

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



RECRISTALIZACION DE CINTA DE ACERO LAMINADO
EN FRIO 1006 EN HORNOS DE RECOCIDO
TIPO CAMPANA

POR:

ING. OSCAR FRANCISCO VILLARREAL VERA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN MATERIALES

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2002

2002
FIM 2
2002
25

2002

RECRISTALIZACION DE CINTA DE ACERO LAMINADO

EN FRIO 1006 EN HORNOS DE RECOCCIDO

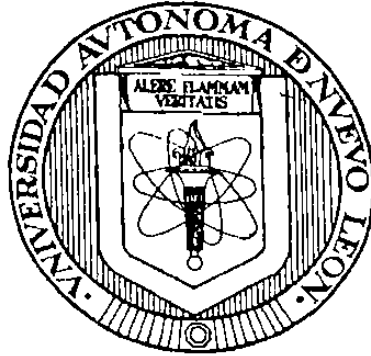
TIPO CAMPANA

O.F.V.V.



1020149024

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



ALIZACIÓN DE CINTA DE ACERO LAMINADO EN FRÍO 1006 EN
HORNOS DE RECOCIDO TIPO CAMPANA

POR

ING. OSCAR FRANCISCO VILLARREAL VERA

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

MONTERREY, NUEVO LEON DICIEMBRE DEL 2002

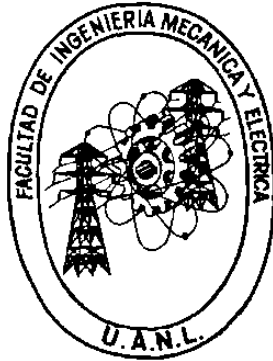
9 7948

TH
Z5853
.M2
T HC
2002
.V5



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



RECRISTALIZACIÓN DE CINTA DE ACERO LAMINADO EN FRÍO 1006 EN
HORNOS DE RECOCIDO TIPO CAMPANA

POR

ING. OSCAR FRANCISCO VILLARREAL VERA

TESIS


EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

MONTERREY, NUEVO LEON DICIEMBRE DEL 2002

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis Recristalización de cinta de acero rolado en frío 1006 en hornos de recocido tipo campana, realizada por el Ing. Oscar Francisco Villarreal Vera, matrícula 0341623 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.

El comité de Tesis



Dr. José Luis Cavazos García
Director de Tesis



Dr. Rafael Colas Ortiz
Revisor



M.C. Alvaro Rodríguez Ramos
Revisor



Vo. Bo.

Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez
Subdirector de estudio de Post-grado

DEDICATORIA

- A Dios por la paz y confianza que me dio para poder llevar a cabo esta Tesis adelante.
- A mi esposa Rosana e hijos Maria Fernanda y Oscar Francisco por la comprensión y tiempo que me dieron para terminar.
- A mis padres Oscar y Francisca por todo el apoyo brindado para la realización mis estudios profesionales.

Si bien toda criatura llamada a la existencia exige una razón; la razón más profunda de todo cuanto existe es el amor y la esperanza de un día mejor.

AGRADECIMIENTOS

- A la UANL por todo el apoyo brindado para el desarrollo de la tesis y al Dr. José Luis Cavazos por el tiempo y asesoría prestada para el desarrollo de este trabajo.
- Al personal del laboratorio metalúrgico de Cintacero y de pruebas mecánicas de Villacero, Fernando, Javier, Don Patricio, Armando, Ramiro y demás compañeros que apoyaron con ideas, tiempo y equipo; a todos ellos gracias.
- A la empresa Villacero por todo el tiempo y apoyo necesario que me brindó para poder llevar a cabo todo este conjunto de pruebas y investigación técnica para la elaboración de la tesis.
- A compañeros y amigos de Servicio al Cliente, Proyectos y Sector Industria de Villacero.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN	1
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO 2. ACEROS DE BAJO CARBÓN	4
2.1 Clasificación y Aplicación	4
2.2 Aplicaciones de los aceros 1006AK	5
2.3 Propiedades mecánicas	6
CAPITULO 3. FUNDAMENTOS DEL TRABAJO EN FRÍO	7
3.1 Trabajo Plástico del Acero	7
3.1.1 Naturaleza microscópica	8
3.1.2 Ley del esfuerzo crítico de corte	9
3.1.3 Naturaleza macroscópica	11
3.2 Fundamentos del trabajo del metal	12
3.3 Métodos para la realización del trabajo en frío	13

