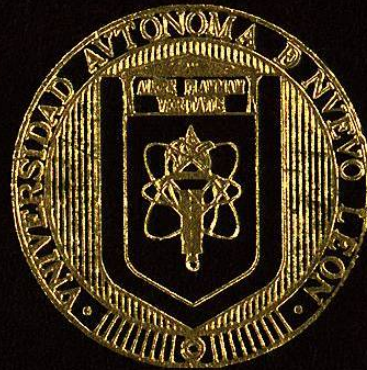


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



VARIABLES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DE
SOLDABILIDAD E INTEGRIDAD DEL RECUBRIMIENTO
DE GALVANNEAL EN UN ACERO IF

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN MATERIALES

PRESENTA:

CARLOS ALEJANDRO CAMPOS GARZA

CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO 2001

2001

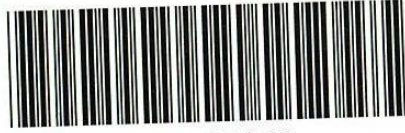
TM
Z5853
.M2
FIME
2001
C3

VARIABLES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DE

SOLIDABILIDAD E INTREGRIDAD DEL RECUERENTO

DE GALLVAÑEAL EN UN ACOERO II

C.A.C.C.I.

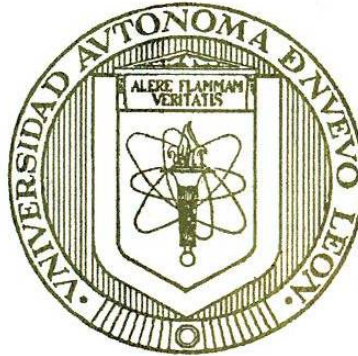


1020145443

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**VARIABLES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DE
SOLDABILIDAD E INTEGRIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE
GALVANNEAL EN UN ACERO IF**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN MATERIALES**

PRESENTA

CARLOS ALEJANDRO CAMPOS GARZA

CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO DEL 2001

TH
758
• M2
FME
2001
C3

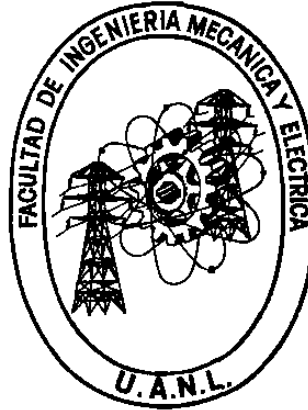


FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**VARIABLES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DE
SOLDABILIDAD E INTEGRIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE
GALVANNEAL EN UN ACERO IF**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
MATERIALES**

PRESENTA

CARLOS ALEJANDRO CAMPOS GARZA

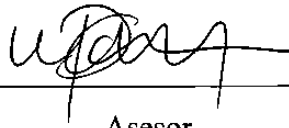
CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO DEL 2001

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

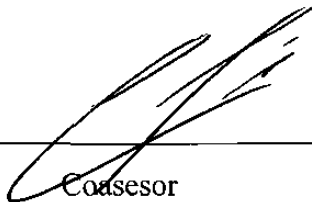
Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “Variables que afectan las propiedades de soldabilidad e integridad del recubrimiento de galvanneal en un acero IF” realizada por el alumno Carlos Alejandro Campos Garza, matrícula 756176 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.

El Comité de Tesis.



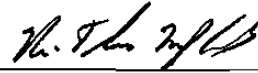
Asesor

Dra. Martha Patricia Guerrero Mata.



Coasesor

Dr Rafael Colás Ortiz



Coasesor

Dr. Miguel A. Neri Flores



Vo. Bo.

M.C. Roberto Villareal Garza

San Nicolás de los Garza, N.L., Junio del 2001

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo brindado en mis estudios de postgrado a sí mismo agradezco a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Se agradece los apoyos económicos brindados por el CONACYT y SIREYES para realizar el presente trabajo. También se agradece el apoyo del PAICYT (UANL) para la terminación de este trabajo.

A la empresa GALVAK por el material donado para la realización de esta investigación así como a todo el personal que labora en esta empresa, principalmente al Ing. Rene Garza.

A la empresa INTERNATIONAL por el equipo prestado para la realización de las pruebas de soldadura.

