

CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEPOSITADOS SOBRE LA SUPERFICIE DEL ACERO CALIDAD COMERCIAL ASTM: A366/A366M-96 DURANTE EL RECOCIDO ESTÁTICO

Maritza Matta-Zaibak^{1}, Carlos Rojas^{2**}, Benjamín Hidalgo-Prada³*

- ✓ Este artículo forma parte del “Volumen Suplemento” **S1** de la *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales (RLMM)*. Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso “X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)” celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del X IBEROMET, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La RLMM no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las “Instrucciones para Autores” establecidas por la RLMM para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del X IBEROMET.

CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEPOSITADOS SOBRE LA SUPERFICIE DEL ACERO CALIDAD COMERCIAL ASTM: A366/A366M-96 DURANTE EL RECOCIDO ESTÁTICO

Maritza Matta-Zaibak^{1*}, Carlos Rojas^{2**}, Benjamín Hidalgo-Prada³

1: Universidad Nacional Experimental de Guayana. Centro de Investigación de Materiales “Dr. Mokka Rao”. Puerto Ordaz. Bolívar-Venezuela.

2: Universidad Central de Venezuela. Centro de Microscopía Electrónica. Caracas-Venezuela.

3: Universidad de Oriente. Instituto de Investigaciones Biomédicas y Ciencias Aplicadas. Cumaná. Sucre-Venezuela.

*e-mail: mmatta@uneg.edu.ve

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009

Disponibile en: www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html

Resumen

Con el material calidad comercial ASTM A366 se producen láminas de acero (chapa fina) de bajo carbono (% de carbono entre 0,04% y 0,09%). Las muestras analizadas en este trabajo se tomaron de bobinas de acero con diferentes espesores, fabricadas en la empresa venezolana Siderúrgica del Orinoco SIDOR. Las láminas fueron rociadas con diferentes aceites protectores luego del proceso de decapado y laminadas en frío con un mismo tipo de aceite, con diferentes concentraciones. Se identifica, además, la posición que las bobinas ocuparon en las bases de recocido. Las probetas se analizaron con la técnica de microscopía de electrones Auger, en cámara de vacío de aproximadamente 10^{-9} Torr. Se identificaron los elementos depositados sobre la superficie de las muestras antes y después de realizar decapados de la superficie con gas argón en cuatro tiempos. Se determinó que el carbono depositado sobre las láminas de acero luego del recocido estático, es grafitico y aunque parte del azufre encontrado en las primeras monocapas proviene de los aceites utilizados en el proceso de fabricación, a mayor profundidad también se encontró azufre que difunde del sustrato al igual que el manganeso. Se identificaron otros elementos como Cl, Ba y Ca que se encuentran en la emulsión debido a los procesos de fabricación de las bobinas.

Palabras Clave: láminas de acero, recocido estático, microscopía Auger, carbono grafitico, azufre.

Abstract

With the commercial quality material ASTM A366, low carbon steel sheets (pct from 0,04 to 0,09) is produced by cold rolling. The samples analyzed in this work were taken from thin coils of steels with different thickness, manufactured by Siderurgica del Orinoco (SIDOR). Before cold rolling and after pickling line, the steel sheets were sprayed with different protecting oils and then cold rolled with the same type of oil mixed with water at various concentrations. The position of each thin coil in the annealing chamber was identified. Specimens taken from each thin coil were analyzed by Auger electron microscopy, with the specimen chamber evacuated to 10^{-9} Torr. The elements deposited on the steel surface were identified before and after a four-time sputtering process with Ar gas. It was found that the carbon deposited on the surface of the low carbon steel sheets is graphitic carbon and although the sulphur observed in the first monolayers comes from the sprayed oils, this element as well as the manganese was also found to diffuse from the substrate. Other elements such as Cl, Ba and Ca present in the emulsion and resulting from the fabrication of the thin coils, were also determined.

Keywords: steel sheets, static annealing, Auger microscopy, graphitic carbon, sulphur.

1. INTRODUCCION

Se conoce como chapa fina de acero al material calidad comercial ASTM: A366/A366M-96 con porcentaje de carbono \leq a 15% en peso y con

espesores entre 0,60 y 1,90 mm, el cual se utiliza en la industria para fabricar desde automóviles hasta artefactos de línea blanca y puede ser usado como simples láminas para techos, tambores, etc.

Las etapas de fabricación de este material comienza en un tren de laminación en caliente con un planchón que entra al laminador a 900°C donde se producen láminas de acero de hasta 4 mm de espesor que se enrollan para formar bobinas que pueden pesar entre 8 y 16 toneladas y salen con una temperatura entre 580°C y 700°C. Al enfriarse la bobina se produce una capa de óxido sobre el material que luego es removida durante un proceso de decapado con HCl.

