



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



E.T.S.E.I.B.

CARACTERIZACIÓN TERMOMÉCANICA DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS AISI - 304

Mohamed El Wahabi

Tesis Doctoral

Dirigida por: José Manuel Prado Pozuelo

y

José María Cabrera Marrero

Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica
E.T.S. d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Diciembre 2002

A la memoria de mi padre
A mi madre
A toda mi familia

AGRADECIMIENTOS

Después de un largo viaje ha llegado el momento para que esta tesis doctoral salga a la luz. Y aprovecho este momento significativo para agradecer a mucha gente que han colaborado de diferentes formas para que termine esta tesis.

Primero quisiera agradecer a D. José Manuel Prado Pozuelo el director de esta tesis, su paciencia, disponibilidad y su apoyo durante todo el tiempo de la realización de la presente tesis. Y en segundo lugar esta tesis no podría ver la luz sin una continua e intensa colaboración de D. José María Cabrera Marrero como codirector y amigo.

A todos los integrantes del grupo de investigación en el que me involucré, los compañeros que hemos compartido emociones y difíciles tareas de trabajo durante años, Khalil Tafzi, Víctor Gerardo García Fernández, Ahmed Boulajaj, Jesica Calvo y otros compañeros que me han facilitado mi integración en el grupo desde mi primer día en Barcelona, Anas Al Omar y Eduardo Flores, sin olvidar a la compañera que ha estado siempre presente Eva Vaqué.

Y a todos los profesores de este prestigioso departamento de diferentes áreas de conocimiento. Sin olvidar a los técnicos de los Servicios de Microscopía Electrónica de la UPC (*Montse Marsal y José Maria Manero*) y el resto de los servicios técnicos. A todos los integrantes de los diferentes grupos del Departamento de Ciencias de Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Politécnica de Catalunya.

Y a todos mi amigos de dentro y fuera de la Universidad, con ellos he compartido muchos recuerdos y buenos momentos.

De même, je profite l'occasion pour remercier le *Dr Frank Montheillet* de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire, à l'Ecole de Mines de Saint-Etienne; ce qui m'a permis de travailler sur le SEM-EBSD dans des meilleures conditions et en même temps de réaliser une partie importante, de cette thèse de doctorat. Egalement, mes remerciements au *Dr. Laurent Gavard* pour sa coopération et son amitié.

Je tiens aussi à remercier infiniment le *Dr Elhachmi Essadiqi* pour m'avoir accueilli au sein du Laboratoire de la Technologie des Matériaux - CANMET (Ottawa); ce qui m'a permis de travailler sur le Plastomètre à Came dans des bonnes conditions. Je le remercie pour sa disponibilité, son couragement et sa grande sympathie durant mon séjour au Canada.

INSTITUCIONES

Debo agradecer a los siguientes organismos por el apoyo financiero que ha permitido realizar esta tesis en las mejores condiciones:

Acuerdo de cooperación de investigación entre la zona Rhone-Alpes (Francia) y Catalunya (España) para la subvención de una estancia de investigación en la Escuela de Minas de Saint-Etienne (Diciembre, 1999).

Al Comissionat d'Universitat de la Generalitat de Catalunya por su beca de tipo TDOC durante dos años 2000 y 2001. Además las dos bolsas de viaje que han permitido dos estancias la primera en Saint-Etienne (Francia) y la segunda en Ottawa (Canada).

A la comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología por la financiación vía el proyecto MAT 97-0827-01.

RESUMEN

El control de la microestructura necesita la optimización de las condiciones del conformado en caliente. La recrystalización dinámica es el fenómeno protagonista durante un proceso termomecánico, por lo que tiene un interés industrial, permitiendo mejorar las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables mediante el afinamiento de grano, y al mismo tiempo aumentar la resistencia a la fragilización y a la corrosión.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar el comportamiento termomecánico de cuatro aceros inoxidables austeníticos: dos comerciales AISI 304 relativamente altos de elementos de aleación y dos aceros de laboratorio, de alta pureza y libres de intersticiales. La primera parte del estudio se centrará en los mecanismos elementales que intervienen y afectan a la recrystalización dinámica (endurecimiento, restauración dinámica, nucleación y crecimiento de los nuevos granos). La segunda parte, modelizará las curvas de fluencia en diferentes grados de temperatura y diferentes velocidades de deformación mediante la cuantificación de dichos fenómenos. Las curvas de fluencia anteriormente mencionadas se han obtenido mediante ensayos de compresión uniaxial. Y finalmente un estudio de la evolución de la microestructura, mediante el microscopio óptico y MEB-EBSD en las tres principales etapas que caracterizan las curvas de fluencia en dos casos: en el de afinamiento de grano (bajas temperaturas y altas velocidades de deformación) y en el de su crecimiento (altas temperaturas y bajas velocidades de deformación). El uso de la técnica EBSD, permite un estudio amplio de microestructura y al mismo tiempo ofrece datos sobre las orientaciones y la evolución de la microtextura durante el proceso de deformación.

El efecto del grado de pureza será discutido y una comparación de diferentes parámetros de los cuatro materiales permitirá concretar el efecto del soluto en general y del carbono en particular, en diferentes etapas de deformación y según las condiciones de deformación. Para el acero de alta pureza y ultra alta pureza se estudiará el efecto del tamaño de grano inicial sobre la etapa del endurecimiento y la cinética de la recrystalización dinámica. Finalmente se realizó un estudio sobre el tamaño de grano recrystalizado dinámicamente que se considera el cambio microestructural más importante y beneficioso del proceso de conformado en caliente en su totalidad.