

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE REVENIDO EN LA ENERGÍA
ABSORBIDA PARA UN ACERO 1045 TRATADO TÉRMICAMENTE DESDE
TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS

PAULA ANDREA POTES DIAZ
JORGE ENRIQUE PATIÑO PÉREZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ D.C
2016

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE REVENIDO EN LA ENERGÍA
ABSORBIDA PARA UN ACERO 1045 TRATADO TÉRMICAMENTE DESDE
TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS

PAULA ANDREA POTES DIAZ
JORGE ENRIQUE PATIÑO PÉREZ

Trabajo de grado, proyecto de investigación

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ DC
2016

Nota de aceptación

Profesor

Bogotá DC, Miércoles 11 de mayo de 2016

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 7 |
| 2. ESTADO DEL ARTE..... | 8 |
| 2.1 COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA Y ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ACERO DE DOBLE FASE | 10 |
| 3. JUSTIFICACIÓN..... | 13 |
| 4. OBJETIVO GENERAL..... | 14 |
| 4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 5. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 5.1 ACEROS DOBLE FASE..... | 15 |
| 5.2 TRANSFORMACIONES DE FASE | 15 |
| 5.3 AUSTENITA-PERLITA..... | 15 |
| 5.4 AUSTENITA-BAINITA..... | 16 |
| 5.5 AUSTENITA-MARTENSITA..... | 16 |
| 5.6 MARTENSITA REVENIDA..... | 17 |
| 5.7 REVENIDO | 19 |
| 5.8 FRAGILIDAD DE REVENIDO | 19 |
| 6. METODOLOGIA..... | 21 |
| 6.1 Etapa de documentación..... | 21 |
| 6.2 Etapa de diseño. | 21 |
| 6.3 Etapa de desarrollo y ejecución de pruebas. | 21 |
| 6.4 Etapa de análisis y conclusión. | 21 |
| 6.5 Construcción del documento..... | 21 |
| 7. CRONOGRAMA | 22 |
| 8. PRESUPUESTO..... | 23 |
| BIBLIOGRAFÍA | 24 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Energía absorbida Vs tiempo de calentamiento | 12 |
| Figura 2 Transformación de fase Martensita-Martensita revenida | 17 |
| Figura 3 Cuadro de transformaciones de fase del acero..... | 18 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 . Cronograma de actividades del proyecto..... 22
Tabla 2 Presupuesto 23

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito tecnológico y de innovación, son necesarios elementos que satisfagan las necesidades de la industria, por esta razón cada día se realizan procesos que buscan mejorar las propiedades de diferentes materiales, entre ellos el acero. El proyecto de investigación que se propone busca realizar un análisis del acero AISI/SAE 1045 al ser tratado térmicamente a temperaturas intercríticas, enfatizando en su comportamiento ante la absorción de energía en un impacto dinámico.

2. ESTADO DEL ARTE

La industria automotriz ha centrado su atención en investigar la capacidad de absorción de energía y deformación ante un choque dinámico, lo que ha generado una mejora en la seguridad de los pasajeros del vehículo, como resultado de esta búsqueda de optimizar las propiedades de los materiales se desarrollaron la familia de aceros avanzados de alta resistencia (AHSS), que se encuentra clasificada de la siguiente manera: aceros doble fase (DP), transformación plástica inducida (TRIP), fase compleja (FC), Ferrita-Bainita (FB). La propiedad característica de los aceros que se acaban de mencionar es su elevado esfuerzo máximo a la tracción (superiores a 600 Mega pascales) estos aceros son más livianos y resistentes que los aceros convencionales, lo que permite utilizar espesores de chapas más delgadas en diferentes componentes del auto, igualmente al reducir el peso global del carro se mejora el desempeño del mismo bajando las emisiones de gases que producen efecto invernadero

Los aceros DP son materiales que poseen una microestructura basada en ferrita (fase de carbono alfa con solubilidad inferior al 0.08% de C) y martensita (solución sólida satura, que puede contener hasta al 0.89% de carbono), Esta combinación de fases es producida por una serie de tratamientos térmicos que se genera a partir de las temperaturas intercríticas; las características principales son el endurecimiento por deformación, ductilidad y resistencia a la fatiga. La combinación de las fases, permite obtener diferentes propiedades dependiendo del tamaño, la forma y la cantidad de los componentes que la conforman.

