

134
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TECNICAS DE LAMINACION CONJUNTA
EN MATERIALES NO FERROSOS

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A ;
JOSE GERARDO PACHECO VILLEGAS



DIRECTOR DE TESIS
M.C. ARTURO BARBA PINGARRON
ING. PATRICIA CASTILLO OCAMPO

MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

A LA MEMORIA DE MI QUERIDA MADRE MA. DOLORES VILLEGAS ZUNIGA (q.E.D.)

Por sus desvelos, apoyo moral y su gran amor que siempre me brindo.

A MI PADRE SR. MANUEL PACHECO R.

A MIS HERMANAS Y HERMANO

Con cariño, Ma. Cristina, Ma. Magdalena, Angelina y Victor M. Pacheco Villegas, por su apoyo constante durante mis estudios.

A MIS COMPAÑEROS DE ESCUELA Y DE TRABAJO.

A MIS AMIGAS Y AMIGOS.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA

*Por los conocimientos impartidos y por formarme
como Profesionista.*

A MI DIRECTOR DE TESIS, M. C. ARTURO BARBA PINGARRON

*Por su apoyo y direcci3n durante el desarrollo del
presente trabajo.*

A MI ASESOR ING. PATRICIA CASTILLO OCAMPO

Por sus valiosos puntos de vista y comentarios.

A MIS MAESTROS

Por compartir sus conocimientos, especialmente a:

Dr. Baltasar Mena Iniestra

Dr. Enzo Levi Lattes

Dr. Radl Talm3s

Ing. Armando Olaz Espejel

Ing. Carlos H. Ovando

Ing. Jos3 Vurrieta Vald3s

F3sico Jos3 Caballero A.

Mate. Gerardo Aguilera A.

"TECNICAS DE LAMINACION CONJUNTA EN MATERIALES NO FERROSOS"

	Pag.
INDICE	1
INTRODUCCION	5
CAPITULO 1	
LAMINACION	
1.- Generalidades.	7
1.1. Metales y aleaciones trabajados por laminación.	9
a) Recalcado a la entrada	
b) Deformación Máxima	
c) Dilatación a la salida	
d) Ensanchamiento	
e) Alargamiento	
1.2. Valores que caracterizan a las deformaciones producidas en laminación con cilindros lisos.	11
a) Presión	
b) Coeficiente de Reducción	
c) Coeficiente de alargamiento	
1.2.1 Arrastre del tocho con cilindros lisos.	15
1.2.2 Presión máxima según el diametro de los cilindros.	17
1.3 Cilindros acanalados	18
1.3.1 Sección de los canales	21
1.4 Linea de laminación	22

	2
1.5 Trabajo necesario en la laminación	25
1.6 Características de los laminadores	28
1.6.1 Cilindros de laminación	28
1.6.2 Accionamiento	29
1.7 Tipos de laminadores	32
1.8 Hornos para calentamiento de los lingotes	35
a) Para el calentamiento de lingotes	
b) Para el calentamiento de semielaborados	
c) De recocido.	
1.9 Laminación de planchas y bandas de aluminio	42
1.9.1 Laminación de planchas	42
1.9.2 Laminación de papel aluminio	43
1.9.3 Laminación del cobre y sus aleaciones	44
1.9.4 Laminación en frío	44

CAPITULO 2

BIMETALES.

2.1 Introducción	46
2.2 Empleo de calor y presión	47
2.3 Método de fundición	48
2.4 ¿Por qué materiales bimetalicos?	49
2.4.1 Características generales	51
2.4.2 Materiales que se usan como soportes y recubrimiento de los bimetales	51
2.5 Níquel y aleaciones de alto contenido de níquel	54
2.6 Materiales que también se emplean en el recubrimiento	56

de bimetales.	3
2.7 Metal base	56
2.8 Soldadura de bimetales	57
2.9 Aplicaciones de los bimetales	59
2.10 Ejemplo de aplicación de otros metales laminados o bimetales.	62

CAPITULO 3

TERMOSTATOS

Introducción	65
3.1 Principios fundamentales de acción del termostato metálico	66
3.2 Ecuación general para un termostato metálico	66
3.3 Ecuación para un termostato formado por tres componentes	76
3.4 Resistividad eléctrica	81
3.5 Tipos de termostatos.	83

CAPITULO 4

EXPERIMENTACION

4.1 Preparación del material a colaminar	86
4.2 Pruebas mecánicas	88
4.3 Presentación de resultados	89
4.4 Resultados obtenidos	91
4.5 Metalografía de los materiales bimetales	95
4.6 Aplicaciones y ventajas del bimetal, Aluminio-Latón	96

CAPITULO 5	4
CONCLUSIONES	102
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXO I	
METALOGRAFIA DE LOS MATERIALES BIMETALICOS	
A1.1 Montaje de las probetas bimetales	108
A1.2 Rebajado y pulido de las probetas	108
A1.3 Ataque de las probetas	109
Tablas de reactivos para ataque de probetas en acero, aluminio y sus aleaciones cobre y sus aleaciones	112
ANEXO 2	
NOMENCLATURA	116

En la actualidad el excesivo consumo y utilización de los materiales tradicionales tienden a hacerse escasos y a alzar su costo, por lo que en las últimas décadas se ha llevado a cabo su investigación para poder obtener nuevos materiales y así satisfacer las necesidades de la demanda.

El presente trabajo tiene como objeto efectuar la laminación conjunta entre dos metales no ferrosos diferentes, para lo cual se escogieron en Aluminio y Latón en lámina, dentro de un poroyecto más amplio y obtener un material ensamblado o bimetel mediante la laminación.

En el capítulo uno, se establecen los principios de laminación, las deformaciones que se producen en el material, así como la presión máxima y el trabajo necesario para esas deformaciones. También los componentes del laminador, los tipos básicos de los laminadores, así como la descripción de la laminación de aluminio y sus aleaciones y el cobre y sus aleaciones .

En el capítulo de Bimetales, trata los componentes de estos bimetales su funcionamiento y ventajas. Los métodos convencionales para su obtención, los materiales que se emplean para el soporte, el recubrimiento y base para bimetales, así como una extensa relación de aplicaciones industriales de los bimetales principalmente en base de acero, aluminio, cobre y sus aleaciones.

En el siguiente capítulo se describen los principios de

funcionamiento de los termostatos, así como sus ecuaciones fundamentales de estos, en dos y tres componentes de diferentes metales, se obtienen analíticamente los valores para los cuales la curvatura es máxima, en relación a las variables de la razón de espesores y del módulo de elasticidad o de Young, de las componentes. También se da como un ejemplo analítico y gráfico para un termostato bimetal en Aluminio-Latón.

En el capítulo de Experimentación, de acuerdo a las ideas y principios vistas en los capítulos anteriores, nos proponemos realizar la laminación conjunta de dos metales diferentes. En nuestro caso de aluminio y latón, para ello se plantean los pasos siguientes:

+ Preparación del material.

+ Laminación del bimetal.

+ Determinar los parámetros principales para los cuales se realizó esta laminación:

el porcentaje de reducción del material.

la velocidad de operación.

temperatura de precalentamiento del mismo.

+ La realización de pruebas mecánicas y metalográficas sobre probetas seleccionadas con la finalidad de analizar y evaluar los resultados obtenidos.

En el último capítulo se discuten los resultados experimentales y se dan las ideas concluyentes a este trabajo.

CAPITULO I

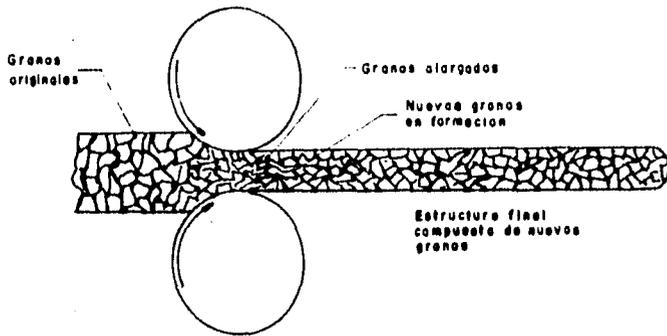
LAMINACION

GENERALIDADES

Laminar es deformar una masa metálica haciéndola pasar entre dos cilindros superpuestos, que giran en sentido inverso. Esta operación puede realizarse en caliente y en frío, ver Fig.(1.1)

La laminación en caliente se realiza a temperaturas comprendidas entre las de recristalización y las de fusión, lo mismo ocurre en la forja, no se produce acritud, o sea, no se endurece el material por deformación la que puede ser tan intensa como sea necesario, siempre que se mantenga el material a temperaturas adecuadas. Además en la laminación en caliente se puede producir también una mejora de las características del material, pues disminuyen sus porosidades y las heterogeneidades químicas y estructural, aunque esta mejora no es tan intensa como en la forja (hay que tener en cuenta que algunos aceros como los templados al aire, o autotemplantes pueden resultar templados al laminarlos en caliente).

La laminación en frío se realiza a temperatura por abajo de la temperatura de recristalización y, por tanto, los materiales adquieren acritud al deformarse, por lo que deben recocerse al terminar la operación, e incluso en el transcurso de ella, si la deformación es muy profunda.



8

FIG. 1.1 VARIACIONES EN LA ESTRUCTURA DE LOS METALES PRODUCIDAS POR LA LAMINACION

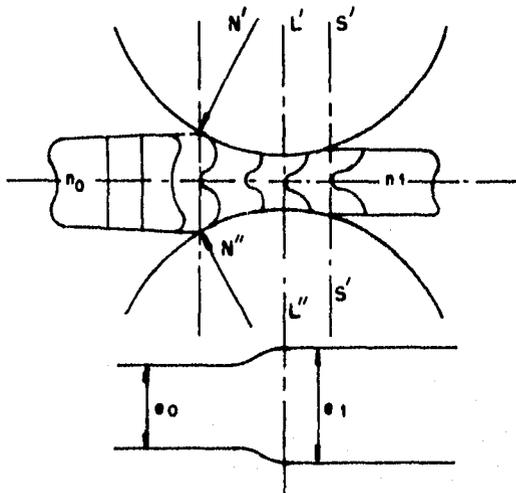


FIG. 1.2 DEFORMACIONES PRODUCIDAS POR LA LAMINACION

Pudiendo considerarse las deformaciones por laminación similares a las realizadas por forja, los materiales aptos para ser laminados son también los que denominamos materiales forjables, entre los que se encuentran los materiales y las aleaciones más empleadas en la industria.

De ellos, los que en mayor volumen se trabajan por laminación son los aceros, obteniéndose por este procedimiento una gran variedad de perfiles y chapas. Pero también se obtienen gran variedad de perfiles y chapas por laminación de otros muchos metales, como el cobre y sus aleaciones, el aluminio y sus aleaciones, las aleaciones de magnesio, zinc, y plomo, etc., e incluso de metales preciosos, como plata y oro, principalmente.

Las deformaciones que se producen en un tocho, al pasar entre dos cilindros de laminación, son Fig.(1.2) las siguientes:

a) **RECALCADO A LA ENTRADA:** Las fuerzas N' y N'' de reacción de los cilindros sobre el material producen en éste una especie de recalco, que se traduce en un aumento de la sección de la pieza inmediatamente detrás de la sección de contacto con los cilindros.

b) **DEFORMACION MAXIMA:** La deformación máxima tiene lugar en el plano que pasa por los ejes de los cilindros que se denomina plano de laminación.

c) **DILATACION A LA SALIDA:** Al salir el material de los cilindros y cesar sobre él la presión que éstos ejercían, aumenta su espesor o altura ligeramente, siendo por tanto superior a la que tenía en el plano de laminación antes citado. Esto se debe a que siempre queda en el material algún grado de elasticidad, que tiende a hacerle recobrar en parte su forma primitiva.

En este aumento de altura o espesor no es uniforme sino que es mayor en el centro que en los bordes y por tanto, si se lamina con cilindros perfectamente cilíndricos, resultan las superficies abombadas. Esto es debido a que la fuerza necesaria para la deformación crece hacia el centro del material y, por tanto son también mayores las reacciones elásticas en el centro que en los bordes. Por esto, para conseguir que las superficies laminadas sean planas se debe emplear cilindros ligeramente abombados, para que den una mayor deformación en el centro del tocho, que compense su mayor reacción elástica en esta zona.

d) **ENSANCHAMIENTO:** La anchura del material aumenta muy poco con la laminación a diferencia de lo que ocurre en la forja en la que el material se ensancha por igual en todas las direcciones. Esto se debe a que el movimiento de rotación de los cilindros provoca un flujo del metal hacia adelante, hasta el punto de que podrían conseguirse piezas de la misma anchura que la inicial si se pudieran utilizar grandes velocidades de giro para los cilindros de laminación.

e) **ALARGAMIENTO, ACELERACION:** Al disminuir el espesor del material en la laminación y aumentar muy poco su anchura, se produce una disminución de sección que se traduce en un notable aumento de la longitud o alargamiento de la pieza laminada.

Como a la velocidad de entrada del tocho en los cilindros de laminación hay que sumar el aumento de longitud de éste en la unidad de tiempo resulta que la velocidad de avance del material a la salida es superior a la velocidad a la entrada. A este fenómeno se le designa impropriamente como "aceleración".

1.2. VALORES QUE CARACTERIZAN LAS DEFORMACIONES PRODUCIDAS EN LAMINACION CON CILINDROS LISOS

Las deformaciones producidas en laminación se valoran por la presión, el coeficiente de reducción, el coeficiente de alargamiento y el coeficiente de forja.

a) **PRESION:** Se denomina presión o tiro en la laminación a la diferencia entre el espesor o altura del material antes de pasar por los cilindros y la que tiene después:

$$P = h_0 - h_1 \quad (1)$$

Por ejemplo, en un material de espesor, o altura $h_0 = 80$ mm que se lamina y queda con un espesor $h_1 = 60$ mm, la presión de laminación será:

$$P = 80 - 60 = 20 \text{ mm}$$

Esta es la presión absoluta que es la que más se emplea,

pero también puede deducirse la presión relativa o porcentaje de presión por la siguiente relación:

$$P_r = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100 \quad (2)$$

En el ejemplo anterior, la presión relativa será:

$$P_r = \frac{80 - 60}{80} \times 100 = 25\%$$

La presión relativa oscila normalmente entre un 10% y un 20%. Se ha de aclarar que la presión a que nos hemos referido hasta ahora es la presión vertical o directa, que ordinariamente se denomina simplemente presión. Pero cuando se lamina con cilindros acanalados, existe también disminuciones de espesor en otras direcciones, a las que se denomina presiones indirectas o presiones laterales.

b) COEFICIENTE DE REDUCCION: Se denomina coeficiente de reducción a la relación entre la sección de salida S_1 y las sección S_0 del material laminado:

$$R = \frac{S_1}{S_0} \quad (3)$$

La reducción relativa o porcentaje de reducción con respecto a la sección primitiva se hallará por la expresión:

$$R = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100 \quad (4)$$

Por ejemplo, en una barra cuyas secciones iniciales son $S = 200 \text{ mm}^2$ y $S_1 = 160 \text{ mm}^2$, los coeficientes de reducción R y la reducción relativa de R_r serán:

$$R = \frac{160}{200} = 0.8$$

$$R_r = \frac{200 - 160}{200} \times 100 = 20\%$$

Como el ensanchamiento ya hemos dicho antes que era muy pequeño, podemos considerar que el ancho de la barra C permanece igual a la salida del laminador que a la entrada y si h_0 es su grueso inicial y h_1 el que tiene laminada, la expresión (4) puede convertirse en:

$$R = \frac{S_0 - S_1}{S_0} = \frac{C h_0 - C h_1}{C h_0} = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \quad (5)$$

Que es la misma expresión que hemos formulado en (2) para la presión relativa P .

c) **COEFICIENTE DE ALARGAMIENTO:** Se denomina coeficiente de alargamiento A, o simplemente alargamiento a la relación entre la longitud del tocho laminado L_1 a su longitud inicial L_0 :

$$A = \frac{L_1}{L_0} \quad (6)$$

Si tenemos en cuenta que el volumen V del material permanece sensiblemente constante y si S_0 y S_1 son las secciones iniciales de la barra tendremos:

$$A = \frac{L_1}{L_0} = \frac{\frac{V}{S_1}}{\frac{V}{S_0}} = \frac{S_0}{S_1} \quad (7)$$

Si consideramos también como constante el ancho de C de la barra, ya que su variación es muy pequeña, y si h_0 y h_1 son los gruesos iniciales y finales de la barra, la expresión (7) puede transformarse así:

$$A = \frac{S_0}{S_1} = \frac{C h_0}{C h_1} = \frac{h_0}{h_1} \quad (8)$$

Es decir que el alargamiento puede expresarse por la relación de las secciones S_0 y S_1 o de los gruesos h_0 y h_1 iniciales y finales de la barra.

1.2.1. ARRASTRE DEL TOCHO CON CILINDROS LISOS: Al tomar contacto un tocho con cilindros de un laminador se producen fuerzas como la F_1 y F_2 de reacción del material al ser deformado que tienden a separar los cilindros Fig.(1.3)

Cada una de estas fuerzas pueden descomponerse en dos: las (N) en la dirección de los ejes de los cilindros y las (T) tangenciales.

Las fuerzas (N) quedan anuladas por las fuerzas de reacción N' de los ejes de los cilindros.

En cuanto a las fuerzas T que tienden a oponerse a la entrada del tocho, quedan contrarrestadas con las de arrastre producidas por el rozamiento de los cilindros con el tocho, y cuyo valor es $f \cdot N$ siendo f el coeficiente de rozamiento. Por tanto, para que este arrastre tenga lugar deberá verificarse que:

$$f \cdot N = T$$

Pero como $T = N \operatorname{tg} \alpha$, tendremos $f \cdot N = N \operatorname{tg} \alpha$ o bien $f = \operatorname{tg} \alpha$, si suponemos que f varia de 0.4 a 0.5, entonces $\alpha = 22^\circ$ a 29° .

Una vez enganchando el tocho e iniciada la laminación puede aumentarse el ángulo a aproximadamente al doble, ya que es suficiente que se verifique:

$$f = \tan \frac{\alpha}{2}$$

El coeficiente de rozamiento f varia en sentido inverso de la velocidad periférica de los cilindros y, por tanto el ángulo

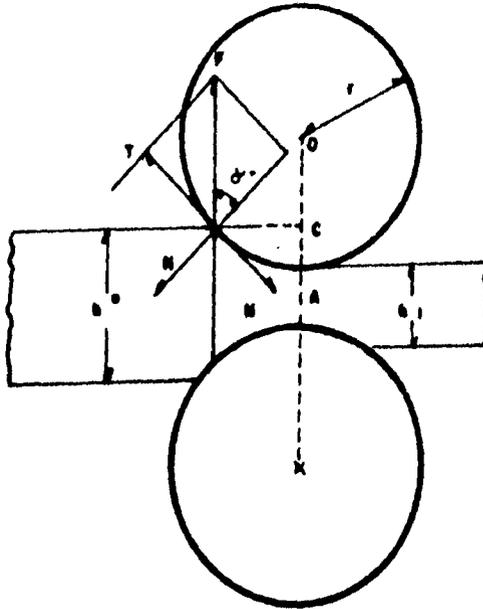


FIG. 1.3 FUERZAS QUE INTERVIENEN EN EL ARRASTRE DEL TOCHO POR DOS CILINDROS LISOS EN LAMINACION

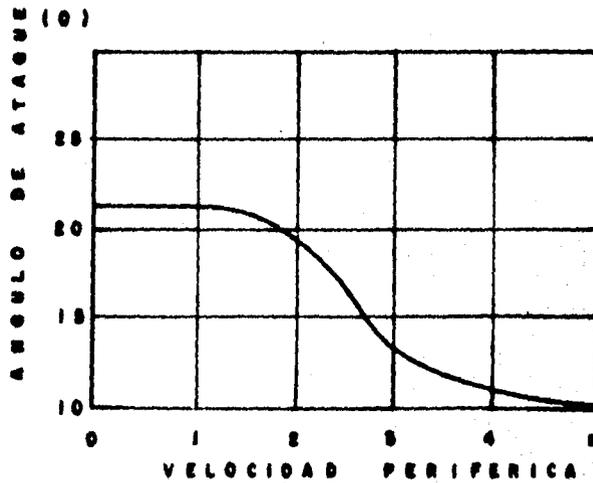


FIG. 1.4 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD EN EL ANGULO α DE ATAQUE

de ataque máximo α podrá ser tanto mayor cuanto menor sea la velocidad periférica. Fig. (1.4)

1.2.2. PRESION MAXIMA SEGUN EL DIAMETRO DE LOS CILINDROS

La mayor reducción del espesor del tocho en una pasada o presión máxima que se puede conseguir depende del diámetro de los cilindros y del coeficiente de rozamiento como vamos a ver.

