**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 Nº8**

**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 de construcción.**
* **Aceros herramentales.**
* **Aceros con propiedades especiales.**

**Objetivos:**

1. 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.
2. 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.
3. 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 de construcción.**

Los aceros de construcción en la rama de construcción de maquinarias, se destinan a la fabricación de piezas de máquinas, máquinas herramientas y otros mecanismos. Ellos abarcan fundamentalmente aceros de bajo y medio contenido de carbono, los cuales generalmente se alean con níquel, cromo, silicio y manganeso y se les adicionan ciertas cantidades de elementos formadores de carburos como molibdeno, vanadio y titanio.

Los aceros de construcción se pueden subdividir en los siguientes subgrupos:

1. **Aceros Estructurales.**
2. **Aceros para cementar.**
3. **Aceros Termomejorables.**
4. **Aceros para muelles.**
5. **Aceros automáticos.**
6. **Aceros para cojinetes de bolas y rodillos.**

Estos aceros se clasifican de acuerdo a la norma AISI en correspondencia con la tabla 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nº AISI:** | **Descripción** | **Ejemplo** |
| 10XX | Son aceros sin aleación con 0,XX % de C | (1010; 1020; 1045) |
| 11XX | **Aceros resulfurizados (de fácil labrado)** | (1118; 1137; 1145) |
| 12XX | **Aceros refosforados y resulfurizados** | (1211; 1213; 1216) |
| 13XX | Aceros al manganeso | (1330; 1335) |
| 2XXX | Aceros aleados al Ni | (2165; 2120; 2245) |
| 23XX | Aceros aleados con 3,5% de Níquel |  |
| 25XX | Aceros con 5% de Níquel |  |
| 3XXX | Aceros al Cromo - Níquel | (3415) |
| 4XXX | Aceros al molibdeno |  |
| 40XX | Aceros al Carbono – Molibdeno | (4024, 4023) |
| 41XX | Son aceros aleados con Mn, Si, Mo y Cr | (4140; 4118) |
| 43XX | Aceros aleados con Cr Mo y Ni | (4317) |
| 46XX ó 48XX | Aceros aleados al Molibdeno - Níquel |  |
| 5XXX | Aceros aleados al Cr | (50B40; 5046) |
| 51XX | Aceros aleados con bajo Cromo | (5160; 5120; 5115) |
| 52XX | Aceros con medio contenido de Cromo | (52100) |
| 53XX | Aceros con alto contenido de Cromo |  |
| 6XXX | Aceros aleados al Cromo Vanadio | (6118; 6150) |
| 86XX ó 87XX | Acero al Níquel Cromo Molibdeno | (8617; 8627) |
| 92XX | Acero al Manganeso Silicio | (9250; 9255; 9250) |

1. **Aceros Estructurales.**

Se utilizan generalmente en estructuras, por lo que se subdividen en estructuras por lo que deben presentar buena soldabilidad y no se deben someter al tratamiento térmico de endurecimiento. Por el contenido de manganeso se subdividen en 2 grupos:

* Con contenido normal de manganeso (0,40 – 0,80%)
* Con contenido elevado de manganeso (1 – 1,2%)

La más alta calidad de los aceros en comparación con los aceros de calidad ordinaria, está condicionada por una mayor pureza del contenido de inclusiones no metálicas, fósforo (no mayor de 0,035 ó 0,040%) y azufre (no mayor de 0,040%). Los aceros de más bajo contenido de carbono (hasta 0,20%) se fabrican tanto calmados (desoxidados con aluminio y ferrosilicio) como efervescentes (desoxidados solo con ferromanganeso), y con más altos contenidos de carbono solo calmados.

Los aceros efervescentes de bajo contenido de carbono poseen elevada plasticidad y se utilizan para piezas y artículos que se obtienen por estampado en frío con embutido profundo. Estos aceros no se someten al tratamiento térmico.

