

INFLUENCIA DEL TIEMPO Y EL NUMERO DE REVENIDOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO MICROESTRUCTURAL DEL ACERO PARA TRABAJO EN FRÍO, CALMAX-ASSAB

Influences of the time and the tempering numbers on the microstructural behavior of the steel for work in cold, calmax-assab

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el cambio microestructural que presenta el acero CALMAX-ASSAB al ser sometido a temple en aceite y modificando el número y el tiempo de revenido a 200°C. Además, se analizó la influencia del ciclo de tratamientos térmicos y la protección a la decarburación sobre la dureza del acero.

PALABRAS CLAVES: Calmax, temple, revenido, trabajo en frío.

ABSTRACT

In this Research you evaluate the microstructural change that presents the steel CALMAX-ASSAB to the subjected being to temper in oil and modifying the number and the time of having gone bad at 200°C. Also, You analyze the influence of the cycle of thermal treatments and the protection to the decarburation about the hardness of the steel.

KEYWORDS: Calmax, quenching, tempering, cold work.

OSCAR FABIÁN HIGUERA COBOS

Ingeniero Metalúrgico, M.Sc.
Profesor Auxiliar
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira
osfahico@utp.edu.co

JOSÉ LUÍS TRISTANCHO REYES

Ingeniero Metalúrgico, M.Sc.
Profesor Auxiliar
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira
josetris@utp.edu.co

LUIS CARLOS FLÓREZ GARCÍA

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Auxiliar
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira
luisscar@utp.edu.co

GRUPO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES AVANZADOS (GIMAV-UTP)

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Las técnicas de conformado en frío, estampación, embutición, repujado, corte, extrusión, etc., como tales procedimientos de hechurado y elaboración de piezas sin arranque de viruta, tienen una importancia fundamental en las tecnologías actuales de producción. Principios que permiten, en virtud de las posibilidades de automatización y cadencia rápida, una fabricación rentable de piezas metálicas. Esta rentabilidad está determinada, principalmente, por el rendimiento de las herramientas utilizadas en los distintos procesos productivos. Las herramientas son, en todo el ámbito de la técnica, los elementos sometidos a mayores esfuerzos mecánicos esperándose de ellas, particularmente, una duración o vida útil más o menos limitada. Dentro de la variada oferta de aceros aleados de herramientas, los aceros para trabajos en frío representan uno de los productos de mayor compromiso en su fabricación y posterior transformación en útiles y herramientas. Dicho compromiso pretende satisfacer las exigencias, a veces enfrentadas y contrapuestas, de los tres principales sectores implicados: (1) mecanizador; (2) tratamentista; y (3) utilizador. Desde el punto de vista del constructor de

la herramienta, necesita en el acero una facilidad de mecanizado, aptitud al rectificado, garantías dimensionales, ausencia de defectos, agilidad en el servicio y asistencia técnica. Las necesidades del tratamentista se centran en la respuesta homogénea del acero ante el tratamiento térmico; principio asociado a una buena dureza de temple, a un mínimo cambio dimensional y de deformaciones durante el temple + revenido. Por parte del utilizador requiere en las herramientas construidas: altas sollicitaciones de tenacidad, buena resistencia a la comprensión y dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga y un largo etcétera. Los requisitos anteriormente señalados exigen un producto (acero) de calidad extra con características muy determinadas. [10,11, 12]

CALMAX es un acero aleado al cromo-molibdeno vanadio que se caracteriza por:

- Alta tenacidad
- Buena estabilidad dimensional durante el temple
- Buena pulibilidad
- Buena capacidad de soldadura
- Buena aptitud de temple a la llama y por inducción.
- Alta resistencia a la comprensión

- Alta dureza en la superficie después del temple
- Buenas propiedades de temple total
- Buena resistencia al desgaste (perfil adhesivo)

Estas características se combinan creando un acero adecuado para series de fabricación cortas y medias, en un amplio abanico de aplicaciones de trabajo en frío donde domine el desgaste adhesivo y donde el riesgo de melladuras y roturas es muy alto, por ejemplo corte y conformado de chapa gruesa.

