

ANÁLISIS DE METALOGRAFÍAS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS AISI 1036, 1045 Y 3115.

Metallography Analysis of Thermal Treatments in Steels AISI1036, 1045 and 3115.

Roberto Alejandro Aguilar Rivas

Dr. en Metalurgia
Investigador Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC
Correspondencia al autor: raarivas@hotmail.com

Miguel Ángel Zacarías Gómez

Ingeniero Mecánico
Coautor

Evelyn Andrea Castillo

Ingeniera Mecánica
Coautora

Recibido: 15 de junio 2018 | Revisado: 17 de junio 2018 | Aprobado: 20 de junio 2018

Resumen

En la investigación se analizan los resultados micrográficos de investigación experimental, de ensayos de tratamientos térmicos, realizados en el laboratorio de Metalurgia de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería USAC, mediante la observación metalográfica. Los materiales ensayados corresponden a los aceros AISI 1036, 1045 y 3115 disponibles en Guatemala, donde los resultados obtenidos son de beneficio teórico y tecnológico en el conocimiento de los tratamientos térmicos involucrados en metales comerciales, así como su empleo en la fabricación de elementos estructurales como ejes, engranajes y otros elementos de máquinas con exigencias mecánicas dentro de las características obtenidas.

Palabras clave

Tratamientos térmicos, estructuras metalográficas, transformaciones alotrópicas, perlita, martensita.

Abstract

The main topic of the investigation is to analysis the results of experimental heat treatments carried out in the Metallurgy laboratories at the Mechanical Engineering departament of FIUSAC, the analysis are done by metallographic observing tests. The tested materials correspond to AISI 1036, 1045 and 3115 wich are available in Guatemala. The obtained results sustain the theoretical and technological benefit on behalf of heat treatment development.

The results support the use of heat treatments on metals in the manufacturing of structural components such as shafts, gears and other elements of machines with mechanical requirements within the obtained features.

Keywords

Heat treatments, metallographic structures, allotropic transformations, pearlite, martensite.

Introducción

Con base en resultados de ensayos experimentales de tratamientos térmicos de normalizado, temple, recocido, revenido y cementación, sobre probetas diseñadas para el efecto, se investigan las estructuras metalográficas resultantes en aceros disponibles en el país, y empleados para la construcción de elementos de máquinas, especialmente en ejes y engranajes de los diversos tipos. Los materiales ensayados son los AISI 1036, 1045 y 3115, respectivamente.

Las composiciones químicas de los aceros empleados se aprecian en la tabla siguiente.

Tabla I. *Composición química de los materiales empleados*

Comp. Quím	% C	% Mn	% Si	% P _{máx}	% S _{máx}	% Cr	% Ni
Acero AISI 1036	0.32/0.38	0.60/1.00	Min. 0.10	0.40	0.50		
Acero AISI 1045	0.43/0.50	0.60/1.00	Min. 0.10	0.40	0.50		
Acero AISI 3115	0.13/0.18	0.40/0.60	0.15/0.35	0.04	0.04	0.55/0.75	1.1/1.4

Desarrollo del estudio

Tratamientos térmicos

Normalizado

Este proceso se realiza elevando la temperatura del acero a unos 30 grados por encima de la temperatura de transformación, A1, manteniéndolo, a esta temperatura un tiempo prudencial en función de las dimensiones de la pieza, hasta lograr su homogeneización austenítica. Posteriormente, se retira la pieza del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente, lográndose una estructura de equilibrio con las características metalográficas deseadas. La estructura obtenida es la conocida como estructura metalográfica normal o normalizada. El objetivo principal de este tratamiento térmico es regenerar las estructuras distorsionadas por el trabajado mecánico.

Recocido

Se realiza en forma similar al normalizado, con el fin de obtener un material más dúctil o maleable, manteniendo la pieza a temperatura de austenización por un período más prolongado que el anterior, dejándola enfriar dentro del horno para obtener estructuras metalográficas de grano mayor, más homogéneas, y por consiguiente de mayor ductilidad y maleabilidad.