Generalmente se utilizan láminas delgadas de metal denominadas chapas para la construcción de carrocerías de automóviles, cisternas de camiones, etc. El comportamiento de estas ha sido estudiado diversamente, existen dos métodos para obtener la microestructura típica de un acero DP el primer método consiste en partir de un material micro aleado y aplicarle una serie de tratamientos térmicos, normalmente a temperaturas intercríticas,

Un ejemplo de este método fue la investigación de Hernán Lorusso y, Alejandro Burgueño¹ donde utilizaron tres aceros microaleados diferentes estos fueron:

- Acero al C-Mn.
- Microaleado al Nb.
- Microaleado al Ti-Nb,

Todos en forma de chapa metálica de 1 mm de espesor, se calcularon las temperaturas de austenización (A_1 , A_3) mediante el uso de un dilatómetro, este funcionó a 15 °C/min, a partir de estas temperaturas se obtuvieron aceros DP con diferentes fracciones de martensita, los TT duraron aproximadamente tres minutos y el método de enfriamiento fue agua agitada

Para el acero C-Mn se observó cómo inicialmente presentaba una microestructura de ferrita equiaxial combinada con una segunda fase, a medida que se aumenta la temperatura se incrementa el volumen de martensita presente en la microestructura. Para los demás materiales microaleados el grano de ferrita aumenta y la capa de martensita se hace más densa, esto puede ser causado por la presencia de microaleantes que no permiten el crecimiento del grano austenítico. Además del estudio microestructural, se realizó un análisis de dureza dando como resultado expresiones matemáticas que predicen el valor de la dureza según el porcentaje de martensita, para los aceros C-Mn se obtuvieron fracciones de martensita de hasta el 40% con Tratamientos térmicos a 900 y 915 °C, para los demás metales microaleados la presencia de esta fase fue del 25 al 100%.

Según los ensayos de tensión realizados el acero Ti-Nb presenta el mejor comportamiento a la resistencia, endurecimiento y alargamiento para valores iguales de porcentaje de martensita.

El segundo método que se utiliza para la fabricación de las chapas metálicas, es la laminación directa de un DP, la investigación de D. Gutiérrez y LI. Pérez², se basó en un DP780 y un DC03 con espesor de 1.5 mm, en este estudio se observó la microestructura de los aceros en su estado de entrega revelando para el acero DP 780 una estructura de martensita en una matriz ferrítica; y para el DC03 una formación de dos fases: perlita y ferrita.

Para el análisis de fractura se utilizaron 24 probetas tipo DENT analizadas con una dirección transversal en la laminación de la chapa, estas probetas tenían una longitud de 240 mm y un ancho de 55 mm, se mecanizaron por corte de hilo y entalla en dos radios de diámetro ρ . El trabajo total de fractura se calculó mediante ensayo de tracción en una máquina de ensayos universal a una velocidad de 1 mm/min, la deformación se midió mediante el uso de video extensometría a partir de un equipo GOM-ARAMIS™, el cual funciona con 2 cámaras CCD que detectan la deformación en la superficie de la probeta, los ensayos cumplieron el protocolo ESIS.

Según la norma ASTM 399 se evaluó la tenacidad de cada acero en función de los radios de entalla generados por el corte, por hilo y fatiga, mediante estos ensayos se determinó que el DP 780 es más sensible a la deformación, para este acero se encuentra una relación directa con los radios de entalla mostrando un comportamiento completamente diferente al presentado por el DC03, donde el radio de entalla no altera significativamente (más del 10%) el valor del trabajo esencial de fractura W_e . concluyendo además que esta metodología es una buena herramienta para la evaluación de la tenacidad en aceros DP.

Otra característica esencial para el uso este acero en la estructura del vehículo es su maleabilidad, ya que se deben utilizar láminas de bajo espesor. , una forma de lograr esto es realizar un revenido, no obstante este proceso puede cambiar considerablemente otras características (resistencia máxima del acero, límite a la fluencia) del metal.

Aunque el uso predominante que se le ha dado a este tipo de acero ha sido en componentes de la industria automotriz, recientes investigaciones han encontrado nuevos enfoques para hacer uso de sus propiedades como lo son la resistencia mecánica, calidad de embutición y soldabilidad una de las investigaciones realizadas implemento la producción de estos metales a escala de laboratorio, con el fin de probar la viabilidad del uso de este acero para la construcción de tanques de gas licuado más livianos.

En el laboratorio se utilizó un acero AWS 70S-6 con la siguiente composición química en porcentaje de peso: 0,09 C, 0,91 Si, 1,56 Mn, 0,02 P, 0,02 S y balance de Fe. El material fue expuesto a un proceso de 4 etapas de laminación continua, luego de esto las láminas fueron separadas en tres grupos diferentes, a cada grupo se le realizó un Tratamiento térmico diferente con el fin de obtener todas las posibles microestructuras que logrará tener el material. Con respecto a la determinación de la soldabilidad se propuso soldar con un electrodo AWS 70-S6 de 0.8 mm de soldadura MIG-MAG, con una corriente de 70 A y protección de argón y CO₂.