De la Fig. (1.3) se desprende que:

$$h_0 - h_1 = p2A'C = 2(r - r\cos\alpha) = 2r(1 - \cos\alpha) \quad (9)$$

como $f = \tan \alpha$ y $\text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha = 1$

$$f^2 = \tan^2 \alpha = \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{cos}^2 \alpha}$$

de donde:

$$\text{cos}^2 \alpha = \frac{1}{f^2 + 1}$$

y, por tanto:

$$\text{cos} \alpha = \frac{1}{(f^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}$$

Sustituyendo estos valores en (9) tendremos finalmente:

$$P = 2r \left(1 - \frac{1}{(f^2 + 1)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

Por lo tanto, la máxima presión P posible es proporcional al diámetro de los cilindros y crece al crecer el coeficiente de rozamiento, y como éste es inverso a la velocidad, la presión máxima de P podrá ser mayor cuanto menor sea la velocidad periférica de los cilindros.

Por esto se emplean cilindros de gran diámetro girando lentamente para obtener fuertes reducciones en el desbaste, y en cambio para la obtención de perfiles se emplean cilindros de pequeño diámetro y de mayor velocidad de producción.

Si se hace:

$$2r = (\text{diámetro}) \quad d$$

$$f = 0.4 \text{ a } 0.5;$$

$$\frac{d}{10} \Rightarrow p \Rightarrow \frac{d}{14}$$

Es decir, que la presión máxima posible está comprendida, generalmente, entre $1/10$ y $1/14$ del diámetro de los cilindros.

1.3. CILINDROS ACAMALADOS.

Para comprimir el material de formas especiales en la laminación se utilizan cilindros con ranuras concéntricas, de formas diversas, practicadas en su superficie, que se denominan canales.

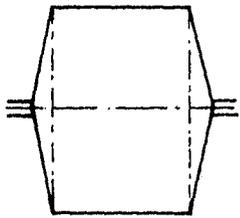


FIG. 1.5 CANALES ABIERTOS

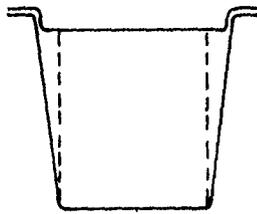


FIG. 1.6 CANALES CERRADOS

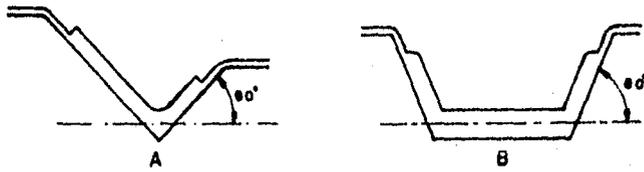


FIG. 1.7 CANALES ABIERTOS (A) Y CERRADOS (B) CON LINEAS DE SEPARACION INCLINADAS

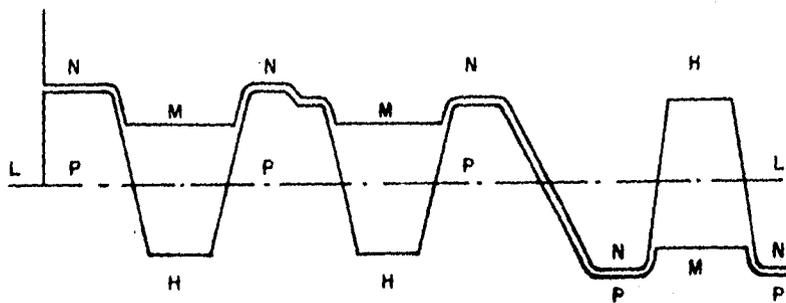


FIG. 1-8 CORDONES POSITIVOS (P) NEGATIVOS (N) CANALES MACHOS (M)
CANALES HEMBRA (H)

Cuando la línea de separación de las secciones correspondientes a cada cilindro es horizontal, los canales se denominan abiertos Fig.(1.5). Si esta línea es perpendicular al eje del cilindro se denominan canales cerrados Fig.(1.6). Si las líneas de separación de ambos cilindros están inclinadas se denominan abiertos si el ángulo con la línea paralela al eje de los cilindros es menor de 60° Fig.(1.7A), y cerrados es más de 60° Fig.(1.7B)

A las secciones de los cilindros comprendidas entre canal y canal se les denomina cordones. En los cordones teóricamente se deberían quedar los dos cilindros en contacto, pero en la práctica se deja un pequeño juego de 0.5 a 1.5 mm, según su diámetro, con el fin de poder acercar más los cilindros en cuanto se desgasten las canales. Si esta línea de contacto de los cilindros en los cordones está por encima de la línea media del canal, los cordones se denominan positivos Fig.(1.8), y si esta línea está más baja se denominan negativos. En general, los cordones del cilindro superior son negativos y los del cilindro inferior positivos. Los canales cuyos adyacentes sean negativos se denominan machos y los canales con cordones positivos se denominan hembras.

1.3.1 SECCION DE LOS CANALES.

Las secciones de los canales dependen de la clase de trabajo a que se destinan los cilindros. Si se trata de producir

perfiles de forma especial los canales tendrán una sección en consecuencia con la sección del perfil. En general, estos perfiles no se obtienen en una sola operación, sino que se parte de una sección cuadrada o rectangular y por sucesivas pasadas con canales de forma adecuada, cuya sección se aproxima cada vez más a la del perfil, se obtiene la sección del perfil definitivo.

Hay sin embargo, series normalizadas de secciones de canales en cilindros destinados al desbaste inicial que precede a la confirmación sucesiva de los perfiles.

Las secciones más usadas de este tipo son las siguientes, ver Fig.(1.9)

Cuadradas Fig.(1.9.A)

Ojivales Fig.(1.9.B)

Romboidales-cuadradas Fig.(1.9.C)

Cuadradas- ovoidales- cuadradas Fig.(1.9.D)

1.4 LINEA DE LAMINACION: Se denomina línea de laminación a la línea teórica de contacto de los dos cilindros supuestos tangentes. Pero si suponemos un canal situado por encima de la línea de laminación, resultará que la velocidad periférica de las superficies de los cilindros de ese canal será muy diferente Fig.(1.10) ya que el diámetro de trabajo del cilindro inferior es mayor que el diámetro del cilindro superior y, por tanto, girando los dos cilindros a la misma velocidad angular la barra laminada en ese canal se verá impedida para avanzar con mayor velocidad por el cilindro inferior que por el superior, lo que

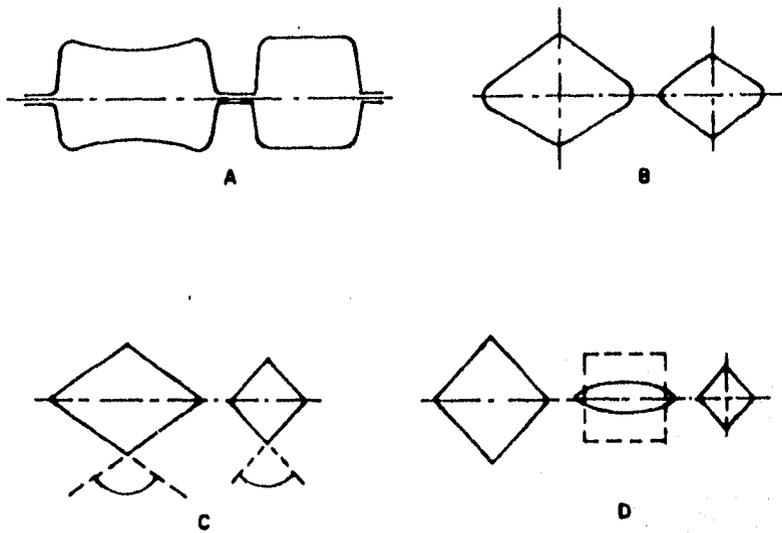


FIG. 1. 0 SECCIONES DE CANALES DE SEBASTE :

A CUADRADAS RECTANGULARES

B OJIVALES

C ROMBOIDALES · CUADRADAS

D CUADRADAS · OVOIDALES · CUADRADAS

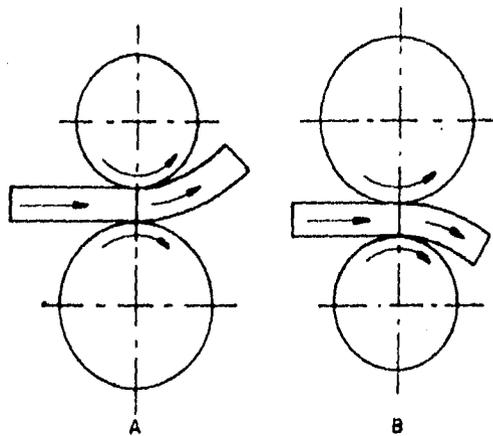


FIG. 1.10 A) LINEA DE LAMINACION SITUADA POR ENCIMA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA SECCION DE LAS CANALES , QUE DEFORMA EL LAMINADO HACIA ARRIBA .

B) SI LA LINEA DE LAMINACION ESTA POR DEBAJO DEL CENTRO DE GRAVEDAD ,

forzosamente se habrá de traducir en un freno para el inferior y un arrastre para el superior. Esto aparte de representar una pérdida de potencia, distorsiona el material laminado y puede llegar a romperlo.

Para evitar estos inconvenientes se deben situar los canales de manera que coincidan sensiblemente la línea neutra de su sección con la línea de laminación (Fig.1.10). Esta línea neutra es la que pasa por el centro de gravedad de la sección de la canal, y es fácil determinar en canales de forma sencilla. En canales de forma complicada se halla la línea neutra recortando una plantilla de la sección a tamaño natural y colocándola en equilibrio sobre una arista viva. Más exactamente, se determina esta línea calculando su centro de gravedad.

1.5 TRABAJO NECESARIO EN LA LAMINACION

El trabajo elemental "dT" consumido para deformar un espesor dh de una banda de la sección rectangular y espesor ho, siendo F el esfuerzo total que ha sido necesario para la deformación, será:

$$dT = F dh \quad (10)$$

Si suponemos que la barra tiene un volumen V, una superficie S, y una resistencia a la compresión por unidad de superficie K la expresión (10) puede transformarse así:

$$dT = F dh = KS dh = K\left(\frac{V}{h}\right) dh = KV \frac{dh}{h}$$

Por tanto:

$$T = KV \int_{h_1}^{h_0} \frac{dh}{h} = KV \log \frac{h_0}{h_1} = KV \log A \quad (11)$$

Se ha sustituido la expresión h_0/h_1 por el alargamiento A , que ya vimos que es equivalente a la relación de secciones inicial y final S_0/S_1 y a la de gruesos h_0/h_1 cuando el ensanchamiento es pequeño lo que se puede admitir para cálculos aproximados.

Esta fórmula se ha representado en el gráfico de la Fig. (1.11) que da directamente al trabajo de deformación por tonelada en función del alargamiento, para temperaturas de 1250 °C.

Por ejemplo, un lingote de 700 mm x 700 mm de lámina hasta una sección de 100 mm x 100 mm.

El valor de A será:

$$A = \frac{700^2}{100^2} = 49$$

y en la Fig. (1.11) $A = 49$ corresponde un valor de:

$$T = 104,000 \text{ CV/t} = \frac{104,000}{3,600} \times 0.736 = 21.26 \text{ Kwh/t.}$$

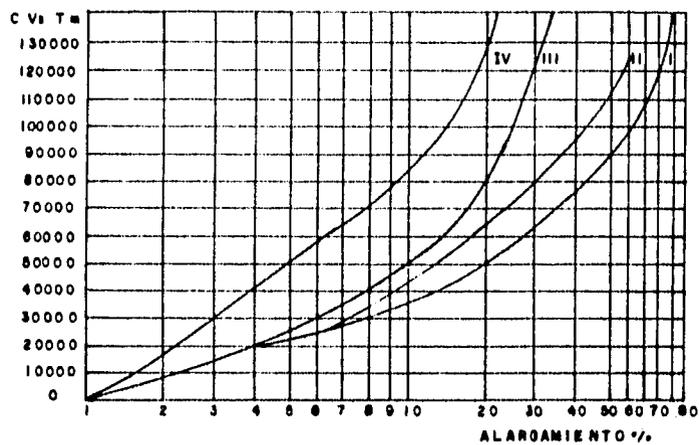


FIG. 1.11 TRABAJO DE DEFORMACION EN CABALLOS/SEGUNDO POR TM. EN FUNCION DEL ALARGAMIENTO

- I LAMINACION DE TOCHOS (Bloems) o PETACAS (Slabs)
- II LAMINACION DE CHAPAS GRESAS EN TRENES REVERSIBLES.
- III LAMINACION DE CHAPAS DE 10 A 30 KG./m EN TRENES REVERSIBLES
- IV LAMINADO DE CHAPA FINA o PEQUEÑOS PERFILES DE 2 a 5 KG./m EN TRENES CONTINUOS o SEMICONTINUOS.

La unidad de laminación más sencilla está compuesta de dos cilindros portacojinetes denominados ampuestas, están apoyados en dos bastidores, compuesto cada uno por una base, dos columnas y un larguero que las une. Ambos bastidores están a su vez unidos por otros elementos, que los mantienen en la debida posición y dan solidez al conjunto.

A este laminador elemental, que puede estar formado por más de dos cilindros de eje horizontal y también de eje vertical, se denomina caja de laminación. Si los bastidores que soportan las ampuestas son de una pieza se denominan cajas cerradas, y si su larguero es desmontable se denominan cajas abiertas, ver Fig. (1.12)

Por lo menos uno de los cilindros puede deslindar arriba y abajo, para ajustar su distancia al cilindro inferior. Este ajuste puede realizarse por medio de espárragos roscados, denominados, tornillos de presión. Pero sí el ajuste ha de hacerse después de cada pasada el accionamiento de los espárragos se realiza por medio de motores mandados a distancia, denominándose el conjunto del mecanismo de ajuste calibradores.

1.6.1 CILINDROS DE LAMINACION.

Los cilindros de laminación se componen de tres partes principales:

- a) El cuerpo o tabla, que puede ser lisa o acanalada.
- b) Los cuellos, uno a cada lado de la tabla.

c) Los muñones o trefles de acoplamiento, también en número de dos por cada cilindro. Ver Fig. (1.13)

La robustez de los cilindros de laminación viene definida por la relación entre la longitud de la tabla y su diámetro, que varía según la aplicación de los cilindros, pero que, en general, oscila entre:

$$\frac{\text{Longitud de tabla}}{\text{Diámetro de los cilindros}} = 2 \text{ a } 3$$

Los cilindros de laminación se construyen frecuentemente de los siguientes materiales: De fundición ordinaria de 240 HB (dureza) para cilindros preparadores, que deben resistir fuertes presiones y conviene en ellos algo de elasticidad;

De fundición semidura de 350 HB para cilindros acabadores de carriles y perfiles especiales.

- De fundición de 420 HB para cilindros acanalados para laminación de chapas, redondos, etc.

- De acero forjado de 0.40% de C y 0.60% de Mn para cilindros desbastadores.

- De acero aleado de 0.85% de C, 0.30% de Ni, 0.10% de Cr y 0.50% de Mo para laminación de perfiles.

1.6.2 ACCIONAMIENTO.

Los cilindros de los laminadores están accionados por motores eléctricos a través de un reductor de velocidad de engranajes y una caja de piñones Chevron, que acopla los cilindros entre sí y con el eje del reductor Fig. (1.14).

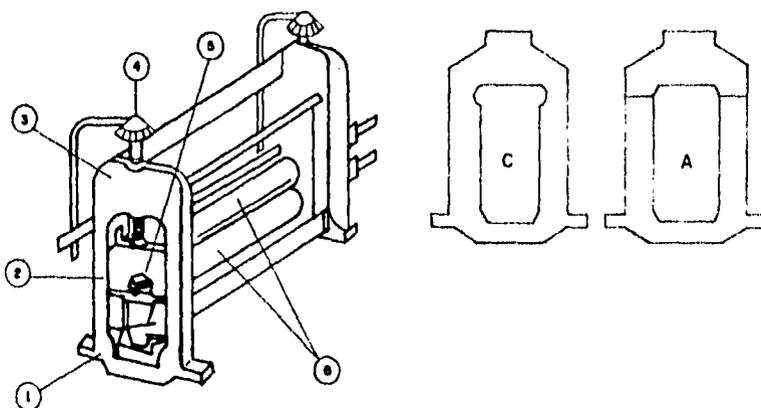


FIG. 1.12 CAJA DE LAMINACION

(1) BASE (2) COLUMNAS (3) HOMBROS (4) TORNILLO DE PRESION

(5) AMPUESAS (6) CILINDROS

" C " CAJA CERRADA " A " CAJA ABIERTA

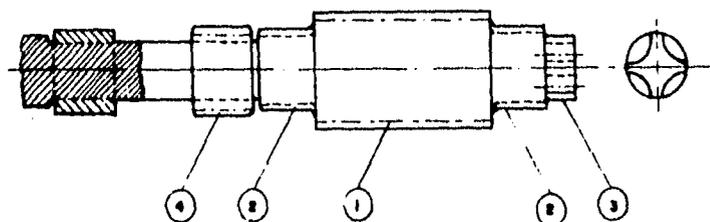


FIG. 1.13 CILINDRO LISO DE LAMINACION
(1) TABLA (2) CUELLOS (3) TREFLES ó MUÑONES
4) CHOCOLATERA DE ACOPLAMIENTO

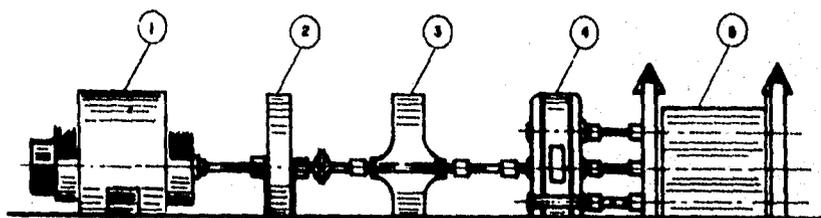


FIG. 1.14 ACCIONAMIENTO DE UN LAMINADOR
(1) MOTOR (2) VOLANTE (3) CAJA REDUCTORA (4) CAJA DE PIÑONES
(5) LAMINADOR

Solamente los grandes laminadores de desbastes (Blooming) llevan un motor de corriente para el accionamiento directo e independiente de cada cilindro. Estos motores son alimentados por grupos de transformación rotativos, denominados grupos Ilgner que transforman la corriente alterna de la red en continua, aunque moderadamente se tiene la utilización de rectificadores de corriente de vapor de mercurio cuyo rendimiento es superior a los grupos Ilgner y son de adquisición más económica.

