TRAB
IID2001
N7

AA03886

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

LABORATORIO DE CIENCIAS DE LOS MATERIALES

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

Elaborada por:
Ing. Mónica Niño

Caracas, Julio de 2001

H Sistente

INDICE

Introducción

1. Práctica de Metalografía

1.1 Objetivos.....1
1.2 Fundamentos Teóricos.....2
Selección de muestras.....2
Tamaño de las muestras.....3
Corte.....3
Montaje o embutido.....5
Desbaste.....7
Pulido 9
Ataque 11
Observación microscópica.....14
Fotomicrografía.....15
Análisis estereológico 16
1.3 Procedimiento experimental.....20
Técnicas metalográficas.....20
Tamaño de la muestra.....20
Embutido.....20
Corte.....20
Desbaste grueso.....21
Desbaste fino 21
Pulido 22
Observación microscópica sin ataque 22
Ataque químico.....23
Técnicas fotográficas 23
Revelado.....23
Copiado 24
Técnicas de metalografía cuantitativa 25

Análisis estereológico.....25
1.4 Resultados y discusión.....27
1.5 Referencias Bibliográficas 28

2. Práctica de dureza

2.1 Objetivos.....29
2.2 Fundamentos Teóricos.....30
Ensayo Rockwell 30
Ensayo Vickers y Brinell.....31
Condiciones de la probeta para medir dureza.....32
Microdureza Vickers y Knoop.....33
2.3 Procedimiento experimental.....34
Ensayo Rockwell.....34
Ensayo Brinell.....34
Ensayo Vickers.....35
2.4 Resultados y discusión.....37
2.5 Referencias Bibliográficas.....38

3. Práctica de Análisis térmico: Construcción de un diagrama binario
3.1 Objetivos.....39
3.2 Fundamentos Teóricos.....40
Métodos experimentales.....40
Análisis térmico.....41
Métodos metalográficos.....41
Difracción de rayos X.....41
Diagrama tipo III.....42
Aleaciones de solución sólida.....43
Aleaciones que exceden el límite de solubilidad.....43
Aleaciones eutécticas.....44
Aleaciones hipoeutécticas e hipereutécticas.....45

3.3 Procedimiento experimental.....46
3.4 Resultados y discusión.....47
3.5 Referencias Bibliográficas.....48

4. Práctica de Impacto: Ensayo Charpy
4.1 Objetivos.....49
4.2 Fundamentos Teóricos.....50
Ensayo Charpy.....51
4.3 Procedimiento experimental.....54
4.4 Resultados y discusión.....56
4.5 Referencias Bibliográficas.....57

5. Práctica de Tracción
5.1 Objetivos.....58
5.2 Fundamentos teóricos 59
Curva tensiones deformaciones ingenieril.....59
Propiedades mecánicas.....62
Resistencia a la tracción 62
Límite elástico ingenieril.....63
Doble punto de fluencia.....64
Ductilidad.....65
Porcentaje de elongación.....66
Estricción.....67
Módulo de elasticidad.....67
Resiliencia elástica.....67
Tenacidad.....68
Fractura dúctil 68
Tipos de curvas tensión deformación.....70
5.3 Procedimiento experimental.....71
5.4 Resultados y discusión.....72
5.5 Referencias bibliográficas.....73

6. Práctica de Tratamientos Térmicos

6.1 Objetivos....74

6.2 Fundamentos teóricos....75

Clasificación del acero....76

Aceros al carbono....76

Tratamientos Térmicos....77

Temple....78

Revenido....80

Recocido....81

Normalizado....81

Cementación....81

6.3 Procedimiento experimental....84

Revenido....84

Cementación....85

Temple....85

Recocido....86

Normalizado....86

6.4 Resultados y discusión....87

6.5 Referencias bibliográficas....88

INTRODUCCIÓN

Dado que las actividades típicas de un ingeniero, versan fundamentalmente sobre las áreas de diseño y procesos de fabricación, teniendo en ambas áreas gran importancia el diseño, Ciencias de los Materiales tanto teórica como práctica es decisiva ya que en todo proceso de diseño uno de los factores críticos es la adecuada selección de materiales en función del régimen de servicio y de las condiciones de funcionamiento, por lo tanto es de gran utilidad para el estudiante poseer los conocimientos adecuados en la realización de ensayos que caractericen los materiales.

La guía del Laboratorio de Ciencias de los Materiales, tiene como objetivo presentar una base escrita para facilitar a los estudiantes la realización de pruebas y ensayos y alcancen los objetivos.

Las prácticas están agrupadas en siete capítulos los cuales son:

- Metalografía, donde se estudia la metodología de preparar el material para observar las diferentes microestructuras, así como cuantificar las fases presentes, el tamaño de los granos que componen el material.

- Dureza, se estudia para que el estudiante sea capaz de caracterizar un material, aunque es una propiedad difícil de medir ya que los valores que se obtienen dependen del método empleado para su determinación, los tratamientos térmicos previos, etc. .

- Construcción de un diagrama binario, donde se estudia la solidificación de dos metales Pb - Sn a partir de sus curvas de enfriamiento experimentales

- Ensayo de Impacto: Charpy, realizando un estudio del material y su comportamiento a fractura, sometiéndolo a diferentes temperaturas y a impacto.

- Tracción, un análisis del comportamiento del material al ser sometido a cargas axiales.

- Tratamientos Térmicos, donde se guía al estudiante para modificar la microestructura del material por efecto de la temperatura, como parte esencial del cambio en las propiedades mecánicas de un material.

Estas prácticas además están diseñadas para que el estudiante participe activamente en la realización de las mismas.

I. PRÁCTICA DE METALOGRAFÍA

I . I OBJETIVOS

1. Familiarizar al estudiante con la técnica para realizar la preparación metalográfica de materiales metálicos

.

2. Aprender a diferenciar las características microestructurales de los materiales en estudio.

3. Realizar el procedimiento para el revelado de fotomicrografías en blanco y negro.

4. Cuantificar la microestructura resultante aplicando diferentes métodos de metalografía cuantitativa (Análisis Estereológico).

I .2 FUNDAMENTOS TEORICOS

"La metalografía estudia microscópicamente las características micro estructurales de un metal o de una aleación"[1]. Por medio de estos estudios es posible determinar el tamaño de grano, y el tamaño, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. El éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra.

El procedimiento que se sigue en la preparación de una muestra es sencillo pero se necesita práctica, ya que la preparación metalográfica es esencialmente un arte que no ofrece posibilidades de estandarización.

A continuación se describen las etapas correspondientes a la preparación de una muestra metalográfica:

- **Selección de Muestras**

La selección de muestras para el examen metalográfico es de gran importancia. Dependiendo del tipo de estudio que se vaya a realizar las muestras se pueden dividir en tres grupos:

Trabajos de Rutina: Para hacer un estudio general de la pieza, se toman muestras de aquellos sitios donde pueda existir algún defecto o diferencia.

Estudios de Fallas: Para diagnosticar la causa de la falla, se toman muestras lo mas cerca posible de la fractura y se cortan en varios planos para obtener una mejor visión. Además se requieren muestras del material en una zona alejada de la falla para realizar comparaciones.

Trabajos de investigación: Para este tipo de estudio se decidirá la selección de la muestra según el tipo de estudio. De acuerdo a el tipo de sección realizada al material se revelarán informaciones distintas, por ejemplo en el caso de muestras trabajadas o deformadas en frío se observan granos deformados o fases orientadas.

- **Tamaño de las Muestras**

El tamaño de las muestras debe ser adecuado para la fácil manipulación, siempre que sea posible, se recomienda mantener el tamaño de las muestras para el examen microscópico dentro de ciertos parámetros que dependen de la facilidad y disponibilidad de espacio en el laboratorio y de la experiencia del metalógrafo. En general un buen tamaño sería entre 6 y 25 mm de diámetro para secciones circulares y 12,7 a 25,4 mm de lado para secciones cuadradas. Las muestras demasiado pequeñas se hacen muy difícil para el manejo y tendrán que embutirse o utilizar un porta muestras [2].

- **Corte**

Existen distintos métodos para cortar la muestra, pero se debe tener extremo cuidado de no afectar la microestructura del metal durante el proceso.

Existen varios factores que se deben tener en cuenta:

- Arrastre del metal por el filo de corte.
- El calentamiento por el corte de materiales endurecidos.
- El oxicorte (corte por llama) que altera completamente la estructura del material.

En los casos de arrastre o calentamiento del material se recomienda la lubricación ya sea con agua o aceite soluble en agua. Una pieza cortada por llama debe tratarse posteriormente por otros métodos para eliminar la parte afectada.

Existen muchos equipos utilizados en metalografía para el corte de las muestras:

- Por Disco Abrasivo: Se utilizan tronzadoras, comprenden desde máquinas pequeñas con disco de diamante, para corte muy fino hasta máquinas con discos de 12 plg. de diámetro por 1/16 plg. de espesor, como la que se observa en la figura 1. La deformación producida por este tipo de corte puede llegar a ser hasta de l mm.

La selección del material del disco debe hacerse de manera tal que reduzca la deformación. Se puede utilizar la siguiente regla empírica para la selección de un disco de corte: "discos con muela de corte dura para materiales blandos y con muela blanda para materiales duros". Generalmente se utilizan discos de corte de carburo de silicio de dureza media. [2]

Figura 1. Cortadora de disco

- **Montaje o Embutido**

Las muestras pequeñas o de forma incómoda deben montarse de alguna manera para facilitar su manipulación en los siguientes pasos de la preparación. El montaje también ayuda a preservar y proteger los bordes y los defectos en la superficie de la muestra, además de esto se facilita la identificación de la pieza sin dañar su superficie. El espesor de la montura debe ser lo suficientemente grande como para facilitar el agarre firme en los pasos siguientes de desbaste y pulido [2].

El montaje de la muestra puede realizarse de la manera siguiente:

• Montaje a Presión y Temperatura: La muestra se coloca en el cilindro base (fig. 2a), con la cara pulir hacia abajo, luego se introduce en el cilindro hueco o molde por uno de sus extremos (fig. 2b), agregando a este último suficiente resina para alcanzar aproximadamente una altura tres veces mayor que la altura de la muestra. Finalmente se inserta el émbolo (fig. 2c).

Una vez que se coloca en el cilindro de la prensa de montar se aumenta la temperatura gradualmente utilizando una bobina de calentamiento hasta 150°C y simultáneamente se aplica una presión de moldeo de unas 4000 lb/plg^2

Cuando se alcanza esta temperatura, se quita la bobina de calentamiento y se colocan alrededor del cilindro las aletas de enfriamiento hasta alcanzar unos 75°C en unos 7 min. al tiempo que se mantiene la presión de moldeo. Si se saca la base todavía caliente o si se deja enfriar lentamente en el cilindro de moldeo a la temperatura ambiente sin sacarla se opacará. [2]

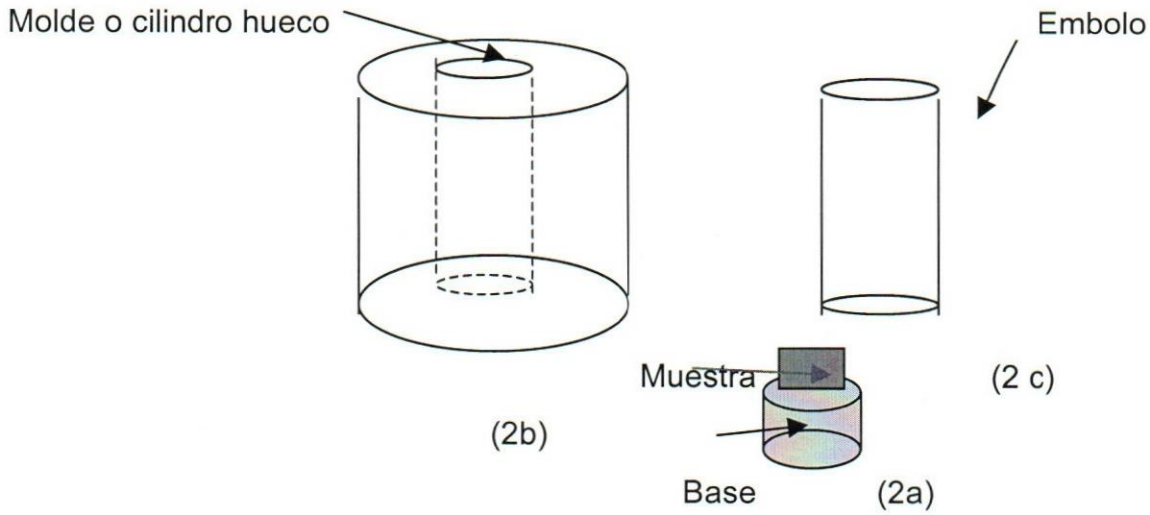


Figura 2. Montaje por compresión y temperatura

Tipos de resina:

La resina termofijadora que más se emplea para montar muestras es la baquelita, resina que viene en forma de polvos de colores. Una vez que la baquelita está adherida y curada, la base de la muestra puede extraerse del dado de moldeo mientras está caliente.

La lucita es la resina termoplástica más común; es completamente transparente cuando se moldea en forma adecuada. Esta transparencia es útil cuando se desea ver por completo la muestra en la base. Al contrario de los termofijadores, las resinas termoplásticas no sufren cura a la temperatura de moldeo, sino que adquieren estabilidad al enfriarse. La muestra y la cantidad de polvo de lucita adecuadas se colocan en la prensa para montar y se someten a la misma temperatura y presión que para la baquelita.

En las figuras 3 y 4 se observa los tipos de embutidoras más comunes, donde en la primera la presión es suministrada por un compresor y mantenida

automáticamente, mientras que en la otra embutidora, la presión es mantenida manualmente

Figura 3. Embutidora neumática

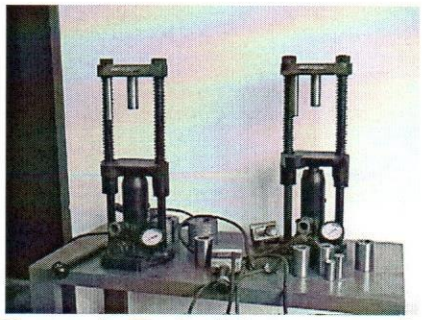


Figura 4. Embutidora manual

- **Desbaste**

Desbaste Grueso:

Esta es la operación más importante en la preparación de la muestra. Consiste en la abrasión de su superficie. Se utiliza una desbastadora de banda como se observa en la figura 5, que permite obtener una superficie con un sólo plano y líneas en una sola dirección, así como una misma profundidad en el material, además elimina los efectos del corte en pocos minutos, también permite eliminar los bordes filosos del material. Estas bandas abrasivas son generalmente de carburo de silicio, confeccionadas con un soporte de tela para aumentar su resistencia.