Producto del proceso de soldado se genera un tratamiento térmico en la cercanía del cordón aplicado en el metal, esta zona es llamada ZAT (zona afectada por la temperatura). La ZAT de las muestras llegaron a temperatura de austenización creando una estructura típica de doble fase. Las curvas de dureza demuestran que la soldadura no afectó considerablemente las propiedades de las láminas.

El estudio concluyó que para aceros bobinados a 550 °C no se presentan problemas en la soldadura, lo que implica que este acero podría reemplazar el material estructural usado en la fabricación de cilindros, logrando reducir el espesor de la lámina y el peso neto del tanque.

2.1 COMPORTAMIENTO DE LA DUREZA Y ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN ACERO DE DOBLE FASE

Barros A y Lucas F³ estudiaron el comportamiento de la variación de las microdurezas para aceros microaleados que contenían Nb (Niobio) y V (Vanadio), también evalúan la relación entre la temperatura de austenización utilizada en el temple y la resistencia del material. Para esto se escogió un acero laminado en caliente que contiene la siguiente composición química 0.15 C, 1.32 Mn, 0.39 Si, 0.039 Al, 0.016 P, 0.009 S, 0.046 Nb, 0.046 V, 0.042 N, balance de Fe, estos valores en porcentaje de peso.

Por medio de las ecuaciones empíricas de Andrews se calcularon las temperaturas A₁ y A₃ dando como resultado 719,5 °C y 838,7 °C respectivamente, se realizaron diferentes tratamientos térmicos (Normalizados, Temples) y el normalizado se realizó a 750 °C variando el tiempo (5, 10, 30 minutos), para los temples las probetas se llevaron a diferentes temperaturas de austenización (900, 1000 y 1100 °C) esta temperatura se mantuvo durante 15 minutos, el método de enfriamiento

3 Barros André, Lucas Fernando. Microestructura y las propiedades mecánicas de un acero microaleado Después de Tratamientos Térmicos. Brasil. 2003.. 6, No. 2, 2003 Materials Research, Vol. 6, P 117-121

fue baño de agua-hielo siguiendo los parámetros de la norma ASTM A514. Además se efectuaron revenidos a 525 y 625 °C durante una hora. Las probetas fueron analizadas por medio de microscopia óptica, el estudio de las fracciones volumétricas se realizó con la ayuda de un software de análisis de imágenes digitales, la microdureza se obtuvo tomando 20 mediciones para cada probeta, cada prueba se efectuó aplicando una carga de 50N. La dureza se obtuvo por análisis de pruebas elaboradas mediante el estándar vickers.

El proceso de normalización condujo a variar la fracción de martensita entre 18.2 y 26.3%, esta fase se formó mediante capas delgadas ubicándose en el límite de grano hasta formar un capa continua alrededor de la ferrita, los temple conllevan a la formación de una matriz martensítica cuya dureza incremento con el aumento de la temperatura gracias a la presencia de bainita en la microestructura.

Los revenidos disminuyeron la dureza de las muestras templadas a 900 y 1000 °C lo que se esperaba al realizar un proceso de revenido, sin embargo, para la probeta templada a 1100 °C la dureza aumento, este fenómeno se explica por difusión del Nb en la austenita estos son retenidos en matriz de martensita formando precipitados y nitruros de Carbono-Niobio.

Ovri Henry y Kamma Celestine⁴ realizaron una investigación para determinar el comportamiento de la dureza para aceros DP, a diferencia de Hernán Lorusso y, Alejandro Burgueño utilizaron el estándar Rockwell específicamente Rockwell C, la composición química contiene: 0.1404 C, 0.1926 Si, 0.0103 S, 0.0076 P, 0.7758 Mn, 0.0873 Cr, 0.0250 Mo, 0.2015 Cu, 0.0078 As, 0.0085 Sn, 0.0076 Al, 0.0002 Pb, 0.0007 Ca, 0.0059 Zn, balance de Fe. Efectuaron tres procesos diferentes estos fueron:

1. *Intercritical annealing (IA):*

Recocido a 790 ° C durante 30, 45, 60, 75, 90 minutos, enfriado en agua.

2. *Step quenching (SQ):*

Se sostiene a 920 ° C durante 30 minutos, se enfría en agua, luego se calienta a 790 ° C durante 30, 45, 60, 75 y 90 minutos, después se somete a un enfriamiento en agua.

