**UNIVERSIDAD DE MATANZAS.**

**FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS.**

**DPTO DE INGENIERÍA MECÁNICA.**

**ASIGNATURA: Ciencia de los Materiales.**

**AÑO: 3ºCRD SEMESTRE: I. PLAN: D.**

**PROFESOR: Dr. Ing Eduardo Torres Alpízar, Profesor Auxiliar.**

**SEMINARIO Nº7**

**INTRODUCCIÓN.**

En la pasada conferencia se estudiaron los aspectos prácticos más importantes del tratamiento térmico del acero; que son las consideraciones desde el punto de vista tecnológico que permiten seleccionar los diferentes parámetros como; temperatura de calentamiento, tiempo de mantenimiento, tipo de horno y velocidades de enfriamiento, que permiten en cada caso obtener el conjunto de propiedades a lograr en la aleación de acero que reciba los beneficios del tratamiento térmico.

Primeramente se estudiaron los tipos de temple desde el punto de vista de su temperatura de calentamiento y desde el punto de vista de su enfriamiento. Se valoraron criterios de selección del tiempo de permanencia en el horno así como del medio de enfriamiento idóneo para desarrollar la transformación martensítica. Un concepto muy importante analizado fue el de templabilidad, la cual tuvo como parámetro indicativo esencial la magnitud conocida como diámetro crítico.

Se analizó seguidamente el tratamiento térmico de revenido y su clasificación como el proceso tecnológico mediante el cual se eliminan las tensiones internas que quedan en el metal como resultado del tratamiento térmico de temple.

Por último se estudiaron los tratamientos térmicos mediante los cuales se obtienen estructuras de equilibrio y las condiciones de enfriamiento se acercan a las de equilibrio como son los recocidos y el normalizado.

1. ¿Por qué es necesario calentar un acero AISI 1045 de 20 a 50ºC por encima de AC3 mientras que un DIN C100 necesita ser calentado solo de 20 a 50ºC por encima de AC1?
2. ¿Cómo se puede lograr en un acero eutectoide al carbono la estructura de bainita durante el enfriamiento de temple?
3. ¿Qué revenido se recomendaría con posterioridad al temple de un acero GOST 60C2A para muelles?
4. ¿Cuál sería el objetivo de un tratamiento térmico de recocido completo? ¿Qué lo diferenciaría del normalizado?

**BIBLIOGRAFÍA.**

* Callister, W.D. Materials Science and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons, Inc, Publishers, 1994, - 420 pp.
* Guliáev, A. P. Metalografía. Tomos I y II. – Moscú: Editorial MIR. 1978.
* Avner, Sidney. Introducción a la Metalurgia Física. Ediciones Revolucionarias. La Habana. 1972.

**DESARROLLO.**

**Motivación.**

En la práctica industrial llega el momento en que los aceros al carbono no satisfacen todos los requerimientos de designaciones de servicio que desde el punto de vista práctico existen. A veces se requieren aceros que sean capaces de soportar la destrucción debido a la corrosión, que tengan una mayor resistencia mecánica, que presenten mayor templabilidad, que al trabajar a altas temperaturas mantengan dentro de límites aceptables su resistencia mecánica. En esos casos la solución es la adición de elementos químicos que proporcionan al acero estas propiedades. Es por ello que en la conferencia actual se estudiarán los aceros aleados.

**Tema IV. Materiales para la ingeniería.**

**Temática:**

* **Aceros aleados. Clasificación de las impurezas.**
* **Influencia de los elementos de aleación.**

**Objetivos:**

1. Describir las influencias que los elementos de aleación ejercen en las transformaciones de fase y propiedades de los aceros aleados.
2. Explicar cómo se subdividen los aceros de construcción de acuerdo a su utilización, el tratamiento térmico que se les aplica y las propiedades mecánicas que se persiguen obtener.
3. Explicar cómo se subdividen los aceros herramentales de acuerdo a su utilización, el tratamiento térmico que se les aplica y las propiedades mecánicas que se persiguen obtener.
4. Explicar cómo se subdividen los aceros de alta aleación con propiedades especiales de acuerdo a su utilización, el tratamiento térmico que se les aplica y las propiedades mecánicas que se persiguen obtener.