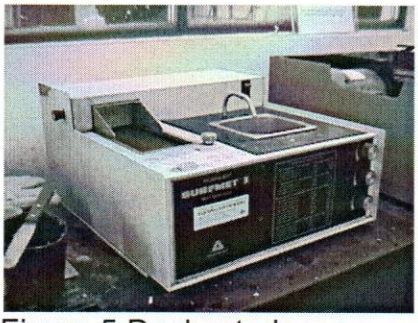


Figura 5.Desbastadora gruesa

Desbaste fino:

Después del desbaste grueso, se comienza el desbaste fino, para ello se utiliza un banco de desbaste, como el mostrado en la figura 6. este banco está provisto de una serie de lijas o papel de esmeril con diferentes tamaños de grano, los más utilizados son 240, 320, 400 y 600. El uso de las mismas debe respetar un orden descendiente con respecto al tamaño del grano, ya que la profundidad de las rayas y la profundidad del material deformado en frío debajo de las rayas disminuyen a medida que decrece el tamaño de las partículas abrasivas. Por lo tanto, es importante que en cada paso de desbaste se elimine el metal deformado producto del desbaste previo.

Figura 6. Desbaste fino

Es muy importante que el desbaste se haga en húmedo, debido a que el agua lava la mayoría del producto lijado removiéndolo de la muestra, antes de que éste penetre entre las partículas abrasivas de la desbastadora, disminuyendo su poder de abrasión, de manera que las partículas abrasivas conserven su filo y sus puntos queden expuestos a la superficie de la muestra en preparación. Si esto no se cumple ocurrirá un pequeño desgaste de la superficie, en lugar de eliminar al máximo la superficie deformada. Otra ventaja que proporciona el desbaste en húmedo es el efecto refrigerante del agua. En el desbaste ocurre una producción considerable de calor, debido a la fricción, por lo tanto se puede causar

modificación en la microestructura del metal, que luego no podrá ser eliminado con el pulido.

- **Pulido**

El pulido es el paso final para la producción de una superficie plana y libre de rayas. El éxito del pulido y el tiempo empleado en la operación depende del cuidado con que se haya realizado el desbaste. Si una probeta tiene rayas profundas y gruesas, que no se han eliminado en la última operación de desbaste, se pierde el trabajo y el tiempo si se pretende eliminarlas con el pulido. En tal caso se debe volver a desbastar la probeta, poniendo la máxima atención para conseguir uniformidad y finura en las rayas antes de comenzar el pulido.

Para esta etapa se utilizan discos cubiertos con paños y abrasivo, ver figura 7. Los discos tienen un movimiento giratorio. El pulido debe realizarse en un área libre de polvo, preferiblemente lejos del taller de corte. Se debe evitar cualquier contaminación del disco de pulido por partículas abrasivas, que provengan del paso anterior, por polvo, sucio o cualquier material extraño en el aire. La limpieza es primordial ya que una sola partícula extraña puede arruinar toda preparación previa de la probeta.

Las muestras son sostenidas manualmente, con una o dos manos dependiendo de la preferencia del operador y se rota en dirección opuesta al giro del paño de pulido.

"La selección de un paño para pulir depende del material que se vaya a pulir y el propósito del estudio metalográfico. Se pueden encontrar paños de lanilla o pelillo variable, desde aquellos que no tienen pelillo (como la seda) hasta aquellos de pelillo intermedio (paño de billar y lanilla) además de aquellos de pelillo profundo (como el terciopelo). También se pueden encontrar paños

sintéticos para pulir con fines de pulido general, de los cuales el Gamal y el Microcloth son los que se utilizan más ampliamente" [1].

Figura 7. Pulidora con paño de tela de billar

Abrasivos utilizados

El abrasivo ideal debe tener una dureza relativamente alta, la forma de las partículas de abrasivo deben ser tal que contengan un gran número de aristas agudas y vértices cortantes, si las mismas se rompen deben hacerlo de tal forma que produzcan nuevas aristas y vértices cortantes. Los abrasivos que contienen aristas esferoidales no son adecuados para la metalografía, generalmente promueven el aumento de temperatura y dañan la superficie de la pieza.

Los abrasivos más utilizados en el desbaste son:

- Carburo de Silicio (SiC): sus partículas son de forma angular con bordes y esquinas muy afilados.
- Óxido de Aluminio "Alúmina" (Al_2O_3): es un corundum sintético con estructura cristalina trigonal
- Emery (Al_2O_3-Fe_3O_4): es un corundum natural de grano muy fino y bastante impuro, contiene entre 25 - 45% de óxido de hierro
- Partículas de Diamante: es uno de los granos más duros que se encuentran

- Carburo de Boro: es uno de los materiales que se utiliza ocasionalmente, se utiliza para el desbaste de cerámicas y materiales extremadamente duros.

Los abrasivos mas utilizados en el pulido son:

- Oxido de Aluminio "Alúmina" (Al_2O_3): es el más común utilizado en metalografía, sus tamaños de partículas van desde 0.05 a 15 micrones.
- Oxido de Magnesio (MgO): se recomienda para el pulido final, especialmente en la preparación de magnesio, aluminio y sus respectivas aleaciones.
- Oxido de Hierro (FeO): conocido como "rojo de joyeros", se consigue como polvo con tamaño de partículas de aproximadamente 3 micrones.
- Oxido Crómico: se consigue en tamaños de partículas desde 0,05 micrones y se utiliza para el pulido grueso y final de aceros y fundiciones. [2]

- **Ataque**

El ataque químico es la etapa final de todo el proceso de preparación metalográfica y se utiliza para revelar las características microestructurales de un material que no son evidentes, en la condición de pulido.

Antes del ataque químico, una muestra debe ser inspeccionada para localizar defectos de pulido tales como: rayas, huecos, relieve de pulido, colas de cometa , arranque de inclusiones, distribución de grafito, estructura de vaciado. [1]

Además el ataque puede ser utilizado para la identificación de fases y para decoración de dislocaciones (ataque por picadura).

El propósito del ataque químico es hacer visibles las características microestructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una reacción química [2].

En las aleaciones compuestas de dos o más fases, las componentes se revelan durante la reacción química, al atacar preferencialmente el reactivo, a una o más de estos constituyentes debido a la diferencia de composición química de las fases.

En aleaciones monofásicas o metales puros, se obtiene contraste entre los granos ya que las fronteras de grano se hacen visibles debido a las diferencias en la rapidez en que los distintos granos son atacados por el reactivo. Debido al ataque químico, las fronteras de grano aparecerán como valles en la superficie pulida. Al chocar con la orilla de estos valles, la luz del microscopio se reflejará fuera del mismo, haciendo que las fronteras de grano aparezcan como líneas oscuras.

El ataque químico se realiza por dos métodos que son:

Ataque Químico por inmersión: Se logra sumergiendo la muestra o humedeciéndola con el agente químico ideal, hasta revelar su microestructura. El ataque se hace usualmente en cápsulas de Petri, vidrio de reloj o cualquier otro envase que se preste para ello. [1]

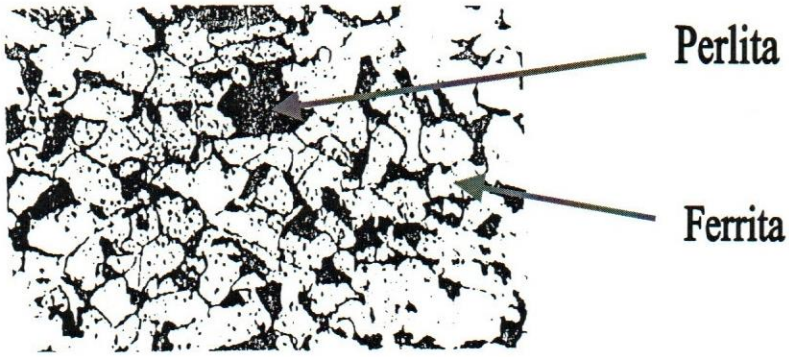
Ataque por frotación: se logra frotando la muestra contra un algodón humedecido en el reactivo químico a fin de oscurecer las zonas de mayor energía del material, tales como los bordes de grano.

En la tabla 1 se presentan algunos de los reactivos usados con mayor frecuencia y en la figura 8a y 8b se observa el efecto del ataque químico en materiales polifásicos y monofásicos.

Tabla 1. Reactivos comunes para atacar aceros al carbono, aluminio y sus aleaciones y cobre y sus aleaciones

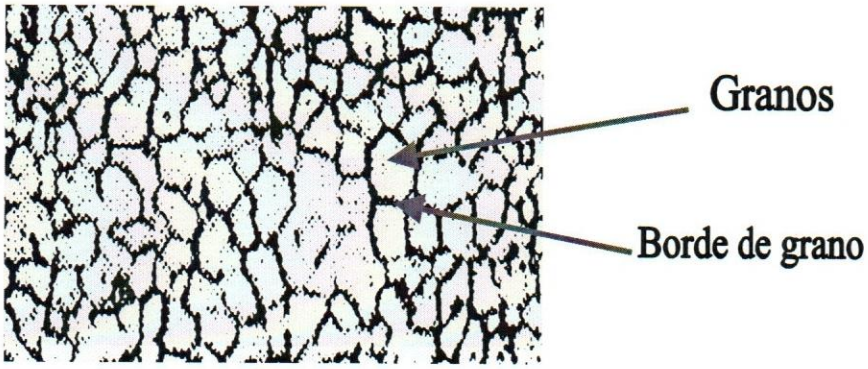
Reactivo de ataque	Composición	Usos	Observaciones
Ácido Nítrico (nital)	Ácido nítrico blanco 1-5 ml Alcohol metilico o etílico (98% o absoluto) También alcohol amílico 100 ml	En aceros al carbono: a) Para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita. b) Para revelar fronteras de perlita. c) Para diferenciar la ferrita de la martensita.	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye y se incrementan los porcentajes de HNO3 El reactivo 2 (ácido pícrico) generalmente es superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a minutos.
Keller	HF 1ml HCl 1,5 ml HNO_3 2,5 ml H_2O destilada	Aleaciones de duraluminio y Alclac	Inmersión de 10 a 20 s. Lavar con agua caliente
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio 10 gr. Agua 90 ml	Cobre, latón, bronce, plata, níquel	Utilizarlo frío o hirviendo, por inmersión
Cloruro férrico	Cloruro férrico 5 gr. Acido hidroclórico 50 ml Agua 100 ml	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables	

La selección del reactivo de ataque está determinada por el metal o aleación y la estructura específica que se desea ver.



Acero de bajo carbono

Figura 8a Ataque químico en materiales polifásicos



Aluminio 3003

Figura 8b Ataque químico en materiales monofásicos

- **Observación Microscópica**

Microscopio Metalúrgico: El microscopio metalúrgico, en comparación con uno del tipo biológico, difiere en la manera en que la muestra es iluminada. Una muestra metalográfica es opaca y debe ser iluminada por luz reflejada. Un haz de luz horizontal de alguna fuente de luz es reflejada, por un medio de un reflector de vidrio plano, hacia abajo a través del objetivo del microscopio sobre la superficie de la muestra. Un poco de esta luz incidente reflejada desde la superficie de la muestra se amplificará al pasar a través del sistema inferior de lentes, el objetivo, y continuará hacia arriba a través de reflector de vidrio plano; una vez más lo amplificará el sistema superior de lentes, el ocular. El poder de amplificación inicial

del objetivo y del ocular está generalmente grabado en la base del lente. Posteriormente el rollo se somete a un proceso de revelado y copiado.

- **Fotomicrografía**

Una vez que se ha cumplido con cada una de las etapas anteriores, se procede a tomar la fotografía de la microestructura que se observa. Por lo general se toma una foto en blanco y negro a un aumento de 150x, sin ataque químico, para estudiar la preparación metalográfica, defectos, grafito y otra con ataque para observar microestructura revelada con el ataque químico, mediante una cámara adaptada al microscopio óptico.

- Revelado :

En el cuarto oscuro se procede a liberar el rollo de la película del estuche, colocándola en un espiral que evita el contacto entre cada vuelta del negativo.

Una vez allí, se ubica la película en el tanque de revelado, asegurándose que quede completamente cerrado.

La elección del revelador depende de las características de cada película, de ésta manera una vez elegido, se coloca en el tanque asegurándose que cubra completamente el espiral, eliminando burbujas y agitando continuamente, una vez transcurrido el tiempo se devuelve la solución al recipiente y se agrega el baño de paro (ácido acético glacial) durante aproximadamente dos minutos, devuelva la solución y añada fijador el doble del tiempo del revelador, se devuelve la solución y se conecta la manguera de agua, aproximadamente 15 minutos, se saca el negativo y se coloca retirado del polvo.

- Copiado :

Una vez revelado el negativo y con luz de seguridad se procede a pasar la imagen latente al papel fotográfico

Se colocan los diferentes baños químicos en la zona húmeda del cuarto.

Estos baños son: revelador, donde aparece la imagen el tiempo estimado en ese baño puede inferirse mediante una tira de prueba, probando los diferentes tiempos de exposición, según ensayo y error, baño de paro, que detiene la acción del revelador, fijador que fija la imagen en el papel y agua para lavar las sales sobrantes.

- **Análisis Estereológico.**

Este tipo de análisis se realiza para determinar las características como: tamaño de grano y % de fase de la muestra sobre la fotomicrografía como una herramienta para caracterizar el material.

A partir de una imagen representativa de la microestructura, a bajo aumento (100X)

Para determinar el tamaño de grano se utilizan los siguientes métodos: [3]

- Método Comparativo
- Método Planimétrico
- Método Intercepto.

Método comparativo: Se compara la muestra con las cartas ASTM o con el ocular austenítico para aceros. Luego se aplica la siguiente relación:

$$n = 2^{N-1} \qquad (1)$$

donde n es el número de granos por pulgada cuadrada y N es el número ASTM.

