

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA		
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	Edison Evelio	
Apellido (s):	Rátiva González	
Código:	20131375095	
E-mail:	edison92c@gmail.com	
Teléfono fijo:	5615752	
Celular:	3504500358	
Título del Proyecto:	INFLUENCIA DEL TEMPLE A TEMPERATURAS INTERCRITICAS Y REVENIDO POR DEBAJO DE Ms EN LA RESISTENCIA A LA TRACCION DE UN ACERO DE BAJO CARBONO Y MANGANESO CERCANO AL 1%	
Duración (estimada):	3 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:	DISING	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de Materiales y Sólidos	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohorquez Ávila	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohorquez Ávila	

Tabla de contenido

Introducción	5
Problemática.....	6
Planteamiento del problema	6
Estado del arte	7
Justificación.....	12
Objetivos	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos	13
Marco conceptual	14
Aceros AHSS.	14
Acero doble fase	14
Tratamientos térmicos	15
Etapas del tratamiento térmico	15
Tipos de tratamiento térmico.....	16
TEMPLE.....	16
REVENIDO	16
Constituyentes de los aceros.....	17
Ferrita.....	17
Cementita.....	18
Bainita.....	18
Austenita	19
Martensita	19
Perlita.....	20
Análisis metalográfico.....	20
Ataque químico	21
Ensayo de dureza.....	22
Ensayo rockwell	22
Cargas, penetradores y escalas.....	22

Ensayo de microdureza	23
Microscopia	24
Microscopia electrónica de barrido	24
Marco normativo	24
Ensayo de tensión	25
Metodología	25
Selección y compra del material	25
Ensayo de espectrometría	25
Fabricación de probetas	26
Calculo de temperaturas	26
Temple y revenido	26
Prueba de tensión	26
Preparación de probetas para prueba metalográfica	26
Análisis metalográfico SEM	26
Ensayo de dureza	26
Ensayo de microdureza	27
Análisis de resultados	27
Presupuesto	27
Cronograma	29
Bibliografía	30

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Comparación Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDAX) aleación 2 en estado de suministro(A), templada en agua y revenida 200 °C (B), 800 °C (C)8

Ilustración 2. a) Micrografía de un típico acero Hadfield (b) Micrografía de acero Hadfield deformado en servicio.....11

Glosario

- **AHSS:** Aceros avanzados de alta Resistencia (Advanced high strength steels)
- **DP:** Aceros doble fase (Dual Phase)
- **Metalografía:** Ensayo empleado para determinar las características microestructurales de los metales.
- **SEM (microscopio electrónico de barrido):** Técnica empleada para realizar imágenes de la superficie de una probeta en alta resolución.
- **Zona intercrítica:** Puntos críticos AC1 y AC3 del diagrama hierro – carbono, donde se presenta una doble fase.

Introducción

El hierro es un material muy versátil a la hora de alearse con distintos elementos, y formar una gran variedad de aceros con propiedades muy particulares. El estudio y mejora constante de los tratamientos para mejorar las distintas propiedades de los aceros es una demanda latente en la ingeniería mecánica, para poder dar soluciones más económicas duraderas y eficientes.

En este trabajo se estudiara específicamente la aleación de hierro con carbono y manganeso con denominación ASTM A131, que por sus buenas propiedades de soldabilidad, alta resistencia, buena calidad de acabado y ductilidad, es muy utilizado en la industria naval.

Este trabajo forma parte del semillero DISIGN y con base en previas investigaciones se enfocara en el estudio de la tenacidad del material por medio de pruebas de tensión, luego de haber sido sometido a un tratamiento térmico: templadas desde temperaturas intercríticas y revenidas, con lo que se busca mejorar la tenacidad y dureza después de haber aplicado el tratamiento térmico. Al material se le realizara una microscopia electrónica de barrido para poder comparar la incidencia del tratamiento.

Problemática

Planteamiento del problema

Temas preocupantes como el calentamiento global, la explotación acelerada de las fuentes de combustibles fósiles, y las tasas de accidentalidad en vehículos automotores, motivan a diferentes campos de la ingeniería a trabajar arduamente en el desarrollo de tecnologías que permitan mitigar estos problemas. Los fabricantes de vehículos de transporte hacen estudios para aumentar la eficiencia de combustible, la seguridad, los diseños atractivos y la accesibilidad de los mismos.

Es así como los materiales de fabricación entran a jugar un papel muy importante mejorando la relación peso potencia, resistencia y facilidad de fabricación para cumplir los estándares de diseño. Según el artículo *influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero SAE 1045* los llamados aceros avanzados de alta resistencia AHSS (Advanced High strength Steels) están ganando presencia en la fabricación de automóviles pasando de 9.7% en el 2007 a 34.8% en el 2015¹ lo que denota cierto interés en las propiedades mecánicas del grupo que conforman los AHSS dentro de los que se encuentran los aceros doble fase.

El desarrollo tecnológico nacional no puede ser ajeno a esta tendencia tecnológica mundial, en la que se busca eficiencia seguridad y economía. En busca de reducir costos, aumentar capacidades y mejorar tiempos de respuesta la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval y Marítima, Cotecmar, hace desarrollos en la industria naval, que posicionan a Colombia como líder en la región por su desarrollo de buques tipo OPV. Actualmente trabajan en el diseño de nuevas embarcaciones, teniendo así una demanda implícita en el desarrollo de materiales que aporten a la eficiencia y seguridad de sus embarcaciones, siendo algunos aceros doble fase ampliamente usados en la industria naval.

