

# ACTIVIDAD INVESTIGADORA DEL CEIT EN EL CAMPO DEL ACERO: NUEVOS PROCESOS Y NUEVOS PRODUCTOS

**José María Rodríguez Ibabe**  
 Doctor Ingeniero Industrial  
 Investigador Principal del CEIT (San Sebastián)

La industria del acero se encuentra inmersa en importantes innovaciones tecnológicas, que contemplan aspectos relacionados tanto con su proceso productivo como con la mejora e innovación continuadas de las propiedades de las gamas de aceros y productos que desarrolla. Muchas de estas innovaciones tienen su razón de ser tanto en aspectos de mejora económica y medioambiental (ahorro energético, incremento de la productividad, reciclabilidad, etc.) como en la búsqueda de nuevas calidades y procesos, que permitan a la industria del acero seguir manteniendo su situación predominante en el mercado frente a otros materiales de más reciente implantación. Todo ello ha conducido a que estos cambios hayan requerido y requieran hoy en día una importante aplicación y adecuación de los conocimientos de la ciencia de materiales a la tecnología del acero.

En este contexto se enmarca la actividad investigadora del Departamento de Materiales del CEIT (Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa) en el campo del acero, actividad que posee

una historia continuada de más de 30 años. De forma similar al proceso experimentado por la industria del acero, la investigación que ha ido desarrollando también ha ido incorporando nuevas técnicas y procedimientos de análisis: se ha evolucionado desde una investigación metalúrgica tradicional de finales de la década de los 60, a la aplicación de forma sistemática de los últimos avances de la ciencia de materiales. Su actividad en este campo se encuentra, en gran medida, adecuada a los requerimientos de la industria del entorno, pudiéndose la misma estructurar de forma resumida en las siguientes líneas de investigación:

- Conformabilidad en caliente y correspondiente evolución microestructural.

- Tratamientos térmicos y termomecánicos.

- Conformabilidad en frío.

- Relaciones microestructura-propiedades mecánicas.

- Modelización de procesos industriales.

Estas líneas de investigación se materializan en dos tipologías de proyectos. Por una parte, el CEIT realiza proyectos con unos objetivos de carácter más básico, donde se profundizan y analizan aspectos de investigación básica con aplicabilidad a la tecnología del acero, tales como técnicas de microscopía electrónica de transmisión, determinación de ecuaciones constitutivas para la modelización de procesos industriales, desarrollo de técnicas experimentales para el estudio de transformaciones y ci-



*Ensayo de torsión en caliente para estudiar la evolución microestructural de un acero durante el conformado en caliente.*

néticas de precipitación, etc. La otra vertiente investigadora se refiere a proyectos con participación directa con las empresas nacionales, con unos objetivos industriales más definidos que los anteriormente descritos, donde, además de los temas meramente técnicos, es necesario contemplar también consideraciones de carácter económico. Debe indicarse que, en muchos casos, los conocimientos, modelizaciones y técnicas experimentales adquiridos y desarrollados en los tipos de proyectos más básicos, son aplicados de forma directa en los proyectos industriales.

