

UNIVERSIDAD LIBRE



Guía de laboratorio para práctica de tratamientos térmicos.

Héctor F. Rojas M.

María Angélica Vacca García

Contenido

1.	PRACTICA: MICROESTRUCTURAS.....	4
1.1	Procedimiento experimental	4
2.	PRACTICA: FOTOMICROGRAFIA.....	5
3.	PRACTICA: TRANSFORMACION ISOTERMICA DE LOS ACEROS	5
4.	PRACTICA: DETERMINACION DE LAS TEMPERATURAS CRITICAS DE LA TRANSFORMACION AUSTENITA-PERLITA POR METODOS DILATOMETRICOS	6
5.	PRÁCTICA: EMPLEO DE UNA BALANZA MAGNETICA EN EL ESTUDIO DE LA CINETICA DE FORMACION DE LA MARTENSITA	8
5.1	Balanza magnética	8
5.2	Calculo del contenido de martensita	8
	Procedimiento experimental	9
6.	PRACTICA: CONSTRUCCION DE UN DIAGRAMA DE TRANSFORMACION POR ENFRIAMIENTO CONTINUO	10
7.	PRACTICA: MEDICION DEL TAMAÑO DE GRANO AUSTENITICO	11
7.1.	Métodos para revelar el tamaño de grano austenitico	11
7.1.1	Por tratamientos térmicos, en aceros al carbono hipoeutectoides	11
7.1.2	Aceros al carbono eutectoides.....	11
7.1.3	Aceros hipereutectoides	12
7.2	Método de temple parcial de una barra.....	12
7.3	Método de cementación (ensayo de Mcquaid-Ehn)	13
7.4	Método de Shepherd	13
7.5	Medida de tamaño grano austenitico.....	13
7.5.1	Por comparación con patrones ASTM	13
7.5.2	Método de intersección.....	14
8.	PRÁCTICA: DETERMINACION DEL PORCIENTO DE AUSTENITA RETENIDA.....	15
8.1.	Introducción.....	15
8.2.	Procedimiento experimental	15
8.2.1	Pulido mecánico y electrolítico	16
8.2.2	Deposición de cobre	16

8.2.3	Coloración del depósito de cobre	17
9	PRACTICA: TIEMPOS DE AUSTENITIZACION	17
10	PRACTICA: RECRISTALIZACION Y CRECIMIENTO DE GRANO	19
10.1.	Procedimiento experimental	20
11	PRACTICA: ESTRUCTURAS Y PORCENTAJE DE FASES EN ACEROS AL CARBONO RECOCIDOS.....	21
12	PRACTICA: TRATAMIENTOS TERMICOS DE RECOCIDO Y NORMALIZADO	22
12.1.	Procedimiento experimental.	23
12.1.1	Muestras de aceros al carbono	23
12.1.1	Muestras del acero aleado:.....	23
13	PRACTICA: PROPIEDADES MECANICAS Y MICROESTRUCTURAS DE UN ACERO DE MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE.....	23
13.1.	Procedimiento experimental.	24
14	PRACTICA: TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS.....	24
15	PRACTICA: ENSAYO DE JOMINY (METODO DE PRUEBA POR EXTREMO TEMPLADO)	25
15.1.	Aparatos y equipo	26
15.1.1	Soporte de la probeta	26
15.1.2	Dispositivo de temple	26
15.1.3	Probetas forjadas	26
15.1.4	Probetas vaciadas	26
15.2.	Procedimiento experimental	27
16	PRACTICA: DETERMINACION DE LA SEVERIDAD DE UN MEDIO TEMPLE	29
16.1.	Método de Grossmann	29
16.2	Método de Rushman	30
17	PRACTICA: EFECTO DEMASA Y TAMAÑO DE SCCION EN LAS CURVAS DE ENFRIAMIENTO DURANTE EL TEMPLE	30
17.1.	Procedimiento experimental	30
18	PRACTICA: DETERMINACION DEL MANCHADO POR ACEITES DE TEMPLE ENVEJECIDOS 31	
18.1.	Procedimiento experimental	31

19	PRACTICA: EFECTO DEL PORCENTAJE DE CARBONO SOBRE EL TRATAMIENTO DE TEMPLE Y REVENIDO.....	32
19.1.	Procedimiento experimental	32
20	PRACTICA : REVENIDO DE LOS ACEROS	32
21	PRACTICA: REVENIDO DE ACEROS (GRAFICA DE HOLLOMON-JAFFE)	33
22	PRACTICA: ENDURECIMIENTO SECUNDARIO DURANTE EL REVENIDO	34
23	PRACTICA: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE AUSTENITIZACION SOBRE LA RESPUESTA DURANTE EL ENDURECIMIENTO SECUNDARIO DE ACEROS PARA HERRAMIENTAS	35
24	PRACTICA: FRAGILIZACION POR REVENIDO	35
25	PRACTICA: ENVEJECIMIENTO DE LOS ACEROS.....	36
26	PRACTICA: CAMBIOS DE DIMENSIONES DURANTE EL TEMPLE CONVENCIONAL Y EL TEMPLE INTERRUMPIDO.....	37
27	PRACTICA DETERMINACION DEL PUNTO DE ROCIO DE LA ATMOSFERA DE UN HORNO EMPLEANDO UN VASO DE NIEBLA.....	38
28	PRACTICA: DESCARBURACION	38
29	PRACTICA: MEDICION DE CAPA DESCARBURADA POR EL METODO DE LA CUERDA.....	39
29.1.	Introducción.....	39
30	PRACTICA: CEMENTACION DE ACEROS.....	41
31	PRACTICA: RESTAURACION DE CARBONO	44
32	PRACTICA: EFECTO DEL REVENIDO SOBRE CAPAS CEMENTADAS	44
33	PRACTICA: MEDICION DE CAPA NITRURADA	45

1. PRACTICA: MICROESTRUCTURAS

A partir del estudio micro estructural de los aceros se puede obtener mucha información útil, es así como una persona experimentada en este campo, puede, a menudo, describir el tipo de acero, la historia de su manufactura y muchas de sus características más importantes a partir de este ensayo.

1.1 Procedimiento experimental

Cada alumno recibirá una muestra de 20 mm de diámetro y 10 mm de espesor de los siguientes aceros normalizados: SAE 1020, SAE 1040, SAE 1060, SAE 1080 y SAE 52100. Las muestras se moldearan en baquelita, desbastarán y pulirán a brillo espejo. (si no domina estas técnicas estúdielas en algún libro de metalografía).

Proceda a atacarlas. Para esto, sumerja la superficie pulida de la probeta en una solución al 2% de ácido nítrico con alcohol etílico, este compuesto es conocido como nital al 2%. Se mantiene la probeta en la solución varios segundos agitando continuamente, luego, se lava inmediatamente bajo un chorro de agua y posteriormente se sumerge en alcohol para luego secar con aire caliente usando, por ejemplo, un secador para pelo.

La superficie de la probeta debe tener, a simple vista, una apariencia opaca por lo cual no se puede tomar como un factor determinante para el análisis del ensayo, es por esto que los tiempos de ataque son variables. Para familiarizarse con la estructura resultante y determinar el tiempo de ataque correcto conviene realizar ataques sucesivos de cinco segundos cada uno y observar al microscopio la probeta luego de cada ataque, esto a diferentes aumentos. Así ud aprende a reconocer cuando una muestra esta subatacada, atacada correctamente o sobreatacada.

Elabore un esquema de la microestructura a un aumento adecuado y note las proporciones de ferrita (granos blancos), perlita (regiones oscuras) y cementita (red blanca a los límites de grano austenítico).

Realice ensayos de dureza tomando el valor medio de tres improntas y grafique los valores obtenidos en función del contenido de carbono.



Figura 1: Laboratorio de tratamientos térmicos de la universidad Libre Bogotá

2. PRACTICA: FOTOMICROGRAFIA

Con una de las muestras obtenidas en el desarrollo de la practica 1, se procederá a tomar fotografías de la probeta empleando el microscopio. Para ello se utilizara la cámara digital moticam 2500 la cual posee un software propio, MOTIC IMAGES PLUS 2.0 ML, el cual tiene un módulo de imágenes en vivo, que permitirá realizar la visualización en pantalla para el ajuste de los diferentes parámetros tales como, brillo, nitidez, color, entre otros; y así tomar una captura de imagen de la zona inspeccionada a 50x, 100x, 200x, 500x y 1000x aumentos. Se debe obtener una imagen nítida y con los colores, brillo y contraste adecuados visualizando correctamente lo requerido en la práctica. Además, con ayuda de este software se puede procesar la imagen obtenida, midiendo granos, precipitados, segregaciones, o todo lo que se requiera para un avanzado análisis metalográfico.

Ud debe familiarizarse tanto con el módulo de imágenes en vivo, como con el módulo de procesamiento de imágenes, y además con todas las herramientas contenidas en el.

3. PRACTICA: TRANSFORMACION ISOTERMICA DE LOS ACEROS

Tome seis muestras de aproximadamente 1 cm de diámetro por 1 cm de espesor de aceros SAE 4140, SAE 4340 o SAE 9860, y realice un agujero en un borde para que sea posible colgarlas con un alambre delgado de Kanthal o de Nichrome.

Coloque todas las muestras en el horno de austenitizacion o en un baño de sales a 850° C durante 15 minutos. Enseguida transfíeralas a un segundo horno o baño de sales a una temperatura comprendida entre 375 y 700°C. Si la temperatura de transformación se elige cerca del límite inferior de temperaturas, los productos de la transformación serán vainitas y si esta está en la parte superior del intervalo, serán perlitas.

Retire una muestra por cada 10, 20, 100, 300, 900 y 5400 segundos y realice un procedimiento de temple en agua.

Corte las muestras por la mitad y prepárelas para su examen metalográfico.

Se tomaran las imágenes con la cámara y se procesaran en el software de la siguiente manera; se selecciona una área que sea la más adecuada para poder observar las transformaciones de fase, esta área se mantendrá igual en todas las muestras para que se puedan comparar adecuadamente los resultados.

Se selecciona el área de trabajo y luego se miden las transformaciones, se hace una toma del área para medición y se procede hacer una tabla en la que se pueda comparar los diferentes materiales con sus respectivos porcentajes de transformaciones.

Ejercicio

Grafique el porcentaje de las transformaciones en función del logaritmo decimal del tiempo. Calcule el tiempo de incubación y el tiempo necesario para que la transformación sea completa.

