
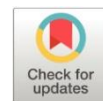


Introducción a los tratamientos térmicos: conceptos, propósitos y aplicaciones industriales.

Introduction to heat treatments: concepts, purposes and industrial applications.

- ¹ Tania Karina Berrezueta Espín  <https://orcid.org/0000-0003-3353-9910>
Facultad de Ciencias Administrativas, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
tania.berrezueta@epn.edu.ec
- ² Axel Vladimir Arregui Paredes  <https://orcid.org/0009-0006-1158-9780>
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
axel.arregui@unach.edu.ec
- ³ Adrián Josué Santillán Salazar  <https://orcid.org/0009-0002-6407-487X>
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
adrian.santillan@unach.edu.ec
- ⁴ Anthony David Yucta Vargas <https://orcid.org/0009-0008-2027-8532>
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
anthony.yucta@unach.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 11/05/2023

Revisado: 19/06/2023

Aceptado: 14/07/2023

Publicado: 30/08/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i3.2653>

Cítese: Berrezueta Espín, T. K., Arregui Paredes, A. V., Santillán Salazar, A. J., & Yucta Vargas, A. D. (2023). Introducción a los tratamientos térmicos: conceptos, propósitos y aplicaciones industriales. *Conciencia Digital*, 6(3), 176-191. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i3.2653>



Ciencia
Digital
Editorial



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras claves:

Tratamientos,
térmicos,
ingeniería,
propiedades,
dureza, tenacidad

Resumen

La presente investigación tiene como finalidad analizar distintas investigaciones que tratan sobre los tratamientos térmicos en la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, y muestra el impacto que los mismos generan en la mejora de propiedades de diversos materiales usados en distintas industrias, según sea su aplicación o necesidad. Mediante el estado del arte se pudo establecer la importancia y aplicaciones de los tratamientos térmicos, los cuales son procesos importantes que permiten controlar la estructura de los materiales y mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, dichos tratamientos juegan un papel crucial para el desarrollo y mejora de materiales utilizados en diversas industrias. Como resultado de la investigación se determina de forma clara las bases teóricas de los tratamientos térmicos, explicando los distintos tipos de tratamientos térmicos y los fenómenos de difusión y transformación de fases de cada proceso. Finalmente se pudo establecer los verdaderos propósitos de los tratamientos térmicos, destacando la importancia en la optimización de propiedades mecánicas como resistencia, dureza, tenacidad y ductilidad, además, se utilizan casos de estudio para ejemplificar como han mejorado las propiedades de los metales y por último mencionar técnicas avanzadas como el endurecimiento y el refinamiento para obtener estructuras como propiedades plásticas, elásticas, de tracción y de compresión.

Keywords:

Treatments, heat,
engineering,
properties,
hardness,
toughness

Abstract

The purpose of this research is to analyze different investigations that deal with heat treatments in Materials Science and Engineering, and shows the impact that they generate in the improvement of properties of various materials used in different industries, depending on their application or need. Through the state of the art it was possible to establish the importance and applications of heat treatments, which are important processes that allow controlling the structure of materials and improving their physical and mechanical properties, these treatments play a crucial role in the development and improvement of materials used in various industries. As a result of the research, the theoretical bases of heat treatments are clearly determined, explaining the different types of heat treatments and the diffusion and phase transformation phenomena of each process. Finally, it

was possible to establish the true purposes of heat treatments, highlighting the importance in the optimization of mechanical properties such as strength, hardness, toughness and ductility, in addition, case studies are used to exemplify how the properties of metals have improved and finally mention advanced techniques such as hardening and refinement to obtain structures such as plastic, elastic, tensile and compressive properties.

Introducción

Los tratamientos térmicos son una serie de procesos fundamentales en la ciencia de materiales y la ingeniería, que han desempeñado un papel crucial en el desarrollo y mejora de diversos materiales utilizados en diversas industrias. Estos tratamientos controlados por temperatura y tiempo de exposición pueden cambiar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, proporcionando una amplia gama de aplicaciones prácticas y mejorando su desempeño en diversas condiciones de uso. (Patiño, 1996)

Este presente estudio del arte se centra en una exploración de los conceptos básicos, propósitos y aplicaciones del tratamiento térmico a nivel de industria. A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica existente, se tiene como objetivo una comprensión integral de como estos procesos térmicos afectan la microestructura de los materiales y, por lo tanto, las propiedades mecánicas y funcionales.

Como primer punto del estudio se va a establecer las bases teóricas, explicando de manera clara y concisa los distintos tipos de tratamientos térmicos además de los fenómenos de difusión y transformación de fases que ocurren en cada proceso. (Patiño, 1996) Posteriormente, se analizarán los propósitos fundamentales de los tratamientos térmicos, tomando en cuenta su relevancia en la optimización de las propiedades mecánicas, tales como la resistencia, dureza, tenacidad y ductilidad que permiten aplicar los materiales a diversas industrias.