1.7 TIPOS DE LAMINADORES.

Las cajas de laminación que hemos descrito, compuestas de dos cilindros, son las más elementales, pues se construyen cajas compuestas de varios cilindros, con las siguientes denominaciones:

Dúo:

Caja de dos cilindros de ejes horizontales. Pueden ser reversibles y no reversibles, según pueda invertirse o no el sentido de giro de los cilindros y laminar por tanto, en dos sentidos Fig. (1.15 A y B)

En general en las cajas dúo el cilindro superior es de un diámetro ligeramente mayor que el cilindro inferior, con lo cual, al ser mayor la velocidad periférica de aquel que obliga a las fibras del material laminado en contacto con él a girar a una velocidad ligeramente mayor que las de las fibras en contacto con la superficie del cilindro inferior. Esto se traduce en una tendencia de la barra a deformarse hacia abajo y quedar apoyada

en un soporte que hace innecesaria toda guía. Cuando los dos cilindros son iguales, la adherencia entre el material y los cilindros, que varía según la rugosidad de aquel, hace que el laminado se curve hacia arriba o hacia abajo, por lo que deben disponerse guías para centrarlo.

Trío:

Cajas de tres cilindros de eje horizontal colocados en un mismo plano vertical. Fig.(1.15 C y D). los tres cilindros pueden ser del mismo diámetro y estar sus movimientos sincronizados por engranajes, o bien pueden ser con el cilindro intermedio de diámetro y con giro por fricción con los otros dos cilindros que están engranados entre sí.

Con estas cajas se lamina en los dos sentidos, sin tener que parar e invertir el giro de los cilindros, como ocurre en las cajas dúos reversibles, pues pasa el tocho entre el cilindro inferior y el intermedio en un sentido, y convenientemente elevado por una mesa elevadora, pasa en retorno entre los cilindros intermedio y superior.

Dúos alternados:

En estas cajas se ha sustituido uno de los cilindros de los trenes trío por un árbol de transmisión Fig.(1.15). Se utilizan para el terminado de perfiles pequeños.

Dobles Dúos:

Se componen de dos cajas parejas de cilindros cada una con sus ejes en dos planos verticales paralelos.

Cuartos:

Se componen estas cajas de cuatro cilindros en un mismo

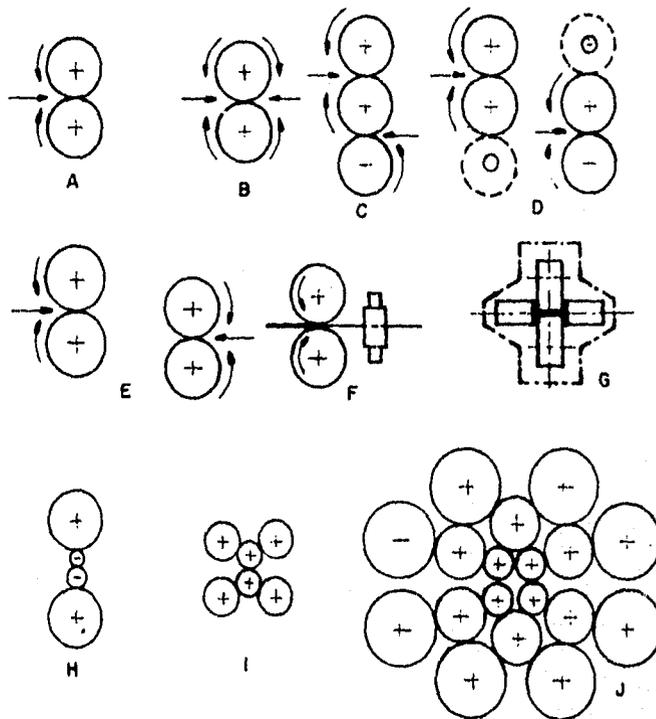


FIG. 1 : 15 TIPOS DE LAMINADORA: (A) DUO (B) DUO REVERSIBLE

(C) TRIO (D) DUOS ALTERNADOS (E) DOBLE DUO

(F) CAJA UNIVERSAL PARA PERFILES (H) CUARTO

(I y J) CILINDROS DE CAJAS SENDZIMIR PARA LAMINACION EN FRIO .

plano vertical, siendo los dos cilindros interiores, de pequeño diámetro los verdaderos cilindros de laminación, y los exteriores de apoyo Fig. (1.15H).

1.8 HORNOS PARA CALENTAMIENTO DE LOS LINGOTES.

En laminación se utilizan tres clases de hornos:

- a) Para el calentamiento de los lingotes,
- b) Para el calentamiento de semielaborado
- c) De recocido.

a) Hornos para el calentamiento de los lingotes:

El calentamiento o mantenimiento de la temperatura de los lingotes se realiza en los denominados hornos de fosa y hornos pits (pit en inglés significa foso) Fig.(1.16). Estos hornos están compuestos de varios departamentos o células que se cargan y descargan por arriba. Para el calentamiento de estos hornos puede emplearse cualquier combustible líquido o gaseoso, pero como generalmente los trenes desbastadores están instalados en factorías siderúrgicas, se utiliza normalmente como combustible gas de alto horno enriquecido con gas de alumbrado, obteniendo en la misma factoría, de los hornos de coque. El aire de combustión es precalentado hasta una temperatura de 700 °C. Los gases de combustión pasan por las diversas células en que esta dividido el horno y los caldean antes de salir por la chimenea.

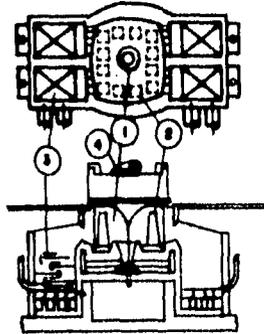


FIG. 1. 16

HORNO PIT (De 1000) PARA EL CALENTAMIENTO DE LOS LINGOTES :

1) POZA 2) LINGOTES 3) RECALENTADORES

4) MECANISMO DE CARGA Y DESCARGA

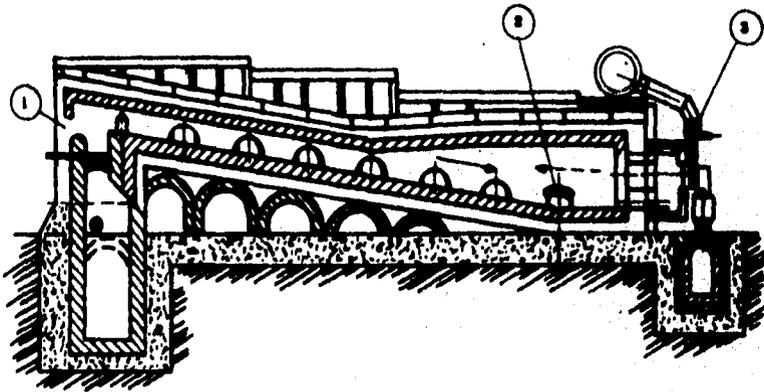


FIG. 1. 17

HORNO DE EMPUJADORES PARA EL CALENTAMIENTO DE SEMIPRODUCTOS :

1) ENTRADA 2) SALIDA 3) QUEMADOR DE GAS .

b) Hornos para el calentamiento de los semi-elaborados.

Para el calentamiento de los tochos, petacas, llantones, etc., a la temperatura adecuada para precalentarlos y obtener perfiles, se utilizan los hornos de los siguientes tipos:

i) Hornos de empujadores.

Estos hornos son de funcionamiento continuo, avanzando el material por un empujador mecánico. El calentamiento se efectúa a contra-corriente, entrando los gases por cerca de la salida del material y siendo evacuados a la chimenea situada cerca de la entrada, Fig. (1.17).

ii) Hornos de solera móvil.

Estos hornos tienen forma de túnel y su solera, que es móvil avanza con el material, apoyada sobre un tren articulado de pequeñas plataformas con ruedas. Se cargan por un extremo y salen los productos a la temperatura adecuada por el extremo contrario Fig. (1.18).

iii) Hornos giratorios.

Están formados estos hornos por una solera circular sobre la que se carga el material y se calienta en el tiempo que tarda en hacer un giro completo la solera Fig. (1.19).

c) Hornos para el recocido de chapas.

Las chapas gruesas de un espesor mayor de 2 mm se recuecen para disminuir su acritud (endurecimiento por deformación en frío) en hornos de rodillos que aseguran su desplazamiento mecánico por el horno o en hornos de solera móvil.

Las chapas finas de menos de 2 mm de espesor, en hojas o en bobinas se recuecen en hornos de campana o en hornos

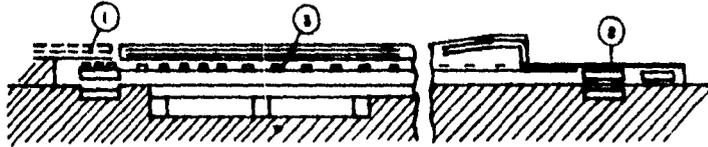


FIG. 1. 18 HORNO DE SOLERA MOVIL PARA EL CALENTAMIENTO DE SEMIPRODUCTOS .

(1) ENTRADA (2) SALIDA (3) PLATAFORMAS SOBRE RUEDAS

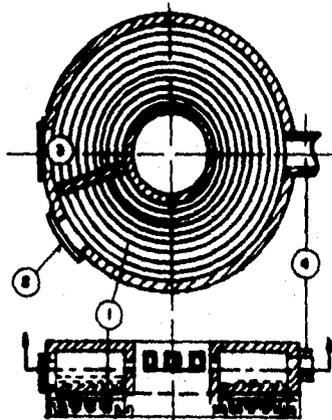


FIG. 1. 19 HORNO DE SOLERA GIRATORIO PARA EL CALENTAMIENTO DE SEMIPRODUCTOS :

**(1) SOLERA (2) ENTRADA DE PRODUCTOS (3) SALIDA
(4) SALIDA DE GASES**

continuos.

39

Los hornos de campana están compuestos por una base sobre la que se coloca el material, una cubierta metálica de protección y otra cubierta móvil o campana provista de los elementos calefactores, que cubre todo el conjunto Fig.(1.20). El calentamiento puede hacerse por medio de tubos radiantes colocados en la pared interior de la campana o por fuego directo de quemadores situados sobre la base.

Los hornos continuos se colocan al final de la última caja de laminación, entre ésta y la sección de bobinado o corte de hojas. El recocido se efectúa de una manera continua al pasar por la banda por el horno, siendo éste de la longitud y temperatura adecuada para que a la velocidad normal de avance de la banda por el tren de laminación se realice el recocido. En realidad, la banda atraviesa tres zonas en su paso por el horno.

- a) Zona de precalentamiento donde se eleva la temperatura de la banda hasta 400 °C en atmósfera oxidante.
- b) Zona de recocido a temperaturas de 850 °C a 950 °C en atmósfera ligeramente reductora para reducir el óxido formado en la primera zona.
- c) Zona de enfriamiento hasta la temperatura ambiente.

En general, el calor desprendido por la chapa en esta última zona se aprovecha y recupera para precalentarla primera zona.

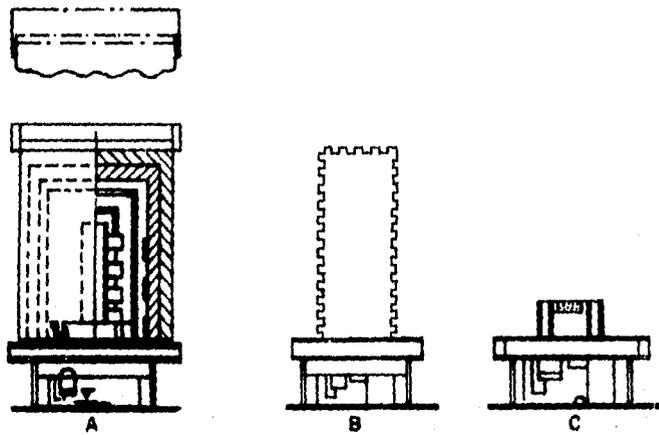


FIG. 1.20 HORNO DE CAMPANA PARA RECOCIDO DE CHAPA FINA Y ALAMBRE

A) HORNO COMPLETO EN EL QUE SE APRECIAN LOS ELEMENTOS CALENTADORES EN EL INTERIOR DE LA CAMPANA .

B) CUBIERTA METALICA DE PROTECCION

C) BASE

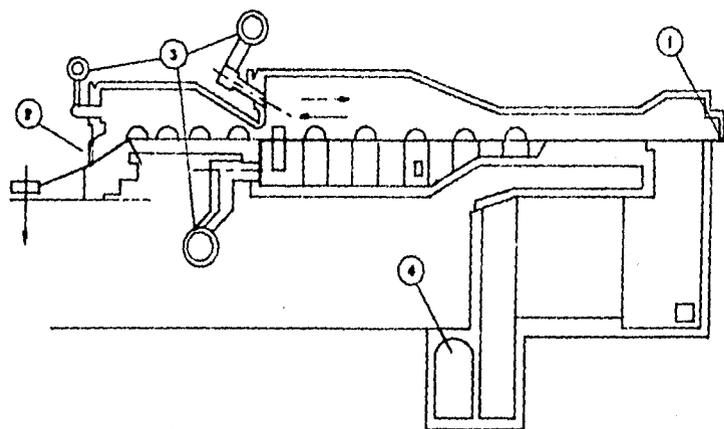


FIG. 1.21 HORNO CONTINUO PARA RECOCIDO DE CHAPA

(1) ENTRADA (2) SALIDA (3) QUEMADORES (4) CHIMENEA

1.9 Laminación de planchas y bandas de aluminio y sus aleaciones.

Para la laminación del aluminio y sus aleaciones se parte de placas obtenidas por fundición, de unos 110 al 150 mm de espesor, siendo su anchura proporcionada a la del laminador de que se dispone.

Primero se calientan las placas en hornos generalmente eléctricos, de solera giratoria a unos 460 °C.

Seguidamente se laminan en un tren formado por una sola caja dúo. El número de pasadas depende del espesor de la chapa que se desee obtener, pero se ha de tener cuidado de que la temperatura del aluminio no descienda de los 300 ° C, para evitar que adquiera acritud.

1.9.1 Laminación de planchas.

Si se trata de obtener planchas de aluminio aleaciones, se lamina en caliente hasta un espesor por lo menos tres o cuatro veces superior al definitivo. Después se pasan los desbastes una vez cortados en las longitudes adecuadas, al tamaño de las planchas que se desea obtener, por un tren dúo, y se lamina en frío, con lo cual queda el aluminio en acritud y con la dureza y resistencia corrientemente especificadas para la mayoría de sus aplicaciones.

Se lámina lubricando las placas con aceite insoluble.

1.9.2 Laminación del papel de aluminio.

43

Para laminar papel de aluminio de 9 micras de espesor, se hacen pasar los desbastes obtenidos en caliente con un espesor de 7 mm por un tren dúo donde se lamina en frío un espesor de 1.5 mm. Después pasa la banda por otro tren dúo, donde se lamina hasta 0.7 mm.

A continuación se recuecen y desaceitan las bobinas de los hornos eléctricos de solera móvil entre 480° C y los 520° C, se pasa la banda por un tren continuo, donde la caja se reduce el espesor a la mitad, pasando de 0.7 mm a 0.20 mm en cinco cajas sucesivas.

La última pasada se da haciendo pasar las hojas de dos bobinas juntas, separadas únicamente por una delgada lámina de gasolina, por un tren que reduce su espesor hasta las 9 micras finales.

Una cizalla adecuada va cortando los bordes de la banda, y una máquina separa las dos hojas en una operación denominada desdoblado.

Por fin se someten las bobinas a un recocido a unos 400°C donde se desaceitan además y por fin se cortan en la longitud requerida y se embalan.

La laminación del papel aluminio es una operación muy delicada, ya que el adelgazamiento se produce más bien por estirado que por la presión de los cilindros.

Por eso, los laminadores de papel de aluminio trabajan estirando la banda, que es retenida ligeramente por la bobina alimentadora. También depende el espesor obtenido de la velocidad

de la operación.

44

1.9.3 Laminación del cobre y sus aleaciones

El cobre y sus aleaciones laminan en caliente a temperaturas entre 750°C y 900°C al principio, debiendo rebasar los 500°C al final de la operación.

Los trenes empleados son dúos, y algunas veces tríos.

Después de la laminación deben los desbastes ser decapados para limpiar su superficie.

1.9.4 Laminación en frío

Los desbastes, una vez decapados, se sueldan a tope para formar una banda de gran longitud, que se laminan de 10 a 25 milímetros, generalmente en trenes cuartos.

Después de recocer la banda y decaparla puede seguir laminándose hasta 0.5 mm en trenes cuarto continuos.

La laminación del cobre debe ser lubricada con emulsión proyectada hacia los cilindros que los enfría al mismo tiempo que los lubrica.

CAPITULO 2.**BIMETALES****BREVE BOSQUEJO HISTORICO.**

Generalmente son metales con una cara de un metal de resistencia especial, soldada a base de menor costo, usados para hacer tanques, calderas y equipos para procesos químicos, donde se necesita tener una o en las dos caras ácidas y termoresistentes, con una placa de acero común, de menor costo y más fácil de trabajar. Pero la expresión se refiere también a otros laminados metálicos para usos eléctricos, y de otra naturaleza, con el compuesto formado algunas veces por varias capas.

Los metales laminados se usaron desde tiempos muy antiguos en las industrias de la joyería y en vajillas de plata y los Galos hacían un hierro recubierto de plata, soldando con soldadura fuerte láminas de hierro y de plata, para obtener productos de más bajo costo, como sustitutos de las pesadas vajillas de plata romanas.

Los aceros colaminados o acorazados se obtienen normalmente en grandes láminas y placas. Se hacen con cubiertas de níquel, acero inoxidable, metal monel, aluminio, o aleaciones especiales, a uno o ambos lados de la lámina.

El metal de revestimiento sobre una cara, representa generalmente del 10% al 20% del peso de la lámina.

Una placa compuesta que tiene una armadura de acero inoxidable de 18-8, a un espesor de 20% sobre una cara, ahorra 144 lbs. de cromo y 64 Kgs. de níquel por 1,000 Kgs. de placa total.

2.1 INTRODUCCION

Hay muchos tipos de metales combinados y de aceros con características superficiales especiales, pero dentro de esta gran variedad sólo hay un grupo que cumple con la especificación de los aceros bimetales.

Por definición, una plancha de acero bimetálico es una lámina compuesta en la que tenemos una placa de acero normal o comercial, a la cual se ha unido a uno o ambos lados en forma uniforme y permanente una hoja o cubierta de otro metal resistente a las elevadas temperaturas y/o corrosión, cuyo espesor es sensiblemente proporcional al grueso total de la plancha.

Las especificaciones, tanto de la A.S.T.M., como las de A.S.M.E. para calderas, exigen un mínimo de resistencia superficial en los depósitos de 1,500 Kgs. por cm^2 para los aceros recubiertos. La mayoría de los bimetales para uso general ofrecen actualmente resistencias que exceden en el doble la cifra anterior.

Generalmente, los aceros que se usan interiormente como soporte son tipos de bajo contenido en carbono, en tanto que el chapado es de acero inoxidable con diferentes proporciones de níquel, monel, plata, cobre, inconel y cuproníquel.

Los motivos fundamentales que justifican estos aceros bimetalicos es el disponer de materiales que sean anticorrosivos o resistentes al calor o ambos efectos, por lo menos en una de sus caras, y esto a un costo muy por debajo del de las planchas o chapas macizas de los materiales inatacables, que son sumamente caros.

Los métodos de fabricación de estos materiales son diversos, y cada uno tiene sus defensores. En la práctica, los resultados son idénticos que la unión entre el soporte o núcleo y el recubrimiento sea perfecta y el grueso del revestimiento permanezca uniforme en toda la superficie.

