

cenim

Separata
de
REVISTA DE
METALURGIA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES METALURGICAS
M A D R I D

El empleo del recocido descarburante como modificación al proceso siderúrgico de obtención de chapas calmadas y estabilizadas con aluminio^(*)

I. Ibarrondo (*)

C. D. 621.784.019.4:669.141.241.3-416 = 6

Resumen

La modificación propuesta en este trabajo para el proceso siderúrgico convencional de obtención de aceros calmados y estabilizados con aluminio, con destino a embutición extraprofunda, permite mejorar sensiblemente el índice de anisotropía normal, $\bar{r}$. Dicha modificación consiste en el empleo de un recocido descarburante en dos fases, en sustitución del tradicional recocido en bobina cerrada.

Se detallan los fundamentos teóricos de dicha modificación, así como los resultados obtenidos mediante la aplicación de dicho ciclo.

1. INTRODUCCION

El proceso de conformado de los metales constituye en la actualidad uno de los más importantes procesos productivos, habiéndose predicho por el C.I.R.P. Group (1), que en la década de los ochenta las operaciones de conformación de metales serán cuantitativamente tan importantes como las de corte. Dentro de estas operaciones, la de conformado por embutición ha adquirido un lugar muy destacado en la industria moderna, tanto por su volumen de producción como por el grado de perfeccionamiento alcanzado.

La chapa de acero suave al carbono es, con mucho, el material más empleado para embutir, transformándose en frío aproximadamente la cuarta parte de la producción mundial de acero y siendo sus principales consumidores (2):

- Industria de automoción: 50 %.
- Industria transformadora: 20 %.
- Industria eléctrica: 15 %.

La importancia de este sector hace que sea cada vez mayor el interés demostrado por consumidores y fabricantes en estudiar los mecanismos que regulan la conformabilidad de la chapa en el proceso de embutición. Dadas las crecientes exigencias tecnológicas del mercado, los fabricantes se han visto obligados a obtener calidades superiores a las que se venían empleando normalmente hasta fechas recientes en el mismo.

En opinión del autor, este mercado puede dividirse actualmente en dos grandes grupos:

- a) Materiales con destino a embuticiones profundas con exigencias de calidad normales.
- b) Materiales con destino a embuticiones extraprofundas con exigencias de calidad muy elevadas y para aplicaciones especiales.

Dentro del primer grupo incluiremos:

- Aceros calmados y estabilizados con aluminio.
- Aceros calmados, tratados en horno continuo (procedimientos C.A.L.P. y N.K.K.).
- Aceros efervescentes de composición química especial para embuticiones extraprofundas.
- Aceros descarburados y desnitrurados mediante el procedimiento *open-coil*.

Dentro del segundo grupo podemos señalar:

- Aceros calmados con titanio y con niobio.
- La chapa estabilizada-descarburada, objeto del presente trabajo.

En la tabla I se muestra una clasificación del autor, en función del tipo de conformación a que debe ser sometido el material, juntamente con algunas de las características medias más representativas en lo que al proceso de conformación por embutición en frío se refiere.

Dentro del objetivo del presente trabajo, señalaremos que se trata de obtener un nuevo producto siderúrgico, sustitutorio de los aceros calmados con titanio o con niobio, los cuales tienen un proceso de obtención más complicado en acería, que incluye una etapa de desgasificación al vacío. En estas condiciones, se obtiene un acero calmado con titanio o con niobio, que une a su excelente acabado superficial un índice de anisotropía, $\bar{r} \approx 2,00$ e incluso superior.

Para ello, se pensó en mejorar las características de embutibilidad de los aceros calmados y estabilizados con aluminio, mediante la aplicación de un recocido descarburante de dos fases en bobina abierta, recocido *open-coil*, en vez del tradicional recocido cerrado. Este material, fabricado mediante esta modificación en el proceso siderúrgico, permite obtener un material no envejecible, con el nitrógeno fijado en forma de nitruros y el carbono eliminado mediante la descarburación *open coil* juntamente con las propiedades superficiales de un acero efervescente.