Dos acciones tienen lugar en éste proceso: la primera es mecánica y se encarga de romper la cascarilla de óxidos, mientras que la segunda es de naturaleza química y consiste en sumergir la lámina de acero en tanques con diferentes concentraciones de ácido clorhídrico.

Al salir de los baños de decapado, la superficie de las láminas de acero es rociada con un aceite protector, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Bobinas de acero aceitadas luego del proceso de decapado.

La laminación en frío del acero se realiza a temperaturas por debajo de 200°C, para lograr reducir el espesor de entrada hasta un 75% del original. La laminación en frío es una operación conjunta de aplastamiento y tracción y se realiza en un tandem de laminación en frío que comprime y arrastra la banda.

Para evitar contacto directo entre la lámina y los cilindros de trabajo, se utiliza una mezcla de lubricante y agua que en proporciones adecuadas forman una *emulsión* que contribuye a enfriar los

cilindros durante el trabajo de reducción y se crea una película de aceite entre ambas superficies para así evitar que se produzca soldadura entre ellas. Los aceites utilizados en laminación en frío presentan componentes comunes a todos los tipos de aceites de laminación tales como: aceites minerales, esteres, aditivos de lubricidad, emulsificantes, biocidas, antioxidantes, compuestos que reducen la formación de jabones, Mujalli y Vera [1], y contienen además azufre, que se agrega como un aditivo de extrema presión, Hiley et al. [2].

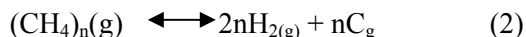
Después de la laminación en frío, las bobinas son sometidas a un tratamiento térmico a través de un proceso de recocido estático, que se realiza desde 80°C hasta aproximadamente 800°C y puede durar hasta 24 horas. El objetivo principal del recocido es el de eliminar el endurecimiento del material deformado en frío mediante un proceso de recristalización, teniendo como beneficio adicional la eliminación por destilación y descomposición térmica del aceite de laminación que queda adherido a la superficie de la chapa.

Las especificaciones del aceite utilizado indican que su destilación ocurre entre 400 y 500°C, Pérez [3]. Las bases de recocido operan con una atmósfera de gas inerte tipo HNX (5-9% H₂, balance N₂).

En la primera fase de destilación del aceite, el carbono reacciona con el hidrógeno creando gas metano:



Durante la fase de calentamiento, en intervalos de tiempo largos y una temperatura constante, se producen grandes cantidades de metano tal que el equilibrio termodinámico del sistema H₂ – CH₄, se alcanza o se excede. Bajo condiciones normales, el metano es altamente inestable por encima de 550°C. Termodinámicamente, la reacción de equilibrio de la descomposición del metano en presencia de finos de hierro, los cuales actúan como catalizadores a temperaturas > 500°C, puede escribirse como:



La cinética del proceso es expresada por la constante de reacción de masa K_p; tal que

$$K_p = p_{H_2}^2 \times a_c / p_{CH_4} \quad (3)$$

donde a_c es la actividad del carbono en la atmósfera de gas inerte, K_p la constante de equilibrio termodinámico a presión constante, p_{H₂} y p_{CH₄} son las presiones parciales del hidrógeno y del metano.

Las siguientes ecuaciones matemáticas relacionan a K_p , a_c y la energía libre ΔG° y reflejan la tendencia del sistema a sufrir cambios termodinámicos, Zylla [4].

$$\Delta G^\circ = -19.1445 \times T \times \log K_p \quad (4)$$

$$\Delta G^\circ = 19.145 \times T \times \log a_c \quad (5)$$

Debido a la dependencia logarítmica en la actividad del carbono, $\Delta G^\circ < 0$ cuando $a_c < 1$. Contrariamente, con $a_c > 1$, ΔG° es positivo y el sistema $H_2 - CH_4$ pierde el equilibrio con la respectiva descomposición de CH_4 , produciendo la deposición de un residuo carbonoso sobre la banda de acero durante el proceso de recocido, Zylla [4].

Lillie y Levinson [5] mencionan que las finas partículas de hierro que se depositan sobre las láminas durante el proceso de laminación en frío contribuyen a unir los enlaces dobles de las moléculas de ácidos grasos no saturados, formando cadenas de moléculas largas y pesadas dificultando la destilación del aceite durante el recocido.

Trabajos realizados en SIDOR por Kaczur [6] y en otras siderúrgicas, Siderar [7], concuerdan en que la temperatura y el tiempo de recocido juegan un papel importante en el proceso de limpieza de la lámina. Recientemente se han utilizado modelos térmicos para mejorar los procesos de limpieza de las láminas de acero durante el recocido estático mejorando los tiempos de calentamiento, Linizer et al, [8].