3. *Intercritical quenching (IQ):*

Se calentó a 920 ° C durante 30 minutos, se deja reposar en el horno hasta bajar la temperatura a 790 ° C y se mantuvo durante 30, 45, 60, 75 y 90 minutos, seguido de temple en agua.

Para el primer proceso (IA) se llevó a cabo una transformación de fase yendo de una compuesta por ferrita-perlita a una de martensita en matriz de ferrita, este tratamiento aumento la dureza del material durante los primeros 60 minutos,

4 OVRI Henry, KAMMA Celestine. Evaluación de los mecanismos de transformación y las propiedades mecánicas de ferrita : martensita aceros microaleados. Nigeria. 2008. Materials Research, Vol 11, P 97-101

después de esto se evidencia un descenso en la dureza del metal, este comportamiento se explica por la producción de carburos y el crecimiento de la fase martensítica, para el segundo tratamiento se observó un decrecimiento continuo en

La dureza pasando de un valor de 30 HRC a 13 HRC, según el autor este comportamiento es producido por la disminución de volumen en los granos de martensita, para el último proceso se observó un incremento de dureza en función del tiempo pasando de un valor de 12 HRC a 28 HRC, producto del aumento de la austenita.

Además del estudio de dureza analizó el comportamiento de los DP al impacto, esto mediante la realización pruebas Charpy, la energía absorbida por el material se observa en la Figura (1)

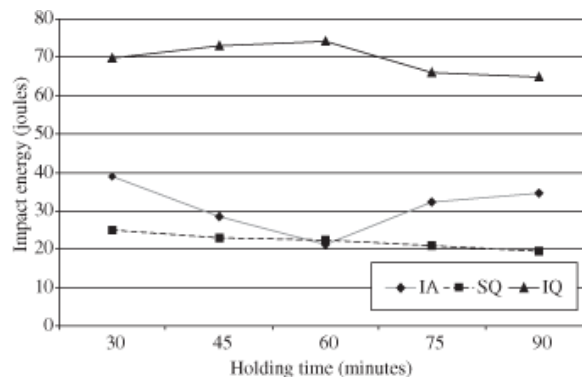


Figura 1 Energía absorbida Vs tiempo de calentamiento

Fuente:OVRI HENRY, CELESTINE KAMMA. Evaluación de los mecanismos de transformación y las propiedades mecánicas de ferrita: martensita aceros microaleados. Marzo del 2008

Para los tratamientos ya mencionados (IA, SQ, IQ) para el primer tratamiento (IA) se observa un descenso en la energía absorbida hasta un tiempo límite de 60 minutos, luego de esto se muestra un aumento continuo, en el segundo tratamiento (SQ) hay un leve y continuo decrecimiento en la energía absorbida por el metal, para el último tratamiento (IQ) se obtuvo un aumento continuo en la energía hasta los 60 minutos, luego de este tiempo desciende levemente, sin embargo, este tratamiento es el que muestra el mejor comportamiento absorbiendo la mayor cantidad de energía.

Según lo evidenciado el tratamiento térmico *Intercritical quenching* (IQ) es el que genera el mejor comportamiento de dureza-energía absorbida.

3. JUSTIFICACIÓN

Con el propósito de ampliar la investigación de los materiales en el área de ingeniería, se realiza este proyecto de grado enfocado en complementar los estudios en acero AISI/SAE 1045 identificando su comportamientos al ser sometidos a cambios de temperatura, en especial a su capacidad de absorber energía en un impacto dinámico.

Esta investigación tiene varios aspectos ventajosos como es el estudio de los aceros Dual Phase, el cual en el mercado presenta un costo elevado por su proceso de fabricación, por esta razón se decidió generar la fase dual del acero a partir de una secuencia de tratamientos térmicos.

4. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la temperatura de revenido en la energía que puede absorber un acero AISI/SAE1045 tratado térmicamente desde temperaturas intercríticas.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la secuencia de tratamientos térmicos.
- Determinar la cantidad de probetas necesarias para tener una validez estadística en el análisis del comportamiento del material.
- Realizar las pruebas de impacto según la norma ASTM E23, ensayos de dureza, análisis de fractura, toma de micrografías ópticas y SEM.
- Determinar la influencia de la temperatura de revenido en la cantidad de energía absorbida

5. MARCO TEÓRICO

5.1 ACEROS DOBLE FASE

Los aceros doble fase se hallan en la familia AHSS (aceros avanzados de alta resistencia), estos reducen el peso del material y no cambian la resistencia mecánica del mismo. La microestructura de este tipo de materiales se encuentra formada por ferrita, martensita y pequeñas cantidades de bainita y austenita (causada por el tratamiento térmico). Esta estructura permite lograr muy alta resistencia con buena formabilidad (resistencia a la tensión de hasta 980 Mpa) resistencia a la fatiga, así como una gran capacidad de absorción de energía. Por lo que es utilizado principalmente en la industria automotriz en partes del chasis.