Temple

Consiste en el proceso de endurecimiento del acero por medio del manejo controlado de las transformaciones alotrópicas de dicho material. Se lleva a cabo por medio de un calentamiento similar a los anteriores, llevando la pieza a temperaturas superiores a la crítica de transformación austenítica, A1, y luego enfriándola bruscamente, en diferentes medios y por diferentes procesos, obteniendo así estructuras metaestables de mayor dureza que la correspondiente al material en estado normalizado.

Mediante los procesos referidos, se obtienen estructuras combinadas de ferrita, hierro α , responsable de la ductilidad del acero, y cementita, Fe_2O_3 , responsable de la dureza, así como la combinación de estos dos elementos, conocido como perlita, que se toma como una fase pura, y es la estructura encargada de la tenacidad del acero. (Aguilar, 2012).

Cementado

El proceso de la cementación pertenece al grupo de los procesos de endurecimiento superficial de los aceros; consiste en un procedimiento de aumento de carbono en la superficie de las piezas, por contacto directo con un medio carburante que puede ser sólido, líquido o gaseoso, manteniendo todo el conjunto a temperatura arriba de la temperatura de transformación A1, durante varias horas y luego enfriándolas, generalmente, mediante un procedimiento similar al recocido. Posteriormente, se someten a un proceso de temple y revenido, dependiendo de los resultados que se espera lograr. (Zacarias y Aguilar, 2016).

Revenido

Los aceros que han sido templados, quedan normalmente demasiado duros y consecuentemente frágiles para la mayoría de los usos a que van a ser destinados, además la presencia de esfuerzos o tensiones residuales producidos por el enfriamiento, hacen desaconsejable su uso en estas condiciones, excepto en los casos en que se requiere una dureza extrema. El tratamiento consiste en elevar la temperatura del acero hasta un valor por debajo de la temperatura crítica inferior, dependiendo de los resultados esperados, manteniendo esta temperatura por un tiempo fijado por las necesidades de homogeneización, después del cual se enfría de nuevo a temperatura ambiente por diversos medios. Así se eliminan las tensiones internas y se aumenta la tenacidad y ductilidad del acero (Aguilar, 2012).

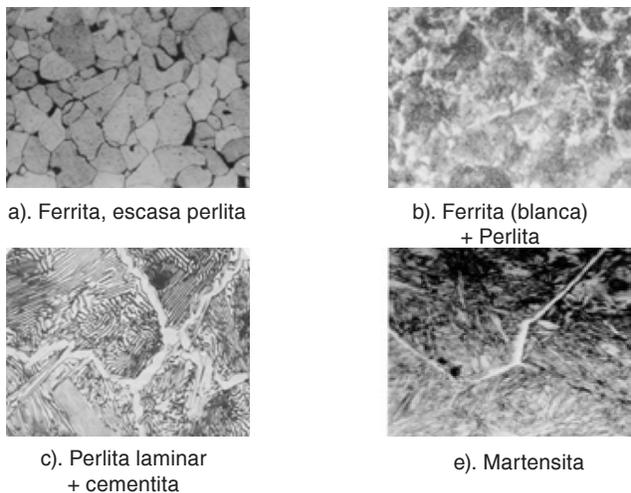


Figura 1. Microestructuras de los aceros. Fuente: Aguilar R., 2013.

Desarrollo del estudio

Metodología

Para la realización de la práctica metalográfica se obtienen muestras de los aceros AISI 1045 y 3115, disponibles en el mercado local y del acero AISI 1036 de fabricación nacional, con el objeto de investigar sus características metalográficas después de los tratamientos térmicos, procediéndose a la preparación metalográfica, según la metodología tradicional (Castillo, 2017).