En trabajos previos realizados por, Tanikawa y Fujioka [9] y Sech y Oleksiak [10], se evaluaron aceites utilizados para laminar bobinas de acero y determinaron que el residuo depositado sobre las láminas de chapa fina de acero después del recocido consiste primariamente de ácidos grasos (C_{16} , C_{18}) y esterés.

Yano [11] realizó un estudio de la difusión del carbono en la superficie de aceros de bajo carbono durante la etapa de recocido encontrando que el carbono depositado sobre la superficie de los aceros luego del proceso de recocido es de naturaleza gráfica. La temperatura a la cual ocurre la formación de grafito en aceros de bajo carbono está por debajo de $727^\circ C$.

Inokuti [12] realizó estudios acerca de la formación de grafito en la superficie del acero, fijando el contenido de carbono en las muestras y adicionando elementos ternarios en diferentes proporciones como: Ti, Zr, V, Nb, Ta, Cr, Mo y B los cuales son formadores de carburos. Otros investigadores, Leroy, et al. [13], utilizaron espectroscopía Auger

para analizar muestras de acero con diferentes concentraciones de manganeso y cromo. Encontraron elementos como oxígeno y azufre que aparecieron sobre la superficie del acero después del recocido y observaron dos picos diferentes para el carbono; establecieron que cuando se presenta un solo pico, el carbono es grafito. En el caso de la cementita, dos pequeños picos *satélites* están presentes en el pico de carbono. Demostraron, además, que la formación de grafito es más efectiva cuando el recocido se realiza en el vacío, ya que la grafitización puede ser inhibida por el nitrógeno en la atmósfera de recocido.

Thyssen Stahl, AG [14] en su empresa Rasselstein mide el índice de difusión del carbono en el acero con la ecuación (6), para evaluar la calidad superficial de la chapa que posteriormente será recubierta.

$$FI = (Mn\%) - (55/32) \times (S\%) + 6 \times (Cr\%) \geq 35 \quad (6)$$

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

En la dinámica de los procesos industriales se programó la producción de tres lotes de bobinas. Luego del proceso de decapado con HCl, el lote 1 fue rociado con aceite protector en decapado que contenía un 2,13% de azufre y los lotes 2 y 3 con aceite protector con 0,96% de azufre. Al pasar por el laminador en frío, se laminaron todas las bobinas con el mismo tipo de aceite cuyo contenido de azufre se determinó en 1,24%. Los dos primeros lotes fueron laminados en turnos diferentes, tenían distintos espesores y diferentes condiciones de emulsión. En el tercer lote se laminaron bobinas con distintos espesores, una detrás de la otra en el mismo turno de trabajo, teniendo así las mismas condiciones de emulsión.

En la tabla 1 se identifica a cada bobina con un número donde el primer dígito corresponde al lote al cual pertenecen. Cada lote fue laminado con diferentes condiciones de emulsión como es el porcentaje de aceite y los ppm de Fe (finos de hierro) y luego de laminadas en frío fueron colocadas en bases de calentamiento, en tres posiciones identificadas en la figura 2, y separadas por platos convectores.

Luego se cubrieron las bobinas con una campana de protección la cual es sellada en los bordes con arena. El espacio interno de la campana es purgado con una atmósfera de gas inerte con una composición de 6% H_2 y el remanente de N_2 .

Tabla 1. Clasificación de las bobinas muestreadas

Bobina	Espesor (mm)	% Aceite	Fe ppm	Posición en bases	Base
1-91	0,61	1,10	102,35	2	A
1-92	0,61	1,10	102,35	1	A
2-33	0,91	1,63	87,3	2	B
2-34	0,91	1,63	87,3	1	C
2-36	0,91	1,63	87,3	3	D
3-32	1,2	1,83	63,5	3	E
3-35	1,2	1,83	63,5	1	F
3-73	0,59	1,83	63,5	1	G
3-67	0,59	1,83	63,5	3	H

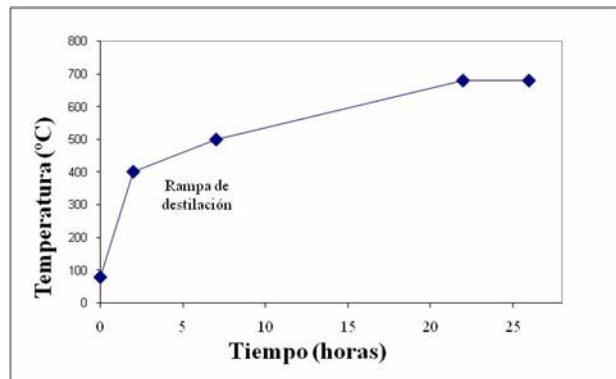
La curva de calentamiento utilizada para cada una de las bases se estableció según el criterio del gráfico que se muestra en la figura 3, Pérez [3], donde se controla la temperatura de la atmósfera de gas en 550°C por un período de 5 horas hasta que la temperatura de las bobinas sea de 480°C para así asegurar que el aceite depositado sobre la superficie del acero se destile.