(*) Trabajo recibido el 15-VII-83.

(*) Prof. de Física Teórica. Esc. Universitaria de Ingeniería Industrial de San Sebastián.

TABLA I.—Clasificación de materiales empleados en embutición

Empleo	Tipo de acero	Proceso siderúrgico	$\bar{r}$	E , kg/mm ²	R , kg/mm ²	Datos
CONFORMACIONES SUAVES	Efervescente	Convencional	1,28 - 1,31	20,0 - 22,1	32,0 - 33,0	Ref. n.º 3
	Efervescente	Recocido en horno continuo	1,33 - 1,51	20,8 - 22,0	32,9 - 33,2	Ref. n.º 3
	Efervescente	Convencional más recocido descarburante	1,38 - 1,40	15,5 - 16,5	28,5 - 30,0	Autor
EMBUTICION PROFUNDA	Efervescente	Composición química especial más recocido descarburante (difícil obtención)	1,50 - 1,90	15,2	28,7	Ref. n.º 4
	Calmado o estabilizado al aluminio	Convencional	1,68 - 1,71	17,2 - 18,0	31,1 - 32,4	Ref. n.º 3
	Calmado o estabilizado al aluminio	Recocido en horno continuo	1,73 - 1,75	18,0	33,0	Ref. n.º 3
EMBUTICION EXTRA PROFUNDA	Calmado al titanio o niobio	Convencional para este tipo de aceros	1,70 - 2,00 y superiores	14,6	30,1	Ref. n.º 5
	Calmados o estabilizados al aluminio	Convencional más recocido descarburante en dos fases (motivo del presente trabajo)	1,75	14,4	26,2	Autor

2. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA MODIFICACION DEL PROCESO SIDERURGICO

Es conocido el hecho de que los índices de anisotropía normal, $\bar{r}$, e isotropía plana, Δr , miden la condición de embutibilidad de un determinado material (6-8), siendo ambos función de la textura del mismo. La materialización de esto en el caso de los metales c.c. es simple, ya que, aunque los sistemas de deslizamiento pueden ser varios, tienen todos en común la dirección $\langle 111 \rangle$. Por tanto, lo más adecuado, en orden a aumentar la conformabilidad del material, es disponer del mayor número posible de direcciones $\langle 111 \rangle$ normales al plano de la chapa, lo cual se consigue mediante texturas del tipo $\{111\} \langle uvw \rangle$.

Pues bien, en el caso de aceros calmados y estabilizados al aluminio, la inducción de este tipo de texturas está íntimamente relacionada con la cinética del proceso de precipitación y coalescencia de los nitruros de aluminio, durante las primeras etapas del proceso de recrystalización en el recocido de estos aceros en horno de campana.

Estos precipitados de nitrógeno de aluminio actúan:

1. Retrasando la recrystalización, mediante la inhibición del crecimiento de grano.
2. Desarrollando la componente $\{111\} \langle uvw \rangle$ el plano de la chapa, que se traduce metalo-

gráficamente en la observación de una estructura *pan-cake*.

En la figura 1 se pueden ver las curvas obtenidas por Meyzaud et al. (9), en las que se describe la cinética de recrystalización isoterma de un acero calmado con aluminio, cuya composición química viene dada en la tabla II y que ha sido sometido a una reducción en frío de un 70 % previamente al recocido.