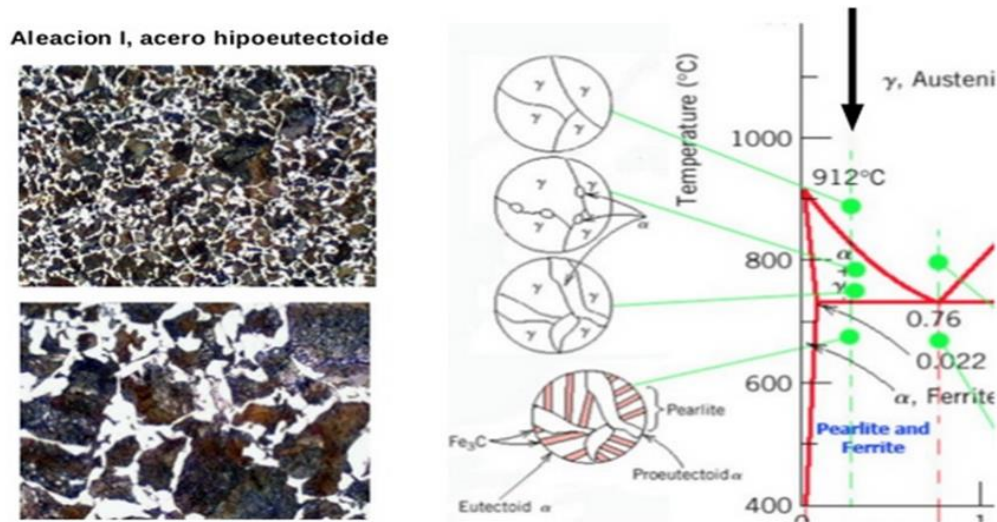


Figura 2: imagen tomada de una transformación isotérmica

4. PRACTICA: DETERMINACION DE LAS TEMPERATURAS CRITICAS DE LA TRANSFORMACION AUSTENITA-PERLITA POR METODOS DILATOMETRICOS

Los cambios de volumen asociados con las transformaciones de fases en aceros se pueden seguir fácilmente con un dilatómetro simple, en calentamiento y/o enfriamiento.

En esta práctica se considerara solamente la transformación austenita-ferrita + perlita, aunque se puede usar la misma técnica para la transformación austenita-martensita o austenita-bainita.

Se ensayara una muestra de cada uno de los siguientes aceros: SAE 1025, SAE 1030, SAE 1045, SAE 1080 y SAE 52100.

Inserte cuidadosamente en el dilatómetro una de las muestras siguiendo las indicaciones del manual empleando el aparato. Empiece a calentar ajustando la cantidad de corriente a través del horno para obtener una velocidad de calentamiento de 20°C/minuto aproximadamente

Envíe señales al sistema de registro a valores fijos de la temperatura para establecer la escala de temperaturas.

Cuando se alcance la temperatura de austenitización reduzca gradualmente la alimentación del horno, hasta cortarla por completo. Siga la transformación durante el enfriamiento.

Determine, en la gráfica de cada acero, las siguientes temperaturas:

A_{c1} = Temperatura de transformación perlita-austenita

A_{c3} = Temperatura de terminación de la transformación ferrita-austenita.

A_{r3} = Comienzo de la transformación austenita-ferrita.

A_{r1} = Temperatura de transformación austenita-perlita.

Ejercicio

Elabore una gráfica de temperatura vs contenido de carbono, empleando diferentes velocidades de calentamiento y enfriamiento, demuestre el desplazamiento de las temperaturas críticas. Guarde las muestras ensayadas en un paquete con identificación para su uso futuro.

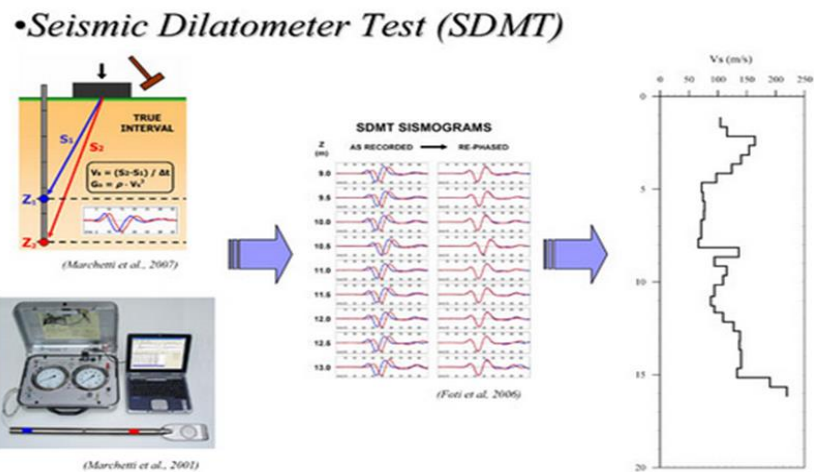


Figura 3: Métodos dilatométricos

5. PRÁCTICA: EMPLEO DE UNA BALANZA MAGNETICA EN EL ESTUDIO DE LA CINETICA DE FORMACION DE LA MARTENSITA

5.1 Balanza magnética

Este elemento consta de un electroimán, con piezas polares cónicas de extremos truncados con lo cual se proporciona un gradiente de campo magnético entre ellos. Las caras en los extremos están conformadas por tres superficies de 10 mm de ancho; las de los costados son perpendiculares al eje de la pieza polar y yacen en el plano vertical, la del centro esta inclinada 5° respecto a las otras.

Se toma una muestra en forma de un cilindro de 4 mm de largo y 2 mm de diámetro, se suspende en el centro del espacio interpolar en el punto máximo del gradiente magnético. La varilla porta-muestra esta constreñida lateralmente y conectada en su parte superior a un anillo que se deforma elásticamente debido a la fuerza que el campo magnético ejerce sobre la muestra, dicha fuerza X está dirigida hacia abajo. Un transductor mide la distorsión del anillo y por lo tanto, la fuerza ejercida sobre la muestra y la señal generada se mide por medio de un galvanómetro o un registrador.

Una vez que el equipo este calibrado se puede emplear en medidas comparativas de la intensidad de saturación magnética de las muestras y así, revelar la cantidad de fases ferromagnéticas presentes. Debido a que la austenita es paramagnética, su contribución se puede despreciar en el presente contexto y la respuesta magnética de la muestra se deberá exclusivamente a la martensita presente.

Usando un campo magnético intenso, la magnetización de la muestra se aproxima a la saturación y bajo tales condiciones, los factores tales como el contenido de impurezas, el tamaño de grano y las tensiones internas, tienen poca influencia sobre la respuesta magnética.

5.2 Calculo del contenido de martensita

Se pesa una muestra de hierro puro (M_{Fe}) para el cual se conozca la intensidad de saturación magnética σ_{Fe} y se determina la deflexión (d_{Fe}) del anillo de la balanza, usando un campo convenientemente alto.

Se pesa la muestra de acero (M_x) y se mide su respuesta magnética (d_x). la intensidad de la saturación magnética del acero σ_x se puede calcular con bastante exactitud en

la condición martensítica completa, a partir del efecto del carbono es el de dilución pura.

Expresando en unidades apropiadas

$$dFe = \frac{dH}{dx} * MFe * \sigma Fe$$

Donde dH / dx es el gradiente vertical del campo

De manera similar,

$$dx = \frac{dH}{dx} * MFe * \sigma Fe * \frac{\% \text{ de martensita}}{100}$$

Si se mantiene constante la corriente a través del electroimán, dH / dx es igual a las expresiones (1) y (2); así, combinando ambas expresiones,

$$\% \text{ de martensita} = \frac{dx * MFe * \sigma Fe * 100}{dFe * Mx * \sigma Fe}$$

Procedimiento experimental

Se elige un acero para el cual la temperatura M_s sea próxima pero inferior a la temperatura ambiente. Se austenitiza, se temple en agua y se transfiere a la balanza a temperatura ambiente.

Para el enfriamiento posterior de la muestra en el inferior de la balanza, se rodea la muestra con un tubo de cobre que contiene alcohol y cuyo extremo inferior este sumergido en nitrógeno líquido. Así se puede regular la transformación martensítica durante el enfriamiento continuo y se puede investigar la cinética y el efecto que tienen sobre ella las interrupciones en el enfriamiento.

El método se puede aplicar a gran variedad de tipos de transformaciones donde esté implicada una fase ferromagnética y se puede usar para problemas más complejos de análisis de fases en base al conocimiento de las temperaturas de Curie de los constituyentes.

6. PRACTICA: CONSTRUCCION DE UN DIAGRAMA DE TRANSFORMACION POR ENFRIAMIENTO CONTINUO

Se debe colocar una muestra dentro del dilatómetro y calentar hasta la temperatura de austenitización, mantener dicha temperatura por lo menos 15 minutos y cortar la alimentación del horno. Determinar la velocidad de enfriamiento y deducir de la curva registrada, las temperaturas de comienzo y de terminación de las transformaciones.

Repetir las operaciones para otras muestras del mismo acero variando la velocidad de enfriamiento haciendo circular por el tubo del dilatómetro un flujo constante y medio gas inerte, tal como nitrógeno o argón.

Construir las curvas de transformación del acero durante el enfriamiento continuo.

Cortar las probetas dilatométricas y montarlas para su estudio metalográfico, tomar fotomicrografías de cada una de ellas y determinar su dureza.

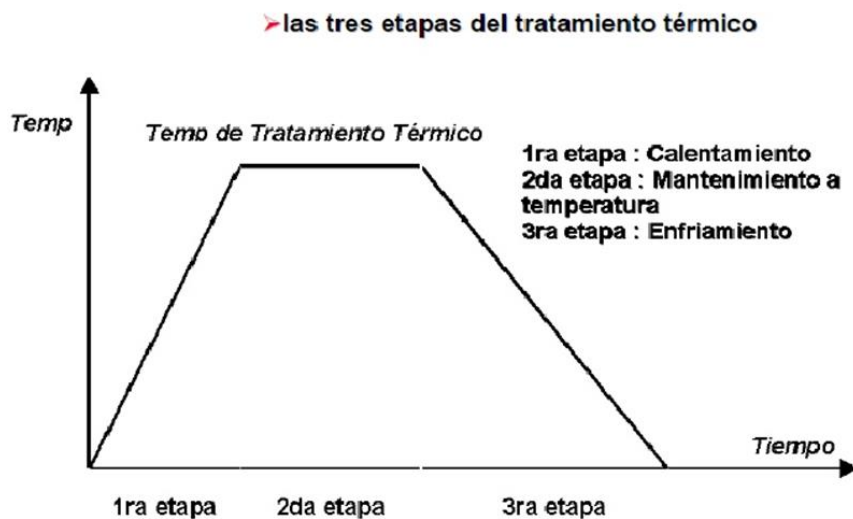


Figura 4: Ruta de tratamiento térmico enfriado en frío

7. PRACTICA: MEDICION DEL TAMAÑO DE GRANO AUSTENITICO

El grano austenítico, al transformarse a bajas temperaturas condiciona la microestructura resultante y por lo tanto, las propiedades del material luego del tratamiento térmico. Dado que las fases nuevas se nuclean en los límites de grano, el tamaño de grano austenítico determinará, junto a otros factores, la distribución de las fases y la templabilidad de los aceros.

Así mismo, un grano austenítico grande producirá un deterioro de las propiedades mecánicas finales, dicho tamaño dependerá primordialmente de la temperatura de austenitización.

