



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**



**EFFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES
MECANICAS EN LA ZONA APECTADA
POR EL CALOR DE UN HK-40 POR
SOLDADURA DE ARCO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :
ROGER CANCINO MALDONADO

ASESOR M. EN ING. ENRIQUE CURIEL REYNA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.,

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.



Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de Tesis: "Efectos sobre las propiedades mecánicas en la zona afectada por el calor de un HK-40 por soldadura de arco"

que presenta el pasante: Roger Cancino Maldonado
con número de cuenta: 8736105-B para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 26 de Agosto de 1976

PRESIDENTE	Ing. Samuel Pérez Díaz
VOCAL	Ing. Ma Soledad Alvarado Martínez
SECRETARIO M.	en I. Héctor Enrique Curiel Reyna
1er. SUPLENTE	Ing. Sergio de Moraes Benítez
2do. SUPLENTE	Ing. Marco Antonio Hernández

Recibido 28-08-76
26-08-76
29-8-76
26/08/76
30/08/76

ENTRE MAS ALTO SE SUBE A LA MONTAÑA, MAS FUERTE SOPLA EL VIENTO.

A MIS PADRES

A quienes me dieron la vida y me enseñaron el camino correcto a ellos que estuvieron conmigo en los momentos difíciles y me dieron animo para seguir adelante.

GRACIAS

A MI PADRE

**Por mostrarme el mejor camino a seguir
y ser mi fuente de inspiración.**

A MI MADRE

**Por ser el pilar en el cual me apoyo
cuando estoy a punto de fracasar**

A MIS HERMANOS

MANUEL, MARLON Y ALEJANDRO

**Por brindarme una palabra de aliento
cuando la he necesitado.**

A MIS TIAS

ALBA, EMMA Y ELDA

Por encaminar rebeldías, consolar tristezas ,
compartir sueños,perdonar errores y saborear
logros.

A MI TIA DOLORES

Porque aunque físicamente ya no se encuentra
conmigo, su amor siempre está en mi corazón.

A MI NOVIA

NORMA

Por estar cerca de mi, compartiendo las experiencias más importantes de mi carrera y mi vida, pero sobre todo por su amor.

A ENRIQUE CURIEL

Por brindarme su valiosa confianza
e invaluable apoyo.

A MIS MAESTROS

Por darme los conocimientos necesarios
para llegar a este día.

A MIS AMIGOS

Por los ratos compartidos

A ESTA H. UNIVERSIDAD

Por abrirme las puertas al conocimiento.

A TODOS ELLOS . GRACIAS

Porque hoy logre subir un peldaño más.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
1.- ACERO INOXIDABLE.....	2
1.1.- ANTECEDENTES HISTORICOS.....	2
1.2.- GENERALIDADES.....	2
1.2.1.- ACEROS AUTENTICOS INOXIDABLES	3
1.3.- APLICACIONES.....	10
2.- EFECTOS DEL CROMO EN LAS ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR.....	12
2.1.- ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR.....	12
2.2.- PROPIEDADES DEL CROMO Y DEL NIQUEL.....	25
2.2.1.- ACEROS AL CROMO.....	25
2.2.2.- ACEROS AL NIQUEL.....	26
2.2.3.- ACEROS AL CROMO-NIQUEL.....	26

2.3.- EFECTOS DEL CROMO EN LOS ACEROS INOXIDABLES RESISTENTES AL CALOR.....	27
3.- SOLDADURA.....	31
3.1.- SOLDADURA DE ARCO.....	31
3.2.- ASPECTOS METALURGICOS DE LA SOLDADURA.....	35
3.2.1.- ZONA AFECTADA POR EL CALOR.....	35
PARTE EXPERIMENTAL.....	42
PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS.....	43
RESULTADOS OBTENIDOS.....	44
DISCUSION DE RESULTADOS	53
CONCLUSIONES.....	54
BIBLIOGRAFIA.....	55

INTRODUCCION

Los aceros inoxidables de alta temperatura como los HK, que contienen alto porcentaje de cromo y níquel, que permiten tener resistencia a la corrosión de alta temperatura, en diferentes procesos industriales como es: en la fabricación de productos del petróleo, así como en la industria del acero.

Los aceros inoxidables tipo HK se consideran como las aleaciones más idóneas para el servicio a la oxidación de alta temperatura, sin embargo hay que tomar en cuenta que son materiales que poseen diferentes tipos de estructuras y fases las cuales determinan las propiedades físicas y químicas en el servicio.

Estos aceros son normalmente reparados por soldadura en los casos de reparación, a través del corte mecánico y preparación de biselés para su unión.

La presente investigación consistió en determinar las propiedades de resistencia a la tensión y dureza, en aquella subzona de la zona afectada por el calor, por medio de la simulación en que consistió que un material nuevo a través de los tratamientos térmicos obtener una estructura semejante a la que se obtiene en la zona afectada por el calor cercana a la línea de fusión, después de un proceso de soldadura de multipaso. La metodología consistió en obtener una zona de afectación con la aplicación de varios cordones de soldadura, y posteriormente con varias muestras de los tratamientos térmicos la estructura semejante, para posteriormente aplicarlo en una probeta de ensayo a la tensión.

1. ACERO INOXIDABLE

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

Existen muchas versiones diferentes sobre el origen del acero inoxidable. Una de las más creíbles, afirma que un comerciante francés en chatarra se dio cuenta de que el tubo de un cañón permanecía brillante y limpio entre un montón de viejos y oxidados cañones de la primera guerra mundial. Aparentemente no había sido afectado por el tiempo y la intemperie. Las investigaciones revelaron que se le había agregado una cantidad excesiva de cromo al acero básico durante la fabricación de ese cañón en especial. Así, el acero inoxidable, cuna de las aleaciones más importantes que conoce el hombre fue descubierta casi por casualidad. Al principio se le llamó "acero sin herrumbre".

En la actualidad existen más de 30 aceros tipo inoxidables, más incontables aleaciones especiales.

Se considera que Guillet es el descubridor de las aleaciones Fe-Cr-Ni. Basado en la exploración de las propiedades mecánicas y metalúrgicas de estas aleaciones. Después en 1909 Giesen publicó un trabajo que le dió significado al entendimiento de las aleaciones Fe-Cr-Ni, desde ahí se han venido produciendo aceros especiales para un gran número de trabajos.

1.2 GENERALIDADES

El acero inoxidable es una aleación compuesta por Hierro (Fe) y Cromo (Cr). El hierro es el elemento fundamental de todos los aceros inoxidables. Sin

embargo, para hacer que el Fierro sea inoxidable, el Cromo debe ser por lo menos del 11.5% de la aleación. Se agregan otros elementos para proporcionar ciertas propiedades. Mientras que se emplea casi nueve veces más Fierro que Cromo, debemos notar que el Cromo es el elemento agregado indispensable, porque es él que da la resistencia a la corrosión.

Estos aceros tienen aplicaciones resistentes a la corrosión y al calor.

La propiedad de resistencia a la corrosión se debe a una película delgada, adherente, estable de óxido de Cromo o de óxido de Níquel que protege efectivamente al acero contra muchos medios corrosivos. La adición de Níquel a un acero al Cromo produce modificaciones en el material.

Existen tres tipos de aceros inoxidables que son:

- Aceros Inoxidables Martensíticos.
- Aceros Inoxidables Ferríticos.
- Aceros Inoxidables Austeníticos.

En el presente trabajo nos avocaremos únicamente al estudio de los aceros austeníticos fundidos, ya que dentro de éstos se encuentra el HK 40.

1.2.1 Aceros Austeníticos Inoxidables

Son los aceros inoxidables al Cromo-Níquel (tipo 3xx) que resultan austeníticos, son esencialmente no magnéticos en la condición de recocido y no endurecen por tratamiento térmico. El contenido total de Níquel y Cromo es de

por lo menos 23% Se pueden trabajar fácilmente en caliente o en frío cuando se toman precauciones adecuadas para que en forma rápida endurezcan por trabajo. El trabajo en frío les desarrolla una amplia variedad de propiedades mecánicas y en esta condición, el acero puede llegar a ser ligeramente magnético, son resistentes al impacto y difíciles de maquinar, a menos que contengan Azufre y Selenio (tipos 303 y 303Se).

Estos aceros tienen la mejor resistencia a altas temperaturas y a la formación de escamas de los aceros inoxidable. Su resistencia a la corrosión suele ser mejor que la de los aceros martensíticos y ferríticos.

REPRESENTACION DE LOS ACEROS AUSTENITICOS

La adición de Níquel hace más difícil la representación de los diagramas de equilibrio por ser ahora mayor el número de variables que intervienen.

La aleación de Hierro con 18% de Cromo sin Níquel ni Carbono tiene una sola fase alfa, que se encuentra en equilibrio a todas temperaturas. La adición de Níquel hace aparecer la fase gamma y existe una zona con 3 a 8% de Níquel en la que a elevada temperatura coexisten las fases alfa y gamma (Austenita), y luego, cuando el porcentaje de Níquel es superior al 8%, se llega a aleaciones que a elevada temperatura están constituidas sólo por la fase gamma (Austenita).