**Figura 2.** Bases de recocido estático

Al enfriarse las bobinas, luego del proceso de recocido, se cortaron láminas de cada una de ellas y se tomaron muestras de aproximadamente 20 mm², que luego fueron envueltas en papel parafinado para protegerlas de la contaminación del medio.

Las probetas fueron fijadas a una base con un soporte de plata y analizadas con un espectrómetro Auger marca Varian con analizador tipo CMA (Cylindrical Mirror Analyzer), modelo 981-2613, en condiciones de vacío ultra alto. Se adquirieron espectros Auger de cada muestra comenzando con un análisis de los elementos presentes en la superficie del material antes de realizar un decapado mediante el bombardeo con iones de Ar. Se continúa

con la adquisición de espectros de la superficie después de bombardearla con iones de Ar durante cuatro tiempos diferentes: 5, 10, 15 y 30 minutos.

**Figura 3.** Curva de calentamiento aplicada a las campanas de recocido estático

En la tabla 2 se presenta el análisis de la composición química de cada una de las bobinas y el índice de difusión, donde se observa que todos los aceros cumplen con la condición dada en la ecuación 6.

Tabla 2. Análisis químico de muestras de acero

Muestra	%C	%Mn	%S	%Cr	FI
1-91	0,09	0,34	0,013	0,025	0,47
1-92	0,08	0,32	0,013	0,022	0,43
2-33	0,05	0,29	0,009	0,018	0,38
2-34	0,07	0,31	0,007	0,028	0,47
2-36	0,04	0,28	0,015	0,025	0,40
3-32	0,07	0,28	0,005	0,018	0,38
3-35	0,07	0,29	0,005	0,019	0,40
3-73	0,08	0,33	0,006	0,017	0,42
3-67	0,06	0,06	0,010	0,019	0,40

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Análisis por espectroscopía Auger.

En las figuras 4 a 6 se muestran los espectros de tres muestras, ya que todos los espectros Auger tomados para las nueve probetas presentaron similitud en su comportamiento. Se indica la posición que ocuparon en las bases de recocido con un dígito entre paréntesis al lado de título de identificación en las figuras.

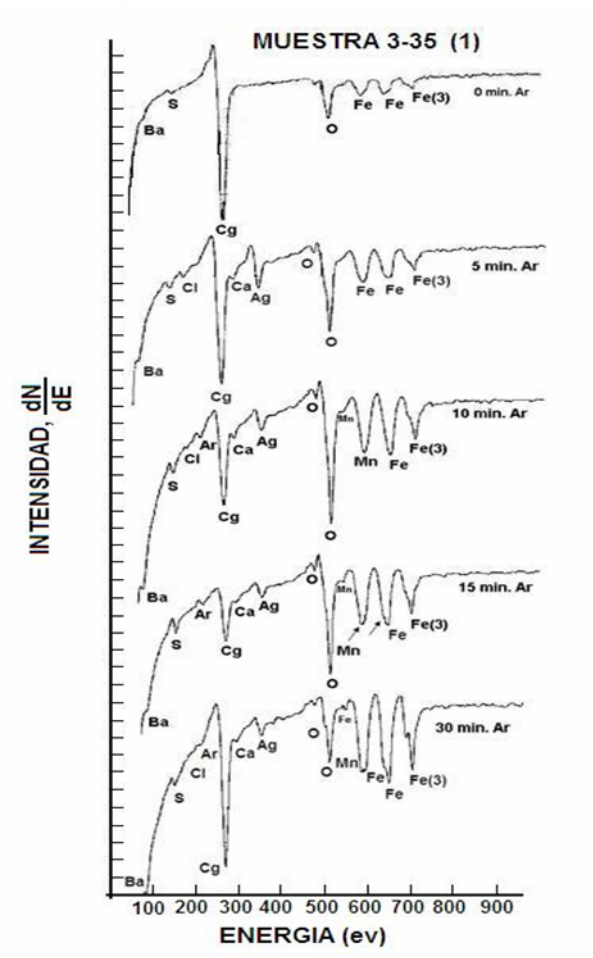


Figura 4. Espectrograma Auger de la muestra 3-35 con diferentes tiempos de decapado con gas argón

Los espectros iniciales (sin bombardeo con argón), muestran un pico de carbono, aproximadamente a 266 eV, que se identifica como Cg (carbono grafitico). Se observa un pequeño pico aproximadamente a 75 eV que corresponde a la presencia del elemento bario (Ba) en la superficie de las muestras. El bario aparece en el análisis debido a contaminación por aceite morgoil en la emulsión utilizada en el laminador en frío.