De un análisis de esta gráfica, en la que pueden verse, en función del tiempo y de la temperatura, las curvas de principio y fin de la recrystalización, la zona de interrupción o bloqueo de la recrystalización, así como los porcentajes de volumen recrystalizado y de precipitación de los nitruros de aluminio, puede señalarse que:

- A altas temperaturas, $T > 620^\circ\text{C}$, la precipitación del nitrógeno de aluminio se produce en una matriz casi completamente recrystalizada, siendo, por lo tanto, dicha precipitación anterior al proceso de recrystalización, que se desarrolla casi tan rápidamente como la de un acero efervescente.
- A bajas temperaturas, $T < 550^\circ\text{C}$, el proceso también se asemeja al de recrystalización de un acero efervescente.
- A temperaturas intermedias, $550^\circ\text{C} < T < 620^\circ\text{C}$, se inicia la recrystalización, pero co-

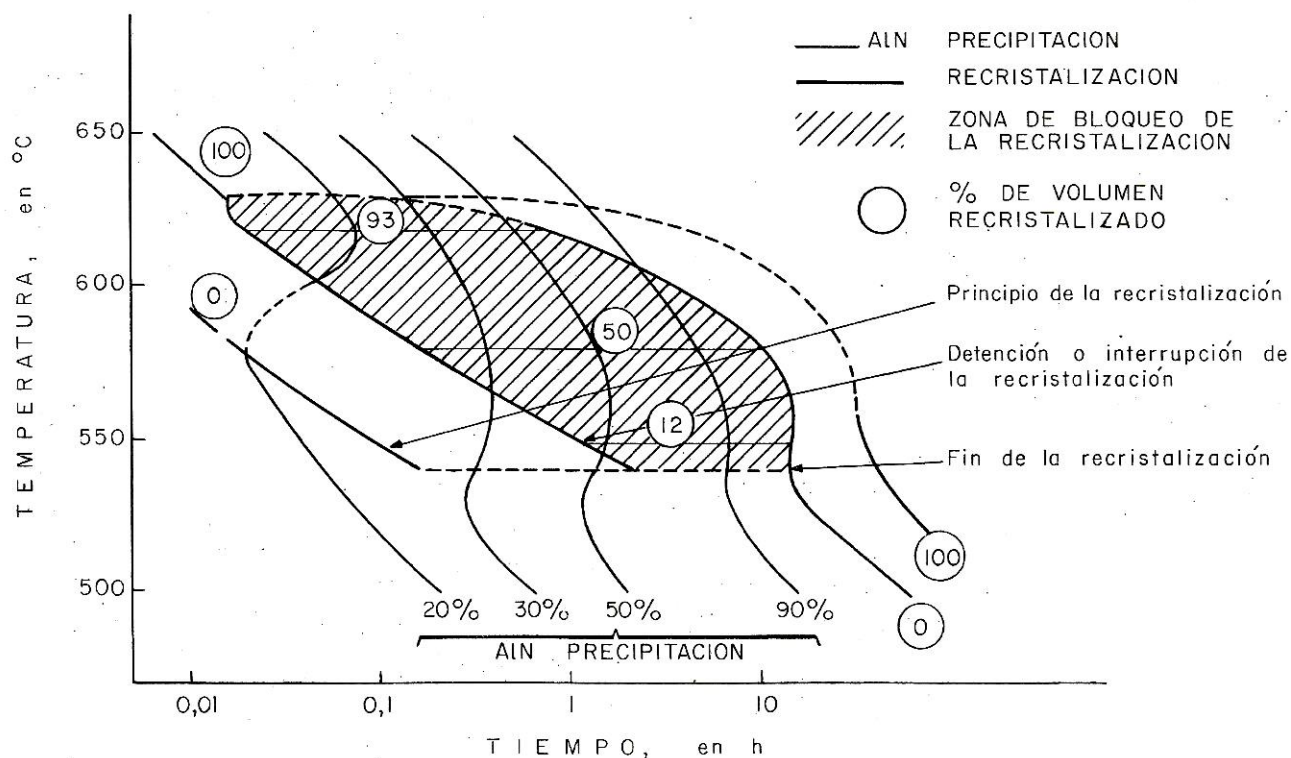


FIG. 1.—Interacción entre la recrystalización y la precipitación de nitruros de aluminio, en un acero calmado o estabilizado con aluminio con 70 % de reducción previa en frío. La composición química de este acero se da en la tabla II.

