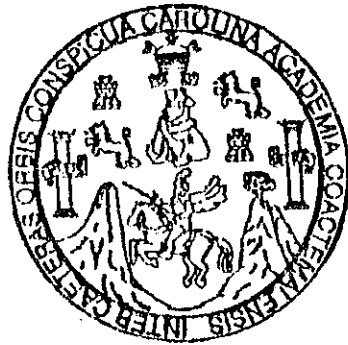


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**RESULTADOS OBTENIDOS EN PRACTICAS DE
CEMENTACION PARA ENGRANAJES RECTOS**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA**

POR

VICTOR MANUEL RUIZ HERNANDEZ

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO

Guatemala, enero de 1997

08

+ (3944)

C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

RESULTADOS OBTENIDOS EN PRACTICAS DE CEMENTACION
PARA ENGRANAJES RECTOS

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha del 10 de marzo de 1995.



Victor Manuel Ruiz Hernandez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



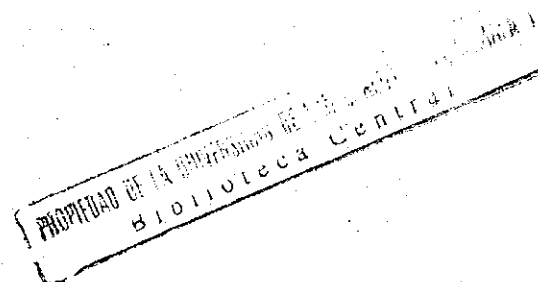
FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Angel Sanchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Fernando W. de León Contreras
VOCAL 5o.	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO	Ing. Gilda M. Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio I. Gonzales Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Hugo M. Rivera
EXAMINADOR	Ing. Jorge R. Soto
EXAMINADOR	Ing. Carlos Perez
SECRETARIO	Ing. Francisco J. Gonzales López



Guatemala, 16 de septiembre de 1996

Ingeniero
Ino. Jorge Siquero
Director de la Escuela de Mecánica,
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería, USAC.

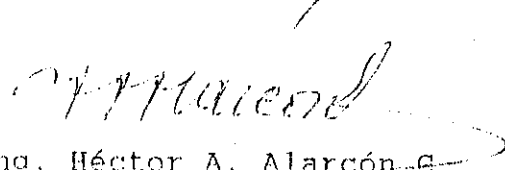
Señor Coordinador,

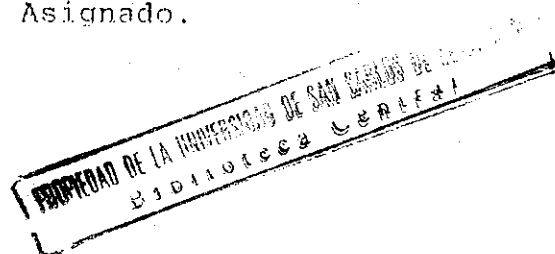
Atentamente, me dirijo a usted para informarle que he tenido a bien asesorar el trabajo de tesis "RESULTADOS OBTENIDOS EN PRÁCTICAS DE CEMENTACIÓN PARA ENGRANAJES RECTOS", del estudiante Víctor Manuel Ruiz Hernández; previo a optar el título de Ingeniero Mecánico.

Al respecto quiero indicarle, que luego de efectuadas las revisiones y correcciones del caso, encuentro satisfactorio el trabajo, por lo que procedo a aprobarlo y remitirlo a usted para su trámite correspondiente.

El autor de esta tesis y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,


Ing. Héctor A. Alarcón-G
Colegiado No. 2540
Asesor Asignado.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del Área de Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor, y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Resultados Obtenidos en Prácticas de Cementación para Engranajes Rectos, del estudiante Víctor Manuel Ruiz Hernández, recomienda su autorización.

LEY Y ENSEÑANZA A TOROS

Ing. José Arturo Estrada Martínez

Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 1, 1996.

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

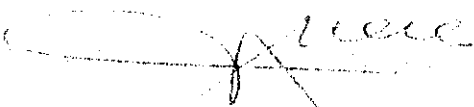


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área de Materiales, al trabajo de tesis titulado Resultados Obtenidos en Prácticas de Cementación para Engranajes Rectos, del estudiante Victor Manuel Ruiz Hernández, procede a la autorización del mismo.

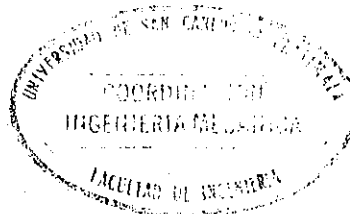
LE Y ENSEÑAR A TODOS


Ing. Jorge C. Sigüera Rockstroh

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, noviembre de 1, 1996

/behdel



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

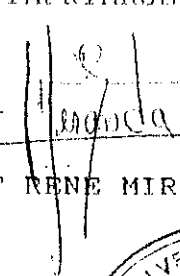


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

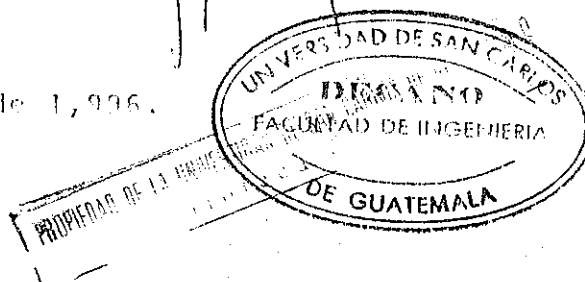
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tuvo de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Jorge C. Siguero Rochstroh, al trabajo de tesis titulado **Resultados Obtenidos en Prácticas de Cementación para Engranajes Rectos**, presentado por el estudiante universitario Victor Manuel Ruiz Hernández, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE


ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

Guatemala, noviembre de 1, 1996.

/s/decidei.



AGRADECIMIENTO

-A DIOS, por brindarme la sabiduría e inteligencia para lograr la meta propuesta.

- Al señor Miguel Rosales, Gerente General de Talleres Rosales Tobar, por permitirme realizar en estas instalaciones las pruebas de cementación y temple en las probetas ensayadas.

-Al personal de Talleres Rosales Tobar por su valiosa colaboración en la realización de estas pruebas.

- A Fidel Ruiz por su valiosa colaboración.

- A todas aquellas personas que colaboraron de una u otra forma para la realización de este trabajo.

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES	Cecilio Ruiz Perez Maria A. Hernandez de Ruiz
A MIS HERMANOS	Marco Antonio y Olga J.
A MIS ABUELOS	Paulino Ruiz (Q.E.P.D.) Transito Perez (Q.E.P.D.) Cruz Hernandez Maria Revolorio
A MIS CUÑADOS	Arturo Cabrera y Anabella Sen
A MIS SOBRINOS	Astrid, Fredy, Maria, Luis y Marco
A MI FAMILIA EN GENERAL	
A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS	Con especial afecto
EN ESPECIAL A	HELEN GOMEZ
Y A USTED	Respetuosamente.

INDICE GENERAL

Introducción 1

CAPITULO 1

TRATAMIENTOS TERMICOS

Cementación	3
Cementación en caja	4
Cementación en baño de sales	14
Cementación en fase gaseosa	16
Temple	18
Calentamiento	19
Enfriamiento rápido	19
Colocación de piezas para enfriamiento	20
Revenido	22
Revenido a baja temperatura	22
Revenido a alta temperatura	23
Hornos para tratamientos térmicos	24
Materiales para cementación en el medio	28
Dureza	29

CAPITULO 2

EXPERIENCIA EN EL CEMENTADO Y TEMPLADO DEL ACERO

Procedimiento del ensayo	34
Técnicas de cementación	35
Cajas de cementación	36
Técnicas de temple	37
Procedimiento de enfriamiento	38
Medición de la capa cementada	39
Medición de la capa templada	40
Resultados	41

CAPITULO 3

EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN CEMENTADO Y TEMPLE DOBLE EN EL ACERO

Procedimiento del ensayo	46
Técnicas de cementación	47
Técnicas de temple	48

CAPITULO 4

EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN CEMENTACION Y TEMPLADO
DE ENGRANAJES RECTOS COMERCIALMENTE EN EL MEDIO

Características del engranaje utilizado	53
Temperatura de cementación y temple efectuado	54
Prueba de dureza obtenida	55
Prueba de la profundidad obtenida	55
Resultados	56
Conclusiones	57
Recomendaciones	60
Bibliografía	61
Anexo	62

LISTA DE SIMBOLOS

Ac	Temperatura critica
°C	Grados centigrados
%	porcentaje
Rc	Dureza Rocwell
Hb	Dureza Brinell
C	Carbono
Ni	Niquel
Si	Sílicio
Ni	Níquel
Mn	Manganeso
Kg	Kilogramo
mm	milimetro

GLOSARIO

ACERO: producto formado por hierro y carbono, siendo un carburo de hierro.

AUSTENITA: denominación de la estructura cristalina cúbica centrada en las caras del hierro

CEMENTITA: compuesto intermetálico duro y frágil, que cuando se dispersa apropiadamente, proporciona el endurecimiento en los aceros.

CEMENTAR: tratamiento térmico superficial por adición de carbono en el acero, durante su calentamiento con algún material carbonoso que puede ser sólido, gaseoso o líquido.

DUREZA: resistencia del material a la penetración sobre su superficie.

FERRITA: denominación de la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del hierro.

MARTENSITA: fase metaestable formada en el acero y otros materiales a través de una transformación atérmica.

NITRURAR: tratamiento térmico superficial, en el cual el metal se calienta en contacto con gas amoníaco (NH_3).

PERLITA: microconstituyente laminar bifásico, que contiene ferrita y cementita.

RECOCIDO: tratamiento térmico utilizado para eliminar total o parcialmente el efecto de trabajo en frío.

REVENIDO: tratamiento térmico utilizado para reducir la dureza de la martensita.

TEMPLE: tratamiento térmico de calentamiento y enfriamiento brusco controlado, que causa el endurecimiento del acero.

INTRODUCCION

Por la necesidad que existe en la industria actualmente, se fabrican engranajes que se requieren un tratamiento térmico. Durante la cementación por el tipo de material, forma de engranaje que se le debe proporcionar una temperatura y un tiempo en que se va a mantener a esa temperatura, son factores que se desconocen actualmente.

En los talleres de fabricación de engranajes, se les da una cementación y temple empíricamente sin ningún control y, debido a eso, llegan a obtener características no deseadas en el engranaje como fisuras, rajaduras, dientes quebrados , etc..

El objetivo de esta experiencia en la cementación es muy util en la industria, y proporciona una tecnica de cementación para que se pueda utilizar para todo tipo de engranaje que se requiera dar un tratamiento térmico.

Poder ayudar con una gráfica, revisar la penetración de endurecimiento a cierto tiempo de temperatura de cementación. Al hacer un engranaje, se pueda escoger el material adecuado para la fabricación de los mismos y proporcionar propiedades de dureza.

Un obojtivo específico es obtener un mejor tratamiento térmico de cementación, así evitar, como actualmente sucede, los defectos durante la cementación y temple.

En esta experiencia, se limitó sólo con la cementación de engranajes rectos. Se utilizó un horno eléctrico común y no se empleó una caja de cementación de acero inoxidable que era lo indicado por costo del acero; se usó aceite quemado común y no un aceite adecuado para enfriar piezas de temple.

Para poder tener una buena comprensión de su determinación, realización y aplicación, este estudio se dividió en 4 fases. La primera trato sobre los principios básicos de los tratamientos térmicos como la cementación, temple, revenido y la dureza. También se estudiaron los hornos que se utilizan en los tratamientos térmicos.

La segunda fase informa sobre la experiencia en la cementación con temple simple; se hizo con 6 probetas que son cementadas y templadas, y se efectuaron sus respectivas pruebas.

La tercera fase trato de la experiencia en la cementación con doble temple; cada probeta se cementa y temple inmediatamente y se llevaron a cabo sus pruebas.

En la última fase se hizo cementar y templar un engranaje con los parámetros que se obtuvieron.

CAPITULO 1

TRATAMIENTOS TERMICOS

La cementación consiste en dar una dureza superficial y un núcleo suave y tenaz a las piezas. Por ejemplo en los engranajes, se requiere un núcleo suave en el diente.