¹ BOHORQUEZ, AVILA Carlos Arturo, influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero sae 1045.

El grupo DISING de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, constantemente hace avances en tratamientos a materiales de ingeniería, puntualmente en el 2017 Brayan Guillermo Aguilar Sánchez y Julián David Cárdenas Miranda realizaron un estudio donde aplicaron un tratamiento térmico a un acero doble de bajo carbono y un porcentaje de manganeso cercano al 1%, donde se mejoraron las propiedades mecánicas a un nivel que el ensayo de impacto no pudo ser claro en la cuantificación debido al límite de la máquina de ensayos.

Estado del arte

En el artículo presentado en la Revista Ingeniería Universidad de Medellín por Oscar Fabián Higuera Cobos, Carlos Mauricio Moreno Téllez y Betsy Adriana Suarez Tovar, titulado **“Evolución Microestructural Del Acero Austenítico Al Manganeso Sometido A Tratamiento Térmico De Temple Y Revenido”** que fue realizado en el 2009 se evidencia una investigación donde se estudiaron los cambios microestructurales en aceros austeníticos al manganeso con 9 y 13% Mn en presencia de cromo (1.4 – 2.0%), haciendo pruebas con dos aleaciones y enfocándose en las diferencias entre las mismas.

Se evaluó el ciclo térmico de temple y revenido sobre la estabilidad de la fase austenita y la presencia de compuestos de segunda fase como carburos de hierro y cromo del tipo (Fe, Mn)₃C y (Fe, Cr)₇C₃. La temperatura de austenización fue de 1050 °C, con un tiempo de sostenimiento de 1 hora y el medio de enfriamiento agua. Los tratamientos de revenido se efectuaron en un rango de 200 a 800 °C con intervalos de 200 °C y tiempo de permanencia 2 horas. Para este análisis el material se sometió a pruebas de caracterización tales como: microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), espectrometría de emisión óptica y difracción de rayos X, en estado de suministro y bonificado².

Se presentaron los análisis con las dos temperaturas de revenido para establecer cuál era la diferencia entre las propiedades mecánicas que ganaba o perdían las aleaciones. El revenido

² HIGUERA, Óscar; MORENO, Carlos y SUÁREZ, Betsy. Evolución microestructural del acero austenítico al manganeso sometido a tratamiento térmico de temple y revenido. En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 196p

a 200°C dio como resultado una leve descomposición de la fase austenítica en la fase de ferrita y carburos de hierro comportamiento que según los autores no es conveniente porque en dichas fases se presentan propiedades blandas de los aceros. Con el revenido a 800°C se evidenció un comportamiento austenítico con presencia de carburos de hierro, la austenita recibe el contenido de aleante de los carburos, el cual produce una disminución de la actividad del carbono en la interfase austenita/carburo, y la etapa de disolución rápida finalizará en menor tiempo

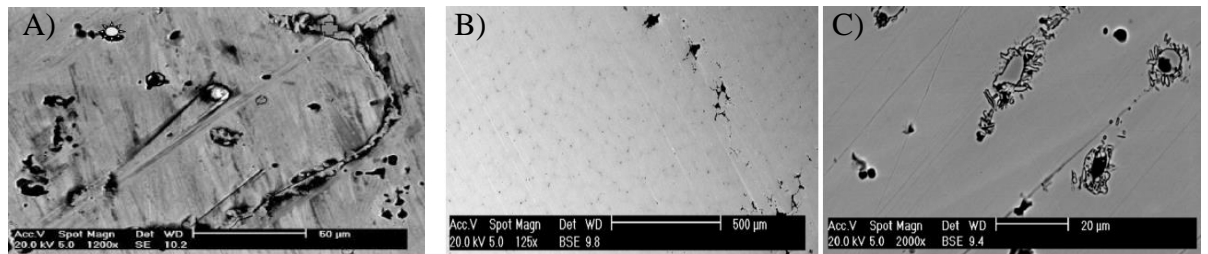


Ilustración 1. Comparación Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDAX) aleación 2 en estado de suministro(A), templada en agua y revenida 200 °C (B), 800 °C (C).

En el trabajo de grado “**ESTUDIO MICROESTRUCTURAL DE LÁMINAS DE ACERO ASTM A 131 GRADO A SOMETIDAS A CARGAS EXPLOSIVAS**” realizado en 2005 por Grace Kelly Beleño Calderón y Lyda Margarita Herrera Camacho, realizaron la caracterización mecánica y micro-estructural del acero ASTM A-131A antes y después de ser sometido a explosiones cercanas.

La prueba se realizó con probetas en forma de lámina que con dimensiones 725 X 550 mm y espesor de ¼ in (6.35mm), reforzada con vigas en L de 50.8 X 50.8 mm, y el material explosivo seleccionado fue 125 gramos de pentolita porque es uno de los explosivos más sensibles y estables, y comercialmente se encuentra en presentaciones de 125g, 250g, 500g, y 1 Kilogramo con una composición química es: 50 % PENT (pentaeritrta -tetranitrato) y 50 % de TNT (trinitro-tolueno), esta composición hace que el explosivo posea insensibilidad al choque o fricción lo que garantiza la seguridad en las maniobras.

Se impactaron 3 probetas y para determinar la incidencia del impacto por las cargas explosivas se aplicaron ensayos de análisis morfológico, análisis de inclusiones diferenciación de fases, tamaño de grano, micro dureza vickers, composición química, tracción, y ultrasonido aplicando las normas ASTM correspondientes a cada procedimiento

El resultado de los ensayos micro estructurales al comparar el antes y después del impacto, se evidencio que no existieron cambios significativos en parámetros como dureza, tamaño de grano y porcentajes de fases presentes, lo que indica que las condiciones del material se mantuvieron iguales.