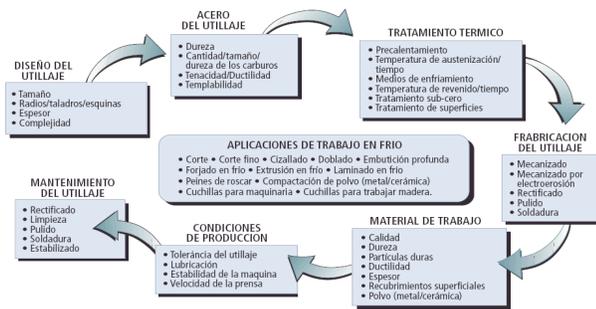


Figura 1. Factores que influyen la vida del utillaje en aplicaciones de trabajo en frío. [10]

El rendimiento de un utillaje para aplicaciones de trabajo en frío dependerá de muchos factores. Estos se muestran en la Figura 1. El rendimiento del utillaje es estudiado a menudo examinando la calidad de las piezas que éste fabrica. En la mayoría de aplicaciones, existen para las piezas a fabricar, unos requisitos especiales en el acabado de la superficie, tolerancias dimensionales, etc. Un utillaje con problemas o daños resulta normalmente, en el rechazo de las piezas producidas, debiendo éste de ser reparado o reemplazado.

1.2 Cuidados durante el tratamiento térmico

El propósito de aplicar tratamiento térmico a un utillaje es obtener unas propiedades mecánicas adecuadas, como la dureza, tenacidad o resistencia. Los principales problemas que pueden aparecer asociados al tratamiento térmico son:

- Distorsión
- Cambios dimensionales
- Descarburación
- Carburación
- Precipitación de carburos en límite de grano (carburo pro-eutectoide).

1.2.1 Distorsión. La distorsión de utillajes sometidos a tratamiento térmico puede ser un resultado de:

- Tensiones de mecanizado
- Tensiones térmicas

- Tensiones de transformación.

A fin de reducir las tensiones de mecanizado deberá realizarse siempre un estabilizado del utillaje, después de haber efectuado un mecanizado importante. De éste modo, las tensiones inducidas por la operación de mecanizado se ven reducidas. Cualquier distorsión puede por tanto ajustarse durante el mecanizado final, antes del enfriamiento. Las tensiones térmicas se crean cuando se calienta el utillaje. Estas tensiones aumentan si el calentamiento se efectúa rápidamente y de forma desigual. Como alternativa con piezas grandes o complejas, el calentamiento puede realizarse mediante etapas de precalentamiento a fin de equilibrar la temperatura en el componente. Debería tratarse siempre de calentar lentamente a fin de que la temperatura se mantenga virtualmente igual en toda la pieza. [10,11, 12]

Todo lo que hemos mencionado sobre calentamiento debe aplicarse también al enfriamiento. Unas fuertes tensiones aparecen durante el período de enfriamiento. Como norma general, cuanto más lento pueda ser el enfriamiento menores distorsiones ocurrirán a causa de tensiones térmicas.

1.2.2 Cambios dimensionales. Las tensiones de transformación aparecen cuando se transforma la microestructura del acero. Los cambios dimensionales debidos a las transformaciones en el acero son difíciles de influenciar, excepto si se cambia a otra calidad de acero. Los cambios dimensionales ocurren tanto durante el temple como durante el revenido. Cuando se estiman los cambios de tamaño, los efectos del temple y revenido deberían sumarse.

1.2.3 Descarburación. Es importante que los utillajes estén protegidos contra la oxidación y descarburación. La mejor protección nos la da un horno de vacío, donde la superficie del acero no se ve afectada. La descarburación resulta en una pérdida de resistencia al desgaste.

1.2.4 Carburación. La carburación es el resultado de la aparición de carbono en la superficie del acero cuando el medio utilizado para proteger el utillaje durante el temple contiene carbonos libres. Todo ello resulta en una capa dura y frágil sobre la superficie del utillaje y por tanto aumenta el riesgo de melladuras o roturas.