He aquí, en resumen, los principales métodos para preparar aceros bimetales.

2.2 Empleo de calor y presión

En este método se parte de un grueso tocho de acero, que se limpia y chorrea por una de sus caras planas, colocándole entonces encima una chapa del material de revestimiento preparada de la misma forma, quedando ambas unidas por prensado y puntos de soldadura. Una segunda chapa de recubrimiento, unidas como las anteriores, son colocadas a tope con las primeras, bien enfrentadas las dos caras que cubren, pero aisladas ambas mediante una capa de material infundible. Este complicado "Sandwich" se calienta hasta que su masa alcance los $1,260^{\circ}\text{C}$, y se lámina a continuación. El calor y la presión de los rodillos une íntimamente el recubrimiento con el acero. Como proceso final, las partes unidas se separan del aislante intermedio,

resultando así dos planchas de acero recubierto.

48

2.3 METODO DE FUNDICION

Otra forma de preparar el acero bimetálico es fundiendo una capa de acero suave, alrededor de dos placas de acero inoxidable soldadas en sus bordes, dejándolas interiormente separadas por un material aislante. El conjunto resultante es entonces laminado al tamaño deseado. Al separar seguidamente las dos superficies de acero inoxidable resultan dos chapas de acero bimetal.

Interfusión

Unas plaquetas de acero maleable, limpio y tratado en horno de temperatura controlada, se colocan convenientemente centradas en un molde refractario, de forma que queden espacios libres entre las plaquetas y las paredes del refractario. En estos espacios se introduce cobre fundido. El material se somete finalmente a laminación, estirado y recocido.

Soldadura al arco

El material fundido de un electrodo de idéntica aleación que la del material que se va a recubrir, se deposita sobre una de las caras del acero soporte; así se va dejando gota a gota hasta llegar al espesor que se precisa; conseguido éste, el material es sometido al laminado necesario para darle la forma adecuada.

Soldadura por fusión

Se coloca primero perfectamente plana una gruesa chapa del acero base. Placas móviles son adicionadas a esta plancha en sus laterales, de forma que quede construida una caja abierta, cuyo fondo es la plancha de acero. Esta caja se llena con material en polvo y pequeñas partículas de chatarra, la cual, al fundirse, se transforma en el material chapado que nos interesa. El calor necesario para la fusión puede lograrse con mecheros de gas o mediante electricidad, y la temperatura de fusión es la precisa para llegar a soldar la chapa al material base. A continuación, se retiran las chapas laterales. El conjunto es entonces laminado para obtener las dimensiones precisas.

Soldadura eléctrica

Una o más chapas del material de recubrimiento son colocadas sobre el material base, pudiéndose soldar sus bordes por puntos, cordón o cualquier otro procedimiento; después se mejora la presentación de las soldaduras por laminación en caliente.

2.4 ¿PORQUE MATERIALES BIMETALICOS?

No siempre sucede el caso de que un bimetal sea menos costoso que el mismo espesor de la plancha o chapa del material resistente al calor y a la corrosión que le recubre. No obstante, hay circunstancias que justifican el empleo de estos materiales recubiertos, aun resultando a un precio más elevado que el del material con que cubrimos.

Entre otras razones tenemos que el soldar un material chapado es más fácil, en general, que soldar una aleación

especial. Esto es cierto, sobre todo en el caso particular del monel, lo cual justifica el que éste se use más frecuentemente chapado que macizo.

Hay otros casos en que un material revestido resiste un tratamiento y operaciones más complejas, como en el caso del acero inoxidable, que para determinadas formas exige una serie de recocidos o tratamientos intermedios, que pueden ser evitados o simplificados en los bimetales. Esta característica se usa con ventaja para fabricar utensilios de cocina, empleando en ellos chapas con cubierta de inoxidable por ambos lados.

Hay muchas aplicaciones en que es esencial una elevada conductividad térmica. Como el inoxidable macizo no es muy buen conductor del calor, se le sustituye por bimetal inoxidable, con excelentes resultados. También por este motivo se emplean con frecuencia bimetales de cobre. Los aceros al carbono a los que se les une el inoxidable o el níquel tienen mucha mejor conductividad térmica. También el cobre y la plata son mejores conductores que los aceros que los soportan.

Asimismo hay ocasiones en las que los materiales unidos a un acero chapado tienen características que se adaptan mejor a las exigencias especiales de un determinado aparato. Por ejemplo, en una lavadora está indicado tener la superficie interior de acero inoxidable, mientras que la chapa de acero al carbono que le sirve de soporte puede ser perfectamente esmaltada, haciendo juego con las patas y otras partes del conjunto y sin que la superficie externa tenga que estar unida al inoxidable.

Los materiales bimetálicos permiten conservar con mayor eficacia las aleaciones escasas.

2.4.1 CARACTERISTICAS GENERALES

Como ya se ha indicado, los aceros bimetálicos se preparan recubriendo una o las dos caras del acero que sirve de soporte, con aceros especiales. La chapa se especifica en un tanto por ciento del espesor que debe tener la plancha o chapa en conjunto, prescindiendo de si se recubre una o las dos caras. Así, un 20% de bimetálico de inoxidable en una plancha de 25 mm de grueso total se compondrá: de 20 mm de acero al carbono y de 5 milímetros de inoxidable.

Los espesores más normales de chapado están entre el 10 y el 20%, pero el espesor puede variar del 5 al 50%. Algunas industrias, principalmente las refinerías de petróleo, especifican sus porcentajes de espesor de recubrimiento (en Norteamérica, en porcentajes de pulgada). Naturalmente, el espesor del chapado se determina por las exigencias de la aplicación a que se destina; pero de todas formas, por imposición de los propios procesos de fabricación, el mínimo de recubrimiento que se admite es 1 mm, y en condiciones especiales se llega a 0.7 mm.

2.4.2 MATERIALES QUE SE USAN COMO SOPORTES Y RECUBRIMIENTO DE LOS BIMETALES.

Actualmente, el mayor consumo de bimetálicos corresponde a los recubrimientos de diferentes tipos de aceros inoxidables, aunque

también se venden grandes cantidades de bimetales que emplean aleaciones de elevado contenido de níquel, plata, cobre y cuproníquel.

Los materiales que describimos a continuación son los que principalmente se utilizan para recubrir. Entre ellos, los tipos de acero inoxidable más corrientemente usados son: 405, 410, 430, 304, 316 y 347.

Acero inoxidable al cromo.

El tipo 405 contiene fundamentalmente cromo con pequeñas cantidades adicionales de aluminio; por ello, no temple; es decir, es un acero magnético que no adquiere dureza al enfriarse desde elevada temperatura. El tipo 405 se usa mucho para resistir la corrosión y la oxidación a elevadas temperaturas.

Tipo 410 (con 12% de cromo) es la materia prima de la cual se deriva el 405. Este material admite temple, sin dejar por eso de poderse utilizar en muchas aplicaciones que requieren alta resistencia a la oxidación y a la corrosión a elevadas temperaturas.

Tipo 430 (con 14 a 18% de cromo) muy semejante en características y, por tanto, en usos al tipo 405. Las zonas en que se suelda quedan quebradizas, por lo que hay que recocerlas para que recobren su ductilidad. Presenta una excelente resistencia a la corrosión y oxidación.

El inoxidable de 14 a 16% tiene características comprendidas entre los tipos 410 y 430. No admite tanto temple como los tipos de bajo contenido de cromo, pero al mismo tiempo es más dúctil

que los de alto porcentaje. Relativamente fácil de soldar, presenta elevada resistencia a la oxidación y a la corrosión.

Aceros al cromo-níquel

Los aceros de este grupo tienen un contenido de cromo que oscila entre el 16 y 26%, y de níquel, desde el 6 al 22%. También intervienen en estas aleaciones el titanio, molibdeno y columbio. Un tratamiento térmico no afecta a estos aceros, que además no son magnéticos, pero sometidos a intenso trabajo en frío, simultáneamente se endurecen y se transforman en magnéticos. Normalmente, a este grupo de aceros se les reconoce como aceros inoxidable austeníticos.

Tipo 301 (18:8) se emplea en ambientes no muy corrosivos, utilizándole en aplicaciones en las que el aspecto decorativo e higiénico tienen gran importancia.

Tipo 302 (18:8) con un contenido tanto de cromo como de níquel ligeramente superiores al anterior, se adapta no sólo a las instalaciones de industrias químicas, sino también a las sanitarias y para fines decorativos.

Tipo 304 (18:8) es un acero con bajo contenido de carbono, y por tanto es menos susceptible de producir carburos por precipitación al soldarse que los tipos 301 y 302. Puede emplearse en equipos sujetos a fuerte corrosión, sin que necesite posterior tratamiento térmico.

Los tipos 309 y 310 (20:12), de inoxidable, son los que tienen el más alto contenido de cromo y níquel dentro del grupo de aceros inoxidable austeníticos, y ambos son muy resistentes

a la oxidación y a la corrosión.

54

El inoxidable tipo 316 es un acero 18:8, pero con algo más de níquel (10%) y de 2 a 3% de molibdeno. La resistencia a la corrosión es ligeramente superior que la de los tipos normales de 18:8, ya que el molibdeno reduce la tendencia a picarse o a que la corrosión actúe en poros pequeños.

Otro acero inoxidable 18:8 modificado que se usa es el tipo 321, que contiene titanio para evitar la precipitación de carburos. Este acero, que se emplea para la construcción de depósitos soldados, puede ser sometido a condiciones bastantes severas de corrosión, mientras el margen de temperatura se mantenga entre los 650 y 850°C como máximo, o bien si el depósito no está sometido a fuertes presiones. Los electrodos de columbio (tipo 347) se utilizan para soldar recubrimiento en los aceros bimetales (tipo 321).

2.5 NIQUEL Y ALEACIONES DE ALTO CONTENIDO DE NIQUEL.

El níquel, con su extraordinaria resistencia a la sosa cáustica concentrada y caliente se emplea como componente de muchos bimetales e instalaciones en las que en su proceso interviene este álcali; por ejemplo, en industrias de rayón, jabón y en otros procesos industriales.

Como su conductividad térmica es muy buena se emplea indistintamente para frío y calor. Por esto, mientras no se use en contacto con nítrico y otros ácidos o sales oxidantes, puede emplearse tanto en condiciones de alta como de baja temperatura.

El "L" Níquel, con un contenido máximo de 0.02% de carbono,

se usa con frecuencia como recubrimiento para resistir altas temperaturas. Entre los productos corrosivos para los que el uso del "L" níquel está más indicado, están las sales fundidas a más de 700°C., así como la sosa cáustica y los nitratos fundidos.

El Inconel (80 níquel, 13 cromo y 6.5% hierro) añade a las características del níquel la resistencia al calor y a la corrosión que presenta el cromo. Sus características son tales que puede calentarse a 850°C y enfriarse a -20°C. repetidas veces, sin llegar a hacerse quebradizo. El Inconel es muy superior con respecto a otros revestimientos en su resistencia a las combinaciones de los sulfuros alcalinos y del sulfhídrico, tanto a la temperatura ambiente como a elevadas temperaturas. El cromo ayuda, además, a resistir soluciones ácidas muy oxidantes y ácidos orgánicos diluidos. Este material de revestimiento permanece inalterable a la temperatura ambiente ante gases secos o mezclas de vapor de agua, óxido de carbono y aire, o bien sólo vapor hasta 430°C. De un modo general se recomienda el Inconel cuando el metal tiene que estar en contacto con jugos de fruta, cloruro de magnesio, productos alimenticios, ácidos grasos, productos farmacéuticos, aceites de mesa y tintes.

El Monel es el chapado más selecto que se usa para estos fines. Su combinación de alta resistencia, dureza e inmunidad a la oxidación permite darle las más variadas aplicaciones. Como características adicionales tiene el ser fácil de preparar y el presentar una gran resistencia a la corrosión y a los abrasivos. Se emplea mucho en recipientes de sal común, ácido sulfúrico diluido, ácidos clorhídrico, fluorhídrico y fosfórico diluido y

sosa cáustica concentrada. En cambio, el Monel es afectado por el cloruro férrico y los ácidos nítrico y sulfuroso. Una amplia gama de diferentes durezas pueden conseguirse en el Monel por trabajo mecánico.

2.6 MATERIALES QUE TAMBIEN SE EMPLEAN EN EL RECUBRIMIENTO DE BIMETALES.

La plata, el cobre y el cupro níquel son otros materiales que también se usan con frecuencia. La plata y el cobre a veces se emplean en aquellas aplicaciones en donde es un problema importante el conseguir buena conductividad y distribución uniforme de temperatura.

En el caso de la plata, aun con el encarecimiento que supone las repetidas veces que hay que calentarla en un bimetálico, para conseguir una perfecta laminación, no llega, sin embargo, este costo a ser comparable al valor de la plata maciza.

El recubrimiento de cobre se usa principalmente para conductores eléctricos, ya que el cobre puede aportar su buena conductividad y el acero su alta resistencia. Además, actualmente, al chapado de cobre también se le van encontrando otras diversas aplicaciones en forma de planchas y chapas.

2.7 METALES BASE.

Los aceros al carbono y aceros suaves (incluyendo aceros aleados de bajo contenido de carbono) son los metales normalmente usados como base o soporte en los bimetálicos.

La mayoría de estos aceros cumplen las especificaciones de calidad que fija la A.S.T.M. para los aceros de calderas o construcción. Para otras aplicaciones pueden usarse aceros especiales como soporte del chapado.

Los aceros corrientemente empleados están identificados por las especificaciones de la A.S.T.M. con las denominaciones A 285, grado C; A 201, grado B; A 212, grado B; A 203, grado B; A 204, grado B, y A 225, grado B.

La resistencia de estos aceros oscila de 3,800 a 4,500 kilogramos por cm^2 . Hasta 5,000 a 5,500 kilogramos por cm^2 .

El que presenta menores constantes físicas es el A 285.

2.6 Soldadura de bimetales

La soldadura es un método de unión que está universalmente aceptado para los aceros bimetales. La soldadura al arco es la que se utiliza con mayor profusión, excepto en los espesores inferiores a 18. La soldadura autógena, solamente en grandes espesores. La soldadura eléctrica, prácticamente, no tiene empleo en la fabricación de bimetales. Por el contrario, a la soldadura de hidrógeno atómico se le considera como el mejor método de unir bimetel de plata y calibres finos de acero.

Soldadura a tope (calibres finos)

Cuando se sueldan aceros bimetales de poco espesor no es necesario efectuar ninguna preparación especial en los bordes. Solamente se deben enfrentar con una ligera separación las dos aristas que vamos a unir. En los gruesos comprendidos entre el

18 y el 16 hay que seleccionar con cuidado los electrodos y procurar hacer la soldadura del recubrimiento en una sola pasada. En las medidas 14 a 11 se puede llegar a dos pasadas para contemplar la soldadura; la primera, por la parte del revestimiento, y la segunda por la del material soporte. En este último caso conviene usar electrodos de acero para unir dicho soporte.

Soldadura a tope (calibres medios)

En espesores de plancha de 10 a 5 mm. los bordes del acero base se tienen que biselar antes de iniciar la soldadura. Este bisel no debe llegar chapado. Cuando se haya completado la soldadura de esta parte, entonces hay que retirar las escamas y la suciedad de la ranura que queda en la parte del revestimiento, y a continuación efectuar su soldadura con una pasada, utilizando un electrodo de 2mm, de material similar al empleado en el recubrimiento.

Soldadura a tope (chapas gruesas)

Como las chapas, a partir de 5mm., deben ofrecer un mínimo de resistencia a la tracción, cierta ductilidad y resistir a la corrosión; se exige un extraordinario cuidado en sus uniones. Los procedimientos que se aconsejan son los siguientes.

Borde mecanizados o achaflanados en el balastro soporte, dejando un margen de 2 mm. sobre chapado. Este borde debe ser de un grueso uniforme, ya que sirve de protección para evitar que el acero del electrodo, al fundir, se mezcle con la aleación

especial del chapado.

59

2.9 APLICACIONES DE LOS BIMETALES

Se emplean en una gran variedad de industrias en las que bien el calor o la corrosión, o bien ambos, destruyen rápidamente los aceros de baja aleación. En ellas, por tanto, es donde aparece un primer grupo de eficaz aplicación de los aceros bimetales. Además, algunos bimetales se usan en ciertos casos, en los que el calor o la corrosión apenas afectan, pero en donde la limpieza es fundamental. Todavía hay otras circunstancias en las que se seleccionan ciertos bimetales debido a su propiedad de transferir bien el calor, lo cual tiene gran aplicación en utensilios de cocina, en los que se debe conseguir una rápida dispersión, con el fin de evitar puntos calientes.

En general, parece como si hubiese pocas limitaciones para el uso de equipos que llevan bimetales. Se emplean en botes de pesca, barcos, utensilios domésticos e instalaciones de cocina, equipos de taller, ornamentación arquitectónica, mesas, en depósitos para distintos fines, equipos de hospitales, bajadas de agua y en otros lugares.

La mejor forma de obtener una idea de los posibles usos que pueden tener los aceros bimetales, es hacer una, lista de algunos productos que los emplean agrupados según clases de industria.

Subproductos de plantas de coque

60

Tanques y evaporadoras, depósitos de neutralización de lavado ácido y cáustico, depósitos de disolventes, depósitos de recuperación.

Químicas

Evaporadores de distintos tipos; equipos para obtener ácido clorhídrico y sulfúrico; depósitos, decantadores, evaporadores, cámaras de vapor, refrigeradores, reactores, precalentadores, paneles evaporadores, secadores centrífugos y transportadores vibratorios.

Manipulación de alimentos y envases

Recubrimientos de mesas, tanques de disolución y almacenamiento, evaporizadores, pasteurizadores de leche, mezcladores, congeladores rápidos, marmitas a presión, ollas a presión, depósitos de cristalización, depósitos de salmuera y cazuelas de cocina.

Cristal y cerámica

Hornos de cocción de porcelanas, depósitos de licuación, acabados superficiales, lavadoras y hervideros para concentración del ácido fluorhídrico.

Cuero

Presas, tambores giratorios para curtir, evaporadores, depósitos de tratamiento.

Petróleo

Depósitos de lavado ácido, cáustico y de neutralización; condensadores e intercambiadores de calor; equipos de regeneración de sosa cáustica, equipos de concentración y separadores.

Perfumería y productos farmacéuticos.

Extractores, secadores, decantadores, depósitos de almacenamiento y tratamiento; tanques a presión, marmitas de tratamientos a presión y fermentadores.

Papel y pulpa

Calderas de cocción, condensadores, batidoras, mezcladores, filtros-prensas, agitadores, tanques, instalaciones de recuperación de sosa cáustica, tanques de disolución y difusión, y decantadores.

Textiles

Prensas de maceración, tanques de desulfuración, depósitos de almacenaje; agitadores, husillos, hiladoras, tanques de hervir e instalaciones para preparar fibras sintéticas.

Barnices, resinas, plásticos, etc...

Calderas, depósitos de almacenar y disolver, serpentines de refrigeración, moldes, depósitos portátiles para barnices, decantadores, equipos desodorantes, secadoras, reactores, impregnadores, mezcladores y calderas reforzadas.

Equipos varios

Tambores de selección y tanques de formación, decantadores y deshidratadores de trementina; retortas de destilación de maderas; calentadores de goma, planchas laterales en los hogares de locomotoras.

La mayoría de las aplicaciones enumeradas suponen el uso de bimetales con los distintos grados de acero inoxidable, níquel o aleaciones de gran contenido de níquel. Bimetales recubiertos de plata se usan, entre otras aplicaciones para productos tales; como hervideros y columnas de alcalinización del fluorhídrico en la industria del petróleo y en calderas usadas en la concentración del ácido fluorhídrico. Este último uso tiene particular importancia en la industria del vidrio.