Dado que el acero naval ASTM A 131 grado A después de ser impactado mostró similares características microestructurales y mecánicas a las del acero antes de impacto, se puede concluir que esta lamina metalúrgicamente podrá ser utilizada en condiciones de servicio similares bajo los parámetros tenidos en cuenta para la realización del ensayo, como son: explosivo usado, cantidad del mismo, ubicación de este con respecto al panel, relación a/b del panel, entre otros.

Al comparar las propiedades mecánicas obtenidas después de impacto con respecto a las suministradas antes de impacto, se establece que existen pequeñas diferencias en parámetros como esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y esfuerzo de ruptura, lo cual no coincide con lo establecido en las propiedades micro estructurales que no muestran variación. Este hecho puede deberse a factores como: ubicación explosivo con respecto al panel, geometría del panel, extracción de probeta para ensayo de tracción post- impacto y soldadura de elementos rígidos al panel, entre otras.³

En el artículo “**Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros Hadfield)**” elaborado en el 2007, ejecutado por los señores Oscar Higuera, José Trstancho y Luis Flórez, analizaron el efecto de algunos elementos sobre las propiedades mecánicas de los aceros, dentro de lo cual caracterizo tres categorías para las cuales las estableció según

³ CALDERON, Kelly y HERRERA Lyda. Estudio microestructural de láminas de acero astm a 131 grado a sometidas a cargas explosivas. Trabajo de grado de ingeniería mecánica. Cartagena de indias. Universidad tecnológica de Bolívar facultad de ingeniería. 2005. 164p

como se disuelven en la ferrita, los que entran en la ferrita y que forman carburos estables y finalmente los que sólo forman carburos. Dentro de lo que nos interesa, elementos como el carbono y el manganeso, arrojaron como resultados interesantes a tener en cuenta, como por ejemplo que el manganeso afecta en una proporción pequeña la resistencia a la fluencia de los aceros austeníticos, esto respaldado en pruebas de tensión, resistencia ultima y cálculo de la ductilidad. Por otro lado, comprobaron que el manganeso disminuye las velocidades críticas de enfriamiento durante el temple; con más de un 3%Mn, el enfriamiento al aire produce estructuras bainítica y, si el contenido es mayor estructuras martensíticas; de ahí que su efecto sobre la templabilidad sea mayor que el de otros aleantes comunes.⁴

Una descripción muy acertada de los aceros de bajo carbono y un porcentaje de manganeso cercano al 1% se da en el artículo “**Aceros austeníticos al manganeso: breve reseña histórica**” realizado en el 2004 por Carlos Iglesias T. y Bernd Schulz E., se indica que los aceros al manganeso son materiales de baja resistencia y alta ductilidad como se puede determinar por medio de un ensayo de tracción antes de su puesta en servicio. Su microestructura es principalmente una fase austenítica metaestable, posterior a su tratamiento térmico. La figura 2 (a) muestra la microestructura de un acero con 12 % Mn y 1,2 % C, tratado térmicamente desde 1050 °C y templado en salmuera, extraído del Steel Casting Handbook de la ASM, mientras que la (b) presenta la microestructura deformada de estos aceros en servicio.

⁴ HIGUERA, Oscar. TRISTANCHO, José. FLOREZ, Luis. Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros Hadfield). En: Scientia et Technica Año XIII, No 34. P231-236.

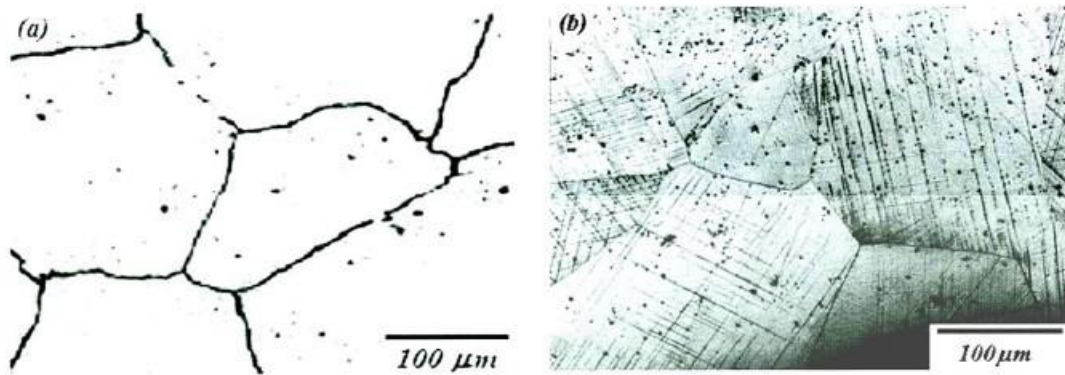


Ilustración 2. a) Micrografía de un típico acero Hadfield (b) Micrografía de acero Hadfield deformado en servicio

Por otro lado la austenita con altos % Mn, es muy susceptible al fenómeno de fragilidad intergranular, el cual es la principal causa de rechazos en producción y fallas en servicio. El efecto de la masa juega un papel extremadamente importante en la segregación dendrítica. La concentración de elementos de aleación en los espacios interdendriticos, actúa directamente en desmedro de la tenacidad e indirectamente al modificar la reacción de la austenita frente el tratamiento térmico, es decir, modifica la cinética de transformación de la austenita.⁵

Uno de los últimos estudio realizados por el semillero DESIGN y referente a los aceros de bajo carbono con un contenido de manganeso cercano al 1%, fue el trabajo realizado por Brayan Guillermo Aguilar Sánchez y Julián David Cárdenas Miranda, que fue titulado “Influencia **del temple a temperaturas intercríticas y revenido por debajo de ms en la resistencia al impacto de un acero astm a131**”, realizado en el 2017 como trabajo de grado de ingeniería mecánica. Durante la investigación se establecieron las temperaturas de temple y revenido gracias a las ecuaciones de *Kasatkin* y *Sverdkin – Ness*, respectivamente.