* **Aceros aleados. Clasificación de las impurezas.**
* **Aceros Aleados:** Son aquellos aceros en los cuales con el objetivo de obtener propiedades necesarias se introducen elementos de aleación.
* **Elementos de aleación:** Son los elementos que se adicionan al acero en determinadas concentraciones con el fin de variar su estructura y propiedades. En los aceros industriales, que son sistemas de muchos componentes, los elementos de aleación pueden encontrarse:

a)en estado libre. b) en forma de óxidos, sulfuros u otras inclusiones no metálicas. c) en forma de compuestos intermetálicos con el hierro o entre sí. d) en la fase carburos, en forma de solución en la cementita o de combinaciones independientes con el carbono (carburos especiales). e) en forma de solución sólida.

* **Impurezas Permanentes:** Siempre se encuentran en cualquier acero debido a que es casi imposible eliminarlas del todo durante los procesos metalúrgicos de fabricación del acero. Las impurezas constantes del acero y sus concentraciones habituales son:

## Mn: 0,3 – 0,7% Si: 0,2 – 0,4% Al: 0,01 – 0,02%

**Ti: 0,01 – 0,02% P: 0,01 – 0,05% S: 0,01 – 0,04%**

Estas impurezas en las concentraciones indicadas no pueden ser consideradas elementos de aleación ni los aceros que las contienen, aceros aleados.

* **Impurezas latentes:** Son el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno, que están presentes en cualquier acero en cantidades muy pequeñas. Los métodos para determinarlas químicamente son complicados y por esto el contenido de estos elementos no se indica en las condiciones técnicas ordinarias.
* **Impurezas accidentales:** Pertenecen a este grupo las impurezas que llegan al acero procedentes de los materiales de carga o de forma accidental.
* **Influencia de los elementos de aleación.**
* **Influencia de los elementos de aleación en el polimorfismo del hierro.**

Todos los elementos de aleación que se disuelven en el hierro influyen en el intervalo de temperaturas en que existen sus modificaciones alotrópicas, es decir, desplazan los puntos A3 y A4 por la escala de temperaturas.

La mayoría de los elementos de aleación elevan el punto A4 y bajan el punto A3, ensanchando el campo de existencia de la modificación alotrópica  (fig.1 a), o bajan A4 y elevan A3, estrechando la región de existencia de la modificación  (fig.1 b).

En los diagramas esquemáticos de estado hierro – elemento de aleación que se dan en la figura 1, puede verse que por encima de un contenido determinado de manganeso, níquel o algunos otros elementos de aleación (fig. 1a) el estado  existe como estable desde la temperatura ambiente hasta la de fusión. Estas aleaciones base hierro se llaman **austeníticas**. Si el contenido de vanadio, molibdeno, silicio, y otros elementos es mayor que un determinado límite, será estable a todas las temperaturas el estado  (fig. 1b). Estas aleaciones a base de hierro se llaman **ferríticas**. A diferencia de otras aleaciones a base hierro las austeníticas y ferríticas no sufren transformaciones al calentarse o enfriarse.