TABLA II.—Composición química del acero calmado con aluminio

Elemento	C	Mn	Si	P	S	O	Al	N
%	0,045	0,22	< 0,01	0,024	0,010	0,010	0,076	0,009

mienza simultáneamente la precipitación de los nitruros de aluminio, preferentemente en las subjuntas de los subgranos paralelos al plano de laminación, produciéndose el bloqueo del movimiento de dichas subjuntas y la consiguiente inhibición del crecimiento de los subgranos en el sentido normal de la chapa, resultando como consecuencia, una recrystalización selectiva orientada según la textura $\{111\} \langle uvw \rangle$ a expensas de las texturas $\{110\} \langle u'v'w' \rangle$ y $\{100\} \langle u''v''w'' \rangle$.

Al objeto de conseguir estas texturas en el proceso industrial y dado que, a estas temperaturas, los tiempos de recrystalización son largos, se mantiene el material durante 2 h a 500 °C, con el fin de inducir la textura adecuada mediante el mecanismo de coalescencia y precipitación de los nitruros de aluminio, terminándose posteriormente la recrystalización a una temperatura más elevada. Esta temperatura no tiene ninguna incidencia en el caso de los aceros calmados y estabilizados con aluminio, sobre el valor final del índice de anisotropía normal, $\bar{r}$, según indican los trabajos de Takechi (10) (Fig. 2), siempre que se haya inducido previamente la textura adecuada y no se produzca posteriormente

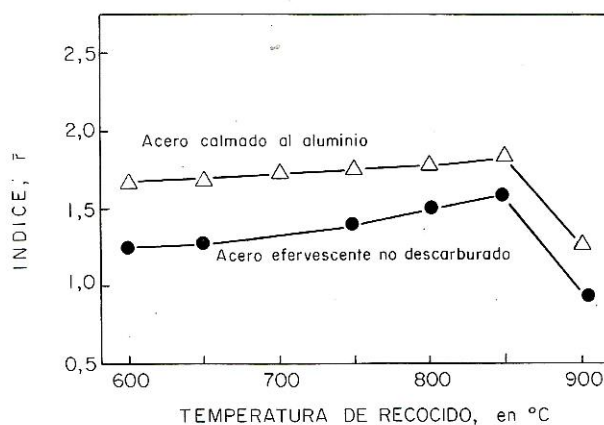


FIG. 2.—Efecto de la temperatura de recocido sobre el valor del índice $\bar{r}$.

transformación austenítica, lo cual traería consigo la destrucción de la textura inducida en la primera fase del proceso.

Sin embargo, ya las investigaciones previas de Wise et al. (11) (Fig. 3), orientadas a la post-optimización del índice $\bar{r}$, señalaban que tanto el índice $\bar{r}$ como el tamaño de grano N , podían incrementarse

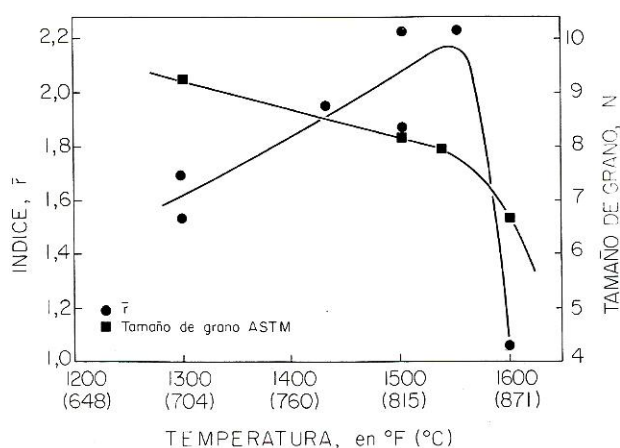


FIG. 3.—Efecto de la temperatura de recocido sobre el valor del índice $\bar{r}$ y sobre el tamaño de grano.

conjuntamente en los aceros calmados y estabilizados con aluminio mediante la elevación de la temperatura de recocido, siendo condición indispensable para ello, de acuerdo con lo señalado por estos autores, la descarburación previa del material para evitar la austenización del acero.