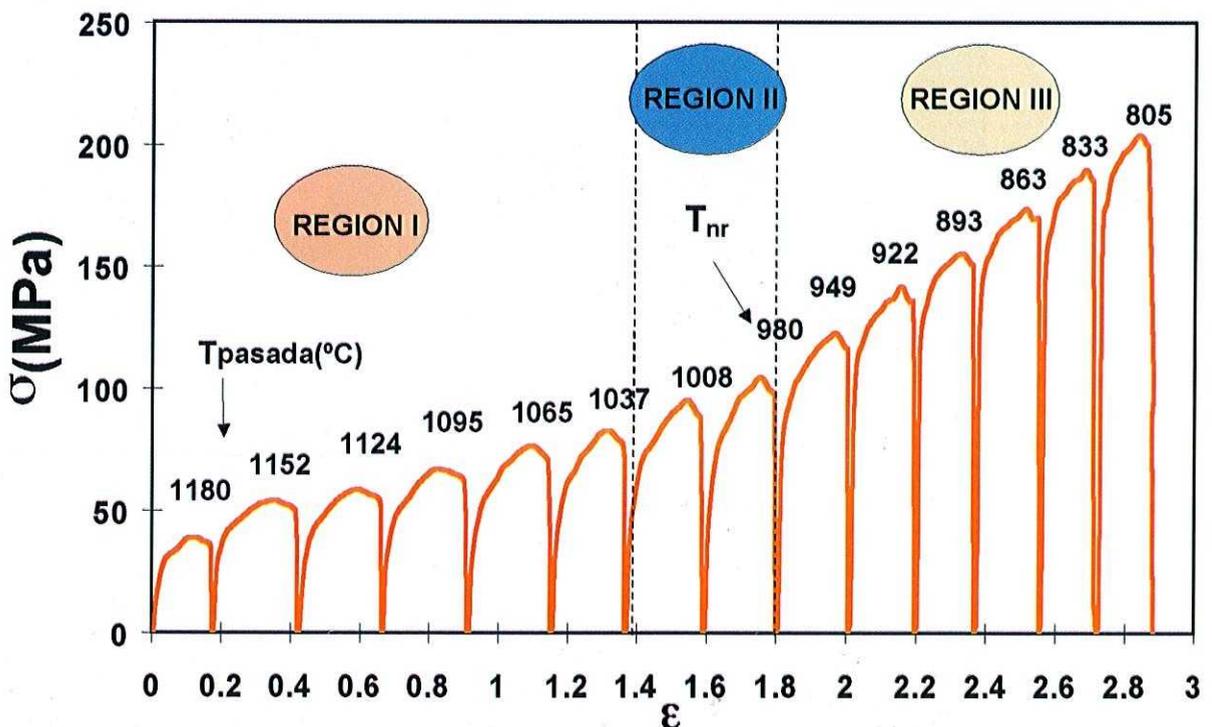
La combinación de ambos tipos de proyectos de investigación permite obtener una visión de algunas de las nuevas tendencias dentro de la amplia gama de tipos y calidades de aceros. Basándonos en dichos proyectos, a continuación analizaremos algunos aspectos de innovación en las tres líneas siguientes: tecnologías de las formas semiacabadas, aceros estructurales multifases de alta resistencia y

nueva generación de tratamientos termomecánicos.

Dentro de las tecnologías de las formas semiacabadas se incluyen aspectos tales como la colada y laminación de planchones delgados, la colada y laminación de *beam blanks* y la forja en tibio. En los tres casos anteriores, los motivos iniciales de las innovaciones han sido de carácter económico, buscando (en los dos primeros casos) reducir de forma drástica la deformación a aplicar en caliente o bien prácticamente concluir la forja con unas tolerancias dimensionales que permitan eliminar los mecanizados posteriores. Sin embargo, en los tres casos las modificaciones introducidas tienen una gran repercusión en el proceso metalúrgico del acero (1), apareciendo ventajas adicionales que permiten lograr nuevas gamas de productos o bien mejorar las características mecánicas de los actuales.

Por ejemplo, en el caso de la colada de planchones delgados (su espe-

sor habitual oscila entre 50-60 mm, frente a los 200-250 mm de la ruta convencional), las mayores velocidades de solidificación permiten reducir las segregaciones interdendríticas que tienen lugar en los planchones convencionales (ello repercute en una mayor homogeneidad microestructural). De forma similar, la aplicación de la laminación directa tras la colada favorece la sobresaturación de elementos microaleantes (Nb fundamentalmente), con lo cual se puede lograr un mayor rendimiento del mismo (2). En el caso de la colada de *beam blanks* (también conocido como *dog bone*, hueso de perro), se puede indicar que, gracias a su geometría, es posible superar las limitaciones típicas de ductilidad en caliente durante la colada continua de grandes palancones y, a su vez, alcanzar durante la posterior laminación en caliente geometrías de perfiles estructurales, que serían impensables en instalaciones industriales convencionales. Con relación a la forja en ti-



Curva tensión-deformación de un ensayo de laboratorio simulando 14 pasadas de laminación en caliente con un acero microaleado con Nb. El ensayo detecta el instante en el que la precipitación de Nb da lugar a una acumulación de la deformación aplicada.

bio, al ser las temperaturas de forja inferiores a los 900 °C (habitualmente, en la forja en tibio se utiliza un rango de temperaturas de precalentamiento comprendido entre los 800-900 °C, frente a los 1200-1300 °C de la forja convencional), se logra que durante todo el proceso el grano de austenita se mantenga muy fino, con lo cual, tras la posterior transformación se alcanzan estructuras ferrítico-perlíticas con una elevada tenacidad (3). Además, esta misma ventaja permite que se pueda introducir mecanismos de endurecimiento por precipitación (fundamentalmente vanadio) que confieran a la pieza forjada una resistencia adicional sin menoscabo de la tenacidad (4).