7.1. Métodos para revelar el tamaño de grano austenítico

7.1.1 Por tratamientos térmicos, en aceros al carbono hipoeutectoides

- a) Aceros con menos de 0.1% de carbono. Calentar una probeta delgada a la temperatura de austenitización y templar en mercurio o salmuera, revenir de 5 a 10 minutos a 200°C, luego pulir y atacar con cloruro férrico al 5%. Las agujas de martensita, con diferentes orientaciones, permitirán reconocer los primitivos granos austeníticos.
- b) Aceros que contengan entre 0.25 y 0.55% de carbono. Calentar una probeta hasta la temperatura deseada y enfriar al aire, luego pulir y atacar con nital al 2%. La ferrita proeutectoide precipita a los límites de grano austenítico y enmarca el interior de los granos que ahora estarán formados por perlita.
- c) Aceros que contengan entre 0.55 y 0.75% de carbono. Austenitizar la probeta durante 10 a 15 minutos y enfriar al aire hasta la temperatura ambiente, luego pulir y atacar. Una red de ferrita demarcará los primitivos granos de austenita.

7.1.2 Aceros al carbono eutectoides

- a) Aceros con baja templabilidad. Luego del temple se corta la probeta por la mitad, se pule y ataca la superficie de corte. Cerca de la superficie la estructura es totalmente martensítica pero hacia el interior se encontrará una zona de transición en la que la perlita ha precipitado a los límites de grano austenítico enmarcado el centro, que se habrá transformado en martensita.
- b) Aceros de alta templabilidad. En este caso conviene revenir ligeramente la probeta, por ejemplo, 10 minutos a 200°C para que la estructura martensítica sea más fácil de atacar luego, se pule y ataca. El grano austenítico se detecta como en el caso 1.a).

7.1.3 Aceros hipereutectoides

- a) Aceros con más de 1.1% de carbono. La muestra se normaliza o recuece, se corta, pule y ataca. El grano austenítico lo revelará una red de carburos precipitados a los límites de grano.
- b) Aceros con menos de 1.1% de carbono. Austenitizar a la temperatura deseada y enfriar justo por encima de A_{r1} . Mantener a esa temperatura por unos minutos y templar en agua. Revenir durante 10 minutos a 400°C y dejar enfriar al aire. Durante la permanencia a $T > A_{r1}$ habrá una precipitación de carburos a los límites de grano austenítico. Pulir y atacar con nital. La red de carburos revelará el grano austenítico.

7.2 Método de temple parcial de una barra

Este método consiste en austenitizar una barra de 1 cm de diámetro y 4 cm de longitud y templar un extremo de aproximadamente 1 cm, en un baño de salmuera. Se corta la barra longitudinalmente, se pule y se ataca.

El extremo templado tendrá una estructura totalmente martensítica mientras que el otro extremo contendrá las fases de equilibrio. Entre estos dos extremos habrá una graduación en el cambio de estructura que permitirá identificar en algún lugar el grano austenítico, ya sea por precipitación de ferrita, perlita, vainita, o carburos a los límites de grano austenítico. Este método es general para cualquier tipo de acero, excepto aceros de temple al aire.

Es evidente que este ensayo incluye en cierto modo al ensayo de Jominy, de allí la posibilidad de obtener en el mismo ensayo Jominy la templabilidad y el tamaño del grano.

7.3 Método de cementación (ensayo de Mcquaid-Ehn)

Colocar la probeta en una caja de cementación y calentar a la temperatura de austenitización durante el tiempo recomendado para el tipo de acero estudio. Se deja enfriar la caja, se extrae la probeta, se corta, se pule y ataca, se busca a partir de la superficie una zona donde los granos estén demarcados por una red de carburos o de perlita.

Esta es una buena técnica para los aceros para cementación, dado que al mismo tiempo indica la duración del proceso, profundidad de capa resultante y tamaño de grano austenítico.

7.4 Método de Shepherd

Se prepara una probeta que tenga una entalladura hecha a lima. Se austenitiza y se temple en salmuera. Se rompe la probeta por la entalladura y se compara la superficie de fractura obtenida con patrones de tamaño de grano Shepherd.

7.5 Medida de tamaño grano austenítico

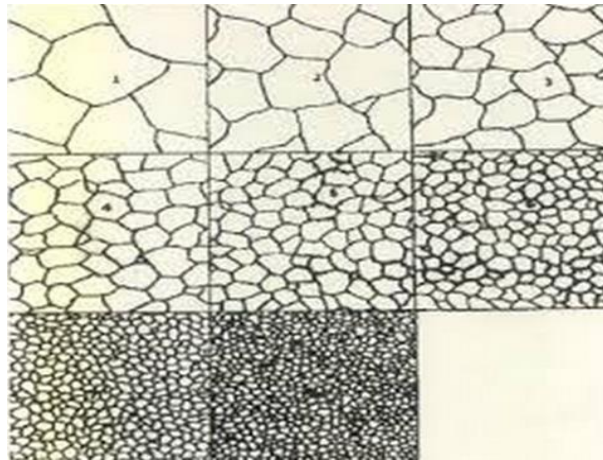


Figura 5: tamaño de granos diferentes bajo la norma

7.5.1 Por comparación con patrones ASTM

La muestra es preparada por alguna de las técnicas anteriores, se observa al microscopio bajo 100 aumentos y su aspecto se compara con los patrones

ASTM para tamaño de grano, donde cada patrón está indicado por un número n desde 0 hasta 10, n está relacionado al tamaño real del grano por la expresión: 2^{n-1} = Número de granos por pulgada cuadrada a 100 aumentos.

Los valores absolutos de n son:

n	Granos / pulg ² a 100 x	Granos / mm ²	Granos / mm ³	Diámetro promedio en mm
-3	0.06	1	0.7	1.00
-2	0.12	2	2	0.75
-1	0.25	4	5.6	0.50
0	0.5	8	16	0.35

MEDICION DEL TAMAÑO DEL GRANO AUSTENITICO

n	Granos / pulg ² a 100 x	Granos / mm ²	Granos / mm ³	Diámetro promedio en mm
1	1	16	45	0.25
2	2	32	128	0.18
3	4	64	360	0.125
4	8	128	1020	0.091
5	16	256	2900	0.062
6	32	512	8200	0.044
7	64	1025	23000	0.0322
8	128	2048	65000	0.022
9	156	4096	185000	0.016
10	512	8200	520000	0.011
11	1024	16400	1500000	0.008
12	2048	32800	4200000	0.006

7.5.2 Método de intersección

El método consiste en contar el número de límites de granos cortados por una línea patrón, en este caso es necesario emplear una pantalla de proyección para proyectar sobre ella la imagen obtenida en el microscopio. Si la imagen se proyecta a diferentes aumentos es necesario variar la longitud de la línea de prueba.

A 500 x	L =	63.50 mm	= 2.5 pulg
A 750 x	L =	95.25 mm	= 3.75 pulg
A 1000 x	L =	127.00 mm	= 5 pulg

Para obtener el número de intersecciones se hacen diez lecturas tomadas al azar y se calcula el valor medio.

En otros casos es cómodo tomar una fotomicrografía a 100 aumentos y superponer sobre ella una mica donde este dibujado un círculo de 10 cm de perímetro. Si la muestra tiene granos que no son equiáxicos, sino que están elongados en una dirección, esta técnica compensa este efecto y da valor promedio del tamaño de grano.

8. PRÁCTICA: DETERMINACION DEL PORCIENTO DE AUSTENITA RETENIDA

8.1. Introducción

La delineación metalográfica de los constituyentes de una dada microestructura depende de las diferencias químicas, físicas y mecánicas entre los constituyentes, sin embargo, la composición química de la austenita y la martensita son casi las mismas y el ataque químico no es suficientemente selectivo, en especial en aceros que no han sido revenidos. Aunque las dos estructuras cristalinas son diferentes, esta diferencia tampoco no es suficiente para diferenciarlas por ataque químico.

La martensita, aun revenida, se halla en un alto estado de tensión como se evidencia por su dureza y alta resistencia. La austenita existe como un constituyente metaestable debido en parte, a la imposibilidad de alcanzar la expansión de volumen requerida para su transformación a martensita, esta restricción de volumen impuesta por la martensita dura y fuerte, causa tensiones que soporta la austenita.

Se ha formulado la hipótesis de que las tensiones que soporta la austenita son hidrostáticas, lo que produce un estado balanceado de menor tensión en la austenita comparada con la martensita. Hay reacciones químicas cuya actividad es sensible a los estados de tensiones de dos constituyentes.

Las soluciones de cobre, en ciertas condiciones de dilución, tienden a depositar cobre metálico sobre la fase martensita.

8.2. Procedimiento experimental

Se toma una barra de 10 a 30 mm de diámetro y de longitud igual a 1.5 veces el diámetro, de alguno de los siguientes aceros: SAE 8615, SAE 8622, SAE 1015, SAE 4320 O SAE 5120.

Se cementa la muestra por alguna de las técnicas disponibles a una profundidad de capa de 1.5 mm, se temple en aceite y en el caso de ser posible se reviene a 165°C durante 1 hora.

Se cortan muestras que contengan la capa, de alrededor de 150 mm² de superficie y se montan en baquelita.

8.2.1 Pulido mecánico y electrolítico

Se pulen las muestras en papeles abrasivos con buena lubricación para evitar sobrecalentamiento o daño mecánico, luego se pulen con pasta de diámetro de 6 μ y 1 μ sucesivamente y se acaba con un pulido fino en óxido de aluminio de 0.05 μ . Un buen pulido mecánico produce bordes nítidos y la estructura comienza a presentar algo de relieve. Después, se realiza un pulido electrolítico en una solución al 10% de ácido crómico en agua, en las siguientes condiciones de pulido.

<i>Cátodo</i>		<i>Acero inoxidable</i>
Distancia entre cátodo y ánodo		12 mm
Voltaje	4 V	
Densidad de corriente		25 A/dm ²
Temperatura		Ambiente
Tiempo		15 a 39 segundos

Luego del pulido electrolítico la muestra presenta una diferencia de relieve visible entre la austenita y la martensita, cuando se observa a través del microscopio con el diafragma de apertura cerrado a la mínima abertura. No debe haber picado de la superficie ni de solución de inclusiones no metálicas, mínimo redondeamiento de los bordes y poco o ningún ataque de martensita.

8.2.2 Deposición de cobre

La deposición de cobre sobre la martensita es la etapa crítica en el proceso y la única que requiere una observación intermitente de la capa producida. Una vez que el cobre recubre la martensita la deposición continúa sobre la austenita, por lo que debe detenerse la reacción en el momento preciso.

La solución de stock tiene la siguiente composición:

Agua	955 ml
Sulfato de cobre	14.2 g
Ácido sulfúrico	7.4 ml

Esta se emplea en dilución en 10 partes de agua.

Luego que la muestra está correctamente pulida se introduce en la solución y se mantiene de 5 a 10 segundos, con agitación o se ataca con un algodón mojado en dicha solución.

En aceros revenidos el contraste en color entre la martensita y la austenita será suficiente para hacer medidas por comparación con los patrones, empleando un filtro verde en el microscopio.

8.2.3 Coloración del depósito de cobre

Es practico aumentar el contraste entre las fases y esto se logra convirtiendo el depósito de cobre metálico en oxido o sulfuro.