Las probetas de, material se metieron a la mufla precalentada a 800°C y el temple se realizó durante 30 minutos, el enfriamiento se realizó en agua fría en un tiempo de 10 minutos,

⁵ IGLESIAS, Carlos. Aceros asteníticos al manganeso: breve reseña histórica En: Remetallica Junio, 2004, no 10. P9-14.

posteriormente el revenido se realizó a 400°C por un tiempo de 30 minutos y el enfriamiento súbito nuevamente se da por agua fría

Los ensayos que se le practicaron a las probetas tratadas fueron el ensayo de dureza micro dureza, imágenes microestructurales, porcentaje de fase, microscopia electrónica de barrido, y el ensayo de impacto.

Como resultado de los ensayos se pudo concluir que en cuanto a dureza el tratamiento térmico endureció el material en un 26.24% y según los autores esta variación se debe a la formación de martensita que se generó durante el tratamiento térmico. Al analizar la microdureza de las dos fases presentes en el material se concluye que el tratamiento térmico aumento en un 66%, pero a pesar de esto la resistencia al impacto no se vio muy afectada ya que los autores observaron que el material tratado y el material base absorben valores de energía muy similares

Justificación

El motivo por el que se plantea evaluar los efectos causados al tratar térmicamente un acero de bajo carbono y un porcentaje de manganeso cercano al 1%, es continuar con la investigación de Brayan Guillermo Aguilar Sánchez y Julian David Cárdenas Miranda, donde encontraron una influencia muy positiva en el tema de durezas, pero como ellos mismos plantearon “Se recomienda profundizar en el estudio de este material bajo pruebas de impacto, ya que, el péndulo de impacto de la universidad no genera la energía suficiente para romper todas las probetas ocasionando que los datos de impacto no tengan la confiabilidad deseada.” Y para dar continuidad a este estudio y plantear bien la tenacidad que puede incrementar el material bajo la influencia de tratamientos térmicos se propone aplicar prueba de tensión entre otras.

Las mejoras que se hagan a las propiedades del material serán de interés industrial nacional y mundial para hacer vehículos más livianos seguros y económicos. A nivel nacional la información sería de interés de organizaciones como Cotecmar que están desarrollando tecnologías de fabricación de embarcaciones, así que un aporte nuevo optimizaría sus diseños.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la influencia del temple a temperaturas intercríticas y tiempo de revenido por debajo de Ms en la resistencia a la tracción de un acero de bajo carbono y manganeso cercano al 1%

Objetivos específicos

- Establecer la secuencia de los tiempos y temperaturas que se utilizaran para el tratamiento basado en la composición química.
- Realizar un temple desde temperaturas intercríticas y posteriormente revenido con diferentes tiempos por debajo de Ms.
- Realizar las pruebas de tensión según la norma ASTM E-8 para determinar la influencia del tiempo de revenido en las propiedades mecánicas de tensión dureza y cambios microestructurales.

Marco conceptual

Aceros AHSS.

Los llamados aceros avanzados de alta resistencia o AHSS por sus siglas en inglés Advanced High strength Steels son una serie de aceros aleados que se han venido implementando con bastante fuerza en la industria automotriz, sobretodo en la parte de carrocerías y chasis, debido a sus tensiones de rotura y sus límites elásticos son mayores que en los aceros convencionales.

La principal diferencia entre los aceros convencionales HSS y los avanzados AHSS es su microestructura. Los HSS son monofásicos con una estructura ferrítica, mientras que los AHSS son de múltiples fases, que pueden contener ferrita, martensita, bainita, y / o austenita retenida en cantidades suficientes para producir distintas propiedades mecánicas. Algunos tipos de AHSS tienen una mayor capacidad de endurecimiento dando como resultado unas propiedades resistencia-ductilidad mayor a los aceros convencionales.⁶

Acero doble fase

En 1994, un consorcio de 35 productores de acero comenzó el proyecto UltraLight Steel Auto Body (ULSAB) W-1, programa para diseñar una estructura de carrocería de acero ligero que cumpliría una amplia gama de seguridad. El Body in white (BIW) presentado en 1998 validó los conceptos del proyecto ULSAB, demostrado ser ligero, estructuralmente sano, seguro, ejecutable y asequible. Uno de los principales contribuyentes al éxito de la ULSAB fue un grupo de nuevos tipos de acero y grados llamados Aceros Avanzados de Alta Resistencia (AHSS). La familia AHSS tiene dentro de sus miembros los aceros doble fase (DP) que se caracterizan por sus propiedades mecánicas incluyendo un límite elástico bajo, alto nivel de endurecimiento en frío, buena aptitud para la distribución uniforme de las deformaciones esta

⁶ Instituto tecnológico metalmecánico. Aceros avanzados de alta resistencia. mayo 2008.

propiedad es obtenida gracias a la microestructura, que consiste en una fase dura (martensita o bainita) dispersa en una matriz ferrítica dúctil, también alta resistencia a la tensión.