Resultados obtenidos

Ensayos de normalizado

Los ensayos de normalizado se realizan en probetas de acero A1036 y A1045, calentándose dentro del horno hasta 850°C, durante una hora, y luego dejándose enfriar al ambiente. La gráfica de la figura 3 representa el proceso. Los resultados metalográficos pueden apreciarse en las siguientes figuras, en donde se observan estructuras totalmente homogéneas formadas por granos de ferrita (zona blanca) y perlita (zona oscura), similares a las estructuras señaladas en la figura 2.

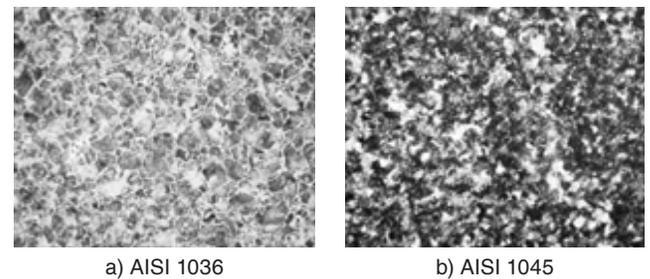
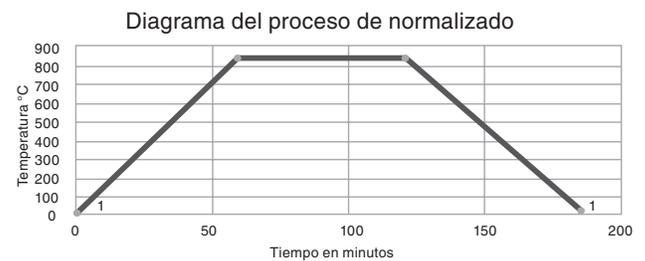


Figura 2. Resultados de normalizado en probetas de acero A1036 y A1045.

Ensayos de recocido

Los ensayos de recocido se realizan en probetas de acero A1036 y A1045, a temperatura de 850°C, durante dos horas, con enfriamiento dentro del horno. La gráfica del proceso y las metalografías se aprecian en la figura 3. Nótese el crecimiento de las estructuras, con respecto a las del normalizado. ferrita (zona blanca) y perlita (zona oscura),

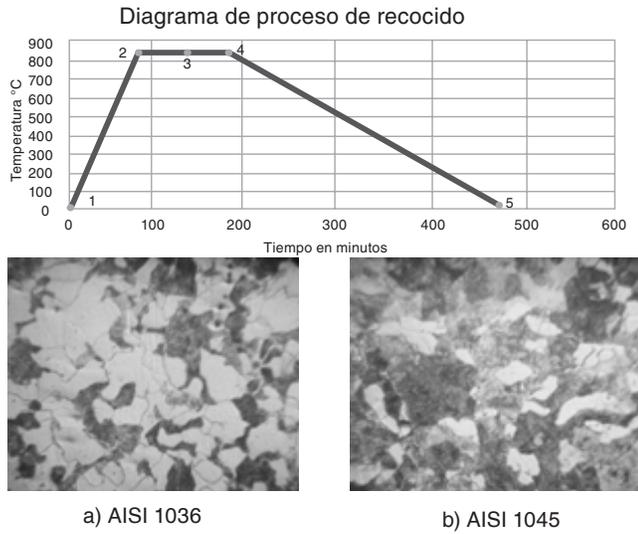


Figura 3. Resultados de Recocido en probetas de acero a1036 y a 1045.

Ensayos de temple

Los ensayos de temple se realizan en probetas de acero A1036 y A1045, a temperatura de 850°C con tiempo de homogeneización de una hora, con enfriamiento brusco en aceite sin especificaciones y agua del caño, según la gráfica y las metalografías de la figuras 4 y 5 respectivamente.