Ejemplo de aceros estructurales: AISI: 1008; 1012; 1015; 1020.

1. **Aceros para cementar.**

Estos aceros deben tener bajo contenido de carbono (0,1 – 0,25%). En estos aceros una vez realizada la cementación, el temple y el revenido se obtiene una dureza superficial en el orden de los 60 HRC y en el centro de 15 – 30 HRC.

En ocasiones se precisa de una dureza o resistencia en el núcleo mucho mayor que la que ofrece el acero de bajo contenido de carbono, por ello los aceros para cemenetar se dividen en tres grupos.

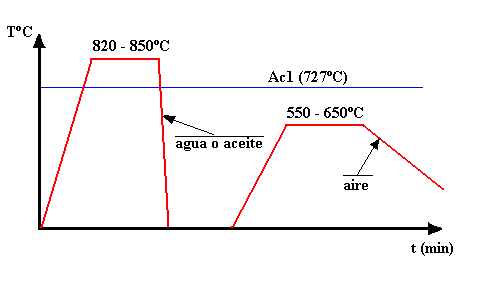
* Aceros de núcleo que no se endurece.
* Aceros de baja aleación cuyo núcleo se endurece poco.
* Aceros de mediana aleación de núcleo endurecible.

Cada uno de estos aceros presenta después del tratamiento térmico las estructuras siguientes en el núcleo.

* Ferrito Perlítico(Ej: AISI 1020).
* Bainítico. (Ej: AISI 5120)
* Martensítico.(Ej: AISI 4118)

La elección de la marca del acero para las piezas cementadas se basa en los razonamientos siguientes:

1. Para las piezas de configuración simple, que no sufren cargas importantes, deben emplearse aceros al carbono simples.
2. Para las piezas que experimentan grandes tensiones y choques, deben emplearse aceros al cromo níquel de gran resistencia.
3. Para piezas de configuración compleja que no conviene que se deformen al templarse (por ejemplo los piñones) deben emplearse aceros aleados que se templen en aceite.
4. **Aceros para el mejoramiento térmico.**

Los aceros que reciben el mejoramiento o bonificado son los que contienen de 0,3 a 0,5% de carbono y diversos elementos de aleación (Cr, Ni, Mo, Mn, Si) en cantidades inferiores al 5%. También pueden tener elementos afinadores del grano en pequeñas cantidades <0,1%. El tratamiento térmico consiste en un calentamiento por encima de la temperatura de transformación de fase (alrededor de 30 a 50ºC), o sea a temperaturas que oscilan entre 820 y 850ºC en dependencia de la composición química, mantenimiento a la temperatura de temple y enfriamiento enérgico. El revenido siempre será alto y estará entre 550 y 650ºC.

Esquema general de los tratamientos térmicos de termomejoramiento.

Los procedimientos empleados para mejorar las propiedades mecánicas del acero son:

1. Aumento del contenido de carbono.
2. Adición de elementos de aleación. Afino del grano.
3. Endurecimiento por deformación plástica en frío.
4. Afino del grano.
5. Endurecimiento por deformación plástica en frío.
6. Dispersión de los componentes estructurales.

El procedimiento más adecuado es aquel que a la vez que eleva la dureza y la resistencia, afecta poco la tenacidad y la plasticidad. Como en este tratamiento térmico se persigue un temple a corazón, la selección de uno u otro acero para mejorar, depende de la templabilidad del mismo o sea de su contenido de elementos de aleación.

Los aceros para mejorar se dividen en 5 grupos, los cuales se diferencian por el aumento sucesivo de los elementos de aleación.

I Grupo – Aceros al carbono simples: Se emplean para piezas con diámetro entre 10 – 15 mm con termomejoramiento. Su enfriamiento es en agua. Ej: AISI 1045, 1043.