Tratamientos térmicos

Es el conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento a que son sometidos los aceros, con el fin de modificar sus propiedades o conceder características determinadas. Generalmente se utilizan los tratamientos térmicos para elevar la dureza del material, aumentar la resistencia al desgaste, incremento en la resistencia mecánica, etc.⁷

Etapas del tratamiento térmico

La mayoría de tratamientos térmicos deben seguir ciertos protocolos para que su efecto sea el deseado, donde el material atravessara las siguientes etapas:

- **Pre calentamiento:** en esta etapa se incrementara la temperatura del material de la forma más uniforme posible, hasta alcanzar la temperatura deseada en el temple, y depende mucho del horno o mufla en la que se vaya a trabajar.
- **Permanecía de la temperatura:** una vez el equipo alcance la temperatura deseada el material entra en la fase de permanencia. Se debe establecer el tiempo al cual se va a someter el material a dicha temperatura. Se debe tener en cuenta un tiempo de alrededor de 2 minutos por milímetro de espesor como permanencia mínima.
- **Enfriamiento:** es etapa inicia una vez se cumple el tiempo de permanencia a la temperatura deseada, dependiendo del tipo de tratamiento térmico que se realice el medio de enfriamiento cambia, por ejemplo, agua, aceite, salmuera o simplemente aire.⁸

⁷ A. Forero Mora, *METALURGIA PRÁCTICA*, 4ta Edición, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá), 2010.

⁸ TRATAMIENTOS TÉRMICOS PROTOCOLO – Escuela colombiana de ingeniería.

Tipos de tratamiento térmico

Existen diversos tipos de tratamiento térmico pero los más usados a nivel industrial son el temple, recocido, revenido y normalizado. A continuación revisaremos los tratamientos térmicos empleados en el presente proyecto.

TEMPLE

El temple es un tratamiento térmico en el cual se calienta el acero se calienta y se enfría rápidamente con el objetivo de aumentar su dureza y resistencia mecánica. En la etapa de calentamiento cuya temperatura debe ser mayor a la temperatura crítica del material, toda la masa se transforma en austenita y luego en el enfriado rápido (en aceite, agua o salmuera), se convierte en martensita. Existen varios tipos de temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la templabilidad del material.

REVENIDO

El revenido es un tratamiento térmico que se realiza posterior al temple para complementarlo, ya que después del temple los aceros suelen quedar demasiados duros y frágiles para los usos los cuales están destinados por lo que el revenido disminuye la dureza y la fragilidad excesiva, sin perder demasiada tenacidad.

El revenido consiste en calentar el acero a una temperatura inferior al punto crítico o temperatura de recristalización, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretenden tenacidades altas, o lentos cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar las deformaciones. Cabe aclarar que el proceso de revenido no elimina los efectos del temple, solamente los modifica para obtener mejores resultados.

Constituyentes de los aceros

El acero es una aleación de hierro con una pequeña proporción de carbono, que comunica a aquellas propiedades especiales tales como dureza y elasticidad. En general, también se pueden fabricar aceros con otros componentes como manganeso, níquel o cromo. El hierro es un constituyente fundamental de algunas de las más importantes aleaciones de la ingeniería. El hierro es un metal alotrópico, por lo que puede existir en más de una estructura reticular dependiendo fundamentalmente de la temperatura. Es uno de los metales más útiles debido a su gran abundancia en la corteza terrestre (constituyendo más del 5% de esta, aunque rara vez se encuentra en estado puro, lo más normal es hallarlo combinado con otros elementos en forma de óxidos, carbonatos o sulfuros) y a que se obtiene con gran facilidad y con una gran pureza comercial. Posee propiedades físicas y mecánicas muy apreciadas y de la más amplia variedad.

El hierro técnicamente puro, es decir, con menos de 0.008% de carbono, es un metal blanco azulado, dúctil y maleable, cuyo peso específico es 7.87. Funde de 1536.5°C a 1539°C reblandeciéndose antes de llegar a esta temperatura, lo que permite forjarlo y moldearlo con facilidad. El hierro es un buen conductor de la electricidad y se imanta fácilmente.⁹

Ferrita

Aunque la ferrita es en realidad una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es tan pequeña que no llega a disolver ni un 0.008% de C. Es por esto que prácticamente se considera la ferrita como hierro alfa puro. La ferrita es el más blando y dúctil constituyente de los aceros. Cristaliza en una estructura BCC. Tiene una dureza de 95 Vickers, y una resistencia a la rotura de 28 Kg/mm², llegando a un alargamiento del 35 al 40%. Además de todas estas características, presenta propiedades magnéticas. En los aceros aleados, la ferrita suele contener Ni, Mn, Cu, Si, Al en disolución sólida sustitucional. Al microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más ir

⁹ CONSTITUYENTES DE LOS ACEROS. Universidad Autónoma de Madrid.

regulares que la austenita. El motivo de esto es que la ferrita se ha formado en una transformación en estado sólido, mientras que la austenita, procede de la solidificación.

La ferrita en la naturaleza aparece como elemento proeutectoide que acompaña a la perlita en:

- Cristales mezclados con los de perlita (0.55% C)
- Formando una red o malla que limita los granos de perlita (0.55% a 0.85% de C)
- Formando agujas en dirección de los planos cristalográficos de la austenita.¹⁰

Cementita

La cementita es un compuesto intermetálico cuyo enlace predominante es no metálico, parece lógico que sea frágil y además, el constituyente más duro de los aceros (68 HRC), por lo que, no es posible utilizarla para operaciones de laminado o forja debido a su dificultad para ajustarse a las concentraciones de esfuerzos¹¹

Bainita

El crecimiento de la ferrita bainítica se ha discutido en la literatura basada en la reconstrucción o mecanismos de transformación displace. En la definición reconstructiva, el crecimiento de la bainita es el producto del crecimiento disfuncional, no cooperativo y competitivo de ferrita y cementita en austenita durante la descomposición eutectoide con cementita.¹²

¹⁰ ACEROS: ALEACIONES HIERRO-CARBONO. Universidad Autónoma de Madrid.

