



# Estudio de caso industrial de nivel 2

## Fortalecimiento de Aluminio

Kaitlin Tyler y Claes Fredriksson

Ansys Materiales División de Educación

Publicado por primera vez: Octubre de 2019

Traducido por: Guillermo Pena Marvizon

## 1. Mecanismo de Refuerzo de Metales

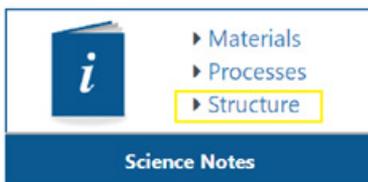
Los científicos de materiales y los metalúrgicos suelen estar interesados en el diseño de aleaciones para aplicaciones específicas. Una propiedad de primordial importancia es la fuerza; la habilidad de un material para soportar una tensión aplicada sin rotura. Para los metales, la resistencia se puede mejorar restringiendo el movimiento de dislocación durante la deformación plástica. Existen varias técnicas que pueden lograr esto, tales como:

1. Endurecimiento por solución sólida
2. Endurecimiento por deformación (endurecimiento en frío o por acritud)
3. Endurecimiento por precipitación (endurecimiento por envejecimiento térmico)
4. Endurecimiento por tamaño de granonecton

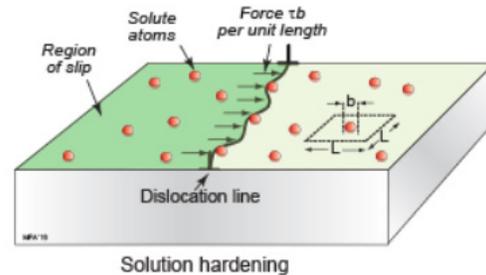
La conexión entre estos conceptos, que trata de dislocaciones y microestructuras, y propiedades del mundo real como la resistencia a la tracción, puede ser difícil de entender. En este caso práctico simplificado, usaremos la Edición de Ciencia e Ingeniería de Materiales (MS&E) de Granta EduPack para explorar los tres principales mecanismos de endurecimiento para aleaciones de aluminio y cómo la composición y el procesamiento del aluminio impactan dramáticamente las propiedades del material, que en última instancia dicta el rendimiento del material.

## 2. Explorando el endurecimiento de Aluminio

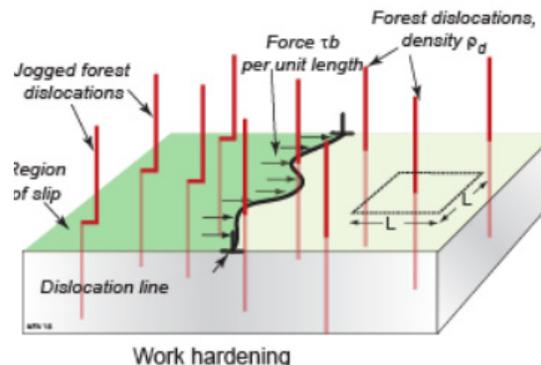
La edición MS&E de Granta EduPack tiene una sección ampliada de Notas Científicas, denominada Estructura (Structure), que proporciona detalles sobre los diferentes mecanismos de endurecimiento. Estas notas incluyen esquemas útiles para visualizar dislocaciones y microestructuras, algunas de las cuales se muestran a la derecha de esta página del caso práctico.



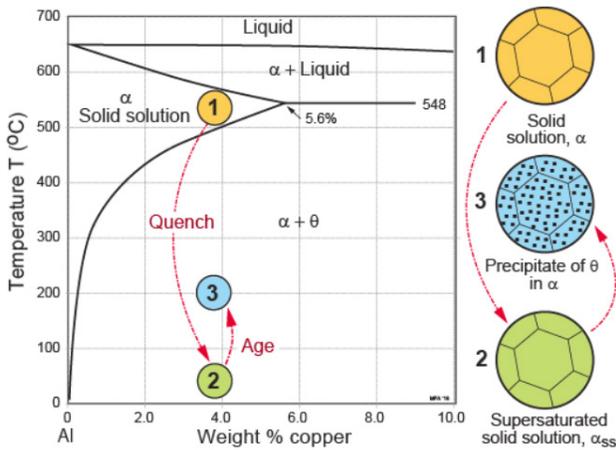
Tres mecanismos de endurecimiento principales son comunes en las aleaciones de Al: endurecimiento por solución sólida, endurecimiento por deformación y endurecimiento por precipitación.



El **endurecimiento por solución sólida** implica alear metales con elementos que forman soluciones sólidas de sustitución o intersticiales con el material nativo. Estos átomos de soluto actúan como inhibidores del movimiento de dislocación. A continuación se muestra un esquema de cómo estos solutos pueden impedir las dislocaciones.



