,65 \cdot 10^{-7} \text{ mm}$ ; martensita  $a_M = a_{CM} > a$  (en función  
 del contenido de C);  $\circ$  = átomo de Fe \* = átomo de C

Las condiciones de enfriamiento que no conducen a la formación brusca de martensita sobresaturada de carbono, ni a la formación de perlita provocan la formación de **bainita**. Si éste tipo de estructura se forma a altas temperaturas, ella se asemejará a la perlita, quien se produce bajo condiciones cercanas al equilibrio. A más bajas temperaturas, la bainita se asemeja a la martensita. En el primer caso se habla de **bainita superior** y en el segundo de **bainita inferior**. Los mecanismos de formación de esta mezcla de ferrita y carburos no han sido aclarados aún y las opiniones de los expertos difieren una de otra.

## PROCESOS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Sometiéndola a un tratamiento adecuado, la superficie de herramientas y componentes puede asumir propiedades químicas, físicas o mecánicas que no posee el material básico. En los materiales que se componen de una capa superficial y una base, la función de una capa superficial es resistir varias formas de ataque. La función de la base es contrarrestar las formas de ataque. La función de la base es contrarrestar las tensiones mecánicas y prevenir el daño de la capa superficial.

La escogencia del tipo de tratamiento superficial más adecuado debe determinarse en concordancia con el tipo de tensión predominante. También es importante considerar la interacción entre el material base y el tratamiento superficial. Dado que los diferentes tratamientos superficiales se llevan a cabo a diferentes temperaturas, debe tenerse en cuenta que el material base respectivo no sea influenciado negativamente por la temperatura del tratamiento superficial. Ya que actualmente existe un gran número de diferentes métodos de tratamiento superficial, únicamente se describirán los más importantes a continuación.



\*) Algunos de estos procesos son seguidos por un tratamiento térmico con el propósito de endurecer la capa superficial y en algunos casos también el material base.

## TEMPLE SUPERFICIAL

En el temple superficial, el proceso de endurecimiento se limita únicamente a la capa superficial de la pieza.

Según el tipo de calentamiento, se distingue entre **temple por inducción** (calentamiento por corrientes inducidas de Foucault producidas por los campos electromagnéticos alternantes de una corriente que pasa por un inductor de calentamiento) y **temple por llama** (calentamiento por medio de mecheros).

En este proceso, únicamente una capa superficial muy delgada se lleva en la temperatura de austenización y se temple por medio de un enfriamiento inmediato, normalmente en agua, soluciones acuosas o emulsiones de aceite. Por el corto tiempo de calentamiento, las temperaturas de temple son normalmente 30 - 100°C más altas que en las operaciones convencionales de temple y revenido. Dependiendo del tipo de acero (usualmente se trata de aceros para tratamiento térmico especialmente aptos para temple superficial) y del contenido de carbono, es posible obtener una dureza superficial de 50 a 65 HC. La profundidad del temple (Aprox. 1 - 15 - mm) depende del contenido de elementos de aleación y de las condiciones de calentamiento y temple (velocidad de alimentación y tamaño de la llama o frecuencia). Las propiedades del núcleo no cambian. Ellas dependen de la composición química, del tamaño de la pieza y del proceso de tratamiento térmico aplicado (usualmente temple y revenido).

Dependiendo de la disposición del equipo de calentamiento y enfriamiento en relación a la pieza, se hace la distinción entre **temple en posición fija** (temple superficial completo, temple de la camisa) - y **temple progresivo** (temple en línea)- en el que la pieza se desplaza en dirección longitudinal a los equipos de calentamiento y enfriamiento quienes se encuentran dispuestos inmediatamente uno después del otro y en los que solo se trata una parte de la superficie a la vez.