Al Laboratorio de pruebas mecánicas del C.I.M.A.V. principalmente al Ing. Arturo Hernández para la realización de las pruebas de tensión de las muestras ensayadas.

A la Dra. Martha Patricia Guerrero por el entusiasmo y gran apoyo recibido durante la realización de este trabajo.

Al Dr. Rafael Colás Ortiz, por sus valiosos comentarios y por la atención prestada a este trabajo.

Al Dr. Miguel A. Neri Flores por la revisión de este trabajo.

A los Profesores del PDIM.

Al Ing. Omar Garza por su ayuda en los trabajos realizados en el SEM.

A todos mis compañeros del PDIM.

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

Capitulo

Pagina

I. ACEROS LIBRES DE INTERSTICIALES

1.1	Introducción a los aceros libres de intersticiales.	1
1.2	Obtención de los aceros IF.	3
1.3	Efecto de los elementos aleantes de los aceros IF.	5
1.4	Características de los aceros IF.	7

II. GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE

2.1	Introducción.	9
2.2	Procesos de limpieza.	10
2.3	Proceso de galvanizado.	11
2.4	Proceso de galvanneal.	14
2.5	Variables importantes en el proceso de galvanneal.	15
2.6	Capa de inhibición Fe-Al.	22
2.7	Formación de las capas de intermetálicos.	25
2.8	Propiedades de las fases del recubrimiento galvanneal.	28
2.9	Efecto del contenido de aluminio en el baño ($Al_{baño}$).	28
2.10	Efecto de la composición química del baño.	32

2.11	Efecto de la temperatura de la lámina ($T_{\text{lámina}}$) y de la temperatura del baño de zinc ($T_{\text{baño}}$).	33
2.12	Efecto de la química del acero.	34
2.13	Efecto de otras variables.	37
2.14	Integridad del recubrimiento.	39

III. SOLDADURA POR RESISTENCIA

3.1	Introducción.	43
3.2	Soldadura por puntos (RSW).	45
3.2.1	Parámetros importantes en la soldadura.	48
3.2.2	Resistencia eléctrica del material.	50
3.2.2.1	Resistencia eléctrica estática.	50
3.2.2.2	Curvas de resistencia eléctrica dinámica.	51
3.3	Soldabilidad.	54
3.3.1	Generalidades.	54
3.3.2	Curvas de soldabilidad.	54
3.4	Soldabilidad de los aceros recubiertos.	55
3.5	Influencia de los diversos parámetros.	56
3.5.1	Corriente de soldadura.	56
3.5.2	Tiempo de soldado.	57
3.5.3	Fuerza de aplicación de los electrodos.	58
3.5.4	Efecto de la superficie de la lámina.	59
3.5.5	Efecto del espesor del recubrimiento.	59
3.5.6	Tipo de electrodos.	60
3.6	Calidad de la soldadura.	60
3.7	Fallas en soldaduras.	61
3.8	Esfuerzos residuales en soldaduras.	62

IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1	Introducción.	64
4.2	Material.	65
4.3	Recubrimiento.	66
4.4	Preparación de las muestras.	66
4.5	Pruebas de integridad del recubrimiento.	67
4.6	Pruebas de Soldabilidad.	68
4.7	Electrodos.	70
4.8	Fuerza de aplicación de los electrodos.	71
4.9	Selección de la carga para las pruebas de dureza.	72
4.10	Determinación de la penetración del electrodo.	73
4.11	Ensayos de tensión.	74

V. RESULTADOS

5.1	Material.	75
5.2.	Recubrimiento.	76
5.3	Perfil de concentración de Fe presente en el recubrimiento.	85
5.4	Contenido de Fe en la superficie del recubrimiento.	88
5.5	Integridad del recubrimiento.	90
5.6	Diámetro de huella exterior.	96
5.7	Diámetro de la zona soldada.	99
5.8	Grietas en la soldadura.	123
5.9	Penetración de los electrodos.	130
5.10	Resistencia mecánica.	131

RESUMEN

La capa o espesor del recubrimiento de galvanneal en láminas a ser soldadas resulta ser de gran importancia. En el caso particular de soldadura por resistencia el recubrimiento que se encuentra localizado en la zona central de la unión puede ser desplazado hacia los extremos, generando con esto un anillo o halo en su periferia. Esto provoca que la densidad de corriente efectiva disminuya y produce uniones defectuosas en laminas con una mayor capa de recubrimiento.