II Grupo – Aceros de baja aleación: Poseen elementos de aleación no muy caros (Si, Mn, Cr) preferiblemente Cr. Se seleccionan para piezas de diámetros de alrededor de 20 mm como máximo que precisen templabilidad total. Se enfrían en aceite. Ej AISI 5140.

III Grupo – Aceros aleados con Mo, Mn, Ti: Para piezas con diámetros entre 20 – 40 mm. Se enfrían en aceite. Ej AISI 4150

IV Grupo – Aceros al Ni: Contienen de 1 a 1,5% de Ni. El níquel aumenta la templabilidad. Se emplean para secciones de 40 a 70 mm de diámetro. Se enfrían en aceite. Ej: AISI 3135.

V Grupo – Aceros con alto contenido de Ni: Se emplean para diámetros mayores de 70 mm los cuales requieran templabilidad total. Se enfrían en aceite. Ej: AISI 3435.

1. **Aceros para resortes y muelles.**

Los aceros para resortes y muelles deben poseer propiedades especiales debido a las condiciones de trabajo de los muelles (cilíndricos y planos). Estos elementos sirven para amortiguar, empujar y en virtud de esto la principal propiedad que deben poseer debe ser un alto límite elástico y un elevado límite de fatiga. Estas condiciones se logran con contenidos de carbono de entre 0,5 y 0,7%C. Además se alean con Si, Mn, Cr V, W, Ni que aumentan el límite de elasticidad. Los aceros más utilizados son: AISI 9250, 9255, 9260, 5160, 6150.

Los aceros para muelles logran sus propiedades después del temple a 820 – 870ºC (enfriamiento en agua o aceite según el caso), para lograr una transformación martensítica completa y uniforme en todo el volumen del metal. El revenido se da a temperaturas de entre 350 a 450ºC por lo que clasifica como revenido medio. Al final del proceso se obtiene una dureza de 40 – 50 HRC y una estructura de troostita.

1. **Aceros automáticos (resulfurados y refosforados).**

Estos aceros se diferencian de los otros aceros de construcción por los elevados contenidos de fósforo (hasta 0,15%) y azufre (hasta 0,3%). Su principal característica es su buena maquinabilidad, porque el azufre forma una gran cantidad de inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS), que altera la continuidad del metal, y el fósforo, y el fósforo disolviéndose en la ferrita disminuye su tenacidad. Durante su elaboración se forma viruta corta y frágil, lo que tiene gran importancia cuando se trabaja en máquinas herramentales automáticas y de control numérico (CNC). Se obtiene además una superficie lisa y limpia.

Su principal defecto es la reducida plasticidad, por lo que se emplea para piezas de poca responsabilidad (pasadores, casquillos, etc).

Ejemplos:

* Aceros resulfurizados: AISI 1118; 1137; 1145
* Aceros resulfurizados y refosforados: AISI 1211; 1213; 1216

1. **Aceros para cojinetes de bolas (alta resietncia a la fricción).**

Por su composición pertenecen a los aceros para herramientas. Los de mayor aplicación son los aceros al Cr con alto contenido de carbono. El contenido hipereutectoide de carbono (0,95%) y de cromo (1,3 – 1,65%), aseguran después del temple, la obtención de una dureza uniforme, resistencia al desgaste por rozamiento y buena tenacidad.

La tecnología de tratamiento incluye: Recocido de globulización, temple y revenido.

El objetivo del recocido es disminuir la dureza y obtener la perlita globular de grano fino. Consisten en calentamiento a una temperatura alrededor de 750ºC durante largo tiempo. El enfriamiento se realiza en el horno.

El temple se realiza con calentamiento entre 830 y 860ºC y el enfriamiento se realiza en aceite. El revenido se ejecuta entre 150 y 160ºC para obtener una dureza de 62 a 65 HRC.

La estructura es de agujas finas y dispersas.

