

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA ALEACION INVAR

TESIS PROFESIONAL

Que Para Obtener el Título de:

Ingeniero Químico Metalúrgico

P r e s e n t a

JUAN REGULO DAVILA SANCHEZ

México, D. F.

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

TESIS 1978

N.º 11-120 / 11 / 6

FECHA _____

FREG. _____



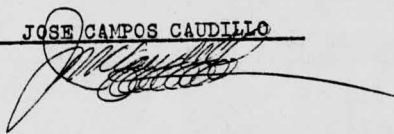
Jurado asignado original
mente según el tema.

PRESIDENTE	KURT NADLER GUNDEISHIMER
VOCAL	JOSE CAMPOS CAUDILLO
SECRETARIO	HECTOR E. CURIEL REYNA
1er. SUPLENTE	HUMBERTO MALAGON ROMERO
2do. SUPLENTE	FRANCISCO HERRERA CASTAÑEDA

Sitio donde se desarrolló el tema: ACERO SOLAR S.A.

Nombre completo y firma del sustentante: JUAN REGULO DAVILA SANCHEZ

Nombre completo y firma del asesor del tema: JOSE CAMPOS CAUDILLO



CON EL MAS PROFUNDO DE MIS AGRADECIMIENTOS,
DOY GRACIAS POR LOS ENORMES ESFUERZOS Y --
SACRIFICIOS A MIS SEÑORES PADRES: PABLO -
DAVILA TELLEZ E ISIDRA SANCHEZ DE DAVILA, -
POR EL APOYO, AYUDA Y AMOR QUE SIEMPRE ME-
HAN BRINDADO, PARA YO PODER OBTENER ESTE -
TITULO, QUE LES OTORGO DE CORAZON.

A MIS HERMANOS LES AGRADEZCO SUS FRASES
DE ALIENTO Y CARIÑO PARA PODER SALIR -
ADELANTE.

LUIS MIGUEL, REYNA, PABLO, IRMA,
SARA, MARCO ANTONIO Y MARIA.

A TODA MI FAMILIA, CON MUCHO
AMOR LES AGRADEZCO SU AYUDA-
Y CARIÑO.

GRACIAS: TIAS, TIOS Y PRIMOS.

AL ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO

POR SER EL GUIA DE ESTE TRABAJO
MIS MAS SINCEROS AGRADECIMIENTOS.

A LA PLANTA ACERO SOLAR S.A. Y A LOS
INGENIEROS:

VICENTE VELAZQUEZ SANCHEZ Y LUIS ANTONIO
BARRERA VIDAL.

GRACIAS POR LA AYUDA Y LOS FAVORES RECI--
BIDOS DURANTE EL DESARROLLO DE ESTA TESIS.

A MIS AMIGOS QUE ME BRINDARON
DESINTERESADAMENTE SU AMISTAD
E HICIERON POSIBLE SER LO QUE
AHORA SOY.

INDICE

INTRODUCCION.

CAPITULO I.- a) Aleación Invar
 b) Aplicaciones
 c) Composición

CAPITULO II.- PROPIEDADES METALURGICAS
 a) Influencia de Aleantes
 b) Microestructura
 c) Dureza
 d) Tamaño de grano

CAPITULO III.- PROPIEDADES FISICAS
 a) Dilatación
 b) Efectos del Diametro en la dilataci
 ón
 c) Efectos del Tamaño de grano con -
 la dilatación.
 d) Conducción de calor

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES.

CAPITULO V.- BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

El objetivo de esta tesis es el de estudiar y verificar las propiedades de la Aleación Invar, dicha Aleación posee características muy importantes e interesantes para la industria de la metalurgia y las aplicaciones prácticas de la misma. Una de sus propiedades que más llama la atención, es que la Aleación Invar presenta una invariabilidad casi nula con respecto a la expansión lineal, de ahí su nombre, su alto contenido de níquel, las características de su composición química proporcionan al producto final una aleación notemplable.

Los motivos para el desarrollo de este tema fueron -- que la empresa ACERO SOLAR S.A. tuvo problemas con la Aleación Invar, por los problemas que presenta para su producción, dicha empresa es la única industria metalurgica que la produce en toda la República, la cantidad que sobrepasa la producción de ACERO SOLAR S.A. proviene de importación, -- siendo el principal proveedor Los Estados Unidos de Norteamérica, fué así como surgió la posibilidad de hacer este estudio.

Este trabajo tiene como objeto tratar la Aleación Invar partiendo de su composición química, sus propiedades fi-

sicas y metalurgicas, además de sus aplicaciones.

CAPITULO I

A).- ALEACION INVAR.

El investigador Guillaume, la descubrió al efectuar estudios sobre las aleaciones con níquel como principal --- aleante. Así concluyó que las aleaciones con un alto contenido de níquel abaten su coeficiente de expansión.

El nombre le viene de la propiedad antes mencionada, las aleaciones que tienen un coeficiente de expansión muy - bajo al cambio de temperatura, se dice que son "Invaria --- bles" de aquí que se le denomine Invar.