En las figuras 1.2.1. (a) y 1.2.1. (b) se ve la situación de las temperaturas críticas en los aceros Cromo-Níquel Austeníticos de 12 y 18% de Cromo, cuando después de ser calentados los aceros a elevada temperatura son

enfriados lentamente o cuando son enfriados al aire. Se observa que cuando se enfrían al aire (líneas de puntos), que es uno de los enfriamientos más frecuente en la práctica industrial, la transformación gamma-alfa se verifica a más baja temperatura que cuando el enfriamiento es indistintamente lento (línea continua). En el diagrama de la figura 1.2.1. (a), se observa que la mínima cantidad de Níquel que hay que añadir al acero de 12% de Cromo y bajo Carbono, para que después de ser enfriado al aire tenga la estructura austenítica, es 11% aproximadamente, y en la figura 1.2.1. (b), se ve que para que el acero de 18% de Cromo sea austenítico a la temperatura ambiente, debe tener de Níquel por lo menos 8% aproximadamente.

En la figura 1.2.1. (c), se señala de otra forma cuáles son los aceros Cromo-Níqueles bajos en Carbono que después de ser enfriados al aire desde elevadas temperaturas, conservan a la temperatura ambiente la estructura austenítica. Se ve que son austeníticos (zona rayada) entre otros los clásicos aceros 18-8 y 20-12.

En todos estos aceros el Níquel además de favorecer la formación de Austenita estable después de los enfriamientos al aire, sirve indirectamente para que estos aceros tengan gran ductilidad, tenacidad, resistencia a la deformación en caliente y gran resistencia a la corrosión que son características propias de la estructura austenítica. En realidad la acción del níquel es indirecta, ya que la mejor característica es debida a la deformación de una fase austenítica (Fierro gamma, con Cromo y Níquel en disolución) de gran inoxidableidad.

Como consecuencia de diversos estudios de carácter experimental que se han hecho de estos aceros, se ha visto, como ya se ha dicho antes, que con los

aceros inoxidables se obtienen mejores resultados cuando están constituidos por una sola fase, y en cada caso convenga, según sea la composición, obtener estructuras martensíticas, ferríticas o austeníticas, evitando la aparición de carburos o cualquier otro de estos constituyentes que se acaban de citar, porque la inoxidabilidad del acero queda disminuida.

Esto quiere decir que en general los aceros del primer grupo tienen la máxima resistencia a la corrosión cuando su estructura es martensítica, lo que se consigue después de un temple desde 950°-1000°C con enfriamiento en aceite y revenido a 200° C para eliminar tensiones. En estado recocido o con un revenido a 350°C ó 700°C por ejemplo, su resistencia a la corrosión queda disminuida. Los aceros del segundo grupo tienen la máxima resistencia a la corrosión cuando su estructura es ferrítica, y se consiguen muy buenos resultados después de sufrir un recocido de ablandamiento a unos 750° C para eliminar tensiones.

Finalmente, los aceros del tercer grupo tienen su máxima resistencia a la corrosión en estado austenítico y éste se alcanza por calentamiento a 950° - 1050° C y enfriamiento rápido en agua. Cuando estos aceros son sometidos a ciertos trabajos mecánicos en fríos, como el estirado o el laminado, o cuando son calentados a temperaturas variables de 500° a 700° C la austenita puede comenzar a transformarse en otros constituyentes y a desprenderse carburos, disminuyendo con ellos sensiblemente la resistencia a la corrosión.

Fig. 1.2.1. (a) Diagrama correspondiente a un enfriamiento lento (línea continua) y a enfriamientos al aire (línea interrumpida) de los aceros de 12% de Cromo y diversos porcentajes de Níquel.

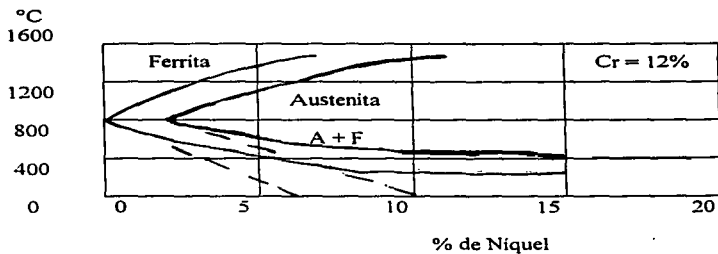
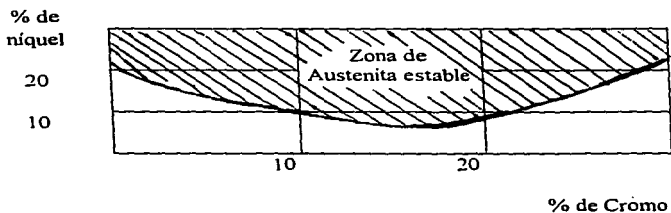


Fig. 1.2.1. (c) Las composiciones indicadas dentro de la zona rayada corresponden a los aceros que si después de calentados a elevada temperatura 1000° a 1100° son enfriados al aire conservan a la temperatura ambiente la estructura austenítica.



1.3 APLICACIONES

Una variedad de aleaciones binarias Níquel-Cromo y Níquel-Cromo-Fierro se emplean como aleaciones para resistencia eléctrica, algunas utilizadas como elementos eléctricos de calefacción para aparatos caseros y hornos industriales, elementos eléctricos de tostadoras, cafeteras, planchas, almohadillas, calentadoras, secadoras para pelo, y calentadores para agua, también se utilizan en reóstatos de alta resistencia para equipo electrónico y como canastas en los baños de ácido para limpiar superficies metálicas. Se utilizan para este tipo de trabajo por su resistencia a la oxidación. Se utilizan mucho en forma forjada y fundida para equipo de tratamiento térmico, piezas para horno, canastas para procesos de carburación y nitruración, y equipos que soportan temperaturas de hasta 1800° C.

Los aceros al 3.5% de Níquel con bajo contenido de Carbono se emplean extensivamente para cementación de engranes de transmisión, tornillos de bielas, pernos y seguros (chavetas).

Los aceros al 5% de Níquel proporcionan mayor tenacidad y se utilizan para aplicaciones de trabajo pesado como engranes de camiones, levas y cigüeñales.

Los aceros al Cromo, medio Carbono, son endurecibles en aceite y se utilizan para resortes, tornillos para motores, pernos, ejes. Mejora sus propiedades magnéticas y se utiliza en imanes permanentes.

Los aceros al Níquel-Cromo con 1.5% de Níquel y 0.6% de Cromo se utilizan para formar engranes helicoidales, pernos para pistón, etc. Para aplicaciones de trabajo pesado, como engranes para avión, flechas y levas, el contenido de

Níquel se aumenta a 3.5% y el de Cromo a 1.5% Estos aceros de contenido medio de Carbono se emplean en la manufactura de bielas automotrices y flechas de transmisión.

Se utilizan con gran frecuencia en la industria del petróleo.

2. EFECTOS DEL CROMO EN LAS ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR

2.1 ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR

Hasta estos días se han inventado tres clases de aleaciones fundidas resistentes al calor y tienen las siguientes características:

1a. Las que contienen de 8 a 30% de Cromo. Tienen baja resistencia mecánica a elevadas temperaturas pero excelente resistencia a la oxidación, con calentamiento uniforme y bajas cargas estáticas son usadas bajo condiciones altamente oxidantes.

2a. Las que contienen más de 10% de Cromo y más de 23% de Níquel, el contenido de Níquel es mayor que el contenido de Cromo. Son usadas tanto en condiciones de reducción como en oxidación para resistir grandes gradientes de temperatura.

DESCRIPCION

CLASE 1. Fierro - Cromo. Los tipos HA, HC y HD, están incluidos en este grupo. El tipo HA que es recomendado para usarse por arriba de 540 a 650°C y son fundiciones usadas en la industria del petróleo. Las aleaciones HC y HD son usadas en aplicaciones donde se toleran cargas moderadas por arriba de 650° C y donde son aplicadas cargas ligeras por arriba de 1050°C.

El tipo HD tiene mayor resistencia que el tipo HC a temperatura elevada porque tiene mayor contenido de Níquel. El HC y HD son útiles en atmósferas

que contienen alto Azufre y en aplicaciones donde las aleaciones que tienen alto contenido de Níquel no pueden ser usadas. Los usos en atmósferas y HD formarán fase sigma si se mantienen por largos periodos en el rango de temperaturas de 700° a 820°C.

CLASE 2. Fierro-Cromo-Níquel. Esta clase incluye las aleaciones HE, HF, HI, HK y HL, las cuales son parcial o totalmente austeníticas, tienen mayor resistencia a altas temperaturas que las aleaciones de clase 1. Son usadas en atmósferas reductoras u oxidantes que contienen cantidades moderadas en Azufre.

El tipo HE es para servicios por arriba de 1100° C, tienen excelente resistencia a la corrosión a altas temperaturas, tienen bajo contenido de Níquel, es útil en medios con muy alto Azufre. El tipo HF es similar en composición al CF con la diferencia que al contenido de Carbono es más alto, las fundiciones de estas aleaciones operan entre los 645° a 870° C. El tipo HH tiene alta resistencia mecánica y la corrosión a temperaturas por arriba de 1100° C. Estas propiedades las hacen unas aleaciones muy útiles.