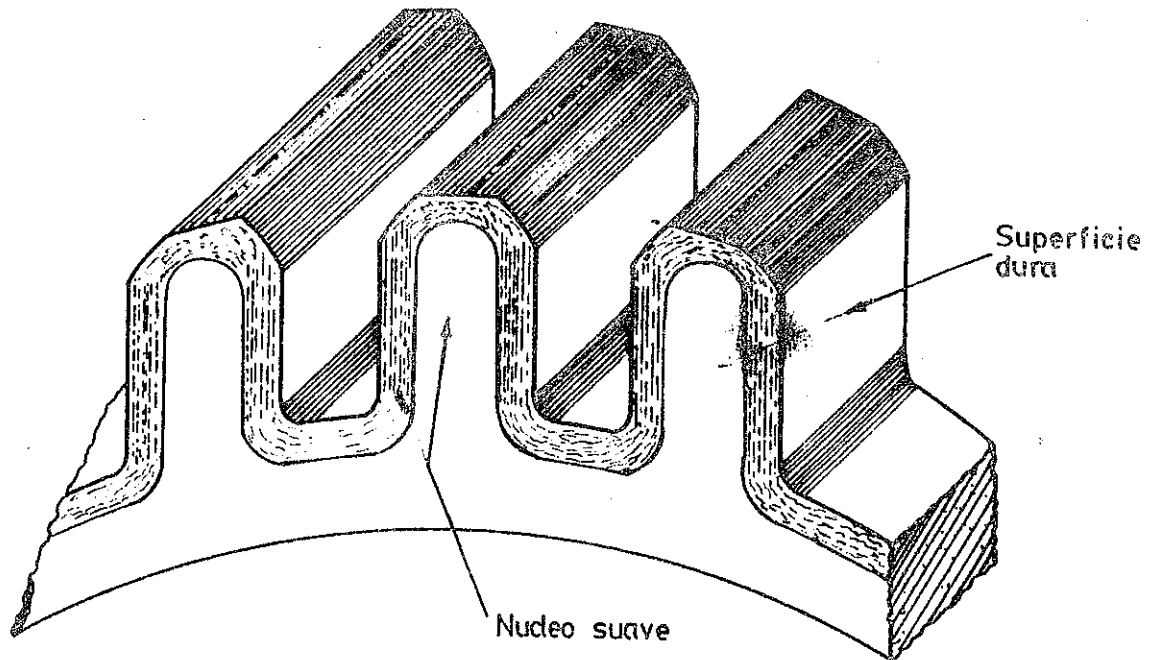


Fig 1

Este tratamiento térmico de cementación les da propiedades de resistentes al desgaste, y a la vez tenaces a los engranajes de diente recto.

CEMENTACION

Consiste en efectuar un calentamiento prolongado de las piezas de acero a elevada temperatura en un ambiente sólido, líquido o gaseoso, capaz de suministrarle carbono. La duración del tratamiento se fija teniendo en cuenta la menor o mayor profundidad de la capa rica en carbono que se desea obtener, y la mayor o menor velocidad con que el carbono penetra en el interior de la pieza,

según el proceso de cementación que siga.

Al tratamiento de cementación propiamente dicho, sigue siempre un tratamiento térmico de temple.

Las piezas que se someten a cementación carburante se fabrican siempre empleando los aceros llamados de cementación; éstos son aceros con bajo contenido en carbono, siempre inferior a 0.20%. La finalidad es hacer que con el tratamiento térmico de temple subsiguiente, sólo la zona exterior enriquecida en carbono pueda tomar la elevada dureza de temple, mientras que, por el contrario, el núcleo permanece con el reducido contenido de carbono de partida, y no pudiendo adquirir dureza se mantiene con gran tenacidad.

Los aceros de cementación deben ser muy puros, esto es, con porcentajes mínimos de azúfre y fósforo, que son elementos que obstaculizan la uniforme absorción del carbono por parte del material y dan a este fragilidad.

Los aceros de cementación pueden ser al carbono o aleados, según que en ellos haya o no elementos especiales (cromo, níquel, molibdeno) con la finalidad de mejorar la templabilidad y las características mecánicas del material, especialmente interesantes en el caso de piezas sometidas a grandes esfuerzos.

Debe tenerse en cuenta que de los elementos de aleación, el

romo y el molibdeno hacen más rápida la cementación, mientras que el níquel la hace más lenta.

Las temperaturas a las cuales se opera están comprendidas en el intervalo de 880° a 930° C. Llegan a esta temperatura, porque el acero es bajo en carbono, generalmente como el 0.20% carbono, y a esa temperatura se disuelve el carbono en austenita y es la máxima cantidad que se disuelve a esa temperatura.

Realizando la cementación a temperatura más elevada, se obtiene una mayor velocidad de cementación que se difunde más rápidamente, por lo tanto una menor duración del tratamiento, dara un porcentaje más alto de carbono en la capa exterior y una mejor difusión del mismo. Se tiene, sin embargo, el inconveniente de un excesivo crecimiento de grano y el peligro del quemado del material, especialmente en la zona externa. Por otra parte, no se logra realizar una disminución uniforme del porcentaje de carbono desde el exterior del núcleo, lo cual puede provocar, después del temple, un desprendimiento, en forma de escamas, de la capa endurecida a causa de la excesiva diferencia de características mecánicas.

La temperatura, a la cual se opera, debe en todos los casos ser superior al punto crítico A_c del diagrama de equilibrio hierro-carbono para llevar el material a estructura totalmente austenítica, capaz de disolver el carbono que penetra desde el exterior.

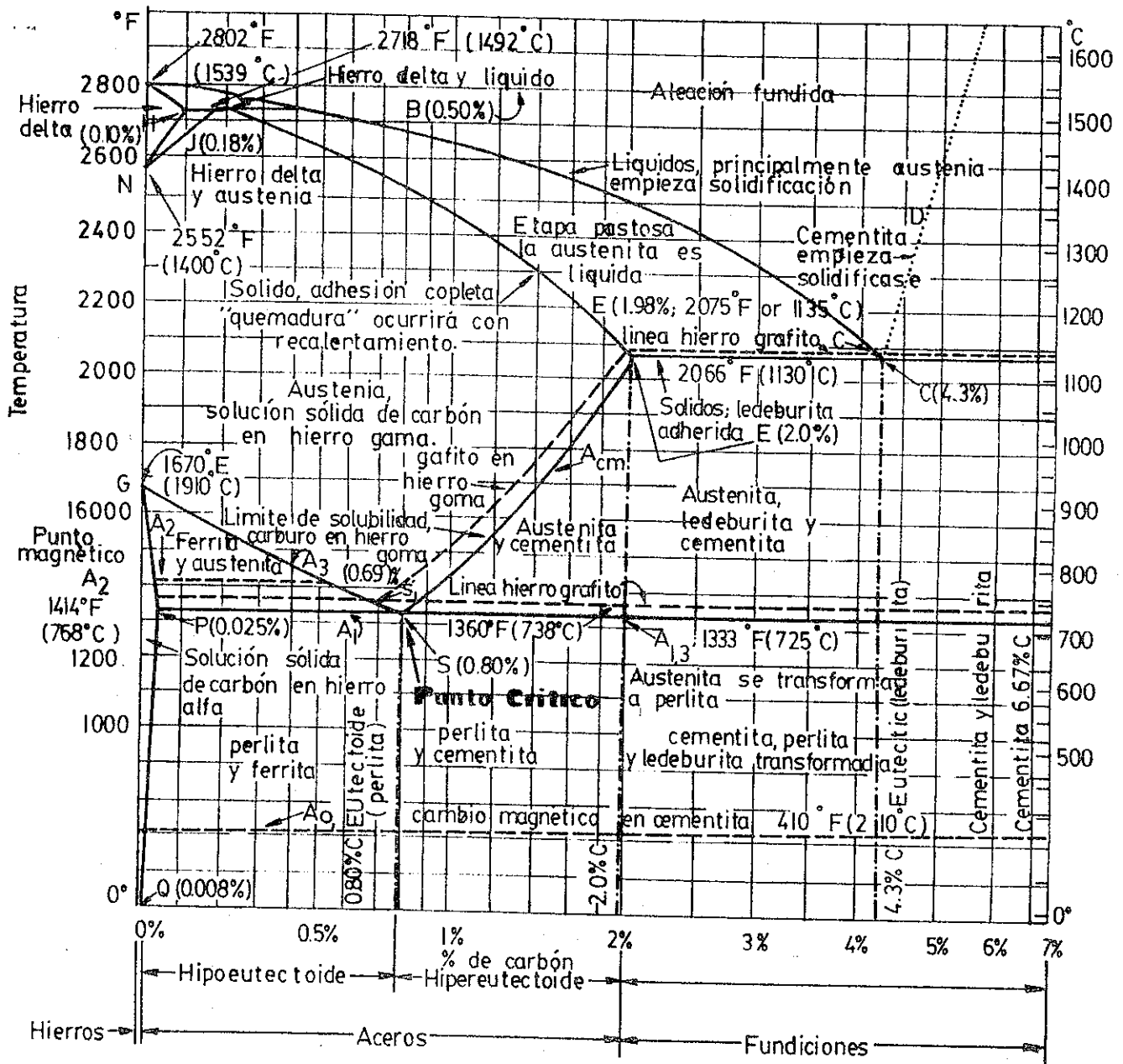


Fig. 2- El diagrama de equilibrio hierro-carbono.

Aaron D. Deutschman

Las piezas que se someten a cementación están totalmente terminadas de mecanización, y dejan solamente unas ligeras creces, para quitar después del temple mediante rectificadas.

En el curso de la mecanización, se ha de tener presente que la operación de cementación produce un ligero aumento en las dimensiones de la pieza.

Es importante tener cuidado de que las piezas que se han de someter a cementación estén pulidas y libres de oxidación superficial, para obtener un resultado uniforme de la operación de cementación.

CEMENTACION EN CAJA

El tratamiento térmico de cementación en caja es la más usada en la industria, como también se usa ahora la cementación gaseosa, temple superficial, nitruración etc.

Para realizar este tipo de cementación, las piezas se colocan rodeadas de un material granular capaz de ceder carbono en el interior de cajas apropiadas cerradas.

Las cajas de cementación, que pueden tener distintas formas en relación con las formas de las piezas, deben ser resistentes a la oxidación en caliente y generalmente se fabrican de acero al cromo

níquel. A veces, por economía, pueden construirse internamente, donde no se tiene peligro de oxidación, de acero suave, y externamente, de acero inoxidable.

El material cementante se encuentra, por lo general, en forma de gránulos fundamentalmente constituidos por carbón de leña mezclado con sustancias capaces de acelerar el mecanismo de la cementación. Normalmente, como acelerador de la cementación (catalizador), se emplea carbonato bórico (CO Ba). La mezcla más corrientemente empleada en la actualidad está constituida por un 85% de carbón de encino y 15% de carbonato bórico. Esta mezcla debe estar lo más libre posible de azufre y fósforo, y seca.

Se encuentran también en el comercio materiales cementantes obtenidos por carbonización de pieles, uñas de animales, cuernos, serrín, etc.; estas mezclas dan un mayor rendimiento a la operación y permiten penetraciones más rápidas del carbono, pero presentan el grave inconveniente de contener mucho fósforo y a veces también azufre, que absorbidos por el material sometidos al tratamiento, lo hacen de mala calidad.

El mecanismo de la penetración del carbono en el acero está basado en la transformación del carbono (sólido) en óxido de carbono (gas). Este penetra en la capa exterior del material y reacciona con el hierro dejando a éste el carbono. El carbono así depositado en las zonas más extensas, se difunde gradualmente hacia el interior.

Primeramente se dispone en el fondo de la caja una capa aproximadamente 3 centímetros de mezcla cementante. Sobre ésta, las piezas, o una primera capa de piezas, si éstas son pequeñas, teniendo cuidado de evitar el contacto recíproco entre ellas. A continuación, se pone una segunda capa de mezcla cementante, con un espesor aproximadamente 5 cm. una segunda capa de piezas y así siguiendo hasta llegar a llenar casi completamente la caja. Se termina el llenado de ésta con una última capa de mezcla cementante de espesor un poco mayor que las otras, para evitar que con el asentamiento de la carga, las piezas puedan quedar descubiertas. Por último, se cierra con una cubierta metálica, asegurando su cierre mediante una aplicación de arcilla refractaria, para evitar la entrada de aire en la caja, que provocaría la combustión del cementante y causar un rápido consumo de éste.

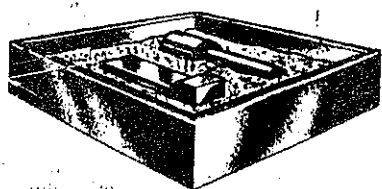
Al colocar las distintas capas sucesivas de piezas, es necesario evitar que el peso de las capas superiores puedan producir deformaciones sobre las piezas colocadas en la parte inferior de la misma. Conviene, por lo tanto, colocar debajo las piezas más pesadas.

La caja así preparada se coloca en el horno estando éste a una cierta temperatura, aproximadamente 500° C, y es calentada gradualmente hasta alcanzar la temperatura de cementación prevista.

El fenómeno de la cementación comienza cuando las piezas han

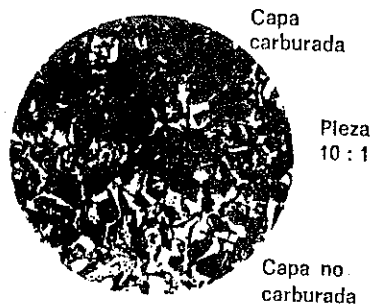
llegado a la temperatura de 850° a 900° C, porque la mezcla cementante no conduce adecuadamente el calor; si se llegar a tal temperatura en el núcleo de la caja, podrá requerir un tiempo apreciable de algunas horas, que estará, evidentemente, relacionado con las dimensiones de la caja.

El material cementante puede tener distintas granulometría. Normalmente se emplean granos más gruesos para el tratamiento de piezas de mayor dimensión y granos más finos o polvo para piezas más pequeñas. En general, el material con granos más gruesos permite una cementación más activa, porque hace más fácil la circulación del óxido de carbono (gas), y hace de vehículo para el carbono.