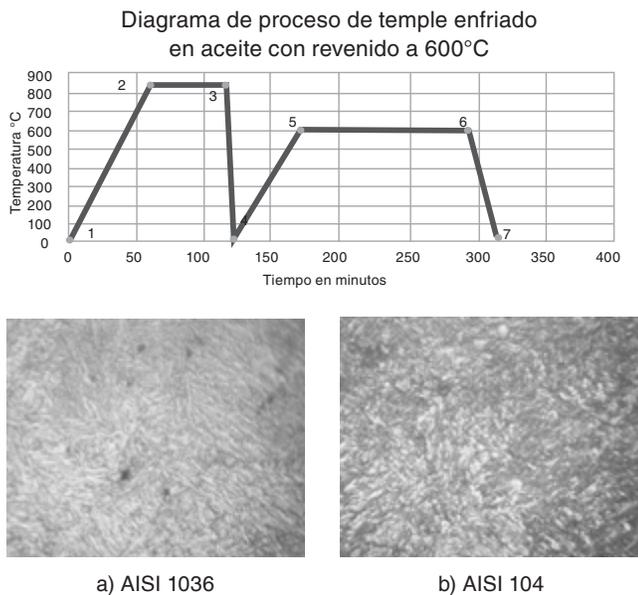


Figura 4. Resultados de temple en aceite con revenido en probetas de acero A1036 y A1045.

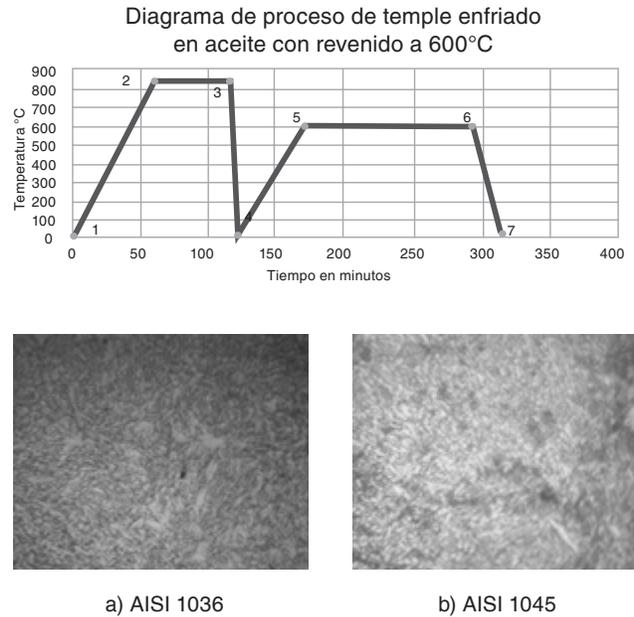


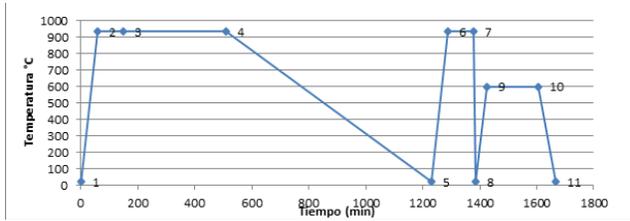
Figura 5. Resultados de temple en agua y revenido en probetas de acero A1036 y A 1045.

Ensayos de cementación

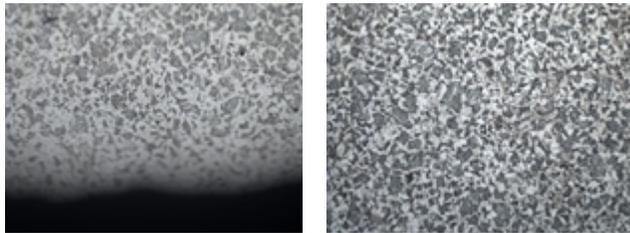
Para este ensayo se emplea acero AISI 3115, por ser un material específico para este tipo de procesos. Se realiza el cementado en medio sólido, constituido por carbón activado granular.

El tratamiento actúa en tres zonas bien definidas:

- a) En la superficie, afectada directamente por la difusión del carbono. Ésta queda totalmente enriquecida en carbono, por lo que hay un cambio en la composición de la estructura metalográfica.
- b) En la zona intermedia entre la superficie y el núcleo de la pieza, que a los efectos de los resultados no tiene mucha importancia.
- c) En el núcleo de la pieza, que permanece con su composición inicial sin cambiar su estructura metalográfica.