El tipo HI es más resistente a la oxidación que el tipo HH y puede usarse arriba de 1180° C, es similar a la aleación HH en propiedades mecánicas. El grado HI puede usarse principalmente por arriba de 1150° C, el tipo HK es similar a una aleación HH totalmente austenítica; tiene alta resistencia a la oxidación y es una de las aleaciones fundidas resistentes a temperaturas arriba de 1035 ° C. Puede usarse en aplicaciones estructurales arriba de 1150° C pero no es recomendado para atmósferas con alto Azufre o donde existen choques térmicos.

La variedad HK-40 (0.35 a 0.45% de Carbono) es un estándar de tubería fundida enfriada por centrifugación que se usa en procesos petroquímicos y de refinación de petróleo. El tipo HL es semejante al tipo HK pero tiene mayor contenido de Carbono. La composición de esta aleación es de las más resistentes a la corrosión en atmósferas que tienen alto contenido de Azufre a temperaturas de 1000° C o superiores, es usado donde se requiere mayor resistencia que la del grado HE o que las aleaciones de la clase 1.

CLASE 3. Fierro-Níquel-Cromo. Incluyen las aleaciones HN, HF, HT, HU, HW y HX. Estas aleaciones contienen Níquel como elemento de aleación o como metal base y tienen una estructura austenítica estable que no es sensible a variaciones en composición como los grados de la clase 2, de Cromo. Este grupo de alto Níquel constituye el 40% de la producción total de fundiciones resistentes al calor. Pueden usarse a 1150° C; tienen buena resistencia en caliente, no se carborizan fácilmente y tienen buen servicio donde hay calentamientos y enfriamientos rápidos. Por su alto contenido de Níquel, no se recomienda su uso en atmósferas de alto contenido de Azufre.

DESCRIPCION DE ALEACIONES Fe-Cr-Ni

Las aleaciones con contenido de Fe-Cr-Ni son las siguientes: HD, HE, HF, HH, HK y HL. Estas aleaciones contienen de 19 a 32% de Cr, de 4 a 22% de Ni y de 0.2 a 0.6% de C y son predominante o completamente austeníticas en su microestructura, excepto para la aleación HD. Propiamente se pueden considerar aceros inoxidable puesto que son aleaciones base Fierro. No son

endurecibles por tratamiento térmico y son usualmente aplicadas en condición de fundición en atmósfera oxidantes, reductoras y de Azufre tolerado.

TIPO HD. Las aleaciones HD contienen nominalmente 29% Cr-6% Ni con 0.5% C máximo. El contratipo conformado es AISI tipo 327. La aleación HD es similar a la aleación Fe-Cr, HC en composición excepto por el contenido mayor de Niquel, el cual confiere resistencia a temperaturas elevadas de servicio. La aleación es adecuada para el uso en atmósferas con Azufre tolerado a causa del alto contenido de Cromo. Es normalmente usada en condición de fundición.

Esta aleación es ferrítica como las aleaciones Fe-Cr. Su microestructura es dúplex (Austenita en Ferrita) con precipitación de carburos ricos en Cromo. La aleación es endurecida y fragilizada a temperatura ambiente por la formación de fase sigma cuando es expuesta a temperaturas en el rango de 700 a 815° C por largos periodos. Una vez fragilizada, la ductilidad puede ser restaurada por calentamiento a 980° C mínimo seguido por un enfriamiento rápido por debajo de 650° C.

TIPO HE -. La aleación HE contiene nominalmente 29% CR-9%Ni con 0.20 a 0.50% C. El contratipo conformado es la aleación AISI 312. Su alto contenido de Cromo la hace absolutamente útil en atmósferas con alto contenido de Azufre. La aleación tiene excelente resistencia a la corrosión, resistencia mecánica moderada y buena ductilidad a temperaturas elevadas. La aleación HE es normalmente usada en forma de fundición.

La microestructura de la aleación es dúplex (Ferrita en Austenita) con precipitados de carburos ricos en Cromo. Aunque la aleación HE no es endurecible por tratamiento térmico, su ductilidad puede ser mejorada por solución de tratamiento térmico a 1095° C, seguido por un temple. La aleación es propensa a fragilización a temperatura ambiente por la formación de fase sigma cuando se expone por largos periodos a temperaturas entre 650 a 870° C.

TIPO HF-. La aleación contiene nominalmente 22% Cr-10% Ni, con 0.20 a 0.50% C. El contratipo conformado es la aleación AISI 302B. La composición de esta aleación es similar a la de las aleaciones resistentes a la corrosión 19% Cr-9% Ni excepto porque tiene mayor contenido de Carbono. La aleación HF es usada en condiciones de resistencia mecánica y corrosión a temperaturas de 650 a 870° C. El contenido de Cromo da resistencia a la oxidación a la temperatura de servicio. Los contenidos de Níquel y Carbono se necesitan para balancear el efecto de estabilización de Ferrita por la adición de Cromo, ya que la microestructura de la aleación debe ser austenítica.

TIPO HH-. La aleación HH contiene nominalmente 27% Cr-12% Ni con 0.20 a 0.50% C. El contratipo conformado es la AISI 309. La aleación HH posee alta resistencia mecánica y excelente resistencia a la corrosión a temperaturas por arriba de 1100° C y como consecuencia es la más ampliamente usada de las aleaciones resistentes al calor. Esta aleación es adecuada para aplicaciones en medios oxidantes que contienen aires o gases normales de combustión. La ductilidad y resistencia a choques térmicos de la aleación son seriamente debilitadas bajo circunstancias donde se absorbe Carbono del medio de servicio.

Esta aleación puede ser austenítica (tipo II), y parcialmente ferrítica (tipo I). La aleación es usada en estas dos situaciones, esto depende de los requerimientos de resistencia y ductilidad para el servicio. Se considera que la aleación HH ferrítica se adapta mejor en donde existen cambios de temperatura o niveles de esfuerzo aplicados en el servicio, y la austenítica en donde se requiere resistencia al deslizamiento óptimo o donde hay ciclos de temperaturas dentro del rango de formación de la fase sigma.

La microestructura de la aleación HH es básicamente austenítica como fundición pero puede ser parcialmente ferrítica. También podemos tener presentes en esta aleación los carburos ricos en Cromo y fase sigma en cantidades que dependen de la composición e historia térmica. Esta aleación no puede ser endurecida por tratamiento térmico.

TIPO HI-. Contiene nominalmente 29% Cr-15% Ni con 0.20 a 0.50%. La aleación no tiene contratipo. Comparada con la HH ésta tiene mayor contenido de Cromo y Níquel. El mayor contenido de Cromo hace a este grado más resistente a la oxidación que la HH y es adecuada para usos por arriba de 1175° C. La composición de la aleación puede ser balanceada de tal manera que sea parcialmente ferrítica o completamente austenítica, pero es usualmente producida con microestructura austenítica. Así la microestructura como fundición de la aleación HI normalmente consiste de carburos eutécticos ricos en Cromo con una matriz austenítica.

Si envejecemos el material en el rango de temperaturas de 760 a 870° C, precipitarán carburos de Cromo finamente dispersos, los cuales aumentan la resistencia y reducen la ductilidad de la aleación a temperatura ambiente.

Después de que estos carburos son disueltos, permanecen en solución a temperaturas de servicio arriba de 1095° C. La aleación HI fundida no es endurecible por tratamiento térmico y es normalmente usada en la condición de fundición.

TIPO HK- La aleación HK contiene nominalmente 27% Cr-19% Ni con 0.20 a 0.60% C. El contratipo conformado es la aleación AISI 310. El contenido de Cromo de esta aleación es suficiente para dar resistencia a la corrosión y sin controlar, en condiciones oxidantes o de reducción a temperatura arriba de 1150°. Dado que el contenido de Níquel le da resistencia a la fluencia, la aleación es usada en aplicaciones que requieren resistencia a temperaturas arriba de 1050° C. No es recomendada para servicios con choques térmicos severos.

Es deseable que esta aleación sea totalmente austenítica en su microestructura, es posible tener microestructuras parcialmente ferríticas, sin embargo, dentro de los rangos de composición química especificada para esta aleación, la microestructura HK como fundición normalmente consiste de una matriz austenítica, con carburos eutécticos masivos en los bordes de grano de austenita.

Por envejecimiento se tienen precipitados de carburo finos ricos de Cromo dentro de la Austenita, los cuales contribuyen a la resistencia, al deslizamiento de la aleación y los cuales a temperaturas más altas de servicio tienden a aglomerarse con el tiempo. Los carburos laminares alternan con láminas de Austenita en una estructura semejante a la perlita, también son observados en la aleación.

La formación de fase sigma (frágil) ocurre rápidamente en la aleación HK que contiene Ferrita a temperaturas cerca de 815° C y puede también formarse directamente desde Austenita retenida en el rango de temperaturas de 760 a 870° C.

Las resistencias a la termofluencia y ruptura por tensión de la aleación HK son dependientes del contenido de Carbono, el contenido de Carbono entre 0.20 a 0.60, dan mayor propiedad mecánica, pero menor ductilidad a temperatura ambiente después del envejecimiento. Este tipo de aleación tiene tres grados diferentes: HK-30, HK-40, HK-50, para los cuales el número denota el valor medio de un $\pm 0.05\%$ del rango de Carbono. De los tres grados el más usado es el HK-40. La aleación no puede ser endurecida por tratamiento térmico y se usa como fundición.