1.2.5 Precipitación en límite de grano. Los carburos pueden precipitarse durante el proceso de enfriamiento si éste se ha llevado a cabo demasiado lentamente. Los carburos se precipitan principalmente en límite de grano del acero y conllevan una pérdida de tenacidad y dureza final.

El objetivo de este trabajo es analizar los cambios microestructurales y su influencia con la dureza, del acero CALMAX para trabajo en frío sometido a tratamientos térmicos de bonificado. [10, 12]

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las probetas utilizadas para este estudio fueron construidas utilizando el acero CALMAX-ASSAB, la composición es resumida en la Tabla 1.

En estudio se analizó el cambio microestructural del acero CLAMAX al ser sometido a tratamiento térmico de bonificado. Se analizó el efecto del enfriamiento en aceite, número de revenidos y tiempo de revenido. Los tratamientos térmicos utilizados para este estudio se resumen en la Figura 2:

- Temple en aceite.
- Temple en aceite con 1 revenido de 2 horas.
- Temple en aceite con 1 revenido de 4 horas
- Temple en aceite con 1 revenido de 6 horas.
- Temple en aceite con 2 revenidos de 2 horas cada uno.
- Temple en aceite con 3 revenidos de 2 horas cada uno.

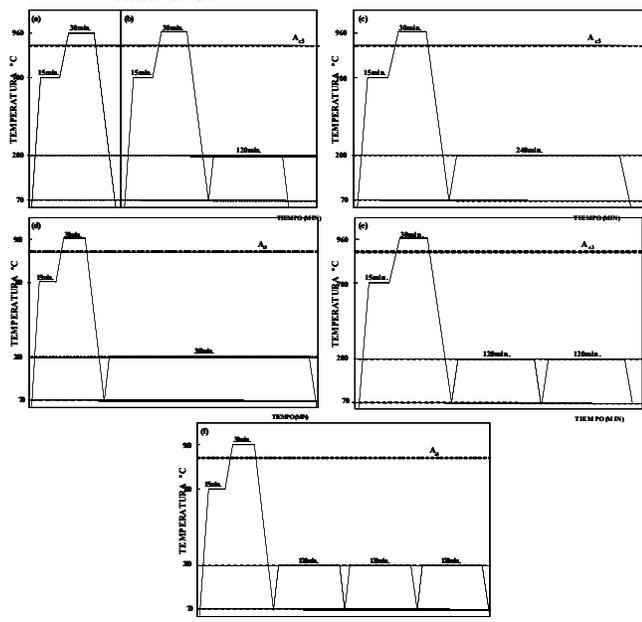


Figura 2. Tratamientos térmicos acero CALMAX. (a) Temple en aceite, (b) temple con un revenido de 120 minutos, (c) temple con un revenido de 240 minutos, (d) temple con un revenido de 360 minutos, (e) temple con dos revenidos de 120 minutos y (f) temple con tres revenidos de 120 minutos.

ELEMENTO	COMPOSICIÓN (%w)
Carbono	0.6
Manganeso	0.8
Silicio	0.35
Cromo	4.5
Molibdeno	0.5
Vanadio	0.2

Tabla 1. Composición acero CALMAX-ASSAB. [10]

Posteriormente se procedió a la preparación metalográfica de cada probeta según la norma ASTM E3-01 con el fin de analizar la variación microestructural del acero sometido a diferentes tratamientos térmicos. Para el ataque químico se utilizó nital al 2%. [10,11].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ciclo de tratamiento térmico recomendado por el fabricante para el acero CALMAX es el siguiente: [10]

Precalentamiento: 600-750°C

Temperatura de austenización: 950-970°C, normalmente 960°C. La pieza se debe proteger contra la decarburación y oxidación durante el temple. Los medios de enfriamiento recomendados son: Aire forzado/gas, horno de vacío con sobrepresión, baño de martemple o lecho fluidizado a 200-550°C seguido de enfriamiento con aire forzado y por ultimo en aceite, aunque este medio no es el mas adecuado debido a que aumenta el riesgo de cambios dimensionales y fisuras como se observa en las Figuras 4 y 5.