Método planimétrico: Se inscribe una figura geométrica de área conocida que encierre al menos 50 granos.

$$n = \left(\frac{A}{M^2 N}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (2)$$

Donde n es el tamaño de grano, A es el área de la figura conocida, M es la magnificación de la fotografía y N es el número de granos cortados y enteros.

Método del intercepto: Se trazan al menos tres rectas de longitud conocida y en diferentes direcciones, se cuentan los granos interceptados, los extremos se cuentan como ½ grano y se aplica la siguiente ecuación

$$d = \frac{L}{MN} \qquad (3)$$

En la figura 9 se observa un material monofásico, donde se aplica el método del intercepto para medir tamaño de grano.

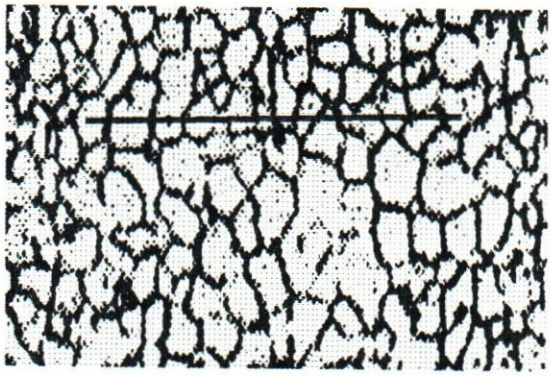


Figura 9 . Método del intercepto

N = 10 granos enteros + 2 (1/2) = 11 ,M = 100 X ,L = 49 mm aplicando la fórmula (3) se obtiene: d = 0.0445 mm, esto se realiza en tres direcciones posibles y se promedian los resultados.

Para determinar el % de Fase se utilizan los siguientes métodos:

Análisis Superficial

Análisis Puntual

Análisis Lineal

Análisis Puntual: Este método consiste en determinar de una manera rápida la fracción volumétrica de una fase distribuida uniformemente.

El procedimiento es el siguiente: se coloca una rejilla sobre la fotografía y se cuenta el número de puntos coincidentes dentro de la fase. Después se divide el número de puntos coincidentes entre la cantidad de puntos totales de la rejilla y se multiplica por 100.

$$\%F_p = \frac{\sum P_i}{P_T} \times 100 \qquad (4)$$

Análisis Lineal: En este método se cumple que la relación de longitud de la fase es proporcional a la relación volumétrica de la misma.

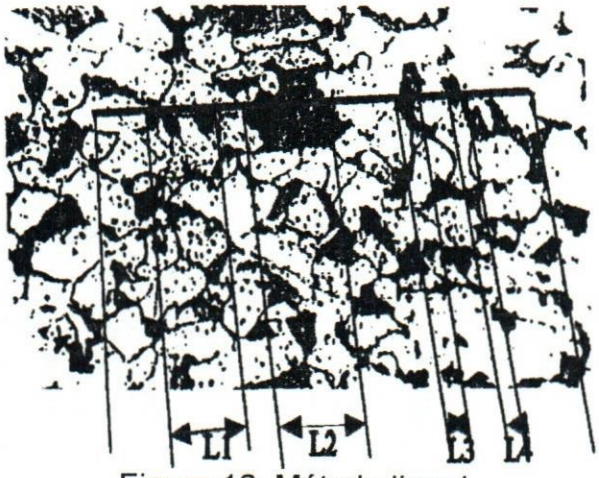
El procedimiento es el siguiente: consiste en trazar líneas rectas de longitud conocida (en mm) sobre la fotomicrografía, se suman las longitudes de intersección para las fases (en mm) y luego se divide la sumatoria de las longitudes interceptadas por las fases entre la longitud total y se multiplica por 100. [3]

$$\%F_L = \frac{\sum Li}{Lt} \times 100 \qquad (5)$$

Análisis superficial: El procedimiento es el siguiente: se coloca una rejilla sobre la fotografía y se cuenta el número de cuadros de área conocida coincidentes dentro de la fase. Después se divide el número de cuadros coincidentes entre el área de la rejilla y se multiplica por 100

$$\%F_S = \frac{\sum Ai}{At} \times 100 \qquad (6)$$

Luego, las otras fases se calculan hallando la diferencia con el 100 % total, para todos los métodos antes descritos. En la figura 10 se observa un ejemplo del método lineal.



Aplicando la ecuación (5) se obtiene el % de fases

Figura 10. Método lineal.

I .3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Técnicas metalográficas.

La técnica a utilizar puede variar de acuerdo al propósito del estudio metalográfico, el tamaño y las características del material que se va a estudiar.

Tamaño de la muestra:

Si el tamaño es menor a un centímetro, debe realizarse el proceso de embutido

Embutido.

- Se coloca la resina en un molde, se agrega hasta que cubra al menos tres veces el tamaño de la muestra.

- Se coloca el émbolo aplicando presión y se procede a colocarle el horno a 150°C por el tiempo requerido para cada tipo de resina.

- Se enfría, mediante aletas enfriadoras o retirada del calor consolidándose el polvillo de resina y adquiriendo una contextura firme.

Si por el contrario el tamaño es excesivo para trabajarlo con comodidad, se procede a cortar la muestra según el estudio a realizar.

Corte

- Se procede a colocar la muestra en la cortadora de disco

- Se sujeta firmemente para evitar movimientos que podrían dañar el disco abrasivo Este proceso debe realizarse bajo refrigeración para ayudar al arrastre de material y evitar el calentamiento en la muestra.

- Posteriormente se acerca el disco hasta el material y se procede a cortar la muestra, ejerciendo una presión firme, evitar quemar la muestra, una vez que el tamaño de la probeta es el adecuado se procede a continuar con el desbaste grueso.

Desbaste grueso

Se utiliza la desbastadora de banda para obtener una superficie plana y lisa en la probeta libre de deformaciones provocadas por el calor excesivo del corte, todo el proceso se hace bajo refrigeración. Se esmerilan los bordes filosos para evitar la ruptura de los paños o que el operador se lastime.

Desbaste fino

Una vez que se han eliminado los defectos provenientes del corte y otras imperfecciones menores, se procede a desbastar la superficie en un papel de esmeril No. 240, se lija perpendicularmente a las rayas provenientes del desbaste grueso.

Cuando estén todas las rayas en una sola dirección, se procede a lavar la muestra. Se debe utilizar agua en el proceso de desbaste y limpiar la probeta cada vez que se cambie de lija. La limpieza del material consiste en colocar la probeta debajo del agua corriente del grifo y se debe rotar 90°, luego se cambia para la lija 320 y así sucesivamente pasando por lijas 400 y 600, fijas sobre un vidrio.

Para asegurar la eliminación completa de las rayas se hace una inspección visual o al microscopio.

Un buen desbaste depende en gran parte de la presión aplicada a la muestra. Una presión muy baja produce una deficiente eliminación de metal, mientras que un exceso de presión produce rayas de diferente profundidad y tamaño, además de promover la adherencia de partículas abrasivas en la superficie de la probeta.

Pulido

Se sigue el proceso de pulido de la probeta, con discos que tienen un movimiento giratorio cubierto cada uno con una tela diferente. En esta etapa se utiliza como abrasivo una solución de óxido de aluminio.

Coloque la muestra sobre el paño impregnado en alúmina en contra del giro del disco. La muestra debe moverse hacia adentro y hacia fuera en dirección al centro del disco, para asegurar una buena distribución del abrasivo y un desgaste igual en toda la tela.

Algunos metalógrafos utilizan una pequeña rotación de muñeca mientras mueven la muestra, la razón principal de la rotación de la probeta es evitar la formación de las "colas de cometa", las cuales resultan del pulido direccional de materiales que contienen: inclusiones, precipitados finos, poros y similares.

Observación microscópica sin ataque

. A continuación se lleva la probeta al microscopio para observar los errores cometidos en la preparación metalográfica o cualquier detalle que se revele sin ataque químico , se toma una o varias fotos de la superficie tratada de la

probeta .

Ataque químico

Seguidamente se ataca la superficie pulida de la muestra con un reactivo químico, especial para cada material.

Se ataca la probeta por inmersión, sumergiendo la probeta en el reactivo por un tiempo que depende de la concentración del reactivo.

Se observa al microscopio y se toma la fotografía con ataque, a bajo aumento para realizar análisis estereológico y a alto aumento para determinar fases presentes.

Técnicas fotográficas

Terminado el rollo de fotografía se procede al revelado del negativo.

Revelado

Completamente a oscuras, se saca la película y se toma por los extremos para colocarla dentro del los salientes el carrete.

Se enrolla la cinta en el carrete, haciendo movimientos en la tapa del mismo para un lado y para el otro (semi giros).

Después de enrollar la cinta se corta el extremo de la misma y se coloca el carrete dentro del tanque.

Una vez que el carrete está dentro del tanque, se enciende la luz para

continuar con el revelado.

Se le agrega al tanque el revelador y se agita constantemente para homogeneizar el baño.

Cuando finaliza el tiempo en el baño revelador, que para los efectos de la práctica es aproximadamente 7 minutos, se saca el revelador y se devuelve a su envase original.

Se le añade el baño de paro (vinagre) y se continua agitando por dos minutos aproximadamente.

Después de que transcurre el tiempo, se regresa el líquido a su botella original.

Seguidamente se le agrega el fijador y se deja alrededor de 14 minutos. Se devuelve el fijador a su envase y se abre el tanque para lavar la película con agua corriente por aproximadamente media hora.

Copiado

El paso siguiente es el copiado de las fotomicrografías.

Lo primero que se hace es una tira de prueba para conocer el tiempo indicado de exposición.

Se comienza con 5 segundos y se aumenta el tiempo progresivamente Después de escoger el tiempo de exposición, se coloca el negativo en el portanegativos y se enfoca la ampliadora para graduar la intensidad de la luz.

Se coloca el filtro (luz roja) de la ampliadora, se saca el papel y se coloca en el tablero con la curvatura hacia arriba, justamente en el lugar en donde incide la luz .

Se quita el filtro y se expone el papel.

Inmediatamente se lleva el papel, sin voltearlo a una bandeja en donde esta el revelador; por medio de una pinza, se agita el papel hasta que aparece la imagen, se lleva después a la siguiente bandeja con baño de paro y con la ayuda de otra pinza se agita por un minuto aproximadamente.

Luego se pasa el papel a otra bandeja con fijador y se deja alrededor de cinco minutos, para finalizar se pasa a la última bandeja que contiene agua en la cual se deja media hora.

Técnicas de metalografía cuantitativa

Análisis estereológico

Una vez obtenidas las fotomicrografías se procede a utilizar los métodos de metalografía cuantitativa para caracterizar el material en estudio.

Si son granos se comparan con las cartas ASTM (comparativo).

Se trazan figuras conocidas sobre la fotomicrografía y se emplea la ecuación (2) (Planimétrico).

Se trazan rectas de igual longitud y en las tres direcciones principales, aplicándose la ecuación (3) (Intercepto).

Si son fases, los métodos se aplican utilizando papel milimetrado, evaluando por puntos ocupados la cantidad de fase menor presente, empleando la ecuación (4) la otra fase se obtiene por diferencia del 100% (Puntual).

Se trazan rectas, se mide la cantidad de fase interceptada y se aplica la ecuación (5) (lineal).

Se traza una rejilla de área conocida que ocupe toda el área conocida y se observa la coincidencia de fase en cada cuadro de papel milimetrado, aplicándose la ecuación (6) (superficial).

I . 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Fotomicrografia de una probeta sin ataque y otra con ataque químico, las cuales deben ser enumeradas y con una breve descripción.

Fotomicrografía

Reactivo Magnificación

Fotomicrografia No. X: Breve descripción

Identificar los defectos del proceso de pulido, inclusiones y / o porosidades, forma y distribución de las láminas de grafito.

Identificar las fases presentes en su muestra.

Determinar el porcentaje de fase aplicando los métodos de análisis puntual, lineal y superficial.

Determinar el tamaño de grano de la muestra aplicando los métodos del intercepto, planimétrico y de comparación.

Discutir cuál de los métodos considera usted más adecuado en su caso en particular.

1.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AVNER, Sydney. Introducción a la Metalurgia Física, 2da. Edición, editorial Mc Graw-Hill, (1979), pp. 27-41

[2] Guía. Preparación Metalográfica. I. U. T, (1990)

[3] Ettedgui, Jacqueline, Guía de Análisis Estereológico, U. S. B.,(1990)

2. PRÁCTICA DE DUREZA

2.1 OBJETIVOS

1. Aprender el significado de dureza de un material

2. Conocer los diferentes métodos para determinar la dureza de un material

3. Relacionar los diferentes ensayos de dureza

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La dureza se define como la resistencia que ofrece un material a ser penetrado o indentado por un probador.

El ensayo en general, consiste en aplicar una carga conocida, mediante un aparato denominado durómetro, el cual presenta un indentador o probador que deja una huella o muesca sobre el material. Ver figura 11

Figura 11 Durómetro

Los ensayos para medir la dureza de un material pueden ser Rockwell, Brinell. Vickers o microdurezas Vickers y Knoop.

Ensayo Rockwell

El ensayo Rockwell permite determinar directamente la dureza mediante la resistencia y la profundidad de la huella, la lectura se observa en un dial , en números enteros

Presenta una precarga que asegura el contacto directo del indentador y la muestra, evitando medidas erróneas debido a la presencia de óxidos.

Cada medida de dureza corresponde a una escala en Rockwell que puede ser A, B, C, D,....,V, determinadas por la combinación de la carga y el tipo de indentador empleado, de esta forma por ejemplo: Escala A: Indentador de cono de diamante y 60 Kgf de carga, para materiales muy duros, escala B esfera de 1/16 de pulgada y 100 Kgf para materiales blandos, escala C cono de diamante y 150 Kgf para materiales duros.

Tabla 2. Escalas de dureza Rockwell

Escala	Tipo de indentador	Carga aplicada
A	Cono de Diamante	60 Kgf
B	Esfera de acero de 1/16 "	100 Kgf
C	Cono de diamante	150 Kgf
D	Cono de diamante	100 Kgf
E	Esfera de acero de 1/8 "	100 Kgf
F	Esfera de acero de 1/16 "	60 Kgf

Los valores de dureza en cada escala presentan un rango de validez, así para Rockwell C, dicho rango oscila entre 20 y 80, si el material presenta una dureza por encima del rango deberá probarse la dureza Rockwell A para materiales muy duros y si por el contrario es menor a 20 , deberá tomarse valores en Rockwell B para materiales suaves y aceros sin templar con un rango de validez entre 0 y 100.