Finalmente, se explorarán las múltiples aplicaciones prácticas de los tratamientos térmicos en diversas industrias. Se examinarán casos de estudio concretos que ejemplifican como los tratamientos térmicos han contribuido a mejorar las propiedades de los metales. (Patiño, 1996)

Metodología

Un tratamiento térmico se refiere a una modificación de las propiedades mecánicas y de la estructura metalográfica de un metal, esto dependiendo del aumento y el descenso controlado de su temperatura. En el caso de los aceros, los procesos son el plan diario de la industria. Los fabricantes realizan la aplicación de los tratamientos térmicos para que sus piezas adquieran las propiedades requeridas. (Obando, F. Sánchez, E. Patiño, 2014)

Los tratamientos térmicos del hierro y el acero consisten en una secuencia de pasos y acciones de calentamiento y enfriamiento, realizadas en un intervalo de tiempo específico con el propósito de obtener las características deseadas. (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005)

Los tratamientos térmicos empiezan en las condiciones de equilibrio estable y metaestable que están presentes en la microestructura y en los diagramas de equilibrio térmico de los metales y aleaciones. (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005)

El recocido corresponde a calentar una aleación a una temperatura específica con el propósito de eliminar tensiones y mejorar su microestructura (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005), por otro lado, el ablandamiento ayuda a la transformación de materiales a un estado de una resistencia muy baja y un alto alargamiento. (Gave Vhagua, José Luis, 2022) Esto se realiza de manera ordinaria para poder facilitar los trabajos de conformación, en los materiales que son endurecidos en frío, el recocido del ablandamiento reside en un recocido de recristalización, eso teniendo en cuenta el tamaño del grano, la duración del recocido, el nivel del grado de la deformación en frío y los recocidos intermedios (Gave Vhagua, José Luis, 2022). La acritud se refiere al estado de una aleación que ha sido deformada plásticamente a una temperatura por debajo de la de recristalización. (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005)

La recristalización es un proceso térmico que se aplica normalmente en metales de trabajo frío para poder obtener la nucleación y el crecimiento de nuevos granos sin el cambio de fase. (Gave Vhagua, José Luis, 2022). Un ejemplo de esto es el aluminio que se encuentra en un rango de temperatura entre los 400 y 700 °C, esto, mediante un recocido de eliminación de la acritud que se deforman en frío, lo que supone, el aumento de su resistencia que se consigue con esta deformación. (Gave Vhagua, José Luis, 2022) Además de una eliminación total de la acritud hasta conseguir el estado inicial que se produce cuando el recocido se realiza a temperaturas por encima del umbral de la recristalización. (Gave Vhagua, José Luis, 2022)

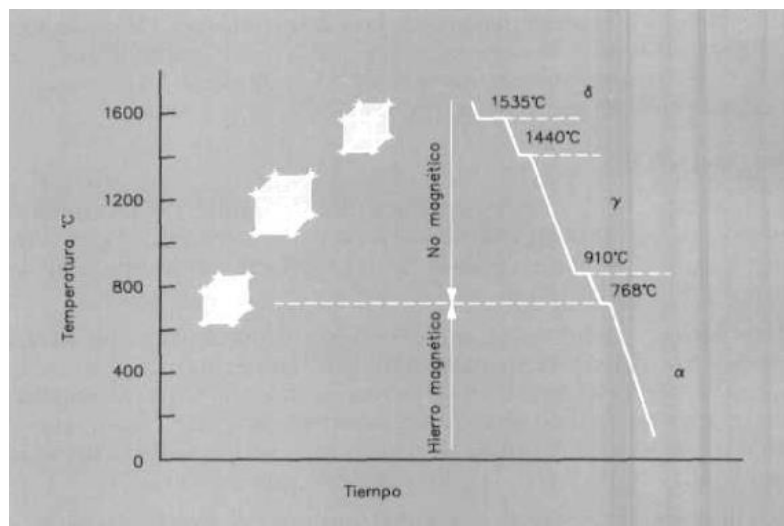
En el caso específico del acero, los fundamentos de los tratamientos térmicos se basan en el diagrama hierro-carbono. Este diagrama es de suma importancia debido a la gran producción mundial de acero y al profundo conocimiento acumulado a lo largo del tiempo

sobre el mismo, resultado del extenso período en que la humanidad ha utilizado esta aleación. (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005)

Podemos observar en la (figura 1) los puntos críticos del hierro puro cuando está a una temperatura de 1535 °C, y se enfría se puede ver que la curva de enfriamiento forma un tramo horizontal mientras cambia de fase de líquido a sólido. (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005) Se puede ver que el hierro gamma es constante hasta que la temperatura haya bajado a 910 °C.