Posteriormente al temple se debe revenir inmediatamente una vez la pieza alcance 50-70°C. Elegir la temperatura de revenido de acuerdo con la dureza requerida. Revenir dos veces con un enfriamiento a temperatura ambiente inmediato. La temperatura de revenido más baja es de 180°C. Tiempo mínimo de mantenimiento a temperatura 2 horas. En la Figura 3 se muestra el diagrama de transformación isotérmica para el acero calmax con el tratamiento térmico realizado en este estudio.

La probeta se sometido a temple en aceite con el fin de corroborar lo planteado por el fabricante y debido a que es el único medio de enfriamiento de los recomendados que se cuenta en el laboratorio de metalografía de la universidad Tecnológica de Pereira. Posteriormente se realizaron varios revenidos modificando tanto la duración como el número de revenido con el fin de evaluar su influencia tanto en la dureza como en la microestructura.

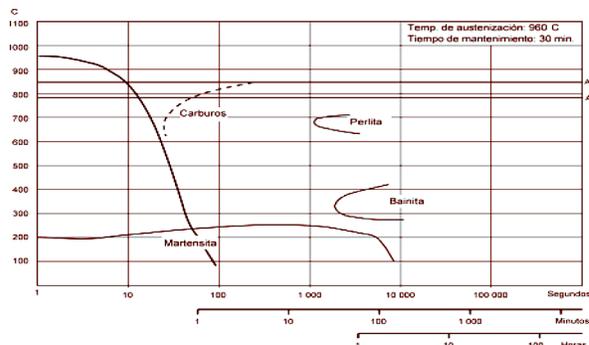


Figura 3. Microfotografía acero Calmax templado en aceite, ataque Nital al 5%, aumentos: 400X. [10]

En la Tabla 2 se resumen los valores de dureza obtenidos durante cada tratamiento.

TRATAMIENTO TÉRMICO	DUREZA (HRC)
TEMPLE	55
TEMPLE Y REVENIDO 2 HORAS	48
TEMPLE Y REVENIDO 4 HORAS	50
TEMPLE Y REVENIDO 6 HORAS	51
TEMPLE Y 2 REVENIDOS 2 HORAS	48
TEMPLE Y 3 REVENIDOS 2 HORAS	47

Tabla 2. Durezas obtenidas acero CALMAX-ASSAB. [10]

En las Figuras 4 y 5 se muestra la microfotografía del acero CALMAX sometido a temple en aceite, se observa la estructura martensítica y el agrietamiento a causa de los cambios de tensión que ocurren alrededor de las dislocaciones individuales y en las paredes de las celdas de la martensita acicular, ciertos sitios intersticiales cercanos a estos defectos son lugares de más baja energía para los átomos de carbono que las posiciones intersticiales normales de la red.

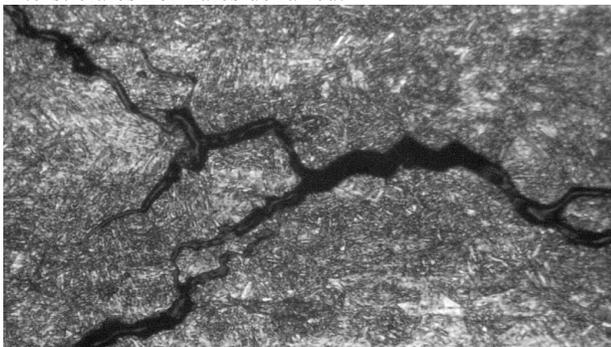


Figura 4. Microfotografía acero Calmax templado en aceite, ataque Nital al 5%, aumentos: 200X.

Aun en la austenita puede ocurrir reacomodo de los átomos, tanto que M_s es afectada por la velocidad de enfriamiento; decir, por el reacomodo de los átomos de carbono que depende del tiempo antes de que empiece la transformación. Estas tensiones internas ocurren a bajas temperaturas donde inicia la transformación martensítica por lo tanto se recomienda realizar un enfriamiento menos drástico por debajo de los 300°C.

Además, se observa en las Figuras 4 y 5 gran cantidad de austenita retenida que es característica de aceros de alta y media aleación como el CALMAX. Por lo tanto es necesario someterlo a un doble revenido con el fin de transformar la austenita retenida a martensita o en su defecto a bainita y posteriormente minimizar las tensiones internas producto de la transformación martensítica.