Cementación en caja

fig. 3



Aumentado 150 veces
Carburación de la capa exterior

fig.4

La velocidad con la cual el carbono se difunde hacia el interior depende de la composición de la mezcla cementante y de la

temperatura a la cual se opera, y puede variar entre límites bastantes amplios; normalmente toma valores comprendidos entre una y tres décimas de mm. por cada hora de permanencia a la temperatura de cementación. Debe de tenerse en cuenta que la permanencia a temperaturas de cementación se cuenta a partir del momento en el cual la temperatura prevista llega a alcanzarse en el centro de la caja.

Debe hacerse notar que la velocidad de penetración del carbono no se mantiene constante con el tiempo, sino que decrece a medida que se prolonga el tratamiento; así, por ejemplo, para un acero determinado, la capa cementada que después de cinco horas de tratamiento tiene una profundidad de 0.9 mm., llegará después de 10 horas a la misma temperatura a sólo 1.4 mm.

La profundidad de cementación que debe efectuarse está en relación con las dimensiones y con las características funcionales de las piezas. Normalmente se mantiene alrededor del valor de 1 mm. y es conveniente considerar el sobreespesor de rectificado que será laminado después del tratamiento de temple.

Es conveniente controlar la marcha de la cementación, midiendo de vez en cuando la profundidad alcanzada. Con tal fin, la caja presenta sobre una de sus caras un agujerito, a través del cual se introduce, antes de la colocación de la caja en el horno, que es testigo de acero de un diámetro de 1 cm aproximadamente. Esta

sufre, evidentemente, la cementación de manera semejante a las piezas obtenidas en la cajita. Después de cierto tiempo, se saca el testigo, se temple, sumergiéndolo en agua, y se rompe un extremo con un martillazo. La fractura pone en evidencia la corona exterior clara de la caja cementada, y puede de esta forma ser medida. Efectuada la medición, si la profundidad alcanzada no se considera suficiente, el testigo se coloca nuevamente en la caja para continuar sometida a la acción del cementante, con vistas a una extracción posterior para nuevo control.

Algunas veces se necesita que unas partes de las piezas no se cemenen y endurezcan después del temple. Se maquinan esas partes después de la cementación para evitar esa dureza elevada.

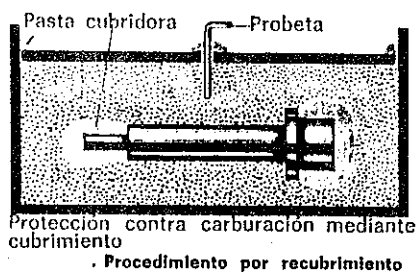


fig. 5

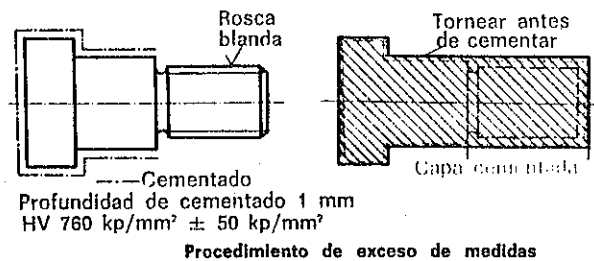


fig. 6

Se puede alcanzar también la misma finalidad con un revestimiento adecuado de la zona interesada, que impida la

12 PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA GENERAL DE CALLEJÓN

penetración del carbono. En tal sentido, es eficaz una delgada capa de cobre, depositado electrolíticamente, mientras que se obtienen peores resultados con revestimientos de pastas de distintos tipos, las cuales no logran evitar de modo absoluto el paso del carbono.

Además de los granulados a base de carbón, a veces son usadas pastas cementantes de distintos tipos, con las cuales se revisten las piezas al introducirse en las cajas.

Acabada la operación de cementación, la caja, todavía cerrada, se saca del horno, y se puede dejar enfriar al aire libre. Después del enfriamiento, las piezas se sacan de la caja y vuelven a pulir, y se calientan de nuevo para ser sometidas al temple.

Las cajas pueden también ser abiertas a la salida del horno, y las piezas pueden dejarse enfriar al aire o templarse directamente.

Respecto a la ejecución del tratamiento de temple, deben tenerse en cuenta algunas consideraciones:

En el caso de piezas de formas simples y sin variaciones bruscas de sección, no sujetas por lo tanto a deformaciones notables, pueden sacarse de la caja aún calientes y ser templadas por inmersión en aceite.

Es conveniente, sin embargo, en el caso de cementaciones muy

largas, eliminar el excesivo tamaño de grano cristalino que se ha producido, y se enfrían lentamente a la temperatura ambiente (normalización).

CEMENTACION EN BAÑO DE SALES

Las piezas, colocadas en cestillas o colgadas de ganchos, se introducen en un baño de sales fundidas. El baño de sales está constituido por una mezcla de sales fundidas a una temperatura de 900° a 930° C.

En la colocación de las piezas dentro del baño fundido, se ha de tener cuidado de disponerlas de manera que se eviten deformaciones debidas al peso de las mismas, cosa fácil de producirse a causa del ablandamiento del material a tan altas temperaturas.

Los baños de sales se pueden considerar constituidos por una sal base, generalmente cloruro o carbonato de sodio, con adición de una sal capaz de suministrar carbono, cianuro de sodio o de potasio al 20% y de una sal activante: cloruro de bario al 10%.

La presencia de nitrógeno en los cianuros provoca también la formación de productos de reacción (nitruros) dotados de elevada dureza, pero limitados a una finísima capa exterior.

Las ventajas que presenta la cementación en baño de sales fundidas son principalmente:

- a) Eliminación de largo período de precalentamiento necesario en el caso de la cementación en cajas.
- b) Mayor velocidad de penetración del carbono del exterior hacia el interior de la pieza. Se obtiene, por ejemplo, a 930° C, un 1mm. de profundidad después de solamente 2 horas y media. Debe tenerse en cuenta que la rapidez del tratamiento impide una distribución gradual del carbono desde el exterior hacia el interior, por lo cual se obtiene un brusco cambio de dureza entre la capa externa y el núcleo, lo que puede producir el desprendimiento de la capa cementada.
- c) El moderado aumento del tamaño de grano cristalino que sufre el material; como es muy corta la permanencia a elevada temperatura, permite templar las piezas enfriándolas directamente a la salida del baño de cementación.
- d) Mayor uniformidad de tratamiento sobre piezas distintas.
- e) Mejor aprovechamiento de los hornos, ya sea a consecuencia de una mayor capacidad de carga útil de éstos, o debido al mayor número de tratamientos que en ellos pueden realizarse a causa del acortamiento de la duración del ciclo.
- f) Menor espacio necesario para la instalación, se necesita, a igualdad de piezas que se van a tratar, menos hornos, y no se necesita espacio para cementantes sólidos, cajas de cementación, etc.
- g) Menor cantidad de mano de obra necesaria.

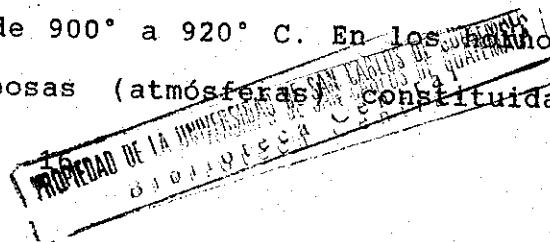
- h) Mayor limpieza, por ausencia de polvo.
- i) Ausencia de incrustaciones sobre el exterior de las piezas tratadas; saliendo éstas del baño revestidas de una finísima película de sales, que las protege de la oxidación del aire.
- j) Posibilidad de efectuar cementaciones localizadas en una zona determinada de las piezas, y se sumerge solamente esta zona en el baño.
- k) Una desventaja notable de este tipo de tratamiento consiste en la gran toxicidad de los baños usados, por la presencia del cianuro. Es necesario en las instalaciones tomar medidas especiales para la eliminación de los humos tóxicos que se desprenden de los baños, y cuidar escrupulosamente la higiene, con el fin de impedir la ingestión de cantidades, aunque sean mínimas, de sales venosas.

La peligrosidad del tratamiento, a pesar de las notables ventajas que presenta, ha obstaculizado su difusión.

Los hornos empleados para este tipo de cementación son hornos a crisol, generalmente calentados eléctricamente con resistencias exteriores o electrodos sumergidos.

CEMENTACION EN FASE GASEOSA

Siguiendo este procedimiento de cementación, las piezas, previamente desengrasadas, se introducen dentro de cestillas apropiadas en hornos especiales, generalmente del tipo de pozo y son llevadas a temperaturas de 900° a 920° C. En los baños, se hacen circular mezclas gaseosas (atmósferas) constituidas en



proporciones adecuadas, ya sea por gases capaces de ceder carbono a las piezas (óxido de carbono e hidrocarburos variados, como metano, etano, propano, butano), o por gases que tienen como función comportarse como diluyentes, aire, gas, etc. La atmósfera que se hace circular en el horno es cuidadosamente preparada, siguiendo atentamente la composición porcentual, y si ésta no es la correcta, se modifica adecuadamente antes de su admisión en el horno.

Generalmente en este proceso de cementación, se tiene una primera fase durante la cual la marcha se efectúa con un gas bastante rico en carbono y, por lo tanto, capaz de depositar en la superficie exterior de las piezas mayor cantidad de carbono. Sigue una segunda fase, llamada difusión, en el curso de la cual se envía al horno un gas muy diluido, y se obtiene principalmente una difusión del carbono retenido en la superficie durante la primera fase, hacia el interior de la pieza.

El porcentaje óptimo de carbono que se trata de obtener en la capa exterior es el que corresponde a la composición del eutéctico, 0.86% de carbono, con disminución gradual de éste hacia el interior.

La velocidad de cementación que se obtiene con este proceso es superior a la de cementación en caja y bastante cercana a la de cementación en baño de sales; por ejemplo, se logran profundidades de 1mm, en 3 horas, operando a 925° C.

Las principales ventajas de la cementación gaseosa, respecto a la cementación en caja, son:

- a) Mayor rapidez del proceso.
- b) Mejor posibilidad de controlar el porcentaje de carbono y la profundidad de la capa cementada.
- c) Menor costo de tratamiento.
- d) Condiciones de trabajo más higiénicas.
- e) Mayor limpieza en las piezas tratadas.

TEMPLE

Se denomina así a una serie de tratamientos térmicos que tienen como finalidad fundamental obtener sobre las piezas tratadas una dureza elevada.

El templeado del acero se realiza en tres escalones: calentamiento a temperatura de temple, detención a esta temperatura y enfriamiento rápido.

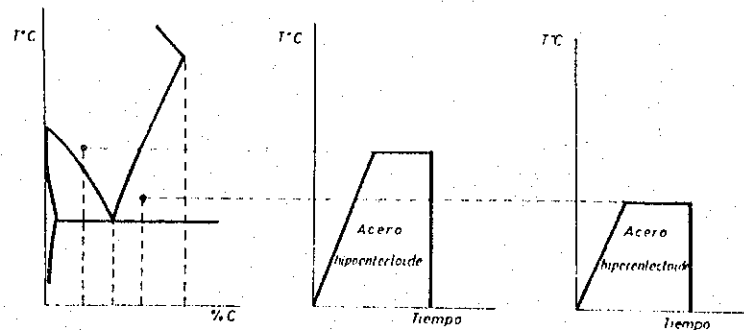
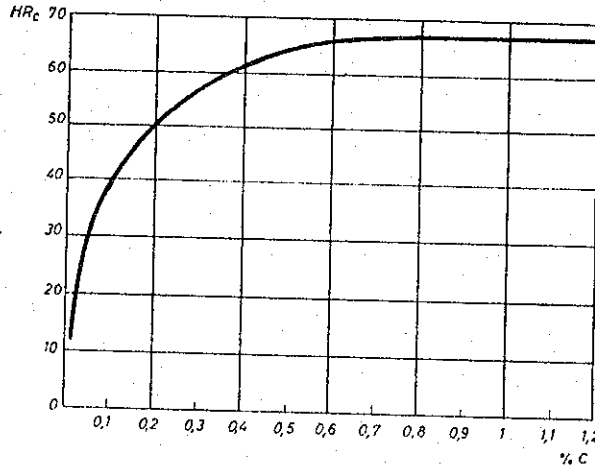


fig.7 Diagrama esquemático de la ejecución del temple.



Influencia del porcentaje de carbono sobre la dureza máxima alcanzable en el temple.

fig.8

CALENTAMIENTO

El acero hay que calentarlo primeramente con lentitud y después llevarlo rápidamente a la temperatura de temple.

ENFRIAMIENTO RAPIDO

Esta rápida substracción de calor evita la regresión de la estructura. La dureza conseguida depende no solamente de la composición de los aceros, sino también de la rapidez de enfriamiento. La velocidad mínima de enfriamiento que se necesita para evitar la regresión de la estructura y con ello la obtención de la dureza, se llama velocidad crítica de enfriamiento. Para evitar tensiones y grietas de temple, hay que realizar el enfriamiento a velocidad tan baja como se pueda. Esta velocidad depende de la clase de acero; por esto, se necesita disponer de medios enfriadores de acción brusca y de acción más suave.