TIPO HL-. La aleación HL contiene nominalmente 31% Cr-21% Ni con 0.20 a 0.60% C. No tiene contratipo, es similar a la HK, pero tiene mayor contenido de Cromo. Como consecuencia la aleación HL tiene mayor resistencia a la corrosión por gases calientes y es la más resistente de las aleaciones Fe-Cr-Ni a la corrosión en atmósferas con alto contenido de Azufre, por arriba de 980° C. Posee resistencia mecánica a altas temperaturas y es útil en medios oxidantes severos. Normalmente es austenítica.

DESCRIPCION DEL HK.

Nombre comercial **HK-30, 40 o 50**

Especificaciones

AMS Fundido de arena: 5365; fundición invertida 5366

ASTM Fundición HK, A-297; HK-30 y HK-40, A-608 y A351;

HK-50, A-567

SAE 70310

Composición química

Limites de la composición

**(a) 0.20 a 0.6% C; 20% máx Mn; 2% máx de Si; 0.04% de P;
0.04% Mo**

(b) 24 a 28% Cr; 18 a 22% Ni; resto hierro.

Propiedades mecánicas

Como fundición: resistencia a la tensión 75 Ksi (517 MPa); límite elástico 50 Ksi (345 MPa); elongación 17% en 2 in.

Envejecido 24 Hrs. a 760° C y enfriado en aire: resistencia a la tensión 80 Ksi (586 MPa); límite elástico 50 Ksi (345 MPa), elongación 10% en 2 in. Mínimo para ASTM (A297), resistencia a la tensión 65 Ksi (448 MPa), límite elástico 45 Ksi (241 MPa), elongación 10% en 2 in. Ver figura 2.1. (a).

Dureza. Como fundición: 170 HB. Envejecido 24 hrs. a 760° C enfriado en aire: 190 HB. Fig. 2.1. (b).

Módulo de Poisson 0.30 Fig. 2.1. (c).

Fig. 2.1. (a) EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CORTO TIEMPO EN LAS PROPIEDADES DE TENSION DE LA ALEACION.

H K - 40

Resistencia Ksi

Elongación

reducción de área %

Temperatura °C

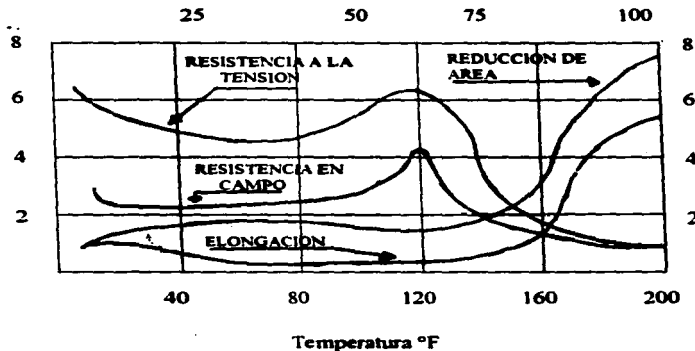


Figura 2.1. (b) EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA DUREZA DE LA ALEACION H K - 40

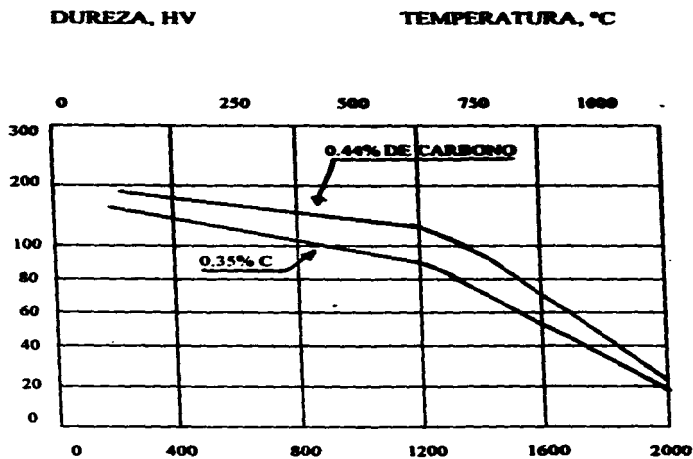
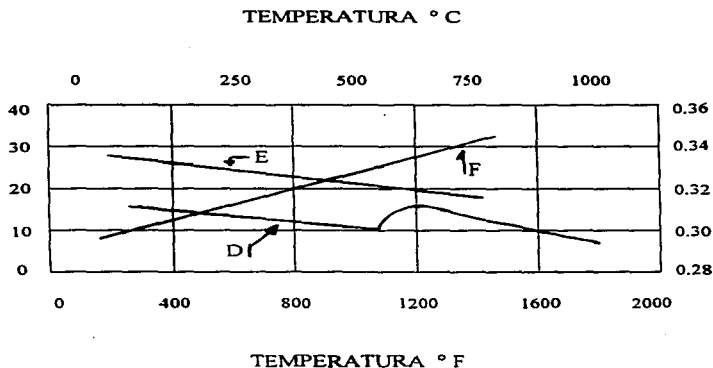


FIGURA 2.1. (c) EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL MODULO ELASTICO Y RADIO DE POISSON DE GRANO EQUIAXIAL DE LA ALEACION H K - 40



- A = MODULO 1e6 PSI
- B = RADIO DE POISSON
- D = MODULO SECANTE
- E = MODULO DE YOUNG
- F = RADIO DE POISSON

ESTRUCTURA

Microestructura. La aleación HK es austenítica estable en cualquier rango de temperatura. Como fundición contiene carburos masivos presentes como islas o redes dispersas. Después de un tiempo a temperatura de servicio, precipitan carburos granulares finos, dando a la aleación alta resistencia al deslizamiento. Las composiciones pueden desequilibrarse, teniendo como resultado Ferrita, la cual puede transformarse en fase sigma si la Austenita es retenida a 815° C por un corto tiempo.

Propiedades térmicas:

Punto de fusión 1400° C

Calor específico: 502 J (Kg-K (0.12 BTU/lb°F) a 21°C)

Propiedades eléctricas:

Resistencia eléctrica 900 nft3m a 21°C

Propiedades magnéticas: 1.02

Propiedades químicas

Comportamiento de corrosión general. Las aleaciones HK ofrecen buena resistencia a la corrosión por gases calientes, incluyendo gases sulfurosos en condiciones de oxidación y reducción (aunque el HC, HE y HI son más resistentes en gases oxidantes). Son usados también en aire, Amoniacó, Hidrógeno y sales neutras fundidas.

Características de fabricación

Maquinabilidad

Tratamiento térmico. La aleación HK no puede ser endurecido por tratamiento térmico, por transformación martensítica.

Soldabilidad. Arco de metal protegido y arco de gas inerte. Soldando con arco de metal protegido es más satisfactorio en aplicaciones a alta temperatura. Los electrodos cubiertos de cal de composición similar (Aws E310-15 de alto Carbono) son usados para soldar con arco de metal protegido. El alambre desnudo desde 0.8 a 2.3 mm. (0.0325 a 0.094 in.) de diámetro es usado para el metal de aporte en procesos de arco de metal de gas y arco de Tungsteno de gas. No requiere tratamiento térmico después de soldar.

2.2 PROPIEDADES DEL CROMO Y DEL NIQUEL

2.2.1 Aceros al Cromo

El Cromo es un elemento de aleación menos costoso que el Niquel, y además forma carburos simples ($Cr_7 Cr_3$, $Cr_4 C$) o carburos complejos ($(FeCr)_3 C$). Estos carburos tienen alta dureza y buena resistencia al deterioro. El Cromo es soluble hasta en 13% de Fierro gamma y tiene solubilidad ilimitada en Ferrita alfa. En los aceros de bajo Carbono, el Cromo tiende a entrar en la solución incrementando de esta manera la resistencia y la tenacidad de la Ferrita. Cuando el Cromo está presente en cantidades que exceden el 5%, las propiedades a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión del acero se ven ampliamente mejoradas.

Los aceros aleados de bajo Carbono generalmente se carborizan. La presencia del Cromo aumenta la resistencia al desgaste de la superficie endurecida, pero la tenacidad en la parte interna no es tan alta como en los aceros al Níquel-medio Carbono, estos aceros son endurecibles en aceite. Un acero aleado al alto Carbono (1%) y al alto Cromo (1.5%) se caracteriza por la gran dureza y resistencia al desgaste. Un tipo especial de acero al Cromo con 1% de Carbono y de 2 a 4% de Cromo tiene excelentes propiedades magnéticas y se emplea para imanes permanentes.

Los aceros al alto Cromo que contienen más de 10% de Cromo son notables por su alta resistencia a la corrosión.

2.2.2. Aceros al Níquel

El Níquel es uno de los elementos de aleación de los aceros. Tiene ilimitada solubilidad en Fierro gamma y es altamente soluble en Ferrita, contribuyendo a la resistencia y tenacidad de esta fase. Además, disminuye las temperaturas críticas del acero, amplía el intervalo de temperatura para un tratamiento térmico exitoso, retarda la descomposición de la Austenita y no forma carburos. La estructura perlítica es más fina y tenaz que la de los aceros no aleados porque se forma a una temperatura mucho menor. Esto permite obtener ciertos niveles de resistencia con un contenido de Carbono menor, incrementándose la tenacidad, plasticidad y resistencia a la fatiga.