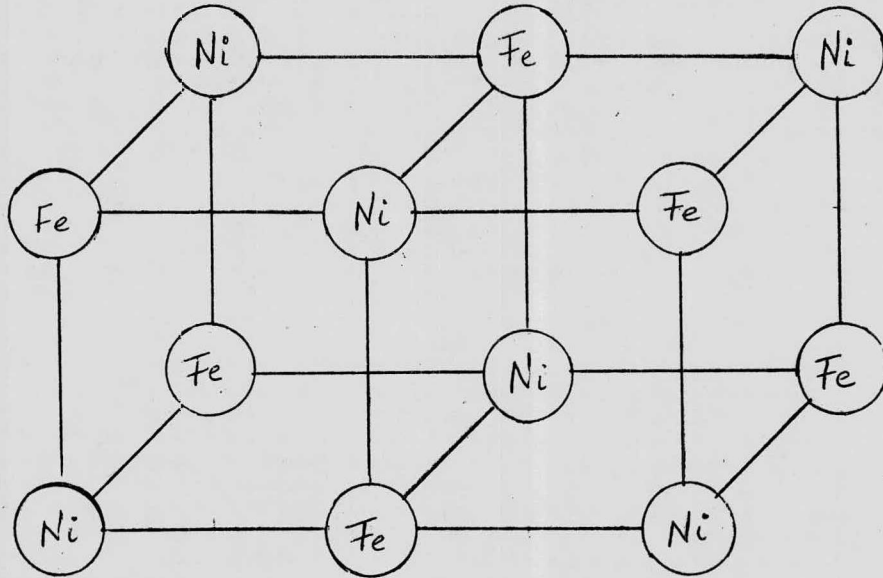
Esta aleación contiene 62% de hierro y 36% de níquel generalmente, por lo tanto su elemento base es el hierro, el aleante en mayor proporción es el níquel y los demás aleantes se encuentran en una menor proporción tales como Mn, Si, S, P, Cr, T

La Aleación Invar dependiendo de la diferencia de los radios atómicos de los componentes principales: Hierro y Níquel. Tenemos que es una solución sólida sustitucional, ya que sus radios atómicos son aproximadamente iguales siendo para el hierro 1.26 \AA y para el níquel 1.24 \AA

B).- APLICACIONES.

Todo material o producto terminado dentro de las in-

Alación Austenítica ; INVAR



dustrias antes de salir al mercado debe cumplir las especificaciones para las que fué creado, por lo tanto antes de ser puesto a la venta tiene que pasar un riguroso control de calidad.

Así la Aleación Invar como cualquier otro producto de la industria metalurgica es sometida a lo antes mencionado, para estar seguros de que estan en su rango las propiedades que la caracterizan.

Las aplicaciones que tiene la Aleación Invar estan solamente en el campo, donde los cambios dimensionales al variar la temperatura son muy pequeños.

Se usa en la manufactura de piezas o aparatos donde se requiere una presición máxima y una rigidez extrema a to do cambio de temperatura.

A continuación enuncio las principales aplicaciones de la Aleación Invar:

En la manufactura de varilla de péndulo para relojes maestros.

Instrumentos geométricos.

Condensadores variables.

Diapasones.

Muelles especiales.

Partes mecánicas de los ejes (las flechas)

Unidades patrones de longitud.

Y todo mecanismo que opere a temperatura variable

C).- COMPOSICION.

La composición química de un material es muy importante, ya que ésta afecta sus propiedades físicas y químicas, - las cuales van a dar características específicas al mismo.

La Aleación Invar es el resultado de una composición química específica, la cual tiene como característica particular ser solo afectada por un tratamiento térmico, el cual es el recocido.

La composición química de la Aleación Invar es la siguiente:

0.12 % C (Máximo)

0.60 % Mn (Máximo)

0.50 % Si (Máximo)

35-36 % Ni

0.03 % S (Máximo)

0.03 % P (Máximo)

CAPITULO II

A).- INFLUENCIA DE ALEANTES.

Se le denomina Aleantes a los elementos químicos metálicos que se adicionan y dan como resultado propiedades específicas de la Aleación.

Así la Aleación Invar va a tener elementos aleantes-- como son: Manganeso, Silicio, Niquel, Cobre, Titanio y Cromo, además como impurezas Azufre y Fosforo.

Los Elementos Manganeso, Niquel, Silicio, Cobre y Fosforo, nunca se combinan con el Carbono presente en la Aleación, para formar carburos, sino que estos siempre tienden a disolverse en la ferrita.

Los elementos restantes Titanio y Cromo estos tienden siempre a formar carburos.

Y por último el Azufre, que es un clásico elemento -- problema tanto en aceros como en aleaciones, por su tendencia natural a formar sulfuros.

Todos los elementos antes mencionados influyen de la siguiente manera:

EL ELEMENTO MANGANESO.- Con las siguientes propiedades:

Masa Atomica

54.93

Masa específica	7.44
Punto de fusión	1240°C
Punto de ebullición	2150°C
Densidad	7.43 Gr/Ml ²
Coefficiente de expansión Lineal	23 x 10 ⁻⁶
Resistencia específica	4.4 Microhomios
Calor de fusión	64.2 Cal/Gr.
Calor específico	0.107 Cal/gr/°C
Electronegatividad	1.55
Estructura Cristalina:	Cubicosimple
Radio atómico	1.35 Å
Conductividad eléctrica	0.054 (microhms) ⁻¹

Este se añade para neutralizar la influencia del - azufre y del oxígeno, por lo tanto contrarresta la fragilidad en caliente, además se usa como desoxidante para -- evitar porosidades.

EL ELEMENTO SILICIO.- Con las siguientes propiedades:

Masa atómica	28.09
Punto de fusión	1410°C
Punto de ebullición	2680°C
Color de fusión	11.1 KCal/Mol.

Calor específico	0.162 Cal/gr/°C
Electronegatividad	1.90
Estructura cristalina:	Diamante.
Radio Atómico	1.32 Å
Conductividad Eléctrica	0.10 (Microhms) ⁻¹
Densidad	2.33 Gr/ml.

Se agrega para aumentar la resistencia, además actúa como desoxidante.