El **endurecimiento por deformación** (también llamado endurecimiento en frío o por acritud) utiliza dislocaciones generadas por deformación plástica para impedir el movimiento de dislocación, como se indica a continuación. El recocido se puede utilizar para controlar el grado de endurecimiento por deformación y ayudar a pulir las propiedades.

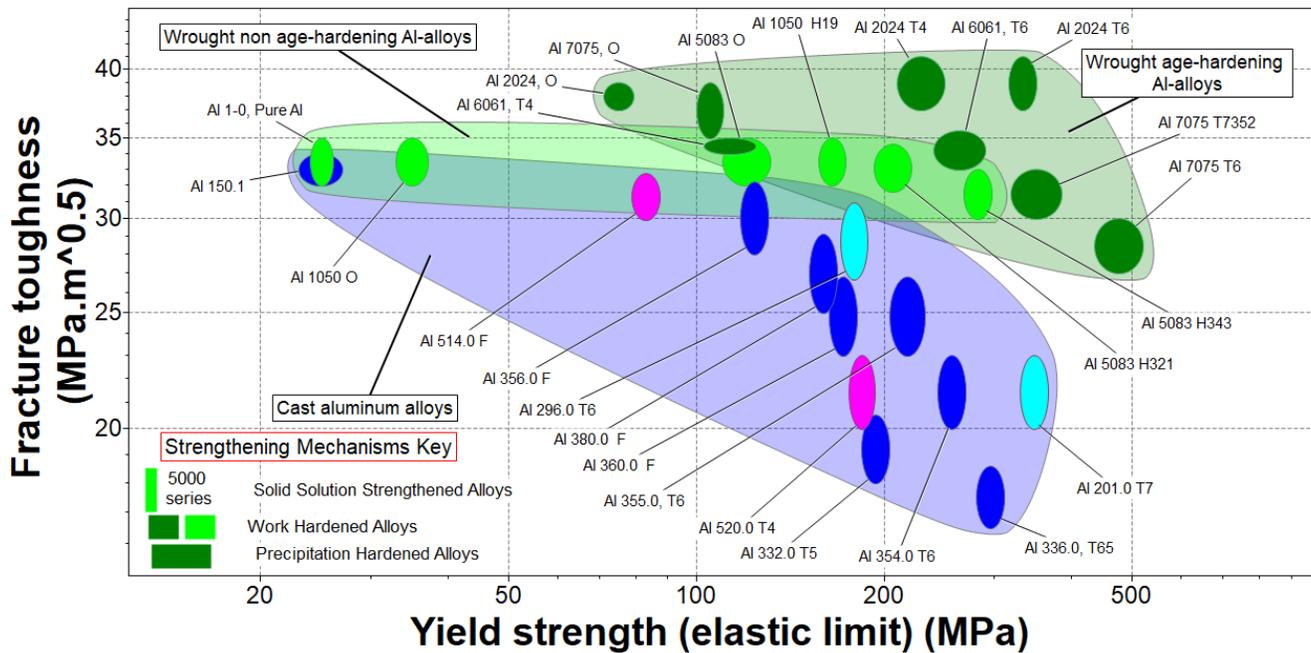


El **endurecimiento por precipitación** (a veces denominado envejecimiento térmico) dificulta el movimiento de dislocación a través de partículas pequeñas y fuertes dispersas dentro de la microestructura. El mecanismo de formación de estas partículas se muestra a continuación. En el diagrama anterior, una aleación de Al con alrededor del 4% en peso de cobre se somete a un tratamiento de solución térmica a 550 °C, lo que permite que el Cu se disuelva por completo en una solución sólida (Paso 1). Tras enfriar / templar (paso 2), se puede realizar un paso de envejecimiento a una temperatura ligeramente elevada (paso 3) o a temperatura ambiente. Disminuir la temperatura mueve la aleación a una región de baja solubilidad de Cu del diagrama de fase; esto permite que se formen precipitados ricos en Cu. El tamaño y la forma de estos precipitados dependen del tiempo y la temperatura de este paso de envejecimiento, por lo que comprender estos efectos es clave para un procesamiento adecuado. Muchas aleaciones diferentes pueden someterse a endurecimiento por precipitación: sistemas a base de magnesio, a base de titanio, cobre-cobalto y cobre-berilio, así como aceros inoxidables, y más.