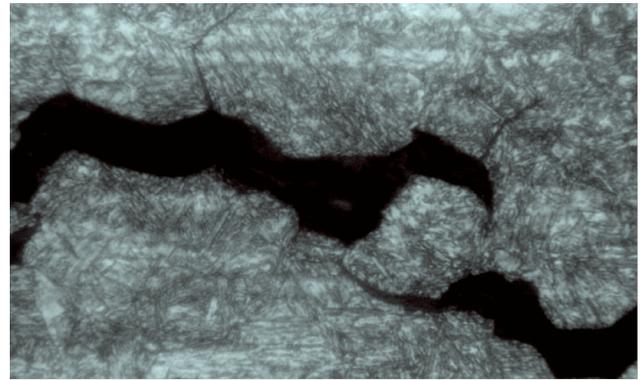


Figura 5. Microfotografía acero Calmax templado en aceite, ataque Nital al 5%, aumentos: 400X.

El temple en aceite no es el método más seguro para enfriar el acero puesto que existe el riesgo de distorsión y aparición de grietas de temple. Estos riesgos pueden verse reducidos si se utiliza el *martemple*. En éste Proceso el material es enfriado en dos etapas. Primero se enfría desde la temperatura de temple en un baño de sales cuya temperatura se encuentra justo por encima de la temperatura M_s . Se mantiene allí hasta que la temperatura se ha equilibrado entre la de la superficie y la temperatura del núcleo, después de la cual el utillaje puede dejarse enfriar libremente al aire hasta el nivel de transformación de la martensita. Al realizar el martemple en aceros de temple al aceite, deberá también tenerse en cuenta que el material se transforma de manera relativamente rápida y no debería mantenerse mucho tiempo a la temperatura del baño de martemple. Ello puede conducir a una excesiva transformación de bainita y también a un riesgo de baja dureza.

Los aceros de alta aleación pueden templarse en aceite, en baño de martemple o al aire. Las ventajas y desventajas de éstos distintos métodos pueden ser discutibles. El aceite aporta un buen acabado y alta dureza, pero maximiza el riesgo de distorsión excesiva o roturas. En el caso de piezas de gran espesor, el enfriamiento en aceite es a menudo el único modo de conseguir la máxima dureza. El martemple en baño de sales produce un buen acabado, alta dureza y un menor riesgo de excesiva distorsión o roturas. Para algunos tipos de acero, la temperatura del baño de sales se mantiene normalmente a unos 500°C. Esta temperatura asegura un choque térmico relativamente suave, pero al mismo tiempo, un nivel de refrigeración suficiente para evitar transformaciones fase.

En las Figuras 7 y 8 se muestran las microfotografías del acero CALMAX sometido a temple y revenidos. Después del temple la estructura de la martensita fresca o virgen es bastante inestable. A esta inestabilidad contribuyen varios factores: la sobresaturación del carbono en la red tetragonal centrada en el cuerpo en la martensita, la

energía de deformación asociada con la estructura de dislocaciones o maclas finas, la energía interfacial asociada con la elevada densidad de límites de listones o placas y la austenita retenida que se encuentra, incluso, en los aceros de bajo carbono.

A las temperaturas mas bajas de revenido, temperatura ambiente o incluso por debajo de cero, ocurren cambios en la estructura y propiedades de la martensita. Los principales fenómenos son:

- Relajamiento de las tensiones residuales producidas durante el temple.
- Redistribución de los átomos intersticiales de carbono en la red alfa formando una superred.
- Interacción entre los átomos de carbono y las dislocaciones; el carbono forma una atmósfera alrededor de ellas: un efecto clásico en el envejecimiento de la ferrita deformada.

Estos efectos se denominan reacciones de envejecimiento, las cuales preceden a las etapas propiamente dichas del revenido que son las siguientes:

- Etapa 1. Precipitación de carburos.
- Etapa 2. Transformación de la austenita retenida.
- Etapa 3. Reemplazo de los carburos de transición por cementita
- Etapa 4. Engrosamiento de la cementita y recristalización de la ferrita, pero en algunos aceros aleados se presenta el endurecimiento secundario.