Posterioros trabajos de Matsudo et al. (12), realizados sobre aceros efervescentes y los de Karlyn et al. (13) efectuados en aceros calmados con aluminio, muestran que el índice de anisotropía normal, $\bar{r}$, no sólo es función de la textura del material, sino que presenta una doble dependencia de:

- Textura del material, la cual es a su vez función de la composición química y de las variables termomecánicas del proceso siderúrgico.
- Del crecimiento de grano subsiguiente a la finalización del proceso de recrystalización, siendo posible este crecimiento mediante un proceso de descarburación previo.

Esta doble dependencia puede expresarse como:

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + K (d^{-1/2} - d_0^{-1/2})$$

donde

$\bar{r}_0$ = Valor del índice de anisotropía normal al finalizar el proceso de recrystalización.

$(d^{-1/2} - d_0^{-1/2})$ = Término que expresa el crecimiento de grano subsiguiente a la finalización del proceso de recrystalización, siendo d_0 y d los tamaños medios de los granos ferríticos (mm), al finalizar la etapa de recrystalización y al término del recocido, respectivamente.

Tomando como base lo anterior y con el fin de optimizar el índice de anisotropía normal, $\bar{r}$, se ha pensado introducir una variación en el proceso siderúrgico, consistente en modificar el recocido convencional empleado en la fabricación de aceros calmados y estabilizados con aluminio, sustituyéndolo por un recocido descarburante en bobina abierta en dos fases.

En la primera de dichas fases, se somete al material a un recocido descarburante en bobina abierta, con el doble objeto de:

- Recrystalizar completamente el material, optimizando de esta forma el valor de $\bar{r}_0$ al finalizar dicho proceso de recrystalización.
- Descarburar el material, posibilitando, de esta manera, el crecimiento de grano en la segunda fase del recocido.

La segunda fase tiene por objeto producir el crecimiento de grano subsiguiente a la descarburación del material, crecimiento condicionado al contenido de carbono del acero.

En las figuras 4 y 5 se muestran, esquematizados, los ciclos de recocido convencional y el ciclo descarburante en dos fases propuesto por el autor.

3. DESCRIPCION DE LA INSTALACION DE RECOCIDO DESCARBURANTE EN BOBINA ABIERTA

Previamente a la exposición de los ensayos realizados y de los resultados obtenidos, describiremos brevemente la instalación de recocido descarburante en bobina abierta, más conocido como recocido *open-coil*.

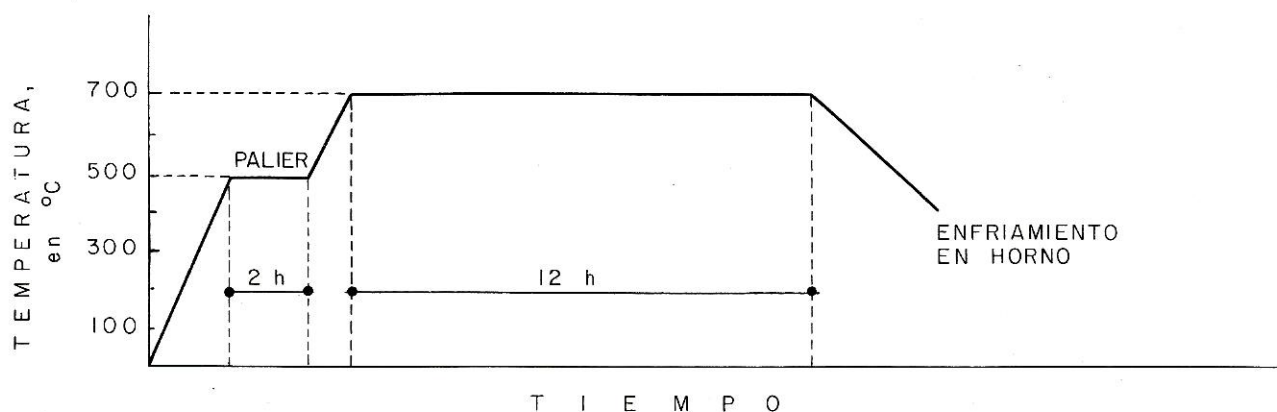


FIG. 4.—Ciclo de recocido convencional propuesto en este trabajo.