Figura No. 1

Temperatura en función del tiempo al enfriar hierro puro



En el caso del acero inoxidable cuando se lleva a cabo el proceso de maduración a una temperatura de 700 °C, la microestructura resultante es similar a la del acero simplemente sinterizado. (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005) Los precipitados ya no están en coherencia cristalográfica con la matriz, lo que implica que las resistencias mecánicas también son similares. En cuanto a los resultados del ensayo de dureza, se puede hacer una reflexión similar, aunque en estos materiales sinterizados, la relación entre la dureza y la resistencia mecánica puede no ser tan lineal debido a la presencia de porosidad. (Ruiz, R. Iglesias, F, 2005)

Las fundiciones de hierro, al igual que los aceros, son aleaciones compuestas por hierro y carbono. En relación con el diagrama Fe-Fe₃C de la (figura 2), estas aleaciones hierro-carbono contienen un contenido de carbono que varía entre 2% y 6,67%. (Ramírez, 2017) Sin embargo, en la industria, la mayoría de las veces, solo se comercializan hierros fundidos con un máximo de 4% de carbono debido a que el exceso de este elemento podría volver la aleación frágil. (Ramírez, 2017) Es importante considerar que la presencia de elementos de aleación afecta la máxima cantidad de carbono que puede

disolverse en la austenita, lo que significa que algunas fundiciones aleadas podrían tener menos de 2% de carbono. (Ramírez, 2017)

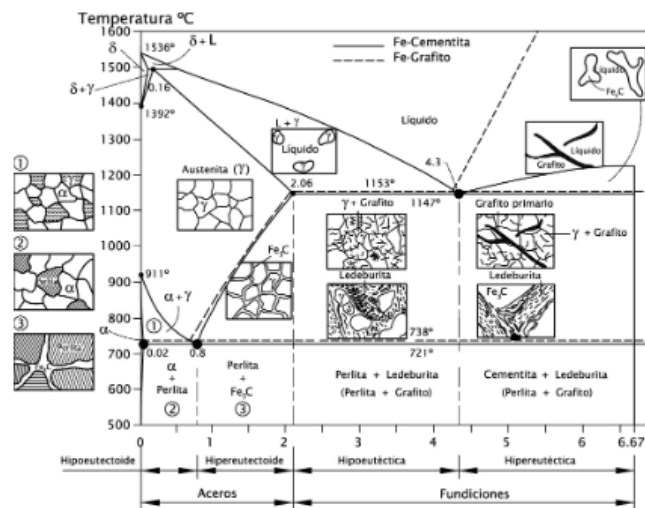
Además del carbono, las fundiciones de hierro contienen silicio en proporciones que oscilan entre 2% y 4%, manganeso hasta un 1%, y presentan bajos niveles de azufre y fósforo. (Ramírez, 2017)

En las fundiciones, el carbono puede manifestarse de dos maneras: como grafito libre o como carbono combinado formando la matriz. (Ramírez, 2017) Esto se rige por la relación: porcentaje de carbono total = porcentaje de carbono en forma de grafito + porcentaje de carbono en forma combinada.

También podemos observar que La temperatura de fusión de las fundiciones es más baja que la temperatura de fusión de los aceros, hasta llegar al punto eutéctico que contiene un 4,8% de carbono, a partir del cual la temperatura de fusión comienza a aumentar. (Ramírez, 2017)

Figura No. 2

Hierro carburo de hierro



Estudios que se centran en el modelo microestructural y micromecánica de contactos deslizantes abrasivos de un acero son empleados en modelos 3D y sus cálculos por métodos de elementos finitos de microestructura policristalina ya que incluyen movimientos de dislocaciones. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022) La formación de maclas y sus interacciones muestran que la compactación por deformación que interactúan con las dislocaciones juega un papel importante en su endurecimiento

superficial y rápido de los granos austeníticos. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022)

Se puede afirmar que en el tratamiento térmico del acero de Hadfield se involucra un calentamiento lento que va desde una temperatura de 1010 hasta 1090°C, que se mantienen por 1 o 2 horas a esta temperatura, por cada 25 mm de espesor que tiene la pieza y un enfriamiento rápido en agua, para que los carburos se disuelvan por completo y puedan quedar en una matriz austenítica homogénea. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022) Posteriormente el temple necesario para la aplicación de un revenido bajo o medio para que el alivio de las tensiones internas que se producen en su temple pueda ser de revenido alto ya que puede provocar precipitaciones de segundas fases de tipo carburos y ferritas que son estructuras no deseadas en estos aceros. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022)