* **Aceros de herramentales.**

Los aceros de herramientas van a trabajar en condiciones diferentes a los aceros de construcción y generalmente en ellos deben destacarse 1 ó 2 propiedades en dependencia del tipo de herramienta. Así, en una herramienta la condición principal a cumplir por el acero debe ser, conservar el filo cortante durante un período largo de tiempo. Para instrumentos de medición las condiciones se parecerán a las de corte, pero las presiones de trabajo son menores.

En los troqueles el acero experimenta cargas térmicas y de choque considerables, distribuidas por una superficie relativamente grande. Aquí desempeña un papel primordial la tenacidad. Por lo tanto para diferentes tipos de herramientas se utilizan diferentes aceros.

Los aceros de herramentales se pueden subdividir en los siguientes subgrupos:

1. **Aceros de baja templabilidad (principalmente al carbono).**
2. **Aceros de alta templabilidad (aleados 1 – 3% de elementos de aleación).**
3. **Aceros de corte rápido.**
4. **Aceros para matrices.**

* **Aceros para matrices de conformación en frío.**
* **Aceros para matrices de conformación en caliente.**

1. **Aceros de baja templabilidad (principalmente al carbono).**

Son fundamentalmente aceros al carbono con contenidos de este elemento entre 0,7 y 1,3%. La estructura inicial de los mismos posee la perlita de tipo laminar. Debido a esto se someten por lo general a un recocido de globulización con el objetivo de transformar la perlita laminar en globular. Para obtener una alta dureza (60 – 63 HRC), estos aceros se templan en agua. La estructura después del temple es de martensita, en el caso de los aceros hipoeutectoides y los eutectoides, y martensita más cementita en el caso de los aceros hipereutectoides. El revenido se realiza a temperaturas entre 150 y 170ºC. La alta dureza del acero se conserva durante el calentamiento hasta la temperatura de 200ºC. La templabilidades de 10 – 12mm. El enfriamiento de temple se realiza en agua.

Los aceros clasificados como AISI/SAE W108 y W209 (0,8% C) se utilizan en herramientas pequeñas y que sufren impactos y los W110 (1,1% C) se emplean en herramientas cuya temperatura de trabajo no sobrepasa los 200ºC.

1. **Aceros de alta templabilidad (de baja aleación).**

Aquí se agrupan a los aceros con contenidos de carbono entre 0,7 y 1,3% que poseen elementos de aleación (fundamentalmente Cr, Mn, Si, W) en cantidades entre 1 y 3%.

En comparación con los aceros al carbono tienen las siguientes ventajas.

* **Mayor tempalbilidad (Permite elaborar herramientas mayores).**
* **Menor sensibilidad al sobrecalentamiento.**
* **Posibilidad de aplicar refrigerantes menos enérgicos (permite elabora herramientas de configuraciones más complejas).**

Los aceros más utilizados de acuerdo a las normas AISI/SAE son: F – 1, S – 1, O – 1, O – 2.

La temperatura de temple es de 830 – 880ºC. La estructura de temple es de martensita y carburos en exceso de manera general. El revenido se realiza a temperaturas de 140 a 180ºC. La dureza nunca debe ser menor a los 61 HRC. El enfriamiento de temple se realiza en aceite.

Estos aceros se utilizan para fabricar brocas, fresas, escariadores, avellanadores, brochas y otras herramientas de hasta 35 mm de diámetro. El defecto fundamental de estos aceros es la tendencia a la descarburación.

1. **Aceros de corte rápido.**

Se utilizan ampliamente para fabricar las mas diversas herramientas de corte que trabajan a altas velocidades y fuerzas de corte. Poseen un contenido de carbono entre 0,8 y 1,5 % de carbono. Son aceros de alto contenido de elementos de aleación. Entre estos el más importante es el Wolframio, quien conjuntamente con otros elementos químicos refractarios (Mo, Cr, V, Ti) es el encargado de garantizar las estabilidad al rojo o mantenimiento de las propiedades del acero a elevadas temperaturas de corte (alrededor de 700ºC).