En la Figura 6 se observa la curva de dureza vs. Temperatura de revenido, en el cual se observa la gran influencia que presenta la austenita retenida sobre la dureza del acero CALMAX.

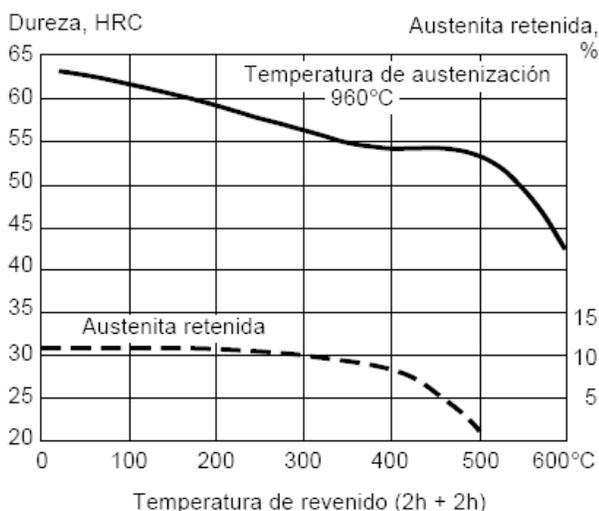


Figura 6. Curva de revenido acero Calmax-ASSAB.

En la Figura 7 se observan las microfotografías del acero CALMAX con un solo revenido a 200°C por 2 horas, 4 horas y 6 horas.

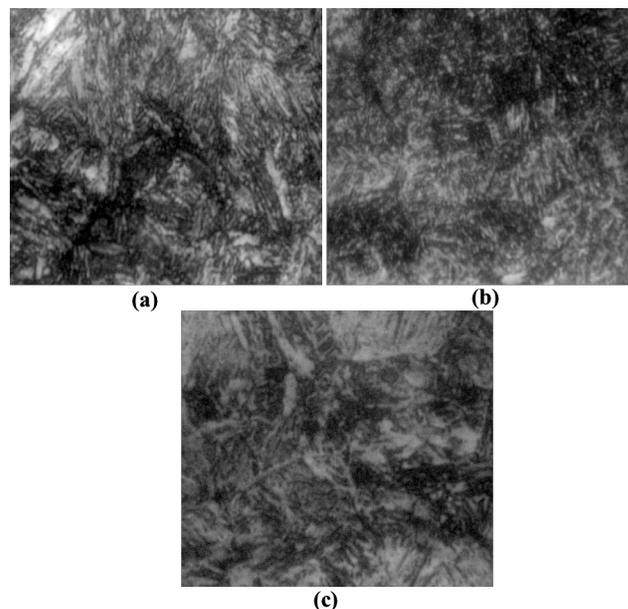


Figura 7. Microfotografía acero Calmax templado en aceite y revenido a 200°C (a) 2 horas, (b) 4 horas, (c) 6 horas, ataque Nital al 5%, aumentos: 400X.

La dureza obtenida durante el temple en aceite fue de 55 HRC un valor muy inferior al reportado por el fabricante ya que este material debe ser protegido muy estrictamente contra la decarburación. Este aspecto se trato de solucionar manteniendo el acero durante la decarburación en carbón vegetal y coque. Por los resultados obtenidos se concluye que el ambiente carburante no fue tan efectivo y por lo tanto se recomienda utilizar una mezcla con activadores de la relación CO/CO₂ como el carbonato de bario.[4,5]

En cuanto a los resultados del revenido a diferentes tiempos de sostenimiento a temperatura de 200°C se presento un comportamiento coherente ya que se obtuvieron dureza inferiores a la de temple debido al relevo de tensiones por la formación de carburos estable como el carburo epsilon (Fe_{2,3}C) hexagonal compacto y el carburo Hagg.(Fe₅C₂) monoclinico. Cuando la temperatura de revenido se aproxima a unos 200°C temperatura utilizada en este estudio, el carburo epsilon se redisuelve y empieza a separarse el carburo de hierro estable Fe₃C (cementita). Este comportamiento es favorecido por el tiempo de sostenimiento debido a que los procesos difusivos a esta temperatura se ven favorecidos. Además, se presenta la descomposición de la austenita retenida que normalmente aunque según la Figura 6 se mantiene del orden del 10% después de dos revenidos de 2 horas cada uno.[2,3]

