

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



**ESTUDIO DE LA CINETICA DE GRAFITIZACION
EN ACEROS DE ALTO CARBONO
A. I. S. I. 1095 Y 1075**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERIA DE MATERIALES**

PRESENTA

M. C. MIGUEL ANGEL NERI FLORES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. DICIEMBRE DE 1996

TD
TA473
N4
c.1

34



1080073219

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



ESTUDIO DE LA CINETICA DE GRAFITIZACION
EN ACEROS DE ALTO CARBONO
A.I.S.I. 1095 Y 1075

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERIA DE MATERIALES

PRESENTA

M.C. MIGUEL ANGEL NERI FLORES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. DICIEMBRE DE 1993

TD
TAH 73
NY

Biblioteca Central UANL
UANL
FONDO
TESIS
(73219)

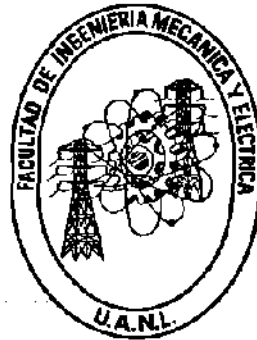
Biblioteca Central UANL
UANL
FONDO
TESIS DOCTORADO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

DOCTORADO EN INGENIERIA DE MATERIALES



**ESTUDIO DE LA CINETICA DE GRAFITIZACION EN ACEROS DE
ALTO CARBONO A.I.S.I. 1095 Y 1075.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN INGENIERIA DE MATERIALES

PRESENTA

M. en C. MIGUEL ANGEL NERI FLORES


SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.

DICIEMBRE DE 1993.




Dr. Salvador Valtierra Gallardo

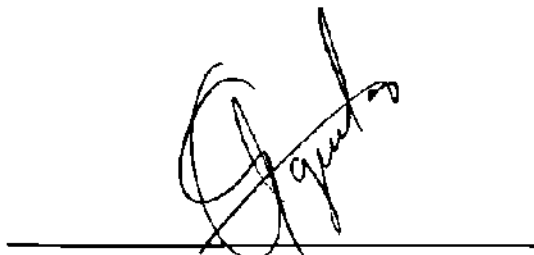
ASESOR



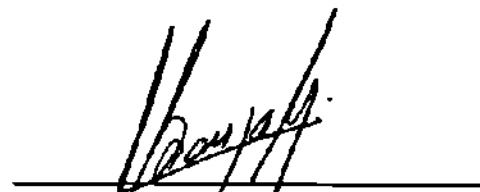
Dr. Rafael Colás Ortíz
COASESOR



Dr. Luis Ieduc Lezama
COASESOR



Dr. Juan Antonio Aguilar Garib
COASESOR



Dr. Alejandro Garza Gómez
COASESOR

A mis padres con cariño

Federico Neri Moreno y María Flores de Neri.

A mi esposa Luisa con amor

por su gran apoyo y comprensión.

A mi hijo Miguel Angel

por el tiempo que le robé.

*A mis profesores,
compañeros y amigos.*

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de éste trabajo se ha requerido la utilización de varias técnicas experimentales y la participación de un grupo de personas e instituciones a quienes deseo expresar mi más profundo agradecimiento:

Doctores Salvador Valtierra Gallardo y Rafael Colás Ortiz, por su acertada labor de dirección de tesis.

Doctores Alejandro Garza Gómez, Juan Antonio Aguilar Garib y Luis Leduc Lezana, por la revisión de éste trabajo y sus valiosas contribuciones a los diferentes capítulos del mismo.

Doctor Raúl Fuentes Samaniego por facilitarme las instalaciones y equipo de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. de C.V..

M. en C. Antonino Pérez Hernández compañero de grupo y amigo en el programa de Doctorado en Ingeniería de Materiales, por todo su apoyo y amistad recibidos. Ing. Francisco Garza por desarrollar su servicio social en el Doctorado en Ingeniería de Materiales y por su valiosa colaboración.

Al programa Doctoral de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a la coordinación académica del Doctorado en Ingeniería de Materiales, por su apoyo e interés en la realización de esta tesis.

Al personal de la empresa FISACERO S.A. por permitirme utilizar su laboratorio y por su apoyo recibido.

Al personal de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales por el apoyo recibido en el manejo de los equipos utilizados. y a todas las personas que de alguna forma intervinieron en la realización de ésta Tesis.

Este trabajo pudo realizarse gracias al apoyo económico de una beca-prestamo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para realizar estudios de Doctorado en Ingeniería de Materiales y al apoyo del Sistema Nacional de Investigadores en las labores de investigación realizadas.