¹¹ Ciencia e ingeniería de materiales. Estructura, transformaciones, propiedades y selección.

¹² Manual del tratamiento térmico, metalurgia y tecnología.

Austenita

Este es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma. La proporción de C disuelto varía desde el 0 al 1.76%, correspondiendo este último porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita en los aceros al carbono, es decir, si ningún otro elemento aleado, empieza a formarse a la temperatura de 723°C. También puede obtenerse una estructura austenítica en los aceros a temperatura ambiente, enfriando muy rápidamente una probeta de acero de alto contenido de C a partir de una temperatura por encima de la crítica, pero este tipo de austenita no es estable, y con el tiempo se transforma en ferrita y perlita o bien cementita y perlita.

Excepcionalmente, hay algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos, cuya estructura es austenítica a la temperatura ambiente. La austenita está formada por cristales cúbicos de hierro gamma con los átomos de carbono intercalados en las aristas y en el centro. La austenita tiene una dureza de 305 Vickers, una resistencia de 100 Kg/mm² y un alargamiento de un 30 %. No presenta propiedades magnéticas.

Martensita

La martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa. Se obtiene por enfriamiento muy rápido de los aceros, una vez elevada su temperatura lo suficiente para conseguir su constitución austenítica. Se presenta en forma de agujas y cristaliza en la red tetragonal en lugar de cristalizar en la red cúbica centrada, que es la del hierro alfa, debido a la deformación que produce en su red cristalina la inserción de los átomos de carbono.

La dureza de la martensita puede atribuirse precisamente a la tensión que produce en sus cristales esta deformación de la misma manera que los metales deformados en frío deben a los granos deformados y en tensión el aumento de dureza que experimentan. Después de la cementita es el constituyente más duro de los aceros.

La proporción de carbono de la martensita no es constante sino que varía hasta un máximo de 0,89%, aumentando su dureza, resistencia mecánica y fragilidad con el contenido de

carbono. Su dureza varía de 50 a 68 Rockwell-C; su resistencia mecánica, de 175 a 250 kg/mm², y su alargamiento de 2,5 a 0,5%.¹³

Perlita

Es un constituyente compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita, es decir, hay 6.4 partes de ferrita y 1 de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Vickers, con una resistencia a la rotura de 80 Kg/mm² y un alargamiento del 15%. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita. Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si el enfriamiento es muy brusco, la estructura es más borrosa y se denomina perlita sorbítica. Si la perlita laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura inferior a la crítica (723 °C), la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular.

Análisis metalográfico

El análisis metalográfico es el estudio microscópico de las características estructurales de los materiales. Es posible determinar el tamaño y estructura de grano, determinación de espesor de recubrimiento, la calidad de tratamiento térmico, calidad de la soldadura y revestimiento, conteo de fases, etc.¹⁴

El estándar más común para el análisis metalográfico es el ASTM E3.

El análisis macroscópico se puede realizar solo con el ojo humano sin necesidad de un microscopio. El análisis se puede usar en:

- Líneas de flujo en materiales forjados.
- Capas en herramientas endurecidas por medio de tratamiento térmico.

¹³ Ciencia De Materiales: <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-ingenieria/ciencia-de-los-materiales/2014/ii/guia-6.pdf>

¹⁴ Calidad y Técnica Industrial.

- Zonas resultado del proceso de soldadura.
- Granos en algunos materiales con tamaño de grano visible.
- Marcas de maquinado.
- Grietas y ralladuras.

Orientación de la fractura en fallas.

Por medio del análisis metalográfico, se puede determinar el comportamiento estructural indicando:

- Tamaño de grano.
- Límites de grano y dislocaciones.
- Análisis microestructural.
- Distribución de fases en aleaciones

Para la preparación de superficies lo que se hace comúnmente es un mecanizado y posteriormente un proceso de pulimiento. La operación se compone de distintas etapas que van incrementando su fineza para proporcionar un mejor acabado por medio de diferentes lijas primeramente con un grano grueso, y gradualmente se cambian los papeles de lija por otros que tengan un tamaño de grano más finos para obtener una superficie plana sin llegar a producir rayones muy profundos, hasta obtener una superficie con un acabado “brillo espejo”. También se usan elementos especiales para el acabado de las probetas, tales como la pulidora, que usando paños especiales logra darle un acabado muy fino que sería el proceso final de pulido

Ataque químico

Es un proceso de corrosión controlado que se da por medio de una solución adecuada que depende del tratamiento térmico, del material y el resultado esperado entre otros. Se sumerge la probeta previamente pulida en la solución corrosiva por un determinado tiempo, los tiempos y las soluciones se toman usualmente con base en tratamientos similares y previos.

Ensayo de dureza

Este ensayo pretende medir la resistencia a ser rayado o marcado por una pieza de otro material llamado penetrador, el cual ejerce una fuerza controlada en un tiempo determinado sobre la superficie del material que se desea calcular la dureza.