Con agua se obtiene un rápido enfriamiento. Su temperatura

será de 20° C. Las adiciones de sal común y de ácidos aumentan la acción refrigeradora. Las adiciones de lechada de cal, glicerina y aceites solubles en aguas suavizan esa acción. El agua caliente obra más suavemente que la fría. En algunos aceros, la temperatura del medio enfriador tiene que estar por debajo de los 20° C para pasar a martensita la austenita todavía no transformada. Se mezcla para ello agua con hielo o se emplean mezclas hielo-sal. Con nieve carbónica como medio refrigerante, se obtienen -70° C.

Los aceites actúan más suavemente que el agua. Se emplean aceites minerales. Se han desarrollado aceites para templar, cuyas velocidades de refrigeración son aproximadamente dobles que las de los aceites normales.

El aire en reposo de la refrigeración es más lenta; con aire seco de soplante, se obtienen velocidades de enfriamiento más pequeñas.

COLOCACION DE PIEZAS PARA ENFRIAMIENTO

En el enfriamiento, tiene una decisiva importancia la forma y la clase, así como la manera de sujetar la pieza al sumergirla y su movimiento dentro del líquido empleado para el enfriamiento. Las piezas con agujeros ciegos han de sumergirse con el fondo por delante. Con esto, se facilita la salida de burbujas de aire y de vapor. Las burbujas de vapor adheridas a la pieza provocan puntos blandos. Mediante movimientos adecuados, debe ponerse la pieza constantemente en contacto con líquido fresco para conseguir

con ello una refrigeración uniforme. Las piezas tubulares deberán asirse con tenazas de templar y ganchos, de tal modo que el líquido de enfriamiento no encuentre obstáculo para circular abundantemente a través de las piezas.

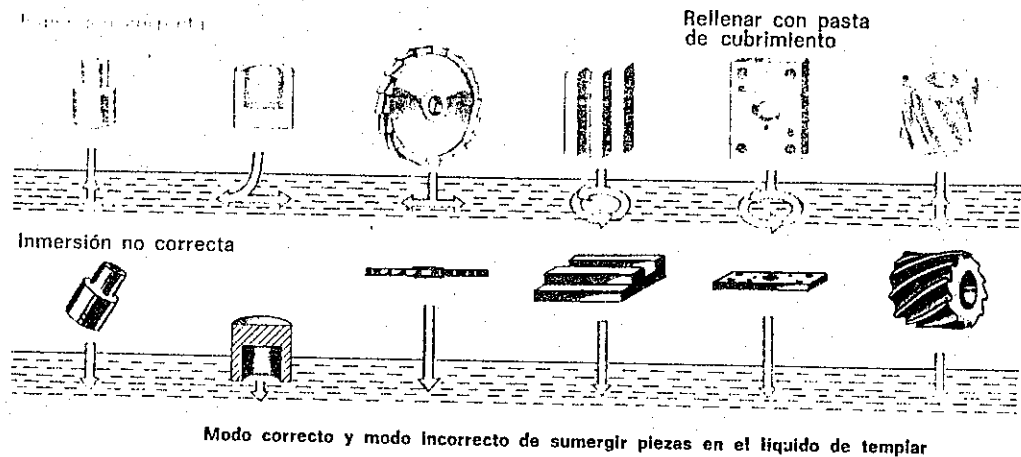


fig. 9

REVENIDO

El revenido es un tratamiento térmico que se realiza después del temple y consiste en:

Un calentamiento del material, anteriormente templado, a una temperatura inferior siempre a la crítica.

La permanencia por un cierto tiempo a tal temperatura.

El enfriamiento posterior realizado de manera más o menos lenta.

Al variar la temperatura a la cual se lleva el material sometido a revenido, varían los resultados que se obtienen y por tanto las finalidades del tratamiento en sí.

REVENIDO A BAJA TEMPERATURA

Tiene la finalidad de reducir notablemente las tensiones internas presentes en el material templado, y mejoran su tenacidad sin reducir la dureza de manera sensible.

Se realiza generalmente en los aceros para herramientas, los cuales, debiendo ser capaces de arrancar virutas en la mecanización de otros materiales, deben poseer una dureza muy elevada, como la que puede darles el temple. Sin embargo, se utiliza este tipo de tratamiento, ya que el temple solamente daría lugar a herramientas que, si bien serían muy duras, serían también fragilísimas y por ello de difícil empleo.

Otro campo de aplicación del tratamiento es el de los aceros sometidos a cementación y después templados.

Para los aceros al carbono, el revenido a baja temperatura se realiza normalmente llevando las piezas templadas a temperaturas de 200° a 300° C, y las hace permanecer a tal temperatura, durante

un tiempo más o menos largo, cerca de 2 horas, y las enfría a continuación.

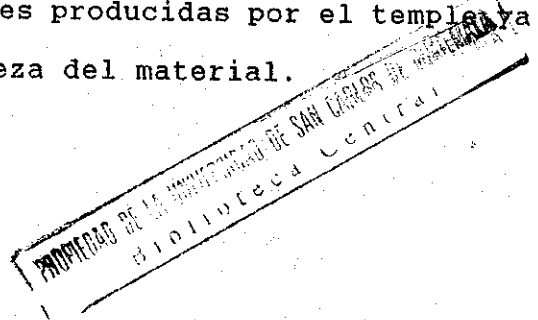
En el caso de los aceros rápidos, se alcanzan en el revenido temperaturas de 550° a 650° C con permanencias de dos horas a esta temperatura.

La dureza que toma el material, después del revenido, es más baja cuanto más elevada ha sido la temperatura de revenido, en el campo de variaciones indicado para cada uno de los tipos de acero.

REVENIDO A ALTA TEMPERATURA

Tiene la finalidad de aumentar notablemente la tenacidad de los materiales, que habiendo anteriormente sido sometidos a temple de endurecimiento, habían tomado fragilidad elevada.

Se realiza sobre los aceros llamados aceros de bonificación (0.25 a 0.75% de carbono), tanto en los aceros al carbono, como en los aleados con elementos especiales. El calentamiento se realiza llevando el material templado a temperatura de 580° a 630° C, lo mantiene a esta temperatura durante 1 a 3 horas y lo enfría a continuación. Como consecuencia de este tratamiento, se tiene, o una notable reducción de las tensiones producidas por el temple, o sea una notable reducción de la dureza del material.



Con el calentamiento de revenido, se da el material que tiene una estructura martensítica; esto es una estructura inestable, una cantidad de energía térmica suficiente para dar movilidad a los átomos de carbono y permitirles salir de las posiciones inestables que ocupan en la red cristalina, y se disponen en sistemas menos inestables.

En efecto, con el revenido de alta temperatura, la martensita se transforma en sorbita. La sorbita es la fina mezcla de ferrita y cementita.

Naturalmente, la resistencia mecánica y la dureza a que queda el acero tratado depende de la temperatura a la cual se hace el revenido, y son tanto más bajas cuanto más elevada es tal temperatura.

El enfriamiento que completa el revenido puede realizarse en aire, aceite o en agua.

HORNOS PARA TRATAMIENTO TERMICO

La manera más primitiva de calentar una pieza para llevarla a la temperatura deseada es la de recurrir al empleo de fragua. Tal sistema de calentamiento debe, sin embargo, desaconsejarse absolutamente, ya que provoca en las piezas fenómenos de oxidación o de descarburación, y no permite obtener sobre ellas una

distribución uniforme de la temperatura. En consecuencia, los resultados del tratamiento son muy deficientes.

Los hornos empleados para el calentamiento de la piezas pueden ser:

DE COMBUSTION

En los que el calor necesario se produce quemando combustible sólido (carbón), líquido (derivados del petróleo) o gaseosos (metano, gas propáno, etc.).

ELECTRICOS

En los que el calor es producido por el paso de la corriente eléctrica, a través de adecuados elementos de caldeo, resistencias, que según el grado de temperatura que se va a alcanzar, pueden estar construidas de distintos materiales.

Comparando estos dos distintos sistemas de calentamiento, se puede observar que la caloría obtenida por combustión, es siempre más barata que la producida por electricidad.

Por otra parte, se ha de tener en cuenta que los hornos eléctricos presentan, respecto a los que funcionan con combustible distintas ventajas y especialmente, tienen mayor sencillez de construcción, y por ello menor costo, a demás de que son menos voluminosos.

Permiten obtener en la planta mejores condiciones higiénicas, por ausencia de polvo, humo y ruido.

Tienen menores gastos de mantenimiento.

Aseguran una mayor precisión en la ejecución de los tratamientos, por su posibilidad de permitir una regulación de la temperatura de régimen muy exacta.

Los hornos de combustión se utilizan en el caso de grandes instalaciones, mientras que en las medianas o pequeñas se emplean generalmente hornos eléctricos.

Esencialmente, un horno está constituido por una cavidad interna, en forma de cámara, destinada a recibir las piezas que han de calentarse; esta cerrada por un revestimiento de material refractario, que es, apto para resistir las altas temperaturas que alcanzan en el horno.

El revestimiento refractario está a su vez rodeado de un revestimiento de material aislante térmico, destinado a reducir lo más posible las pérdidas de calor hacia el exterior. Una armadura metálica exterior cierra el conjunto, mientras los dispositivos de calentamiento colocados en distintas formas y el aparellaje de control de la temperatura, completan la instalación.

Los hornos pueden tener forma y capacidad distinta, en relación con los distintos tipos de tratamiento a efectuar: temple, recocido, normalización, cementación, nitruración, etc., en el ambiente físico en el que opera: aire, atmósfera controlada, baño de sales, metales fundidos, etc., así como las dimensiones de las piezas y la magnitud de la producción.

Elementos importantes que se deben tener presente para la elección del horno más apropiado, son también la naturaleza de los materiales que se van a calentar, la temperatura que se debe alcanzar y la mayor o menor velocidad con la que se desea proceder en el calentamiento o en el enfriamiento.

HORNOS DE MUFLA

Son los hornos de más amplio empleo y, por tanto, los que han alcanzado mayor difusión. Son aptos para realizar el calentamiento para los tratamientos de temple, revenido, recocido, normalización y cementación en caja.

Pueden ser calentados eléctricamente o por medio de combustibles. Generalmente son de forma paralelepípeda, pueden tener dimensiones muy diversas y, por lo tanto, capacidades muy variables.

Su nombre se deriva de la camisa de material refractario (mufla) que delimita la cámara destinada a recibir las piezas. Esta, en los hornos no eléctricos, tienen la finalidad de impedir el contacto de las piezas con el combustible o con los humos de la combustión. En los hornos eléctricos, no se utiliza generalmente mufla.

Pueden estar contruidos de manera que puedan alcanzar temperaturas distintas, normalmente variables de 1000° a 1200° C.

MATERIALES PARA CEMENTACION EN EL MEDIO

El material encontrado en Guatemala es el E230.

E230

tipo de aleación: C 0.17 Ni 1.6 Si 0.30 Mn 0.50 %

color de identificación: amarillo

Estado de suministro: recocido 217 HB

Normas: AISI 3215

DIN 18CrNi6

PROPIEDADES

Acero especial de cementación aleado al cromo-níquel. Adquiere excelente dureza superficial en el temple de cementación. Insuperable tenacidad y resistencia en el núcleo.

APLICACIONES

Piezas altamente exigidas en la industria metalmeccánica y automotriz, como por ejemplo: engranajes de caja o diferencial, coronas, piñones, terminales de dirección, sectores dentados, crucetas, pines de pistón, ejes, etc..

TEMPERATURAS DE TRATAMIENTOS TERMICOS

Forjado:	1150°-850° C
Recocido:	650°-700° C
Cementar:	900°-950° C
Temple:	830°-870° C
Revenido:	150°-200° C
Dureza obtenida en la capa cementada:	62-63 HRC

DUREZA

Se puede definir como la resistencia que los materiales oponen a dejarse penetrar por la acción de un punzón bajo una carga determinada.

Los aparatos empleados para la medición de la dureza se llaman Durometros. Existen distintos sistemas para medir la dureza de un material, son: Brinell, Rockwell y Vickers.

ROCKWELL

La dureza Rockwell permite la medición de la dureza del material de dos modos distintos:

Mediante el empleo de un punzón constituido por una esfera de acero endurecido de 1/16 de pulgada de diámetro bajo una carga aplicada de 100 Kg. La dureza viene indicada con el símbolo R_b y el

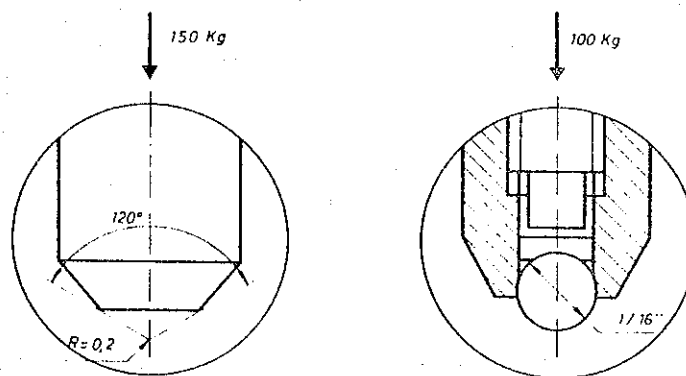
método se utiliza para ensayar materiales de dureza no excesiva.