El aluminio 1050 A es un tipo de aleación forjada que consta de una buena resistencia a la corrosión, una alta ductilidad y un acabado altamente reflejante, este tipo de aluminio se utilizan normalmente para las plantas de procesos químicos esencialmente se ocupa en los equipos además de ser ocupados para los recipientes en la industria alimentaria, en el uso doméstico también se utiliza en la fabricación de utensilios de cocina. (Gave Vhagua, José Luis, 2022)

Para fabricar una pieza de aluminio que se comporte y resista las condiciones que se requieran, es impredecible conocer e identificar con qué clase de proceso fue elaborado la materia. (Gave Vhagua, José Luis, 2022) Es necesario saber el tipo de aleación y los procesos de deformación que se utilizan pues el conjunto de los elementos establece las propiedades finales del producto. (Gave Vhagua, José Luis, 2022)

En el aluminio y sus aleaciones el tratamiento térmico está estrechamente relacionado con la composición de su material y los procesos de deformación. (Gave Vhagua, José Luis, 2022) Para aumentar las tensiones internas, elevar la resistencia a la tensión y el esfuerzo de la fluencia, este material recibe diferentes combinaciones entre su temperatura y su deformación física, esto junto a un sosiego o maduración al medio ambiente. (Gave Vhagua, José Luis, 2022)

El endurecimiento por precipitación es un tratamiento térmico que se aplica a las aleaciones de aluminio, dicho tratamiento es elevadamente notable por su resistencia mecánica de aleaciones del aluminio. (Nilthon Emerson Zacaleta Gutierrez, Elmer Rolando Polo Briceño, Norberto Damián Ñique Gutierrez, Hernan De Cicco, 2018) El endurecimiento por precipitación tiene un lugar fundamental de tres fases. La primera es por calentamiento a una temperatura elevada cuando se disuelven en una solución sólida de aluminio mayormente por partes de componentes de aleación los cuales provocan el

endurecimiento. (Nilthon Emerson Zacaleta Gutierrez, Elmer Rolando Polo Briceño, Norberto Damián Ñique Gutierrez, Hernan De Cicco, 2018) La segunda es por un enfriamiento rápido, donde la solución sólida, enriquece a los componentes de la aleación que se transforma. Finalmente, por permanencia esta se realiza a una temperatura ambiente o también es realizada a una temperatura elevada, se produce una precipitación de la solución sólida sobresaturada, las cuales provocan el aumento en la resistencia de tracción, además, de tener un límite elástico y una dureza. (Nilthon Emerson Zacaleta Gutierrez, Elmer Rolando Polo Briceño, Norberto Damián Ñique Gutierrez, Hernan De Cicco, 2018)

Las aleaciones de aluminio son ampliamente utilizadas como materiales estructurales en la industria aeronáutica debido a sus propiedades, como su baja densidad, su alta resistencia, una buena ductilidad, tenacidad y son resistentes a la fatiga. (Nilthon Emerson Zacaleta Gutierrez, Elmer Rolando Polo Briceño, Norberto Damián Ñique Gutierrez, Hernan De Cicco, 2018)

Existen diferentes procesos de tratamientos térmicos como: El normalizado es uno de los tratamientos térmicos más fáciles de efectuar. Se utiliza lo mismo para las piezas fundidas, forjadas y sirve para afinar la estructura y eliminar las tensiones que suelen aparecer en la solidificación, forja o en otras operaciones posteriores. (Patiño, 1996)

El propósito de la normalización es producir un acero más duro y fuerte que el obtenido por recocido total, de manera que para algunas aplicaciones la normalización puede ser un tratamiento térmico final. (Patiño, 1996) El temple es un proceso mediante el cual el acero se incrementa a su máxima dureza también se le conoce como temple o templado. El acero, con la excepción de algunos tipos especiales, puede ser endurecido por calentamiento a temperatura elevada y rápido enfriamiento posterior. (Patiño, 1996)

En cualquier operación de tratamiento térmico es importante la velocidad de calentamiento. El calor fluye a cierta velocidad desde el exterior del acero hacia el interior. (Dieter, 1988) Si el acero se calienta demasiado rápido, el exterior se calentará y estará tan caliente como el interior el cual no tendrá una estructura uniforme. (Dieter, 1988) El revenido consiste en un calentamiento dentro de un amplio intervalo de temperaturas, aproximadamente desde 120 a 675°C. (Dieter, 1988) El revenido a temperaturas de 95 a 205°C se emplea en aquellos casos en los que es importante conservar dureza y resistencia, dado que el revenido para conseguir aumento de tenacidad, pero manteniendo la alta dureza especificada. (Patiño, 1996)

El revenido en la zona de temperatura 230 a 370°C se caracteriza principalmente por dos hechos conocidos hace tiempo el cambio en la microestructura, y la pérdida de tenacidad, a temperatura ambiente, conforme se eleva la temperatura de revenido. (Patiño, 1996)