Ensayo Vickers y Brinell

Miden el tamaño de la huella dejado por el indentador que en el ensayo Vickers es una pirámide de diamante de base cuadrada y en Brinell es una esfera de acero endurecido

El ensayo Vickers y el Brinell, en esencia presentan el mismo principio, midiendo tamaño de huella, en el primer caso diagonales de huella y en el segundo diámetro de huella mediante un microscopio adaptado al durómetro, luego se toman las medidas de la huella y se buscan los valores en tablas.

Para Vickers se utiliza la siguiente relación de carga (P) y diagonal (d):

$$HV = 1{,}72\ P/\ d^2 \quad (7)$$

Para Brinell, se debe tomar en consideración el diámetro del indentador (D) y el diámetro de la huella (d), así como la carga aplicada (P), que depende del material a ensayar

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (8)$$

Condiciones de la probeta para medir dureza [1,2]

- Distancia entre huellas: Para mediciones de dureza debe tomarse en consideración la distancia entre huellas, debe evitarse los bordes de la probeta y las huellas cercanas debido al endurecimiento por deformación plástica en la zona aledaña a la aplicación de la carga

- Tipo de material: Se puede medir probetas con un ancho mayor al menos dos veces al tamaño del indentador

- Las probetas no pueden estar embutidas

- Estado del indentador: Debe estar en perfectas condiciones para evitar lecturas erróneas del diámetro.

- Preparación previa de la probeta: Las probetas deben estar al menos desbastadas en lija 600 para observar la huella con claridad.

- Carga de aplicación: Debe ser la adecuada para evitar defectos en la huella y de ésta manera datos erróneos de las diagonales o diámetros.

- Caras planas y paralelas entre si: Debe cumplirse que las caras de ensayo deben ser planas y paralelas entre sí para evitar valores no homogéneos.

- Las probetas planas muy delgadas deben medirse mediante microdureza.

Microdureza Vickers y Knoop.

El principio de operación es el mismo de Vickers y Brinell, sólo que las cargas aplicadas son pequeñas (gf)

Es para materiales embutidos o láminas delgadas, así como para fase en particular o carburos.

Se diferencian en el tipo de indentador que para micro Vickers es una pirámide de base cuadrada y para microdureza Knoop el indentador es una pirámide de base tipo rombo.

2.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Ensayo Rockwell.

Las probetas previamente preparadas hasta lija 600 se colocan en el disco giratorio del durómetro.

Deben cumplir las características de paralelismo.

Dependiendo el tipo de material se elige la escala (indentador – carga).

Se baja el indentador hasta que toque el material.

Se aplica la precarga llevando la aguja pequeña al punto rojo.

Se aplica la carga sobre el material.

Se lee directamente sobre el dial, tomando en consideración la escala (roja para la B y negra para las demás escalas).

Se realizan al menos tres indentaciones.

Se promedia el valor y se reporta en números enteros.

HR(Escala)/ Valor ± 1

Ensayo Brinell

Seleccione la carga que va a utilizar en su ensayo.

Coloque la muestra sobre el disco giratorio del durómetro, gire el disco inferior hasta que enfoque la superficie de la muestra en la pantalla del equipo.

Libere suavemente la palanca ubicada en el lado derecho del equipo, la máquina cambia automáticamente de microscopio de enfoque a indentador.

A partir del momento en que la palanca se detenga espere 15 segundos y retire la carga. En este momento el equipo automáticamente coloca el microscopio.

Se mide en la pantalla del durómetro al menos dos diámetros por huella

Se toman al menos tres huellas

Dependiendo del valor medido se buscan en tablas y se promedian

Ensayo Vickers

Seleccione la carga que va a utilizar en su ensayo.

Coloque la muestra sobre el disco giratorio del durómetro, gire el disco inferior hasta que enfoque la superficie de la muestra en la pantalla del equipo.

Libere suavemente la palanca ubicada en el lado derecho del equipo, la máquina cambia automáticamente de microscopio de enfoque a indentador.

A partir del momento en que la palanca se detenga espere entre 10 y 15 segundos y retire la carga. En este momento el equipo automáticamente coloca el microscopio.

Se mide en la pantalla del durómetro al menos dos diagonales de la huella

Se toman al menos tres huellas

Dependiendo del valor medido se buscan en tablas y se promedian.

Si el material está embutido se toman medidas mediante microdureza, la cual presenta el mismo principio del ensayo Vickers.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Reportar los valores de dureza de diferentes materiales utilizando el ensayo Rockwell, Brinell o Vickers. donde el promedio de los valores de dureza se coloca en tablas

2. Relacionar los ensayos de dureza comparando con las tablas o aplicando la ecuación de cálculo

3. Determinar cuál es más efectivo o conlleva a menor error

2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AVNER, Sydney. Introducción a la Metalurgia Física, 2da. Edición, editorial Mc Graw-Hill, (1979), pp. 27-41.

[2] Ettedgui, Jacqueline, Guía de Dureza, U. S. B., (1990)

3. PRÁCTICA DE ANÁLISIS TÉRMICO: CONSTRUCCIÓN DE UN DIAGRAMA BINARIO

3.1 OBJETIVOS

1. Construir el diagrama de fases binario de una aleación (Plomo-Estaño) que forman un eutéctico, a partir de sus curvas de enfriamiento.

2. Familiarizar al estudiante con los equipos necesarios para la realización de esta practica: Termopar tipo K, tablas de conversión, multímetro, cronómetro.

3. Identificar en las curvas de enfriamiento el inicio y el final de la solidificación de la fase primaria, el inicio y el final de la reacción eutéctica.

4. Diferenciar las curvas de enfriamiento de una aleación y de un elemento puro.

3.2 FUNDAMENTOS TEORICOS

En un diagrama de fases se registran los datos respecto a los cambios de fases de un sistema conformado por dos o más sustancias. "Para especificar por completo el estado de un sistema en equilibrio, es necesario especificar tres variables independientes, mismas que pueden controlarse externamente, a saber: temperatura, presión y composición. Si se supone que la presión permanece constante con un valor atmosférico, el diagrama de equilibrio indicará los cambios estructurales debidos a la variación de temperatura y composición" [1]. El diagrama es, esencialmente, una representación gráfica de un sistema.

"Idealmente, el diagrama de fase deberá mostrar las relaciones entre las fases bajo condiciones de equilibrio, o sea, bajo condiciones en las cuales no habrá cambio con el tiempo. Las condiciones de equilibrio pueden ser aproximadas por medio de calentamiento y enfriamiento extremadamente lentos, de modo que se deje suficiente tiempo si un cambio de fase está por ocurrir.

En la práctica, los cambios de fase tienden a ocurrir a temperaturas ligeramente mayores o ligeramente menores, dependiendo de la rapidez a la que la aleación se calienta o enfría. La rápida variación en la temperatura, que puede impedir cambios de fase que normalmente ocurrirían bajo condiciones de equilibrio, distorsionará y a veces limitará la aplicación de estos diagramas"[1].

Los diagramas de fase, por lo general, se grafican con la temperatura (en grados centígrados o Fahrenheit), como la ordenada y la composición (en porcentaje en peso), como la abscisa.

Métodos experimentales.

Los datos para construir diagramas de fase o de equilibrio se determinan experimentalmente por diversos métodos, entre los cuales los más comunes son:

- Análisis térmico: consiste en calentar varias mezclas de diferentes composiciones, de unas mismas sustancias, a una temperatura lo suficientemente alta para homogeneizarlas, y luego, se dejan enfriar a una rapidez regulada. Con los instrumentos adecuados, se obtienen los datos necesarios para representar gráficamente la temperatura de cada una de las mezclas en función del tiempo. Estas curvas resultantes, llamadas curvas de enfriamiento, mostrarán un cambio de pendiente debido a un cambio de fase a causa de la evolución de calor por el cambio de fase

- Métodos metalográficos: "estos consisten en calentar muestras de una aleación a diferentes temperaturas, esperando que el equilibrio se establezca, y entonces se enfrían rápidamente para retener su estructura de alta temperatura.

Entonces las muestras se analizan al microscopio.

Es difícil aplicar este método sobre metales a altas temperaturas, ya que las muestras enfriadas rápidamente no siempre retienen su microestructura de elevada temperatura, y entonces se requiere gran habilidad para interpretar en forma correcta la microestructura observada. Este método es el más adecuado para verificar un diagrama"

- Difracción de rayos X: "como este método mide las dimensiones de la red, indicará la aparición de una nueva fase, ya sea por el cambio en las dimensiones de la red o por la aparición de una nueva estructura cristalina. Este método es sencillo, preciso y muy útil para determinar los cambios en la solubilidad sólida en relación con la temperatura" [1].

Los diagramas de fases binarios, que representan los cambios de fase de dos sustancias puras, se pueden clasificar en:

Componentes completamente solubles en estado líquido:

- Completamente solubles en estado sólido (tipo I).

- Insolubles en estado sólido: la reacción eutéctica (tipo II).
- Parcialmente solubles en estado sólido: la reacción eutéctica (tipo III).
- Formación de una fase intermedia de fusión congruente.
- La reacción peritéctica

En esta práctica el diagrama de interés es el tipo III, por lo que se ampliará al respecto.

Diagrama tipo III: dos metales completamente solubles en el estado líquido, pero sólo parcialmente solubles en el estado sólido.

"Como la mayoría de los metales muestran alguna solubilidad de uno con otro en el estado sólido, este tipo es el más común y, por tanto, el más importante sistema de aleación"[2]. El diagrama de fase de este tipo se muestra en la figura 12. Los puntos de fusión de los dos metales puros se indican en los puntos T_A y T_B , respectivamente. La línea *liquidus* es T_A E T_B y la línea *solidus* es T_A F E G T_B. Por encima de la línea *liquidus* hay sólo una solución líquida de fase única.

"En las aleaciones en este sistema, los cristales de A puro o de B puro nunca solidifican, sino que siempre solidifican una aleación o una mezcla de soluciones"[1].

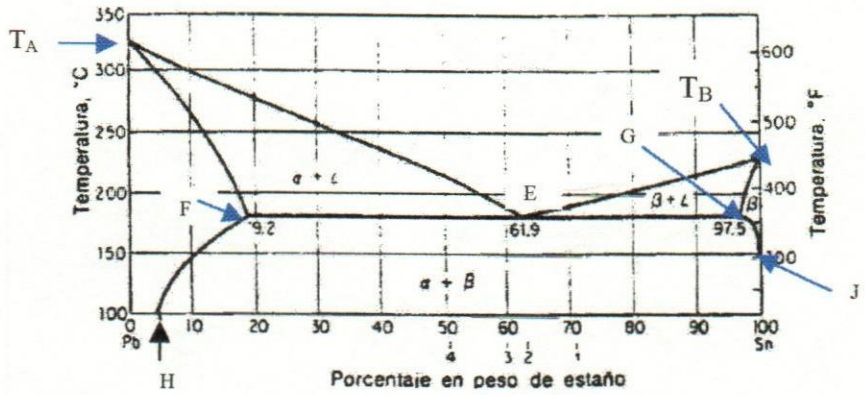


Figura 12. Diagrama de fases en equilibrio plomo-estaño.

En el diagrama Pb –Sn las áreas de fase única se llaman α y β "En T_E , la solución sólida α disuelve un máximo de 20 % de Sn (punto F), y la solución sólida β un máximo de 10 % de Pb (punto G). Con la disminución de la temperatura, la cantidad máxima de soluto que puede disolverse disminuye, como lo indican las líneas FH y GJ, las cuales se llaman *líneas solvus* e indican la solubilidad máxima (solución saturada) de Sn en Pb (solución α) o de Pb en Sn (solución β) como función de la temperatura"[1]. El punto E, donde se interceptan en un mínimo las líneas *liquidus*, se conoce como punto eutéctico.

Aleaciones de solución sólida.

Aleaciones que contienen de 0 a 2 por ciento de Sn; durante la solidificación se forma una solución sólida de una fase α

Aleaciones que exceden el límite de solubilidad.

"Las aleaciones que contienen entre 2 y 19 por ciento de Sn también se solidifican para producir una sola solución sólida α Sin embargo, conforme la aleación se sigue enfriando, ocurre una reacción al estado sólido permitiendo que se precipite una segunda fase sólida β a partir de la fase original α

La fase α es una solución sólida de estaño en plomo. Sin embargo, la solubilidad del estaño en la solución sólida α es limitada. A 0 °C, sólo 2 % de Sn se puede disolver en α Conforme se incrementa la temperatura, se disuelve más estaño en el plomo hasta que a los 183 °C, la solubilidad del estaño en el plomo se ha incrementado a 19 % de Sn. Ésta es la solubilidad máxima del estaño en el plomo. La solubilidad del estaño en el plomo sólido a cualquier temperatura está dada por la línea de solvus.

Cualquier aleación que contenga entre 2 y 19 por ciento de Sn se enfriará más allá del solvus, excediendo el límite de solubilidad y produciendo una pequeña cantidad de fase β "[1].

Aleaciones eutécticas.

"La aleación que contiene 61,9 % de Sn tiene la composición eutéctica. Por encima de los 183 °C la aleación es totalmente líquida y debe contener 61,9 % Sn. Después de que se enfría el líquido hasta 183 °C la reacción eutéctica se inicia

$$L_{61,9\ \%\ Sn} \longrightarrow \alpha_{19\ \%\ Sn} + \beta_{97,5\ \%\ Sn}.$$

Dos soluciones sólidas, α y β , se forman durante la reacción eutéctica. Las composiciones de las dos soluciones sólidas están dadas o representadas por los extremos de la línea eutéctica. Durante la solidificación, el crecimiento del microconstituyente eutéctico requiere tanto de la remoción del calor latente de fusión, como de la redistribución de los dos tipos diferentes de átomos mediante la difusión. Ya que la solidificación ocurre completamente a 183 °C, la curva de enfriamiento es similar a la de un metal puro, esto es, a la temperatura eutéctica se da una estabilización térmica.