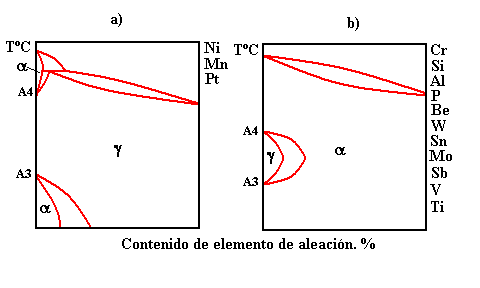
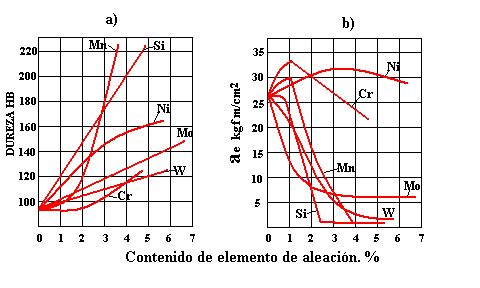


Figura 1: Esquema del diagrama de estado Hierro – Elemento de Aleación.

* **Influencia de los elementos de aleación en la ferrita.**

La solución de los elementos de aleación en el Fe se efectúa como resultado de la sustitución de los átomos de hierro por átomos de estos elementos. Los átomos de los elementos de aleación que se diferencian de los del hierro por sus dimensiones y estructura, crean en la red tensiones que provocan la variación de su naturaleza. Todos los elementos que se disuelven en la ferrita hacen que varíen los parámetros de la red de esta en un grado mayor, cuanto más se diferencian las dimensiones del átomo de hierro y del elemento de aleación. Los elementos de cuyo radio atómico es menor que el del hierro, disminuyen los parámetros de la red, y los del radio atómico mayor, los aumentan.

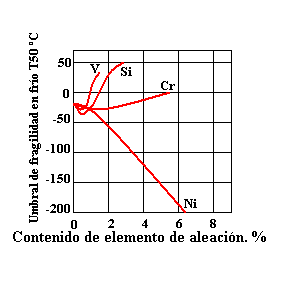
Es natural que la variación de las dimensiones de la red  ocasione un cambio de las propiedades de la ferrita: se eleva su resistencia y disminuye la plasticidad. En la figura 2 se muestran los cambios de las propiedades de la ferrita (dureza y resiliencia) cuando se disuelven en ella diversos elementos. Como se ve por el diagrama, el cromo, el molibdeno y el wolframio endurecen la ferrita menos que el níquel, el silicio, y el manganeso. El molibdeno y el silicio (cuando estos últimos están presentes con más del 1%) hacen disminuir la tenacidad de la ferrita, el cromo menos y el níquel nada.

**Figura 2: Influencia de los elementos de aleación en las propiedades de la ferrita:**

1. **dureza; b) resiliencia.**

Tiene gran importancia la influencia que ejercen los elementos de aleación en el umbral de fragilidad en frío. La existencia de cromo en el hierro contribuye a que se produzca cierta elevación de dicho umbral, mientras que el níquel hace que baje bruscamente, disminuyendo con ello la tendencia del hierro a las roturas frágiles (Figura 3).

Por tanto de los seis elementos de aleación más difundidos que se han enumerado el níquel tienen un valor especial. El níquel que endurece con bastante intensidad la ferrita, no disminuye su tenacidad y hace que disminuya su umbral de fragilidad en frío, mientras que los otros elementos, si no disminuyen la tenacidad, endurecen la ferrita débilmente (el cromo) o la endurecen mucho, pero hacen que descienda bruscamente su tenacidad (manganeso y silicio).

Figura 3 Influencia de los elementos de aleación en el umbral de fragilidad en frío.

* **La fase carburo en los aceros aleados.**

En los aceros sólo forman carburos los metales que en el sistema periódico se encuentran a la izquierda del hierro. Estos metales lo mismo que el hierro pertenecen a los metales del grupo de transición, pero tienen menos ocupado el subnivel electrónico d. Cuanto más a la izquierda se encuentre en el sistema periódico el elemento formador de carburos, tanto menos ocupado estará su subnivel d. De acuerdo con lo expresado formarán carburos en el acero los elementos siguientes: titanio, vanadio, cromo, manganeso, circonio, niobio, molibdeno, hafnio, tantalio, y wolframio.