La emulsión “limpia” constantemente las piezas de trabajo del tren durante el proceso de laminación y en ocasiones hay derrames de morgoil por las mangueras hidrostáticas y por los cuellos de los cilindros de apoyo.

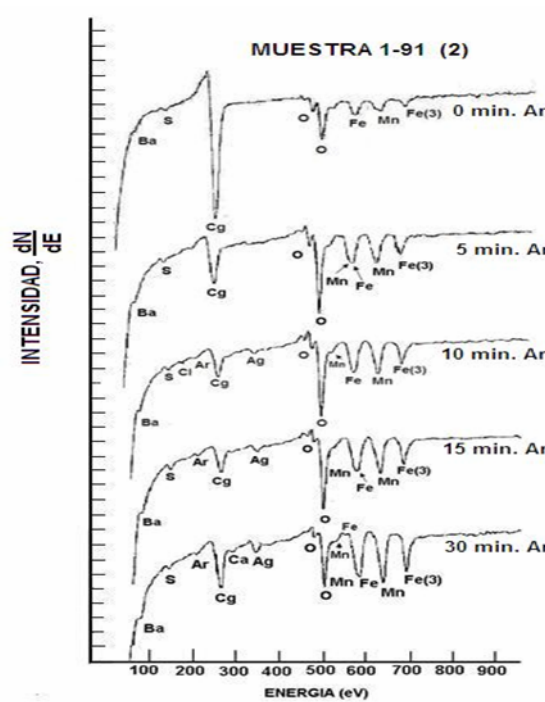


Figura 5. Espectrograma Auger de la muestra 1-91 con diferentes tiempos de decapado con gas argón

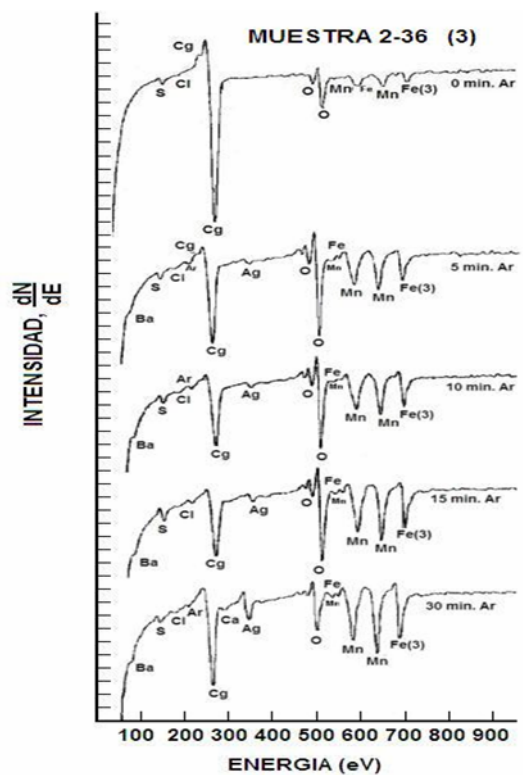


Figura 6. Espectrograma Auger de la muestra 2-36 con diferentes tiempos de decapado con gas argón

Cuando esto ocurre, se procede a realizar una limpieza de la emulsión conocida como *desnatado*, pero esta práctica no garantiza la total limpieza de la emulsión.

Se observa en todos los espectros un pico de 178 eV, que corresponde al cloro. La explicación de la aparición de este pico no se corresponde a la cantidad de cloro presente en el agua industrial con la que se prepara las grandes cantidades de emulsión utilizada en el laminador en frío. González [15] explicó que, la superficie del material presenta pequeños poros que sirven como vehículo de transporte del HCl desde la línea de decapado que luego es agregado a la emulsión durante la laminación.

La señal Auger del azufre, en 150 eV, aparece con poca intensidad antes del decapado para luego aumentar y volver a disminuir al decapar. Esto se debe a que durante la manipulación de las láminas de acero para obtener las muestras, éstas fueron expuestas al medio ambiente. El azufre superficial reacciona con el oxígeno y se desprende como $\text{SO}_{2(g)}$ a temperaturas \geq a la ambiental.