En vista de que los átomos se redistribuyen durante la solidificación eutéctica, se desarrolla una microestructura característica. En el sistema plomo-estaño, las fases sólidas α y β crecen del líquido en forma laminar o en placas. La estructura laminar permite que los átomos de plomo y de estaño se muevan a través del líquido, en donde la difusión es rápida, sin que los átomos deban moverse una distancia considerable. Esta estructura laminar es característica de muchos otros sistemas eutécticos.

El producto de la reacción eutéctica es un arreglo único y característico de dos fases sólidas llamado microconstituyente eutéctico. En la aleación Pb-61,9 % Sn, se forma 100 % de microconstituyente eutéctico, ya que la totalidad del líquido se transforma siguiendo la reacción eutéctica"[1].

Aleaciones hipoeutécticas e hipereutécticas.

"Cuando se enfría una aleación que contiene entre 19 y 61,9 por ciento de estaño, el líquido empieza a solidificar a la temperatura de *liquidus*. Sin embargo, la solidificación termina pasando por la reacción eutéctica. Esta secuencia de solidificación ocurre siempre que la línea vertical, correspondiente a la composición original de la aleación, cruza tanto la línea de *liquidus* como la línea eutéctica.

Las aleaciones con composición entre 19 y 61,9 % de Sn se conocen como aleaciones hipoeutécticas, es decir, aleaciones que contienen menos de la cantidad eutéctica de estaño. Una aleación hacia la derecha de la composición eutéctica, entre el 61,9 y 97,5 por ciento es una aleación hipereutéctica.

3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la realización de esta práctica se utilizara muestras de 50 gr c/u de plomo puro, estaño puro y aleaciones de estos dos metales con las siguientes características:

Pb	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Sn
100%	80%Pb-Sn	50% Pb-Sn	38% Pb-Sn	20% Pb-Sn	100%

A continuación se describen los pasos a seguir:

Se coloca cada muestra en un crisol que se identifica según su contenido

Luego, se introducen los crisoles en el horno a una temperatura de 320 °C aproximadamente, hasta que las mezclas alcancen su estado líquido.

Cuando las muestras se funden completamente, se saca un crisol del horno, rápidamente se coloca la termocupla tipo K, inmersa en el seno del baño, se comienza a enfriar a temperatura ambiente, mientras se realiza el registro de temperatura en milivoltios, cada 10 segundos con un multímetro y un cronómetro digital.

Estos datos obtenidos se convierten de milivoltios a grados centígrados mediante una tabla, tomando en consideración el factor de corrección de la temperatura ambiente (25°C) para luego poder obtener las curvas de enfriamiento de cada uno de las muestras en una gráfica de temperatura Vs tiempo.

Una vez graficadas estas curvas de enfriamiento se procede a identificar: los puntos correspondientes a las temperaturas donde se producirán los cambios de pendiente, la temperatura eutéctica, la de fusión del plomo y del estaño; para luego ser utilizados en la construcción de la gráfica de temperatura Vs. composición, que corresponde al diagrama de fases de estas aleaciones.

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Grafico de curvas de enfriamiento.

2. Construcción de un diagrama binario Pb-Sn experimental a partir de los valores obtenidos en las curvas de enfriamiento de cada crisol

3.- Comparación del diagrama obtenido con el teórico encontrado en la bibliografía.

4. Análisis de posibles diferencias y factores que modifican el diagrama.

3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AVNER, Sydney. Introducción a la Metalurgia Física, 2da. Edición, editorial Mc Graw-Hill, (1979), pp. 163 - 188

[2] ASKELAND, Donald, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, tercera edición, Editorial Internacional Thomson, (1998) , pp. 260-265.

4. PRÁCTICA DE IMPACTO: ENSAYO CHARPY

4.1. OBJETIVOS

1. Determinar la temperatura de transición de dos materiales

2. Estudiar los factores que influyen y modifican los valores que permiten determinar la temperatura de transición

4.2 FUNDAMENTOS TEORICOS

El ensayo de impacto se utiliza para evaluar la fragilidad de un material, que consiste en someter el material a un golpe súbito e intenso, en el cual la velocidad de aplicación del esfuerzo es extremadamente grande. Se han diseñado muchos procedimientos, pero hay dos tipos de ensayos que son los que han alcanzado mayor generalidad, el ensayo Charpy (ver figura 13) y el ensayo Izod "Este último generalmente se utiliza para materiales no metálicos. La probeta puede o no tener muesca; la que tiene muesca en V mide mejor la resistencia del material a la propagación de grietas.[1]

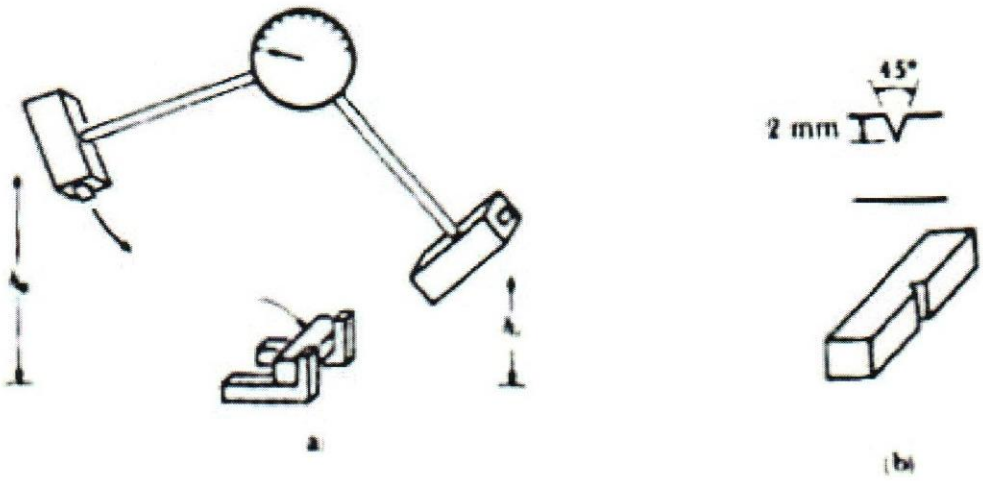


Figura 13. Ensayo de impacto: (a) Ensayo Charpy, y (b) dimensiones de las probetas típicas.

Durante el ensayo, un péndulo pesado, que inicia su movimiento desde una altura h_o, describe un arco y posteriormente golpea y rompe la probeta; llegando a una altura final h_f menor. Si se conocen las alturas inicial y final del péndulo, se puede calcular la diferencia en su energía potencial. Esta diferencia es la *energía de impacto* absorbida durante la falla o ruptura de la probeta"[1].

Ensayo Charpy

"La probeta Charpy es de sección transversal cuadrada y tiene en el centro una entalla; la forma de la entalla y su profundidad puede ser muy variada, aunque actualmente se generaliza el empleo de la forma en V que se prefiere a las formas en U y en ojo de cerradura"[5]. La probeta Charpy se apoya horizontalmente por sus dos extremos, como una viga, y se le aplica una carga originada por el choque del péndulo con la probeta, cuyo impacto se produce a una velocidad del orden de los 5 m/seg, sobre el punto medio de la viga y por el lado opuesto a la entalla. "La probeta es forzada a flexionarse con una velocidad de deformación del orden de 10^3 cm/seg"[5].

Propiedades obtenidas a partir del ensayo de impacto

.- Temperatura de transición: "es la temperatura a la cual un material cambia de un comportamiento dúctil a un comportamiento frágil. Esta temperatura puede definirse como la energía promedio entre las regiones dúctil y frágil, a una energía absorbida específica, o al tener ciertas características en la fractura. Un material sujeto a cargas de impacto durante las condiciones de servicio deberá tener una temperatura de transición por debajo de la temperatura de operación determinada por el ambiente que rodea al material. No todos los materiales tienen una temperatura de transición bien definida. Los metales BCC tienen temperatura de transición, pero la mayoría de los FCC no la tienen. Los metales FCC absorben valores altos de energía durante las pruebas de impacto; esta energía disminuye gradualmente e incluso a veces se incrementa conforme se reduce la temperatura"[1].

"La forma de la curva de transición depende del tipo de ensayo y del material. Así, por ejemplo, los ensayos Charpy con probeta en ojo de cerradura dan una curva de rotura con transición más brusca que con probeta de entalla en V. Los aceros tenaces ensayados con probeta Charpy de entalla en V, suelen dar valores más elevados para la temperatura de transición. La temperatura de transición de un acero determinado varía según la forma de la probeta y el tipo de carga, que dan lugar a distintos estados de tensiones"[1].

.- Sensibilidad a las muescas: Las muescas causadas por un maquinado, fabricación o diseño defectuoso son concentradoras de esfuerzos y reducen la tenacidad de los materiales. La sensibilidad a las muecas de un material puede evaluarse comparando las energías absorbidas por probetas con y sin muecas. Las energías absorbidas son mucho menores en probetas con muesca si dicho material es sensible a éstas.

- Relación con el diagrama esfuerzo-deformación: La energía necesaria para romper un material está relacionada con el área bajo la curva esfuerzo real-deformación real. Aquellos metales con resistencia y ductilidad altas tienen buena tenacidad. Los materiales cerámicos y muchos compuestos, por otra parte, poseen poca tenacidad, a pesar de su alta resistencia, ya que virtualmente no tiene ductilidad" [1].

Como la temperatura de transición no está netamente definida, existen diferentes criterios para determinarla. Ver figura 14. tales como:

- Transición de energía
- Transición de la fractura
- Transición de la ductilidad

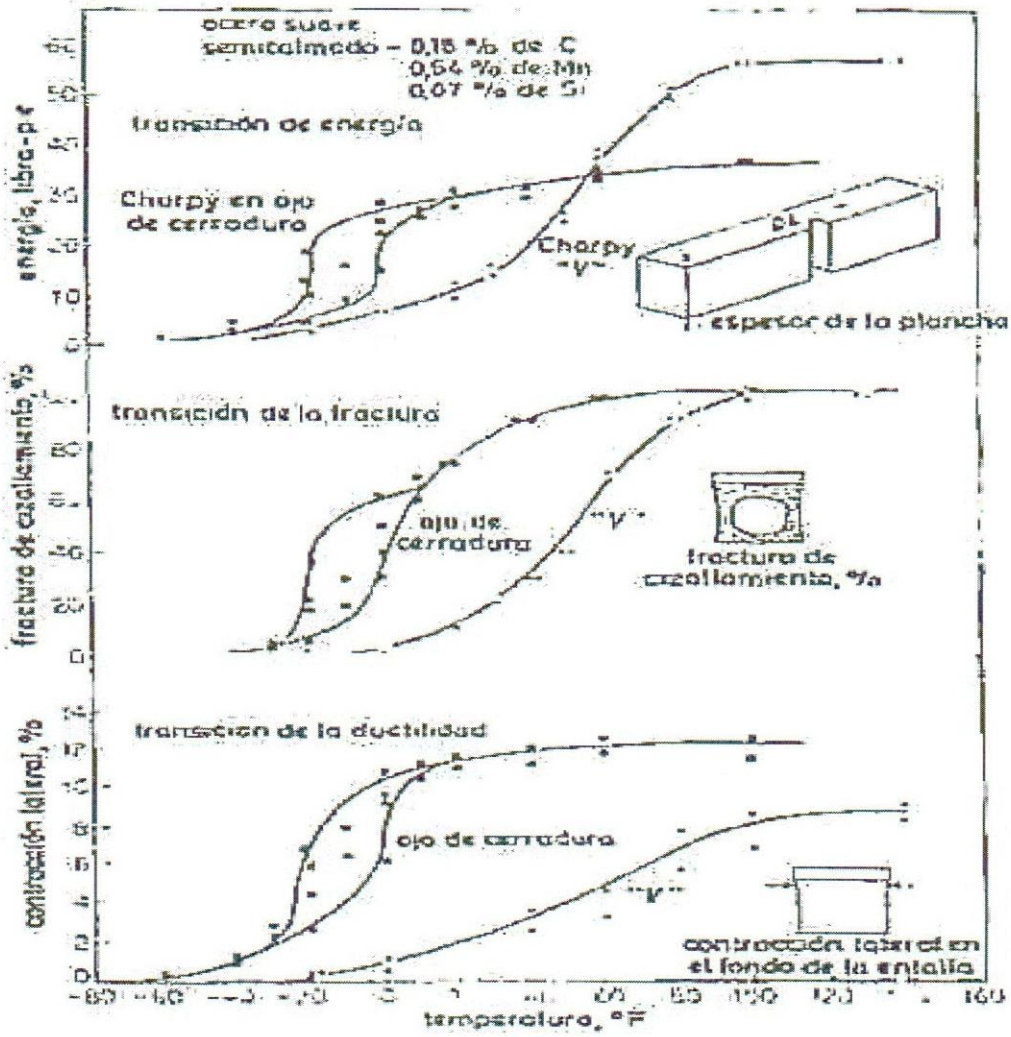


Figura 14. Curvas de aplicación de criterios para determinar temperatura de transición[2]

4.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación se describen los pasos a seguir para la realización de esta práctica:

Medir con el vernier el largo y el ancho de la entalla de cada una de las probetas, así como sus dimensiones., como se observa en la figura 15

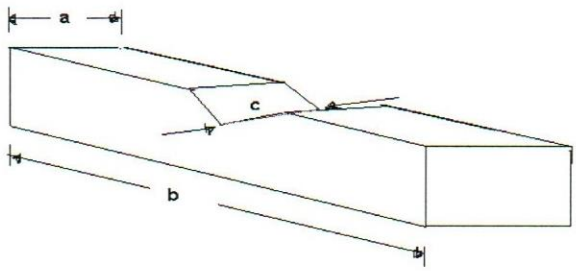


Figura 15. Dimensiones de la probeta de Charpy, donde **a** es el ancho, **b** es el largo de la probeta y **c** es el ancho de entalla

Preparar las probetas de manera que los ensayos de impacto para cada material se realicen a diferentes temperaturas, para ello se utilizarán los siguientes materiales y medios como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3: Materiales y Medio de enfriamiento

Material	Probeta # 1	Probeta # 2	Probeta # 3	Probeta # 4	Probeta # 5	Probeta # 6
Acero 1045	hielo seco y acetona o alcohol etílico	hielo y sal	hielo	temperatura ambiente	agua caliente	aceite caliente
Aluminio 6063	hielo seco y acetona	hielo y sal	hielo	temperatura ambiente	agua caliente	aceite caliente

Dejar cada una de las probetas en su medio por 20 minutos aproximadamente.

Se coloca en cero la máquina.