Ensayo rockwell

En los ensayos de dureza Rockwell, las unidades de dureza se establecen por la medida de la profundidad, e, de la huella de acuerdo con el modelo:

$$HR = A - e \text{ (mm)}/0.002$$

El ensayo es aplicable a todo tipo de materiales metálicos:

- **Blandos.** Se utiliza como penetrador una bola de acero templado, similar al del ensayo Brinell, con diámetros de bola y cargas normalizados para cada tipo de ensayos.
- **Duros.** Se utiliza como penetrador un cono de diamante de 120° de ángulo de vértice redondeado en la punta. Se usan cargas normalizadas de 60, 100 y 150 kilogramos.
- **Pequeños espesores en materiales blandos o duros.** Es el caso de flejes, chapas delgadas o también sobre capas endurecidas, cementadas o nitruradas. En este supuesto se usa la modalidad de pequeñas cargas especificadas en la norma, 3 kilogramos de precarga y 15, 30 o 45 kilogramos de carga. Se conoce este tipo de ensayos como Rockwell superficial.¹⁵

Cargas, penetradores y escalas

La carga aplicada resulta de una inicial cuyo valor es de 10 kg en todos los casos y otra adicional de 50, 60, 90 o 140 kg, de acuerdo al material a ensayar. Los penetradores pueden

¹⁵ Universidad Politécnica de Valencia, ensayo de dureza.

ser bolillas de acero o bien un cono de diamante cuya punta tiene radio de 0,2 mm y un ángulo de 120°.

De esta manera es posible obtener distintas combinaciones de cargas y penetradores; en la actualidad existen 15 combinaciones o escalas distintas que se identifican con las letras A, B, C, D, etc. *HRC* significa dureza Rockwell escala C (cono de diamante y una carga total de 150 kg). Como se puede ver en la tabla 5, para metales y aleaciones duras se utiliza el cono de diamante con una carga total de 150 kg. Cuando se ensayan materiales muy blandos se utilizan bolillas de 1/8 y 1/2 con cargas de 60, 100 y 150 kg.

Para valores inferiores a *HRB* = 10 se deberá utilizar bolillas de mayor diámetro o bien la de 1/16 con una carga total de 60 kg. La escala E se utiliza para piezas fundidas y materiales muy blandos. Esta escala trabaja con un penetrador esférico de 1/8" y con una carga de 100 kg.¹⁶

Ensayo de microdureza

El ensayo de microdureza es un método bastante similar a la prueba Vickers y se puede decir que esta se reserva para láminas que son muy delgadas menores a 2 mm de espesor, pero también se puede usar en vidrios.

En esta prueba o ensayo también conocido como dureza Knoop es un penetrador de diamante muy pequeño y con una geometría en forma de pirámide el que procede a forzarse en la superficie que queremos trabajar; las cargas que se buscan aplicar son mucho menores a comparación de la anterior nombrada dureza Rockwell, y están limitadas entre 1 y 1000 gramos de fuerza.

¹⁶ Ensayo de Dureza. Anónimo. Disponible en: <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>. Recuperado: 20 de julio de 2017

Este tipo de prueba básicamente es utilizada para medir dureza en pequeñas regiones específicas de la superficie que queramos considerar dentro de una investigación; normalmente este ensayo se lleva a cabo en materiales de alta fragilidad como por ejemplo en el caso de los cerámicos.¹⁷

Microscopia

Es una técnica donde usualmente se utiliza microscopio óptico y electrónico. Estas técnicas apoyan el análisis microestructural de la mayoría de materiales.

Microscopia electrónica de barrido

Es una de las técnicas de microscopía electrónica en la que se pueden reproducir imágenes de alta resolución de la superficie del material que se va a evaluar. Funciona mediante la interacción del electrón y la materia, ya que el haz que se utiliza es de electrones sustituyendo el haz de luz convencional.

Marco normativo

El conjunto de normas referentes al estudio que se realizara, son

- ASTM E3 - 2011 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. Es la norma referente para la preparación de las probetas para el análisis metalográfico.
- ASTM E407 – 2015 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. Norma correspondiente al ataque químico de la probeta.
- ASTM E18 – 2016 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. Se utilizan para establecer los parámetros en la prueba de dureza en escala rockwell, para diferentes tipos de materiales metálicos.
- ASTM E92 – 82 – 2003 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials. Parámetros para aplicar en la realización de las pruebas de dureza en escala Vickers, para materiales metálicos.
- NTC 1486 (Norma Técnica Colombiana) Normas enfocadas para la presentación de trabajos de grado tesis monografías y trabajos de investigación. `

¹⁷ WILLIAM D. CALLISTER, Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volumen 1, editorial reverté.

- ASTM E8- Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

Ensayo de tensión

Este ensayo es utilizado para medir la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Esta prueba consiste en alargar una probeta de ensayo por fuerza de tensión, ejercida gradualmente, con el fin de conocer ciertas propiedades mecánicas de materiales en general: su resistencia, rigidez y ductilidad. Sabiendo que los resultados del ensayo para un material dado son aplicables a todo tamaño y formas de muestra, se ha establecido una prueba en la cual se aplica una fuerza de tensión sobre una probeta de forma cilíndrica y tamaño normalizado, que se maneja universalmente entre los ingenieros. Este ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente entre 10°C y 35°C.¹⁸

Metodología

Selección y compra del material

- Establecer parámetros importantes para la selección del material adecuado, y hacer una matriz de ponderación para selección del mismo.
- Realizar cotizaciones de acuerdo a la presentación que requiere la norma para la elaboración de las probetas.
- se deberá hacer un estudio de composición para determinar realmente que componentes tiene el material que se estudiara

Ensayo de espectrometría

- Se usara un espectrómetro para determinar la composición química del material

¹⁸ Ensayo de tensión protocolo. Escuela colombiana de ingeniería 2011

Fabricación de probetas

- Conocer plenamente los parámetros de la norma ASTM E8 referentes a la fabricación de las probetas
- Maquinar y pulir adecuadamente las probetas para el tratamiento térmico.