EL ELEMENTO NIQUEL.- Con las siguientes propiedades:

Masa atómica	58.69
Masa específica	8.9
Punto de fusión	1455°C
Punto de ebullición	3377°C
Coeficiente de expansión lineal 13.7×10^{-6}	
Resistencia específica 6.9 Microhms	
Calor de fusión	4.21 Kcal/Mol.
Calor específico	0.105 Cal/gr/°C
Electronegatividad	1.8
Estructura cristalina: Cubico de caras centrales	
Radio atómico	1.24 Å
Conductividad eléctrica	0.145 (Microhms) ⁻¹
Densidad	8.9 Gr/ml.

Este elemento contribuye a dar mayor resistencia a-

la fatiga térmica, aumenta la dureza del material, estabilidad en su estructura y propiedades magnéticas, además disminuye sus puntos críticos y aumenta su tenacidad.

EL ELEMENTO COBRE.- Con las siguientes propiedades.

Masa atómica	63.54	
Punto de fusión	1083°C	
Punto de ebullición	2595°C	
Calor de fusión	3.11	KCAL/MOL
Calor específico	0.092	CAL/gr/°C
Electronegatividad	1.9	

Estructura cristalina: Cubico de caras centradas.

Radio atómico	1.28 Å	
Conductividad eléctrica	0.693	(Microhms) ⁻¹
Densidad	8°96	g/ml.

Se suele emplear para abatir la corrosión.

EL ELEMENTO TITANIO.- Con las siguientes propiedades:

des:

Masa atómica	47.90	
Punto de fusión	1668°C	
Punto de Ebullición	3260°C	
Calor de fusión	3.7	KCAL/mol
Electronegatividad	1.5	
Estructura cristalina:	Hexagonal	

Radio atómico	1.47 Å
Conductividad eléctrica	0.024 (Microhms) ⁻¹
Densidad	4.51 G/ml.

Es agregado para provocar una afinación en el grano aumentando su resistencia en dureza.

EL ELEMENTO CROMO.- Con las siguientes propiedades:

Masa atómica	52.01
Masa específica	7.14
Punto de fusión	1615°C
Punto de ebullición	2200°C
Coeficiente de expansión lineal	8.1 x 10 ⁻⁶ in/in/°F
Resistencia específica	13.1 Microhomios
Calor de fusión	3.3 KCAL/MOL
Calor específico	0.11 CAL/gr/°C
Electronegatividad	1.6
Estructura cristalina:	Cubico de cuerpo centrado.
Radio atómico	1.30 Å
Conductividad eléctrica	0.078 (Microhms) ⁻¹
Densidad	7.19 gr/ml.

Aumenta la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión y oxidación.

EL ELEMENTO FOSFORO.- Con las siguientes propie---

dades:

Masa atómica	30.97	
Punto de fusión	44.2°C	
Punto de ebullición	280°C	
Calor de fusión	0.15	KCAL/MOL
Calor específico	0.177	CAL/gr/°C
Electronegatividad	2.1	
Estructura cristalina:	Cubico simple	
Radio atómico	1.28 Å	
Conductividad eléctrica	10^{-17}	(Microhms) ⁻¹⁷
Densidad	1.82 gr/ml.	

Aumenta ligeramente su resistencia a la corrosión-

(Se considera como impureza).

El ELEMENTO AZUFRE.- Con las siguientes propiedades-

Masa atómica	32.06	
Punto de fusión	119°C	
Punto de ebullición	444°C	
Calor de fusión	0.34	KCAL/MOL
Calor específico	0.175	CAL/gr/°C
Electronegatividad	2.5	
Estructura cristalina:	Ortorombica	
Radio atómico	1.27	
Conductividad eléctrica	10^{-23}	(Microhms) ⁻¹
Densidad	2.07	gr/ml.

Es muy perjudicial por su tendencia a formar sulfuros dando como resultado una extrema fragilidad al material.

B).- MICROESTRUCTURA

La Microestructura es muy importante para el estudio metalográfico, la cual es determinada por medio de la observación de una probeta adecuadamente preparada. Para esto -- se emplea un microscopio con un rango de 50 x A 2000x.

La Aleación Invar no es la excepción, al determinar la Microestructura de dicha aleación, esta solo se efectua-

bajo las siguientes condiciones: Cuando ésta ha sido sometida al único tratamiento térmico que se puede efectuar en ella, el cual es el recocido; cuando ha sido trabajado mecánicamente en un estirado además en el Invar importado.

Los siguientes pasos enunciados son los efectuados para la preparación de la muestra:

EL CORTE.- Este se efectúa en una cortadora de discos para pasarla posteriormente al esmeril para desbastar las partes quemadas y de aquí a una lija de banda del #100.

EL MONTAJE.- Es efectuado en baquelita.

EL DESBASTE.- Se hace con las siguientes lijas en orden creciente de los números aquí mencionados #100, #200, #320, #400 y 600.

EL PULIDO.- Se efectúa en una pulidora de disco, usando como abrasivo Alumina.

EL ATAQUE.- Lo realicé con agua regia, la cual consta de tres partes de ácido clorhídrico por una parte de ácido nítrico, esto diluido en la proporción dos a uno con agua destilada.

TIEMPO DE ATAQUE.- Este es variable dependiendo de las características del material.

Al observar la microestructura de la Aleación Invar, como:

Invar Recocido.

Invar estirado.

Invar importado.

Se concluye en dichas pruebas que el constituyente único es la Austenita.

A continuación se exponen las Microestructuras obtenidas de los tres tipos antes mencionados con sus respectivos tiempos de ataque y aumentos a los que fué observado.