Se saca una por una del medio, y rápidamente se toma la temperatura del medio para proceder a realizar el ensayo Charpy.

Se colocan las probetas en la máquina de ensayo, observando que quede en el centro de impacto y con la entalla contraria al impacto.

Se libera el péndulo, impactando sobre la muestra.

Luego de finalizar el ensayo, se miden las nuevas dimensiones de ancho y largo de cada una de las probetas y se grafican las curvas :

Energía de impacto Vs. Temperatura y % de Reducción de área Vs. Temperatura. Para la última curva es necesario calcular el % de reducción de área, utilizando las medidas de ancho y largo iniciales y finales (después del ensayo), de cada una de las probetas.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Gráfica de energía de impacto Vs. temperatura

2. Gráfica de % de estricción en la entalla Vs. temperatura

3. Gráfica de % de área dúctil Vs. Temperatura.

4. Determinar la temperatura de transición mediante las tres gráficas obtenidas.

5. Observaciones del tipo de fractura y características de acuerdo al material

Se debe discutir acerca de la temperatura de transición, forma de determinarla y variaciones posibles

Tipo de material y temperatura de transición

4.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASKELAND, Donald, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera edición, Editorial International Thomson , (1998), pp. 143- 145, 260-265.

[2] DIETER, George, Metalurgia Mecánica , Editorial Aguilar S.A., (1967), pp. 397-399

5. PRÁCTICA DE TRACCIÓN

5.1 OBJETIVOS

1.- Someter la probeta a una fuerza de tracción monoaxial

2. Construir una curva de tensiones-deformaciones ingenieril.

3. Determinar a partir de la curva:

Los esfuerzos y deformaciones ingenieriles, resistencia máxima o de tracción, límite de fluencia, elongación, % de reducción de área, resiliencia, tenacidad, ductilidad.

4. Utilizar las normas Covenin para ensayos de tracción.

5.2 FUNDAMENTOS TEORICOS

Curva tensiones-deformaciones ingenieril.

El ensayo de tracción ingenieril se emplea ampliamente para obtener una información básica sobre la resistencia mecánica de los materiales y como ensayo de recepción para la especificación de los mismos. [1]

Este ensayo es uno de los más prácticos y comunes que se usan frecuentemente para determinar ciertas propiedades mecánicas de los materiales tales como la resistencia, el módulo elástico, ductilidad, tenacidad, etc.

El ensayo de tensión o de tracción mide la resistencia de un material a la aplicación gradual de una fuerza tensora. Un dispositivo de prueba se muestra en la figura 16, una probeta típica tiene un diámetro de 0.505 pulgadas y una longitud de calibración de 2 pulgadas. La probeta se fija en la máquina de ensayo de materiales y se le aplica una fuerza F llamada carga. [1].

En el ensayo de tracción se somete la probeta a una fuerza de tracción monoaxial, que va aumentando de forma progresiva, y se va midiendo simultáneamente los correspondientes alargamientos. Con los datos de carga y alargamiento se construye una curva de tensiones-deformaciones ingenieril tal como se muestra en la figura 17, es decir, los resultados de un ensayo de tensión se representan en gráficos obtenidos a partir directamente de la máquina universal de ensayos, la cual mide la carga aplicada vs el desplazamiento de la longitud de la probeta. A partir de esta curva se construyen las curvas ingenieriles y las reales que grafican el esfuerzo en función de la deformación ingenieril o real respectivamente, Ver figura 18. [1]

Los resultados de un ensayo simple pueden aplicarse a todos los tamaños y formas de la probeta para un material dado si se transforma la fuerza a esfuerzo, y la distancia entre las marcas de calibración a deformación.

La tensión utilizada en la curva de tensiones-deformaciones es la tensión media

longitudinal producida en la probeta de tracción. Se obtiene dividiendo la carga por el área de la sección transversal inicial de la probeta: [1]

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \qquad (7)$$

Donde:

σ es el esfuerzo
P es la carga aplicada
A_o es el área transversal inicial de la probeta

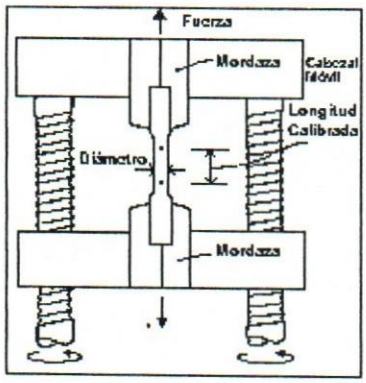


Figura 16: Dispositivo para el Ensayo

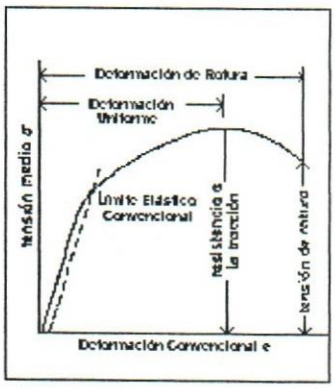


Figura 17: Curva de Tracción (Tensión-Deformación) Ingenieril

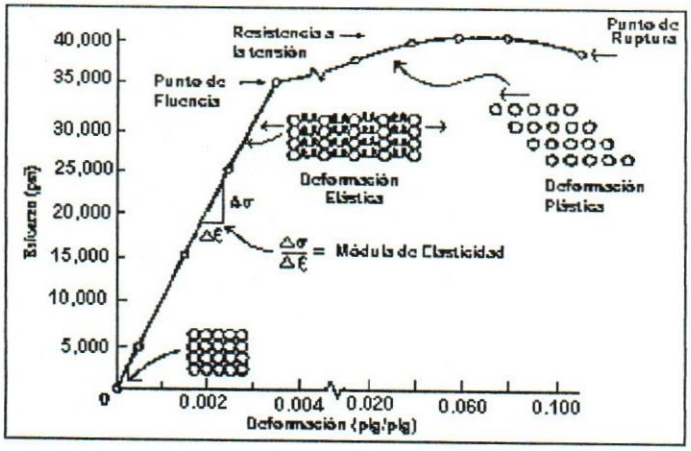


Figura 18: Curva de Esfuerzo-Deformación.

La deformación utilizada en la curva de tensiones-deformaciones es la deformación lineal *media*, obtenida al dividir el alargamiento de la distancia entre puntos de la probeta por su longitud original: [1]

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_o} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_o}{L_o} \qquad (8)$$

Donde:

ε es la deformación lineal media.
ΔL es la elongación.
L es la longitud inicial de la probeta.

La deformación indica que tanto se deforma cada unidad de longitud del metal para cierto esfuerzo aplicado. Si la probeta metálica tiene una longitud de 10 pulgadas se multiplica la deformación unitaria por diez para determinar el valor total de la variación de la longitud de la pieza, suponiendo que se deforme uniformemente. [1]

Puesto que la tensión y deformación se obtienen dividiendo la carga y el alargamiento por factores constantes, la curva carga-alargamiento tendrá la misma forma que la curva de tensiones-deformaciones. Las dos curvas se usan con frecuencia indistintamente. [1]

Las unidades comunes para el esfuerzo son la libra fuerza entre pulgadas cuadradas (Psi) y el Mega pascal (MPa). Las unidades para la deformación pueden ser plg/plg , cm/cm o bien mm/mm.

La forma y las magnitudes de la curva de tensiones-deformaciones de un metal dependerá de composición, tratamiento térmico, historia anterior de deformación plástica, velocidad de deformación, temperatura y estado de tensión creado durante el ensayo. Los parámetros utilizados para describir la curva de tensiones-deformaciones de un metal son la resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia o límite de proporcionalidad, el alargamiento por ciento y la estricción. Los dos primeros son parámetros de resistencia mecánica, los dos últimos informan sobre la ductilidad. [1]

Propiedades mecánicas:

- Resistencia a la tracción:

La resistencia a la tracción es el esfuerzo resultante de la mayor fuerza aplicada, y por ello es el esfuerzo máximo que ocurre en la curva de esfuerzo - deformación (ingenieril). En muchos materiales dúctiles la deformación no permanece uniforme. En un cierto punto una región se deforma más que otra y ocurre una reducción en la sección transversal, ver figura 19. Esta región localmente deformada se denomina estricción. Debido a que el área de la sección transversal se reduce en este punto, se requiere de una fuerza menor para continuar la deformación, y decrecerá el esfuerzo calculado a partir del área original A_o. La resistencia a la tracción es el esfuerzo en que se inicia la estricción. La resistencia a la tracción es relativamente menos importante para la selección de los materiales o para su fabricación que la resistencia a la fluencia, la cual determina si el metal se deformará o no y por ello es más importante.[2]

La resistencia a la tracción es el cociente obtenido al dividir la carga máxima por la sección transversal inicial de la probeta: [2]

$$\sigma_\mu = \frac{P_{max}}{A_o} \qquad (9)$$

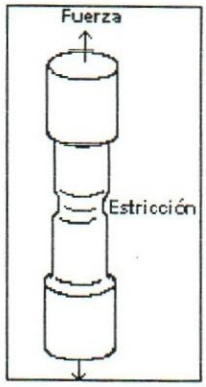


Figura 19. Deformación localizada de un metal dúctil durante un Ensayo de Tensión que produce estricción

La resistencia a la tracción es el valor citado con más frecuencia en los resultados de un ensayo de tracción. La resistencia a la tracción debe ser considerada, en los metales dúctiles, como una medida de la carga máxima que puede soportar un metal bajo las muy restrictivas condiciones de carga monoaxial. Anteriormente la resistencia mecánica de las piezas se determinaba a partir de la resistencia mecánica a la tracción, convenientemente reducida por un factor de seguridad.

La tendencia actual se orienta hacia un intento más racional de fundamentar el diseño estático de los metales dúctiles con el límite elástico. Sin embargo, al utilizar la resistencia a la tracción para determinar la resistencia mecánica de los materiales, se ha convertido en una propiedad muy familiar y, como tal, es una forma muy útil de identificación de un material, del mismo modo que la composición química sirve para identificar un metal o aleación. Además como la resistencia mecánica a la tracción es fácil de determinar, y es una propiedad muy reproducible, es útil para especificaciones y para el control de calidad de un producto. La resistencia a la tracción es un criterio válido para realizar un diseño en el caso de materiales frágiles. [2]

- Límite Elástico ingenieril:

En algunos materiales el esfuerzo al cual cambian de comportamiento elástico al comportamiento plástico no se detecta con facilidad. En este caso se determina un esfuerzo de fluencia ingenieril /a partir de la gráfica de esfuerzo-deformación. Se

establece una deformación permanente tal como 0.2%, o bien 0.002 plg/plg, como lo permisible sin alterar el comportamiento del componente. Se traza una recta paralela a la porción inicial de la curva esfuerzo-deformación, desplazada 0.002 plg/plg respecto del origen. El esfuerzo de fluencia para la deformación permanente de 0.2% es aquel donde la recta de desplazamiento corta a la curva esfuerzo-deformación. Ver Figura 20

En otras palabras se puede decir que el límite elástico ingenieril es la carga correspondiente a una pequeña deformación plástica especificada, dividida por el área de la sección transversal inicial de la probeta:

$$\sigma_o = \frac{P_{e=0,002}}{A_o} \qquad (10)$$

A causa de las dificultades prácticas que existen para determinar el verdadero límite elástico, la resistencia a la fluencia y el límite de proporcionalidad son los parámetros preferidos en ingeniería para expresar el comienzo de la deformación plástica. Una importante característica del límite elástico ingenieril es que el valor determinado por el ensayo de tracción puede utilizarse para predecir las condiciones de fluencia estática, bajo otras condiciones de tensión más compleja, por medio del criterio de fluencia de la energía de distorsión

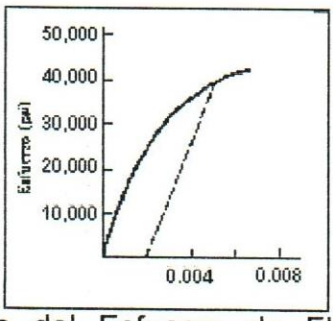


Figura 20. Determinación del Esfuerzo de Fluencia Ingenieril con deformación permanente del 0.2%.

- Doble Punto de Fluencia:

La curva esfuerzo-deformación para algunos aceros de bajo carbono presenta dos puntos de fluencia como se observa en la figura 21.

Se espera que el material se deforme plásticamente en el esfuerzo σ_1. Sin embargo, los átomos intersticiales agrupados alrededor de las dislocaciones interfieren con el deslizamiento y elevan el punto de fluencia a σ_2. Sólo después de aplicar el esfuerzo mayor σ_2 se desliza la dislocación. Una vez iniciado el deslizamiento en σ_2, la dislocación se aparta de la agrupación de los átomos pequeños y continúa alejándose rápidamente a un esfuerzo menor σ_1. Se determina fácilmente el punto de fluencia inferior σ_1 en metales que tienen este tipo de comportamiento.[1]

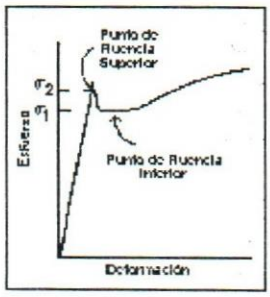


Figura 21. Comportamiento de Esfuerzo-Deformación de un metal con dos puntos de Fluencia.

- Ductilidad:

La ductilidad mide el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse. Existen dos procedimientos para describir la ductilidad. Primero, se podría medir la distancia entre las marcas hechas en la probeta antes y después del ensayo. El porcentaje de elongación expresa la distancia que se estira la probeta antes de la ruptura. El segundo consiste en medir el cambio porcentual de área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después del ensayo.

El porcentaje de reducción de área describe la disminución del área transversal que experimenta la probeta durante la prueba de ruptura.

- Porcentaje de elongación (%):

Es la relación entre el aumento de la longitud de la distancia entre puntos de la probeta y su longitud original, expresada en tanto por ciento:

$$\%elongación = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \qquad (11)$$

Donde:

L_f =distancia entre puntos al producirse la fractura;
L_o =distancia entre puntos originales;

El numerador de la ecuación (11) es, sencillamente, la elongación total medio de la distancia entre puntos de la probeta. Este valor está afectado por la deformación durante la estricción, por lo que el valor del % de alargamiento depende, en cierto modo, de la distancia entre puntos. El alargamiento de la probeta es uniforme a lo largo de la distancia entre puntos, hasta el momento de carga máxima. Rebasado este punto comienza la estricción y la deformación deja de ser uniforme.