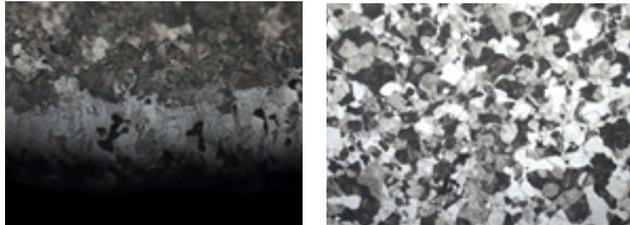
Estado de suministro



a) AISI 1036

b) AISI 1045

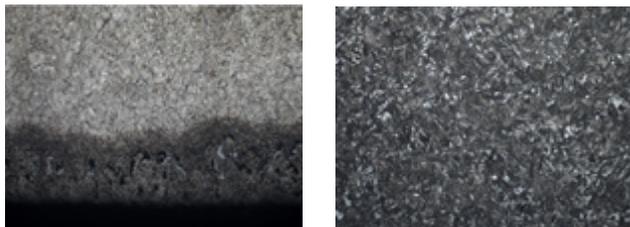
Cementación 6 h



c) borde x 200

d) núcleo x200

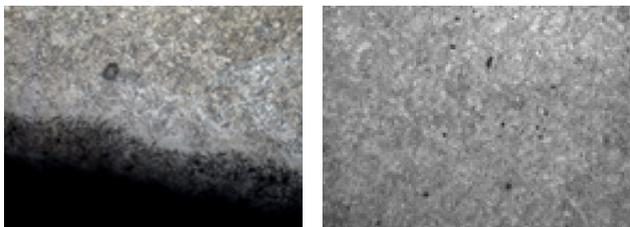
Temple en aceite y revenido



e) borde x 200

f) núcleo x200

Temple en agua y revenido



g) borde x 200

h) núcleo x200

Figura 6. Resultados de cementación durante 6 horas, temple y revenido

Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos se determinan por medio de observación metalográfica, tal como se indica en la metodología, y pueden analizarse de la siguiente forma.

Normalizado

Nótese que las micrografías del normalizado, fig. 2, muestran total homogeneidad de las estructuras, ante todo en el tamaño de las mismas. En el caso del acero A1036, se observa mejor debido a la presencia de la ferrita delimitando los bordes de grano, lo cual no se manifiesta en el acero A1045, por la mayor precipitación de la perlita que absorbe mayor cantidad de ferrita. Nótese también la similitud de las estructuras con las del acero 3115 en estado de suministro.

Recocido

En el caso del recocido, fig. 3, tal como era de esperarse, por definición, las estructuras aumentan de tamaño con relación a las del normalizado, con distribución homogénea en función de su contenido de carbono. También se puede observar similitud en cuanto al crecimiento de grano del núcleo del acero 3115 después del cementado.

Temple

El proceso de temple, muestra una evidencia total del cambio de fases de las estructuras estables de ferrita, perlita y cementita, hacia las estructuras metaestables de bainita y abundante martensita. Puede notarse que las estructuras del proceso de temple en agua presentan tamaños de grano más finos con respecto a las de las probetas templadas en aceite, debido a que la velocidad de enfriamiento en el agua es mayor que en aceite, lo cual repercute en menor crecimiento de la estructura. Este fenómeno, puede compararse también en las estructuras de temple, después del cementado en las probetas de acero A3115.

Revenido

El efecto del revenido, puede notarse en una redistribución y homogeneización de las estructuras obtenidas durante el temple. Esto en el caso de las estructuras martensíticas.