La cementación es un proceso mediante el cual un metal se precipita a partir de una solución acuosa debido a la presencia de otro metal. Durante este procedimiento, el metal precipitado se deposita sobre el metal que se agrega. La base de este proceso radica en el potencial de electrodo que poseen los metales involucrados. El metal con el potencial de electrodo más alto muestra una mayor tendencia a la oxidación, lo que lo llevará a disolver en la solución, desplazando al metal con un potencial más bajo. (Reina Orosco, Rey Delgadillo, 2009)

La cementación ocurre en soluciones diluidas y sin la formación de complejos iónicos del metal. Cuando están presentes complejos, los valores de potencial de electrodo pueden experimentar cambios significativos. (Reina Orosco, Rey Delgadillo, 2009)

En términos generales, a medida que aumenta el potencial de celda de la reacción de cementación, también aumenta la tendencia a precipitar impurezas. Esto se debe a que estas impurezas tienen más probabilidades de estar presentes dentro de un rango específico de potenciales, lo que favorece su precipitación conjunta. (Reina Orosco, Rey Delgadillo, 2009)

La cementación en fase líquida ofrece diversas ventajas como, permite una rápida formación del precipitado y el precipitado resultante puede separarse fácilmente sin riesgo de contaminación, sin embargo, es fundamental tomar precauciones durante el proceso. Es necesario evitar que el oxígeno ingrese al reactor de cementación, ya que esto podría desencadenar reacciones competitivas que afecten la efectividad del agente precipitante. (Reina Orosco, Rey Delgadillo, 2009)

Las fundiciones blandas aleadas con el cromo son productos que son demandados por diferentes industrias como pueden ser la minera, mineralurgia, siderúrgica y cementera, en virtud de su alta dureza, además de tener una alta resistencia a la abrasión y son resistentes a la oxidación, esta se obtiene por un moldeo y se caracteriza por poseer microestructuras que están formadas en base a un alto contenido de carburo eutécticos, junto a otra fase predominante martensítica. (Fernández Pariente, Belzunce Varela, 2006)

El conformado de estos productos son realizados mediante técnicas de moldeo directo esto a partir del caldo líquido. Siendo habitualmente una fundición hipo eutéctica, su solidificación comienza con una formación de dendritas de austenita y termina con la formación de eutéctico. (Fernández Pariente, Belzunce Varela, 2006) En el enfriamiento posterior en virtud de una típica pérdida de solubilidad de la austenita con una disminución de su temperatura, que esta precipitada a cantidades importantes de los mismos carburos. (Fernández Pariente, Belzunce Varela, 2006)

Los procesos de fundición están compuesto por granos de austenita y colonias de carburos precipitados en los bordes del grano, esto provoca la falta de endurecimiento por el trabajo

en frío, (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022) la disminución de la resistencia mecánica y del desgaste de los elementos pueden incitar distintas fallas en las piezas, por lo que es necesario realizar tratamientos térmicos de temple para así poder garantizar que las propiedades mecánicas sean las adecuadas para las piezas al entrar en servicio, además que los tratamientos térmicos sean favorables para su buen desempeño. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022)

Para poder obtener un equilibrio entre la resistencia y la corrosión se propone un tratamiento de envejecimiento en tres etapas que se denomina regresión y envejecimiento (RRA), esto proporciona que las aleaciones de aluminio de la serie 7XXX tengan una resistencia mecánica comparable al tratamiento T6 además de contar con una buena resistencia a la SCC que es similar al tratamiento T73. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022) Al contar con una alta resistencia mecánica las aleaciones de aluminio deben ser precipitados por una fase de transición η' y una fase de equilibrio η . (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022)

Cuando las aleaciones son sometidas a un tratamiento de envejecimiento T6, se obtiene una más alta resistencia mecánica, aunque, su resistencia a la corrosión es baja y la susceptibilidad a la corrosión de baja tensión (SCC), la corrosión por exfoliación (EFC) y su corrosión intergranular (IGC), es elevada esta limita su aplicación. Para poder mejorar su resistencia a la corrosión se deben localizar niveles aceptables. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022) Esto requiere de un tratamiento de sobre envejecimiento como puede ser el tratamiento T73; pero se debe tomar en cuenta que este tratamiento disminuye su resistencia mecánica en un 10 o 15%.