5.2 TRANSFORMACIONES DE FASE

Una transformación de fase alguna alteración de la microestructura constituye y pueden ser subdivididas en tres categorías:

1. Difusión simple: no cambia el número o composición de las fases presentes algunos ejemplos de esta son la solidificación de metales puros, recristalización y crecimiento de grano, transformaciones alotrópicas.
2. Difusión compleja: en función de la difusión puede que se lleven a cabo alteraciones en las composiciones de fases y en algunas ocasiones, en el número de fases.
3. Sin difusión: en esta no existe una migración representativa del carbono en la microestructura formando una fase metaestable.

5.3 AUSTENITA-PERLITA

Enfriando lentamente la austenita con una concentración intermedia de carbono, se transforma en ferrita, con un contenido de carbono inferior, y cementita, con un porcentaje muy superior de carbono. Los átomos de carbono necesitan difundir para segregarse selectivamente. Los átomos de carbono se difunden de la región ferrítica a las capas de cementita para conseguir la concentración del 6.70% en peso de C y la perlita se propaga, a partir de los límites de grano hacia el interior de los granos austeníticos.

La perlita forma láminas porque los átomos de carbono necesitan difundir la distancia mínima dentro de esta estructura. La temperatura juega un importante papel en la velocidad de la transformación austenita-perlita, la relación de espesores de las láminas de ferrita y cementita en la perlita es de 8 a 1, aproximadamente. Sin embargo, el espesor absoluto de una lámina depende de la temperatura de

transformación. A temperaturas inferiores y muy próximas a la eutectoide se forman láminas de ferrita α y de Fe_3C ; esta microestructura se denomina perlita gruesa y se forma porque los átomos de carbono pueden difundir a lo largo de distancias relativamente largas, formando láminas gruesas. A medida que disminuye la temperatura, se forman láminas más delgadas ya que la velocidad de difusión del carbono decrece. La estructura de láminas delgadas producida en la proximidad de 540°C se denomina perlita fina.

La perlita fina es más dura y resistente que la perlita gruesa, La razón de este comportamiento radica en los fenómenos que ocurren en los límites de fases α - Fe_3C . En primer lugar hay un alto grado de adherencia entre las dos fases en el límite. Por lo tanto, la resistencia y la rigidez de la fase cementita restringe la deformación de la fase ferrita, más blanda, en las regiones adyacentes al límite; es decir, la cementita refuerza a la ferrita. Este grado de reforzamiento es más elevado en la perlita fina porque es mayor la superficie de límites de fases por unidad de volumen del material. Además, los límites de fases sirven de barrera para el movimiento de dislocaciones del mismo modo que los límites de grano. En la perlita fina y durante la deformación plástica las dislocaciones deben cruzar más límites de fases que en la perlita gruesa. De este modo el mayor reforzamiento y restricción del movimiento de las dislocaciones en la perlita fina se traducen en mayor dureza y resistencia mecánica.

La perlita gruesa es más dúctil que la perlita fina, Este comportamiento es consecuencia de la mayor restricción de la perlita fina a la deformación plástica

5.4 AUSTENITA-BAINITA

La microestructura bainítica consta de las fases ferrita y cementita, en su formación intervienen procesos de difusión. La bainita forma agujas o placas, dependiendo de la temperatura de transformación; los detalles microestructurales de la bainita son tan finos que su resolución sólo es posible mediante el microscopio electrónico La transformación bainítica también depende del tiempo y de la temperatura y se puede representar en un diagrama de transformación isotérmico, a temperaturas inferiores a las de formación de la perlita Las transformaciones perlítica y bainítica compiten entre sí y sólo una parte de una aleación se puede transformar en perlita o en bainita; la transformación en otro microconstituyente sólo es posible volviendo a calentar hasta formar austenita.

5.5 AUSTENITA-MARTENSITA

El enfriamiento rápido (o temple), hasta temperatura próxima a la ambiental, del acero austenizado origina otro microconstituyente denominado martensita, que resulta como una estructura de no equilibrio de la transformación sin difusión de la

austenita. Se puede considerar un producto de transformación competitivo con la perlita o la bainita. La transformación martensítica tiene lugar a velocidades de temple muy rápidas que dificultan la difusión del carbono. Si hubiera difusión se formarían las fases ferrita y cementita. La transformación martensítica no es bien conocida. Sin embargo, gran número de átomos se mueven de modo cooperativo, lo que representa pequeños desplazamientos de un átomo respecto a sus vecinos. Esta transformación significa que la austenita FCC experimenta una transformación polimórfica a la martensita tetragonal centrada en el cuerpo (BCT).