Esto se hace mediante el empleo de un punzón constituido por un cono de diamante con un ángulo en el vértice de 120 grados bajo una carga de 150 Kg. La dureza viene indicada por el símbolo Rc, y el procedimiento se emplea para ensayar materiales bastantes duros.

Llamando "e" a la profundidad alcanzada por el punzón (expresada en 1/500 de mm); en el primer caso, la dureza viene dada por la diferencia entre el número convencional 130 y la profundidad e: $R_b=130-e$. En el segundo, la dureza viene dada por la diferencia entre el número convencional 100 y la profundidad "e":

$$R_c=100-e.$$

También en la práctica del taller, se recurre a la lima para el control de piezas de acero sometidas a temple. La dureza de la lima se cifra alrededor de 62 Rc. Por lo tanto las piezas tratadas serán inatacables por la lima, si han alcanzado valores de dureza superiores a ésta y serán atacables en caso contrario.



Ensayo de dureza Rockwell:

fig. 10

VICKERS

La medición de la dureza se efectúa comprimiendo sobre el material en examen un punzón de diamante en forma de pirámide de base cuadrada, que tiene ángulos de 136 grados en el vértice. Las cargas aplicadas sobre el punzón pueden variar entre 1 a 120 Kg. en relación con el espesor de la pieza sometida a prueba y a su menor a mayor dureza.

La dureza Vickers, HV, en Kg/mm, viene dada por la relación

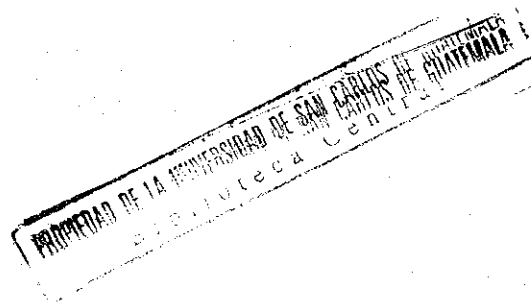
$$HV=P/S$$

Que está entre la carga aplicada P en Kg y la superficie de la huella obtenida S en mm.

Puesto que mediante un microscopio se mide la diagonal d de la huella que resulta pequeñísima, en función de esta diagonal, la dureza Vickers viene dada por la relación

$$HV=1,854.P/d \text{ KG/mm}$$

El método Vickers es empleado cuando se desea ensayar dureza de materiales muy duros, especialmente en el control de la dureza de pequeñas capas de superficies endurecidas.



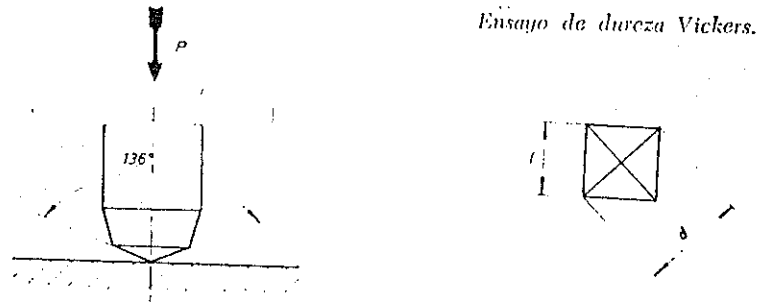


fig.11

BRINELL

Operando según el método Brinell, se comprimen sobre el material punzones constituidos por esferas de acero endurecido, de diámetro 10, 5 y 2.5 mm adecuadamente cargadas, y se obtiene sobre el material la huella de un casquete esférico. El valor de la dureza Brinell viene dada por la relación entre la carga aplicada, "P" en Kg. y la superficie del casquete esférico "S" en mm obtenido como huella: $H=P/S$ Kg/mm.

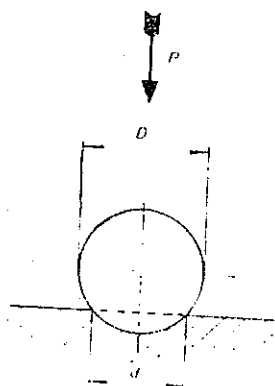
Generalmente se mide el diámetro de la huella, y sobre tablas adecuadas se lee el valor de la dureza Brinell.

El diámetro de la esfera que se va a utilizar se escoge en

relación con el espesor de la pieza sobre la cual se realiza el ensayo, mientras que la carga que se va a aplicar sobre la esfera, se fija en función de la dureza del material ensayado. Expresando la superficie "S" de la huella obtenida en función del diámetro d de la huella, la dureza Brinell viene dada por la relación

$$H = \frac{2P}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ Kg/mm}$$

En la que D es el diámetro de la bola utilizada.



Ensayo de dureza Brinell.

fig.12

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA CENTRAL

CAPITULO 2

EXPERIENCIA EN EL CEMENTADO Y TEMPLADO DEL ACERO

La probeta que se usará es de un material para cementación, y estas probetas serán maquinadas en un torno, y posteriormente se hacen los dientes en la fresadora, para luego colocarlas en cajas de cementación para su cementación, luego se harán las pruebas de medición de penetración de la cementación, y después se templará y se medirá su dureza.

Con estas pruebas, se logrará determinar la penetración de la cementación en este material en relación con el tiempo que se estén en el horno a la temperatura de 850° a 900° C , y según la forma del diente y tamaño, se podrá dar el tiempo requerido para ese engranaje.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

En las siguientes incisos, se describirá el procedimiento del ensayo que se efectuará.

OBTENCION DE LA PROBETA

Las probetas serán maquinadas en torno y fresadora, según se observa en las siguientes fotos en un taller de máquinas herramientas, y luego serán cementadas como sigue.

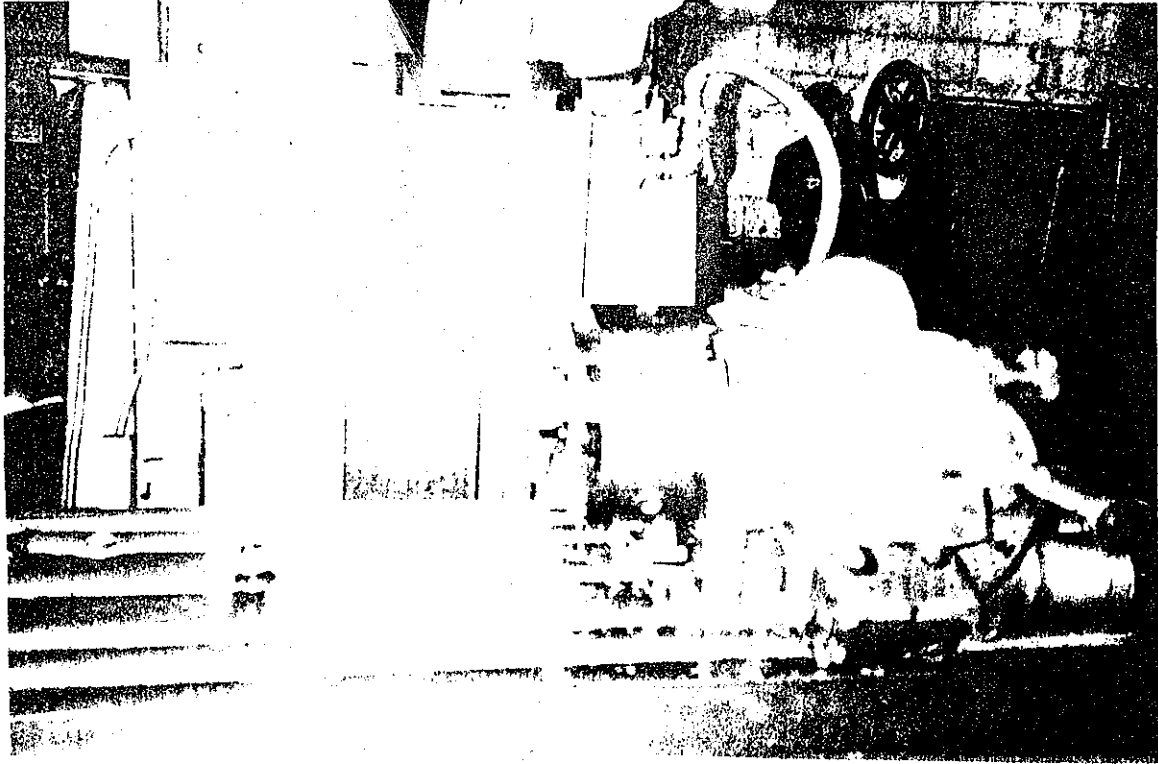


fig. 15

TECNICAS DE CEMENTACION

Las probetas serán enumeradas y colocadas individualmente en una caja para cementación cubiertas con carbón vegetal, y posteriormente serán extraídas cada 1/2 hora del horno a una temperatura de 950° C, y luego colocadas en un banco para su enfriamiento.



fig.16

CAJAS DE LA CEMENTACION

Las cajas serán hechas de lámina negra en forma de un cilindro y suficientemente grande para que la probeta quede cubierta con el medio cementante . La probeta debe quedar, en un mínimo de una pulgada, cubierta en su alrededor, como se observá en la foto.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA /

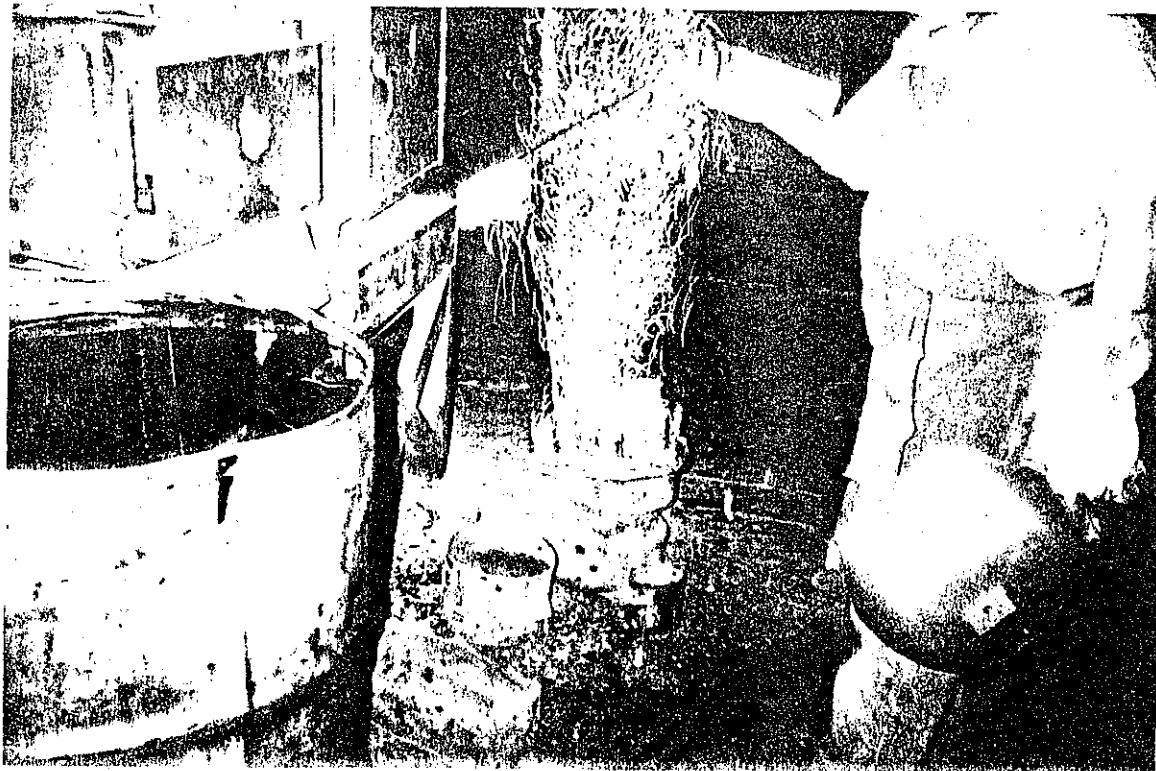


fig. 17

A Esta caja deberá colocarse su tapadera para evitar que se quemé el medio cementante o sea carbón vegetal, y posteriormente serán templadas como sigue.

TECNICAS DE TEMPLE

Las probetas serán colocadas en una portaprobetas hechas a su

forma; luego serán colocadas en sus respectivas cajas recubiertas de carbón vegetal, para evitar su descarburización, y se colocan en el horno a una temperatura de 850° C a un tiempo de una hora.

PROCEDIMIENTO PARA ENFRIAMIENTO

Las probetas, como se dijo anteriormente, templadas y colocadas en su portaprobetas serán sacadas con un gancho y enfriadas en el aceite, se moverán en forma circular para su mejor enfriamiento, y se harán después las pruebas respectivas de dureza y penetración como sigue.



fig. 18

MEDICION DE LA CAPA CEMENTADA

Las probetas seran llevadas a su pruebas de la cementación por medio de maquinado, en un durómetro y una prueba química

UTILIZACION DE MAQUINADO

En esta medición, se empleará el maquinado de un torno para observar la penetración de la cementación.