## OTROS PROCESOS ESPECIALES DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

### Revestimiento CVD

En este proceso, se depositan químicamente partículas sólidas de una mezcla de gases (CVD =chemical vapour deposition) mediante el suministro de energía térmica y de radiación. Dependiendo de la composición de la mezcla de gases, estas partículas sólidas consisten de óxidos, nitruros o carburos con microdureza entre 200 y 300 HV. Para herramientas y partes de desgaste, los revestimientos de nitruros y carburos han mostrado los mejores resultados.

La aplicación de recubrimientos sucede a aprox, 1000°C y dura varias horas. Estos recubrimientos CVD (3- 10 µm) se distinguen por una excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión. También poseen una altísima dureza pero esto los hace frágiles y sensibles a la ruptura. Por esta razón, es necesario asegurar un buen efecto de soporte mediante una suficiente dureza en el material base.

El recubrimiento CVD ha ganado particular importancia en el sector de los carburos sintetizados.

Este proceso se aplica también en aceros de herramienta y aceros rápidos. Como la aplicación de los recubrimientos sucede por encima de la temperatura de revenido del material base, el proceso de recubrimiento debe ser seguido por un nuevo tratamiento térmico al vacío. De esta manera, la dureza necesaria del material a recubrir, es decir el efecto de soporte, puede ser garantizado.

Con el ánimo de evitar influencias negativas en el material base (P.ej. formación de grano grueso durante el recubrimiento), la temperatura debe ajustarse a la temperatura de temple.

### Revestimiento PVD

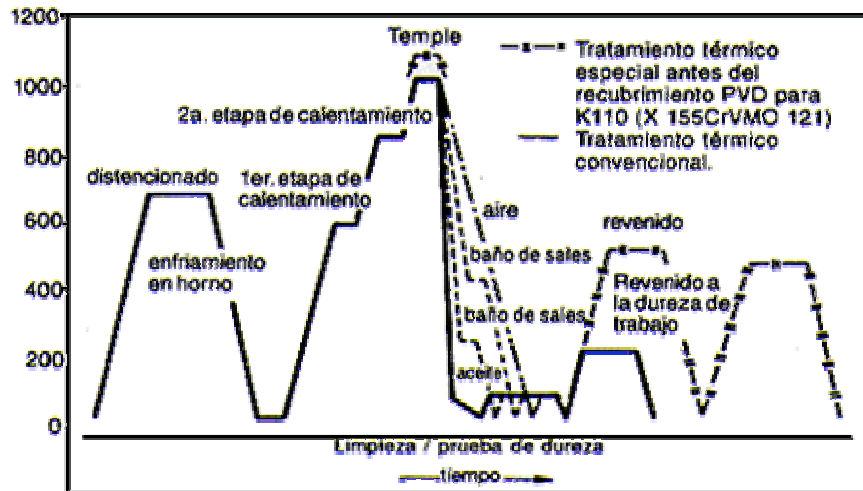
El proceso de PVD (PVD=physical vapour deposition) se distingue por un multitud de variaciones características del proceso. Dentro de los procesos que ocurren al vacío, se puede encontrar la deposición de vapores, la pulverización catódica y el revestimiento por iones. Todos estos procesos pueden efectuarse en atmósferas diferentemente reactivas y pueden precipitar metales y compuestos que les hace apropiados para una amplia gama

ACEROS BOEHLER DEL PERU S.A.

deaplicaciones.

En herramientas, los mejores resultados se han obtenido con el recubrimiento por iones en atmósferas reactivas activadas. Este proceso se utiliza principalmente para el recubrimiento con nitruro de titanio.

Ya que la temperatura de recubrimiento se ubica normalmente entre la temperatura ambiente y los 500°C, las



herramientas que han recibido tratamiento térmico no presentan transformaciones estructurales o deformaciones.