INDICE

Indice	i
Resumen	iii
1.- Introducción.	1
2.- Grafitización.	2
2.1.- Diagrama Fe-C.	2
2.2.- Esferoidización de la perlita laminar.	4
2.3.- Grafitización en aleaciones hierro-carbono.	8
2.3.1.- Grafitización en fundiciones de hierro.	11
2.3.2.- Grafitización en aceros.	23
2.4.- Parámetros que afectan la grafitización.	34
2.4.1.- Composición química.	34
2.4.1.1.- Elementos aleantes.	34
2.4.1.2.- Inclusiones.	37
2.4.2.- Microestructura previa a tratamientos de grafitización.	39
2.4.3.- Tratamiento de grafitización.	42
2.4.3.1.- Atmósfera utilizada.	42
2.4.3.2.- Temperatura y tiempo del tratamiento.	44
2.4.4.- Esfuerzos internos y deformación remanente.	48
2.4.5.- Espesor de la muestra.	50
2.4.6.- Acabado superficial.	50
3.- Fabricación industrial de cintas de acero de alto carbono.	67
3.1.- Proceso de producción de cintas de 0.14 mm de espesor.	67
3.2.- Detección de grafitización en el proceso de producción.	73
3.3.- Variables de producción que afectan la grafitización.	74
3.3.1.- Microestructura inicial de la muestra.	74
3.3.2.- Tratamiento de grafitización.	75
3.3.3.- Esfuerzos internos y deformación remanente.	76
3.3.4.- Espesor de la muestra.	77
4.- Desarrollo experimental.	82
4.1.- Recolección de muestras.	82
4.2.- Caracterización de las muestras recolectadas.	83
4.2.1.- Análisis químico.	83
4.2.2.- Dureza.	83
4.2.3.- Análisis Metalográfico.	84
4.3.- Recocidos isotérmicos de las muestras.	84
4.4.- Preparación metalográfica.	85
4.4.1.- Metalografía cuantitativa.	85
4.4.2.- Microdurezas.	86

5.- Resultados.	88
5.1.- Acero 1075.	88
5.1.1.- Materia prima.	88
5.1.1.1.- Análisis químico.	88
5.1.1.2.- Dureza Vickers.	88
5.1.1.3.- Análisis metalográfico.	88
5.1.2.- Material en proceso.	89
5.1.2.1.- Análisis químico.	89
5.1.2.2.- Dureza Vickers.	89
5.1.2.3.- Análisis metalográfico.	90
5.2.- Acero 1095.	90
5.2.1.- Materia prima.	90
5.2.1.1.- Análisis químico.	90
5.2.1.2.- Dureza Vickers.	90
5.2.1.3.- Análisis metalográfico.	91
5.2.2.- Material en proceso.	91
5.2.2.1.- Análisis químico.	91
5.2.2.2.- Dureza Vickers.	91
5.2.2.3.- Análisis metalográfico.	91
5.3.- Recocidos de grafitización.	93
5.3.1.- Metalografía óptica.	93
5.3.2.- Metalografía cuantitativa.	98
5.3.3.- Microdurezas.	98
6.- Discusión.	165
6.1.- Grafitización.	165
6.1.1.- Nucleación.	165
6.1.1.1.- Sitios de nucleación.	165
6.1.1.2.- Velocidad de nucleación.	165
6.1.2.- Velocidad de crecimiento.	166
6.1.3.- Fracción transformada.	168
6.2.- Evolución de microdurezas.	169
6.3.- Variables que afectan la grafitización.	170
6.3.1.- Composición química.	170
6.3.2.- Microestructura inicial.	172
6.3.3.- Temperatura y tiempo del tratamiento de grafitización.	173
7.- Conclusiones.	189
8.- Recomendaciones para trabajo futuro.	190
9.- Apéndices.	191
10.- Referencias.	195

RESUMEN

El presente trabajo de tesis doctoral estudia la cinética de grafitización en aceros de alto carbono A.I.S.I. 1095 y 1075. El estudio se origina a partir de la necesidad de una empresa de la localidad de investigar las causas que originan la grafitización en varias de sus etapas de proceso.

Se recolectaron muestras de proceso, mismas que fueron sometidas a recocidos subcríticos en el intervalo de temperatura de 560 a 680 °C, y tiempos de 20 hasta 500 horas.

Se estudió la cinética de nucleación y la velocidad de crecimiento de los nódulos de mayor tamaño, y con el logaritmo de éstas velocidades a diferentes temperaturas, se determina la energía de activación para el crecimiento de los nódulos de grafito, siendo ésta de 120 KJ/mol.

El estudio de la cinética de transformación se realizó mediante la medición de la fracción de grafito en función del tiempo y la temperatura. Se encontró que la grafitización obedece la ecuación de Avrami:

$$X = 1 - \exp(-Kt^n)$$

obteniendo un valor de n igual a 2, en tanto que los valores del coeficiente "K" están en función de la temperatura.

Se evaluó el efecto de la composición química, de la microestructura inicial, y el de la temperatura y tiempo de los recocidos sobre la cinética de grafitización, encontrándose que a mayor contenido de carbono en el acero, la rapidez de grafitización aumenta, que las muestras con estructura perlítica inicial no grafitizan al someterlas a recocidos en el intervalo de temperaturas y tiempos antes mencionados y que las muestras deformadas en frío grafitizan más rápidamente que las muestras recocidas del mismo tipo de acero sometidas a los diferentes tratamientos térmicos.

También se encontró que la cinética de grafitización presenta curvas de transformación isotérmica en forma de "C", variando la posición de su nariz con la composición química, la microestructura inicial y el porcentaje de deformación en frío.