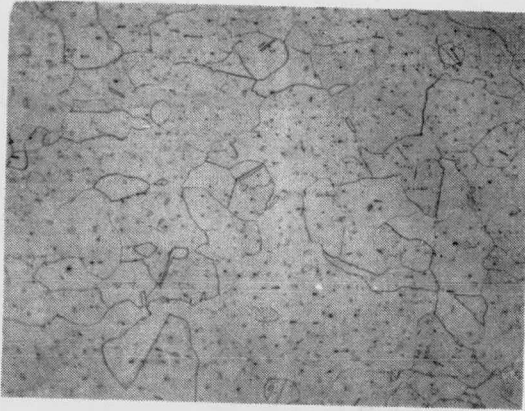
C).- DUREZA.

Este tipo de prueba es de las más importantes dentro de la metalurgia, nos proporciona los datos suficientes para conocer la situación física en que se encuentra cualquier clase de material que estemos fabricando, la cual se define a continuación:

LA DUREZA SE PUEDE DEFINIR: "Como la resistencia a la formación de huellas localizadas en una superficie por un penetrador normalizado en condiciones normalizadas".

La Aleación Invar no es una excepción a la prueba de dureza, debido al acabado mecánico a que es sometida, el material después de forjado pasa al laminado y a continuación de estas operaciones es trasladado al departamento de recocido, posteriormente se le checa su dureza para saber -

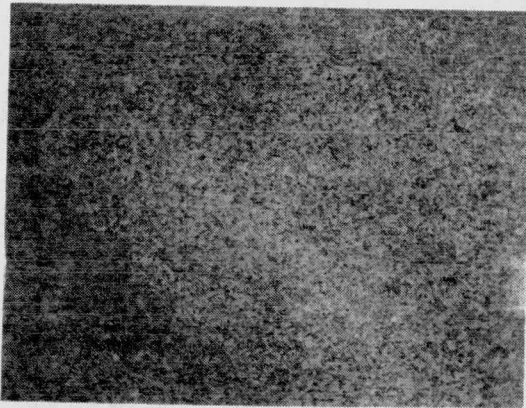
MICROESTRUCTURA DEL INVAR (AUSTENITA)



INVAR RECOCIDO

CORTE LONGITUDINAL

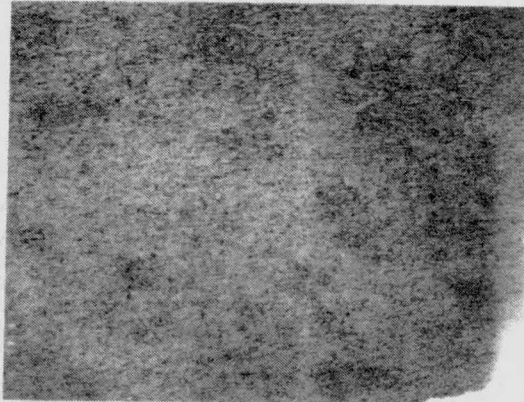
100 X



INVAR ESTIRADO

CORTE LONGITUDINAL

100 X



INVAR IMPORTADO

CORTE LONGITUDINAL

100 X

en que rango se encuentra.

En el proceso de estirado en el que sufre variaciones en sus propiedades físicas y específicamente en su dureza, debido a la tensión a la que fué sometido, (En caso de no coincidir con la dureza requerida por el cliente el material debe ser sometido a un recocido subcritico hasta obtener la dureza adecuada para los fines que sean necesarios).

Si después del estirado se necesita enderezar el material se recomienda volver a efectuar la prueba anteriormente descrita, ya que la presión ejercida por los rodillos (los cuales sirven para obtener: Redondos, Triangulares, Cuadrados y para toda clase de Perfiles). Provocan un aumento en su dureza causando por consiguiente fragilidad en el material, el cual no cumplirá con las especificaciones a las que debe ser empleada dicha Aleación.

DETERMINACION DE LA DUREZA

La determinación de la dureza en la Aleación Invar se lleva a cabo con un durómetro Rockwell.

El ensayo de esta Aleación se efectúa por medio del tipo de dureza Rockwell B, se basa en la penetración de una esfera de 1/16, sobre la superficie de la muestra, esta pe-

netración es provocada por la aplicación de dos cargas:

Carga Primaria 10 Kg.

Carga Secundaria 90 Kg.

Las cuales son siempre constantes.

El tiempo de aplicación es dado automaticamente por la maquina.

CONDICIONES DE LA PROBETA

- 1.- Debe existir un paralelismo entre las dos caras.
- 2.- La superficie en que se efectuará el ensayo debe estar libre de oxidos y grasas.
- 3.- El acabado en dicha superficie se efectuará en lija del # 100.
- 4.- Además libre de descarburación.

PROCEDIMIENTO

- 1.- Poner el penetrador en contacto con la superficie que se ensaya y aplicar la carga de 10 Kg. como carga de referencia.
- 2.- Aplicar la carga mayor (90 Kg.), para traer la carga total hasta el máximo requerido.
- 3.- Mantener la carga hasta que la aguja cesa de moverse.
- 4.- Quitar la carga mayor para permitir la recuperación elástica mientras se retiene la carga menor.

5.- Leer el número de dureza en la esfera.

TIPOS DE DUREZA EXISTENTES.

Esta prueba es un auxiliar importante para la metalurgía, los estudios hechos han demostrado que las siguientes - pruebas son las más usuales dentro de dos grupos existentes:

A).- Macro durezas.

B).- Micro durezas.

Dentro de las primeras podemos enunciar: La Brinell, Vickers, Shore y Rockwell con sus diferentes tipos: A, B, C, D, E, F, C y H.

Las segundas a su vez se subdividen de acuerdo al tipo de ensayo a efectuar:

- | | |
|--------------------------|--------------------|
| | Vickers |
| 1.- Piramide de diamante | Knoop |
| | Mohs. |
| 2.- Dureza al rayado | Monotrón |
| | Pendulo de Herbert |

RANGOS DE DUREZA DE LA ALEACION INVAR.