El sustrato de acero se caracteriza por las tres señales Auger LMM del Fe, las cuales aparecen aproximadamente a las energías de 600 eV, 650 eV y 700 eV. El Mn presenta también un triplete de señales LMM, las cuales aparecen aproximadamente a las energías de 540 eV, 590 eV y 640 eV, por lo que las dos últimas se superponen con las dos primeras del Fe.

Observamos un pico de calcio aproximadamente a 293 eV, contaminación debida a la presencia de este elemento en el agua industrial de la planta. La dureza del agua industrial es de aproximadamente 18 a 25 mg de CaCO_3 /litro ya que en ocasiones se agrega cal al agua para aumentar la pasividad.

El pico de oxígeno que se observa en los espectros demuestra que el proceso de formación de óxidos sobre la lámina sigue ocurriendo después del proceso de recocido estático.

3.2. Análisis de tablas y gráficos

En las tablas 3 a 11 aparecen los valores medidos de la altura en cm de los picos de azufre, carbono grafitico y un pico de hierro de alta energía identificado como Fe(3), los cuales se observan en todas los espectrogramas. Los tiempos de bombardeo con Ar se identifican con los números 0

(0 min. Ar), 1 (5 min. Ar), 2 (10 min. Ar) 3 (15 min. Ar) y 4 (30 min. Ar).

Tabla 3. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 1-91

<i>Nivel de limpieza con Ar 1-91</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	146
Cg	10,2	3,4	2,2	2,0	3,2	263
Fe(3)	0,4	1,4	1,8	2,1	2,6	700

Tabla 4. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 1-92

<i>Nivel de limpieza con Ar 1-92</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	146
Cg	12,9	7,1	5,0	4,7	5,0	263
Fe(3)	0,3	0,7	0,9	1,0	1,4	702

Tabla 5. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 2-33

<i>Nivel de limpieza con Ar 2-33</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,1	0,3	0,6	0,5	0,2	146
Cg	13,3	3,8	3,4	3,3	7,1	264
Fe(3)	1,8	3,6	3,4	5,0	5,7	693

Tabla 6. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 2-34

<i>Nivel de limpieza con Ar 2-34</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,2	0,4	0,9	1,0	0,1	147
Cg	15,6	10,7	5,1	7,5	9,1	264
Fe(3)	0,7	2,1	3,0	3,7	5,7	690

Se toma el pico identificado como Fe(3) para realizar el cálculo de la razón entre el pico de carbono y Fe(3), obteniéndose los gráficos que se muestran en las figuras 6 a 8 y en las figuras 9 a 11 se representa la razón entre el pico de azufre y Fe(3).

Tabla 7. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 2-36

<i>Nivel de limpieza con Ar 2-36</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,5	0,5	0,7	1,0	0,5	148
Cg	13,3	7,3	5,5	5,0	7,4	266
Fe(3)	0,7	2,3	2,7	3,5	4,2	696

Tabla 8. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 3-32

<i>Nivel de limpieza con Ar 3-32</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,5	0,1	1,0	0,8	0,3	147
Cg	15,2	1,6	2,7	2,5	8,3	264
Fe(3)	0,5	2,0	2,1	2,1	2,7	704

Tabla 9. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 3-35

<i>Nivel de limpieza con Ar 3-35</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,2	0,4	0,7	0,9	0,4	150
Cg	10,3	9,0	5,8	3,2	9,3	269
Fe(3)	0,7	1,4	2,6	2,6	4,2	708

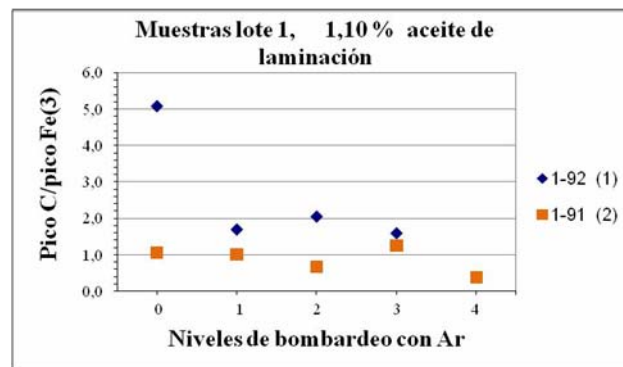
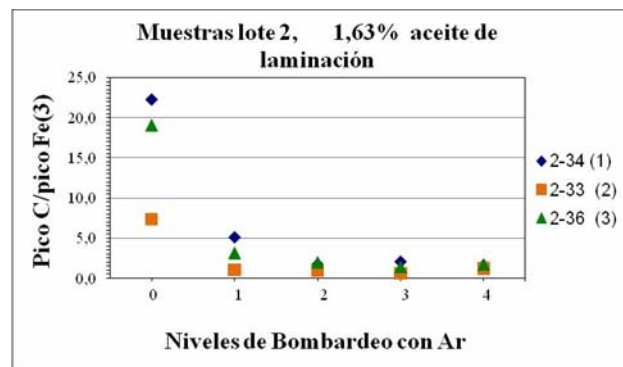
Tabla 10. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 3-73

<i>Nivel de limpieza con Ar 3-73</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	144
Cg	9,4	2,4	1,5	1,2	2,2	266
Fe(3)	0,4	1,5	1,7	1,7	2,3	698

En la leyenda de cada gráfico aparece la identificación de las bobinas y un número entre paréntesis que indica la posición correspondiente en la base de recocido.