UTILIZACION DE DUROMETRO

En este procedimiento, será utilizado un durómetro para medir la dureza de cada probeta en el ensayo.

UTILIZACION DE MEDIO QUIMICO (MACROGRABADO)

Para esta prueba, se necesita que la probeta esté muy bien pulida con lija, pasta de limar, pasta para pulir, etc. En este proceso, se utilizará la reacción química NITAL (2ml de ácido nítrico y 98 ml de alcohol espíritu metilano industrial. A cada probeta se le agrega el NITAL con un algodón, se lava con suficiente agua, se seca y se agrega barniz para evitar la oxidación. Luego se procederá a la medición de la capa cementada en un microscopio. En la parte cementada se observara obscuro en la probeta y el nucleo claro . Esto sucede porque reacciona la concentración del carbono en la superficie de la probeta y cambia de color obscuro.

MEDICION DE LA CAPA TEMPLADA

Para medir la capa de temple, se utilizará maquinado y durómetro para cada probeta.

UTILIZANDO MAQUINADO

Esta medición se deberán colocar las probetas en el torno para probar la dureza obtenida con un buríl de tústeno para localizar la parte dura y la parte suave de la probeta, y luego se utilizará el durómetro.

UTILIZANDO DUROMETRO

Se debe llevar las probetas a una prueba de dureza de Rocwell C a un durómetro.

RESULTADOS

Con los pasos anteriores de pruebas de cementación y temple, resultaron las siguientes gráficas

TABLA No. 1

Duración de la probeta en horas en el horno sin templar.
(Medio Químico)

Tabla No. 1

<u>Duración de la probeta</u>	<u>de la medición de la cementación tiempo</u>	<u>en el horno y resultado de la química, profundidad</u>
1	1/2	0.5
2	1	1
3	1 1/2	1.5
4	2	2
5	2 1/2	3
6	3	4

GRAFICA NO. 1

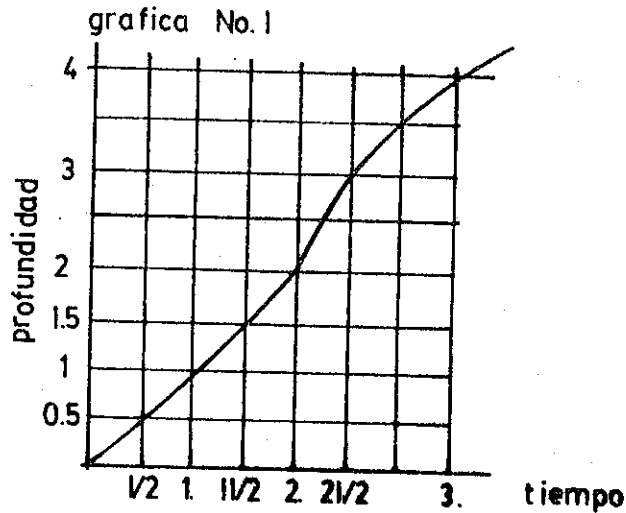


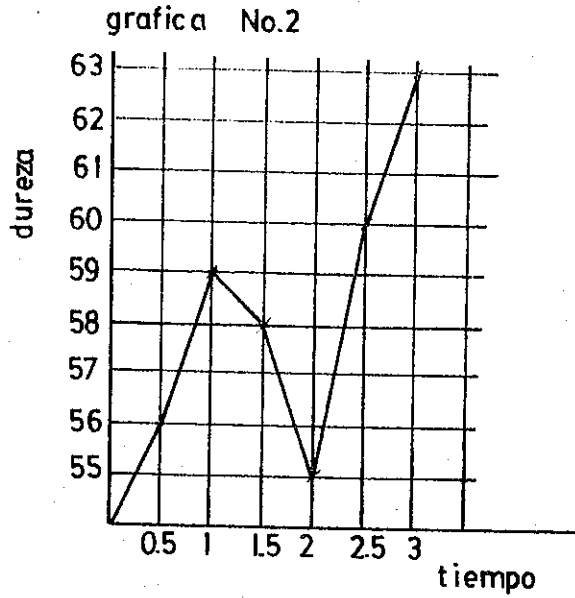
TABLA NO.2

Resultado de la medición de la cementación por durómetro ya templado.

Tabla No.2

Dureza tiempo	dureza de las probetas.	probeta
0.5	56	1
1	59	2
1.5	58	3
2	55	4
2.5	60	5
3	63	6

GRAFICA NO. 2



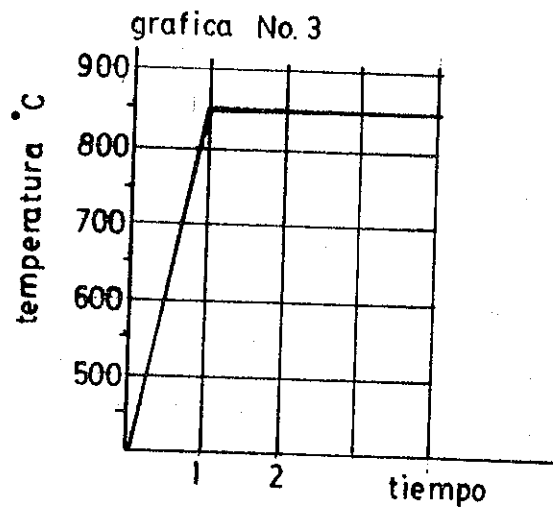
Proceso de calentamiento.

TABLA NO.3

Tabla No.3
Temperatura de la probeta con el tiempo.

tiempo	temperatura
1	850 °C
2	850 °C

GRAFICA NO. 3



RESULTADOS

En la medición de la capa cementada, utilizando el maquinado, no se obtiene ningún valor, porque la dureza de la probeta se mantiene en todas.

Utilizando el durómetro, se obtiene sólo la dureza de 215 HB en todas las probetas cuando no se ha templado, es decir, que no se nota un cambio en el material, sólo cualitativamente.

Utilizando el medio químico, se logra localizar la penetración de la cementación y se obtiene la tabla No. 1 y gráfica No. 1.

En la medición de la capa templada utilizando el maquinado, se observa una dureza superficial alta y un núcleo suave. Se logró medir una dureza con el durómetro, según la tabla No. 2 para cada probeta.

En la gráfica No.1, se logra observar que aumentando el tiempo de cementación, se obtiene más penetración.

En la gráfica No.2, se observa que la probeta no.4 tiene una dureza de 55 Rc, es decir, que no mantuvo la tendencia a aumentar la dureza como las otras probetas. Posiblemente hubo una descarburización durante el proceso de templado, u otros factores que influyeron en el estudio de esta probeta, como por ejemplo, que la temperatura del horno no fue la adecuada y hubo un enfriamiento lento.

En la gráfica No. 3, se observa que para el temple se debe tomar en cuenta la forma del engranaje y tamaño para lograr un calentamiento de toda la masa y mantenerlo a una cierta temperatura; a esa probeta se le dio solamente una hora en el horno.

Sólo en la prueba de medición por medio químico se puede medir la capa de la cementación cuantitativamente, y en las otras pruebas unicamente se obtiene información cualitativa.

En el temple, se logró una dureza entre 55 y 63 Rc para cada probeta.

CAPITULO 3

EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN CEMENTADO Y TEMPLE DOBLE EN EL ACERO

Las probetas serán también torneadas y fresadas en el taller. Después se introducen en sus cajas de cementación, y se colocan en el horno, para sus respectivas pruebas. Solo que a diferencia de la anterior experiencia; después del cementado se temple inmediatamente en aceite y luego se temple de nuevo, y así sucesivamente a cada probeta.

El objetivo de esta experiencia es obtener un temple doble en las probetas y comparar con la experiencia anterior. El temple doble afina el grano del acero pero lo hace más quebradizo.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Las probetas igualmente serán maquinadas en torno y fresa como las anteriores, según se observa en la foto, y luego serán cementadas en hierro fundido y carbón vegetal.

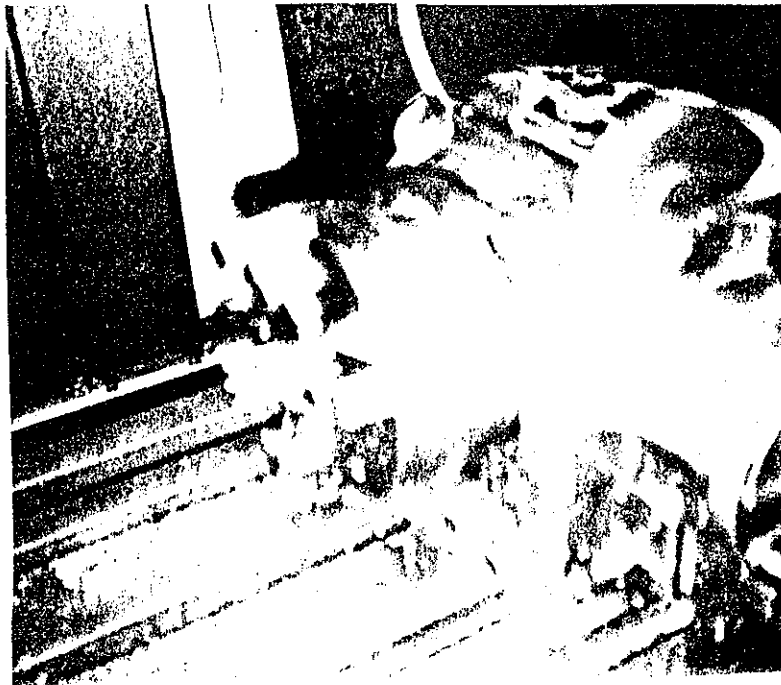


fig. 19

TECNICAS CEMENTACION

UTILIZANDO CARBON VEGETAL

En la cementación, se utilizara carbón vegetal en polvo para lograr la capa cementada en los engranajes. Se colocarán las probetas cubiertas en carbón vegetal y se colocaran en el horno se sacan cada media hora del horno y se templan en aceite, y así sucesivamente como se observa en la foto. También se puede sustituir el carbón vegetal con hierro fundido en polvo para lograr la capa cementada en las probetas, ya que también agrega carbono a las probetas.

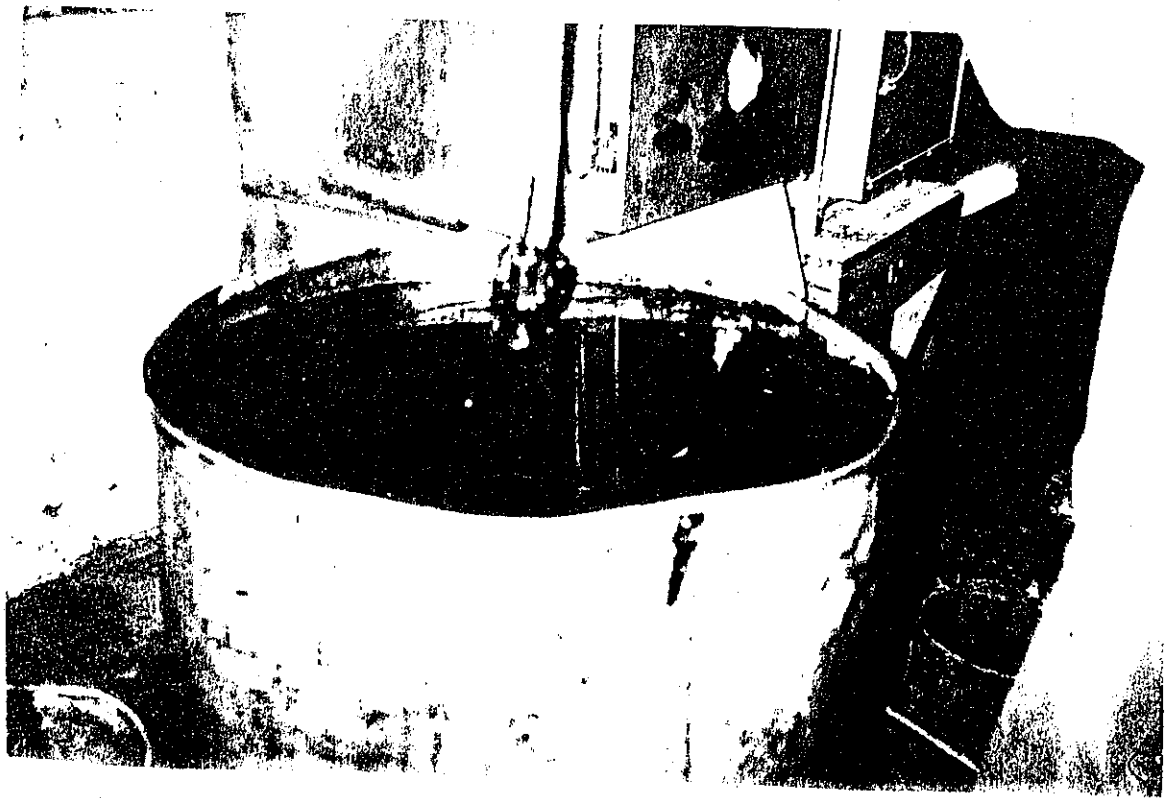


fig. 20

UTILIZANDO HIERRO FUNDIDO

Se seguirá el mismo procedimiento anterior, sólo que se utilizará hierro fundido en polvo y cada probeta sera cementada como en la experiencia anterior; inmediatamente seran templadas y posteriormente se le dará doble temple como sigue.