Estos rangos son estrictos debido a la importancia de su uso, lo cual requiere una precisión máxima por lo tanto - siempre se debe encontrar entre los limites siguientes de 82 a 100 Rockwell B. Porque sus aplicaciones asi lo hacen necesario.

D).- TAMAÑO DE GRANO.

Es una característica física de cualquier fase sólida, la cual puede ser modificada por medio de un tratamiento térmico o un trabajo mecánico. Es importante para el estudio metalográfico conocer el tamaño de grano que tenemos en la estructura que observamos para el tipo de material que nos interesa, en este caso la Aleación Invar.

Los pasos a seguir en la determinación del tamaño de grano en la Aleación Invar son los mismos que se efectuarán al determinar su Microestructura.

La determinación del tamaño de grano de la Aleación Invar como: Invar recocido, Invar estirado e invar importado dio como resultado al concluir dichas pruebas y la observación de las probetas al microscopio A 100X con la comparación de estas con las tablas del A.S.T.M. con la norma E112

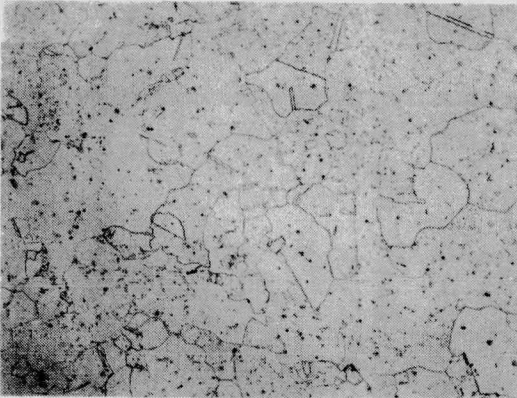
El tamaño de grano para cada caso de los efectuados es el siguiente:

Invar Recocido tamaño de grano No. 4

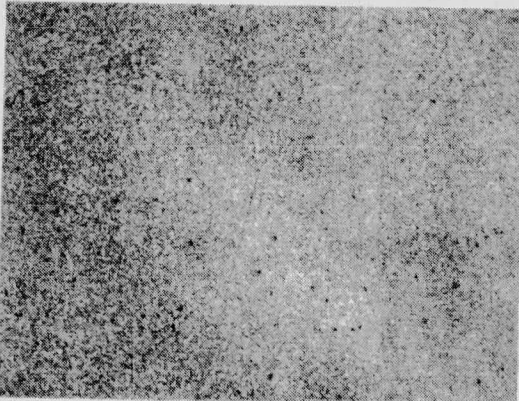
Invar Estirado tamaño de grano No. 10

Invar Importado tamaño de grano No. 10

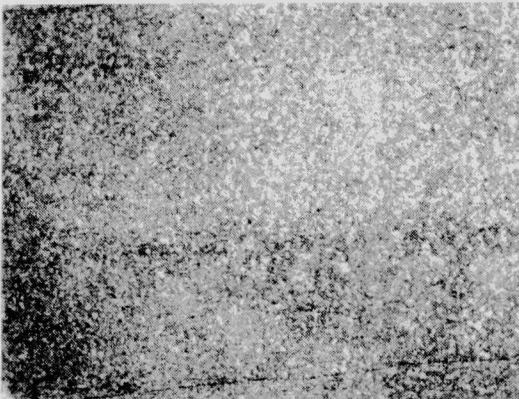
TAMAÑO DE GRANO DE INVAR



INVAR RECOCIDO
CORTE TRANSVERSAL
100 X



INVAR ESTIRADO
CORTE TRANSVERSAL
100 X



INVAR IMPORTADO
CORTE TRANSVERSAL
100 X

CAPITULO III

A).- DILATAACION

LA DILATAACION.- Es el aumento de volumen que experimentan bajo ciertas condiciones de presión, temperatura y otras variables, los sólidos, líquidos y gases sin excepción .

Las dilataaciones que realicé en el laboratorio de pruebas físicas de la empresa ACERO SOLAR, fuerón efectuadas en un dilatómetro fabricado en la misma planta. El cual consta de dos tubos: Uno es de aluminio y el otro de cobre, los cuales van colocados concéntricamente, el tubo de aluminio está colocado como parte exterior y el de cobre en la interior y ambos van tensados por cuatro barras de la Aleación Invar. -

La cual describiré posteriormente.

Todo el sistema anteriormente descrito, va a estar asentado sobre una placa de acero comercial y ésta a su vez sobre una de madera de coeficiente dilatación bajo, consta, también de una carátula en el que se mide la dilatación, su forma de trabajar es la siguiente: Tiene un tornillo en el extremo contrario en donde va colocado la caratura, la función del tornillo es provocar mediante presión, que la dilatación se lleve a cabo por el otro extremo.

Un termómetro va colocado de manera tal que un extremo de este, toque la parte superior del tubo de cobre que es la

forma en que registre los cambios de temperatura.

En la parte superior e interior, tienen un orificio - por los que entra y sale agua fría y vapor, su inyección se efectúa por arriba y su evacuación por abajo, el vapor es ca lentado en un matraz Erlenmeyer con un mechero.

A dicho dilatómetro se le han efectuado varias modifi caciones, debido a que las pruebas que se hacen en Estados - Unidos no coincidían con las hechas en el dilatómetro de - - aquí.

Fue entonces que se penso en hacer los siguientes - - arreglos: Como éste consistía solamente en dos tubos coloca dos concéntricamente, los cuales estaban tensados con cuatro barras de acero comercial, el dial y el tornillo iban unidos a los tubos.