Tabla 11. Medida en cm de los picos de los espectros de la muestra 3-67

<i>Nivel de limpieza con Ar 3-67</i>						
	0	1	2	3	4	eV
S	0,2	0,4	0,6	0,9	0,6	147
Cg	12,3	10,5	13,2	13,7	10,5	264
Fe(3)	0,6	0,6	2,5	2,6	3,2	690


Figura 6. Razón pico C/pico Fe(3) de las muestras del lote 1 de bobinas

Figura 7. Razón pico C/pico Fe(3) de las muestras del lote 2 de bobinas.

En los gráficos de 6 a 8, se observa que a medida que se realiza el decapado con gas argón disminuye la proporción pico C/pico Fe(3), lo que indica una disminución de la cantidad de carbono depositada sobre la superficie del acero con respecto a un aumento de la cantidad de hierro, lo que se atribuye a que este elemento es un residuo que queda durante la destilación del aceite de laminación en el proceso de recocido estático.

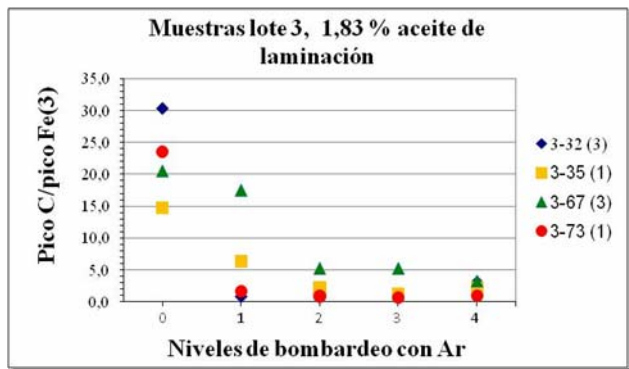


Figura 8. Razón pico C/pico Fe(3) de las muestras del lote 3 de bobinas.