Durante un tratamiento de regresión los precipitados η' están formados por un envejecimiento T6 que se disuelven completa o parcialmente. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022) Los precipitados η' más grandes son los que no se disuelven, ya que evolucionan hasta convertirse en precipitados η , y los precipitados η existente son aquellos que sufren ligeros engrosamientos. La microestructura final de un tratamiento RRA es aquella combinación de grandes precipitados η a lo largo de los límites del grano y consta de una dispersión fina de precipitados η' más pequeños que la matriz del aluminio. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022)

Los precipitados η son anódicos con respecto a su matriz, por lo que si precipitación conjunta va a través de los límites del grano durante el tratamiento T6 este proporciona

una ruta anódica para poder localizar el ataque que es responsable de la susceptibilidad a la corrosión intergranular de sus aleaciones. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022) Igualmente, la precipitación de las partículas η en los límites del grano están asociadas con la formación de una zona libre de precipitados (PFZ) en las regiones adyacentes a los límites del grano esto debido a su agotamiento en los átomos del soluto (Zn y Mg). El PFZ tendrá un diferente comportamiento electroquímico respecto a los límites de grano y de la matriz, contribuyendo el ataque localizado en los bordes del grano. (Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez, 2022)

Las aleaciones de magnesio han ganado una gran importancia debido a su baja densidad ($1,7 \frac{g}{cm^3}$) y al mismo tiempo tiene una buena relación de resistencia y peso. [9] Las aleaciones AZ31 se han utilizado en el último tiempo para la fabricación de elementos estructurales, sin embargo, la estructura hexagonal (HCP) del magnesio y sus aleaciones limitan la conformabilidad del material. (Pablo María Delfino, Leonardo Nicolás Tufaro, Hernán Gabriel Svoboba, 2018)

El refinamiento del grano es un método efectividad es necesario para poder obtener una estructura con propiedades superplásticas, ya que promueve la activación del mecanismo del desplazamiento del borde del grano. (Pablo María Delfino, Leonardo Nicolás Tufaro, Hernán Gabriel Svoboba, 2018) Requieren típicamente un grano fino que sea menor a $10 \mu m$ de diámetro y su velocidad de deformación debe ser moderada para poder activar el mecanismo de deformación a una temperatura elevada, ya que las temperaturas de conformado superclásico se encuentran entre 0,5 y 0,8 grados Kelvin, una microestructura con propiedades superlativas deben poseer no solo un tamaño de grano, sino también se debe considerara la estabilidad térmica a la que se está conformando. (Pablo María Delfino, Leonardo Nicolás Tufaro, Hernán Gabriel Svoboba, 2018)

El FSP es una técnica que se deriva de la soldadura por fricción de agitación (FSW) que tiene como resultado una alternativa efectiva para poder obtener una refinación de granos con diferentes aptitudes superplásticas. Esto se logra a partir de una herramienta que no es combustible, tiene una forma cilindra que puede ser como un hombro y un pin central. El pin de la herramienta es el que penetra el material que se está procesando, se genera calor por fricción mediante el pin y el hombro es el que plastifica el material y la rotación produce la agitación y el mezclado. (Pablo María Delfino, Leonardo Nicolás Tufaro, Hernán Gabriel Svoboba, 2018) Como consecuencia de esta acción la herramienta sobre la que actúa el material genera zonas con diferentes microestructuras, se conoce como zona agitada (SZ), zoma termo-mecánicamente afectad (TMAZ) y la zona afectada por el calor (HAZ).

Una estructura de grano refinado se obtiene de diferentes técnicas de deformación plásticas de severa, esta se puede presentar al ser sometida a ciertas condiciones de temperatura y tiene un tiempo de crecimiento normal o anormal del grano, está definiéndose con una determinada estabilidad térmica. Se les atribuyen resultados a los parámetros del proceso siendo un factor de relevancia de partida del material, pudiendo ser generar laminado, extruido, fundido. La escasa información que se dispone al respecto de este último aspecto sobre la estabilidad térmica de los materiales que son procesados. (Pablo María Delfino, Leonardo Nicolás Tufaro, Hernán Gabriel Svoboba, 2018)

Los nanotubos de TiO_2 se pueden fabricar por diversas técnicas como pueden ser solgel, anodización, electrodeposición, deposición química y métodos que implican el tratamiento químico de las partículas de TiO_2 , sin embargo, varias de estas técnicas se pueden complicar debido a que es necesario el uso de templates o por los procesos químicos involucrados. (María Laura Vera, Edgard Henrikson, Hernán Darío Traid, Alici Esther Ares, Marta Irene Litter, 2018) Entre las técnicas mencionadas anteriormente, la anodización es una de las más simples y que permiten obtener arreglos ordenados de nanotubos de entre 20 y 90 nm de diámetro interior y de $50\text{ nm}^{-1}\text{mm}$ de largo esto dependiendo fundamentalmente de la naturaleza del electrolito y del voltaje que se emplea. (María Laura Vera, Edgard Henrikson, Hernán Darío Traid, Alici Esther Ares, Marta Irene Litter, 2018) Las estructuras nanotubulares se obtienen cuando la oxidación anódica es realizada con electrolitos contenidos en el ion fluoruro (F^-) debido a que las relaciones competitivas de formación y disolución del óxido. La incorporación de los diferentes compuestos orgánicos al electrolito permite obtener un recubrimiento anódico nanotubulares de varios micrones de longitud y estos elevados a valores de área superficial por unidad de masa y volumen. (María Laura Vera, Edgard Henrikson, Hernán Darío Traid, Alici Esther Ares, Marta Irene Litter, 2018)