Se ha establecido que en los aceros pueden formarse los carburos siguientes:

* **Carburos del grupo I: M3C, M23C6, M7C3, M6C.** Tienen estructura cristalina compleja. El representante típico es la cementita.
* **Carburos del grupo II (fases de inserción): MC, M2C.** Tienen red cristalina simple y crsiatlizan con un défict considerable de carbono.

La letra M representa el elemento formador de carburo que origina el carburo indicado. Sin embargo los carburos indicados no existen puros en los aceros. Los carburos de todos los elementos de aleación contienen hierro en disolución, y si en el acero existen varios elementos capaces de formar carburos, también contendran estos elementos. Así en el acero al cromo – manganeso en vez de carburo puro Cr23C6 se forma el carburo (Cr, Mn, Fe)23C6, que lleva en disolución hierro y manganeso.

Como los carburos tienen la misma fórmula química se disuelven mutuamente, resulta por ejemplo, que si en un acero hay titanio y niobio no se formarán dos tipos de carburos separados, sino un carburo común, en el cual “en iguales condiciones” entra el titanio y el niobio.

Conviene advertir que las fases de inserción son difícilmente solubles en la austenita. Esto significa que durante el calentamiento (incluso si es muy elevado), pueden no pasar a la solución sólida. En esto se distinguen de los carburos del grupo I, que durante el calentamiento se disuelven fácilmente en la austenita. Todas las fases de carburo poseen alta temperatura de fusión y gran dureza. Las fases de inserción superan en este sentido a los carburos del grupo I.

* **Influencia de los elementos de aleación en la cinética de la descomposición de la austenita.**

La cinética de la descomposición de la austenita determina el comportamiento de del acero durante el tratamiento térmico. Y la influencia de los elementos de aleación en la cinética de las transformaciones de la austenita es muy grande.

Los elementos que solo se disuelven en la ferrita o la cementita sin formar carburos especiales sólo ejercen una influencia cuantitativa en los procesos de transformación. Aceleran la transformación (a este tipo solo pertenece el cobalto) o la retardan (la mayoría de los elementos, entre ellos el manganeso, el cobre, el níquel y otros).

Los elementos que forman carburos introducen variaciones no solo cuantitativas sino cualitativas en la cinética de la transformación isotérmica. Así los elementos que de aleación que forman carburos solubles en la austenita, a diferentes temperaturas influyen de distinto modo en la velocidad de descomposición de la austenita: a 700 – 500ºC (formación de la perlita) retardan la transformación; a 400 – 500ºC la retardan mucho, y a 400 – 300ºC (formación de la bainita) la aceleran.

Así pues en los aceros aleados con elementos formadores de carburos (cromo, molibdeno, wolframio) se observan dos máximos de la velocidad de descomposición de la austenita (dos narices en las curvas de descomposición), separados por una región de gran estabilidad de la austenita subenfriada. La descomposición isotérmica de la austenita tiene dos intervalos de transformación perfectamente definidos: la transformación en estructuras laminares (perlítica) y la transformación en estructuras aciculares (bainítica).

En la Figura 4 se da una representación esquemática del diagrama de la transformación isotérmica (se muestra únicamente al principio de la transformación).

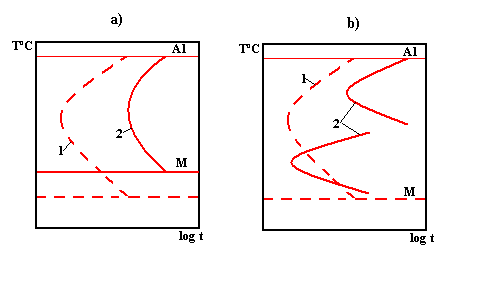
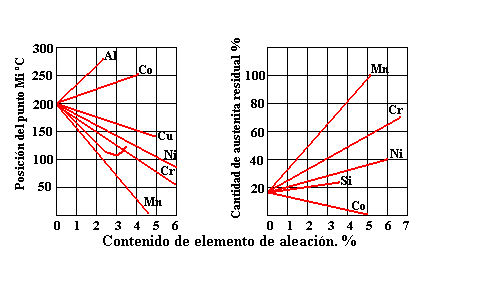


Figura 4: Esquema de los diagramas de la descomposición isotérmica de la austenita. a) acero al carbono (1) acero ligado con elementos que no forman carburos (2); b) acero al carbono (1) y acero ligado con elementos que forman carburos.