La estructura después del recocido es de perlita y carburos (hasta el 25%). Su dureza es de 207 – 255 HB.

En el temple el acero rápido se calienta (habitualmente en baño de sales) hasat temperaturas de entre 1250 y 1290ºC en dependencia de la marca del acero. La alta temperatura de temple es necesaria para disolver una parte de los carburos y obtener durante el calentamiento austenita de alta aleación, lo que asegura una alta estabilidad térmica del acero.

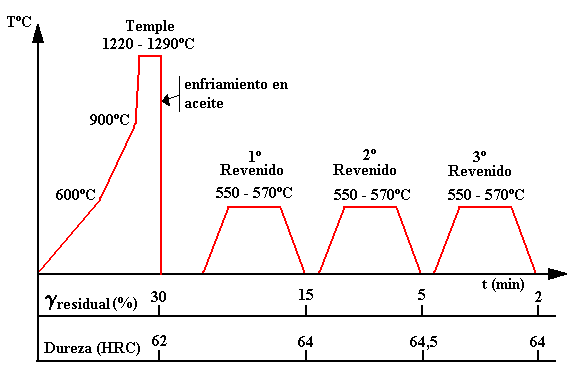
Debido a la pequeña conductividad térmica del acero rápido, para evitar la aparición de grietas, el calentamiento para el temple se realiza con uno o dos precalentamientos: a 400 – 500ºC y a 800 – 850ºC.

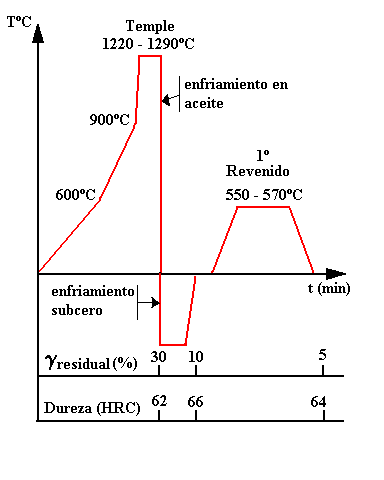
Durante el enfriamiento (de ordinario en aceite) la austenita se transforma en martensita, pero no totalmente, sino que una parte (25 – 30%) de la misma conserva la forma de austenita residual.

La estructura después del temple es de martensita, carburos y austenita residual. La dureza en ese estado es de alrededor de 62 HRC. Durante el revenido a temperaturas entre 550 y 600ºC, que de ordinario es triple (3 revenidos), tiene lugar la precipitación a partir de la martensita de carburos finos y dispersos, y además ocurre la transformación de la austenita retenida en martensita revenida. Este proceso provoca una elevación de la dureza hasta 64 HRC.

Otra variante del tratamiento térmico consiste en aplicar temple subcero (enfriamiento en gases licuados hasta – 80ºC) seguido de un solo revenido.

Las principales marcas de aceros de corte rápido recogidas por la norma AISI/SAE son: M1, M2, M7, T4, T15.

Esquema de tratamiento térmico de las herramientas de acero rápido sin tratamiento a temperaturas bajo cero.

**Esquema de tratamiento térmico de las herramientas de acero rápido con tratamiento a temperaturas bajo cero.**

1. **Aceros para matrices.**

* ***Aceros para matrices de conformación en frío.***

Las herramientas para estampar el metal en frío trabajan en condiciones de intenso desgaste bajo cargas considerables y diferente carácter de la carga (presión, choques), así como calentamiento por fricción de las capas superficiales. Por lo tanto deben poseer las siguientes propiedades:

* Alta dureza y resistencia al desgaste.
* Suficiente tenacidad.
* Pequeña deformación en el temple.
* Buena templabilidad.

Para matrices y estampas pequeñas (25 – 30 mm) se pueden utilizar los aceros al carbono de los tipos AISI/SAE: W108, W209, W110. Para matrices un poco mayores se emplean aceros de alta templabilidad de los tipos AISI/SAE: F – 1, S – 1, O – 1, O – 2.