Calculo de temperaturas

- De acuerdo a ecuaciones, estudios e investigaciones previamente realizados, establecer las temperaturas y tiempos del tratamiento.

Temple y revenido

- Se usara la mufla para hacer el tratamiento térmico de acuerdo a las temperaturas y tiempos previamente establecidos.

Prueba de tensión

- De acuerdo a la norma ASTM E8 se realizara el ensayo de tensión a las probetas tratadas y a las no tratadas.

Preparación de probetas para prueba metalográfica

- Se empleara la norma ASTM e3 como guía para la preparación de las probetas para la el ensayo de metalografía.

Análisis metalográfico SEM

- De acuerdo a la norma ASTM E407 se realizara el ataque químico
- Se harán las imágenes de las probetas tratadas y no tratadas.

Ensayo de dureza

Ensayo de microdureza

Análisis de resultados

- Se tomaran los resultados de los diferentes ensayos para analizarlos entre si
- Se tomaran los resultados de proyectos similares y se compararan para establecer si hubo un resultado positivo o negativo.

Presupuesto

A continuación se relacionan los costos estimados para el desarrollo del proyecto:

Recursos humanos:

RECURSO	COSTO POR HORA	HORAS	COSTO TOTAL	FUENTE DE FINANCIACION
Tutor	\$ 40.000	48	\$ 1.920.000	Universidad Distrital F.J.C.
Desarrollador	\$ 15.000	180	\$ 2.700.000	Desarrollador
		TOTAL	\$ 4.620.000	

- Tutor: profesor de planta de la Universidad Distrital encargado de seguir el desarrollo del proyecto y de guiar al desarrollador. También se encarga de corregir los documentos.
- Desarrollador: Encargado de ejecutar el proyecto, siguiendo las guías del tutor. Implementa el código y genera la documentación.

Se estima un promedio de 15 horas por semana para el desarrollador.

Insumos, y gastos:

RECURSO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL	FUENTE DE FINANCIACION
Material	50000	1	\$50.000	Desarrollador
Impresiones	100	300	\$30.000	Desarrollador
Mecanizado	7000	30	\$210.000	Desarrollador
Químico	20000	1	\$20.000	Desarrollador
Transporte	40000	3	\$ 120.000	Desarrollador
		TOTAL	\$ 430.000	

8.3 Resumen costos proyecto:

RECURSO	FUENTE DE FINANCIACION		TOTAL
	DESARROLLADOR	UNIVERSIDAD DISTRITAL F.J.C.	
Recursos humanos	\$2.700.000	\$ 1.920.000	\$ 4.620.000
Insumos, fungibles y gastos	\$430.000		\$ 430.000
TOTAL	\$ 3.130.000		

Cronograma

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN ESTIMADA EN SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Fase Inicial	Recolección de información.	■												
Selección del material	Cotización de materiales		■											
	Compra de material													
Identificación del material	Ensayo de espectrometría			■										
Preparación para el ensayo	Fabricación de probetas			■										
	Calculo de temperaturas				■									
	Preparación de probetas para el tratamiento				■									
Fase tratamiento térmico	temple					■								
	revenido					■								
Ensayos	Ensayo de tensión					■								
	Preparación para pruebas de metalografía						■							
	Ensayo de dureza							■						
	Ensayo SEM							■						
	Ensayo de microdureza								■					
	Análisis de ensayos									■				
Fase análisis	Comparación con la fase inicial									■				
	Comparación con otros tratamientos similares									■				
Fase final	Redacción del borrador del trabajo										■			
	Redacción final del trabajo											■		

Bibliografía

Aceros austeníticos al manganeso. Carlos Iglesias T y Bernd Schuz E. Universidad Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería y Metalurgia. Junio de 2004.

CIENCIA DE MATERIALES. Javier Fernández Carrasquilla. José María Lasheras Esteban. Editorial Donostiarra 1992.

“Ciencia e ingeniería de materiales. Estructura, transformaciones, propiedades y selección.” Autor: José Antonio Pero-Sanz Elarz. Editorial: CIE Inversiones Editoriales DOSSAT 2000.

Ciencia e ingeniería de los materiales. Willam Callister. Universidad Utah. Departamento de materiales y ciencias de ingeniería. Editorial Reverte S.A

<ciencias.bogota.unal.edu.co/departamentos/fisica/servicios-de-extension/laboratorios-y-taller/microscopia-electronica-de-barrido/ >.

Disponible en: <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicass/practica4/fases%20del%20acero.htm>, recuperado 08 de julio de 2017.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. Tratamientos térmicos protocolo (curso de materiales). [En línea]. <www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientostermicosr2.pdf>, 2008.

Galindo, L. Rodríguez C. (2017). “ANÁLISIS METALOGRAFICO DE UN ACERO ASTM A-131 CON TRATAMIENTO DE TEMPLE Y REVENIDO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS” Tecnología en Mecánica .Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Bogotá. Colombia.

Gorni AA. Steel Forming and Heat Treating Handbook. São Vicente, Brasil; 2012.

Metalografía Protocolo, Curso de Materiales. Laboratorio de producción. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Edición 2011. Facultad de Ingeniería Industrial.

Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. 2da edición Balderas 95, México, D.F.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Departamento de física, microscopia electrónica de barrido. [En línea].