Las modificaciones efectuadas fueron: Adaptarle una - placa de acero sobre la cual van colocados los tubos, las -- cuatro barras de acero comercial fueron substituidas por - - cuatro barras de aleación invar, posteriormente se le adaptó una paca de madera la cual sirve de sostén a todo el sistema anterior.

Siendo así, como las pruebas realizadas en el Labora- torio de los que se aproximan a las efectuadas en los E.U.A.

La dilatación se lleva a cabo de la manera siguiente:

Se coloca una barra de Aleación invar dentro del tubo de cobre, la cual debe tener 24" de largo y su diámetro puede ser variable dependiendo de la especificación a efectuar, se coloca una manguera de la llave de agua al tubo de cobre, con el fin de provocar una temperatura homogénea que denominaremos temperatura (1), cuando ésta se ha alcanzado, se desconecta de la parte unida a la llave de agua y se coloca en un matraz, en el cual el agua va a estar hirviendo, con lo que se provoca una circulación de vapor a través de la manguera por lo tanto el vapor será el agente directo de la dilatación de la barra a dilatar. El paso del vapor dura hasta -- que éste comienza a salir por el orificio inferior a partir de aquí se cuentan 5 minutos para homogenizar la temperatura la cual será la temperatura (2).

En el termómetro verificamos la temperatura y efectuamos la lectura del dial.

B).- EFECTOS DEL DIAMETRO EN LA DILATACION.

Para efectuar estas pruebas mantuve la dureza de las barras constante, variando solamente el diámetro y obtuve -- los siguientes resultados:

ALEACION INVAR

PRIMERA PRUEBA

Carga=B-1568

Diámetro=0.186"

Dureza= 80 Rb.

T1= Temperatura inicial= 26°C = 78.8°F

T2= Temperatura final = 82°C = 179.6°F

R= Lectura del dial + 0.0025"

FORMULA:

COEFICIENTE DE EXPANCIÓN + $\frac{\text{Lectura de dial.}}{\text{Long. de la barra} \times \text{AT}}$

AT= T2- T1

Longitud de la barra= 24"

Sustituyendo valores en la fórmula:

Coefficiente de expansión= 1.03×10^{-6} in/in/°F

El tiempo de aplicación del vapor= 5 minutos.

SEGUNDA PRUEBA.

T1= 27°C= 80.6°F

T2= 82°C= 179.6°F

R= 0.0027"

Coefficiente de expansión= 1.1×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor= 5 minutos.

TERCERA PRUEBA.

T1= 27°C= 80.6°F

T2= 82°C= 179.6°F

R= 0.0027"

Coefficiente de expansión= 1.1×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

ALEACION INVAR

PRIMERA PRUEBA

Cargo= B- 1570

Diámetro= 0.1564"

Dureza= 80 Rb

T1= Temperatura inicial= 22°C= 71.2°F

T2= Temperatura final= 70°C = 158.0°F

R= Lectura del dial = 0.0015"

FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE EXPANCIÓN} = \frac{\text{Lectura del dial}}{\text{Long. de la barra} \times \Delta T}$$

$\Delta T = T_2 - T_1$

Longitud de la barra= 24"

Sustituyendo valores en la formula:

Coefficiente de expansión= 0.72×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos:

SEGUNDA PRUEBA

T1= 25°C = 77°F

T2= 72°C = 161.6°F

R= 0.0013"

Coefficiente de expansión = 0.64×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación, del vapor= 5 minutos.

TERCERA PRUEBA

$$T1 = 26^{\circ}\text{C} = 78.8^{\circ}\text{F}$$

$$T2 = 72^{\circ}\text{C} + 161.6^{\circ}\text{F}$$

$$R = 0.001''$$

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.52 \times 10^{-6} \text{ in/ in/}^{\circ}\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos

ALFACION INVAR

PRIMERA PRUEBA

$$\text{Carga} = B - 1464$$

$$\text{Diámetro} = 0.251''$$

$$\text{Dureza} = 80 \text{ Rb}$$

$$T1 = \text{Temperatura inicial} = 30^{\circ}\text{C} = 86^{\circ}\text{F}$$

$$T2 = \text{Temperatura final} = 79^{\circ}\text{C} = 174.2^{\circ}\text{F}$$

$$R = \text{Lectura del dial} = 0.0018''$$

FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE EXPANCIÓN} = \frac{\text{Lectura del dial}}{\text{Long. de la barra} \times \Delta T}$$

$$\Delta T = T2 - T1$$

$$\text{Longitud de la barra} = 24''$$

Sustituyendo valores en la formula:

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.85 \times 10^{-6} \text{ in/ in/}^{\circ}\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

SEGUNDA PRUEBA

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 77^\circ\text{C} = 170.6^\circ\text{F}$$

$$R = 0.002''$$

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.9 \times 10^{-6} \text{ in/ in/}^\circ\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor + 5 minutos.

Influencia de la dureza en la dilación.

Para llevar a cabo estas pruebas mantuve el diámetro de las barras constante variando solamente la dureza, obteniendo los siguientes resultados:

ALEACION INVAR

PRIMERA PRUEBA

$$\text{Carga} = B = 1464$$

$$\text{Diámetro} = 0.56''$$

$$\text{Dureza} = 78 \text{ Rb.}$$

$$T_1 = \text{Temperatura inicial} = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

$$T_2 = \text{Temperatura final} = 75^\circ\text{C} = 167^\circ\text{F}$$

$$R = \text{Lectura del dial} = 0.0026''$$

FORMULAS:

$$\text{COEFICIENTE DE EXPANCIÓN} = \frac{\text{Lectura del dial}}{\text{Long. de la barra} \times \Delta T}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\text{Longitud de la barra} = 24''$$

Sustituyendo valores en la fórmula:

Coefficiente de expansión= 1.3×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor= 5 minutos.