Una solución conveniente para ello es:

Sulfuro de sodio	1 g
Agua destilada	100 ml
Ácido nítrico	1 ml

El pH de la solución se controla con papel indicador a pH = 5. Sin embargo, esta solución se descompone en 6 horas, por lo que conviene preparar la solución de sulfuro, que tiene un lapso de vida de 1 mes, y acidificar una pequeña cantidad al momento de emplearse.

La solución se puede aplicar con un gotero (1 o 2 gotas) o por medio de un algodón impregnado en la solución, durante un lapso de 5 a 20 segundos. El color producido variará con el tiempo de reacción de café claro a azul y después a negro; el mejor color es el café claro, cuando se observa con filtro verde.

9 PRACTICA: TIEMPOS DE AUSTENITIZACION

Es útil poder predecir el tiempo requerido para que una pieza de acero alcance la temperatura de austenitización. La diferencia de temperatura dentro de la pieza es pequeña, comparada con la diferencia entre la superficie de ella y su entorno y a fin de describir la velocidad de calentamiento, se supone que la temperatura es constante en el interior de la pieza.

La velocidad de absorción de calor se puede representar como:

$$Q = V\rho C_p dT/dt$$

Donde

$V\rho$ = volumen por densidad = masa

C_p = calor específico.

dT/dt = velocidad de cambio de temperatura.

La velocidad de transferencia de calor del entorno a la superficie, por convección y radiación, puede ser representada por:

$$Q = h A (T_f - T)$$

Donde

h = coeficiente de transferencia de calor.

A = área de la superficie.

T_f = temperatura del horno.

T = temperatura de la pieza por tratar.

Igualando las dos expresiones

$$dT/dt = h A / [V\rho C_p (T_f - T)]$$

Suponiendo que el coeficiente de transferencia de calor y el calor específico sean constantes, se puede integrar la ecuación anterior como:

$$t = 2.3 \frac{V\rho C_p}{h A} \log (T_f - T_o) / (T_f - T)$$

Donde

T_o = temperatura inicial de la pieza antes de introducirla en el horno.

Nótese que el tiempo requerido para calentar hasta un valor dado de $(T_f - T_o) / (T_f - T)$ es directamente proporcional a la relación (A / V) y esta relación depende del diámetro de la pieza.

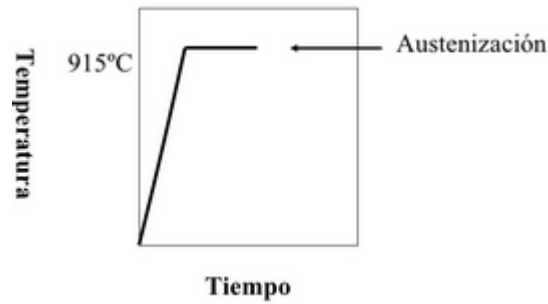


Figura 6: diagrama de austenización

9.1 Procedimiento experimental

Tóme varias barras de distinto diámetro de un acero al carbono, por ejemplo, 1, 2, 3 y 4 cm de diámetro. Perfore cada una de ellas de manera que pueda introducir y fijar un termopar en su centro. Conecte el termopar a un potenciómetro registrador o en su defecto a un potenciómetro para termopares y tome lecturas a cada 3 minutos.

Construya un gráfico para cada probeta. Verifique los resultados experimentados con los de la fórmula anterior.

10 PRACTICA: RECRISTALIZACION Y CRECIMIENTO DE GRANO

A menudo se pueden desarrollar estructuras de grano grueso debido a tratamientos térmicos y mecánicos incorrectos en los aceros, este resultado produce efectos nocivos sobre la tenacidad del material.

Además, como lo muestra la expresión de Hall-Petch, la resistencia a la deformación está relacionada directamente al tamaño del grano.

El propósito de esta práctica es ilustrar la susceptibilidad que presentan los diferentes aceros a desarrollar estructuras de grano grueso, a la vez que se construirá una gráfica Hall-Petch.

Los materiales a estudiar son:

- a) acero al carbono (SAE 1040)
- b) acero al carbono trabajado en frío (SAE 1008 'cool rolled')
- c) acero aleado tratado con aluminio
- d) acero austenítico trabajado en frío (SAE 302)

Cada grupo de estudiantes seleccionara muestras metalográficas de los aceros a), b), c) y d), y probetas de tracción del acero a).

Se dispondrá de hornos a 500, 700, 900 y 1100°C, (y mayor temperatura si es posible).

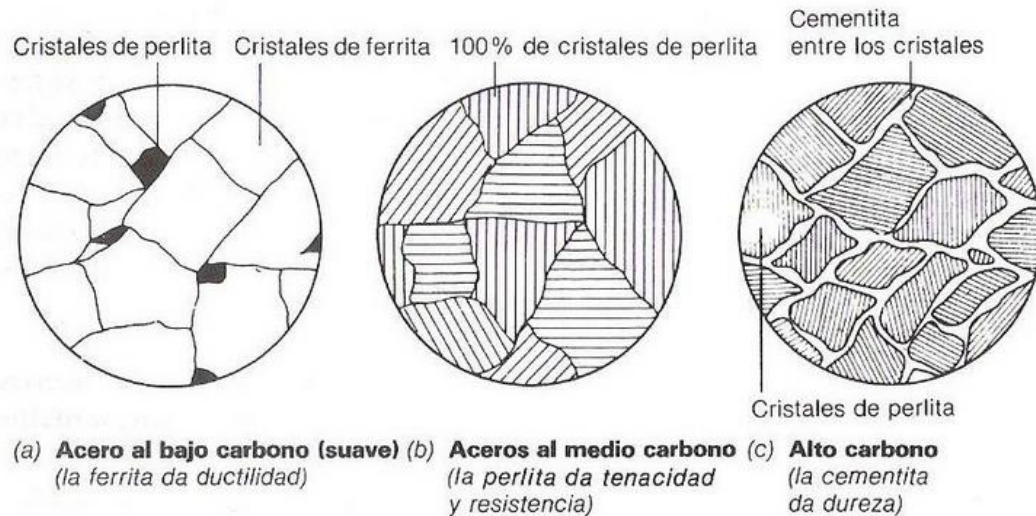


Figura 7: Recristalización y crecimiento del grano

10.1. Procedimiento experimental

Coloque una de cada una de las muestras mencionadas antes en cada horno, retírelas después de 30 minutos y déjelas enfriar al aire, luego prepárelas para el examen metalográfico. Mida el tamaño de grano por alguna de las técnicas dadas en la práctica 7.

Coloque todas las probetas para tracción dentro de uno de los hornos y vaya retirándolas a tiempos crecientes. Comente con su supervisor los tiempos más convenientes. Realice los ensayos de tracción y determine de las curvas los puntos de fluencia.

Ejercicio

A partir de la obtención de las muestras se deberán construir gráficas individuales del tamaño de grano en función de la temperatura. El tamaño de grano se determinará por medición de un campo seleccionado (granos por diámetro de campo) o por comparación con patrones. De los resultados obtenidos en las probetas de tracción

se construirá una gráfica de punto de fluencia en función del tamaño de grano (Gráfica de Hall-Petch).

11 PRACTICA: ESTRUCTURAS Y PORCENTAJE DE FASES EN ACEROS AL CARBONO RECOCIDOS

La finalidad de este experimento es revelar la influencia del contenido de carbono presente en los aceros sobre la microestructura resultante y su efecto sobre los valores de dureza.

Se tomarán muestras de aceros al carbono SAE 1020, SAE 1040, SAE 1060, SAE 1080, y de 1.2% C, de alrededor de 1.5 cm de diámetro y de 1 cm de longitud. Las muestras serán austenitizadas a 930°C durante 30 minutos y su enfriamiento será al interior del horno.

Se prepararán las muestras para toma metalográfica con previo ataque con solución alcalina de picrato de sodio hirviendo. Este reactivo oscurece la cementita pero no ataca a la ferrita.

Tome fotografías de las microestructuras y sobre las copias determine los porcentajes de las fases presentes. (Ver procedimiento en la práctica 3).

Empleando la regla de la palanca, determine a partir del diagrama Fe-Fe₃C los porcentajes de equilibrio de ferrita, perlita y cementita.

Represente los valores obtenidos y los calculados en función del contenido de carbono y comente los resultados.

Observe cuidadosamente la microestructura en la región cercana a las superficies de las muestras y comente su observación.

Determine la dureza en el centro de la muestra, como el valor promedio entre tres improntas, y grafique la dureza en función del contenido de carbono.

Compare estos resultados con los obtenidos en la práctica 1.

$$\% \text{Ferrita } \alpha_{\text{eutectoide}} = \frac{6.70 - 0.76}{6.70 - 0.02} 100 = 88.9\%$$

$$\% \text{Cementita}_{\text{eutectoide}} = \frac{0.76 - 0.02}{6.70 - 0.02} 100 = 11.1\%$$

$$\% \text{Perlita} = \% \text{Ferrita } \alpha_{\text{eutectoide}} + \% \text{Cementita}_{\text{eutectoide}} = 100\%$$

12 PRACTICA: TRATAMIENTOS TERMICOS DE RECOCIDO Y NORMALIZADO

Estos tratamientos térmicos son sencillos y en general no presentan problemas, excepto que se haya hecho una elección incorrecta de la temperatura de austenitización. Por medio de ellos es posible obtener una estructura blanda y dúctil, libre de tensiones y homogénea.

En esta práctica se usaran dos tratamientos de recocido diferentes para observar el efecto de un tratamiento incompleto. Se realizara una comparación con un tratamiento de normalizado.

Los aceros a emplear son:

1. acero SAE 1010
2. acero al carbono con 1.2% C
3. acero aleado SAE 5140

Se dispondrá de una batería de hornos con temperaturas de 1100°C, 950°C, 750°C y 600°C.

Se proporcionará a cada grupo de alumnos seis muestras pequeñas de un acero al carbono, seis muestras pequeñas del acero aislado y dos probetas de tracción de este último. Las muestras pequeñas, que se emplearan para el estudio metalográfico de los tratamientos tendrán alrededor de 2 cm de diámetro por 1 cm de altura. Las probetas para tracción se maquinarán de acuerdo con el tipo de máquina de tracción disponible en el laboratorio.

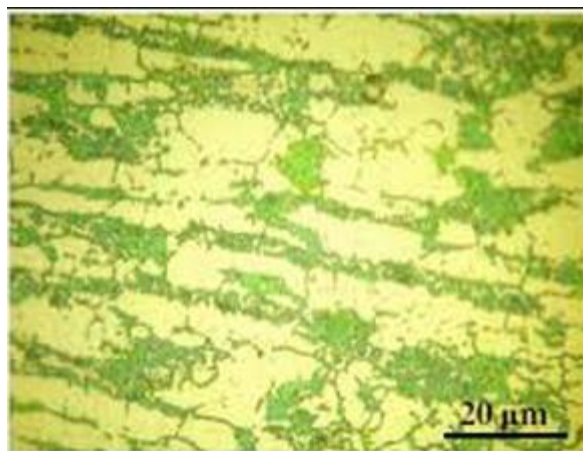


Figura 8: Microestructura de un acero recocido

12.1. Procedimiento experimental.

12.1.1 Muestras de aceros al carbono

Mida la dureza en cada una de estas muestras y consérvelas para el examen metalográfico.