Todos los átomos de carbono permanecen como solutos intersticiales en la martensita y constituyen una disolución sólida sobresaturada capaz de transformarse rápidamente en otras estructuras si se calienta a temperaturas que implican una apreciable velocidad de difusión. La mayoría de los aceros retienen la estructura martensítica casi indefinidamente a temperatura ambiente. La transformación martensítica no sólo ocurre en el acero, sino que otros sistemas de aleación se caracterizan por experimentar transformaciones sin difusión.

La austenita es ligeramente más densa que la martensita y, por lo tanto, el volumen aumenta durante la transformación de fase que ocurre durante el temple. Consiguientemente, el temple rápido de piezas relativamente grandes puede producir grietas debido a las tensiones internas; problema especialmente importante si el contenido en carbono del acero es superior al 0,5% en peso.

La martensita resultante del temple es muy dura y muy frágil y, por lo tanto, inservible para la mayoría de las aplicaciones; además, las tensiones internas introducidas durante el temple ejercen un efecto fragilizante. La ductilidad y la tenacidad de la austenita se incrementa y las tensiones internas se reducen mediante el tratamiento térmico conocido como revenido.

5.6 MARTENSITA REVENIDA

El revenido se lleva a cabo calentando el acero martensítico a una temperatura inferior a la eutectoide durante un período de tiempo específico. Normalmente el revenido se realiza calentando entre los 250 y 650°C; sin embargo, las tensiones internas se pueden eliminar a temperaturas de unos 200°C. Durante el tratamiento térmico de revenido se puede conseguir, por un proceso de difusión, la formación de martensita revenida, según la reacción.

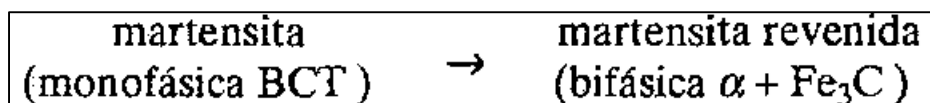


Figura 2 Transformación de fase Martensita-Martensita revenida

Fuente: Propia

Donde la martensita monofásica BCT sobresaturada de carbono se transforma en martensita revenida, compuesta por las fases ferrita estable y cementita, según indica el diagrama de fases hierro-carburo de hierro. La microestructura de la martensita revenida consiste en partículas extremadamente pequeñas de cementita embebidas en una matriz ferrítica continua y uniformemente dispersas. Es una estructura parecida a la esferoidita excepto en el tamaño, que es mucho más pequeño. La martensita revenida casi es tan dura y resistente como la martensita, pero mucho más dúctil y tenaz. La dureza y la resistencia se explican por la gran superficie de límite de fase por unidad de volumen que existe en las diminutas y numerosas partículas de cementita. De nuevo, la dura fase cementita refuerza la matriz ferrítica mediante los límites, que también actúan como barrera para el movimiento de las dislocaciones durante la deformación plástica. La fase ferrita continua también es muy dúctil y relativamente tenaz y aporta estas dos propiedades a la martensita revenida. El tamaño de las partículas de cementita influye en el comportamiento mecánico de la martensita revenida; incrementando el tamaño de las partículas, decrece el área de los límites de fase y, por consiguiente, resulta un material más blando y menos resistente, ya que es más dúctil y tenaz. Además, el revenido determina el tamaño de las partículas de cementita. Las variables de este tratamiento térmico son la temperatura y el tiempo y la mayoría de los tratamientos de revenido se realizan a temperatura constante. Puesto que la transformación martensita-martensita revenida significa difusión del carbono, un incremento de temperatura acelera la difusión, la velocidad de crecimiento de las partículas de cementita y, por consiguiente, la velocidad de ablandamiento