2.2.3. Aceros al Cromo-Níquel

En estos aceros, la razón de Níquel a Cromo es de aproximadamente 2.5 partes de Níquel por una parte de Cromo. Una combinación de los elementos de

aleación generalmente presenta algunas de las propiedades características de cada uno. El efecto del Níquel de aumentar la tenacidad y ductilidad se combina con el efecto del Cromo de mejorar la templabilidad y resistencia al desgaste. Es importante recordar que el efecto combinado de dos o más elementos de aleación sobre la profundidad y distribución de la dureza suele ser mayor que la suma de los efectos de los mismos elementos de aleación utilizados por separado.

Los aceros aleados al Níquel-Cromo de bajo contenido de Carbono se carburizan. El Cromo proporciona resistencia al desgaste de la superficie endurecida, mientras que ambos elementos de aleación mejoran la tenacidad de la parte interna.

2.3 EFECTO DEL CROMO EN LOS ACEROS INOXIDABLES RESISTENTES AL CALOR

Los aceros inoxidables son unas aleaciones caracterizadas por su resistencia a la corrosión ya sea a temperatura ambiente o altas temperaturas. Los aceros inoxidables muestran pasividad, lo cual los vuelve adecuados para ser usados en medios en los cuales los aceros inoxidables no responden. Las características de un acero inoxidable son impartidas más por el Cromo que por cualquier otro elemento. En algunos aceros inoxidables, la inoxidables es impartida solamente por la adición de Cromo. Hay otros elementos de aleación que ayudan al efecto del Cromo en muchos medios e imparten propiedades especiales.

La presencia del Cromo aumenta la resistencia al desgaste de la superficie endurecida, pero en la parte interna no tiene mucha tenacidad.

Cuando se le agrega al Fierro el 11.5% o más de Cromo, se forma espontáneamente en las superficies expuestas al aire una delgada, plateada y altamente adherente capa de óxido de Cromo, esta fina película actúa como una barrera para retardar futura oxidación o corrosión.

La solubilidad sólida del Cromo en Fierro alfa es ilimitada. Su influencia en la Ferrita es la siguiente: La endurece ligeramente, aumenta la resistencia a la corrosión.

El Cromo influye en la Austenita aumentando la templabilidad moderadamente.

Los aceros inoxidable ferríticos tienen baja resistencia al impacto y son relativamente notch-sensitive a temperatura ambiente, especialmente cuando el Cromo está arriba de 20 a 21%. De 26 a 27% de Cromo, la resistencia al impacto no es mayor de 2 a 3 ft-lb (2.7 a 4.1J) a temperatura ambiente.

El concepto de pasividad el cual expresa, que las aleaciones pasivas y los elementos de transición como el Cromo y Níquel, llegan a ser más si se ponen en contacto con un agente oxidante como el ácido nítrico o una capa de átomos de Oxígeno.

En resumen podemos concluir que las funciones principales del Cromo son: aumenta la resistencia a la corrosión y oxidación, aumenta la templabilidad, añade resistencia a elevadas temperaturas, resiste la abrasión y al desgaste.

TABLA 2.1. PROPIEDADES MECANICAS REPRESENTATIVAS A TEMPERATURAS ELEVADAS POR LARGO TIEMPO DE ALEACIONES FUNDIDAS RESISTENTES AL CALOR.

Aleación	Esfuerzo a 760° (1400°F)								Esfuerzo a 932° (1800°F)							
	Mínimo % de deslizamiento 0.0001 %/h		1% de elongación total 100.000h		Ruptura en				Mínimo porcentaje de deslizamiento 0.0001 %/h		1% de elongación total 100.000h		Ruptura en			
	kgf / Tón/m ²		kgf / Tón/m ²		kgf / Tón/m ²		kgf / Tón/m ²		kgf / Tón/m ²		kgf / Tón/m ²		kgf / Tón/m ²		kgf / Tón/m ²	
	kgf	Tón/m ²	kgf	Tón/m ²	kgf	Tón/m ²	kgf	Tón/m ²	kgf	Tón/m ²	kgf	Tón/m ²	kgf	Tón/m ²	kgf	Tón/m ²
NA	16.0	110			27.0	168			0.4	3			0.6	4		
NC	1.3	9			2.3	15			0.9	6			2.3	17		
ND	3.8	24			7.0	48										
NE	4.0	28			11.0	76			1.4	10			2.5	17		
NF	6.8	47	4.4	30	9.1	63	6.1	42								
NH	6.3	43	2.0	14	8.0	55	4.8	33	2.1	14			1.6	11	0.9	6
NI	6.5	46			8.5	59			1.9	13			2.6	18		
NK	10.2	70	6.3	43	12.0	83	8.8	61	2.5	17	0.9	6	2.8	19	1.7	12
NL	7.0	48			15.0	103			2.2	15			8.2	58		
NN									2.4	17	1.1	8	3.4	23	2.1	14
NP									2.8	19	2.1	14	3.6	25	2.2	15
NT	8.0	55			12.0	83	8.4	58	2.0	14			2.7	19	1.7	12
NU	8.5	59							2.2	15			2.9	20	1.8	12
NV	6.0	41							1.4	10			2.6	18		
NW	6.4	45			7.8	54			1.6	11			2.7	19		

**TABLA 2.2 COMPOSICION QUIMICA DE LAS ALEACIONES
FE-NI-CR RESISTENTES AL CALOR Y LA CORROSION.**

Concentración de elementos, %											
Aleación	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S	C	Fa	Other	
Aleaciones Resistentes a la corrosión											
Fe-Cr-Ni											
grupo:											
CD-4MCu	25,0-26,5	4,75-6,0	1,75-2,25	1,03m	1,00m	.04m	.04m	0,04m	Bal	2,75-3,25Cu	
CE-30	26,0-30,0	8,0-11,0		2,00m	1,50m	.04m	.04m	0,30m	Bal		
CF-3	17,0-21,0	8,0-12,0		2,00m	1,50m	.04m	.04m	0,03m	Bal		
CF-6	18,0-21,0	8,0-11,0		2,00m	1,50m	.04m	.04m	0,02m	Bal		
CF-20	18,0-21,0	8,0-11,0		2,00m	1,50m	.04m	.04m	0,02m	Bal		
CF-3M	17,0-21,0	9,0-13,0	2,0-3,0	1,50m	1,50m	.04m	.04m	0,03m	Bal		
CF-6M	16,0-21,0	9,0-12,0	2,0-3,0	1,50m	1,50m	.04m	.04m	0,02m	Bal		
CF-12M	18,0-21,0	9,0-12,0	2,0-3,0	2,00m	1,50m	.04m	.04m	0,12m	Bal		
CF-8C	18,0-21,0	9,0-12,0		2,00m	1,50m	.04m	.04m	0,05m	Bal	1,0C5m	
CF-16F	16,0-21,0	9,0-12,0	1,50m	2,00m	1,50m	0,17m	.04m	0,16m	Bal	0,20-0,35Se	
CG-8M	16,0-21,0	9,0-13,0	3,0-4,0	1,50m	1,50m	.04m	.04m	0,08m	Bal		
CH-20	22,0-26,0	12,0-15,0		2,00m	1,50m	.04m	.04m	0,20m	Bal		
CK-20	23,0-27,0	19,0-20,0		1,75m	1,50m	.04m	.04m	0,20 m	Bal		
Fe-Ni-Cr											
grupo:											
CN-7M	19,0-22,0	27,5-30,5	2,0-3,0	1,50m	1,50m	0,04m	0,04m	0,07m	Bal	3,0-5,0Cu	
Aleaciones Resistentes al Calor											
Fe-Cr-Ni											
grupo:											
RD	26,0-30,0	4,0-7,0	0,05m	2,00m	1,50m	0,04m	0,04m	0,50m	Bal		
HE	26,0-30,0	8,0-11,0	0,05m	2,00m	2,00m	0,04m	0,04m	0,20-0,50	Bal		
HF	19,0-23,0	9,0-12,0	0,05m	2,00m	2,00m	0,04m	0,04m	0,20-0,40	Bal		
HH	24,0-28,0	11,0-14,0	0,05m	2,00m	2,03m	0,04m	0,04m	0,20-0,50	Bal	0,2Nm	
HI	26,0-30,0	14,0-16,0	0,05m	2,00m	2,00m	0,04m	0,04m	0,20-0,50	Bal		
HK	24,0-28,0	16,0-22,0	0,05m	2,00m	2,00m	0,04m	0,04m	0,20-0,60	Bal		
HL	28,0-32,0	18,0-22,0	0,05m	2,00m	2,00m	0,04m	0,04m	0,20-0,60	Bal		
Fe-Ni-Cr											
grupo:											
HN	19,0-23,0	23,0-27,0	0,05m	2,00m	2,00m	0,04m	0,04m	0,20-0,50	Bal		
HP	24,0-28,0	33,0-37,0	0,05m	2,00m	2,00m	0,04m	0,04m	0,35-0,75	Bal		
HT	15,0-19,0	33,0-37,0	0,05m	2,50m	2,00m	0,04m	0,04m	0,35-0,75	Bal		
HU	17,0-21,0	37,0-41,0	0,05m	2,50m	2,00m	0,04m	0,04m	0,35-0,75	Bal		
HW	10,0-14,0	58,0-62,0	0,05m	2,50m	2,00m	0,04m	0,04m	0,35-0,75	Bal		
HX	15,0-19,0	64,0-68,0	0,05m	2,50m	2,00m	0,04m	0,04m	0,35-0,75	Bal		

3. SOLDADURA

3.1. SOLDADURA DE ARCO

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más amplia aceptación como el mejor, económico, natural y práctico para unir metales. En el proceso de soldadura manual por arco que es de uso común, el soldador obtiene un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo y ajusta la corriente eléctrica para "hacer saltar el arco", es decir, para crear una corriente intensa que salte entre el electrodo y metal. Enseguida mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que ha de soldar, dando suficiente tiempo para que el calor del arco funda el metal. El metal fundido, procedente del electrodo o metal de aporte, se deposita en la junta y junto con el metal fundido de los bordes, se solidifica para formar una junta sólida. El soldador selecciona el electrodo (metal de aporte) que ha de usar para producir el arco de acuerdo con las especificaciones del trabajo (Figura 3.1. (a)).