TECNICAS DE TEMPLE

PROCEDIMIENTO TEMPLE DOBLE

Las probetas serán colocadas en sus respectivas cajas y recubiertas con carbón vegetal o hierro fundido para evitar la descarburización, y luego serán colocadas en el horno en el horno en un período de tiempo de una hora a una temperatura de 800° a 850° C.

EXPERIENCIA A LA TEMPERATURA DE TEMPLE

En este procedimiento de temple, la probeta se cementa y luego se lleva a temple. Esa misma probeta se lleva otra vez a temple y así sucesivamente a cada probeta del ensayo a la temperatura indicada; a esto se le llama de temple doble.

RESULTADOS OBTENIDOS CONSIDERANDO LAS VARIABLES PROFUNDIDAD TIEMPO Y DUREZA

En el ensayo, se utilizó hierro fundido en polvo y carbón vegetal en la cementación, y se logra el mismo resultado; por eso, lo pondremos en una tabla.

TABLA No. 4

Profundidad de cementación en las probetas

Tabla No.4

Profundidad de cementación en las probetas.

probeta	profundidad	tiempo
1	0.5	0.5
2	1	1
3	1.5	1.5
4	2	2
5	3	2.5
6	4	3

GRAFICA NO. 4

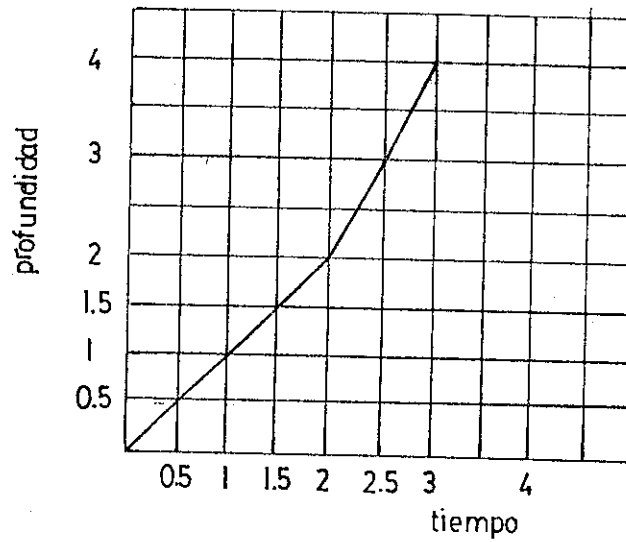


TABLA No. 5

Temple inmediatamente después de la cementación

Tabla No. 5

Temple inmediatamente después de la cementación.
probeta dureza

1	54
2	50
3	50
4	47
5	58
6	63

GRAFICA No. 5

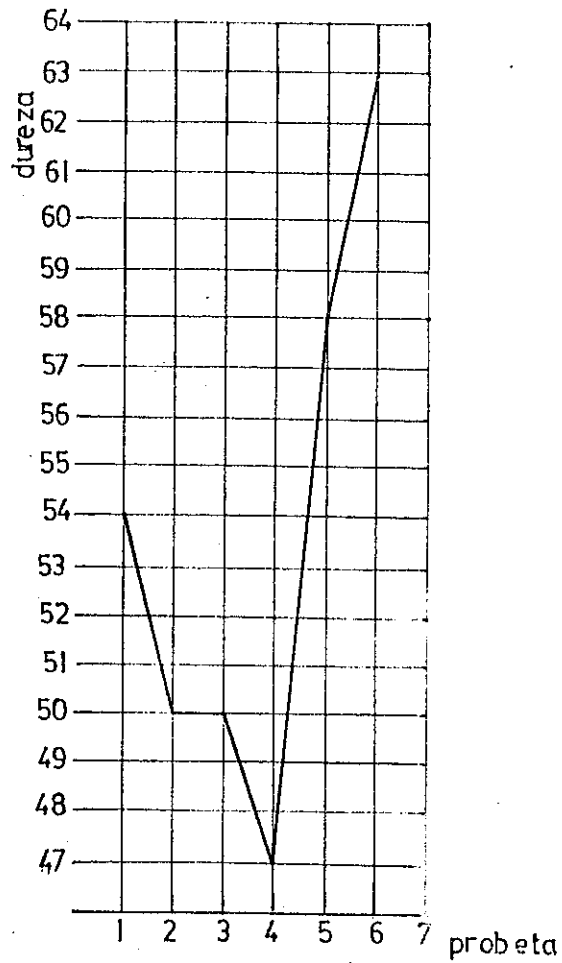


TABLA No. 6

Temple doble

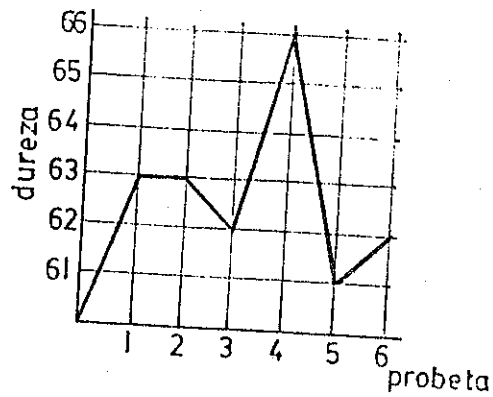
Tabla No.6

Temple doble

probeta	dureza
1	63
2	63
3	62
4	66
5	61
6	62

GRAFICA No. 6

grafica No 6



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

RESULTADOS

En un solo procedimiento, se logra cementación y temple a la vez, y se obtiene una dureza y una profundidad deseada.

En la probeta, se logra observar el primer temple que logra una dureza indicada en la gráfica No. 2, y en el segundo temple aumenta un poco, como se aprecia en la grafica No. 3.

La profundidad de la cementación también es proporcional con el tiempo en que se queda la probeta a una temperatura dada.

El temple doble tiene la ventaja de que en el primer temple afina el grano, y en el segundo, mejora las características mecánicas del acero.

La penetración de la cementación en el acero de la probeta es igual que en la experiencia anterior.

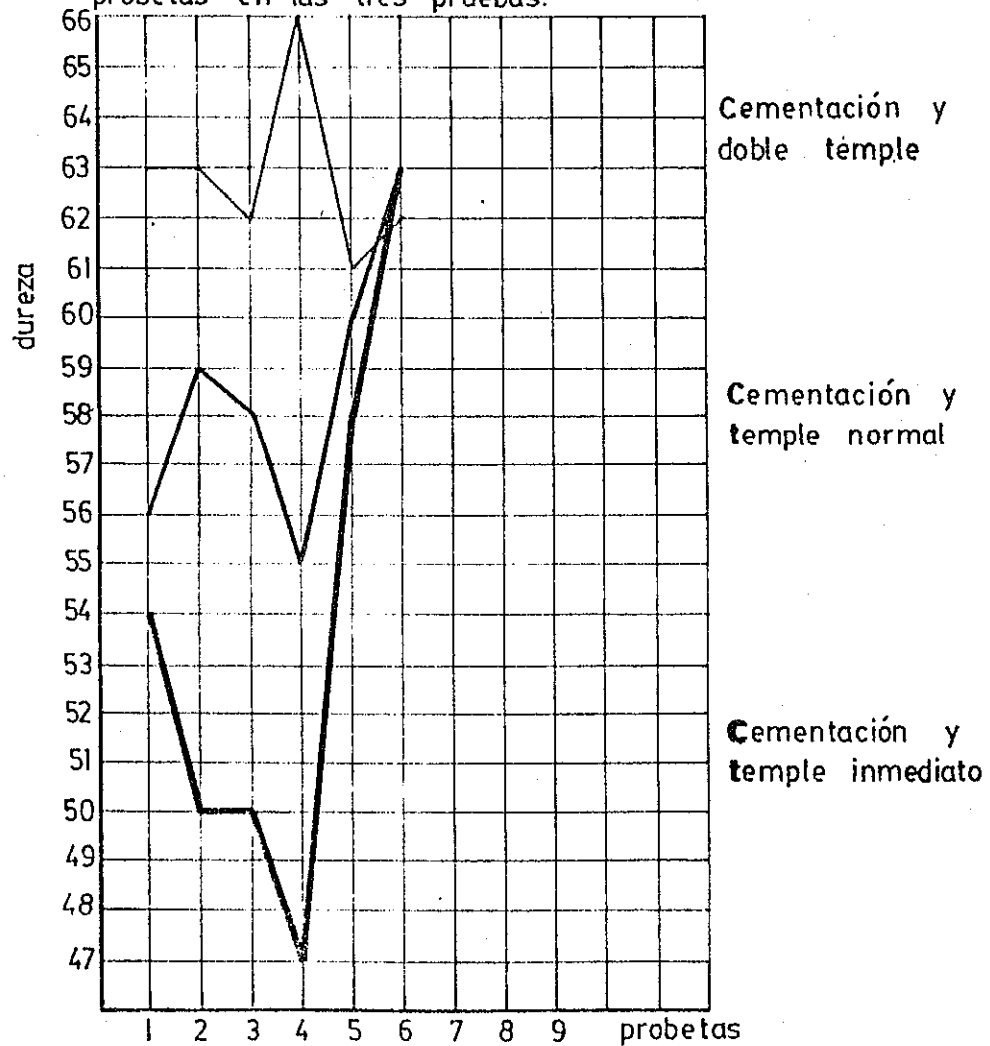
Este procedimiento es poco usado porque deforma a las piezas en cementación.

Se puede observar que la probeta no.4, en la gráfica no. 5, tiene una dureza de 48 Rc y en la grafica no. 6 tiene una dureza de 66 Rc. Se observa un cambio de dureza bastante alta en relación con las demas probetas; esto es debido a que tuvo una dureza baja (no contenía demasiado carbono en la superficie); con el segundo temple, la probeta aumentó el carbono en su superficie, pues cuanto más carbono hay en el acero, aumenta más la dureza y templabilidad.

Con la experiencia de la cementación de la probeta con hierro fundido, se proporciona la cantidad de carbono hacia las probetas igual que con carbón vegetal, es decir, que se puede sustituir el carbón vegetal con el hierro fundido y viceversa.

grafica No.7

Resultado final de la dureza de las probetas en las tres pruebas.



Según se observa en la grafica 7, la cementación y temple es normal a la dureza intermedia. El temple doble aumenta mucho más de dureza, que los otros temples.

CAPITULO No. 4

EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN CEMENTACION Y TEMPLADO DE ENGRANAJES RECTOS COMERCIALMENTE EN EL MEDIO

En el taller, se hará un engranaje de diente recto que se usa en la industria para hacerles la cementación y temple, tomando en cuenta las experiencias de las probetas usadas en la cementación, para poder darle el tratamiento térmico adecuado a la utilidad del engranaje en la industria. Así, a este engranaje se le podrán hacer las pruebas de dureza y penetración de la cementación.

El engranaje que se necesita debe tener una penetración de 1 mm con una dureza de 60 Rc y un núcleo suave en el diente. Se tomara el criterio segun la gráfica no. 1, que para tener una penetración de 1 mm. debe estar una hora en el horno recubierto con carbón vegetal o hierro fundido, y posteriormente se temple en aceite. Esto se hará con el procedimiento de cementación y temple normal.

Características del engranaje utilizado:

Es un engranaje de dientes de modulo 1, 45 mm de diámetro y un largo de 1.75 de pulgada; este tipo de engranaje es recto con un agujero para eje de 20 mm.