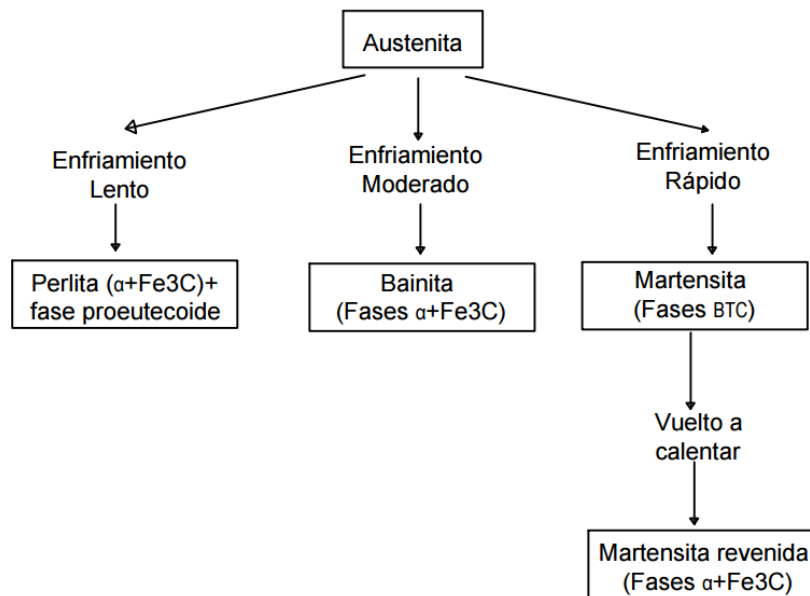


Figura 3 Cuadro de transformaciones de fase del acero

Fuente: Propia

5.7 REVENIDO

Es el tratamiento térmico efectuado sobre un producto templado con el fin de obtener modificaciones que le confiera las características de empleo deseadas. El ciclo térmico de este tratamiento, se compone de las siguientes etapas:

1. Calentamiento hasta una temperatura determinada pero inferior a Ac1.
2. Uno o varios mantenimientos a una o varias temperaturas determinadas.
3. Uno o varios enfriamientos hasta la temperatura ambiente (generalmente al aire, agua o aceite).

El objetivo del revenido es mejorar la tenacidad de los aceros templados, a costa de disminuir la dureza, la resistencia mecánica y su límite elástico. En el revenido se consigue también eliminar, o por lo menos disminuir, las tensiones internas del material producidas a consecuencia del temple.

El proceso completo de temple más revenido se conoce como bonificado, que como su nombre lo indica, mejora o beneficia el acero, aumentando su vida.

Temperatura de revenido

Calentando por encima de 650°C, se obtiene estructura de grano grueso, al bajar la temperatura de revenido, se van obteniendo estructuras cada vez más finas y más duras, en términos generales la temperatura de revenido varía entre 200 y 650 °C.

Duración del revenido

Para un acero dado, la permanencia a la temperatura del revenido depende de la forma y dimensiones de la pieza, en general, para los aceros con contenido medio de carbono se recomienda una hora, más una hora por pulgada de espesor.

5.8 FRAGILIDAD DE REVENIDO

Algunos aceros revenidos disminuyen la tenacidad determinada mediante la resistencia al impacto y este fenómeno recibe el nombre de fragilidad de revenido. Esta fragilización ocurre cuando el acero se reviene a temperaturas superiores a 575°C y se enfría lentamente hasta temperatura ambiente o cuando se reviene a temperaturas comprendidas entre 375 y 575°C. Los aceros aleados susceptibles de fragilizarse por revenido contienen apreciables porcentajes de elementos de aleación como manganeso, níquel o cromo y, además, pequeñas concentraciones de una o más impurezas como antimonio, fósforo, arsénico y estaño. La presencia de los elementos aleantes y de las impurezas traslada la transición frágil-dúctil a elevadas temperaturas; de este modo la temperatura ambiente representa la

condición frágil de esta transición. Se ha observado que la propagación de grietas en este material frágil es intergranular; esto es, la rotura ocurre a lo largo de los límites de grano austeníticos. Además, los elementos de aleación y las impurezas del acero segregan en estos límites de grano. La fragilidad de revenido se puede prevenir por:

- control composicional;
- calentamiento superior a 575°C o inferior a 375°C seguido de temple a temperatura ambiente. Además, la falta de tenacidad de un acero fragilizado se puede subsanar calentando a 600°C y enfriar rápidamente a 300° C.

6. METODOLOGIA

Con el fin de cumplir los objetivos propuestos se dividirá la ejecución del proyecto en varias etapas proyectando el tiempo prudente para la ejecución de las mismas, las fases establecidas son:

6.1 Etapa de documentación.

En esta etapa se buscará la mayor cantidad de información relacionada con el tema a desarrollar en el proyecto, esta información se obtendrá partir de la consulta en bases de datos, repositorios de proyectos de grado, libros especializados, normas, entre otros. Además se procesara los documentos encontrados con el fin de determinar cuáles son realmente relevantes para el desarrollo del proyecto

6.2 Etapa de diseño.

Basándose en la información encontrada, se fijaran las especificaciones de trabajo, estableciendo las variables concretas del problema a analizar (Temperaturas y condiciones generales de la secuencia de tratamientos térmicos), junto con los equipos que se necesitan para realizar las pruebas al material.

