
1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONFORMADO EN CALIENTE v.s CONFORMADO EN TIBIO

La industria de la automoción es el mercado más importante para los aceros ingenieriles, dentro de los cuales están incluidos los aceros microaleados. Siendo además uno de los mercados más competitivos, produciéndose anualmente más de 40 millones de vehículos en todo el mundo. Los aceros ingenieriles representan aproximadamente el 14% del peso total de un coche y un 22% del de un camión. En la actualidad hay una demanda de coches más ligeros, más potentes, mas económicos, más seguros y menos contaminantes. En respuesta a todas estas demandas la utilización de aceros microaleados ha crecido durante los últimos 20 años, aunque existe una tendencia a reducir el contenido de acero en los vehículos tal y como se muestra en la Tabla 1-I ¹. El uso del Al y nuevos materiales, como los plásticos, ha contribuido a la reducción en la utilización del acero, también acentuada por la reducción en el tamaño y peso de los automóviles. Hay una intensa investigación y desarrollo de

nuevos materiales y procesos, incluidos composites de matriz metálica, fibras de polímeros reforzadas, metales ligeros, cerámicos, etc. Esta actividad supone un reto para la utilización de los aceros en los vehículos, aunque actualmente cuenta con considerables ventajas, tales como su bajo coste, fácil fabricación y la familiaridad que existe con sus distintos procesos de fabricación y diseño.

Tabla 1-I. Uso relativo de materiales en automóviles, %.

Material	1947	1975	1985	1995
Acero	> 80	63	60	50
Colada de Fe		16	13	5
Al		2	6	10
Plástico		4	9	25
Otros		9	12	10

En el caso de las piezas forjadas, los tratamientos térmicos posteriores al conformado (temple, revenido, enderezado, etc.) representan un porcentaje importante del resto total de la pieza. Como alternativa a esta situación y con objeto de mantener el acero como material operativo en el sector de la automoción, se han venido desarrollando y aplicando cada vez de forma mas extendida, diferentes tipos de tratamientos termomecánicos a componentes producidos mediante la forja en caliente

1.2. CONFORMADO EN CALIENTE Y MICROALEACIÓN

El conformado en caliente se caracteriza por la aplicación de altas deformaciones a grandes velocidades de deformación en el rango austenítico de los aceros y a temperaturas por encima de 1150-1200°C.

Debido a las altas temperaturas de empape empleadas en estos procesos el tamaño de grano de austenita previo es grande. Si además la temperatura de las últimas pasadas es alta, como suele ser habitual, el tamaño de grano recristalizado después de la deformación es también grande. La consecuencia directa es una microestructura grosera tras la transformación. Esta microestructura final no proporciona buenas propiedades mecánicas (combinación resistencia-tenacidad), por lo que posteriormente deben aplicarse distintos tratamientos térmicos, tales como el temple y revenido.

Como ya es sabido, el afino de grano es la única manera de mejorar la resistencia de los aceros sin que la tenacidad se vea afectada. Por tanto se han realizado grandes esfuerzos en conseguir estructuras lo más finas posibles tras la deformación en caliente. Dentro del conformado en caliente, en el caso de la forja convencional el problema de una microestructura final muy grosera es todavía más manifiesto. La tendencia habitual de concluir la forja a muy altas temperaturas da lugar a un crecimiento del grano austenítico muy rápido, prácticamente imposible de controlar incluso aunque se recurran a enfriamientos acelerados. Como resultado de ello, las estructuras α -p resultantes no suelen proporcionar tenacidades adecuadas para aquellas aplicaciones en las que esta propiedad resulta relevante.

Sin embargo, la combinación de estas mismas estructuras α -p con una fina precipitación de V (lograda durante la propia transformación) conduce a valores de resistencia mecánica similares a los alcanzados con microestructuras resultantes de tratamientos de temple y revenido. En consecuencia, para aquellas aplicaciones sin exigencias singulares de tenacidad la microaleación con V aparece como una alternativa adecuada para la eliminación de los tratamientos térmicos posteriores al conformado.

Con relación a la problemática del crecimiento de grano austenítico, sea cual fuere el proceso utilizado, es de gran importancia partir de un grano austenítico lo más pequeño posible. Ello se consigue haciendo uso del efecto anclador que una dispersión fina de partículas de segunda fase tiene sobre las

juntas austeníticas, que han de ser lo suficientemente estables como para que no se disuelvan ni crezcan durante el precalentamiento a temperaturas altas o durante el conformado en caliente. En el conformado en caliente y por su baja solubilidad a estas temperaturas, el Ti es ampliamente utilizado como microaleante para inhibir el crecimiento de grano. Para que tenga efecto la fracción volumétrica debe ser grande y de un tamaño fino. Por tanto conviene usar velocidades de enfriamiento rápidas desde la solidificación y en el posterior enfriamiento, impidiendo así la precipitación en el líquido y posterior engrosamiento. El control de la composición es también de gran importancia ya que un exceso de Ti podría llevar a un engrosamiento (Ostwald Ripening) excesivo de las partículas, perdiendo por tanto su capacidad de anclar las juntas.

En consecuencia, a través de la adición de Ti es posible lograr tras la transformación estructuras α -p finas con comportamiento adecuado a la tenacidad. Además, su combinación con el V (aceros al Ti-V) permite también alcanzar grados elevados de resistencia mecánica, convirtiéndolos en sustitutivos de los aceros al temple+revenido para un significativo número de aplicaciones.