Cementado

Con referencia al proceso de cementación, las estructuras metalográficas de la periferia cambian a través del enriquecimiento en carbono, sufriendo la transformación predominante de ferrita a estructuras de abundante perlita con bordes de cementita. También se aprecia un alto grado de descarbonación, influenciado posiblemente por humedad del material del refractario de sellado. Por otro lado, puede notarse que, mientras las estructuras de la periferia muestran cambios debido al enriquecimiento en carbono, el núcleo permanece invariable en su composición. Sin embargo, sí se nota un crecimiento bastante significativo en cuanto al tamaño de la estructura granular. Esto en toda la probeta.

Por otro lado, se nota la estructura de la martensita similar, debido al enriquecimiento en carbono de la periferia de las probetas.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados analizados en los párrafos precedentes, se llega a las conclusiones siguientes:

1. Se nota claramente que después del normalizado, las estructuras cristalinas muestran total uniformidad, tanto en tamaño como en distribución. Esto se observa tanto para el acero A1036 como para el A1045, lo cual coincide con las estructuras del acero A3115 en estado de suministro, lo que confirma el objetivo del proceso de normalizado.
2. Después de realizado el recocido, se nota el crecimiento de las estructuras, apreciándose la diferencia entre las zonas ferríticas y perlíticas. Este fenómeno puede observarse también en el proceso de cementado, después del período de cementación.
3. Referente al temple, puede apreciarse claramente el cambio de las estructuras metalográficas en función de la velocidad de enfriamiento de las probetas. Esto es, el apareamiento de las estructuras predominantemente martensíticas, en sustitución de las ferríticas y perlíticas

después del temple. De igual manera se puede observar la homogeneización de las estructuras después del revenido.

4. El proceso de cementación en el acero AISI 3115, produce resultados satisfactorios en cuanto a que puede comprobarse que hay difusión del carbono en estado sólido y, por consiguiente, enriquecimiento del mismo en la periferia y hacia el interior de las probetas ensayadas, mientras que se nota únicamente el aumento de tamaño de las estructuras, como sucede en el recocido. También se aprecia el aumento de la zona perlítica debido al incremento del carbono. Finalmente, se observa la aparición de la zona de estructuras metaestables, escasa bainita y martensita.
5. Se evidencia la susceptibilidad de los materiales ensayados a los procesos realizados de normalizado, recocido, temple, revenido y cementación, confirmando la templeabilidad de los mismos durante dichos procesos.
6. Se confirma que los materiales ensayados son adecuados para la fabricación de piezas de maquinaria y equipo, dependiendo de las solicitudes mecánicas para las que sean requeridos.

Recomendaciones

1. Al proyecto de investigaciones metalúrgicas de la FIUSAC: continuar con las investigaciones de utilidad científico-técnica, dentro del área de los tratamientos térmicos, de los aceros especiales existentes en el mercado nacional.
2. A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la FIUSAC: disponer de los mecanismos de divulgación de los resultados de investigación para beneficio de la PYMES.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Rivas, R. A. (2012). *Introducción a la Metalurgia. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas*. Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC. Guatemala.

Aguilar Rivas, R. A. (2013). *Tratamientos térmicos de los aceros. Conferencias. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas*. Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC. Guatemala.

Castillo, E. A (2017). *Análisis metalográfico de las estructuras resultantes de tratamientos térmicos de aceros de mediano carbono AISI-SAE 1045 Y AISI-SAE 1036 y su relación con la dureza de los mismos*. Trabajo de Graduación de Ingeniera Mecánica, Escuela de de Ingeniería Mecánica, FIUSAC.

Zacarías Gómez, M. A. y Aguilar Rivas, R. A. (2017). *Estructuras metalográficas de probetas cementadas de aceros ASSAB7210 y BOEHLER E230 y su relación con la dureza resultante*. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería, USAC. Guatemala.

Información del autor

Miguel Ángel Zacarías Gómez

Ingeniero Mecánico, “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC.

Evelin Andrea Castillo Herrera

Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica, “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC

Roberto Alejandro Aguilar Rivas

Doctor en Metalurgia, Ingeniero Mecánico, Profesor-investigador del “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Afiliación laboral: Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.