Coloque una muestra en cada uno de los hornos a las temperaturas indicadas, déjelas durante 1 hora y apague la alimentación de los hornos. Las muestras deberán permanecer en el interior del horno hasta que éste se enfríe hasta 400°C.

En el horno de 950°C se pondrá una muestra extra que en lugar de ser enfriada dentro del horno se dejara enfriar al aire.

Mida la dureza y examine la microestructura en cada una de las muestras.

12.1.1 Muestras del acero aleado:

Se procede igual que con los aceros al carbono, excepto que las dos muestras de tracción se tratarán junto con las muestras pequeñas en el horno de 950°C. Una de ellas se dejara enfriar en el horno y la otra al aire. Ensáyelas.

Ejercicio

Elabore una tabla para cada uno de los aceros donde registre la dureza obtenida en cada tratamiento.

Reporte las fotomicrografías de las muestras a 100 aumentos, y comente las estructuras resultantes.

Dibuje los dos gráficos tensión-deformación y de ellos determine: límite de fluencia, resistencia máxima y elongación por ciento a la ruptura. Compare los resultados de los dos tratamientos.

Guarde las muestras, identifíquelas claramente para ser empleadas en prácticas posteriores.

13 PRACTICA: PROPIEDADES MECANICAS Y MICROESTRUCTURAS DE UN ACERO DE MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE

El tratamiento térmico es una operación que implica el calentamiento del acero a una temperatura específica, seguido de un enfriamiento a velocidades

convenientes a fin de obtener ciertas propiedades que están asociadas con cambio en la naturaleza, forma, tamaño y distribución de los constituyentes de la microestructura.

Los tratamientos que se comparan en esta práctica son los de normalización, temple y revenido.

13.1. Procedimiento experimental.

Se seleccionarán muestras para ensayos de tensión e impacto de un acero SAE 1060. Dichas muestras se tratarán en normalización, temple en aceite y temple en aceite y revenido de 1 hora a 600°C.

Ensáyelas. Mida y tabule la tensión de fluencia, la tensión máxima a la fractura, la elongación por ciento y la energía absorbida en los ensayos de impacto.

Sobre las muestras ensayadas en impacto determine dureza y haga metalografía de la sección transversal.

Elabore una tabla con los resultados. Relacione el comportamiento mecánico con la estructura correspondiente.

14 PRACTICA: TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS

La manera en que un acero se transforma cuando, luego de austenitizado se enfría por debajo de A_1 , depende del contenido de carbono, de aleantes y del tamaño de grano austenítico existente al comienzo del enfriamiento y de la velocidad de la mismo. Una combinación conveniente de estos factores hará que la profundidad y la dureza de temple sean las adecuadas para cada uso específico.

A fin de comparar el efecto de los aleantes sobre aceros con el mismo contenido de carbono, se tomaran cuatro muestras de los siguientes aceros:

1. acero al carbono (SAE 1040) en barra de 1 cm de diámetro
2. acero de baja aleación al carbono - manganeso (SAE 3140) en barra de 2 cm.
3. acero de media aleación (SAE 4140) en barra de 4 cm.

Cada una de las muestras tendrá una longitud no menor de 1.5 veces su diámetro.

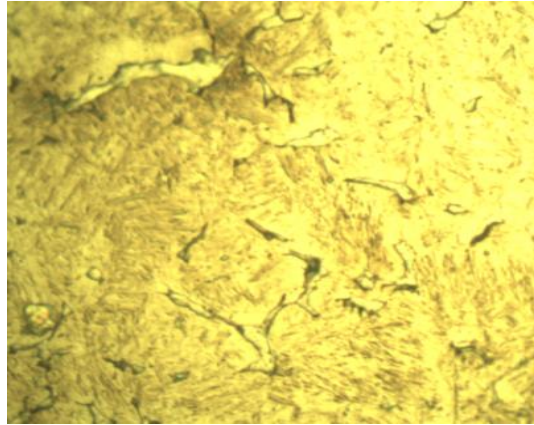


Figura 9: microestructura de un acero de medio carbono templado a 740°C

Ejercicio

Busque en las tablas la temperatura de austenitización para estos aceros, luego de austenitizarlos, enfríelos en agua, aceite, aire y en el interior del horno.

Seccione las muestras transversalmente y mida la dureza a intervalos regulares y frecuentes a través de su diámetro.

Elabore una gráfica de dureza en función de la distancia subsuperficial, para cada medio temple. Repita la gráfica agrupando los resultados por acero.

Este experimento ayuda a relacionar las características de la transformación con el tamaño de la sección para diferentes velocidades de enfriamiento.

Mida la profundidad de temple a 50% de martensita en cada una de las muestras.

15 PRACTICA: ENSAYO DE JOMINY (METODO DE PRUEBA POR EXTREMO TEMPLADO)

Este tipo de prueba está especificada por la Norma Oficial Mexicana NOM-B-320-1982, de la Secretaría del Patrimonio y Fomento Industrial, y establece el procedimiento para determinar la templabilidad de un acero.

La prueba consiste en templar en agua el extremo de una probeta cilíndrica de 25 mm de diámetro y en medir la distancia y la dureza que ha adquirido el acero a partir del extremo de templado.

15.1. Aparatos y equipo

15.1.1 Soporte de la probeta

Este es un dispositivo para suspender la probeta verticalmente, de manera que su extremo inferior esté a una altura de 12.5 ± 0.5 mm sobre el extremo del tubo del dispositivo de temple.

15.1.2 Dispositivo de temple

Es un dispositivo de capacidad suficiente para suministrar una corriente vertical de agua que alcance una altura de 65 ± 10 mm cuando pasa por un tubo de 12.5 ± 0.5 mm de diámetro interior. Es satisfactorio un tanque de capacidad suficiente con una bomba pequeña y válvulas de control. La línea de abastecimiento de agua debe tener una válvula de apertura rápida.

15.1.3 Probetas forjadas

La probeta debe ser de 25 mm de diámetro por 76 mm o 100 mm de largo diseñada de tal manera que pueda suspenderse en posición vertical, a fin de templarla en su extremo inferior. La probeta debe maquinarse a partir de una barra, con tratamiento térmico de normalización, la cual debe ser de un tamaño suficiente, para que permita la eliminación de la superficie descarbonada cuando se maquine al diámetro final. El extremo de la probeta que se va a temprar en agua debe someterse a un proceso mecánico de rectificado y tener un acabado razonablemente terso. Por acuerdo previo entre fabricante y comprador se puede omitir el tratamiento térmico de normalización. Se debe llevar un registro del tratamiento térmico del material del cual se obtuvo la probeta.

15.1.4 Probetas vaciadas

Las probetas también pueden obtenerse durante el vaciado del acero. Se puede usar un molde de grafito o de metal a fin de obtener una probeta con dimensiones ligeramente mayores para que al maquinarse se obtengan las dimensiones estándar. Estas probetas no necesitan someterse al tratamiento térmico de normalización.

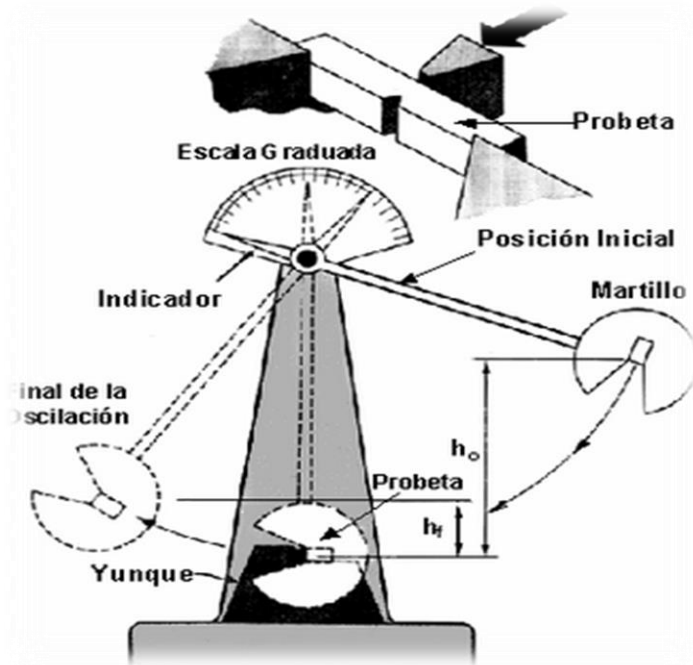


Figura 10: Ensayo de Jominy

15.2. Procedimiento experimental

- **Calentamiento:** Se coloca la probeta en un horno, el cual debe estar a la temperatura específica de austenitización según el acero que se esté probando, y se debe mantener esta temperatura durante un tiempo de 30 a 35 minutos sin que exista un efecto apreciable en los resultados. Es importante calentar la probeta en una atmósfera en la que prácticamente no se formen escamas de óxido y la descarburación sea mínima, esto puede lograrse calentando la probeta en posición vertical, dentro de un recipiente que contenga una capa de material carbonáceo que evite la descarburación, sobre la cual descansa la cara inferior de la probeta; el recipiente debe tener una tapa fácil de quitar.
- Como método alternativo la probeta se puede colocar en un tubo vertical montado en una base (ambos deben ser de aceros resistentes al calor), con un cuello adecuado para sujetarla con pinzas. Para evitar la formación de escamas de óxidos, se coloca en el fondo del tubo un disco de grafito, de carbón o una capa de material carbonáceo.
- Para dispositivos y hornos particulares, se determina el tiempo necesario para calentar la probeta a la temperatura de austenitización para temple insertando un termopar en un orificio taladrado axialmente en la parte superior de la

probeta. Este procedimiento se debe repetir periódicamente para cada combinación de dispositivos y hornos empleados.

- **Temple.** Se ajusta el dispositivo de temple de modo que el flujo de agua se eleve a una altura libre de 65 mm por arriba del extremo del tubo de 12.5 mm de diámetro interior; este paso se hace cuando la probeta no está en posición. El soporte para la probeta al principio de cada prueba debe estar seco, se debe colocar la probeta caliente en el soporte de manera que su cara inferior quede a 12.5 mm arriba del orificio y se permite el flujo de agua, mediante una válvula de apertura rápida. El tiempo transcurrido entre la remoción de la probeta del horno y el comienzo del temple debe ser como máximo 5 segundos, luego se dirige el chorro de agua a una temperatura entre 5 y 30°C, contra la cara inferior de la probeta durante 10 minutos como mínimo. En lo posible, se deben evitar corrientes de aire alrededor de la probeta durante su enfriamiento. Si la probeta no está fría cuando se la quita del dispositivo, debe enfriarse inmediatamente en agua.