### 3. Procesamiento de aleaciones de aluminio

Actualmente, las aleaciones de aluminio juegan un papel muy importante en la fabricación de productos. Desde edificios hasta ordenadores y aviones. Solo es superado por el acero en la producción mundial. Hay muchas clases diferentes de aleaciones de Al, cada una con

su propia clasificación numérica. El Sistema Internacional de Designación de Aleaciones (IADS) da a las aleaciones forjadas cuatro dígitos, donde el primer dígito muestra el elemento principal de la aleación. En el sistema AAUS, las aleaciones fundidas tienen cuatro dígitos, el cuarto separado por un punto decimal que indica la forma del producto. Los detalles específicos de estas designaciones se pueden encontrar dentro de los tres registros de Al dentro de la Edición MS&E; Aleaciones forjadas con tratamiento térmico (age-hardened wrought), forjadas sin tratamiento térmico (non age-hardened wrought) y maleables (cast alloys). Cada uno de los registros muestra propiedades generales y destaca cómo, incluso dentro de una misma clase de aleación, el procesamiento puede afectar las propiedades. Para explorar esto y ver el efecto de los mecanismos de endurecimiento en Al con más detalle, se puede utilizar la tabla de datos de Perfiles de Propiedades-Procesos (Property-Process Profiles). A continuación se muestra una comparación entre la tenacidad a la fractura y el límite elástico para múltiples aleaciones de Al. Este gráfico ilustra el impacto de diferentes mecanismos de endurecimiento y sus condiciones de procesamiento sobre las propiedades mecánicas del Al. Cada registro está etiquetado con su correspondiente designación y condiciones de procesamiento térmico (T = endurecido por envejecimiento, O = recocido, F = como se fabricó). El endurecimiento por precipitación (o envejecimiento térmico) tiene el mayor impacto tanto en la tenacidad a la fractura como en el límite elástico, pero todos los mecanismos de endurecimiento pueden cambiar las propiedades en comparación con el Al puro. Más importante aún, el impacto de los detalles del proceso de envejecimiento, como el tiempo y la temperatura, se pueden ver en este gráfico. Al examinar las aleaciones y sus condiciones de procesamiento una al lado de la otra, se puede obtener una comprensión más avanzada de la selección de materiales y las decisiones.



#### 4. Conclusiones

En este caso práctico simplificado, hemos explorado los mecanismos de endurecimiento en las aleaciones de Al y el impacto que tienen en sus propiedades, utilizando la edición MS&E de CES EduPack. Los tres mecanismos de endurecimiento más comunes en el aluminio fueron discutidos y comparados usando procesos esquemáticos y gráficos de propiedades:

- Endurecimiento por solución sólida
- Endurecimiento por deformación (endurecimiento en frío o por acritud)
- Endurecimiento por precipitación (endurecimiento por envejecimiento térmico)

Las notas científicas de estructura (Structure) proporcionaron explicaciones de cómo estos impiden el movimiento de dislocación para mejorar la resistencia. Para demostrar cómo los diferentes mecanismos de endurecimiento y sus tratamientos térmicos impactan las propiedades de los materiales, se examinaron las tablas de datos de Perfiles de Propiedades-Procesos (Property-Process Profiles) para varias clases de aleaciones de Al en una gráfica de propiedades.

© 2021 ANSYS, Inc. All rights reserved.

## Use and Reproduction

The content used in this resource may only be used or reproduced for teaching purposes; and any commercial use is strictly prohibited.

## Document Information

This case study is part of a set of teaching resources to help introduce students to materials, processes and rational selections.

## Ansys Education Resources

To access more undergraduate education resources, including lecture presentations with notes, exercises with worked solutions, microprojects, real life examples and more, visit [www.ansys.com/education-resources](http://www.ansys.com/education-resources).

**ANSYS, Inc.**  
Southpointe  
2600 Ansys Drive  
Canonsburg, PA 15317  
U.S.A.  
724.746.3304  
[ansysinfo@ansys.com](mailto:ansysinfo@ansys.com)

If you've ever seen a rocket launch, flown on an airplane, driven a car, used a computer, touched a mobile device, crossed a bridge or put on wearable technology, chances are you've used a product where Ansys software played a critical role in its creation. Ansys is the global leader in engineering simulation. We help the world's most innovative companies deliver radically better products to their customers. By offering the best and broadest portfolio of engineering simulation software, we help them solve the most complex design challenges and engineer products limited only by imagination.

visit [www.ansys.com](http://www.ansys.com) for more information

Any and all ANSYS, Inc. brand, product, service and feature names, logos and slogans are registered trademarks or trademarks of ANSYS, Inc. or its subsidiaries in the United States or other countries. All other brand, product, service and feature names or trademarks are the property of their respective owners.

© 2021 ANSYS, Inc. All Rights Reserved.