La propiedad más importante prácticamente de los elementos de aleación es la de ser capaces de retardar la velocidad de descomposición de la austenita en la región de la transformación perlítica, lo que se expresa por el desplazamiento de la línea hacia la derecha en el diagrama de descomposición isotérmica de la austenita. Esto contribuye a que la templabilidad sea mayor y al subenfriamiento de la austenita hasta el intervalo de la transformación martensítica siendo más lento el enfriamiento, por ejemplo, cuando se enfría en aceite o al aire, lo que naturalmente va ligado a la disminución de la velocidad crítica de temple.

* **Influencia de los elementos de aleación en la transformación martensítica.**

Los elementos de aleación no influyen en la cinética de la transformación martensítica, la cual por lo visto es igual en todos los aceros. Su influencia se manifiesta aquí exclusivamente en la posición del intervalo de temperaturas de esta transformación y esto, a su vez, se refleja también en la cantidad de austenita residual que se fija en el acero templado. Algunos elementos elevan el punto martensítico y disminuyen la cantidad de austenita residual (aluminio, cobalto), otros no ejercen influencia en él (silicio), pero la mayoría hace que descienda el punto martensítico y que aumente la cantidad de austenita residual (Figura 5). En el diagrama puede verse que en el 5% de Mn baja el punto martensítico hasta 0ºC, por consiguiente, con este contenido (u otro mayor) de este elemento de aleación puede fijarse el estado austenítico por enfriamiento.

Figura 5. Influencia de los elementos de aleación en la temperatura de transformación martensítica (a), y en la cantidad de austenita residual (b). Los aceros contienen 1% de carbono.

* **Influencia de los elementos de aleación en el crecimiento del grano.**

Todos los elementos de aleación disminuyen la tendencia del grano de austenita al crecimiento. Excepciones de la regla son el manganeso y el boro, los cuales contribuyen a que crezca el grano. Los demás elementos, que afinan el grano, ejercen diversa influencia en: el níquel, el cobalto, el silicio y el cobre (elementos que no forman carburos) influyen relativamente poco en el crecimiento del grano; el cromo, el molibdeno, el wolframio, el vanadio, y el titanio afinan mucho el grano (estos elementos se han enumerado en el orden en que aumenta la intensidad de su acción). Esta diferencia es consecuencia directa de la distinta estabilidad de los carburos (y nitruros) de estos elementos. Los carburos excesivos, no disueltos en la austenita, impiden el crecimiento del grano de la austenita. Por esto en el acero, si hay en él aunque sea solamente una pequeña parte cantidad de carburos no disueltos, conserva la estructura de grano fino hasta temperaturas de calentamiento muy elevadas.

* **Influencia de los elementos de aleación en las transformaciones del revenido.**

Los elementos de aleación retardan el proceso de descomposición de la martensita. Ciertos elementos, como el níquel o el manganeso influyen de un modo insignificante, mientras que la mayoría de (cromo, molibdeno, silicio, etc) lo hacen considerablemente.

Esto se debe a que los procesos que se desarrollan durante el revenido tienen carácter difusivo, y la mayoría de los elementos de aleación retardan la transformación de los carburos, sobre todo en la etapa de coagulación.

Para obtener iguales resultados, el acero aleado con elementos como el cromo, molibdeno, silicio y otros, tiene que ser calentado durante una temperatura más alta o hay que aumentar la duración del revenido en comparación con el revenido del acero al carbono.