Como puede observarse por los tipos de equipos mencionados, la mayor parte de los productos acabados que se hacen con bimetales son de forma relativamente sencilla, como son las columnas circulares y depósitos; recipientes rectangulares o redondeados de varias clases y longitudes, abiertos y con superficies planas.

2.10 EJEMPLO DE APLICACION DE OTROS METALES LAMINADOS O BIMETALES

El **Inclad**, consiste de un acero inoxidable, aglutinado a una placa de acero al carbono.

El **Acero Revestido de Bronce**, es una lámina de acero que lleva por una o por ambas caras bronce de alta resistencia a la tensión y resistente a la corrosión, fijado por laminación, la armadura es de 0.031" hasta 40% del espesor de la lámina. Se usa para tanques y equipos químicos.

El **Niclad**, tiene el níquel depositado sobre el acero por un proceso de soldadura continua.

El metal dúplex llamado **bronce-sobre-acero**, usado para

cojinetes, se hace sinterizando un polvo homogéneo de aleación, de 80% de cobre, 10% de estaño y 10% de plomo, en una atmósfera de hidrógeno, hasta convertirlo en tira de acero después laminando las tiras y formando cojinetes y bujes.

El Cobre con Armadura Inoxidable, es lámina de cobre con acero inoxidable a ambos lados, usada para hacer utensilios de cocina y equipo para preparación de alimentos. Con sólo acero inoxidable, el calor permanece localizado y ocasiona que se peguen y se quemen los alimentos. El cobre tiene una alta conductividad térmica, es corroído por algunos alimentos y tiene una acción catalítica dañina sobre los productos de la leche. El cobre con armadura inoxidable da la conductividad del cobre, con la protección del acero inoxidable. La capa interior del cobre hace también al metal más fácil de estirar y formar.

Binmetal de Acero y Latón, usados para hacer casquillos de balas y de granadas, consiste en latón 90-10 sobre una cara de una lámina de acero de bajo contenido de carbono, con latón igual al 20% del peso de la lámina.

El Aluminio con Armadura de Cobre. Se obtiene normalmente en lámina, tira y tubería, el cobre se lamina como un revestimiento igual al 5% del espesor total a cada lado, o 10% de un sólo lado, con un espesor mínimo de cobre de 0.001". de un metal con buenas características de trabajo y alta conductividad eléctrica y térmica.

El **Producto Alsiplate**. Es un acero laminado en frío, que tiene una capa de 0.005" de una aleación de aluminio-silicio, laminada contra la superficie negra y se usa para piezas de bulbos al vacío, a fin de dar radiación termoiónica y absorber los electrones dispersos.

TERMOSTATOS.

Introducción. En el presente capítulo se refiere a los termostatos que también son conocidos por varios nombres como bimetales, termometales, termostato bimetálico o termostato metálico.

El primero de los anteriores términos describe al material compuesto de dos metales, aunque se aclara que no hay restricción a la dual combinación. La pluralidad de componentes de este tipo de materiales, conduce sin embargo a la clasificación en ingeniería de laminación. El otro término que contiene la expresión "Termostato" indica el campo general de aplicación de estos materiales.

Originalmente fueron usados como elementos sensores de temperatura de aparatos para control, regulación, compensador o indicador de temperatura.

TERMOSTATO.- Es un material compuesto y normalmente en forma de tira prensada, que se obtiene comprimiendo dos o más materiales de cualquier naturaleza apropiada, metálica u otra, el cual, en virtud de la diferencia de expansiones de sus componentes, tiende a alterar su curvatura cuando la temperatura es cambiada.

3.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ACCION DEL TERMOSTATO METALICO.

El cambio de temperatura en un termostato metálico se manifiesta por una curvatura de la tira Metálica. Consideremos dos tiras de metales diferentes a y b Fig. (3.1.a) teniendo bajo y alto coeficientes de expansión térmica respectivamente y teniendo iguales dimensiones, cuando la temperatura es elevada, sus longitudes relativas se muestran en la Fig. (3.1.b).

Si los dos son unidos, prensados o colaminados Fig. (3.1.c) y cuando la temperatura se eleva, el elemento de alta expansión térmica esta bajo compresión y el elemento de baja expansión térmica esta bajo tensión. Estas fuerzas producen una curvatura y cuando el empalme es realizado, el elemento libre asume un arco uniforme Fig. (3.1.d).

Si la combinación de esfuerzo tiene una curvatura inicial, uniforme, la curvatura resulta uniforme para un cambio uniforme de temperatura, esto es un arco de radios constantes.

3.2 Ecuación General para un Termostato Metálico. Tira curvada.

La curvatura de una tira compuesta de dos componentes para termostato metálico cuando es uniformemente calentado esta matemáticamente descrita por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{6 (\alpha_2 - \alpha_1) (T_1 - T_0) (1+m)^2}{t [3(1+m)^2 + (1+m n) (m^2 + \frac{1}{m n})]} \quad (12)$$

Donde: α_1, α_2 = coeficientes de expansión Térmica

E_1, E_2 = Módulos de Elasticidad

t_1, t_2 = espesores de los componentes.

ρ = Radio de curvatura

T_1, T_0 = Temperatura

$t_1/t_2 = m; \quad E_1/E_2 = n$

Si los espesores de los metales son iguales

$t_1 = t_2$; es decir $m = 1$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{24(\alpha_2 - \alpha_1)(T_1 - T_0)}{t(14 + n + 1/n)} \quad (13)$$

Para el caso en que los módulos de elasticidad sean iguales

$E_1 = E_2; \quad n = 1$

$$\therefore \frac{1}{\rho} = \frac{3(\alpha_2 - \alpha_1)(T_1 - T_0)}{2t} \quad (14)$$

El radio de curvatura es afectado por la razón de los módulos de elasticidad de las componentes y también por la razón de los espesores, cuando $t_1/t_2 = 1$, se tiene un máximo.

Que se obtiene derivando (13) con respecto a n manteniendo fijo la razón de espesores.

Si hacemos $dk/dn = 0$ que es la condición para obtener un valor crítico (máximo o mínimo).

Obtenemos; $1/n^2 - 1 = 0$; $n^2 = 1$; o sea $n = \pm 1$.

Se analiza para $n=1$ ya que para $n=-1$ no se tiene un significado físico y verificamos que: la $d^2k / dn^2 < 0$

Diagrama de esfuerzos

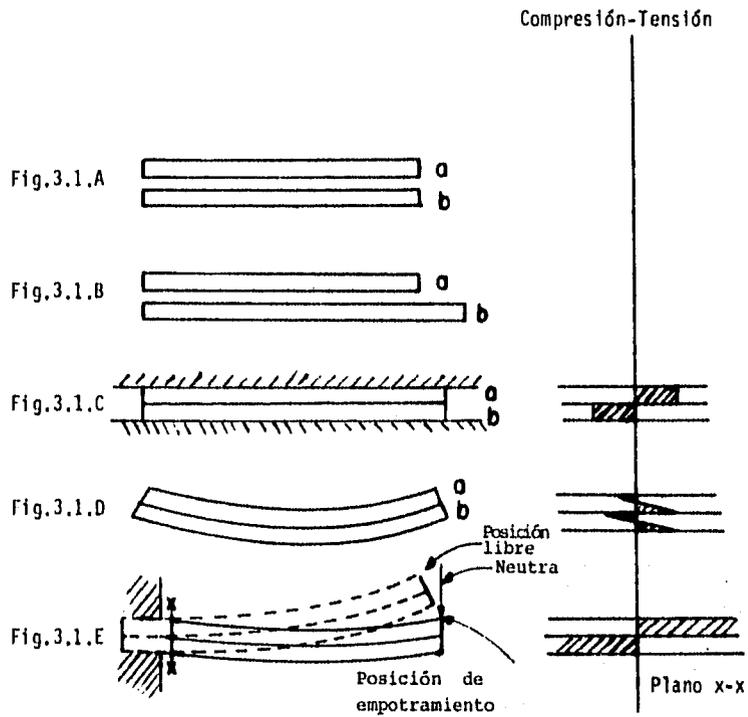


Fig.3.1.A a 3.1.E. Diagramas esquemáticos de los patrones de actividad térmica y esfuerzos bajo varias condiciones.

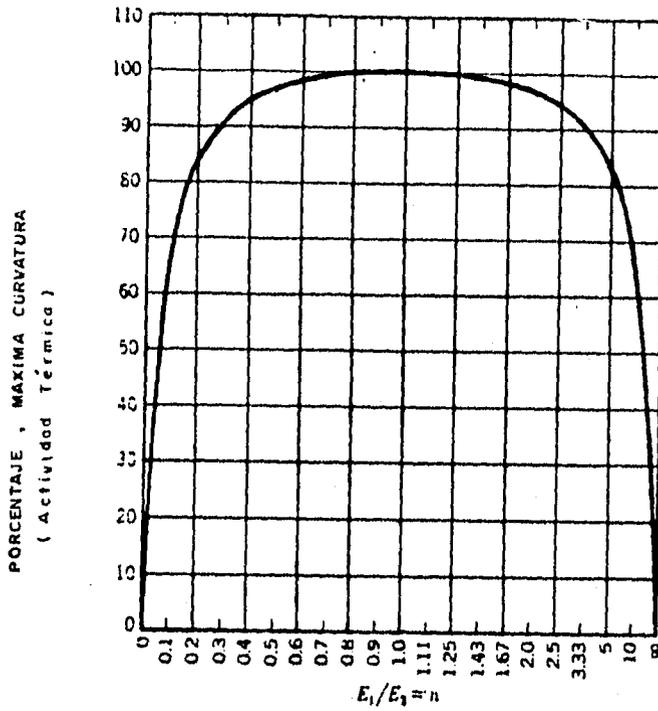


FIG. 3.2. EFECTO DE LA RAZON DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD SOBRE EL RADIO DE CURVATURA DE LA TIRA

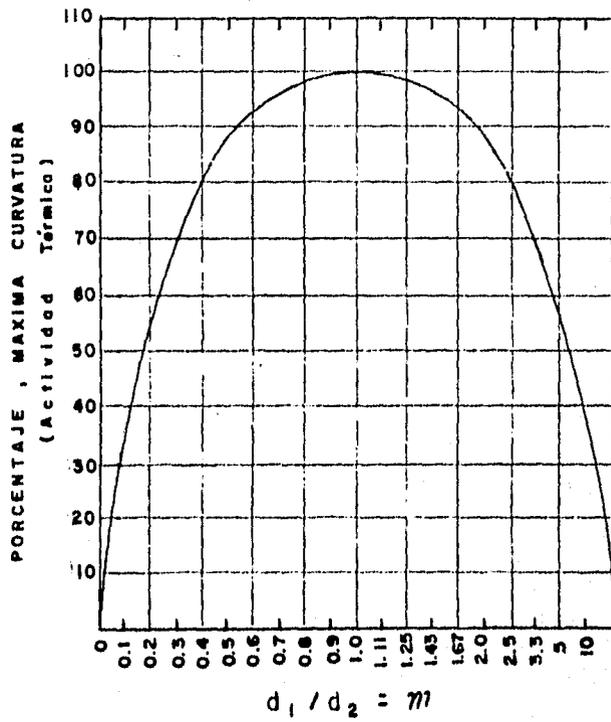


FIG. 3.3. EFECTO DE LA RAZON DE ESPESORES
SOBRE EL RADIO DE CURVATURA DE LA TIRA

para $n = 1$, existe un valor máximo para la curvatura o actividad térmica.

$$K = \frac{1}{\rho}; \quad \frac{dK}{dn} = \frac{24\Delta\alpha\Delta T}{t} \left[\frac{-1 + 1/n^2}{(n + 1/n + 14)^2} \right] \quad (15)$$

La variación de la razón de los módulos se ilustra en la Fig.(3.2) asumiendo que los componentes de los espesores son iguales y es decir $m = 1$, la gráfica muestra que si la razón de los módulos puede ser variada de 0.30 a 3.33 y se obtiene un 90% de la máxima actividad térmica.

Combinaciones que teniendo gran diferencia entre los módulos, tales como Invar-cadmio o Invar-hule Duro no muestran una alta actividad térmica.

Análogamente si mantenemos fijo la razón de los módulos $n = 1$ y hacemos variar la razón de los espesores obtenemos de(12)

$$K = \frac{6\Delta\alpha\Delta T}{t} \left[\frac{(1 + m)^2}{3(1 + m)^2 + (1 + m)(m^2 + \frac{1}{m})} \right] \quad (16)$$

que se reduce a:

$$K = \frac{6\Delta\alpha\Delta T}{t} \left[\frac{1 + m}{3(1 + m) + (m^2 + \frac{1}{m})} \right] \quad (17)$$

derivando (17) con respecto m , manteniendo fijo n , y simplificando.

$$\frac{dK}{dm} = \frac{6\Delta\alpha\Delta T'}{t} \left\{ \frac{-m^2 - 2m + 2/m + 1/m^2}{(m^2 + 3m + \frac{1}{m} + 3)^2} \right\} \quad (18)$$

y haciendo $dK/dm = 0$; que es la condición para obtener un valor crítico máximo o mínimo.

$$\text{obtenemos: } m^2 + 2m - 2/m - 1/m^2 = 0$$

$$\text{ó } m^4 + 2m^3 - 2m - 1 = 0$$

$$\text{es decir: } (m - 1)(m + 1)^3 = 0$$

cuyas raíces son: $m = +1$ y $m = -1, -1, -1$

se analiza para $m = 1$ ya que para $m = -1$ no se tiene significado físico, y se comprueba que:

$$d^2 K/dm^2 < 0, \text{ para } m = 1, \text{ existe un máximo.}$$

la relación entre el radio de curvatura y la razón de los espesores m de las componentes varía en ambas direcciones (mayores y menores de 1.0) como se muestra en la fig(3.3.), donde los modulos de elasticidad son iguales, es decir $n = 1.0$.

Es interesante notar que la razón de los espesores puede ser variada extensamente, desde 0.50 hasta 2.0 y todavía retener un alto porcentaje de máxima curvatura (alrededor del 88%) o de la actividad térmica.

El módulo de elasticidad de un termostato metálico puede también ser calculado a partir de los modulos de elasticidad y de los espesores de sus componentes, para dos componentes, se

tiene;

73

$$E = \frac{4E_1((t_1 - c_1)^3 + c_1^3) + (E_2/E_1)[(t_2 + t_1 - c_1)^3 - (t_1 - c_1)^3]}{t^3} \quad (19)$$

donde:

$$c_1 = \frac{E_1 t_1^2 + E_2 t_2 (2t_1 + t_2)}{2(E_1 t_1 + E_2 t_2)}$$

Como ejemplo de dos componentes, consideremos un bimetal compuesto de aluminio y latón, cuyos parametros son;

aluminio

latón

$$E = 0.703 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 0.984 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha = 23 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha = 18.7 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta T = 400^\circ\text{C}$$

$$n = 0.984/0.703 = 1.40;$$

$$\alpha_2 - \alpha_1 = (23 - 18.7 \times 10^{-6}) = 4.3 \times 10^{-6}$$

$$t = \text{espesor total} = 2 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{5.16 \times 10^{-3} (1+m)^2}{[3(1+m)^2 + (1+\bar{m})(m^2+1/\bar{m})]} \quad (20)$$

$$\bar{m} = 1.4 \text{ m}$$

Haciendo variar m desde 0.2 hasta 4.0, obtenemos en forma tabular con la tabla anexa, y observamos que el máximo corresponde a un punto cerca de $m=1$ y también que razón de espesores puede variar de 0.4 a 1.8 y se obtiene un porcentaje alto de curvatura.

ESPESOR	CURVATURA	
	(m)	$K \times 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$
0.20	0.831	
0.40	1.135	
0.60	1.254	
0.80	1.389	
1.00	1.281	
1.20	1.250	
1.40	1.209	
1.60	1.162	
1.80	1.114	
2.00	1.066	
2.20	1.020	
2.40	0.976	
2.60	0.935	
2.80	0.896	
3.00	0.860	
3.20	0.826	
3.40	0.794	
3.60	0.764	
3.80	0.736	
4.00	0.710	

A partir de la tabla anterior se elabora la curva de variación de la curvatura con respecto a la razón de los espesores. Que se muestra en la figura adjunta.

3.3 ECUACION GENERAL PARA UN TERMOSTATO FORMADO POR TRES COMPONENTES.

Muchos termostatos metálicos pueden incorporar una tercera componente, para obtener una propiedad particular, como resistencia eléctrica, por ejemplo.

La expresión de la deflexión para tres componentes esta dada por:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{A}{B} \quad (21)$$

$$A = 12E_1 t_1 E_2 t_2 E_3 t_3 \left[\left(\frac{t_1 + 2t_2 + t_3}{2E_2 t_2} \right) (\alpha_1 - \alpha_1) + \left(\frac{t_2 + t_3}{2E_1 t_1} \right) (\alpha_1 - \alpha_2) + \left(\frac{t_1 + t_2}{2E_3 t_3} \right) (\alpha_2 - \alpha_1) \right] T_1 - T_0$$

$$B = E_1^2 t_1^4 + E_2^2 t_2^4 + E_3^2 t_3^4 + 2E_2 t_2 E_3 t_3 (2t_2^2 + 3t_2 t_3 + 2t_3^2)$$

$$+ 2E_1 t_1 E_3 t_3 (2t_1^2 + 2t_1^2 + 6t_2^2 + 6t_2 t_1 + 6t_3 t_2 + 3t_1 t_3) + 2E_1 t_1 E_2 t_2 (2t_1^2 + 3t_1 t_2 + 2t_2^2)$$

donde: α_1, α_2 y α_3 = coeficientes de expansión térmica

E_1, E_2 y E_3 = módulos de elasticidad

t_1, t_2 y t_3 = espesores de los componentes

ρ = radio de curvatura de la tira

$\Delta T = T_1 - T_0$ = diferencia de temperaturas

Ejemplo: tres componentes cobre, aluminio, latón.

$$E_1 = 1.195 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, \quad \alpha_1 = 16.7 \times 10^{-6} \text{ cobre}$$

$$E_2 = 0.984 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, \quad \alpha_2 = 18.7 \times 10^{-6} \text{ latón}$$

$$E_3 = 0.703 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, \quad \alpha_3 = 23.0 \times 10^{-6} \text{ aluminio}$$

$$\alpha_3 - \alpha_1 = 6.3 \times 10^{-6}; \quad \alpha_3 - \alpha_2 = 4.3 \times 10^{-6}; \quad \alpha_2 - \alpha_1 = 2 \times 10^{-6}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{9.92[5t^2+11.82t+2.42] \times 10^{-3} \times 100}{0.49t^4+6.13t^3+19.27t^2+26.29t+18.85} \quad (22)$$

Haciendo variar t de 0 a 4 se obtiene en forma tabular que a continuación aparece así como su gráfica, siendo más fácil que resolver para t ya que la expresión para la curvatura resulta complicada.

