2886
15

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

AUTOAFINIDAD DE SUPERFICIES DE FRACTURA EN MATERIALES PLASTICOS

T E S I S

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

TM
TA455
.P5
R49
1999
c.1

PRESENTA
MARTIN EDGAR REYES MELO

IUDAD UNIVERSITARIA AGOSTO DE 1999

TM
TA455
.P5
R49
1999
c.1

1080092549

15

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

AUTOAFINIDAD DE SUPERFICIES DE FRACTURA EN MATERIALES PLASTICOS

T E S I S

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

PRESENTA

MARTIN EDGAR REYES MELO

CIUDAD UNIVERSITARIA AGOSTO DE 1999

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

AUTOAFINIDAD DE SUPERFICIES DE FRACTURA EN MATERIALES PLÁSTICOS

TESIS

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

PRESENTA:

MARTÍN EDGAR REYES MELO

CD. UNIVERSITARIA AGOSTO 1999

B. Raúl Rangel Frías
UANL
FONDO
TESIS MAESTRIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "Autoafinidad de Superficies de Fractura en Materiales Plásticos" realizada por el Ing. Martín Edgar Reyes Melo 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

Asesor
Dr. Carlos Alberto Guerrero Salazar
Presidente

Coasesor
Dr. Virgilio González González
Secretario

Coasesor
Dr. Juan Jorge Martínez Vega
Vocal

Vo.Bo.
M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Postgrado

San Nicolás de los Garza, N.L., Agosto de 1999.

. DEDICATORIA

A DIOS

Por haberme permitido terminar esta etapa de mi formación profesional.

A MI ABUELA

Venancia Hernández Gutiérrez $^{+}$ por todos sus consejos y enseñanzas.

A MI ESPOSA

María Teresa por su amor y comprensión en los momentos difíciles.

A MIS PADRES

Jacinto Reyes y Sofía Melo, por brindarme sus esfuerzos, desvelos y dedicación, en todas las etapas de mi vida.

A MIS HERMANOS

Valentín, Isael y Yasmín, por su apoyo y por todo lo que hemos compartido juntos.

A toda mi familia y amigos que me han ofrecido su amistad y comprensión desinteresadamente.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Universidad Autónoma de Nuevo León, por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y al Doctorado en Ingeniería de Materiales, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Post-grado.

A la Facultad de Agronomía, por su total apoyo durante esta etapa de mi formación académica.

Al Dr. Carlos A. Guerrero Salazar por aceptar guiarme en esta labor de mi tesis, por sus consejos y apoyo.

Al Dr. Virgilio González González por sus enseñanzas, paciencia y amistad brindada durante mi estancia en el DIMAT.

Al Dr. Juan Jorge Martínez Vega por sus observaciones y consejos en la culminación de este trabajo.

Al Dr. Ubaldo Ortíz Méndez por haberme brindado sus conocimientos y apoyo.

Al Dr. Moisés Hinojosa Rivera por sus valiosos consejos y enseñanzas en el transcurso de este trabajo.

Al Dr. Juan Antonio Aguilar G. por su desinteresada y siempre cordial ayuda profesional.

Al Ing. Omar Garza por todas las facilidades prestadas para la finalización de mi tesis.

A mis Compañeros, Luis Miguel, Alejandro, Jorge Aldaco, Roberto y Jesús Garza por su amistad y los buenos ratos que pasamos.

INDICE

RESUMEN 1

CAPITULO 1. INTRODUCCION 3

CAPITULO 2. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS 6

2.1. Geometría de Fractales y Autoafinidad 6

2.1.1 Geometría fractal 6

2.1.2 La dimensión fractal 7

2.1.3 Autosimilitud 9

2.1.4 Autoafinidad 11

2.1.5 Métodos para determinar el exponente de rugosidad 14

2.2 Fractura 17

2.2.1 Aspectos generales 17

2.2.2 Superficies de fractura 19

2.2.3 Autoafinidad de superficies de fractura 21

2.3 Microscopía de fuerza atómica 23

2.3.1 Historia 23

2.3.2 Principio de la microscopía de fuerza atómica (MFA) 24

2.3.3 MFA en el modo de contacto (C-MFA) 25

2.3.4 Cantilevers y puntas 26

2.4 Generalidades de los materiales plásticos estudiados 28

2.4.1 Aspectos generales 28

2.4.2 Polipropileno 28

2.4.3 Poliestireno 30

2.4.4 Caracterización de materiales plásticos 30

CAPITULO 3. METODOLOGIA 33

3.1 Caracterización de los materiales plásticos 33

3.1.1 Selección de materiales 33

3.1.2 Análisis de espectrometría de infrarrojo (IR) 33
3.1.3 Cromatografía de permeación en gel (GPC) 33
3.1.4 Calorimetría diferencial de barrido (DSC) 34
3.2 Preparación de las muestras 35
3.2.1 Películas delgadas 35
3.2.2 Superficies de fractura 37
3.3 Microscopía electrónica de barrido (MEB) 38
3.4 Microscopía de fuerza atómica (MFA) 38
3.5 Análisis de autoafinidad 39
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41
4.1 Caracterización de la materia prima 41
4.1.1 Análisis de espectroscopía de infrarrojo 41
4.1.2 Distribución de pesos moleculares 43
4.1.3 Calorimetría diferencial de barrido 44
4.2 Condiciones óptimas de operación para el MFA 45
4.2.1 Análisis de las superficies de películas de i-PP 46
4.2.2 Análisis de las superficies de películas de PS 50
4.3 Análisis de superficies de fractura 52
4.3.1 Microscopía electrónica de barrido 52
4.3.1.1 Polipropileno isotáctico 52
4.3.1.2 Poliestireno 55
4.3.2 Microscopía de fuerza atómica 59
4.4.2.1 Polipropileno isotáctico 59
4.4.2.2 Poliestireno 60
4.4 Análisis de autoafinidad 61
4.4.1 Polipropileno isotáctico 62
4.4.1.1 Películas de polipropileno isotáctico 62
4.4.1.2 Superficies de fractura de polipropileno isotáctico 64
4.4.2 Poliestireno 66

4.4.2.1 Películas de poliestireno 66
4.4.2.2 Superficies de fractura de poliestireno 67
CAPITULO 5. CONCLUSIONES 70
CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72
INDICE DE TABLAS 76
INDICE DE FIGURAS 77