El objetivo fundamental de este trabajo fue analizar el efecto de las variables que afectan la soldadura en laminas unidas por resistencia eléctrica.

Las variables del recubrimiento tomadas en cuenta durante el trabajo de investigación fueron las siguientes:

- a) Contenido de Fe y fases presentes.
- b) Rugosidad.
- c) Capa o espesor.

La soldabilidad de las diferentes muestras se evaluó a partir de la evolución de la zona soldada, así como su resistencia mecánica a diferentes corrientes. El intervalo de esta variable incluye el inicio de la unión hasta valores donde se registró la expulsión del material. Esto se llevó a cabo en muestras procesadas a condiciones diferentes de galvanneal, como son temperatura de entrada de la lámina, contenido de aluminio en el baño de zinc y potencia del horno de inducción.

También se estudio el efecto y las consecuencias de la expulsión de material durante la soldadura sobre la resistencia mecánica de la misma, así como la aparición de

grietas. Estos estudios se complementaron con pruebas realizadas con muestras decapadas.

En las muestras con galvanneal se evaluaron las variables que afectan la integridad del recubrimiento, por medio de ensayos de dobléz en V a 90° y 60°. Se encontró que esta integridad se ve afectada por el espesor de la fase gama y por la capa del recubrimiento. Se encontró que cualquier incremento de estas variables afecta de manera notoria la integridad.

INTRODUCCION

Los diseñadores de la industria automotriz han incrementado en los últimos años la cantidad de zinc en los aceros recubiertos con la finalidad de proporcionar una mejor protección contra la corrosión. Lamentablemente, soldar un acero galvanizado por resistencia eléctrica presenta algunos problemas, como son la necesidad de una corriente de soldadura mayor que la requerida para un acero no recubierto.

Por tal motivo, se decidió producir un recubrimiento de Fe Zn (galvanneal), que fuera capaz de ser soldado con menores corrientes que el galvanizado por inmersión, gracias principalmente a una mayor resistencia eléctrica del recubrimiento. La soldadura por resistencia eléctrica es el proceso de unión más ampliamente usado para ensamblar productos de hojas de metal, y se basa, como su nombre lo indica, en la resistencia que ofrecen los materiales al paso de la corriente.

El incremento en resistencia eléctrica permite generar una mayor cantidad de calor durante una soldadura, reduciendo la corriente necesaria para producir una unión satisfactoria. Para obtener un material con galvanneal con buena soldabilidad se ha mencionado que el contenido de hierro es la variable más importante a considerar.

Debido a que el acero con galvanneal destinado a la industria automotriz debe cumplir con los estándares establecidos por las compañías ensambladoras de partes, que implica que el material se suelde a bajas corrientes, generando, con esto, una reducción de costos para la compañía ensambladora. Con el conocimiento y control de las variables que afectan la soldabilidad del material, el galvanneal no debe presentar ningún problema para cumplir con las condiciones indicadas para obtener una buena soldadura.

Desafortunadamente los recubrimientos con galvanneal presentan un problema que no muestra un recubrimiento galvanizado de buena calidad, que es la degradación y pérdida del recubrimiento durante los procesos de formado. La pérdida de peso está relacionada con las fases frágiles presentes en el recubrimiento, siendo la fase gama y la delta ricas en hierro las que más han sido reportadas por los investigadores.

Por lo anterior un recubrimiento de galvanneal de buena calidad será aquel que cumpla con los estándares de soldabilidad y además, cumpla con los requerimientos de integridad del recubrimiento aceptable.

El objetivo de este trabajo es analizar las variables que puedan afectar la soldabilidad e integridad de los aceros libres de intersticiales recubiertos con galvanneal. Para lo anterior se sometieron 4 aceros a diferentes condiciones de proceso de galvanneal, como son, potencia del horno de inducción, contenido de aluminio en el baño y diversas condiciones de recocido, con el propósito de obtener características diferentes en los recubrimientos. Las muestras se sometieron a diferentes ensayos, para conocer las variables que afectan la calidad del acero recubierto. En esta investigación se partió de la hipótesis de que el contenido de hierro presente en el recubrimiento afecta la soldabilidad del material así como la integridad del recubrimiento.