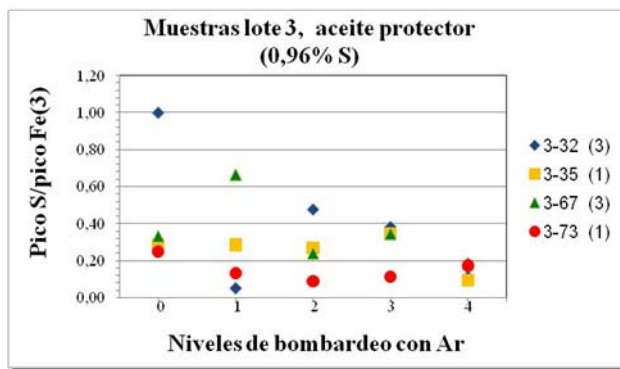


Figura 11. Razón pico S/pico Fe(3) de las muestras del lote 3 de bobinas

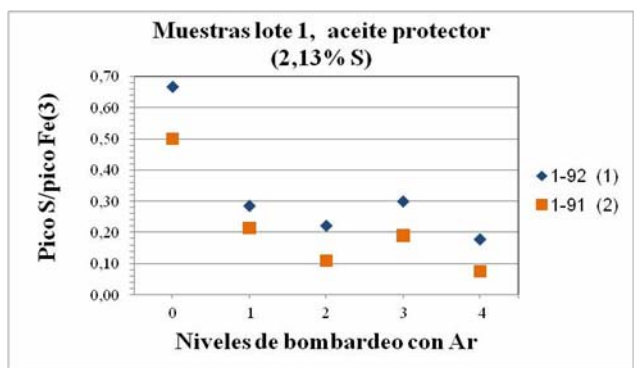


Figura 9. Razón pico S/pico Fe(3) de las muestras del lote 1 de bobinas

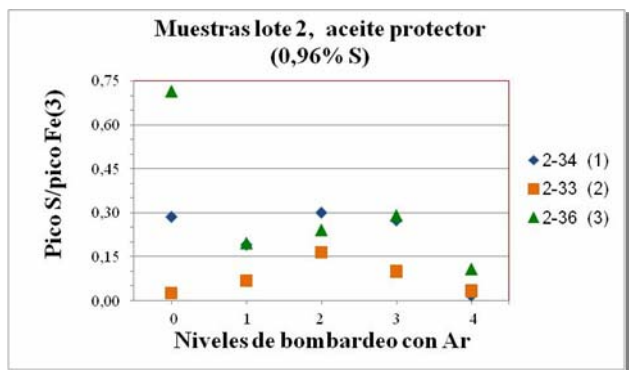


Figura 10. Razón pico S/pico Fe(3) de las muestras del lote 2 de bobinas

La bobina colocada en la posición 2 de recocido, como muestran las figuras 6 y 7, presenta picos de carbono de menor intensidad en comparación con las otras bobinas de la posición 1 y 3. Esto indica que las condiciones de equilibrio termodinámico del sistema $H_2 - CH_4$ se alcanza en esta posición tal que no se produce deposición excesiva de residuo carbonoso sobre la superficie de la lámina.

Se observa en las figuras 9 a 11 que a medida que se realiza el decapado con gas argón el pico de azufre disminuye en principio y luego aumenta su intensidad. Esto pudiera explicarse considerando que en el tiempo 0, el azufre detectado proviene de los aceites de decapado y laminación y al continuar bombardeando con gas argón la superficie de las muestras, el pico S crece debido a que este elemento difunde a la superficie desde la matriz del acero por el efecto de las altas temperaturas del recocido estático.

4. CONCLUSIONES.

En los perfiles de composición en profundidad en los espectrogramas Auger se observa que:

- La naturaleza de la capa carbonosa depositada en las láminas de acero, luego del recocido estático, es de naturaleza grafitica y proviene de los aceites de laminación.
- Debido a las condiciones de laminación se observan los elementos Ba, Cl y Ca.
- En las monocapas más externas, el azufre detectado proviene de los aceites de decapado y laminación.
- El manganeso difunde del sustrato a altas temperaturas.

Los gráficos de la razón entre el pico S/pico Fe(3) y el pico C/pico Fe(3) muestran:

- La intensidad de los picos de carbono en la posición 2 de recocido es menor, lo que indica que la bobina se calienta más lentamente por lo que las condiciones de equilibrio termodinámico del sistema $H_2 - CH_4$ se alcanza y no se produce deposición excesiva de residuo carbonoso sobre la superficie de la lámina.

- En todos los gráficos se observó un aumento en la intensidad de los picos de azufre a medida que se realiza decapado con gas argón indicando que este elemento difunde del sustrato.

de investigación C-84-4491.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Mujalli G y Vera ML. Emulsión para laminación en frío, Informe Técnico, C.V.G. SIDOR, 1995.
- [2] Hiley RW, Spikes HA, Cameron A. *Lubrication Engineering*, 1981, **37**, (12), 732-737.
- [3] Pérez J. *Diseño de curvas de recocido en función de las curvas de destilación de los diferentes tipos de aceites*, Informe Técnico, LIPESA, distrito Guayana, División ALCA, 1996.
- [4] Zylla P. *Metallurgical Plant and Thecnology*, 1996, june (3), 80-84.
- [5] Lillie CR, Levinson DW. *Iron and Steel Engineer*, 1957, 377-381.
- [6] Kaczur M. *HN Anneal Cleanliness Review*, Informe Técnico, C.V.G. SIDOR, 2002.
- [7] Siderar S.A.I.C. *Causas que generan el defecto torta negra en el material chapa fina*. Informe Técnico, Planta Ensenada, Argentina, 2000.
- [8] Lisnizer M, Hasse A, Seré P. Rediseño de Baja Energía en Recocido Batch Mediante la Utilización de un Modelo Térmico. *16th IAS Rolling Conference*, San Nicolás, Argentina, 2006.
- [9] Tanikawa K, Fujioca Y. *Lubrication Engineering*, 1983, **40**, (12), 715-718.
- [10] Sech JM, Oleksiak TP. *Iron and Steel Engineer*, 1995, 33-36.
- [11] Yano Y. *Journal Metal Finishing of Japan*, 1974, **25**, (3), 131-138.
- [12] Inokuti Y. *Transactions Iron and Steel Institute of Japan*, 1975, **15**, 324-333.
- [13] Leroy V, Richelmi J, Grass H. *CRM Metallurgical Reports*, 1976, **49**, 49-58.
- [14] Thyssen Stahl, AG. Página en internet: <http://www.thyseenkruup-steel.com/>, <http://www.rasselstein.com/>
- [15] González L. *Origen de los Puntos de Óxido en el Material Laminado en Frío*, 1984, Centro de Investigaciones C.V.G. SIDOR, proyecto