ESPESOR (t)	NUM	DEN	CURVATURA $k \times 10^{-4} \text{ mm}^{-1}$
0.20	41.505	24.93	1.66
0.40	72.892	32.85	2.22
0.60	108.247	42.95	2.52
0.80	147.570	55.55	2.66
1.00	190.861	71.03	2.69
1.20	238.120	89.76	2.65
1.40	289.347	112.13	2.58
1.60	344.541	138.56	2.49
1.80	403.704	169.50	2.38
2.00	466.835	205.39	2.27
2.20	533.934	246.71	2.16
2.40	605.001	293.94	2.06
2.60	680.036	347.60	1.96
2.80	759.039	408.22	1.86
3.00	842.010	476.35	1.77
3.20	928.948	552.55	1.68
3.40	1019.855	637.41	1.60
3.60	1114.730	731.54	1.52
3.80	1213.573	835.55	1.45

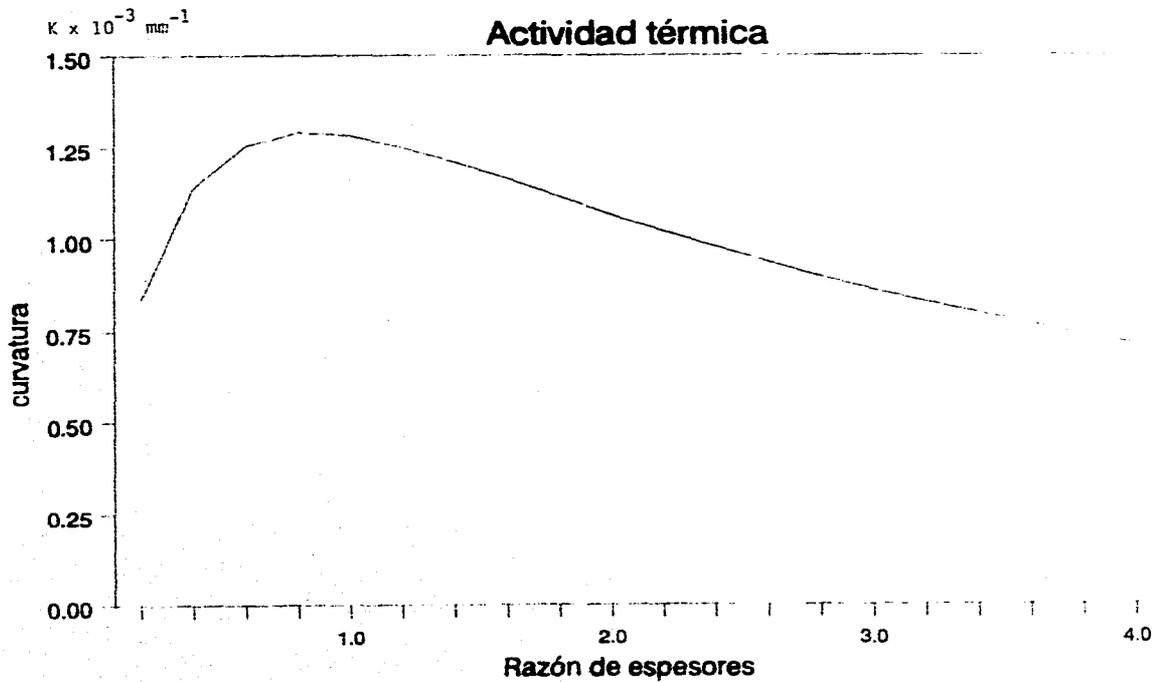


Fig. (3.4). Gráfica de la variación de la curvatura o actividad térmica con respecto a la razón de espesores, para dos componentes.

79

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

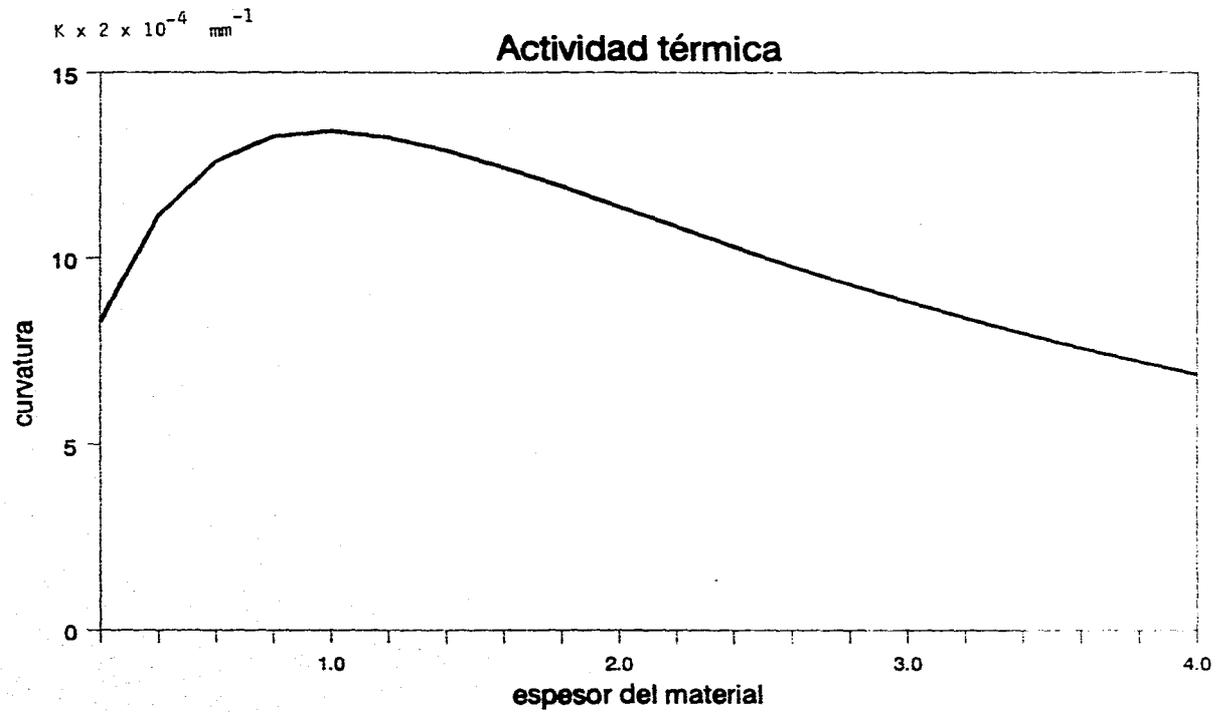


Fig. (3.5.). Gráfica de la variación de la curvatura o actividad térmica con respecto a la razón de espesores, para tres componentes.

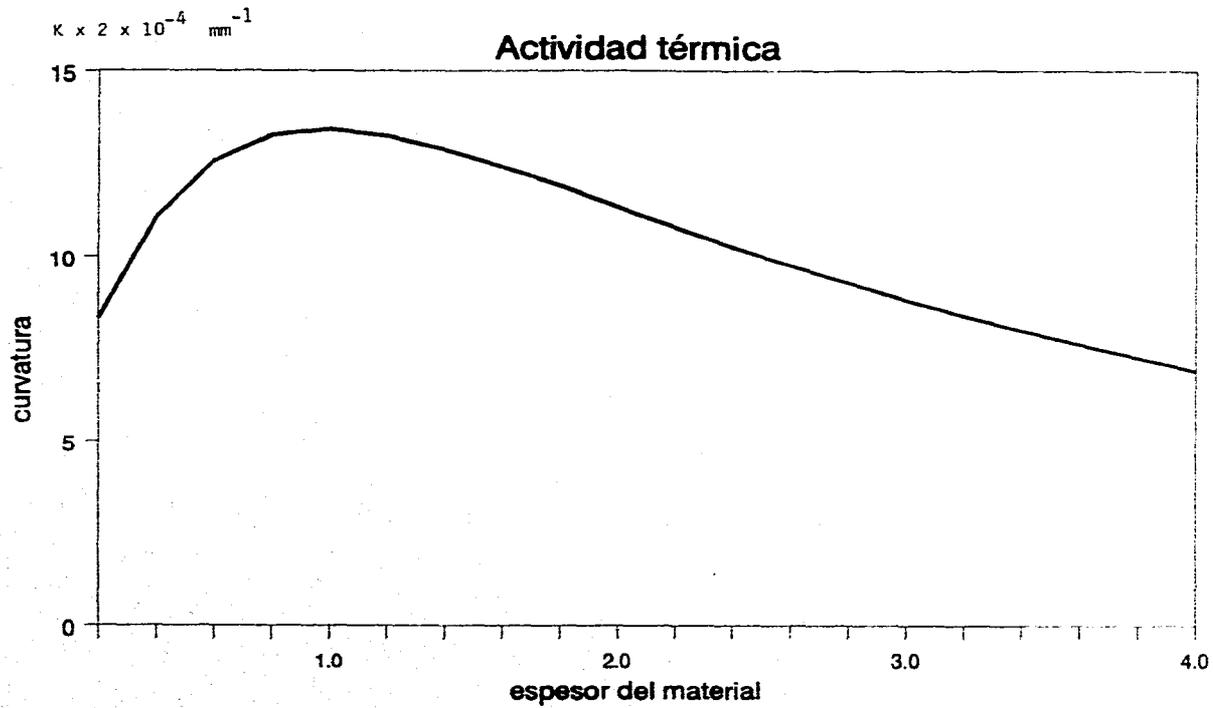


Fig. (3.5.). Gráfica de la variación de la curvatura o actividad térmica con respecto a la razón de espesores, para tres componentes.

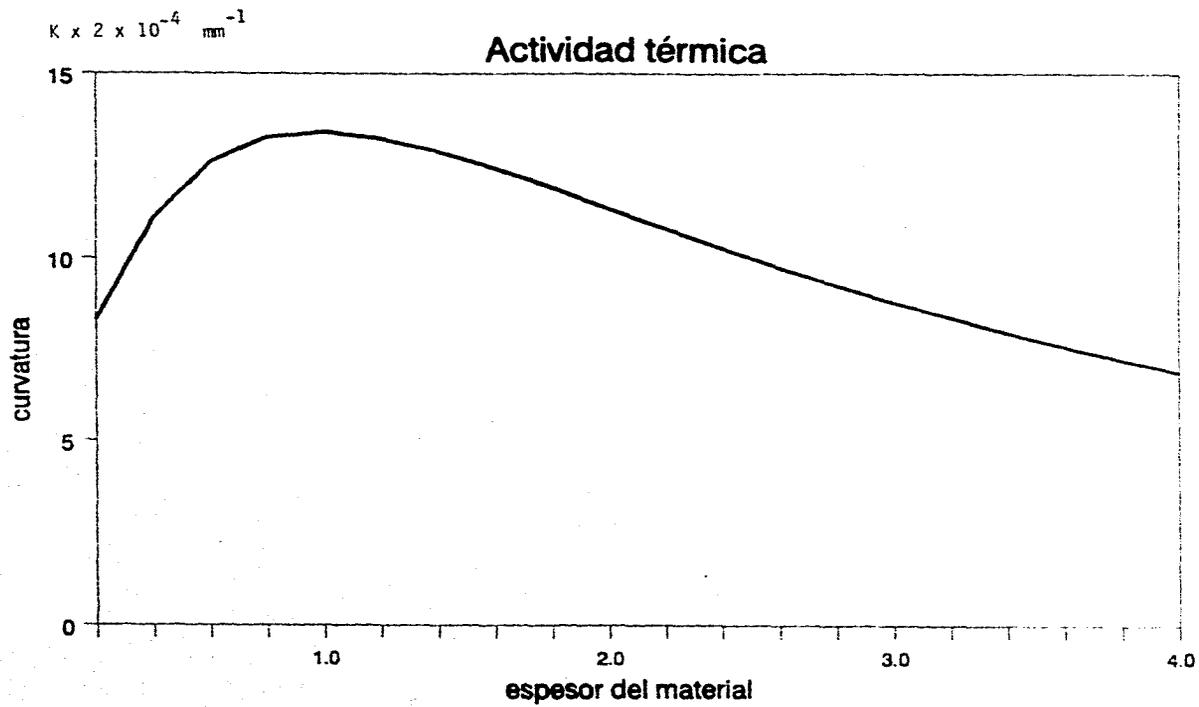


Fig. (3.5.). Gráfica de la variación de la curvatura o actividad térmica con respecto a la razón de espesores, para tres componentes.

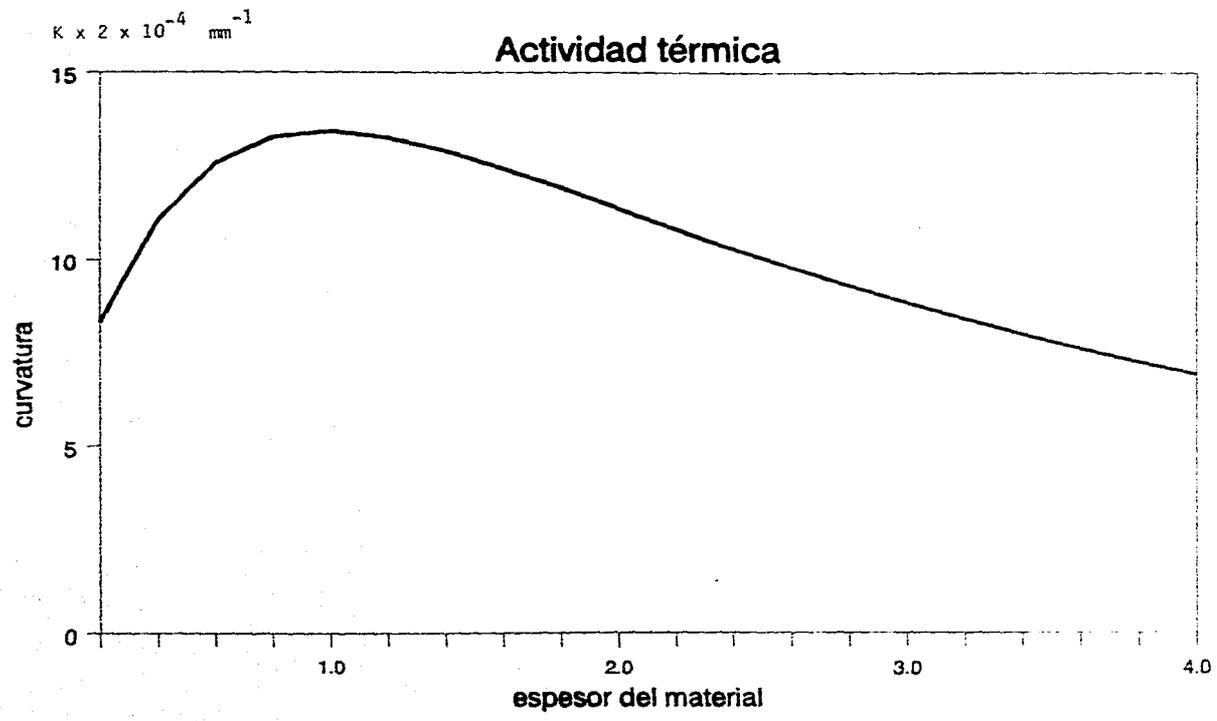


Fig. (3.5.). Gráfica de la variación de la curvatura o actividad térmica con respecto a la razón de espesores, para tres componentes.

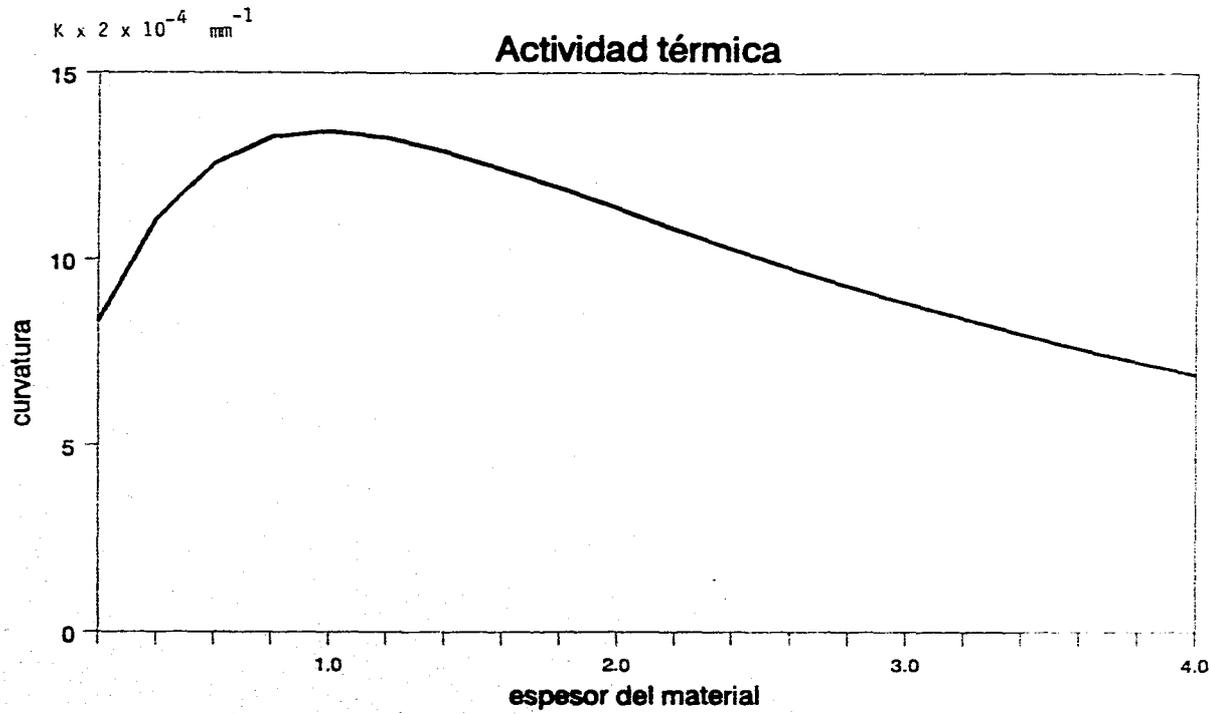


Fig. (3.5.). Gráfica de la variación de la curvatura o actividad térmica con respecto a la razón de espesores, para tres componentes.

Existe un incremento numeroso de productos, tales como relevadores térmicos, corta circuitos, y protectores de motores sobrecargados, en donde el calor generado por el paso de una corriente eléctrica a través de un elemento termometálico opera como mecanismo. Estas aplicaciones requieren una variedad de termostatos metálicos cubriendo un amplio rango de resistividades eléctricas.

Es posible hacer interruptores y equipos similares, de diferentes clases usando un tipo de termometal, por la variación del tamaño y forma del elemento, para la manufactura de interruptores se desea hacer una línea de corto circuito todos del mismo tamaño pero variando en poder interruptivo con un paso uniforme de bajo a alto.

El efecto calorífico (efecto joule) de una corriente eléctrica es:

$$H = ri^2 \theta / 4.18 \quad (23)$$

donde H = calor (calorías)

r = resistencia (ohms)

i = Corriente (amperes)

θ = tiempo (seg)

La elevación de temperatura (disipando calor perdido) de un resistor esta dado por:

$$\Delta T = 0.43 \text{ ri}^2/\text{ms}$$

(24)

donde: ΔT = gradiente de temperatura ($^{\circ}\text{F}$)

m = masa (gramos)

s = calor específico

La misma expresión se puede escribir también como:

$$\Delta T = 1.73 \times 10^{-9} \text{ i}^2\text{R} / (\text{Wt})^2$$

donde R = resistividad eléctrica, ohms por circular - mil-pie

ΔT = cambio de temperatura ($^{\circ}\text{F}$)

W = ancho (in)

t = espesor total (in)

El efecto calorífico es proporcional a ri^2 en el cual i^2 es análogo a la corriente impuesta en el interruptor y r es análogo a la resistividad eléctrica del termometal. A través de la línea del circuito interruptor, el efecto calorífico es proporcional a ri^2 y debe ser constante para un lapso de tiempo uniforme.