- **Mediciones de dureza.** Las mediciones de dureza se efectúan en la escala de Rockwell C, la primera identificación se realiza a 1.5 mm del extremo templado y las distancias sucesivas entre los ocho primeros puntos de medición serán las siguientes 1.5 – 2 – 2 – 2 – 2 – 2 – 2 mm, los demás puntos se deben espaciar en general, en 5 mm. Sin embargo, la secuencia de los puntos de medida a partir del primero no es absoluta, ya que depende de las características del acero que se pruebe y de la precisión que se requiera en el trazado de la curva de templabilidad. Las determinaciones de dureza se deben efectuar en superficies planas y paralelas rectificadas a lo largo de la probeta. Se deben esmerilar las superficies a una profundidad mínima de 0.4 mm. En la determinación de la dureza Rockwell se recomienda un dispositivo para sujetar la probeta a fin de facilitar la prueba y asegurar exactitud en las determinaciones. Hay varios dispositivos adecuados para este propósito. No se debe apoyar la probeta en un bloque en V.

- **Cálculos y resultados.** Los resultados de la prueba se grafican en forma que las ordenadas representen valores de dureza Rockwell en escala C y las abscisas representan la distancia del extremo templado de la probeta a los puntos de las determinaciones de la dureza.

- **Índice de templabilidad.** La templabilidad de un acero se especifica mediante una clave que indica la distancia o distancias a partir del extremo templado de la probeta dentro de las cuales debe obtenerse la dureza especificada. Por

ejemplo, un acero aleado que contenga 0.44% de carbono podría especificarse con una templabilidad de J 50 – 10, lo que significa que el requisito mínimo para este acero sería una dureza de 50 R_c a una distancia de 10 mm del extremo templado. Si se desean los límites mínimos, el índice de templabilidad podría especificarse como J 50 – 5 a 20.

16 PRACTICA: DETERMINACION DE LA SEVERIDAD DE UN MEDIO TEMPLE

Es importante poder determinar, por un ensayo sencillo, la severidad de temple de un baño, bajo cualquier condición de trabajo. Rushman propuso un método para hacerlo, al que se podría calificar como el procedimiento inverso al método de Grossmann.

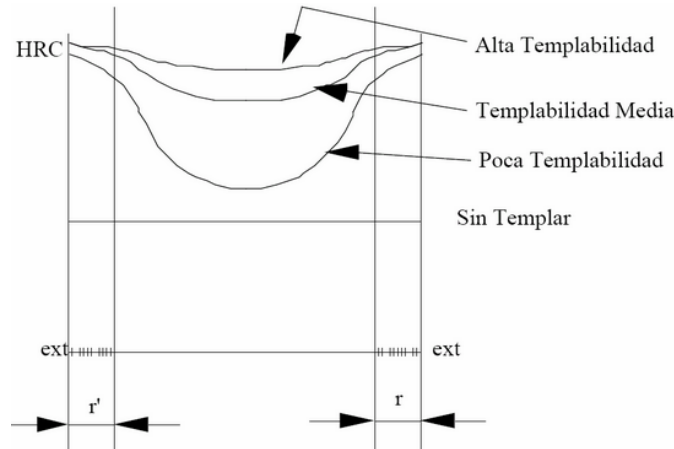


Figura 11: Diagrama de templabilidad

16.1. Método de Grossmann

Este método emplea una gráfica la cual permite seleccionar un acero para construir una pieza determinada que se debe temple desde la superficie hasta el centro.

La grafica relaciona el diámetro ideal de una barra de sección circular de un acero por temple en un medio de una cierta severidad de temple con las distancias a partir del extremo templado de una probeta de ensayo Jominy.

Supóngase que la pieza que se desea fabricar tenga 25 mm (1") de diámetro y que se dispone para su temple de un aceite bueno con agitación moderada ($H=0.35$). Se traza en la gráfica una línea horizontal por el punto correspondiente a 25 mm (1"). Por

el punto de intersección de la horizontal con la curva inclinada para $H=0.35$, se baja una línea vertical, la que corta al eje horizontal en 9.57 mm (6/16"). Empleando un catálogo de curvas de Jominy, se selecciona el acero que a 9.57 mm (6/16") tenga la dureza requerida.

16.2 Método de Rushman

Si se conocen las curvas de Jominy de un cierto acero y se dispone de la gráfica Grossmann es posible deducir la severidad de temple de un medio. Para ello se fabrica con dicho acero una probeta de 225 mm (9") de longitud. El diámetro mayor se elige de manera que la dureza en el centro de la barra caiga sobre la parte inclinada de la curva de Jominy. El diámetro menor se elige a la mitad del diámetro mayor.

Se coloca la probeta de ensayo junto con las piezas a temprar y se trata el conjunto templándolo en el medio de temple que se desea usar, luego se secciona la probeta en la mitad de las dos porciones y se mide la dureza en el centro de las semibarras. Se llevan dichos valores a la gráfica de Grossmann y uniendo los dos puntos obtenidos con el punto que queda afuera de la gráfica, se traza una recta. Por comparación con las curvas vecinas es posible asignar un valor a la severidad del medio temple.

17 PRACTICA: EFECTO DE MASA Y TAMAÑO DE SECCION EN LAS CURVAS DE ENFRIAMIENTO DURANTE EL TEMPLE

Dado que la extracción de calor de una pieza caliente, al ser templada se hace a través de su superficie, la relación de superficie a volumen tiene un papel importante en la velocidad de enfriamiento durante el temple.

17.1. Procedimiento experimental

Para la demostración, se procederá a temprar en aceite o agua barras de acero de 2, 4, 6 y 8 cm de diámetro por la misma longitud. Si el horno del que dispone es pequeño, elija cuatro diámetros más reducidos.

Inserte termopares en cada una de las barra, en la superficie, en el centro longitudinal y en la mitad del radio, conecte cada uno de ellos a un registrador potenciómetrico de varios canales. En caso de no disponer de tal equipo, repita tres veces la operación con el termo par conectado en las distintas posiciones de la probeta y tome las lecturas con un potenciómetro para termopares, durante el temple cada 15 segundos.

Ejercicio

Obtenga las gráficas de temperatura en función del tiempo para las tres posiciones en cada una de las muestras de distinto diámetro.

Determine la velocidad de enfriamiento para cada curva a 700, 600, 500, 400, 300, 200°C. Grafique la velocidad de enfriamiento contra la relación superficie/volumen para las distintas posiciones de los termopares.

Comente los resultados.

18 PRACTICA: DETERMINACION DEL MANCHADO POR ACEITES DE TEMPLE ENVEJECIDOS

Dos propiedades son fundamentales en aceite de temple cuando está en servicio: la severidad de temple y la propiedad de no manchar la superficie de las piezas. La severidad de temple ya se trató en las prácticas 15 y 16. Ahora se verá cómo se prueba el manchado.

18.1. Procedimiento experimental

El dispositivo para realizar estos ensayos es muy simple, de fácil construcción y sin problemas de manejo. Está constituido por un horno de calentamiento para llevar las piezas de ensayo hasta la temperatura de austenitización y un tubo interior con tapa y conexiones de entrada y salida de gas inerte, por ejemplo, nitrógeno. En el centro del horno hay un arillo cubierto con una red metálica en forma de coladero, que puede girar apoyado sobre la pared del tubo por medio de una manija que puede accionarse desde afuera del horno, y que sirve para colocar la probeta de prueba y hacerla caer, luego, en el aceite en el momento de templarla.

El tubo interior termina en un recipiente tapado donde se coloca el aceite por ensayar y que tiene una entrada para hacer circular una atmósfera inerte.

Conviene que las probetas de ensayo sean de acero inoxidable, con sus superficies bien pulidas.

Se conecta la alimentación del horno y se calienta hasta una temperatura conveniente, mientras tanto, se introduce la muestra de aceite por ensayar y se tapa el recipiente, luego se hace circular por el aparato una corriente de nitrógeno cuya velocidad se regula y observa por medio de un recipiente de burbujeo. No es

necesario medir el flujo, sino verificar que la atmosfera permanece circulando cuando el horno está caliente.

La probeta se introduce por la tapa superior, se espera a que se caliente y girando la manija se hace caer la probeta de ensayo en el aceite. Se desconecta el horno y luego de pocos minutos se retira la probeta del aceite, se lava con detergente, se enjuaga con alcohol y se seca con aire caliente.

Se busca cualquier rastro de manchado observando la superficie con una lupa. Si lo hubiera, se limpia la probeta con alguno de los procedimientos industriales con solventes. En caso que subsistan las manchas se reporta a la planta para que se reemplace el aceite de la cuba de temple por aceite nuevo.

19 PRACTICA: EFECTO DEL PORCENTAJE DE CARBONO COBRE EL TRATAMIENTO DE TEMPLE Y REVENIDO

El efecto primordial del carbono en los aceros es aumentar la templabilidad y la dureza de la estructura martensítica resultante durante el temple, así como afectar el proceso del revenido.

19.1. Procedimiento experimental

Para esta práctica se toman probetas pequeñas de 5 aceros al molibdeno (serie SAE 40xx), con diferentes contenidos de carbono de alrededor de 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6% C.

Se templen en agua desde su temperatura de austenitización. Se reserva una probeta en el estado de templado y una de cada uno de los aceros. Se reviene 1 hora a 200, 300, 400, y 500°C.

Se determina la dureza en cada probeta con un desbastado previo para asegurar que la superficie de ensayo no ha sufrido descarburación.

Se elabora una gráfica de dureza contra temperatura de revenido y en ella se representa una curva para cada uno de los aceros, con los valores de dureza de la condición “templada” y las cuatro condiciones “revenida”.

20 PRACTICA : REVENIDO DE LOS ACEROS

Se llama revenido al recalentamiento de una estructura martensítica dura y frágil, se emplea para mejorar la ductilidad y la tenacidad, generalmente a expensas de una reducción en la resistencia a la fluencia. También sirve para relevar esfuerzos introducidos por el enfriamiento rápido durante el temple.

Los materiales por ensayar son:

1. acero al carbono (por ejemplo, un SAE 1040)
2. acero aleado que no contenga molibdeno (SAE 5140)
3. acero aleado que contenga molibdeno (SAE 4140)
4. acero aleado que presente endurecimiento secundario (por ejemplo, un H11)

Todos los materiales estarán en el estado templado.

Seleccione muestras para las pruebas de tensión y de impacto de cada uno de estos aceros y sométalas a un tratamiento de revenido de 2 horas a una temperatura por debajo de 650°C. (Consulte con su supervisor acerca de la temperatura que debe usarse.)

En cada caso se deben tratar suficientes muestras para impacto (como mínimo ocho) para poder determinar la temperatura de transición dúctil-frágil. Para ello, realice los ensayos de impacto entre -196° y 100°C. Se realizaran ensayos de dureza sobre las probetas de impacto y se estudiara la microestructura luego de haber sido ensayadas.

Realice los ensayos de tracción y obtenga las curvas tensión-deformación para cada acero. Obtenga de ellas los valores del límite de fluencia, la resistencia máxima a la tensión y la deformación porcentual.

21 PRACTICA: REVENIDO DE ACEROS (GRAFICA DE HOLLomon-JAFFE)

Durante el revenido de los aceros templados se produce un ablandamiento del acero, a medida que aumenta el tiempo y la temperatura de revenido.

El ablandamiento puede representarse por curvas *isócronas*, en una gráfica de dureza en función de la temperatura, a tiempos de revenidos fijos.