Para estampas grandes con presiones hasta 1600 MPa, se utilizan aceros con 1,0 a 1,2% de carbono y alrededor de 12% de Cr. El tratamiento térmico de estos aceros es muy similar al de los aceros de corte rápido. Consiste en un calentamiento escalonado hasta 1000 – 1050ºC y el revenido a temperaturas de 150 – 170ºC. El revenido puede hacerse doble si el por ciento de austenita residual después del temple es elevado. La dureza después del tratamiento térmico es de 61 - 63 HRC. El enfriamiento del temple se realiza en aceite.

Las marcas mas utilizadas de estos aceros se corresponde de acuerdo a la AISI/SAE con las siguientes marcas: A– 2, D– 3, D– 2.

* ***Aceros para matrices de conformación en caliente.***

Los aceros para matrices destinadas a la conformación en caliente deben poseer altas propiedades mecánicas a temperaturas elevadas, soportar calentamientos y enfriamientos cíclicos sin formación de grietas, así como una alta templabilidad.

El acero AISI/SAE: L- 6 posee entre 0,4 y 0,5% de carbono y alrededor de 2% de níquel que le da alta resistencia al impacto por golpes, de ahí que se destine a estampas y herramental de conformación en caliente que trabaja en martillos, martinetes y otras máquinas de conformar mediante cargas dinámicas. Su temple alcanza entre 200 y 300 mm de profundidad.

La temperatura del temple se encuentra entre 820 y 850ºC con enfriamiento en aceite. El revenido se da a temperaturas entre 500 y 580ºC. La dureza que se debe alcanzar se encuentra entre 35 – 45 HRC.

Los aceros AISI/SAE: H- 11, H- 13, H- 10, y H- 20, se utilizan para estampas de recalcado y laminado en caliente y para moldes de fundición bajo presión. La adición de wolframio, cromo y otros elementos refractarios le conceden a estos aceros termorresitencia y estabilidad al rojo. Para disolver los carburos complejos que se originan como resultado de la composición química antes señalada los aceros se templan a temperaturas de 1050 a 1100ºC y se enfrían en aceite. El revenido se da a temperaturas de 560 a 650ºC y se obtiene una dureza de 45 – 50 HRC.

* **Aceros con propiedades especiales.**

Los aceros con propiedades especiales contienen una cantidad grande de elementos de aleación (entre 8 y 50%), de ahí sean considerados como aleaciones complejas de muchos componentes.

Los con propiedades especiales se pueden subdividir en los siguientes subgrupos:

1. **Aceros inoxidables y termorresistentes (martensíticos, ferríticos, austeníticos).**
2. **Aceros resistentes a bajas temperaturas (criogénicos).**
3. **Aceros austeníticos al manganeso resistentes al impacto.**
4. **Aceros inoxidables y termorresistentes (martensíticos, ferríticos, austeníticos).**

La destrucción superficial de un metal por la acción del medio exterior se llama corrosión. El hierro puro y los aceros de baja aleación no resisten la corrosión en el agua, la atmósfera y en otros medios, porque la película de óxidos que forma no es suficientemente densa y no aísla el metal de la acción química del medio. La introducción en el acero más de 12% de Cr, hace que este sea resistente a la corrosión en la atmósfera, y en muchos otros medios industriales. En cambio las aleaciones que poseen menos de 12% de Cr sufren el mismo grado de corrosión que el hierro. Y las aleaciones que poseen más de 12 – 14% de Cr se comportan como metales nobles; es decir, no se oxidan en el aire, el agua, y en una serie de ácidos, sales y álcalis. Los aceros inoxidables se subdividen en:

* **Aceros inoxidables martensíticos.**
* **Aceros inoxidables ferríticos.**
* **Aceros inoxidables y termorresistentes austeníticos.**
* **Aceros inoxidables martensíticos.**

Se emplean en las instalaciones termoenergéticas donde se combine la resistencia a la corrosión y temperaturas de hasta 500ºC. En ellos se obtiene estructura de martensita por enfriamiento al aire.