SEGUNDA PRUEBA.

T1= 30°C= 86°F

T2= 75°C= 167°F

R= 0.002"

Coefficiente de expansión= 1.02×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor= 5 minutos.

TERCERA PRUEBA.

T1= 30°C= 86°F

T2= 75°C= 167°F

R= 0.0022"

Coefficiente de expansión= 1.1×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor= 5 minutos.

ALEACION INVAR.

PRIMERA PRUEBA.

Carga= B- 1570

Diámetro= 0.156"

Dureza= 83 Rb

T1= Temperatura inicial= 29°C= 84.02°F

T2= Temperatura final= 73°C= 163.4°F

R= Lectura del dial= 0.001"

FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE EXPANCIÓN} = \frac{\text{Lectura del dial}}{\text{Long. de la barra} \times \Delta T}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\text{Longitud de la barra} = 24''$$

Sustituyendo valores en la formula:

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.52 \times 10^{-6} \text{ in/in/}^\circ\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

SEGUNDA PRUEBA.

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 76^\circ\text{C} = 168.8^\circ\text{F}$$

$$R = 0.0011''$$

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.55 \times 10^{-6} \text{ in/in/}^\circ\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

TERCERA PRUEBA.

$$T_1 = 29^\circ\text{C} = 84.2^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 76^\circ\text{C} = 168.8^\circ\text{F}$$

$$R = 0.0012''$$

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.59 \times 10^{-6} \text{ in/in/}^\circ\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

C).- EFECTO DEL TAMAÑO DE GRANO EN LA DILATACION.

La influencia del tamaño de grano en la dilatación -
va en función directa de la dureza presenta en el material:

Estas pruebas las efectuá manteniendo el diámetro --

constante y variando la dureza, obteniendo los siguientes -
resultados:

ALEACION INVAR

PRIMERA PRUEBA.

Carga= B- 1568

Diámetro= 0.86"

Dureza= 85 Rb

Ti= Temperatura inicial= 20°C 68°F

T2= Temperatura final= 71°C= 159.8°F

R= Lectura del dial= 0.0022"

FORMULA:

Coeficiente de expansión= $\frac{\text{Lectura del dial}}{\text{Long. de la barra X AT}}$

AT= T2- T1

Longitud de la barra= 24"

Sustituyendo valores en la formula:

Coeficiente de expansión= 1×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor= 5 minutos.

SEGUNDA PRUEBA

T1= 25°C= 79°F

T2= 74°C= 165.2°F

R= 0.0015

Coeficiente de expansión= 0.7×10^{-6} in/ in/°F

Tiempo de aplicación del vapor= 5 minutos.

TERCERA PRUEBA:

$$T1 = 25^{\circ}\text{C} = 79^{\circ}\text{F}$$

$$T2 = 73^{\circ}\text{C} = 163.9^{\circ}\text{F}$$

$$R = 0.002''$$

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.99 \times 10^{-6} \text{ in/ in/}^{\circ}\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

ALEACION INVAR.

PRIMERA PRUEVA.

Carga+ B- 1570

$$\text{Diámetro} = 0.186''$$

$$\text{Dureza} = 79 \text{ Rb}''$$

$$T1 = \text{Temperatura inicial} = 25^{\circ}\text{C} = 79^{\circ}\text{F}$$

$$T2 = \text{Temperatura final} = 74^{\circ}\text{C} = 165.2^{\circ}\text{F}$$

$$R = \text{Lectura del dial} = 0.002''$$

FORMULA:

$$\text{Coeficiente de expansión} = \frac{\text{Lectura del dial}}{\text{Long. de la barra} \times \text{AT.}}$$