Existen varios procedimientos de soldadura de arco. La soldadura por arco de carbón es la primera técnica moderna de soldadura.

En este proceso se establece un arco entre un electrodo de Carbón puro y la pieza de trabajo conectada a tierra o entre dos electrodos de Carbón que casi se unen cerca de la superficie por soldar. Los electrodos de Carbón no se consumen en el proceso. Si se necesita metal de aporte para realizar la soldadura, deben usarse electrodos metálicos para soldar. En la actualidad,

empero, el proceso del arco de Carbón se aplica primordialmente para cortar o ranurar metales.

Al proceso del arco de Carbón le siguió rápidamente el desarrollo de la soldadura por arco metálico, en la cual se utiliza una varilla de metal consumible como electrodo. Al principio los electrodos eran varillas metálicas desnudas, y esto causaba problemas significativos para la estabilización del arco. El desarrollo de los recubrimientos en los electrodos, conocidos comúnmente como fundente, resolvió en gran parte los problemas de estabilización del arco, y condujo a lo que se conoce como soldadura de arco metálico protegido, que es el proceso eléctrico de utilización más amplia. Al calentarse, el arco y a la soldadura. El gas protector impide que el Oxígeno y el Nitrógeno del aire formen con el metal soldado óxidos y nitruros debilitadores. El desarrollo del proceso manual de arco metálico protegido pronto se aplicó a las máquinas soldadoras semiautomáticas y automáticas.

FIGURA 3.1. (a). PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO

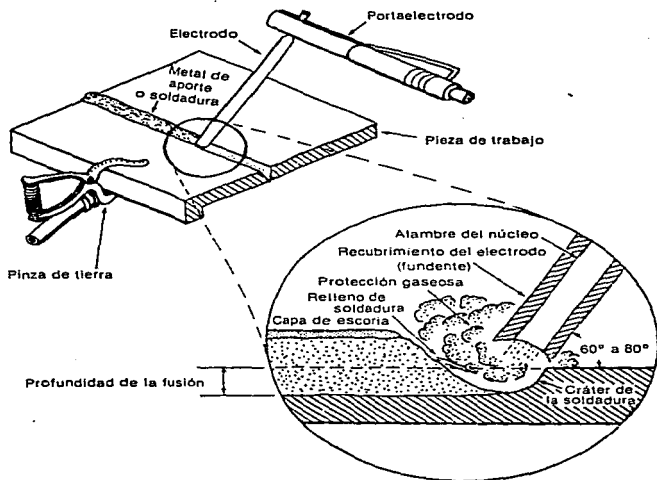
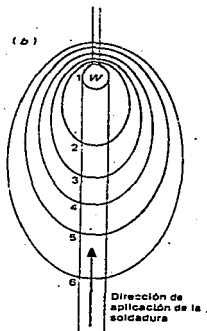
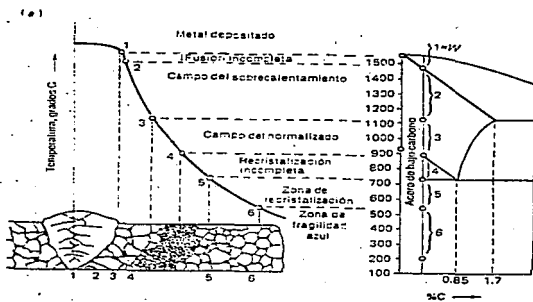


FIGURA 3.1. (b). SOLIDIFICACION PROGRESIVA DEL METAL FUNDIDO EN UN CORDON DE SOLDADURA.

A) Curva de enfriamiento, con expresión de las diferentes estructuras.

B) Vista superior del cordón de soldadura (W) y líneas isotermas en torno al cordón.



3.2 ASPECTOS METALURGICOS DE LA SOLDADURA

3.2.1. Zona afectada por el calor

Los aspectos metalúrgicos de lo que tiene lugar en la zona de la soldadura durante el enfriamiento difieren algo de los que se observan durante el enfriamiento de una pieza fundida.

En la soldadura el metal fundido se solidifica en cuestión de segundos. La cantidad de metal rara vez excede de una pulgada cúbica. La fuente de calor y el charco de metal fundido tienen una temperatura considerablemente más elevada que en los hornos de fusión. Como resultado del enfriamiento rápido del charco de soldadura, las reacciones químicas que se inician en el metal fundido y en la escoria no tienen tiempo para completarse.

La solidificación del metal fundido en el pocillo de soldadura se ilustra en forma de diagrama en la figura 3.1. (b). Al avanzar la formación del cordón, la temperatura del pocillo desciende, debido a la absorción del calor hacia el metal base y a la radiación hacia la atmósfera del ambiente y el metal se solidifica.

Los granos aparecen primero en la línea de fusión, en donde la temperatura es relativamente baja, y crecen con rapidez diferente, porque al aumentar de tamaño y al hacer presión los cristales unos contra otros, cada uno actúa de acuerdo con el estado de su crecimiento. Sin embargo, los granos en crecimiento pueden empujar hacia afuera las inclusiones no metálicas, hasta la superficie de la soldadura. Esta es la razón por la que en la soldadura que se aplica hacia arriba, la escoria aparece sobre la superficie de la soldadura y no

flotando hacia la raíz del cordón. No se trata de flotación en absoluto, sino de un estado en el que el material no metálico es forzado hacia afuera del metal líquido al comenzar a formarse los cristales y a hacer presión unos contra otros.

La solidificación uniforme del pocillo de metal se altera por refusión cuando se aplican pasadas subsecuentes. Esto puede resultar en bolsas de metal fundido en las que se retarda el crecimiento de los granos. Estas regiones tienen, por tanto, probabilidades de tener inclusiones de escoria (fig. 3.1. (c)). Si la relación de aspecto de la ranura de la soldadura es menor de la unidad (de mayor profundidad que su anchura), las bolsas de metal fundido que se forman las últimas se encontrarán en el centro de la sección transversal de la soldadura (fig. 3.1 (d)), siendo posible allí la formación de acumulaciones de escoria, gas y cosas semejantes. En una ranura que es más ancha que profunda (relación de aspecto mayor que la unidad), las bolsas de metal fundido que se forman al final (fig. 3.1 (e)) estarán en la parte media de la superficie de la soldadura, eliminándose todas las impurezas del metal de la soldadura.

La porción del metal madre que está inmediatamente adyacente a la soldadura recibe el nombre de zona cercana a la soldadura. Como la estructura de esta zona es alterada por el calor de la soldadura, recibe también el nombre de zona afectada por el calor (ZAC).

La figura 3.1. (f), muestra algunas alteraciones que ocurren en la estructura de la zona afectada por el calor en un acero con bajo contenido de Carbono. Adyacente a la soldadura se encuentra una zona de fusión incompleta (1) en la que el metal se calienta hasta una temperatura elevada y se forman granos gruesos. Al alejarse de la soldadura (2), disminuyen la temperatura y el tamaño

de grano. En el campo de normalización (3) el grano es fino, ya que el tiempo de calentamiento no es lo suficientemente largo para que se produzca crecimiento entre los granos austeníticos, y el enfriamiento subsecuente expulsa los granos finos de perlita y ferrita. El campo de normalización va seguido por una zona de recristalización incompleta (4), en los que los granos de perlita se descomponen en granos aún más finos. La zona de recristalización (5) se caracteriza por la recuperación de los granos deformados por rodado. Las alteraciones estructurales que ocurren en el área afectada por el calor varían generalmente con el contenido de Carbono y de elementos de aleación en un acero.

Como la estructura de la zona cercana a la soldadura varía de un lugar a otro, el metal de la zona afectada por el calor también varía en cuanto a su estructura y propiedades mecánicas. En el área de normalización del metal madre o de base. En el área sobrecalentada en la que el grano es grueso, el metal pierde algo de su ductilidad y especialmente su resistencia al impacto. La zona afectada por el calor muestra también cambios de dureza especialmente en el caso de los aceros sensibles al tratamiento térmico. Un incremento en la dureza va acompañado generalmente por un aumento en la fragilidad y una reducción en la ductilidad.

Debe señalarse que al soldar aceros simples con bajo contenido de Carbono, los cambios estructurales que ocurren en la zona cercana a la soldadura no afectan apreciablemente la resistencia de las piezas soldadas.

Figura 3.1 (c). SECCION TRANSVERSAL DE DOS CORDONES DE SOLDADURA EN LOS QUE SE APRECIAN INCLUSIONES DE ESCORIA.