Los nanotubos que se obtienen anódicamente resultan amorfos y requiere de tratamientos térmicos que son elevadas a temperaturas para cristalización en las fases anatasa o rutilo, dado que las propiedades del TiO_2 y por ende sus potencias en las aplicaciones, esto depende de la cristalización y de las fases presentes, específicamente, la anatasa es la fase considerada como la más fotoactiva para los procesos de fotocatalisis heterogénea. Esto resulta del interés de evaluar la estabilidad de la fase anatasa, así como la integridad estructural y morfológica de los nanotubos obtenidos luego de realizar los tratamientos térmicos. En general, las temperaturas de transición reportadas difieren entre sí ya que han sido preparadas por diferentes grupos en diversas condiciones y los nanotubos son el resultado de distintas composiciones y dimensiones características. (María Laura Vera, Edgard Henrikson, Hernán Darío Traid, Alici Esther Ares, Marta Irene Litter, 2018)

Los distintos tratamientos térmicos son procesos de mejora de propiedades mecánicas, físicas y químicas de los distintos materiales, mismos que se desarrollan mediante el

calentamiento y enfriamiento de metales, aceros y aleaciones en estado sólido. El objetivo del tratamiento térmico es impartir ciertas propiedades deseables a los materiales, propiedades que nacen como fruto de la necesidad de ocupar en aplicaciones específicas un material, por ejemplo, alta dureza, alta resistencia, peso bajo. (Ahaneku et al., 2012).

Los diversos tratamientos térmicos pueden ser desarrollados en metales, cerámicos y materiales compuestos, pues su aplicación está en dependencia del usuario y de la necesidad a nivel industrial. Es por ello que conocer de sus beneficios, así como de sus limitaciones, permiten un manejo adecuado de los materiales, tanto en la fase de selección de los mismos como en la fase de aplicación de cargas. Los materiales tratados térmicamente se someten a múltiples transformaciones que van desde cambios de fase, modificaciones a nivel microestructural, llegando hasta cambios de cristalografía (Sreeja et al., 2016).

Cabe recalcar que el objetivo principal de cualquier tratamiento térmico es mejorar las propiedades mecánicas de los distintos materiales, propiedades como la dureza, el límite elástico, la resistencia a la tracción, la ductilidad y la resistencia al impacto, propiedades que varían según el uso o la necesidad del campo industrial. El proceso de tratamiento térmico de los materiales implica la combinación de operaciones controladas de calentamiento y enfriamiento, que deben ser desarrolladas por personas capacitadas en Ciencia e Ingeniería de Materiales (Adeleke et al., 2019).

Resultados y discusión

Los tratamientos térmicos son procedimientos controlados de calentamiento y enfriamiento que se aplican a los materiales con el fin de modificar sus características físicas y mecánicas. Estos procesos son ampliamente empleados en diversas áreas industriales, como la metalurgia, la automotriz y la aeroespacial, entre otras.

El propósito principal de los tratamientos térmicos es mejorar la resistencia, dureza, tenacidad, ductilidad y otras propiedades de los materiales. Entre los tratamientos más comunes se encuentran el temple, el revenido, el recocido y el endurecimiento por precipitación.

En el ámbito de la industria automotriz, por ejemplo, se utilizan los tratamientos térmicos para incrementar la resistencia y durabilidad de piezas metálicas, como engranajes y ejes. En el sector aeroespacial, estos tratamientos se emplean para asegurar la resistencia y la integridad estructural de componentes críticos.

Discusión

Los tratamientos térmicos representan un pilar esencial en el campo de la ciencia de los materiales y desempeñan un papel de suma importancia en la industria contemporánea.

Estos procedimientos controlados de calentamiento y enfriamiento se emplean para alterar las características físicas y mecánicas de los materiales, con el propósito de optimizar su desempeño en distintas aplicaciones industriales.

En este estudio, se analizaron conceptos clave relacionados con tratamientos térmicos, como temple, revenido, recocido y endurecimiento por precipitación. Se exploraron los principios fundamentales detrás de cada proceso y cómo influyen en las propiedades del material, como resistencia, dureza, tenacidad y ductilidad.