Además de esto se fijara la cantidad de probetas necesarias para tener una veracidad estadística en los datos obtenidos al realizar los diferentes ensayos, se realizara un ensayo de composición química que permitirá el cálculo de las temperaturas intercríticas, y confirmara la certificación del material.

6.3 Etapa de desarrollo y ejecución de pruebas.

En esta fase del proyecto se mecanizarán las probetas con la geometría determinada por la norma ASTM E23, estas serán sometidas a la secuencia de tratamientos térmicos obtenidos en la fase de diseño, y se ejecutarán los ensayos de impacto, dureza, microscopia óptica y electrónica de barrido.

6.4 Etapa de análisis y conclusión.

Se realizara un estudio estadístico de los datos arrojados por los diferentes ensayos, con el fin determinar el impacto de la secuencia de tratamientos térmicos en las propiedades del material, centrándose especialmente en la energía absorbida y el cambio de fase generados en la microestructura.

6.5 Construcción del documento.

Con toda la información recopilada hasta el momento y los datos procesados se construirán el documento final, donde se plasmen todos los resultados de la investigación realizada.

7. CRONOGRAMA

| Etapa | Semana | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Documentación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desarrollo y ejecución de pruebas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Análisis y conclusión | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción del documento | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 1 . Cronograma de actividades del proyecto

8. PRESUPUESTO

| Item | Presentación | Valor Unitario | Cantidad | Subtotal | Financiación |
|---|--------------------------------------|----------------|----------|------------------|------------------|
| Fotocopias de documentos de investigación | Hojas | \$50 | 40 | \$2.000 | Recursos propios |
| Impresión del documento final | Hojas | \$300 | 20 | \$6.000 | Recursos propios |
| Materiales | Lijas de agua | \$2.000 | 20 | \$40.000 | Recursos propios |
| | Paño | \$5.000 | 1 | \$5.000 | Recursos propios |
| | Acero 1045 (varilla cuadra de 7/16") | \$45.000 | 1 | \$45.000 | Recursos propios |
| Mecanizados | Probeta ensayo de impacto | \$6.000 | 60 | \$360.000 | Recursos propios |
| Ensayos | Composición Química | \$70.000 | 1 | \$70.000 | Recursos propios |
| | SEM | \$160.000 | 2 | \$320.000 | Recursos propios |
| Transportes | Pasaje | \$2.000 | 14 | \$28.000 | Recursos propios |
| Total | | | | \$876.000 | |

Tabla 2 Presupuesto

BIBLIOGRAFÍA

- LORUSSO Hernán, BURGUEÑO Alejandro. Propiedades Mecánicas y Caracterización Microestructural de Diferentes Aceros Dual-Phase. Argentina.2008.P 8
- GUTIÉRREZ D, PÉREZ, LI.Evaluación del trabajo esencial de fractura en chapa de un acero de alta resistencia de fase dual.España.2013.Revista de Metalurgia,Vol 49.P 45-54
- BARROS André, LUCAS Fernando. Microestructura y las propiedades mecánicas de un acero microaleado Después de Tratamientos Térmicos.Brasil.2003. 6, No. 2, 2003. Materials Research, Vol. 6, P 117-121
- OVRI Henry, KAMMA Celestine. Evaluación de los mecanismos de transformación y las propiedades mecánicas de ferrita : martensita aceros microaleados.Nigeria.2008.Materials Research, Vol 11, P 97-101
- FORERO MORA Alvaro. Metalurgia práctica. España. 2010. P 391
- STÜDEMANN Hans. Tratamiento térmico de los aceros. 1980. España. Vol. 12 P 316
- ARTIGAS ALFREDO, COLAS RAFAEL, TOLEDO SEBASTIAN, BARRA FROILAN, PIZARRO FELIPE, CARVAJAR LINTON, MONSALVE ALBERTO. Producción en el laboratorio de acero Dual Phase laminado en caliente, para la fabricación de cilindros de gas licuado. Dpto. Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Av. L. B. O'Higgins 3363, Estación Central, Santiago Chile. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, 66451 san Nicolás, NL, México. Artículo Regular. Revista Latín American. Metal.Mat.
- MAZUERA ROBLEDO David, ORTIS CARDENAS Andrés. Evaluación de los parámetros de temple y revenido para el acero AISI/SAE1045 a escala industrial. Medellín, 2011, 49h. Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Corporación Eco-eficiente. Disponible en el catálogo en línea de la biblioteca de la Universidad Tecnológica de Pereira: < <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1461/941> >
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Documentación. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y otros Trabajos de Investigación. Sexta Actualización. NTC 1486. Bogotá: ICONTEC, 2008.