El tratmiento térmico recomendado para esto aceros consiste en un temple con calentamiento entre 1000 y 1050ºC con enfriamiento al aire, seguido de un revenido entre 250 y 750ºC en dependencia del acero y las propiedades que se deseen obtener.

Según la ASM y la AISI los aceros más utilizados son: 403, 410, 416, 420, 431.

* **Aceros inoxidables ferríticos.**

Aceros inoxidables con contenidos de Cr entre 17 y 28%, sin ningún tipo de elementos austenizantes. Se emplean para piezas de hornos, muflas, fundas de termopares, y otras piezas que soportan elevadas temperaturas (1050 – 1150ºC) , sin sobre las mismas actúen grandes esfuerzos mecánicos. De ahí que puedan denominarse también aceros refractarios.

Presentan como inconveniente el crecimiento del grano ferrítico cuando este se calienta, y que esta estructura no puede afinarse por medio del tratamiento térmico, porque estos aceros no poseen transformaciones de fases. Alredeor de 700ºC surge en ellos la fase intermetálica , la cual disminuye la cual disminuye la resistencia al impacto. En esta cuestión influye también el tiempo de mantenimiento (100 horas a 590ºC).

Según la ASM y la AISI los aceros más utilizados son: 405, 430, 430F, 446.

* **Aceros inoxidables y termorresistentes austeníticos.**

Los aceros inoxidables austeníticos se pueden agrupar en cuatro grupos principales:

1. 18 Cr – 8 Ni con o si elementos especiales estabilizadores como: molibdeno, titanio, niobio, etc.
2. 20 Cr – 10 Ni
3. 16 Cr – 13 Ni
4. Aceros austeníticos termorresistentes: 24 Cr – 12 Ni y 25 Cr – 20 Ni

Sus temperatura de fusión oscilan entre 1400 y 1430ºC, presentan coeficientes de dilatación lineal 50% superiores al acero al carbono. Su conductividad térmica es de un 40% a un 50% menor que la de los aceros al carbono. Presentan buenas propiedades en caliente a latas temperaturas, las cuales se consideran refractarios, y termorresistentes (trabajan a temperaturas de 1000ºC).

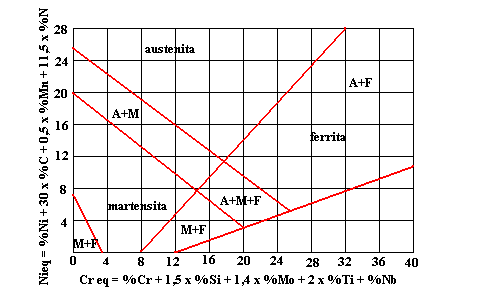
Presentan como problemas fundamentales:

1. Tendencia al garietamiento.
2. Precipitación de carburos de Cr (corrosión intercristalinas).
3. Formación de la fase intermetálica .

⇒Estudiar por el Tomo II de “Metalografía” de Guliáev, y el texto “Metalurgia de la Soldadura” de Héctor Rodríguez los problemas antes señalados.

Para evitar la formación de carburos de Cr que disminuyen, su resistencia a la corrosión se alean con elementos estabilizadores como el Ti y el Nb. Se formarán la carburos de Ti y Nb primero que los de Cr.

Pueden ser austeníticos o autenítico ferríticos. Para determinar la estructura de su matriza metálica se emplean diferentes diagramas estructurales de los cuales el más conocido es el Diagrama de Shaeffler.



Para utilizarlo se calculan los valores de Ni equivalente y de Cr equivalente y se plotean en el gráfico hasta determinar el campo que caracteriza a la aleación. Las fases presentes en el diagrama son la austenita, la martensita y la ferrita.