La deformación uniforme es más importante que la deformación total al producirse la fractura y tiene también más valor práctico en la predicción de la conformabilidad de las chapas metálicas. Sin embargo, el alargamiento uniforme no se determina corrientemente en un ensayo de tracción rutinario, por lo cual, a menos que se indique específicamente, por "alargamiento" se entiende usualmente el % de alargamiento de rotura. Este se determina uniendo los dos trozos de la probeta de tracción rota y midiendo la variación sufrida por la distancia entre los puntos. Esta distancia es un dato que debe acompañarse siempre al expresar los valores del % de alargamiento.

- Estricción (de rotura):

El % de estricción es la relación existente entre la disminución del área de la sección transversal de la probeta de tracción después de la fractura y la superficie original, expresados en tantos por ciento:

$$\text{Disminución del área} = q = \frac{A_o - A_f}{A_o} \qquad (12)$$

- Módulo de Elasticidad:

La pendiente de la parte lineal inicial de la curva tensión-deformación es el módulo de elasticidad o módulo de Young. El módulo de Young es una medida de la rigidez del material. Cuanto mayor sea el módulo, más pequeña será la deformación elástica resultante de la aplicación de una tensión dada. Puesto que para calcular la tensión de vigas y otras piezas es necesario conocer el módulo de elasticidad, es un importante valor a tener en cuenta al realizar un proyecto. [1]

El módulo de elasticidad está determinado por las fuerzas de enlace entre los átomos. Las fuerzas de unión y, en consecuencia, el módulo de elasticidad son mayores para los metales de alto punto de fusión. La cantidad anterior es una medida de la rigidez del material. Un material rígido con un módulo de elasticidad alto mantiene su forma y su tamaño al ser sometido a una carga elástica. [1] Puesto que estas fuerzas no pueden alterarse sin cambiar la naturaleza básica del material, se deduce que el módulo de elasticidad es una de las propiedades mecánicas más insensibles a la estructura. Sólo le afectan ligeramente las adiciones de aleantes, el tratamiento térmico . Sin embargo, aumentando la temperatura se produce una disminución del módulo de elasticidad. [1]

- Resiliencia Elástica:

La capacidad de un material para absorber energía cuando es deformado

elásticamente y liberarla cuando se elimina la carga, se llama resiliencia y se mide como el área bajo la curva en la zona elástica.

- Tenacidad:

La tenacidad en un material es su capacidad para absorber energía en el campo plástico. La capacidad de resistir tensiones ocasionales superiores al límite elástico, sin que se produzca fractura, es de gran valor en piezas tales como acoplamientos para vagones, engranajes, cadena y ganchos de grúas. La tenacidad es un concepto comúnmente utilizado, pero difícil de medir y definir. Una forma de concretar el concepto de tenacidad es considerar el área total que queda bajo la curva de tensión-deformación. Esta superficie es indicación del trabajo total, por unidad de volumen, que se pueda realizar sobre el material sin que se produzca su rotura. [1]

Fractura Dúctil:

La fractura dúctil ha sido definida como la fractura que ocurre con una apreciable deformación plástica. [1] Otra característica importante de la fractura dúctil es que ocurre por una cedencia lenta del metal con un gasto considerable de energía.

Muchas variedades de fracturas dúctiles pueden ocurrir durante el procesamiento de metales y su uso en diferentes tipos de servicio.

La fractura dúctil es precedida usualmente por una reducción localizada en el diámetro lo que se conoce como: "formación de cuello". Muchos metales dúctiles pueden estirarse en una línea o un punto antes de la separación. [1] Este tipo de fractura es llamado usualmente rotura.

Los pasos en el desarrollo de una fractura dúctil del tipo copa-cono se ilustra en la fig. 22. La formación de cuello se inicia en el punto de inestabilidad plástica, donde el incremento en el esfuerzo, debido al efecto de endurecimiento por deformación es superado por la disminución en el área de la sección transversal. Esto ocurre a la máxima carga o cuando el esfuerzo real es igual al coeficiente de endurecimiento por

deformación. [1]

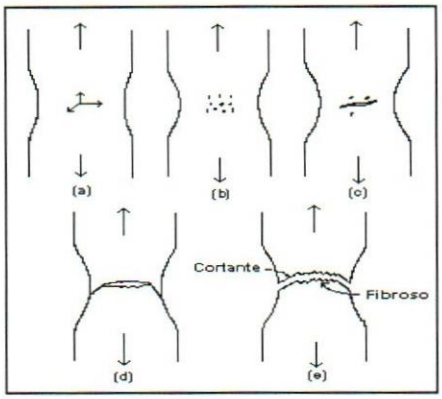


Figura 22. Fractura tipo Copa-Cono (Dúctil)

La formación de cuello introduce un estado triaxial de esfuerzos en la región. Un componente hidrostático de tensión actúa a lo largo del eje de la muestra en el centro del cuello [1], muchas pequeñas cavidades se forman en esta región y bajo una deformación continua estas crecen y coalescen en una grieta central. Esta grieta crece en dirección perpendicular al eje de la probeta hasta que alcanza la superficie de la misma. Se propaga entonces a lo largo de planos cristalográficos preferenciales orientados 45° con respecto al eje que forma la parte del cono de la fractura.[2]

De todo esto puede decirse que el crecimiento de las grietas de la fractura dúctil ocurre por coalescencia de las pequeñas cavidades. La coalescencia ocurre por la elongación de las cavidades y de los puentes de material entre las cavidades, lo que origina la formación de una superficie de fractura que consiste en cavidades elongadas como resultado de la separación de numerosos huecos que antes de la fractura han estado separados por paredes delgadas de material. [1]

Tipos de curvas tensión – deformación:

A continuación se presentan las curvas típicas obtenidas en un ensayo de tracción dependiendo del material de la probeta [2].

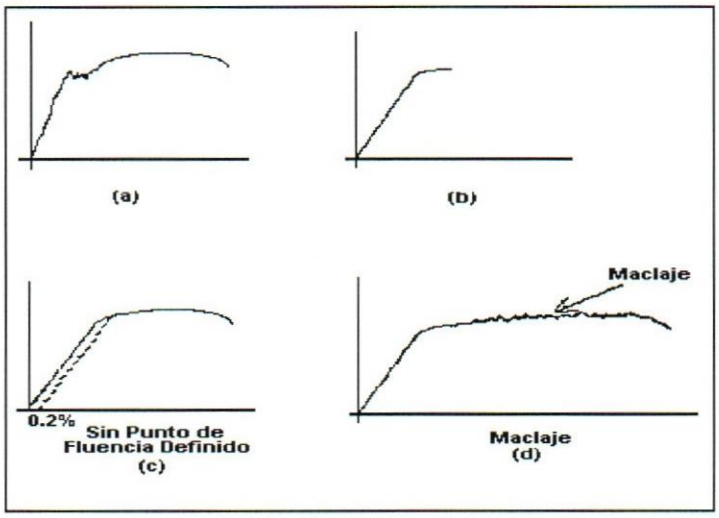


Figura 23. Curvas típicas obtenidas en un ensayo de tracción (a) Acero al carbono recocido, (b) acero al carbono enfriado violentamente desde 900°C, (c) aluminio y (d) latón

5.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación, los pasos a seguir para la realización de esta práctica:

Se realizan medidas iniciales de las probetas: espesor, longitud y ancho, con la ayuda de un Vernier.

Se hacen marcas a cada probeta, con un punzón o una tiza de metales, justo en los puntos en donde las probetas tienen un cambio en el ancho, teniendo en consideración no entallarla para evitar concentración de esfuerzos, como se muestra en la figura 24.

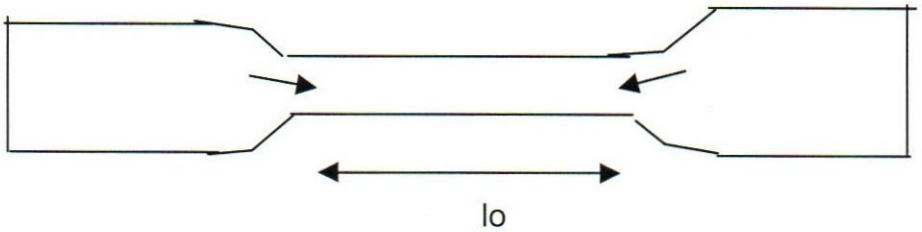


Figura 24. Marcas de la longitud calibrada.

Se somete las probetas (una por una) a una fuerza axial de tracción, que se va incrementando poco a poco hasta que ocurra la fractura de la probeta.

Posteriormente, se toman nuevamente las medidas finales de área y longitud de las probetas.

Con las gráficas obtenidas (carga – velocidad de papel), se realizan las conversiones respectivas para obtener la magnificación M y de esta manera construir las gráficas esfuerzo – deformación:

M = Velocidad del cabezal/ velocidad del papel

Con este valor, se calcula la deformación, dividiéndolo entre cada región de la curva elegida por el operador.

5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Construcción de la gráfica (esfuerzo) σ Vs. ε (deformación = $\frac{\Delta l}{l_o}$) para cada una de las probetas, sabiendo que $\sigma = \frac{P(c\arg a)}{A_o}$, con la ayuda de las gráficas de fuerza Vs cambio de longitud, suministradas en el laboratorio.

2. Determinación de los valores de fluencia. Estos se obtienen gráficamente de la siguiente forma:

.- Para el aluminio: se traza una recta con la misma pendiente de la curva de la zona elástica, en el gráfico de σ Vs. ε, que cortará en 0,2% de la deformación total, y en el punto en donde corta con la curva es el esfuerzo de fluencia.

.- Para el acero: se obtiene directamente de la gráfica esfuerzo Vs. deformación, el cual es el punto en donde cambia la pendiente de la curva.

3. Obtener para cada material los esfuerzos máximos, leyéndolos directamente de la gráfica de σ Vs. ε. Hallar los esfuerzos de rotura para cada probeta, buscándolos igualmente en los gráficos.

5.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Dieter, George, Metalurgia Mecánica , Editorial Aguilar S.A., (1967), pp. 253-258, 397-399,

[2] Guía de Laboratorio de Materiales y Manufactura, U.S.B., 1992, Pág. 13

6. PRÁCTICA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

6.1 OBJETIVOS

1. Observar y comparar los cambios en las microestructuras del acero de medio carbono, que se producen después de un tratamiento térmico, con respecto a una probeta control, a la que no se le realizó ningún tratamiento térmico.

2. Relacionar la microestructura obtenida con las variaciones en la dureza de acuerdo al tratamiento térmico

6.2 FUNDAMENTOS TEORICOS

El acero es una aleación ferrosa que contienen menos del 2 % de carbono y se basa en aleaciones de hierro y carbono. Este se produce de dos formas: refinando el mineral de hierro o reciclando chatarra de acero.

"Para la producción de acero primario, el mineral de hierro (óxido de hierro) se calienta en un alto horno en presencia de coque (carbono) y oxígeno. El carbono reduce el óxido de hierro a hierro en bruto líquido, produciendo monóxido de carbono y bióxido de carbono como subproductos. La piedra caliza, agregada para ayudar a eliminar impurezas, se funde produciendo escoria líquida. Dado que el hierro bruto líquido contiene cantidades muy grandes de carbono, se sopla oxígeno en el horno de oxigenación o de aceración básico para eliminar carbono excedente y producir acero líquido.

También se produce acero reciclando la chatarra del mismo metal. A menudo ésta se introduce en un horno eléctrico de arco, en el cual el calor la funde.

El acero líquido a veces se vacía directamente en moldes para producir fundiciones de acero terminadas; también se le permite solidificar en formas que posteriormente son procesadas por técnicas de conformado de metales como es el laminado o el forjado. En este último caso, el acero es vaciado en grandes lingoteras o se funde de manera continua en formas regulares" [1].

El acero se subdivide de acuerdo al contenido de carbono. Los aceros que contienen menos de 0,8 % de C se llaman aceros hipoeutectoides, en tanto que los que contienen de 0,8 a 2 % de C se llaman aceros hipereutectoides.

En las aleaciones hipoeutectoides el microconstituyente primario o proeutectoide es la ferrita, y en las aleaciones hipereutectoides la cementita (Fe_3C) es el microconstituyente primario o proeutectoide.

Clasificación del acero. Para clasificar el acero se puede utilizar varios métodos:[1]

- Método de manufactura: este da lugar al acero bessemer, de hogar abierto, de horno abierto, de horno eléctrico, de crisol, etc.

- Uso: generalmente se refiere al uso final que se le dará al acero, como acero para máquinas, para resortes, para calderas, estructural o acero para herramientas.

- Composición química: Este método indica, por medio de un sistema numérico, el contenido aproximado de los elementos importantes en el acero. Las especificaciones para los aceros representan los resultados del esfuerzo conjunto de la American Iron and Steel Institute (AISI) y de la Society of Automotive Engineers (SAE) en un programa de simplificación destinado a lograr mayor eficiencia para satisfacer las necesidades de acero de la industria de los Estados Unidos.

El primero de los cuatro o cinco dígitos de la designación numérica indica el tipo a que pertenece el acero. De este modo, 1 indica un acero al carbono; 2 un acero al níquel, 3 un acero al níquel-cromo, etc. En el caso de acero de aleación simple, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante en la aleación. Los dos o tres últimos dígitos generalmente indican el contenido de carbono medio dividido entre 100. Así, el símbolo 2520 indica un acero al níquel de aproximadamente 5 % de níquel y 0,20 % de carbono

Aceros al carbono [1]

Un acero por lo general tiene entre el 0.05 y 2% de peso en carbono.

Estos aceros pueden subdividirse según su composición y características en otros aceros:

- Aceros aleados: son aquellos cuyas propiedades y características específicas dependen de los elementos diferentes al carbono.

- Aceros al bajo carbono: Poseen un porcentaje en peso de carbono que oscila entre (0.10 a 0.25%).

- Aceros al medio carbono: Poseen un rango de porcentaje de carbono (0.25 hasta 0.55%).

- Aceros al alto carbono: Poseen valores superiores al 0.55% de carbono.