Recientemente fue introducido una nueva serie de termostatos metálicos de tres componentes utilizando aleaciones de manganeso, dos de alto coeficiente de expansión en aleaciones de manganeso y una gama de materiales de resistividad eléctrica fueron diseñados y fabricados, cada uno de los cuales tenía una alta flexibilidad para una resistividad eléctrica dada. Esta serie de materiales tienen rango desde 30 a 600 ohms por circular-mil-pie.

$$\Delta T = 0.43 ri^2/ms$$

(24)

donde: ΔT = gradiente de temperatura ($^{\circ}F$)

m = masa (gramos)

s = calor especifico

La misma expresión se puede escribir también como:

$$\Delta T = 1.73 \times 10^{-9} i^2 R / (Wt)^2$$

donde R = resistividad eléctrica, ohms por circular - mil-pie

ΔT = cambio de temperatura ($^{\circ}F$)

W = ancho (in)

t = espesor total (in)

El efecto calorífico es proporcional a ri^2 en el cual i^2 es análogo a la corriente impuesta en el interruptor y r es análogo a la resistividad eléctrica del termometal. A través de la línea del circuito interruptor, el efecto calorífico es proporcional a ri^2 y debe ser constante para un lapso de tiempo uniforme.

Recientemente fue introducido una nueva serie de termostatos metálicos de tres componentes utilizando aleaciones de manganeso, dos de alto coeficiente de expansión en aleaciones de manganeso y una gama de materiales de resistividad eléctrica fueron diseñados y fabricados, cada uno de los cuales tenía una alta flexibilidad para una resistividad eléctrica dada. Esta serie de materiales tienen rango desde 30 a 600 ohms por circular-mil-pie.

La resistividad puede ser calculada fácilmente si los tres componentes laminados son considerados como un circuito en paralelo;

$$x/r_1 + y/r_2 + z/r_3 = 100/R$$

donde; x , y , z = espesores de las componentes en porcentaje del espesor total.

r_1 , r_2 y r_3 = resistividades de las componentes

R = resistividad en ohms por circular-mil-pie de la combinación.

Resistividades eléctricas de 500 ohms por circular-mil-pie han sido obtenidos usando una resistencia de aleación de Níquel-cromo así como Níquel-cromo-aluminio-acero, y Níquel-manganeso-aluminio- acero.

3.5 TIPOS DE TERMOSTATOS

En las figuras adjuntas se muestran los principales tipos de termometales como son: En Cantiliver, Forma en U, Enrollamiento en Espiral, Enrollamientos en Hélice y Doble Hélice.

La resistividad puede ser calculada fácilmente si los tres componentes colaminados son considerados como un circuito en paralelo;

$$x/r_1 + y/r_2 + z/r_3 = 100/R$$

donde; x , y , z = espesores de las componentes en porcentaje del espesor total.

r_1 , r_2 y r_3 = resistividades de las componentes

R = resistividad en ohms por circular-mil-pie de la combinación.

Resistividades eléctricas de 500 ohms por circular-mil-pie han sido obtenidos usando una resistencia de aleación de Níquel-cromo así como Níquel-cromo-aluminio-acero, y Níquel-manganeso-aluminio- acero.

3.5 TIPOS DE TERMOSTATOS

En las figuras adjuntas se muestran los principales tipos de termometales como son: En Cantiliver, Forma en U, Enrollamiento en Espiral, Enrollamientos en Hélice y Doble Hélice.

La resistividad puede ser calculada fácilmente si los tres componentes colaminados son considerados como un circuito en paralelo;

$$x/r_1 + y/r_2 + z/r_3 = 100/R$$

donde; x , y , z = espesores de las componentes en porcentaje del espesor total.

r_1 , r_2 y r_3 = resistividades de las componentes

R = resistividad en ohms por circular-mil-pie de la combinación.

Resistividades eléctricas de 500 ohms por circular-mil-pie han sido obtenidos usando una resistencia de aleación de Níquel-cromo así como Níquel-cromo-aluminio-acero, y Níquel-manganeso-aluminio- acero.

3.5 TIPOS DE TERMOSTATOS

En las figuras adjuntas se muestran los principales tipos de termometales como son: En Cantiliver, Forma en U, Enrollamiento en Espiral, Enrollamientos en Hélice y Doble Hélice.

La resistividad puede ser calculada fácilmente si los tres componentes colaminados son considerados como un circuito en paralelo;

$$x/r_1 + y/r_2 + z/r_3 = 100/R$$

donde; x , y , z = espesores de las componentes en porcentaje del espesor total.

r_1 , r_2 y r_3 = resistividades de las componentes

R = resistividad en ohms por circular-mil-pie de la combinación.

Resistividades eléctricas de 500 ohms por circular-mil-pie han sido obtenidos usando una resistencia de aleación de Níquel-cromo así como Níquel-cromo-aluminio-acero, y Níquel-manganeso-aluminio- acero.

3.5 TIPOS DE TERMOSTATOS

En las figuras adjuntas se muestran los principales tipos de termometales como son: En Cantiliver, Forma en U, Enrollamiento en Espiral, Enrollamientos en Hélice y Doble Hélice.

TERMOSTATOS METALICOS :

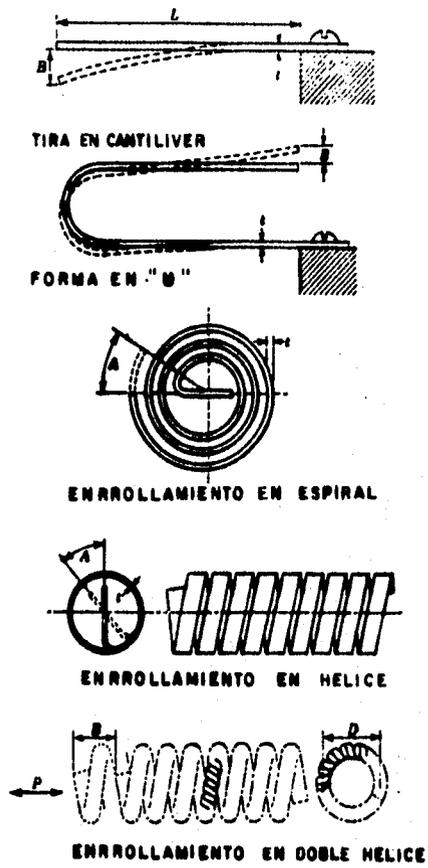
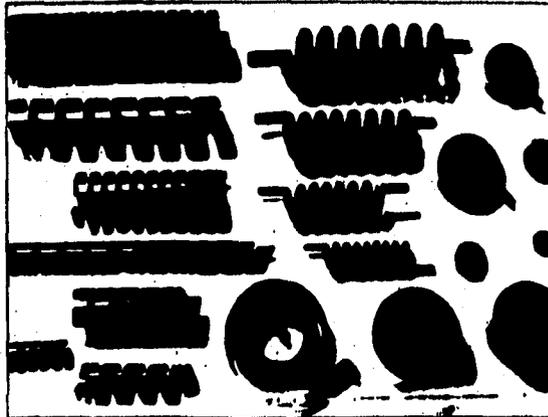


Fig. (3.6) TIPOS FUNDAMENTALES DE TERMOSTATOS METALICOS

TIPO DE ELEMENTOS :



ENROLLAMIENTOS TIPICOS EN ESPIRAL Y HELICE



Fig. (3.7) VARIEDAD DE ELEMENTOS TERMOMETALICOS DE USO COMUN

CAPITULO 4.

EXPERIMENTACION.

Antecedentes.

En los capítulos anteriores se han descrito algunas características de los bimetales, su obtención y aplicaciones.

Ahora mencionaremos algunos experimentos realizados en los diferentes laboratorios de la Facultad de Ingeniería, para la obtención de materiales colaminados.

Colaminación.

El objetivo principal de este procedimiento es lograr la unión de dos o más materiales diferentes, empleando la colaminación (o sea laminando conjunto) en la máquina laminadora.

4.1 Preparación del material a colaminar.

a) El proceso empleado para preparar el material hacia la colaminación se inicia cuando, se cortan tiras a medidas convenientes de dos materiales diferentes, seleccionados, en calibre comercial, en el caso que nos ocupa se eligieron Aluminio y Latón (Cu 70 % , Zn 30 % , en peso) con calibres (de 18 y 25, de 1.2 mm y 0.5 mm respectivamente), de forma que presenten las caras paralelas, previamente rebabeadas y colocadas a manera de formar un "sandwich" y ligeramente lijadas en sus caras y limpiadas con alcohol.

b) En la laminadora marca Hille experimental con capacidad de 30 tons, se presenta el material en la mesa para pasarlo a laminar, con los rodillos y se establece una reducción del par en la misma máquina, obteniéndose un nuevo material con dimensiones diferentes a las originales, empleando diferentes porcentajes de reducción, velocidad de laminación, corriente.

c) Para valorar la unión del material laminado, se obtienen muestras adecuadas del mismo material para examinar su metalografía y para realizar pruebas de tracción y esfuerzo cortante en la máquina INSTRON, modelo 1331, de 10 toneladas de capacidad.

Asimismo se observa visualmente la zona de unión, así como también, se obtienen impresiones macroscópicas y microscópicas.

En los experimentos realizados por facilidad de laminación y de obtención en los materiales se eligieron al aluminio y latón en lámina, como un primer par de materiales dentro de un proyecto más amplio, encaminado a obtener bimetales.

Al presentar un sandwich de aluminio - latón - aluminio, no unido previamente e introducirlo a la laminadora en frío, se observó que al laminarlo se obtenían, zonas aisladas sin laminar completamente, por lo que estas condiciones de operación se se abandonaron por no resultar convenientes.

Posteriormente, se introdujó el mismo material nuevamente, pero previamente calentando en horno eléctrico y a una temperatura menor que la del punto de fusión del aluminio y realizando una unión transitoria mediante remaches por los extremos de la dimensión mayor del sandwich. Se procede entonces

a intentar colaminar el material, dando como resultado un bimetal que se aprecia, unido y homogéneo a lo largo y en la sección transversal también. Esto significa que se ha logrado colaminar, y en la mayoría de las ocasiones del total de las muestras introducidas también se han realizado con éxito, con solo repetir las mismas condiciones en su preparación y en los parámetros de la laminadora (velocidad, reducción, corriente).

Se intento la unión previa del sandwich mediante punteo eléctrico pero los elementos no se logran soldar es decir, aluminio y latón, o bien se logro unir dos aluminios (o dos latones) por los extremos y se insertó el latón en medio pero este tipo de unión no soporto la carga en la laminadora, es decir se abrió y presentó discontinuidad en el laminado, por lo que también esta manera de unir las tiras se abandonó.

Regresando al punto del material que sí se logro colaminar, se vio que el sandwich precalentado y remachado en los extremos era la manera más conveniente de realizar el trabajo el cual se efectuó repetidas veces.

4.2 PRUEBAS MECANICAS.

Con las probetas de Aluminio - Latón. Se realizaron ensayos, en la máquina INSTRON de ensayos mecánicos, modelo 1331, con capacidad de 10 tons y graficador integrado, de tracción sobre probetas aluminio y latón solas y también de cortante sobre las probetas parcialmente aluminio-latón obtenidas de la

colaminación, convenientemente preparadas, efectúandose los ensayos de las mismas. Así mismo, como se menciona antes se realizaron pruebas de tracción para probetas de aluminio y latón solas., a fin de conocer sus resistencias.

También se realizaron observaciones en el macroscópio obteniéndose algunas imágenes de la unión .

4.3 PRESENTACION DE RESULTADOS.

1.-Preparación del conjunto.

Se cortan tiras a dimensiones de 10 cm de longitud, 2.5 cm ancho, en calibres N° 18 y 25 para el aluminio y latón respectivamente, que sean paralelas y escuadradas, posteriormente rebabeando, matando filos y lijando las superficies.

La limpieza se efectúa con alcohol para evitar grasas e impurezas.

Posteriormente se remacha por los extremos, para sujetar los elementos, una vez hecho esto se somete a un calentamiento en un horno eléctrico hasta una temperatura menor al punto de fusión del aluminio, en un rango de 450 a 500 °C.

Se retira de dicho horno para introducirlo en la máquina laminadora, obteniéndose el producto Bimetal, este a su vez se escuadra nuevamente y se le da otra limpieza final con alcohol.

2.- Los parámetros más usados en estas laminaciones conjuntas son los siguientes:

- a) Velocidad, de 30 a 40, ft/mín

b) Porcentaje de Reducción, de 50 a 60 % .

c) Temperatura, de 450 a 500 °C.

3.- Condiciones en las que se obtuvieron las uniones de diversas combinaciones de Aluminio-Latón. En la tabla T4.1 se dan los valores de dichas condiciones.

4.- Ensayos Mecánicos. (Cortante)

Se realizaron ensayos mecánicos en probetas de materiales bimetales obtenidos anteriormente, cuya forma y dimensiones se muestran en la Fig.(4.1) .

Se realizaron 4 ensayos de estas mismas obteniéndose en la misma máquina por medio de un graficador el comportamiento de la curva esfuerzo vs deformación y dando la magnitud de la máxima carga a la ruptura. Como se resume en la tabla T4.2 y así como también las gráficas de los mencionados ensayos.

4.a) Los efectos observados cuando la probeta esta compuesta con un 50 % aluminio y 100 % latón(o sea a todo lo largo) se obtuvo la mayor resistencia al esfuerzo cortante, como puede verse en la grafica 4.4

4.b) También se puede observar que cuando las probetas contienen mayor proporción de aluminio con respecto al latón se obtienen menores resistencias al cortante.

4.4 RESULTADOS OBTENIDOS

91

En la tabla T4.1 se dan los resultados obtenidos sobre Probetas colaminadas de aluminio-latón, cuyos Parámetros son:

$e_{al.} = 1.0 \text{ mm}$ $e_{latón} = 0.50 \text{ mm}$ $e_{inicial \text{ sandwich}} = 2.50 \text{ mm}$

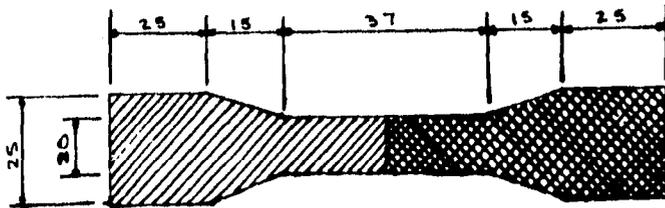
Temperatura de operación: 450°C

V = ft/min.

C = ámperes; R = reducción en el volante (pulg.)

A partir de estas últimas se preparan nuevas probetas para ensaye mecánico de cortante, cuyas formas y dimensiones se muestran en la figura 4.1.

Asímismo en la tabla T4.2 se resumen los parámetros utilizados así como los resultados que se obtuvieron.



Aluminio 100%
Latón 50%

Anotaciones:
en mm

Aluminio = 

Latón = 

Aluminio 50%
Latón 100%

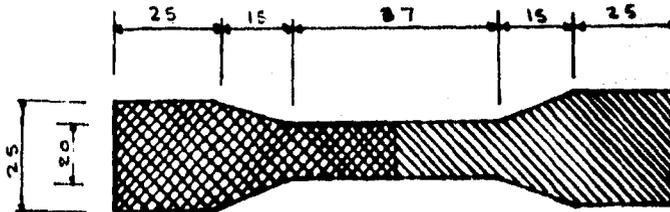


Fig. 4.1. Dimensiones y forma de las probetas Aluminio-Latón para ensayos.

Tabla T4 .1.

Probeta	Velocidad	C	R	e _{final}	e _{inicial}
1*	30	50	0.800	1.5 mm	2.5 mm
2*	40	110	0.110	1.0 mm	2.5 mm
3*	30	40	0.110	1.0 mm	2.5 mm
4*	40	120	0.110	1.25 mm	2.5 mm
5*	40	60	0.110	1.0 mm	2.5 mm

Tabla T4.2

Proporción de longitud de las probetas ensayadas.	espesor (mm)	Ancho (cm)	Area (mm ²)	Carga máx kg	Esfuerzo cortante (kg/mm ²)
1° Latón 100% Aluminio 50 %	0.30	1.93	5.79	274	47.32
2° Latón 100% Aluminio 50%	0.15	1.85	2.775	164.4	59.24
3° Latón 50% Aluminio 100%	1.30	2.02	26.26	472.6	18.00
4° Latón 60% Aluminio 100 %	.90	2.04	18.36	356.2	19.40

4.5 METALOGRAFIA DE LOS MATERIALES BIMETALES.

95

La metalografía de los materiales Bimetales es similar, a los materiales ferrosos.

La secuencia de trabajo para elaborar una probeta se puede presentar de la manera siguiente:

- a).- De una muestra del material laminado tomar una parte, de la sección transversal o bién longitudinalmente.
- b).- Montaje de la misma.
- c).- Rebajado y pulido de la misma.
- d).- Ataque de la misma.

En el montaje conviene que sea dentro de una substancia termofraguante como el diakón, para el mejor manejo y pulido de la misma.

Substancia de ataque, sosa cáustica.

El detalle del procedimiento de la metalografía se puede ver en el anexo I.

Seleccionando y trabajando unas muestras bimetalicas de Aluminio-Latón y preparandolas de acuerdo a los pasos anteriores se realiza la metalografía de estas, así como la macrografía de dos de ellas como se muestra en las figuras 4.2a y 4.2b.

4.6 Aplicaciones y ventajas del bimetálico Aluminio-Latón.

96

Aplicaciones.

- Elemento para termostato.
- Recipientes para la industria química
- Lámina para embalaje.

Ventajas.

El costo de el bimetálico Aluminio-Latón es inicialmente alto por falta de mercado, pero en el futuro al incrementarse el volumen de producción y sus aplicaciones tendería a bajar su costo, pero con la ventaja sobre otros materiales de tener una vida de servicio mucho mayor y buena resistencia a la corrosión.



Fig. 4.2.a y 4.2.b. Macrograffa de dos muestras de laminación conjunta de aluminio-latón, tomadas de las probetas en la sección transversal del material.