Los del grupo termorresistente se endurecen por envejecimiento entre 600 – 750ºC. Eleva la dureza por precipitación de fases en exceso. Este tratamiento eleva la termorresistencia. Solo se utiliza si las piezas trabajan períodos cortos. A más de 100 horas las fases excesivas coagulan. Ej de estos aceros de acuerdo a las normas AISI – ASTM: 301, 302, 304, 308, 309, 310, 316, 321, 347.

1. **Aceros resistentes a bajas temperaturas (criogénicos).**

Se conocen por aceros criogénicos, aquellos que son utilizados en máquinas y equipos para producir, almacenar y transportar gases licuados, que por lo tanto, se explotan ahasta las temperaturas de ebullición del oxígeno (-183ºC), nitrógeno (-196ºC), neón (-247ºC), hidrógeno (-253ºC), y helio (-269ºC), así como hidrocarburos (metilo, butano y otros), cuya temperatura de ebullición se encuentra en el intervalo entre –80 y –180ºC. Estos aceros suelen ser a la vez inoxidables. Presentan contenidos de Cr de aproximadamente 18% y contenidos de Ni de 20%. Sus contenidos de carbono oscilan entre los 0,008 y 0,20% de carbono. Reciben el nombre también de aceros superausteníticos. En la actualidad el níquel se sustituye por manganeso en cantidades aproximadas de 20%. Se endurecen por envejecimiento, debido a que su austenita es muy estable debido a las altas cantidades de Ni y Manganeso.

Estos aceros no cuentan con clasificación en las normas AISI, y ASM. Por lo general estos aceros debido a su alta especialización aparecen clasificados con marcas de fabricantes.

1. **Aceros austeníticos al manganeso resistentes al impacto (Hadfield).**

Aceros austeníticos con 0,8 - ,12% de carbono y de 12 a 18% de manganeso. Presentan frecuentemente con adiciones de Mo, Cr y Ni. Se emplean en piezas que trabajen en condiciones de grandes cargas de impacto, combinadas con desgastes abrasivos (palas de excavadoras, cangilones de dragas, esteras de bulldóceres, cruces de vías de ferrocarril, etc).

Se emplea con tratamiento térmico de temple (Temperaturas de 1050 a 1100ºC) en agua. El revenido de alivio de tensiones se realiza a temperaturas de 150 – 200ºC. Después del temple se obtiene una estructura de austenita (con durezas de 150 a 250 HB) que adquiere acritud con el golpeo (Hasta 550 HB). Debido a la elevada capacidad de endurecimiento del acero el maquinado es muy difícil.

De acuerdo a la norma ASTM las marcas más empleadas son ASTM: A128, A128 E-1, A128 C.

CONCLUSIONES.

1. Los elementos de aleación son aquellos que se adicionan al acero en determinadas concentraciones con el fin de variar su estructura y propiedades.
2. La mayoría de los elementos de aleación, ensanchan el campo de existencia de la modificación alotrópica  (elementos ganmágenos), o estrechan la región de existencia de la modificación  (elementos alfágenos).
3. 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).
4. En los aceros sólo forman carburos los metales que en el sistema periódico se encuentran a la izquierda del hierro. De acuerdo con lo expresado formarán carburos en el acero los elementos siguientes: titanio, vanadio, cromo, manganeso, circonio, niobio, molibdeno, hafnio, tantalio, y wolframio.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

PREGUNTAS DE COMPROBACIÓN.

1. ¿Cómo se clasifican los elementos de aleación en dependencia del efecto que ejercen sobre las transformaciones alotrópicas del hierro?
2. ¿Cuál es el elemento de aleación que ejerce la acción más beneficiosa en las propiedades mecánicas de los aceros? ¿Por qué?
3. ¿Cómo influyen los elementos de aleación en la templabilidad de los aceros?
4. ¿Qué efecto ejercen los elementos de aleación en el tamaño del grano del acero?