Aceros de bajo carbono y de baja aleación:

"Por lo general la mayor parte de las aleaciones ferrosas se pueden ubicar dentro de esta categoría". [1]

"Este es el acero más económico, este hecho obedece a que no se necesitan grandes cantidades de elementos aleantes". [1]

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

"La definición de tratamiento térmico dada en el Metals Handbook es: "Una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados y aplicadas a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que proporcionará las propiedades deseadas." [1] Para realizar un tratamiento térmico, se debe homogeneizar el material. En el caso de los aceros la zona homogénea se llama austenita. Después hay que esperar cierto tiempo para que la austenita se estabilice; el tiempo de enfriamiento es lo que va a hacer la diferencia entre cada uno de los tratamientos térmicos.

Los tratamientos térmicos se deben realizar llevando primero al material a una zona homogénea. En al caso de los aceros, esa zona se llama austenita y se consigue

calentando el material hasta una temperatura un poco mayor de 800 °C, que es la temperatura de austenización. La austenita es una solución sólida de átomos intersticiales de carbono en hierro. Lo que diferencia un tratamiento térmico de otro es la velocidad de enfriamiento, para ello se cambian los medios de enfriamiento.

TEMPLE

Consiste en calentar una muestra de acero hasta una temperatura que este por arriba de la línea de temperatura crítica superior (diagrama de equilibrio hierro - carburo de hierro) para obtener austenita, y luego enfriar bruscamente.

Bajo velocidades de enfriamiento lentas o moderadas, los átomos de carbono pueden difundirse hacia fuera de la estructura de austenita (FCC), pero, con un aumento adicional en la rapidez de enfriamiento, no hay tiempo suficiente para que el carbono se difunda de la solución, quedando éste atrapado. "La estructura resultante, llamada martensita, es una solución sólida sobresaturada de carbono atrapado en una estructura tetragonal centrada en el cuerpo. Dos dimensiones de la celda unitaria son iguales, pero la tercera está ligeramente extendida debido al carbono atrapado. La razón axial c/a aumenta con el contenido de carbono a un máximo de 1,08. Esta estructura reticular altamente distorsionada es la principal razón para la alta dureza de la martensita"[1].

"Después de un enfriamiento drástico, la martensita aparece microscópicamente como una estructura blanca acicular o tipo aguja, descrita algunas veces como un haz de pajitas. En la mayoría de los aceros, la estructura martensítica aparece vaga e indeterminable"[1].

Hay diversas características importantes de la transformación martensítica:

1.- La transformación es sin difusión y no hay cambio en la composición química. Pequeños volúmenes de austenita cambian repentinamente la estructura cristalina por una combinación de dos acciones de corte.

2.- La transformación se verifica sólo durante el enfriamiento y cesa si este se interrumpe; por tanto, la transformación depende sólo de la disminución en temperatura y es independiente del tiempo. Una transformación de este tipo se llama atérmica, en contraste con la que ocurrirá a temperatura constante (transformación isotérmica). La cantidad de martensita formada con la disminución de temperatura es no lineal. El número de agujas de martensita producidas al principio es pequeño, después aumenta y finalmente disminuye.

La temperatura del inicio de formación de la martensita se conoce como temperatura M_S y la del final de formación de la martensita como temperatura M_F. Si el acero se mantiene a cualquier temperatura por debajo de M_S, la transformación a martensita se detendrá y no avanzará nuevamente, a menos que la temperatura disminuya.

3.- La transformación de martensita de una aleación dada no puede eliminarse, ni la temperatura M_S modificarse al cambiar la rapidez de enfriamiento. El intervalo de temperatura de la formación de martensita es característico de una aleación dada y no puede disminuirse al aumentar la rapidez de enfriamiento"[1]. La temperatura M_S parece ser sólo una función de composición química. "En teoría, la transformación de austenita a martensita nunca es completa, y pequeñas cantidades de austenita retenida se conservarán aún a bajas temperaturas. La transformación de las últimas trazas de austenita se hace cada vez más difícil conforme disminuye la cantidad de carburo"[1].

4.- "La martensita probablemente nunca esté en condiciones de equilibrio real, aunque puede persistir de modo indefinido en o cerca de la temperatura ambiente. La estructura puede considerarse como una transición entre la fase inestable de austenita y la condición final de equilibrio de una mezcla de ferrita y cementita.

5.- La propiedad más significativa de la martensita es su potencial de dureza muy grande. Aunque la martensita es siempre más dura que la austenita de la cual se forma, sólo son posibles durezas extremas en aceros que contienen suficiente carbono"[1]. "Se cree que la alta dureza de la martensita es resultado de las severas distorsiones reticulares producidas por su formación, ya que la cantidad de carbono presente suele

ser mayor que la que se puede mantener en solución sólida. Parece que la máxima dureza obtenible de un acero en la condición martensítica es sólo una función del contenido de carbono"[1].

Con el enfriamiento brusco, desde la región de la austenita estable, lo que se quiere es evitar la formación de perlita, bainita o microconstituyentes primarios. El medio de temple ideal mostraría una alta rapidez de enfriamiento inicial para evitar la transformación en la región de la nariz del diagrama T-I y luego una lenta rapidez de enfriamiento para todo el intervalo inferior de temperatura a fin de minimizar la distorsión. "Desafortunadamente, no hay un medio de temple que muestre éstas propiedades ideales"[1]. El agua y las soluciones acuosas de sales inorgánicas tienen altas velocidades de enfriamiento inicial, pero dichas velocidades persisten a bajas temperaturas, donde la distorsión y el agrietamiento tienden a ocurrir.

Los siguientes medios de temple industriales se enumeran en orden de disminución de la severidad de temple:

1.- Solución acuosa del 10 % de cloruro de sodio (salmuera)
2.- Agua del grifo
3.- Sales fundidas o líquidas
4.- Aceite soluble y soluciones acuosas
5.- Aceite
6.- Aire.

La rapidez de enfriamiento puede mejorarse y la temperatura del medio mantenerse constante por circulación del medio y agitación de la pieza.

REVENIDO

Es un tratamiento secundario que se realiza después del temple para corregir el problema de la fragilidad elevada que tiene la martensita creada a través del temple. " La formación de martensita origina grandes tensiones residuales en el acero; por lo

tanto, el endurecimiento casi siempre sigue de un tratamiento de revenido, el cual consiste en calentar a alguna temperatura menor que la inferior crítica. El propósito del revenido es liberar los esfuerzos residuales y mejorar la ductilidad y tenacidad del acero. Este aumento en ductilidad generalmente se obtiene a costa de la dureza o de la resistencia." [1]

RECOCIDO

El proceso de tratamiento térmico en dos etapas, templado y revenido está diseñado para producir aceros de alta resistencia capaces de soportar choque y deformación sin romperse. Por otra parte, con el recocido se intenta hacer el acero más fácil de maquinar y deformar.

Recocido de proceso: El recocido consiste en calentar el acero a una temperatura por debajo de A1 por un corto tiempo a temperaturas entre 1020 y 1200ºF

Recocido completo: Se efectúa calentando el acero por encima de A3 (para los hipoeutectoides) y de A1 (para los hipereutectoides) seguido de un enfriamiento lento para hacer el acero más fácil de cortar y doblar., el enfriamiento lento debe ser tal de permitir la formación de perlita gruesa.

NORMALIZADO

El proceso de normalización consiste en calentar el acero por encima de A3, permitiendo a la pieza enfriar al aire. La temperatura adecuada depende del acero, pero usualmente es alrededor de 1600ºF, permitiendo el refinamiento del grano.

CEMENTACIÓN

"La mayor parte de las piezas que componen las máquinas y motores, se fabrican de forma que sus propiedades mecánicas sean bastantes uniformes en toda la masa. Sin embargo, en ciertos mecanismos es necesario que algunas piezas tengan superficies muy duras, resistentes al desgaste y a la penetración, y el núcleo central

muy tenaz, para poder soportar los choques a que están sometidas. Los procedimientos mas usados en la actualidad para conseguir estas características, gran dureza y mucha tenacidad, al parecer opuestas entre sí, son los siguientes: la cementación, la cianuración, la nitruración, la sulfinización, la carbonitruración, el temple local, el depósito por soldadura de delgadas capas superficiales de aceros de elevado contenido en carbono y el cromado duro.

La cementación, que es el más antiguo de todos estos procedimientos de endurecimiento superficial, consiste en aumentar el contenido en carbono en la superficie de las piezas de acero, rodeándolas con un medio carburante, y manteniendo todo el conjunto, durante un cierto tiempo a elevada temperatura. Luego se templan las piezas y quedan con gran dureza superficial.

Se pueden emplear cementantes sólidos, líquidos y gaseosos, oscilando la duración de la cementación de 6 a 10 horas cuando se utilizan cementantes sólidos, de 1 a 6 horas cuando se trata de sales o cementantes líquidos y de 1 hora a varios días utilizando cementantes gaseosos.

Se emplean aceros aleados y sin aleación, de bajo contenido en carbono, generalmente de 0,08 a 0,25% de C y excepcionalmente algunas veces se cementan también aceros hasta 0,40% de C.

La operación se realiza generalmente a temperaturas comprendidas entre 850°C y 1000°C, siendo las temperaturas próximas a 900° las más utilizadas.

En el proceso de cementación se pueden distinguir 2 etapas distintas: 1. Absorción del carbono por el acero, y 2. Mejoramiento de características por medio de tratamientos térmicos adecuados.

La cantidad y distribución del carbono absorbido por las piezas depende.

1.° De la composición del acero sometido a la cementación.

2°. De la naturaleza de la substancia cementante

3°. De la temperatura y de la duración de la cementación."

Es importante destacar que después de la cementación, la capa exterior queda con un alto contenido en carbono y el corazón con la composición inicial, por lo tanto es posible obtener luego gran dureza en la periferia y alta tenacidad en el núcleo." [7]

Durante muchos años, uno de los cementantes más utilizados fue la mezcla Carón preparada con 60% de carbón vegetal y 40% de carbonato bárico. El carbón se tritura en trozos de 3 a 6 mm de diámetro y luego se mezcla con el carbonato bárico en polvo. Hace algunos años se comprobó que se puede disminuir el contenido de carbonato bárico, obteniéndose muy buenos resultados de 10 a 15 %, sin que pierda efecto sensible la acción carburante de la mezcla; bajando en cambio de 8% el rendimiento disminuye ya notablemente. Se suele añadir también un 20% de coque como diluyente, porque aumenta la velocidad de penetración del calor a través del compuesto carburante, permite obtener rápidamente temperaturas uniformes en el interior de las cajas y disminuye el coste de la mezcla. [7]

6.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación se describe el procedimiento para los tratamientos:

Revenido

Se coloca la probeta en el horno a una temperatura de austenización para cada acero, dependiendo de la composición del material.

Se mantiene a la temperatura de austenización por un tiempo que depende del tamaño de la probeta, 1 hora por cada pulgada de espesor.

Seguidamente se saca la probeta del horno por medio de una pinza y se introduce rápidamente en un recipiente que contenga el medio de enfriamiento (aceite, agua, sales, salmuera), agitándose continua y rápidamente

Luego, se introduce al horno nuevamente, el cual esta a una temperatura de que depende de la dureza que se quiera obtener.

Se calienta la probeta por un tiempo que depende del tamaño y la dureza a obtener a una temperatura inferior a la temperatura de transformación, se saca del horno y se enfría al aire.

El paso siguiente es la preparación metalográfica, para luego atacar la probeta con nital al 5%, y así poder visualizar la microestructura presente.

Posteriormente, se procede a observar la probeta en el microscopio y a tomarle la fotomicrografía, con un aumento de 600X

Para finalizar, a la probeta se le toman varios valores de dureza en Rockwell, utilizando la escala C, recomendada para aceros revenidos, y se promedian los valores.

Cementación

Para hacer la cementación al acero se utiliza la mezcla Carón, la cual consiste en triturar el carbón vegetal, hasta obtener polvo (de 3 a 6 mm de diámetro), y mezclar en la caja de cementación con carbonato de sodio, en proporciones: 85% en peso carbón vegetal y 15% en peso carbonato de sodio.

En la caja con la mezcla se introduce la probeta, y se lleva al horno, en el cual se deja cierto tiempo, según el espesor de capa que se quiera obtener.

Pasado este tiempo se saca del horno, y se le hace su preparación metalográfica; así mismo se le hace el ataque químico.

Se le toma una fotomicrografía con magnificación 150x

Se le hace la prueba de dureza en Rockwell C (un barrido diagonal).

Temple

Se coloca la probeta en el horno que debe estar a una temperatura de austenización.

Se mantiene homogeneizándose por el tiempo que depende del tamaño de la muestra.

Seguidamente se saca la probeta del horno y se introduce rápidamente en un recipiente que contiene el medio de enfriamiento para que se enfríe, agitándo contínuamente.

El paso siguiente es la preparación metalográfica

Posteriormente, se procede a observar la probeta en el microscopio y a tomarle la fotomicrografía, con un aumento de 600X.

Para finalizar, a la probeta se le toman varios valores de dureza en Rockwell, utilizando la escala C, recomendada para aceros templados, y se promedian los valores.

Recocido

Se homogeneiza el material a temperatura de austenización,

Se enfría lentamente en el horno

El paso siguiente es la preparación metalográfica .

Posteriormente, se procede a observar la probeta en el microscopio y a tomarle la fotomicrografía, con un aumento de 600 X.

Para finalizar, a la probeta se le toman varios valores de dureza en Rockwell, utilizando la escala C o la B, promediándose los valores

Normalizado

Se homogeneiza el material a temperatura de austenización,

Se enfría moderadamente al aire, colocándose sobre un ladrillo refractario.

El paso siguiente es la preparación metalográfica.

Posteriormente, se procede a observar la probeta en el microscopio y a tomarle la fotomicrografía, con un aumento de 600 X.

Para finalizar, a la probeta se le toman varios valores de dureza en Rockwell, utilizando la escala C o la B, promediándose los valores

6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Fotomicrografía con ataque para estudiar la microestructura

2. Pruebas de dureza (sólo se reporta el promedio)

3. Comparar la microestructura resultante con fotografías de la bibliografía para verificar el tratamiento

6.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AVNER: Introducción a la Metalurgia Física., Mc Graw Hill, (1977). Pág. 234,252,259-262,285-286.

[7] APRAIZ, BARREIRO, José. Tratamientos Térmicos de los Aceros, Editorial Dossat, S.A, octava edición, (1985), pág. 241, 247-252, 321-327.