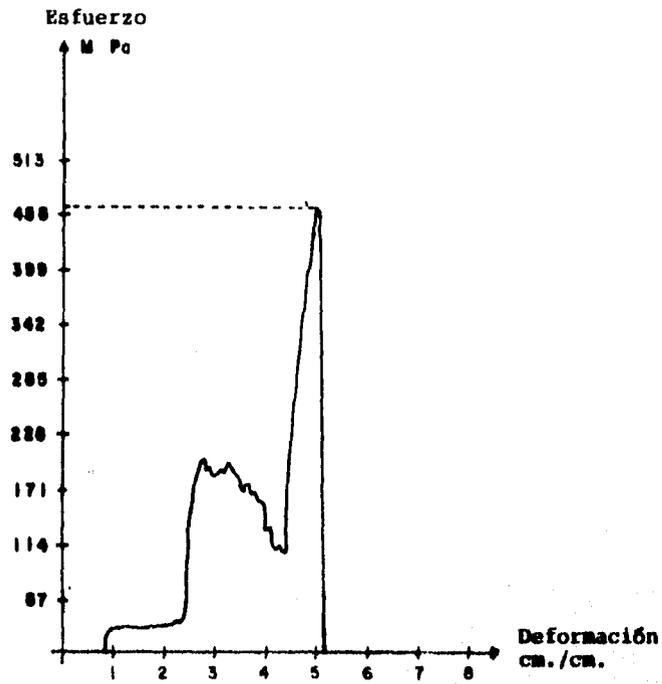


Fig. (4.3) Variación de esfuerzo-deformación del ensayo mecánico para la probeta No.1

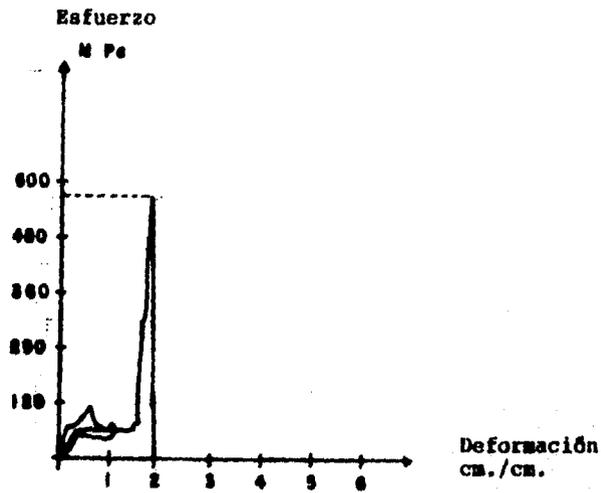


Fig. (4.4) Variación de esfuerzo-deformación del ensayo mecánico para la probeta No.2

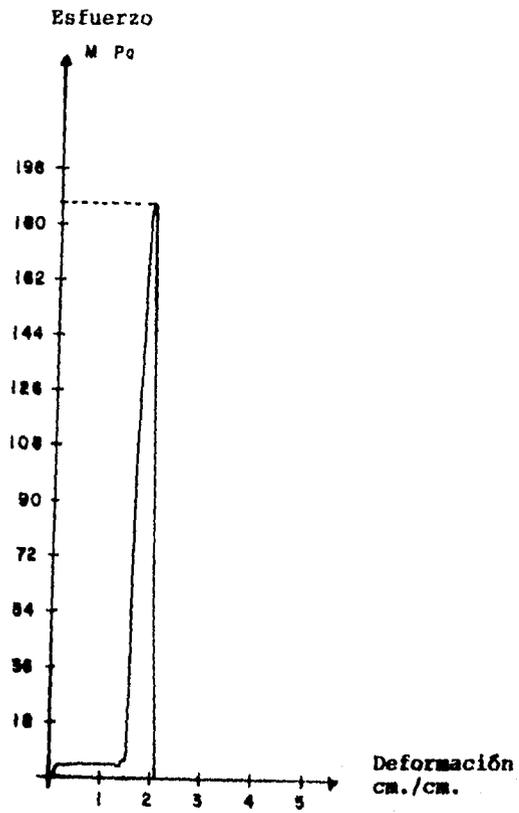


Fig. (4.5) Variación de esfuerzo - deformación del ensayo mecánico para la probeta No.3

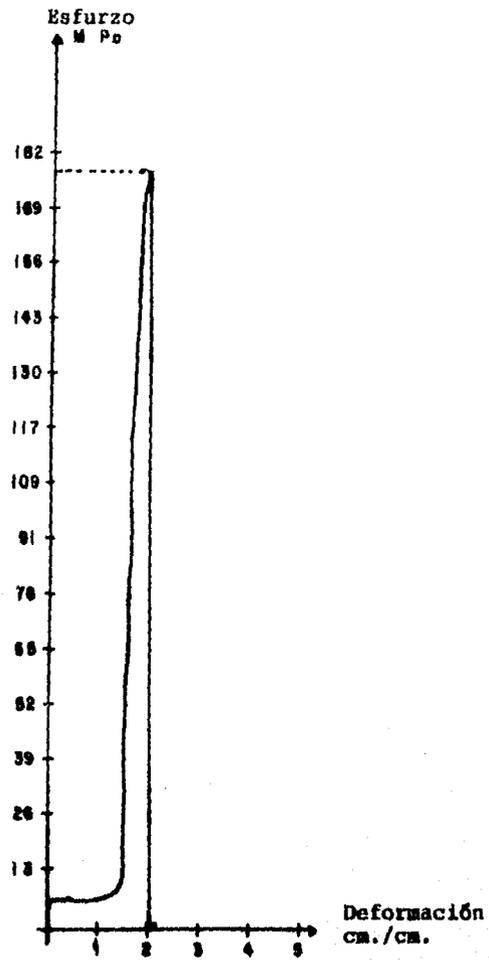


Fig. (4.6) Variación de esfuerzo-deformación del ensayo mecánico para la probeta No.4

CAPITULO 5
CONCLUSIONES.

En los capítulos anteriores hemos visto los principios, teorías y procedimientos de obtención de Bimetales, así como algunas aplicaciones. Dada la importancia de obtener materiales nuevos que permitan complementar a los materiales tradicionales que en ocasiones presentan escasez y alza en sus costos. Como en el caso que nos ocupa es la obtención de un material Bimetálico, para el cual este trabajo se basa en dos elementos básicos.

a).- Una teoría y principios elementales tales como en el caso de los termostatos metálicos, que nos permite establecer y predecir que con una relación de los espesores o bien en la razón de los módulos de elasticidad cercano a 1.0 , se tiene como efecto un rendimiento alto de la actividad térmica (es decir se maximiza la variación de la curvatura con respecto a estos parámetros).

b).- **Experimentalmente** se busco obtener un procedimiento de trabajo que nos permitiera establecer las condiciones físicas de elaboración del material y repetirlo en subsecuentes ocasiones, para mejorarlo.

Con estas bases y de acuerdo a los resultados obtenidos experimentalmente podríamos establecer las conclusiones siguientes:

1.- Es necesario y conveniente una buena preparación del material a laminar, así como la limpieza y acabado de las mismas para presentar un material que sea fácil de laminar.

2.-El remachado por los extremos del material a laminar ayuda a que no se deslicen las componentes y que se llegue a una unión continua.

3.-Las variables de operación y sus rangos de variación para los cuales se hace factible la unión son:

- Velocidad de laminación ; de 30 a 40 ft/min

- Temperatura; de 450 a 500°C

- Porcentaje de Reducción ; de 40 a 60 %

4.- En la obtención de Bimetales para aplicaciones de elementos termostatos es conveniente que la razón de los espesores de los componentes sea aproximada a 1.0, ó bién cuando se atiende a la razón de sus módulos de elasticidad también sea cercana a 1.0 para estar en una zona de alta eficiencia térmica.

5.- En los ensayos de cortante, las probetas con una longitud de, 50 % Aluminio- 50 % Latón se obtienen buenos valores de resistencia, pero cuando la probeta tiene mayor proporción de latón con respecto al aluminio se obtienen mayor resistencia que con respecto a una probeta 50 % Aluminio 50 % Latón.

6.- En la metalografía de muestras a lo largo del material y en su sección transversal se observa la unión así como sus bordes satisfactoriamente. En la macroscopia tomada de varias muestras se observa continuidad en la zona de unión de los dos materiales.

7.- Para trabajos futuros se propone que se aborden los puntos siguientes:

- a) Efectuar un tratamiento de recocido.
- b) Medir la deflexión o el radio de curvatura.
- c) Ajustarse a las normas ASTM de los termostatos, tales como; la B63, B70, B223, B305, B362, B388 y B389.

8.- El procedimiento es de detalle y difícil, pero reproducible.

En cuanto a costo de fabricación, la parte correspondiente al material es inicialmente caro, pero se compensa con la mano de obra, equipo y herramienta empleados, así como consumos de energía por unidad de pieza fabricada, que son bajos y cuando se tenga un volumen de producción considerable tendería a disminuir el costo total del producto.

BIBLIOGRAFIA.

105

Dieter George E.
Mechanical metalurgy.
Institute of tecnology philadelhfa
Mc Graw Hill 1986.

Dietz Albert G.H.
Engienering Laminates.
Masachusetts Institute of tecnology, Cambridge Masachussets.
John Wiley sons, 1969

Du Mond T.C.
Materiales Tecnicos. 1963
Ed. Dossat S.A. Madrid.

Greaves Richard H.
Metalografia Microscopica Practica.
Ed. Urmo 1974

Higgins.
Engenieng Metallurgy aplied physical Metallurgy
The english university pres. LTD.

Timoshenko S.
Analysis of Bimetal Termostats.
Opt. Soc. Am (233-255).

- B63. Resistivity of metallicly conducting resistance and contact materials.
- B70. Change de resistance with temperature of metallic materials for electrical heating.
- B223. Modulus of elasticity of thermostat metals.
(cantiliver beam method)
- B305. Maximum loading stress at temperature of thermostat metals
(cantiliver beam method)
- B362. Mechanical torque rate of spiral coils of thermostat metals.
- B388. Specification for thermostat metal sheet and strip.
- B389. Thermal deflection rate of spiral and helical coils of thermostat metal.

ANEXO I**METALOGRAFIA DE LOS MATERIALES BIMETALICOS.**

El método clásico de estudiar la estructura de los materiales bimetalicos, es similar al empleado en los materiales metálicos normales.

La metalografía actualmente, con las técnicas de observación basadas en los haces de electrones y en los rayos X, han ampliado gradualmente las posibilidades de estudiar la estructura de los metales.

Un aspecto importante de la metalografía es su empleo en el control de los procesos de tratamientos térmicos, puesto que los cambios estructurales pueden a menudo observarse en el microscopio. Mediante un examen microscópico de este tipo, es posible determinar la causa de las dificultades y proceder a ser corrección.

La determinación cuantitativa del tamaño de grano es un procedimiento metalográfico muy arraigado.

Esta determinación se realiza con un ocular especial que permite la superposición de una serie de patrones tipo graduales, sobre la microestructura de la muestra sometida a estudio.

Cuando el patrón tipo concuerda con la estructura de la muestra, le da la descripción del tamaño del grano de acuerdo con el número del patrón y en relación con los aumentos empleados.

El montaje y ataque de una probeta obtenida de un bimetálico, es similar a las probetas de materiales comunes.

Cuando sea necesario preservar un borde o cuando una probeta es tan pequeña que sea difícil de sujetar con el papel esmeril, la probeta se puede montar sobre un compuesto adecuado montando está en algún material termofraguante, por ejemplo baquelita, o en un material termoplástico como el diakon. Estas substancias moldean a unos 150 °C, que generalmente es una temperatura demasiado baja para causar un cambio estructural en la probeta.

Pudiéndose rebajarse y pulirse fácilmente, se requiere un pequeño molde en combinación con una prensa capaz de producir presiones del alrededor de 300 kg/cm².

Después de colocar la muestra, el polvo y el émbolo dentro del molde, este último se calienta por medio de un calefactor eléctrico especial que lo envuelve, además deberá insertarse un termómetro adecuado en el orificio del émbolo, de manera que se evite el sobrecalentamiento del molde y el daño a la probeta

A.I.2 REBAJADO Y PULIDO DE LA PROBETA

Es necesario obtener una superficie relativamente plana de la probeta. Esto puede lograrse ya sea usando una lima o bien una banda esmeril movida por un motor, debe tenerse cuidado para evitar el sobrecalentamiento de la probeta ya que esto puede producir alteraciones en la microestructura. Luego, se lleva

acabo el rebajado intermedio y fino, con papel esmeril de grado progresivamente de grueso a más fino, pasando la probeta sobre el papel y al cambiar de papel frotar la probeta en sentido perpendicular al sentido que se tenía anteriormente, y lavando la probeta cada vez que se cambie de operación. También se debe evitar arañar o marcar a la probeta.

Para el pulido de la probeta puede usarse un disco giratorio, revestido de paño y accionado por un motor, manteniendo esta por unos minutos hasta alcanzar un acabado liso o bien a espejo.

A.I.3 ATAQUE DE LA PROBETA.

Antes de ser atacada, la probeta debe estar absolutamente limpia, de otra manera, sin duda se mancharán durante el ataque, casi en todos los casos de fallas en el ataque, pueden atribuirse a una limpieza inadecuada de la probeta, de manera que permanezca una película de grasa.

La pieza de ataque debe lavarse primero de cualquier compuesto pulidor adherente. Este último se puede frotar de los lados con los dedos, pero debe tenerse cuidado a tocar la cara pulida.

La mejor manera de limpiarla es untando sumamente la superficie con una solución de jabón sin abrasivo, empleando la yema del dedo y limpiando bajo el grifo de agua.

Aún ahora, la probeta puede estar ligeramente grasosa y la película final de grasa se elimina mejor, sumergiendo la probeta en alcohol hirviente (alcohol etílico industrial blanco) por unos dos minutos. El alcohol no debe calentarse sobre la flama directa sino preferiblemente por medio de un baño de agua calentada

eléctricamente.

De este punto en adelante, la probeta no debe ser tocada por los dedos, sino que debe manejarse con tenazas de níquel se retira del alcohol, enfriandola en agua corriente antes de atacarla. En el caso de probetas montadas en materiales termoplásticos pueden encontrarse que la montura se disuelva en el alcohol caliente, en estos casos, puede encontrarse que es efectivo al frotar con una pieza de algodón embebido en solución de sosa cáustica para el desengrasado.

Ataque de las probetas con ácido.

Procedimientos.

- 1.- Aplicar el reactivo con un trapo o cuenta gotas, de manera que una vez quede totalmente cubierta la superficie pulimentada del espécimen.
- 2.- Después que haya transcurrido el tiempo a proporcionado para que el reactivo haya surtido efecto, hay que retirarlo aplicando un chorro de agua. A menudo resulta provechoso frotarlo con un pedazo de algodón.
- 3.- Lavar la superficie con alcohol.
- 4.- Secar con un chorro de aire caliente proporcionado por el ventilador.

NOTA: El tiempo para atacar con ácido a una probeta, varía según sea la intensidad del reactivo y la naturaleza de aquel. Algunas

ocasiones basta con uno o dos segundos, en otra circunstancia puede necesitarse un tiempo más largo. Es mejor atacar ligeramente y repetir la operación que atacar profundamente y verse obligado a pulir de nuevo la probeta.

En las tablas adjuntas, TA1, TA2, TA3, TA4, se dan un grupo de reactivos para ataque químico de probetas metálicas para observación al microscopio.

TABLA A1 REACTIVOS DE ATAQUE PARA HIERRO, ACEROS Y HIERROS
 COLADOS

TIPO DE AGENTE	COMPOSICION	CARACTERISTICA Y USOS
Nital	2 ml. ácido nítrico; 98 ml de alcohol (espíritu metálico industrial)	El mejor reactivo de ataque general, para hierro y acero. Ataca perlita, martensita y troostita, y ataca las orillas del grano de la perlita. Para hierro fundido y hierro forjado, la concentración de ácido nítrico puede elevarse a 5 ml. Para resolver, un atacado de perlita, debe ser muy ligero. Adecuado también para hierros ferríticos vaciados grises y hierros maleables negros.
Picral	4 g ácido picrico; 96 - ml. alcohol	Excelente para atacar perlita y estructuras esferoidizadas, pero no ataca a los bordes del grano a ferrita. Es el reactivo adecuado para todos los hierros vaciados, con excepción de los hierros de aleación y completamente ferríticos.
Picrato de sodio Alcalino	2 g ácido picrico; 25 g. hidróxido de sodio; 100 ml. agua	Se disuelve (hidróxido de sodio - en agua agregando luego el ácido picrico. Se calienta todo en baño de agua hirviendo, por 30 minutos y se vierte el líquido claro. La probeta se ataca durante 5 a 15 minutos en la solución hirviendo. Su aplicación principal consiste en distinguir entre ferrita y cementita. La última se mancha en negro pero la ferrita no es atacada.
Acidos y glicerol mezclados	10 ml ácido nítrico; 20 ml ácido clorhídrico; - 20 ml glicerol; 10 ml peróxido de hidrógeno	Adecuado para aleaciones de níquel-cromo y aceros austeníticos con base de hierro-cromo. Alto cromo-carbono y aceros de alta velocidad. Calentar la probeta en agua hirviendo antes de su inmersión
Persulfato ácido de amonio	10 ml ácido clorhídrico; 10 g persulfato de amonio; 80 ml. agua	Particularmente adecuada para aceros inoxidable. Debe estar recientemente preparada para usarse

TABLA A2 REACTIVOS DE ATAQUE PARA COBRE Y SUS ALEACIONES

TIPO DE AGENTE	COMPOSICION	CARACTERISTICAS Y USOS
Persulfato amoniacal de amonio	20 ml hidróxido de amonio (0.880); 10 g. persulfato de amonio 80 ml agua	Un buen agente, para revelar bordes de grano en cobre puro, latones y bronces. Debe estar recientemente preparada para dar los mejores resultados.
Amoniaco peróxido de hidrógeno.	50 ml hidróxido de amonio (0.880); 20-50 ml peróxido de hidrógeno (solución al 3%); 50 ml. agua.	El mejor reactivo general para cobre, latones y bronces ataca los bordes del grano y da un contraste moderado. El contenido de peróxido de hidrógeno puede variarse para adaptarlo a aleaciones particulares. Se usa por frotamiento o inmersión y debe ser recientemente preparada ya que el peróxido de hidrógeno se descompone
Cloruro férrico ácido	10 g cloruro férrico; 30 ml ácido clorhídrico; -- 120 ml agua.	Produce un ataque de gran contraste sobre latones y bronces. Oscurece la B en latones. Puede usarse después del ataque a los bordes del grano con el persulfato de amonio. Usese sin diluir para aleaciones de cobre micas en níquel. Diluyase una parte en dos partes de agua para soluciones sólidas ricas en cobre, en latón bronce y bronce de aluminio.
Solución ácida de bicromato	2 g bicromato de potasio 8 ml ácido sulfúrico; 4 ml solución de cloruro de sodio saturado; 100 - ml agua	Util para bronce al aluminio y latones y bronces complejos. También para aleaciones de berilio, manganeso y silicio con cobre, y para placas de níquel.

TABLA A3 REACTIVOS DE ATAQUE PARA ALUMINIO Y SUS
ALEACIONES

TIPO DE AGENTE	COMPOSICION	CARACTERISTICAS Y USOS
Acidofluorhídrico diluido	0.5 ml ácido fluorhídrico; 99.5 ml agua.	Esta probeta se frota mejor con algodón impregnado en el reactivo. Un reactivo general bueno.
Solución de sosa cáustica	1 g hidróxido de sodio; 99 ml agua	Un reactivo general bueno para frotar.
Reactivo de Keller	1 ml ácido fluorhídrico; - 1.5 ml ácido clorhídrico; 2.5 ml ácido nítrico; 95 ml agua	Util particularmente para aleaciones del tipo duraluminio. Ataque por inmersión por 10-20 segundos.

NOTA: Por ningún motivo debe permitirse que el ácido fluorhídrico entre en contacto con la piel o los ojos. Debe tenerse cuidado con todos los ácidos fuertes.

TIPO DE REACTIVO	COMPOSICION	CARACTERISTICAS Y USOS
Acidos acético y nítrico	3 ml ácido acético glacial 4 ml ácido nítrico; 16 ml agua	Util para plomo y sus aleaciones (útese recientemente preparado y con ataque por 4-30 minutos). Es útil también 5% de nital para plomo y sus aleaciones.
Acido acético y peróxido de hidrógeno	30 ml ácido acético glacial; 10 ml peróxido de hidrógeno (solución al 30%)	Adecuado para aleaciones de plomo-antimonio. Atacar por 5 a 20 segundos.
Cloruro férrico ácido	10 g cloruro férrico; 2 ml ácido clorhídrico; 95 ml agua	Adecuado para metales de chumaceras ricos en estaño. Pueden atacarse otras aleaciones ricas en estaño, en 5% de nital.

NOMENCLATURA

- A - Coeficiente de alargamiento
- a - ángulo de ataque, coeficiente de expansión térmica.
- E - módulo de elasticidad
- f - coeficiente de rozamiento
- h - espesor o altura de laminación
- i - corriente eléctrica
- k - curvatura de una tira bimetalica
- m - razón de los espesores de un bimetal
- N - fuerza normal
- n - razón de los modulos de elasticidad de un bimetal
- P - presión
- Pr - presión relativa
- R - coeficiente de reducción, resistencia eléctrica, reducción en el volante
- Rr - reducción relativa
- p - radio de curvatura
- So - sección inicial
- S1 - sección final
- T - fuerza tangencial, trabajo necesario de laminación, temperatura
- t - espesor
- v - velocidad de laminación