Alternativamente, la dureza puede ser representada en función del tiempo a una serie de temperaturas fijas (*curvas isotérmicas*). Si estas curvas se representan en escala logarítmica del tiempo resultan líneas rectas para cada temperatura.

Como el ablandamiento depende del tiempo y de la temperatura, simultáneamente, la forma más conveniente para representar el revenido es por *líneas de isodureza* en un diagrama de temperaturas en función del logaritmo del tiempo.

Otra manera de evitar la dificultad de una representación bidimensional de tres variables es usar un parámetro de revenido. Se han sugerido una variedad de parámetros, pero el que mejor responde al comportamiento de los aceros durante el revenido es el parámetro H de Hollomon y Jaffe, dado por la expresión:

$$H = T(C + \log t)$$

Donde T es la temperatura absoluta, C es una constante y *t* es el tiempo; C no es afectada por las unidades de temperatura elegidas sino que depende sólo de las unidades de tiempo. Para la mayoría de los aceros al carbono y de baja o media aleación, con 0.15 a 0.5% C, es suficiente tomar C = 20 cuando el tiempo se mide en horas.

Ejercicio

Se revenirá un acero (SAE 4140 o H11) en un intervalo de temperaturas entre 200 a 650°C, a tiempos comprendidos entre 0 y 24 horas.

Haga los ensayos de dureza y grafique:

- 1) Las curvas isotérmicas
- 2) Las curvas isócronas
- 3) Construya la curva de Hollomon y Jaffe a partir de los valores experimentales.

22 PRACTICA: ENDURECIMIENTO SECUNDARIO DURANTE EL REVENIDO

Existe un grupo de aceros para herramientas que presentan la peculiaridad de aumentar su dureza durante el revenido, hasta un valor máximo, antes de ablandarse de manera similar a los aceros al carbono. Este endurecimiento suplementario se conoce con el nombre de endurecimiento secundario.

Para mostrar este comportamiento se toman muestras de algún acero para herramientas del tipo M o T. se austenitiza a 1285°C y se temple al aire. Se ponen a revenir en grupos de tres muestras por horno a temperaturas de 100°, 150°, 200°, 250°, 300°, 350°, 400°, 450° y 500° C, y se sacan a 6, 60 y 600 minutos.

Ejercicio

Se determinan las durezas y se representan en función de la temperatura para cada tiempo de tratamiento. Represente las tres curvas en un mismo gráfico.

Comente los resultados.

23 PRACTICA: EFECTO DE LA TEMPERATURA DE AUSTENITIZACION SOBRE LA RESPUESTA DURANTE EL ENDURECIMIENTO SECUNDARIO DE ACEROS PARA HERRAMIENTAS

Los aceros para herramientas con alto contenido de aleantes son muy sensibles a la temperatura de austenitización empleada para el temple. Esto se manifiesta muy claramente en las durezas obtenibles durante el revenido posterior.

Para ejemplificar este comportamiento se toman muestras pequeñas de un acero para herramientas del tipo M o T y se austenitizan a tres temperaturas 1750°, 1950° y 2050°C. Se procede a revenirlas a 100°, 150°, 200°, 250°, 300°, 350°, 400°, 450° y 500° C, durante 2 horas.

Se miden durezas en las muestras y se construye una gráfica de durezas en función de la temperatura.

Deduzca de la ecuación de Hollomon y Jaffe la expresión de C y calcúlela a partir de los datos experimentales.

Grafique la dureza en función de la expresión $T (C + \log t)$ para las tres temperaturas de austenitización empleadas y comente los resultados obtenidos en cada uno de los pasos realizados.

24 PRACTICA: FRAGILIZACION POR REVENIDO

Durante el revenido entre 260 a 315°C, los aceros al carbono y los de baja aleación pierden su tenacidad, lo que se puede detectar por ensayos de impacto.

Parte experimental

Para detectar la fragilización por revenido se preparan 10 probetas para impacto de alguno de los siguientes aceros: SAE 3140, SAE 3340, SAE 8620, O SAE 5140. Dichas probetas se austenitizaran a la temperatura especificada y se les templará en aceite. Luego se procederá a revenirlas entre 200 y 650°C en intervalos de 50°C, durante 2 horas. A partir de la temperatura de revenido se templean en salmuera y se ensayan en un péndulo para impacto.

Los resultados de la energía de impacto a la ruptura hallados se grafican en función de la temperatura de revenido.

Indique el intervalo de temperaturas de fragilización por revenido para el acero empleado.

25 PRACTICA: ENVEJECIMIENTO DE LOS ACEROS

Hasta ahora se han considerado aceros en los cuales se ha alcanzado una gran resistencia mediante temple para producir una estructura martensítica dura, la cual luego se ha ablandado aumentando su tenacidad por un tratamiento de revenido.

A diferencia de éstos, recientemente se encuentran en el comercio aceros que utilizan las reacciones de endurecimiento por envejecimiento similares, en principio, a las usadas en las aleaciones no ferrosas, las cuales están bien conocidas y establecidas.

En estos casos la dureza se desarrolla durante lo que se podría llamar un tratamiento de revenido

En este trabajo se usaran dos aleaciones de este tipo, a saber:

1. Un acero de baja aleación (0.14% C, 1.0% Ni, 0.4% Cu)
2. Un acero inoxidable que contiene 0.1% C, 4% Ni, 24% Cr, 2% Ti.

De estos aceros se tomarán muestras de dilatometría y pequeñas muestras metalográficas.

1. Dilatometría

Construya una curva dilatométrica para cada uno de estos aceros durante un tratamiento de disolución a 950°C y un tratamiento de envejecimiento a 600°C. Es necesario mantener la muestra sólo 15 minutos a 950°C antes de enfriar, pero ésta deberá recalentarse tan pronto como sea posible a 600°C y mantenerse a esta temperatura durante 90 minutos.

2. Dureza

Las muestras pequeñas se austenitizarán a 950°C durante 15 minutos y se templarán en agua a temperatura ambiente.

Se determinará la dureza en una de las muestras y se recalentará el resto a alguna temperatura entre 450° y 650°C, siguiendo las instrucciones del supervisor. Se retirarán las muestras a 5, 10, 20, 40, 80 y 160 minutos. En cada una de ellas se ensayará dureza.

Se examinarán las muestras metalográficamente y se elaborará una gráfica de dureza en función del tiempo de envejecimiento.

En el caso del acero inoxidable no es necesario el tratamiento de austenitización y las muestras se deberán recalentar entre 550° y 750°C.

26 PRACTICA: CAMBIOS DE DIMENSIONES DURANTE EL TEMPLE CONVENCIONAL Y EL TEMPLE INTERRUMPIDO

En muchas circunstancias es importante conocer cómo afecta la selección de un acero o las condiciones del tratamiento térmico, tales como la temperatura de austenitización, la agitación del medio de temple o su temperatura, en los cambios de dimensiones de una pieza.

Si la pieza tiene forma complicada es importante poder decidir, con base en costos, si conviene reemplazar el tratamiento de temple convencional por un tratamiento de temple interrumpido.

Las posibilidades para estudiar la magnitud de las distorsiones van desde ensayar, a nivel de laboratorio, varias piezas terminadas en distintas condiciones de tratamiento térmico, hasta emplear probetas de ensayo de distorsión del mismo acero con que se planea construir las piezas. La elección más rigurosa e informativa es emplear una probeta en forma de *C*.

Parte experimental

Se maquina una probeta con la precisión de 0.025 mm (0.001") y se miden sus dimensiones *A*, *B*, *C*, *D* y *E*.

La probeta se trata en las condiciones elegidas de trabajo en planta y luego se repiten las medidas anteriores.

Se elabora una tabla con la variación de las dimensiones ΔA , ΔB , ΔC , ΔD , ΔE , variando las condiciones de tratamiento térmico como, por ejemplo, la agitación del baño de temple.

Trate una probeta *C* en temple interrumpido y compare si distorsión con los resultados anteriores.

27 PRACTICA DETERMINACION DEL PUNTO DE ROCIO DE LA ATMOSFERA DE UN HORNO EMPLEANDO UN VASO DE NIEBLA

A cierta temperatura y determinada presión, una mezcla de gases separará su contenido de humedad. Se denomina punto de rocío a la temperatura a la cual se condensa la humedad.

Cuando una mezcla, en proporciones fijas de hidrocarburo gaseoso y aire se calienta de manera de que se produzcan las reacciones químicas entre ellos y se alcance un equilibrio, el punto de rocío reflejará el balance químico de los varios componentes de la reacción.

El empleo del punto de rocío para controlar el potencial de carbono de una atmósfera, a través de su relación con algún constituyente, se muestra a continuación.

28 PRACTICA: DESCARBURACION

La descarburación es un proceso de pérdida de carbono en la superficie del acero, debido a un calentamiento prolongado o al empleo de temperaturas de austenitización demasiado elevadas.

Cuando la descarburación se produce en piezas que deben trabajar en fatiga o que se deben temprar, su respuesta es pobre.

Según el uso a que sean destinadas, es necesario asegurar que la descarburación es mínima o que se halla completamente ausente.

Para medir la profundidad de la capa descarburada se emplean, en general, uno de los siguientes pasos:

1. Medidas de microdureza sobre la sección transversal.
2. Análisis químico del porcentaje de carbono, realizado sobre virutas obtenidas por maquinado de la superficie a diferentes profundidades.
3. Por estudio metalográfico de la sección transversal, convenientemente pulida y atacada.

Procedimiento experimental

Para este estudio se emplearán las probetas que se ensayaron en la práctica 11. Para ellos se cortarán transversalmente o se les desbasta los extremos para quitarles la parte descarburizada. Se pulen y atacan y se observan en un microdurómetro colocando la probeta de manera que la tangente a la superficie lateral sea paralela a

uno de los ejes de lectura. Se procede a elegir el peso de carga tal que el tamaño de la impronta caiga en la mitad de las tablas de lectura y se hacen las improntas a distancias convenientes a partir del extremo de tangencia, en la dirección del radio, hacia el centro de la probeta.

Se miden las improntas, se buscan los valores de dureza de las tablas y se grafican éstos en función de la distancia al borde hasta que cinco improntas sucesivas den los mismos valores de dureza que el centro de la probeta. Sobre la gráfica se mide la distancia desde el borde hasta que la curva comienza a ser horizontal. Este valor es la profundidad de capa descarbonada.

Repita la operación para cada una de las probetas de distintas temperaturas. Elabore una gráfica de profundidad de capa descarbonada en función de la temperatura de austenitización.

29 PRACTICA: MEDICION DE CAPA DESCARBURADA POR EL METODO DE LA CUERDA

29.1. Introducción

Cuando un acero se calienta en un medio capaz de reaccionar con el carbono de la superficie, se produce su descarbonación, cuya magnitud es función del tiempo de permanencia en la atmosfera, la temperatura, el coeficiente de difusión del carbono y del potencial de carbono del medio.