En la Figura 8(a) se observa la microfotografía del acero Calmax con el tratamiento térmico recomendado por el fabricante dos revenidos de 2 horas cada uno, se observa una estructura martensítica con austenita retenida según la Figura 6 del orden del 10%.

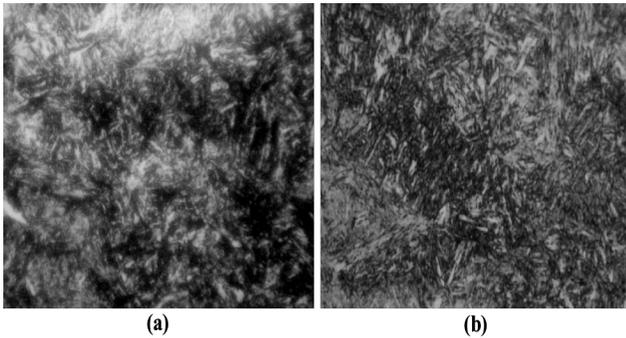


Figura 8. Microfotografía acero Calmax templado en aceite y con (a) 2 revenidos de 2 horas a 200°C y (b) 3 revenidos de 2 horas a 200°C ataque Nital al 5%, aumentos: 400X.

En la Figura 8(b) se observa la microfotografía del acero CALMAX sometido a temple y tres revenidos de 2 horas cada uno, se observa una estructura martensítica con menos presencia de austenita retenida, la dureza se mantuvo durante tres revenidos de baja temperatura del orden de 47HRC.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el temple del acero CALMAX – ASSAB es necesario controlar la velocidad de enfriamiento, ya que se aumenta el riesgo de fractura debido a las tensiones internas producto del tratamiento térmico.

Es necesario someter el acero a dos revenidos debido a que en el primer revenido se realiza la descomposición de la austenita retenida y en el segundo se presenta la formación de carburos estables como la cementita producto del paso del carbono retenido en la estructura metaestable tetragonal de la martensita. Este carbono tiene un paso intermedio en la formación de carburo epsilon y carburo Hagg para posteriormente formar un carburo estable (cementita).

5. BIBLIOGRAFÍA

Referencias de publicaciones periódicas:

- [1] D.V. Edmondsa, K. He F.C. Rizzo, B.C. De Cooman, D.K. Matlock, J.G. Speer “Quenching and partitioning martensite—A novel steel heat treatment” *Materials Science and Engineering A* 438–440 (2006) 25–34

Referencias de libros:

- [2] Valencia, Tecnología del tratamiento térmico de los metales, 2nd ed., Editorial Universidad de Antioquia, 1992, p.62 Y 123.
- [3] Valencia, Transformaciones de fase en metalurgia, 2nd ed., Editorial Universidad de Antioquia, 1998, p.69 Y 136.

- [4] ASM international, Metal Handbook, Properties and selection: irons, steel and high performance alloys. Vol. 1, 1990. p.449.
- [5] ASM international, Metal Handbook, Heat treating. Vol. 4, 1991. p.35, 67 y 207.
- [6] G. Dieter, Mechanical Metallurgy, 2nd ed, McGraw Hill, 1988, p.325.

Normas:

- [7] E-3. Standard guide for preparation of metallographic specimens. ASTM Standard. 2001.
- [8] E18. Standard test methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials. ASTM Standard. 2003.
- [9] A 686 Standard specification for tool steels alloy. ASTM Standard 1994, reapproved 2004.

Reportes Técnicos:

- [10] UDDEHOLM S.A. CALMAX, Acero para trabajo en frío.
- [11] UDDEHOLM S.A. Manual de bolsillo.
- [12] UDDEHOLM S.A. Acero para aplicaciones de trabajo en frío.