3.4 Estructuras resultantes del trabajo en frío	15
3.5 Modos de Deformación	15
3.6 Manufactura de productos rolados en frío	16
3.6.1 Grado de Temple	17
3.6.2 Acabado	19
3.6.3 Orilla	19
3.7 Reducción en Frío para la fabricación de lámina	20
3.7.1 Secuencia de la operación	21
3.7.2 Calculo del porcentaje de reducción	22
3.8 Rolado en frío por tren de Laminación de 4 rodillos	23
CAPITULO 4. RECOCIDO	24
4.1 Introducción	24
4.2 Tipos de Recocidos	25
4.2.1 Recocido completo	25
4.2.2 Recocido Isotérmico	26
4.2.3 Recocido Subcrítico	27
4.2.4 Esferoidización	28
4.3 Recocido en Hornos Continuos	29
4.4 Recocido en Hornos de Campana	31
4.4.1 Atmósfera inerte de Nitrógeno	34
4.4.2 Atmósfera inerte de Hidrógeno	35
4.5 Etapas del proceso de Recocido	37
4.5.1 Recuperación	37
4.5.1.a Microestructura y propiedades	38
4.5.2 Recristalización	40
4.5.2.a Proceso de nucleación	41
4.5.2.b Recristalización Cinética	43

4.5.2.c Subgranos	44
4.5.3 Crecimiento de grano	45
4.5.3.a Crecimiento de grano arriba de la línea Ac1	47
4.5.4 Textura de deformación (Cristalográfica)	48
4.5.5 Textura de Recristalización de recocido	50
4.5.6 Propiedades después de recocido	51
4.5.6.a " Δr " y " r ", propiedades de embutibilidad	51
4.5.6.b " K " y " n ", propiedades de formabilidad	55
CAPITULO 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL	60
5.1 Material de prueba	60
5.2 Etapas del proceso experimental	61
5.2.1 Etapa No. 1	61
5.2.2 Etapa No. 2.	64
CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
6.1 Introducción	66
6.2 Clasificación de materia prima y proceso de reducción en frío	66
6.2.1 Análisis químico y reducción en frío	67
6.3 Proceso de Recocido	68
6.3.1 Sección 1	68
6.3.2 Sección 2	69
6.3.2a Ensayo de dureza	69
6.3.2b Área y Relación de Aspecto del grano	71
6.3.2c Propiedades Mecánicas	73
6.3.2d Anisotropía	77

CAPITULO 7. CONCLUSIONES	79
7.1 Conclusiones	79
7.2 Recomendaciones	80
REFERENCIAS	82
FIGURAS	84
TABLAS	118
APÉNDICE A	128
LISTADO DE FIGURAS	186
LISTADO DE TABLAS	193
GLOSARIO	195
RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO	201

RESUMEN

La siguiente investigación involucra la influencia que tiene el tiempo y temperatura sobre el crecimiento de grano, dureza, propiedades mecánicas, y la relación de aspecto del grano para una cinta de acero SAE 1006 laminada en frío con 57.8% de reducción, espesor de 0.079 pulgadas aplicando un proceso de recocido a tres rangos de temperatura de 630°C, 670°C y 710°C así como el efecto de una zona de precalentamiento antes de efectuar el proceso de recocido a 400°C por una hora, el crecimiento de grano se ve afectado principalmente por la temperatura de proceso y tiempos muy prolongados así como la relación de aspecto que está más influenciada por el tiempo de proceso, tales factores fueron importantes para determinar el avance de recristalización del acero.

La segunda sección de la tesis involucra el comportamiento de las propiedades de anisotropía planar así como del coeficiente de resistencia y del coeficiente de endurecimiento por deformación aplicando a la cinta un proceso de recocido en tres rangos de temperatura de 630°C, 670°C y 710°C sin zona de precalentamiento. Las propiedades de anisotropía tanto r como Δr muestran que su influencia está muy afectada por el porcentaje de reducción, tiempo y temperatura, mientras que K se ve más afectada por la temperatura y tiempo del proceso y el coeficiente de endurecimiento por deformación (n) presenta uniformidad para todos los rangos de temperatura. La presente tesis presenta un modelo de tratamiento térmico de recocido a tres rangos de temperatura para una cinta de acero de 0.079" de espesor.