Una manera de verificar la profundidad de la descarbonación es tomar medidas de dureza a distintas distancias por debajo de la superficie, sea en la sección transversal o por pasos de maquinado, y representar dichas durezas en función de la profundidad a la que fueron tomadas. Una curva tal puede dar información sobre dos valores importantes:

1. La profundidad, definida como la distancia por debajo de la superficie descarbonada a la cual la dureza alcanza el valor de dureza del núcleo, o de un valor arbitrario permitido, en general de 1.5 puntos de Rockwell C por debajo del valor del núcleo.
2. La severidad, definida como la diferencia entre la dureza mínima especificada y la dureza en la superficie o a una distancia pequeña elegida arbitrariamente, en general a 0.0075 mm (0.0003") con un máximo de 5 puntos Rockwell C de diferencia.

Una manera de medir dureza en la proximidad de la superficie es emplear microdureza pero la primera indentación debe estar a una distancia de la superficie mayor de 0.0375 a 0.050 mm (0.0015 A 0.002”).

Otra manera de superar este problema es realizar los ensayos de microdureza no sobre la superficie transversal de la muestra sino sobre una superficie que forme un ángulo arbitrario, por decir 150°, con la superficie. Esta elección de la superficie de lectura magnifica la capa descarburada en dos veces.

Una manera más conveniente de medir pequeñas descarburaciones es el método de la cuerda. Esta tiene la ventaja de que el ángulo entre la cuerda de un círculo y la tangente en el extremo de la cuerda magnifica la capa superficial y provee soporte para los ensayos de microdureza.

La probeta es un disco o medio disco montado para metalografía y apoyado sobre la superficie cilíndrica. Se pule una superficie equivalente a la cuerda del círculo, de una longitud conveniente.

Luego de realizados los ensayos de microdureza sobre la superficie expuesta, debe hacerse la conversión de la distancia aparente a la distancia real (d) por debajo de la superficie descarburada.

Esta es:

$$d = r - \sqrt{r^2 - \Delta(c - \Delta)}$$

Donde r es el radio del disco, Δ es la distancia desde el extremo de la cuerda (distancia de ensayo) y c es la longitud de la cuerda

La deducción de la ecuación anterior es:

$$y^2 = X^2 + [1/2 c - \Delta]^2 ; X^2 = r^2 - [1/2 c]^2$$

$$y^2 = r^2 - [1/2 c]^2 + [1/2 c - \Delta]^2$$

$$y^2 = r^2 - [1/2 c]^2 + [1/2 c]^2 - c\Delta + \Delta^2$$

$$y^2 = \sqrt{r^2 - c\Delta + \Delta^2} ; d = r - y$$

$$d = r - \sqrt{r^2 - \Delta[c - \Delta]}$$

En primera aproximación se puede hacer $d = c\Delta - \Delta^2/2r$ con un error no mayor del 3%.

Parte experimental

A partir de una barra redonda de un acero SAE 1080 machine discos seleccionando diámetros para producir la magnificación deseada, combinada con una longitud de cuerda conveniente. Es esencial asegurar que la superficie de la barra quede libre de descarbonación por maquinado. Los discos se dimensionan tal que $6.25 \text{ mm} < r < 12.5 \text{ mm}$ ($0.250'' < r < 0.500''$).

Haga las improntas de microdureza y mídasalas. Convierta la distancia medida desde el borde en distancia real. Determine la profundidad y la intensidad de la carburación.

30 PRACTICA: CEMENTACION DE ACEROS

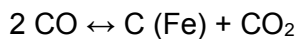
Por medio del enriquecimiento superficial de los aceros de bajo carbono es posible obtener un núcleo relativamente resistente y dúctil. A la vez que una superficie dura y resistente al desgaste.

El proceso de cementación implica dos partes:

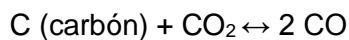
1. La disolución del carbono en la superficie del acero y
2. su difusión hacia el interior de la pieza

El método más primitivo, pero de uso generalizado, es la cementación en caja en la cual el acero se rodea de carbón que contiene carbonato de bario. El acero se calienta dentro de la caja cerrada durante tiempos variables, según la profundidad de capa deseada.

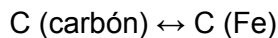
La reacción que se produce es:



Donde el monóxido es regenerado por reacción del dióxido con el carbón de la caja:



Si se suman las dos ecuaciones anteriores se tiene:



En la cementación en caja, el carbono disuelto en la superficie del acero tendrá siempre una concentración que se aproxima a la de equilibrio con el carbón puro a la temperatura de cementación.

El carbono penetra por difusión atómica a través de un gradiente de concentración establecido entre la superficie y el núcleo. La teoría de la difusión muestra que cuando un soluto difunde en el interior de un sólido a través de una superficie de

concentración de soluto constante (como es el caso de la cementación en caja), la distancia X [cm] a partir de la superficie a la cual la concentración es la mitad entre la concentración inicial de soluto y la concentración en la superficie, está dada por:

$$X = \sqrt{t D}$$

Donde t es el tiempo medido en segundos y D es la difusividad del soluto expresada en $\text{cm}^2 \text{seg}^{-1}$.

Por tanto, es posible estimar la profundidad de la capa en función del tiempo de cementación a cualquier temperatura, conociendo la difusividad del carbono en la austenita. Esta está dada por la expresión:

$$D = D_0 \exp - Q/RT$$

Donde R es la constante de los gases = $2 \text{ cal.mol}^{-1}.\text{grado}^{-1}$ y T es la temperatura, en grados Kelvin.

Tanto D_0 como Q varían con la concentración de carbono pero, en primera aproximación, puede suponerse

$$D_0 = 0.2 \text{ cm.seg}^{-1}$$

$$Q = 32,000 \text{ cal.grado}^{-1}$$



Figura 11: *Proceso de sedimentación del acero*

Procedimiento experimental:

Una serie de muestras de algún acero para cementación, en forma de barra, serán cementadas en una caja de hierro contenido

Carbón vegetal	53 a 55%
Coque	30 a 31%
Carbonato de sodio	2 a 3%
Carbonato de bario	10 a 1 2%
Carbonato de calcio	3 a 4%

Una vez acomodadas las piezas y el relleno, la tapa de la caja se sella con arcilla. Se someten las muestras a los siguientes tratamientos:

<i>Muestra</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Enfriamiento</i>
<i>A</i>	900°C	5 h	En caja
<i>B</i>	900°C	20 h	En caja
<i>C</i>	900°C	80 h	En caja
<i>D</i>	850°C	80 h	En caja
<i>E</i>	950°C	20 h	En caja

Las muestras se cortan por la mitad y una mitad se someten a un recalentamiento hasta la temperatura de temple (ver tabla siguiente) y se templean en salmuera. Luego se reviene durante 5 minutos a 200°C.

Sobre las mitades que no se han templado se determinará el tamaño de grano (ver práctica 7). Comente los resultados.

<i>Acero SAE</i>	<i>Capa a 50 R_c</i>	<i>Temperatura de carburación</i>	<i>Temperatura de temple</i>	<i>Temperatura de revenido</i>
1020	3.0 mm	925°C	790°C	150°C
1020	1.2 mm	955°C	790°C	150°C
1022	1.8 mm	940°C	790°C	205°C
1025	4.0 mm	955°C	830°C	
1030	4.0 mm	940°C		
1035	3.8 mm	940°C		
2317	1.8 mm	925°C		
2317	0.6 mm	925°C		
2317	0.9 mm	900°C		
2325	5.6 mm	955°C		
3115	4.0 mm	925°C		
8620	6.9 mm	1050°C	845°C	175°C

Sobre las mitades templadas se determinará la dureza Rockwell C en la dirección del radio a intervalos de medio milímetro. Dibuje el perfil de la capa cementada en una gráfica de dureza en función de la distancia al borde. Determine la capa total y la capa efectiva a 50 R_c . Verifique la desviación de la curva experimental respecto de la ecuación de Harris.

31 PRACTICA: RESTAURACION DE CARBONO

En muchos casos es deseable restaurar el carbono de la superficie de piezas que por un accidente o falta de experiencia, resultaron descarburadas.

- 1) Un gradiente uniforme de carbono de superficie hacia el centro de la pieza.
- 2) A veces se busca, aunque esto es más difícil de obtener, una composición constante de centro a borde de pieza.

Procedimiento experimental

Empleando el procedimiento descrito en la práctica 30, se introducirán las probetas de la práctica 10 en un medio cementante sólido.

Se elegirá un tiempo y una temperatura convenientes empleando la expresión de Harris.

Luego del tratamiento se procede a determinar, por medio de microdurezas (ver practica 28) el perfil de restauración alcanzado. Es importante que luego de la restauración no quede un anillo descarburado intermedio ya que éste perjudica las propiedades finales de las piezas.

32 PRACTICA: EFECTO DEL REVENIDO SOBRE CAPAS CEMENTADAS

El objetivo de esta práctica es demostrar el efecto de los aleantes sobre la respuesta al revenido de capas cementadas.

Para ello, se cementan barras de 20 mm de diámetro por 40 mm de longitud, de los aceros SAE 1020, SAE 4820 y SAE 8720 hasta profundidades de capa de 3 mm, y se enfriarán al aire. Se recalentarán hasta la temperatura de austenitización y se templarán en aceite. Se reserva una de las probetas y se coloca una probeta de cada uno de los aceros en tres hornos a 200, 300 y 400°C durante 2 horas. Se seccionan por la mitad y se efectúan ensayos de dureza a partir de la superficie hasta que se llegue a los valores de dureza iguales al del centro de la probeta.

Grafique dichos valores para cada acero, en función de la distancia por debajo de la superficie. Se debe obtener una curva para el estado templado y una para cada uno de los tratamientos de revenido.

Determine sobre cada una de las curvas: a) capa total, b) capa efectiva a 50 R_c .

Compare las tres gráficas obtenidas y comente los resultados.

33 PRACTICA: MEDICION DE CAPA NITRURADA

Seleccione dos aceros convenientes para nitruración (*H11*, *M50*, *D2*, SAE 4140, SAE 4340, SAE 6150) y un acero SAE 1012.

Coloque el horno de laboratorio dentro de una campana de extracción de gases e introduzca en él una galera que contenga la mezcla de sales para nitruración. Encienda el horno y hágalas fundir con cuidado, para evitar salpicaduras. Es conveniente cubrir la boca de la galera con un tapón refractario o con una red metálica de malla cerrada. No olvide que las sales de cianuro son *venenosas* y se deben manipular con cuidado para evitar accidentes.

Cuando las sales estén fundidas, ajuste el aparato de control de temperaturas del horno para que se mantenga a 565°C, e introduzca las piezas en el baño. Luego de un tiempo entre 1 y 3 horas retírelas y déjelas enfriar. Apague el baño y déjelo enfriar tapado.

Determinación metalográfica:

Luego de pulidas, las muestras se deben atacar con algunos de los reactivos de ataque para evaluar la capa nitrurada.

Mida directamente en el microscopio la capa nitrurada empleando un ocular graduado sobre una fotomicrografía. La zona oscurecida corresponde a la capa total.

Determinación por microdureza:

Realice una serie de improntas de microdureza Vickers o Knoop sobre la superficie transversal. Determine la capa total y la capa efectiva a 60 R_c sobre una gráfica de microdurezas en función de la distancia al borde.