Conclusiones

- Se determina que los tratamientos térmicos son procesos fundamentales en la ingeniería, y son importantes en el desarrollo y mejora de variedad de materiales usados a nivel industrial. Estos tratamientos permiten controlar la estructura de los materiales y mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.
- A partir de la revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica se ha proporcionado una comprensión integral de como los tratamientos térmicos afectan la estructura de los materiales.
- Se concluye que los tratamientos térmicos han tenido bases teóricas sólidas, las cuales explican los fenómenos involucrados en cada proceso. Además, se han identificado los propósitos fundamentales que tiene estos tratamientos, resaltando la importancia en la optimización de propiedades mecánicas.
- La aplicación adecuada de tratamientos térmicos, como el recocido, el endurecimiento y el refinado, juegan un papel importante en la obtención de las estructuras con propiedades plásticas, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión óptima para diversas aplicaciones industriales.
- Los tratamientos térmicos ofrecen una vía efectiva para mejorar las propiedades de los materiales, lo que se traduce en un aumento de su rendimiento y fiabilidad en aplicaciones industriales críticas.
- Se ha explorado el uso de técnicas avanzadas, como la soldadura por fricción de agitación y la anodización, para obtener estructuras con características específicas y mejorar el rendimiento en aplicaciones particulares.

Referencias bibliográficas

Adeleke, A.A., Ikubanni, P.P., Adediran, A.A., Agboola, O.O., Olabamiji, T.S., Ogunsola, O.J., Ibeawuchi, C., 2018. Tensile strength and microstructural behaviour of medium carbon steel quenched in some selected media. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 9 (10), 2148–2156.

Ahaneku, I.E., Kamal, A.R., Ogunjirin, O.A., 2012. Effects of heat treatment on the properties of mild steel using different quenchants. *Front. Sci.* 2 (6), 153–158.

- Dieter, G. (1988). *Mechanical Metallurgy*. McGraw-Hill.
- Fernández Pariente, Belzunce Varela. (2006). *Influencia de diversos tratamientos térmicos en la microestructura de una fundición blanca con alto contenido en cromo* (4 ed., Vol. 42). ISSN 0034 8570.
- Fernandez Tamayo, Mario Luis, Modelo Garcia Francisco, Parada Exposito, Andres Pino, Alejandro Suarez. (2022). *Influencia del tratamiento térmico sobre microestructura y dureza de esteras en acero Hadfield como cromo* (Vol. 25). ISSN 1825-5944.
- Gave Vhagua, José Luis. (2022). *Tratamientos térmico de bandas de aluminio 1050a provenientes de colada continua y laminación en caliente* (2 ed., Vol. 14). Peru: Epub. ISSN 2218-3620.
- María Laura Vera, Edgard Henrikson, Hernán Darío Traid, Alici Esther Ares, Marta Irene Litter. (2018). *Influencia de los tratamientos térmicos en recubrimientos anódicos nano tubulares de TIO₂* (2 ed., Vol. 23). ISSN 1517-7076.
- Nilthon Emerson Zacaleta Gutierrez, Elmer Rolando Polo Briceño, Norberto Damián Ñique Gutierrez, Hernan De Cicco. (2018). *Efecto del tratamiento térmico sobre la resistencia mecánica, corrosión intergranular y exfoliación de la aleación de aluminio 7075* (Vol. 23). e-12000.
- Obando, F. Sánchez, E. Patiño. (2014). *Tratamientos térmicos para aluminios*. (Vol. 31). Metal Actual.
- Pablo María Delfino, Leonardo Nicolás Tufaro, Hernán Gabriel Svoboba. (2018). *Estabilidad térmica de aleaciones de magnesio procesadas por fricción-agitación (FSP)* (2 ed., Vol. 23). ISSN 1517-7076.
- Patiño, J. (1996). *Tratamientos termicos de los aceros*. Nuevo Leon.
- Ramírez, M. (2017). *Tratamientos térmicos y analisis de ensayos de tensión, compresión y direza segun normas astm aplicados al hierro fundido A48*. Guatemala.
- Reina Orosco, Rey Delgadillo. (2009). *Estudio cinético en la cementación del cobre utilizando metales de electropotenciales altos. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2217/Reina%20orosco%20-%20Rey%20Delgadillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*
- Ruiz, R. Iglesias, F. (2005). *Tratamiento térmico del acero inoxidable ferrítico AISI 430L sinterizado en atmósfera de N₂-H₂*. Brasil: Revista Metalurgia.

Sreeja, V., Dinesh, P., Patil, S.B., 2016. Study of mechanical properties of steel quenched in a blend of biodegradable oils with quench Accelerators. *Int. J. Latest Technol. Eng. Manag. Appl. Sci.* 5 (5), 20–25.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