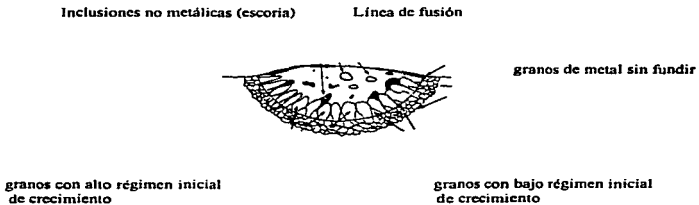


FIGURA 3.1. (d). SECCION TRANSVERSAL DE SOLDADURA CON INCLUSIONES ATRAPADAS



FIGURA 3.1. (e) SECCIÓN TRANSVERSAL DE SOLDADURA EN DONDE HAN SIDO EXPULSADAS LAS INCLUSIONES.

forma correcta de la soldadura



FIGURA 3.1. (f). DIAGRAMA DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR DEL ACERO CON BAJO CONTENIDO DE CARBONO.

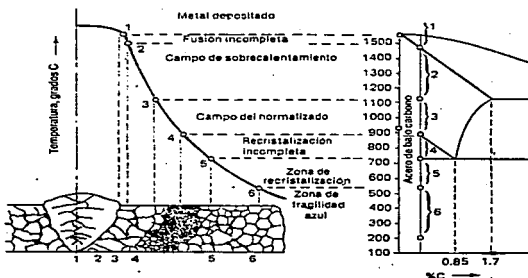


Tabla I.- Pruebas de dureza de las probetas tratadas Térmicamente a 1230 °C y 1250 °C durante 40 y 60 minutos cada una de ellas. Sus resultados son los siguientes:

EVENTO	40 min		60 min	
	1230 °C	1250 °C	1230 °C	1250 °C
1	204	176	219	219
2	165	204	204	219
3	189	189	204	204
4	219	204	204	219
5	204	189	204	189
6	204	189	189	189
7	204	189	204	204
8	219	189	189	204
9	189	189	189	204
10	204	189	204	189
11	204	189	176	204
12	189	189	189	219
13	204	204	219	219
14	219	219	204	219
15	204	189	189	189
16	189	204	204	219
17	189	189	189	189
18	204	204	189	165
19	204	189	204	176
20	219	189	189	219
PROMEDIO	201.3	193.6	198.1	202.9

Tabla II.- Dureza del material nuevo sin uso y sin tratamiento térmico, con dureza Vickers 2.

EVENTO	MATERIAL NUEVO
1	176
2	209
3	189
4	176
5	189
6	189
7	189
8	176
9	189
10	189
11	189
12	189
13	189
14	189
15	204
16	165
17	189
18	189
19	204
20	204
PROMEDIO	189.1

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo de la investigación

Es determinar si existen cambios estructurales mecánicos significativos en una zona específica de la zona afectada por el calor cercana a la línea de fusión de un acero tipo HK.

Metodología.- Muestras de aproximadamente $10 \times 5 \times 1.5$ cm. se soldaron con unión para obtener una zona de afectación por el calor. Posteriormente se determinó su estructura con la metalografía..

Una vez obtenida la información de la primera parte, se procedió a fabricar muestras de $1 \times 1 \times 1$ cm., y con ayuda de los tratamientos térmicos se obtuvieron las estructuras semejantes, para que posteriormente, se fabricaran probetas para ensayarse a la tensión.

PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS

1.- El primer experimento fue para obtener la zona de afectación a través de muestras del acero tipo HK-40, las cuales se prepararon y soldaron con electrodo revestido tipo A.W.S. 310, en las condiciones de amperaje, voltaje y velocidad de avance previamente establecidas. Posteriormente se prepararon para su estudio.

2.- El segundo experimento consistió en elaborar muestras que se trataron térmicamente para obtener la estructura semejante a la de la zona afectada por el calor cercana a la línea de fusión, las cuales se controlaron con metalografía y toma de durezas.

Las muestras representativas fueron las que se trataron a:

1230 °C	durante 40 min.	enfriada en agua
1250 °C	durante 40 min	enfriada en agua
1230 °C	durante 60 min	enfriada en agua
1250 °C	durante 60 min	enfriada en agua.

3.- El tercer experimento consistió en la fabricación de probetas para ser tratadas térmicamente y ensayadas a la tensión, una vez determinada la temperatura a la cual se obtienen las propiedades semejantes a la de la subzona de la zona afectada por el calor.

RESULTADOS OBTENIDOS

1.- Del primer experimento, la estructura obtenida se puede ver en la fotografía 1, donde se puede observar la zona de afectación, la estructura dendrítica del metal base, así como una zona de cristales pequeños equiaxiales.

La fotografía 2 nos muestra los pequeños cristales equiaxiales semiredondeados, en cuyos bordes existen carburos de cromo masivos con carburos eutécticos.

2.- Del segundo experimento, de las temperaturas óptimas obtenidas, las muestras presentaron las siguientes estructuras :

La fotografía 3 nos muestra la estructura obtenida de la temperatura de 1230 °C y 40 min de permanencia, la cual consiste de : Cristales de austenita, con carburos de cromo intercrystalinos y transcristalinos. La fotografía 4 nos muestra la parte intercrystalina a grandes aumentos y se pueden ver cristales eutécticos, con de carburos de cromo intercrystalinos.

La fotografía 5 nos muestra la estructura de la probeta que se trató a 1250 °C y 40 min de permanencia, en la que se pueden observar cristales de austenita, con carburos de cromo intercrystalinos y pocos cristales transcristalinos de carburo de cromo, la siguiente fotografía, la No 6, nos muestra cristales de austenita con cristales de carburos de cromo intercrystalinos en forma de colonias muy pequeñas.

La fotografía 7 nos muestra la estructura de austenita de la probeta a 1230 °C y 60 min. de permanencia, con carburos intercrystalinos y pocos carburos transcrystalinos.

La fotografía 8 nos muestra la estructura austenítica con carburos intercrystalinos muy finos con placas de los mismos.

La fotografía 9 nos muestra la estructura austenítica con carburos intercrystalinos y prácticamente sin carburos transcrystalinos de la muestra tratada a 1250 °C y 60 min de permanencia.

La fotografía 10 nos muestra la estructura austenítica con las pequeñas placas de carburos de cromo intercrystalina.

La tabla I nos muestra las durezas tomadas a la estructuras obtenidas de los tratamientos térmicos de 1230 °C a 40 y 60 min., así como de las que se trataron a 1250 °C las mismas temperaturas con los mismos tiempos de permanencia.

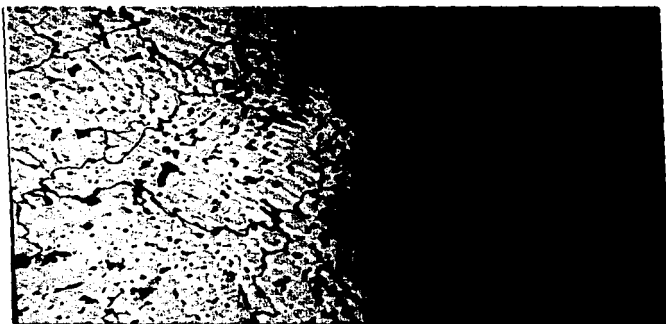
La tabla II muestra las propiedades de dureza del material base sin usar del acero HK-40, así como su estructura dendrítica de austenita con carburos interdendrítico y transdendrítico en la fotografía 11.

El tercer experimento fué la elaboración de las probetas para el ensayo de tensión. estas probetas se trataron a 1230 y 1250 °C con permanencia de 60 y 40 min. respectivamente, con los siguientes resultados :

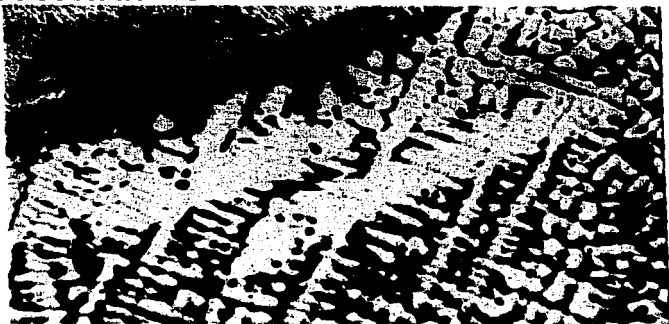
	Resistencia Tensión	Límite Elástico
Material nuevo	80,508 lb/in ²	42,769 lb/in ²
1230 °C 60 min	65,420 lb/in ²	58,309 lb/in ²
1250 °C 40 min	65,995 lb/in ²	50,467 lb/in ²

Todos estos resultados se comparan con los que se obtienen de un material sin tratamientos térmicos, ni usado, sino con material nuevo de HK-40.