El sector del automóvil está exigiendo disponer de materiales con límites elásticos cada vez más elevados a fin de lograr reducciones importantes de peso. En este contexto, la industria del acero ha desarrollado calidades (dentro del proyecto ULSAB, además de nuevos procesos de conformado, soldadura, etc.) que implican la utilización generalizada de los tratamientos termomecánicos y la microaleación. En esas condiciones, el incremento de la resistencia mecánica se logra a través del afino del grano de ferrita y del endurecimiento por precipitación. El siguiente objetivo es lograr que el límite elástico supere los 800 MPa en aceros estructurales soldables. Ello no se puede alcanzar con estructuras exclusivamente ferríticas. En consecuencia, se están realizando importantes investigaciones y ensayos en plantas piloto (5) donde, basándose en enfriamientos ultrarrápidos controlados tras la laminación, se logran aceros con fases múltiples (bainita y martensitas, además de ferrita) que le confieren una elevada resistencia. La velocidad de enfriamiento puede llegar a ser de 300 °C/s para el caso de espesores de chapa de hasta 4 mm lo cual implica que hagan falta caudales de agua del orden de 1000 m<sup>3</sup>/h por metro de longitud de chapa (5). Ello también

exige el desarrollo de modelos y teorías que permitan predecir las características mecánicas de esas nuevas calidades (6) y que definan las ventajas de procesamiento industrial.

El tercer grupo lo constituyen los tratamientos termomecánicos. La utilización de la laminación controlada convencional tuvo un desarrollo muy generalizado en la década de los 80 para el caso de productos planos procedentes de acería integral, fundamentalmente. En la actualidad, los mismos conceptos se están extendiendo al desarrollo de nuevas gamas en productos largos (barras de medio contenido en C y alambres de alto contenido en C). En estos casos debe tenerse en cuenta que las cinéticas de la formación de los precipitados actuantes durante la laminación son notablemente diferentes a las que tienen lugar en aceros bajos en C. También es necesario recalcar que el concepto de "tratamiento termomecánico" se ha extendido a casos en los que el conformado y el posterior tratamiento térmico se integran conjuntamente para lograr ablandamientos de los aceros (al contrario de los tratamientos termomecánicos convencionales). Este es el caso de los recocidos de ablandamiento utilizados con los aceros aleados. Estos nuevos tratamientos *on line* (en el momento) exigen una adecuación del tamaño de grano de austenita a la salida de la laminación justo antes de comenzar la transformación.

En estas tres líneas de actuación quedan patentes los aspectos fundamentales que están rigiendo las tendencias en algunos de los tipos de acero de mayor consumo, reducción del consumo energético y etapas de procesado (reducción de la deformación en caliente, eliminación de tratamientos térmicos finales, reducción o eliminación total de procesos de mecanizado,...), desarrollo de nuevas gamas con resistencias más elevadas (nuevas calidades de aceros con tratamientos termomecánicos, aplicación

de enfriamientos ultrarrápidos tras el conformado)

Los tres casos anteriores son sólo un pequeño ejemplo, basado en la propia experiencia del CEIT, de la gran innovación tecnológica que experimenta la industria del acero. Al igual que sucede en el resto de los casos, estas innovaciones se caracterizan por requerir novedosos equipamientos de producción industriales, fuertes controles de proceso y dominio importante de los avances obtenidos en la ciencia de materiales.

## Referencias

1. P. Uranga, A.I. Fernández, B. López y J.M. Rodríguez Ibabe, "Improvement of microstructural homogeneity in thermomechanical processed Nb steels by thin slab casting". 43rd Mechanical Working and Steel Processing Conference, Charlotte (EE.UU.), vol. 39, p. 511-529, 2001.
2. R. Abad, A.I. Fernández, B. López y J.M. Rodríguez Ibabe, "Interaction between recrystallization and precipitation during multipass rolling in a low carbon niobium microalloyed steel". Iron and Steel Institute of Japan (ISIJ) International, 41, p. 1375-1384, 2001.
3. C. García, J.L. Romero y J.M. Rodríguez Ibabe, "Microstructure and mechanical behavior of warm forged V microalloyed steels". Iron and Steelmaker, 27, nº 10, p. 79-86, 2000.
4. C. García, B. López y J.M. Rodríguez Ibabe, "Static recrystallization kinetics in warm worked vanadium microalloyed steels". Materials Science and Engineering A, 303, p. 216-225, 2001.
5. J.C. Herman, "Impact of new rolling and cooling technologies on TMP steels", Thermomechanical Processing of Steels, vol.2, p. 585-596, 2000.
6. R. Rodríguez e I. Gutiérrez, "Property models for mixed microstructures". Technical Report nº 3, Proyecto CECA 7210.PR/166, 2000. ■