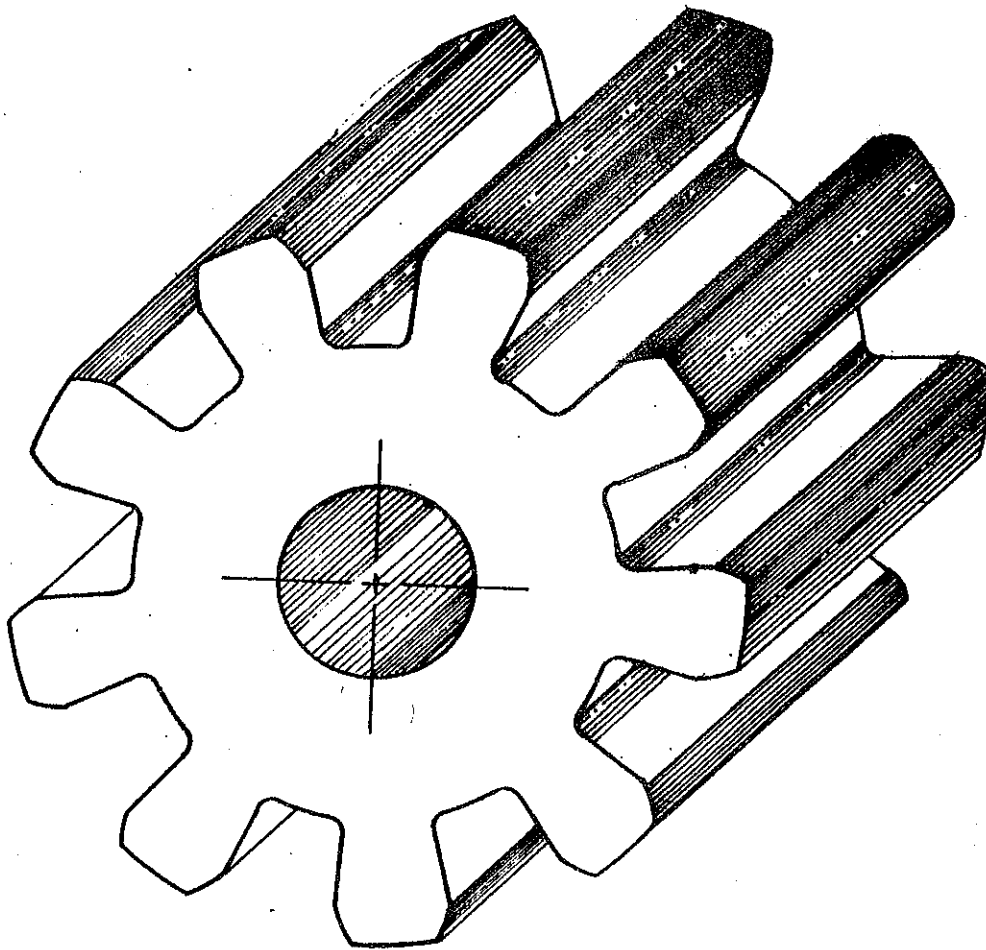


fig. 21

Temperatura de cementación y temple efectuados

El engranaje se lleva a una temperatura de 900° C para la cementación a una hora en el horno y un temple de 850° C, a una hora en el horno eléctrico del taller, y luego se le hará la prueba de dureza como sigue.

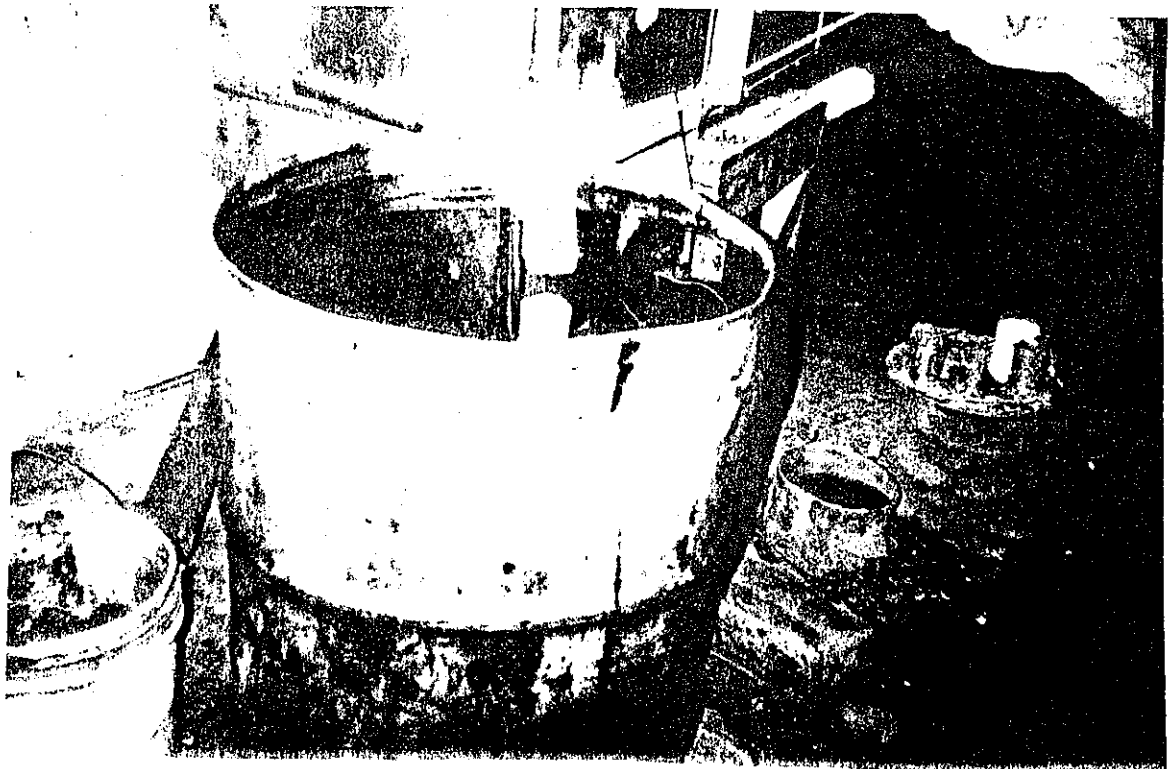


fig. 22

Prueba de dureza obtenida superficialmente

El engranaje se llevará a medir a una prueba de dureza con un durómetro Rocwell C; después el engranaje se le hace la prueba de penetración de la cementación.

Prueba de la profundidad obtenida.

El engranaje se lleva a un ensayo químico, y se obtiene la profundidad de cementación como en las probetas ensayadas anteriormente.

RESULTADOS

El engranaje obtiene una dureza de 63 Rc y a una profundidad de 1 mm . El engranaje obtiene una profundidad de cementación, como se aprecia en la tabla y gráfica 1 del capítulo 2, de 1 mm. aproximadamente. Estos ensayos tienen un margen de error en las medidas pero se pueden tomar como validas. Para cada engranaje, debe darse la cementación y temple adecuado, según sea el tipo de engranaje al que se quiera dar el tratamiento térmico . Con las experiencias obtenidas en las probetas, se puede determinar qué tipo de tratamiento se le va dar a cada uno.

A estos engranajes como se dijo, se deben cubrir bien con carbón para evitar la descarburización, para evitar que sus dientes salgan deformados y picados. Luego del tratamiento térmico, se pule y se le dan las medidas finales del engranaje.

CONCLUSIONES

1. Por la experiencia hecha en la cementación, es mejor la cementación y temple normal, ya que en el otro tratamiento de cementación con temple doble sufre algunas veces fisuras, y se vuelve más quebradizo, aunque afina el grano y mejora las características mecánicas.
2. Se puede hacer la cementación y temple inmediatamente después y dejarlo solamente así, y que el engranaje puede trabajar, como se observa en la grafica 7, aunque es más probable que se vuelva quebradizo y con fisuras también, y que sea más rapido.
3. La penetración de la cementación en los engranajes es proporcional al tiempo en que se mantenga en el horno, pero llega un momento en que la penetración se mantendrá a una cierta medida después de 14 horas de estar en el horno.
4. Hay que dimensionar los engranajes por las deformaciones que sufre el tratamiento termico.
5. En los resultados, se puede observar que cuanto mayor sea el contenido de carbono en el acero de la probeta, se obtiene más dureza en la misma.
6. En el enfriamiento de los engranajes, éstos deben tener posición para no producir deformaciones y fisuras por el mal enfriamiento.
7. Se puede afirmar que se está en capacidad de realizar pruebas experimentales sencillas que puedan implementar prácticas y laboratorios para ampliar los conocimientos aprendidos en los cursos de ingeniería.

8. Según el tamaño del engranaje y el tiempo en que se mantiene en el horno, un pequeño se mantiene un tiempo menor que uno grande, Pues si se le da mucho tiempo en el horno al pequeño, se endurece todo el diente, no tendrá núcleo suave y se volverá quebradizo.

9. Para hacer tratamientos térmicos, se tienen que minimizar los factores que puedan influir en el tratamiento, ya que son perjudiciales.

10. Cuanto mayor sea el contenido de carbono en el acero de la probeta, más dureza se obtiene en el acero después del temple, así como la cantidad de ciertos elementos como el manganeso y cromo, los cuales ayudan al temple para tener una mejor penetración de carbono.

RECOMENDACIONES

1. A las piezas sometidas a tratamiento térmico deben dársele sobredimensiones, para evitar el fenómeno de erosión y deformación en la superficie del engranje.
2. Para enfriar los engranajes en el aceite, debe tenerse mucho cuidado en la forma de meterlos, y tratar de enfriarlos lo más pronto posible.
3. Para cementar un engranaje, se debe utilizar el método normal de cementar primero, y después templearlo, sólo en caso de emergencia, se puede utilizar el método de cementar e inmediatamente templear.
4. Un engranaje pequeño debe mantenerse en el horno un tiempo mínimo .
5. Debe utilizarse un carbón vegetal libre de cuerpos extraños como hierro, aluminio , etc.
6. Para cementar un engranaje, debe cubrirse con carbón vegetal un mínimo de 2 pulgadas en su alrededor.
7. Cuando no se obtenga carbón vegetal, puede usarse hierro fundido que proporciona también carbono.
8. Para templear un engranaje, debe cubrirse el engranaje también con carbón vegetal, para evitar su descarburización.
9. La caja de cementación debe tener tapadera, y que sea de acero inoxidable.



BIBLIOGRAFIA

AVNER, SYDNEY. Introducción a la metalurgia física. Mexico.
Editorial Mcgraw-Hill.1990

DEUTSCHMAN, AARON. Diseño de maquinas. México. Editorial continental
S.A.. 1989

LEYENSETTER, A. Tecnología de los oficios Metalurgicos. España.
Editorial Reverte S.A. 1974.

MONROY, JORGE. Experiencias obtenidas en el montaje y prueba de
temple extremo en base a la norma ASTM A-255 en laboratorio
de metalurgia. (Tesis: Facultad de Ingenieria Mecánica,
Universidad de San Carlos de Guatemala). Guatemala 1992.

ZINNA, NINO. Tratamientos térmicos. España. Ediciones CEAC S.A.
1965.

ANEXO
TABLAS COMPARATIVAS DE MEDIDAS DE DUREZA

TABLA COMPARATIVA DE MEDIDAS DE DUREZA.

Rockwell					Bri- nell HB bola 10	Vi- ckers HV	Shore HS	Knoop HK	Resis- tencia a trac- ción R
cono diamante 120°			bola acero						
HRC	HRD	HRA	HRB	HRE					
150 kg	100 kg	60 kg	100 kg	100 kg	3,000 kg	30 kg		0.5 kg	kg mm ²
80						1.865			
79						1.787			
78						1.710			
77						1.633			
76						1.556			
75	82					1.474	124		
72	78	84			780	1.224	106		270
70	77	83			745	1.116	102	972	
68	75	82			712	1.022	98	920	
66	74	81			682	941	94	870	235
64	72	80			653	868	91	822	
62	71	79			627	804	87	776	215
60	70	78			601	746	84	732	
58	68	78			578	694	81	690	
56	67	77			555	650	78	650	180
54	65	76			534	606	76	612	
52	64	75			514	587	73	576	166
50	63	74			495	551	71	542	150
49	62	74			477	534	68	526	154
48	61	73			461	502	66	510	148
46	60	73			444	474	64	480	146
45	59	72			429	460	62	466	142
43	58	72			415	435	61	438	137
42	57	71			401	423	59	426	135
41	56	71			388	401	57	414	130
40	56	70			375	390	56	402	126
39	55	70			363	380	54	391	122
38	54	69			352	361	53	380	119
36	53	68			341	344	51	360	115
35	52	67			331	334	50	351	112
33	50	67			321	320	49	334	109
32	50	66			311	311	47	325	106
31	49	66			302	303	46	318	103
30	48	65			293	292	45	311	100

Rockwell					Bri- nell HB bola 10	Vi- ckers HV	Shore HS	Knoop HK	Resis- tencia a trac- ción R
cono diamante 120°			bola acero						
HRC	HRD	HRA	HRB	HRE					
150 kg	100 Kg	60 kg	100 kg	100 kg	3,000 kg	30 kg		0.5 kg	kg mm ²
29	47	65			285	285	44	304	98
28	47	64			277	278	43	297	95
27	46	64			269	270	42	290	93
26	45	63			262	261	41	284	90
25	45	63			255	255	40	278	88
24	44	62			248	249	39	272	86
23	43	62	102		241	240	38	266	83
21	42	61	101		235	235	37	256	81
20	41	61	100		229	228	36	251	80
19	40	60	99		223	222	35	246	79
17	39	60	98	110	217	217	34	241	76
15	38	59	97	110	212	213	34	236	74
14	37	59	95	110	207	208	33	226	72
13	37	58	94	109	201	201	32	221	71
12	36	58	93	109	197	197	31	216	69
11	35	57	92	108	192	192	30	211	68
9	34	57	91	108	187	186	30	206	66
8	34	56	90	108	183	183	29	201	65
7	33	56	90	107	179	178	29	201	64
6	33	55	89	107	174	174	28	196	62
4	32	55	88	106	170	171	28	192	60
3	32	54	87	106	167	166	27	188	59
2	31	53	86	105	163	162	27	184	58
1	31	53	85	105	159	159	26	180	56
0	30	52	84	104	156	155	26	176	55
			83	104	152	152	25	173	54
			82	103	148	150	24	170	53
			81	103	144	149	24	167	52
			80	102	140	148	24	164	51
			79	102	136	146	23	161	51
			78	101	132	145	23	158	49
			77	101	128	142	23	155	49
			76	100	124	140	22	152	48
			75	100	122	138	22	150	47