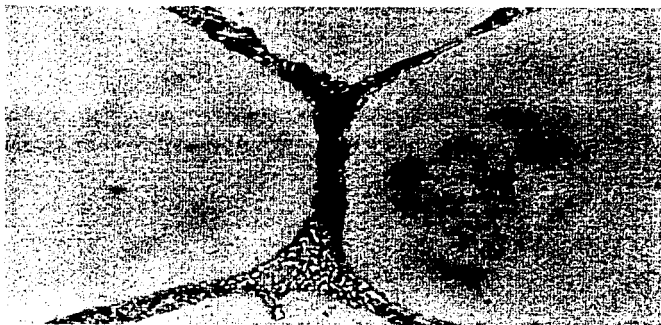
FOTOGRAFIA N. 1



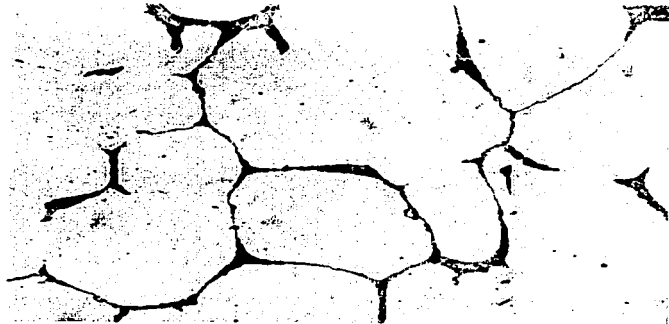
FOTOGRAFIA N. 2



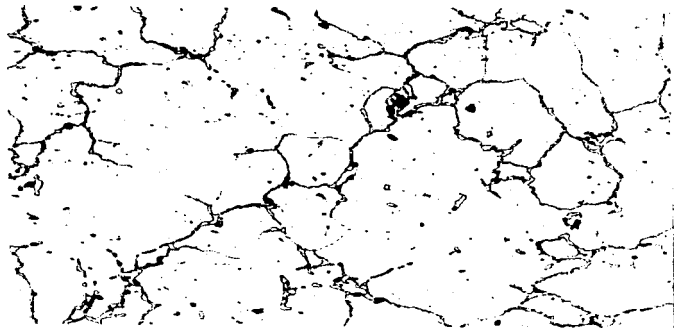
FOTOGRAFIA N. 3



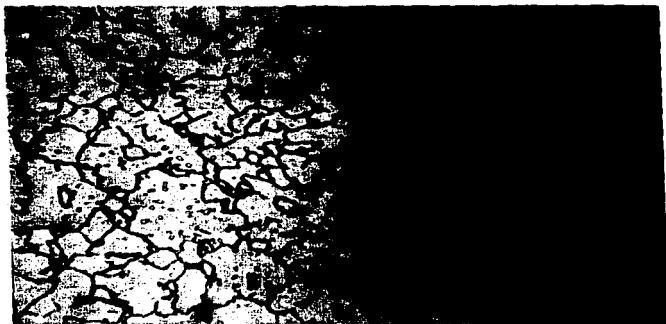
FOTOGRAFIA N. 4



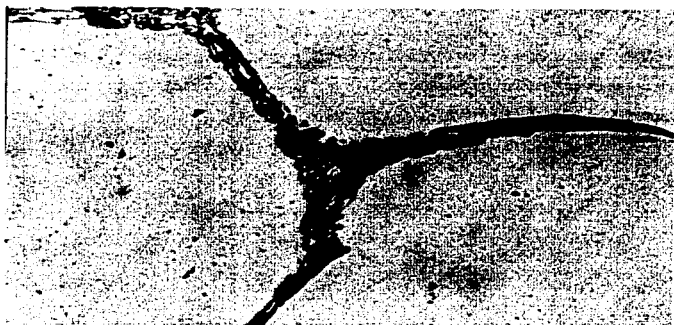
FOTOGRAFIA N. 5



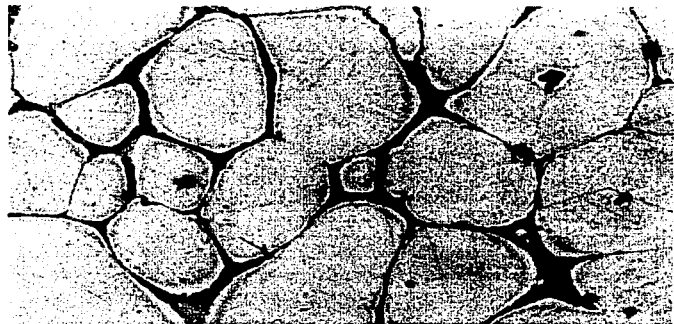
FOTOGRAFIA N. 6



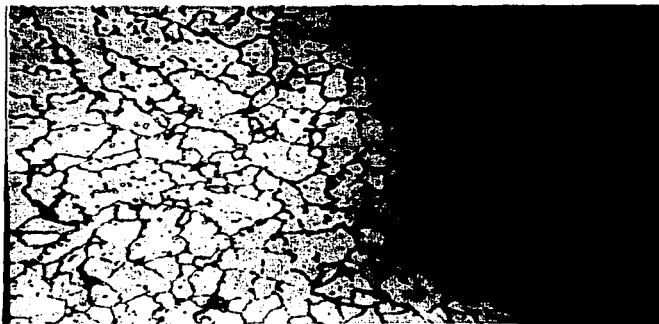
FOTOGRAFIA N. 7



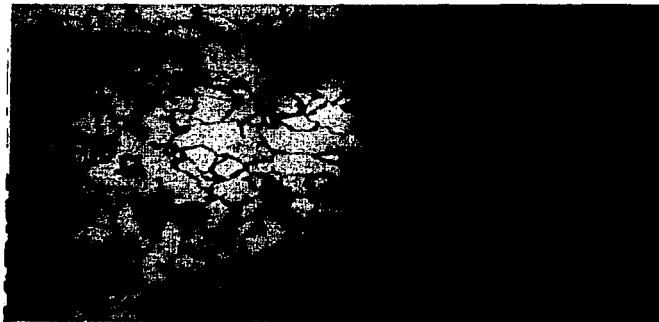
FOTOGRAFIA N. 8



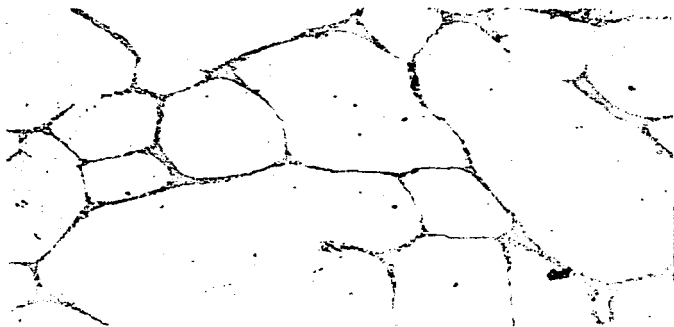
FOTOGRAFIA N. 9



FOTOGRAFIA N. 10



FOTOGRAFIA N. 11



FOTOGRAFIA N. 12 PROBETA



DISCUSION DE RESULTADOS

Al hacer soldadura, el efecto de la temperatura en el metal base que no sufre una fusión presenta cambios estructurales y por consiguiente también cambios en sus propiedades mecánicas, como sucedió en el acero del tipo HK-40 que se tomó como muestra en este estudio, al tratar de obtener la estructura semejante a la que se obtiene al efecto de la soldadura.

La estructura que se obtiene cerca de la línea de fusión, presenta un cambio de dendrítico a equiaxial con pequeñas placas de carburos de cromo intercrystalinas, que modifican radicalmente sus resistencias mecánicas.

Aunque en un principio se considera que en cuanto a su dureza es semejante y que se puede considerar que sus estructuras en forma morfológica son semejantes, sus resistencias a la tensión y límite elástico son diferentes.

CONCLUSIONES

Los cambios estructurales fundamentalmente en la zona de afectación del acero tipo HK-40, cambian en forma radical las propiedades mecánicas en cuanto a su resistencia a la tensión y límite elástico, y por consiguiente su tenacidad, y resistencia a la fatiga térmica se verán modificadas, ya que la austenita al pasar de dendrítica a equiaxial muy fina se alteran sus propiedades.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Dieter Radaj., Heat Effects of Welding, Ed.Springer- Verlag
- 2.-A.W.S. Metals Handbook, 9ª Edición, págs. 95-128. 1986.
- 3.- Peckner, Bersntein., Handbook off stainless Steels. págs 2-1,2-18,10-1,10-17.
- 4.-Guillet, L., Nickel-Chrome Steels, Rev metall. pag 3. 1989
- 5.-W Hume Rthery, The structures of Alloys of Iron, Pergamon Press, pags 85-116.
- 6.-G. Roberts, R. Cary. Tool Steels, 4ª Edicion
- 7.- Manual de soldadura Eutectic & Castolin.
- 8.- Manual de soldadura INFRA
- 9.- Welding Handbook, A.W.S., volumen 1
- 10.- Metals Handbook, A.W.S., volumen 6
- 11.- Metals Handbook, A.W.S. , volumen 7
- 12.-José Alpraiz Barreiro, Tratamiento técnico de los aceros,Ed. Dossat
- 13.- Soldadura aplicaciones y práctica, Horwitz Henry, Rep. y Serv. de Ing.
- 14.- Introducción a la metalúrgia física, Avner, Sydney H. Ed. Mc Graw Hill

15.- Corrosion of Stainless Steels, A John Sedrick, John Wiley and sons

16.- Ingeniería Metalúrgica tomo 1, Raymond A. Higgins Ed.Cecsa

17.- Metals Handbook , José Ma. Lasheras y Esteban Ed.Cedel

18.- Recuperacion de un acero inoxidable resistente a altas temperaturas, tipo HK-40, por medio de un tratamiento térmico., Jesus Medina Zambrano, Tesis