### Boruración

La boruración puede realizarse en polvo, baño de sales o gas. Los mejores resultados se han obtenido con pastas y polvos. Las temperaturas de tratamiento se encuentran principalmente en el rango entre 800 y 1050°C y el tratamiento dura normalmente entre 1 y 12 horas. Las capas boruradas que se producen durante este proceso (FeB, Fe<sub>2</sub>B) son muy duras y poseen excelentes propiedades de adherencia. Estas capas pueden ser expuestas a muy altas tensiones térmicas. Esto permite que piezas ya boruradas reciban tratamiento térmico para mejorar la resistencia del núcleo. Debe tenerse precaución de que la temperatura de temple se ubique por debajo de la temperatura eutéctica de 1149°C en el sistema hierro - boro.

### Cromado

Se hace la distinción entre cromado brillante, cromado opaco, cromado negro y cromado duro.

Antes de recibir cromado duro, las piezas deben estar adecuadamente tratadas y con mecanizado final. Las temperaturas de tratamiento se encuentran normalmente entre 50 y 70°C. La dura capa de cromado - normalmente de 0,005 - 0,05mm para tensiones de impacto y de compresión, y de 0,10 - 0,15mm para la más alta resistencia al desgaste- mejora la resistencia al desgaste, las propiedades antifricción, la dureza superficial y la resistencia a la corrosión.

Durante el cromado duro, se presenta una liberación de hidrógeno que involucra el riesgo de una fragilización del material por la difusión de este elemento. Es por esta razón que las piezas tratadas deben ser sometidas a varias horas de recocido a temperaturas entre 150 y 170°C para reducir la fragilidad de la capa de cromo duro y del material base.

### Cromatado

El cromo se difunde a aprox. 950°C de la fase gaseosa en la superficie del material y produce una capa superficial con características mejoradas de resistencia a la corrosión en estado húmedo y de resistencia al descascarillado que no puede ser removida por medios mecánicos.

**Aluminizado**

Este proceso se realiza de manera similar al cromado. La resistencia a la corrosión y al descascarillado se mejora por el aumento del contenido de aluminio en la capa superficial de las piezas tratadas. El aluminio se utiliza principalmente en la industria aeroespacial para el recubrimiento de partes en turbinas de jets en las que la temperatura puede alcanzar los 1050°C.

**Siliciuración.**

la difusión de Si en la superficie de una pieza se realiza con el ánimo de mejorar la resistencia a la oxidación. Este proceso se utiliza muy raramente por separado y normalmente se lleva a cabo en combinación con otros tratamientos.

**Cromización**

A una temperatura de aprox. 1050°C el cromo se difunde de la fase gaseosa en la superficie de la pieza. Durante el proceso de temple siguiente, éste cromo difundido se combina con el carbono del acero para formar una capa de carburo de cromo resistente al desgaste. El espesor más apropiado de ésta capa se comprende entre 0,01 y 0,05 mm. Las propiedades de este revestimiento son similares a las que se obtienen con el cromado duro.

**Revenido al vapor**

El revenido al vapor consiste en tratar las herramientas de acero rápido en una atmósfera de vapor a aprox. 500°C después del rectificado final. A ésta temperatura, el vapor se separa y se logra la presencia de oxígeno en una forma fuertemente activa. Esto conduce a la formación de una capa de óxido muy delgada sobre la superficie de la herramienta que mejora su resistencia al desgaste.

**Sulfuración**

La sulfuración se realiza en baño de sales. La capa superficial de la pieza se enriquece simultáneamente con azufre, nitrógeno y carbono. La capa de sulfuros metálicos que se forma mejora las propiedades antifricción de la pieza.

**Fosfatación, tratamiento al oxalato**

También es posible depositar sobre la superficie de un acero recubrimientos de fosfato provenientes de soluciones acuosas que contienen ácido fosfórico. Estos recubrimientos ofrecen una protección temporal contra la corrosión, mejoran el coeficiente de fricción, son una buena base de adherencia para la aplicación de revestimientos orgánicos (lacas, grasas, aceites) y tienen un efecto de aislamiento eléctrico.

Para las superficies de aceros finos en las que es imposible obtener adecuado recubrimiento de fosfato (por el elevado contenido de elementos de aleación), es posible obtener el mismo efecto por medio de un tratamiento al oxalato.