$$\text{AT} = T2 - T1$$

$$\text{Longitud de la barra} = 24''$$

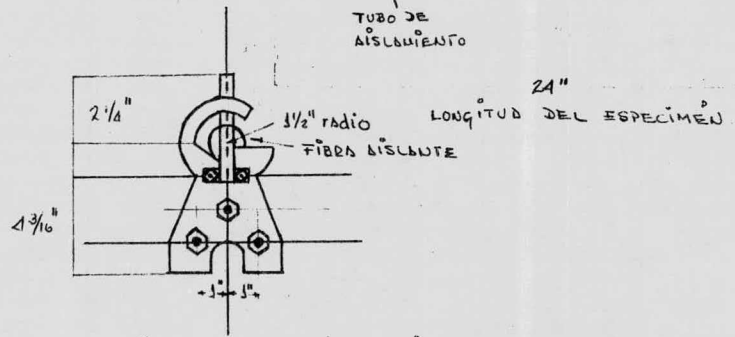
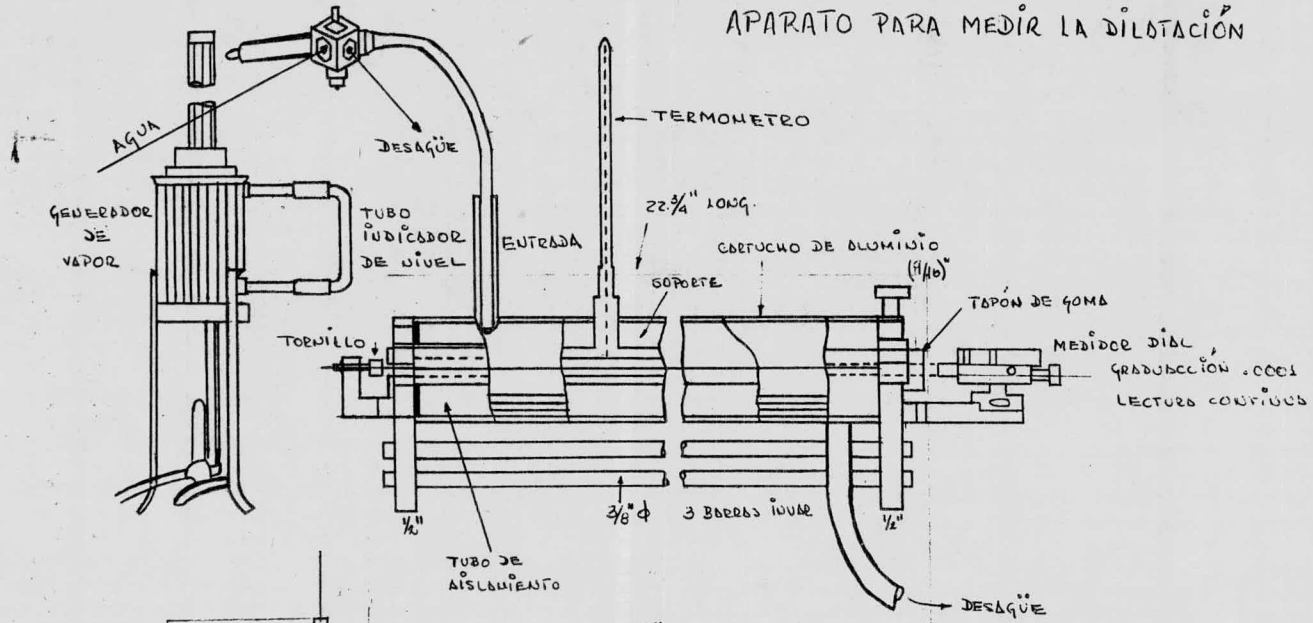
Sustituyendo valores en la formula:

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.9 \times 10^{-6} \text{ in/ in/}^{\circ}\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

VALVULA DE 4 PASOS

APARATO PARA MEDIR LA DILATACION



VISTA DE FRENTE DEL EQUIPO

SEGUNDA PRUEBA.

$$T1 = 27^{\circ}\text{C} = 80.6^{\circ}\text{F}$$

$$T2 = 73^{\circ}\text{C} = 163.4^{\circ}\text{F}$$

$$R = 0.0012''$$

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.57 \times 10^{-6} \text{ in/ in/}^{\circ}\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

TERCERA PRUEBA.

$$T1 = 27^{\circ}\text{C} = 80.6^{\circ}\text{F}$$

$$T2 = 74^{\circ}\text{C} = 165.2^{\circ}\text{F}$$

$$R = 0.0018''$$

$$\text{Coeficiente de expansión} = 0.89 \times 10^{-6} \text{ in/ in/}^{\circ}\text{F}$$

Tiempo de aplicación del vapor = 5 minutos.

D).__ CONDICION DE CALOR.

La relación básica para la transferencia de calor por conducción fué propuesta en 1822 por el científico J. B. Fou~~r~~rier, estableciendo que la rapidez del flujo de calor por -- conducción en un material es igual a:

$$Q = -KA \frac{dt}{dx}$$

Q = conducción de calor

K = Conductividad térmica

A = area

dtx = Diferencia de temperaturas.

Dicha conductividad se expresa en unidades de:

$$\frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{k}}$$

Esta es una propiedad física que influye si un material es buen conductor o aislante, así la Aleación Invar va a tener una cierta conductividad térmica la cual definimos como: "El flujo de calor que pasa através de un cuerpo sin haber movimiento de moléculas", esta va a estar relacionada con el Coeficiente de Expansión lineal como esta aleación - es casi invariable, entonces su conductividad térmica es - mínima.

CONCLUSIONES

Al terminar de llevar a cabo toda la secuencia de experimentos trazados en esta tesis e independientemente de -- que cada inciso aparta su conclusión propia. Estas conclusiones que expongo a continuación son para mi las más sobresalientes del estudio realizado sobre la Aleación Invar.

1.- La Aleación Invar presenta una estructura auténtica predominantemente.

2.- Su coeficiente de expansión lineal es mínimo y va de un rango de $0.5 \text{ A } 1 \times 10^{-6} \text{ in/in/}^\circ\text{F}$.

3.- Esta aleación es magnética por su alto contenido de níquel.

4.- La Aleación con tamaño de grano grande se dilata menos que la de tamaño de grano menor.

5.- El único tratamiento térmico que se le puede aplicar es el recocido.

6.- Su aplicación es un aparato de alta precisión, -- porque los cambios de temperatura no provocan cambios en la Aleación Invar.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Metals Hand Book
A S M.
Vol. 1. Propiedades y Selección de metales
8a. Edición
- 2.- Metals Hand Book
8a. Edición
Vol. 7
Atlas Of Microestructures
Of Industrial Alloys
Prepared Under The Dirección Of the
A S M Hand Book Committee
(American Society For Metals)
- 3.- Metals Hand Book
8a. Edición
Vol. 8.
Metallography, Structures And Phase Diagrams
Prepared Under The Dirección Of The
A S M. Hand Book Committee
(American Society For Metals)
- 4.- Procesos de fabricación autor: Myron L.
Begeman.
B. H. Amstead
Editorial C.E.C.S.A.
5a. Impresión (1973).
- 5.- Introducción To Physical Metallurgy.
Second Edición
Sidney H. Avner.
Editorial Megraw Hill.
- 6.- Ingeniería Metalurgica,
Vol. 1. Raymond A. Higgins
Editorial C.E.C.S.A.
- 7.- Principios de Metalurgia Fisica autor;
Robert Reed Hill Editorial C.E.C.S.A.