Por tanto la implantación de los aceros microaleados, y la tecnología de nuevos procesos ha permitido la eliminación de gran parte de los costosos tratamientos térmicos a los que debían ser sometidos los aceros para conseguir las propiedades mecánicas exigidas.

1.3. CONFORMADO EN TIBIO

El desarrollo de productos más competitivos en el mercado pasa por la eliminación de los procesos a los que el producto final debe ser sometido para darle la forma final. Esto no es posible en los procesos de conformado en caliente debido entre otras causas a los altos niveles de oxidación y a la

dificultad de darle una forma casi acabada, ya que no hay control de las contracciones del material durante el enfriamiento. La alternativa la presenta el conformado en tibio.

Con objeto de reducir costes y mejorar la calidad, hay una tendencia creciente hacia el conformado de componentes lo más cercanos en forma y tolerancia a los finales requeridos (*near net shape*), reduciéndose así el mecanizado de las piezas que representa un alto coste, Figura 3-1.

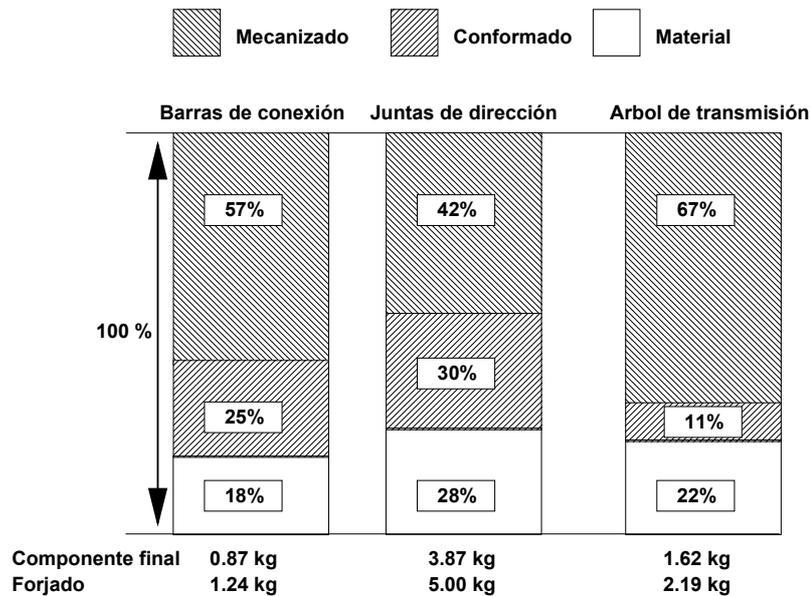


Figura 3-1. Distribución de los costes totales de diferentes componentes de automoción ¹.

El conformado en tibio, entre 600-900°C, da lugar a un mejor aprovechamiento del material, mejor acabado superficial (la oxidación superficial es moderada) y mejor tolerancia que la tradicional en caliente, por ejemplo en engranajes, componentes de la transmisión de dirección y cilindros hidráulicos para frenos. Además, posee la ventaja sobre el conformado en frío, de poder conseguir formas más complejas en los aceros de alta resistencia, eliminando también los tratamientos térmicos posteriores.

La obtención de buenas propiedades mecánicas sin necesidad de tratamientos térmicos representa uno de los grandes logros de este tipo de conformado. Las bajas temperaturas empleadas dan como resultado un tamaño pequeño de austenita y en consecuencia también de ferrita, así como un mayor endurecimiento por deformación.

Desde el punto de vista industrial la practica habitual en la forja en tibio ha consistido en la utilización de aceros C-Mn con contenidos en C comprendidos entre 0.35 y 0.50%. Con objetivo de incrementar la resistencia mecánica la aplicación del endurecimiento por precipitación de V aparece como una posibilidad, tomando como base los principios de la metalurgia física aplicada al diseño de aceros. Si bien se han desarrollado algunas calidades experimentadas a escala de laboratorio ²⁻³, su aplicación industrial ha sido muy escasa. Ello se debe a la complejidad que presenta la microaleación con V en el conformado en tibio (con relación al conformado en caliente). Entre estos aspectos conflictivos, caben destacar los siguientes :

- situación del vanadio antes del conformado. Dependiendo de la temperatura puede encontrarse total o parcialmente precipitado.
- evolución de los precipitados no disueltos durante el ciclo térmico para el conformado.
- interacción de dichos precipitados con la estructura austenítica durante y entre las pasadas de conformado.
- incidencia de los precipitados (tanto antiguos como nuevos) en el comportamiento mecánico del material.

En consecuencia, el desarrollo de la utilización de la microaleación del V en el conformado en tibio requiere el estudio de aspectos tales como:

- interacción microestructura propiedades mecánicas
- mecanismos de precipitación
- interacción de la precipitación con la microestructura durante el conformado.

1.4. REFERENCIAS

¹ D.J. NAYLOR. Ironmaking and Steel Making, 1990, 17, p. 17.

² J.H. NAYLOR Y D.J. NAYLOR. Mater. Sci. Technol. July 1988, 4, p. 586.

³ M. KORCHYNSKY Y J.M. PAULES. Microalloyed Forging Steels. A state of the Art Review. SAE Technical Paper Series. 27 de febrero-3 de Marzo, 1989.