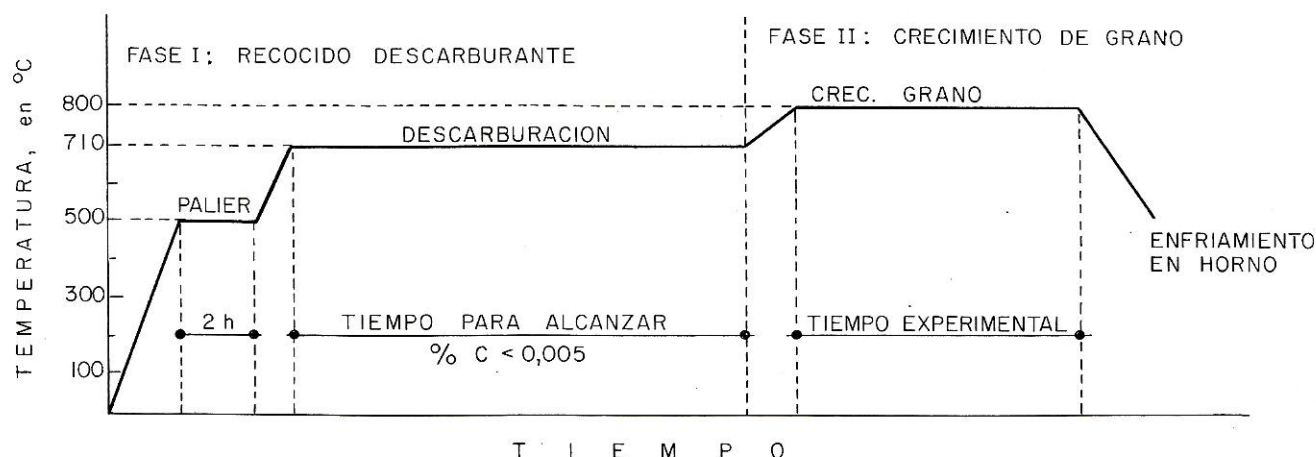


FIG. 5.—Ciclo descarburente en dos fases propuesto en este trabajo.

Como se sabe, el procedimiento de recocido en horno de campana, no es adecuado para producir cambios en la composición química del acero, ya que el propio arrollamiento de las espiras excluye dicha posibilidad. En la instalación de recocido *open-coil*, contrariamente a lo que sucede en las de bobina cerrada, la superficie entera de la bobina se encuentra en contacto con el gas de la atmósfera, como puede verse en la figura 6. Este tipo de contacto, no sólo significa que los gases cubren toda la superficie de la bobina, sino que, además, dada la forma en que se efectúan los fenómenos de transmisión de calor y transferencia de materia, podremos, mediante el control de la composición de la atmósfera y de su humedad, actuar sobre la cinética del proceso de descarbureación.

Una visión más completa de las instalaciones, así como de las posibles atmósferas y cinética del proceso de descarbureación, puede verse en la bibliografía descriptiva de este tipo de instalaciones (14-18), así como en trabajos del propio autor (19-21).

4. EXPERIENCIAS REALIZADAS PARA LA OBTENCIÓN DE NUEVAS CALIDADES DE ACERO MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DEL PROCESO SIDERÚRGICO

Consecuentemente con lo expuesto en la descripción de los fundamentos teóricos de este procedi-

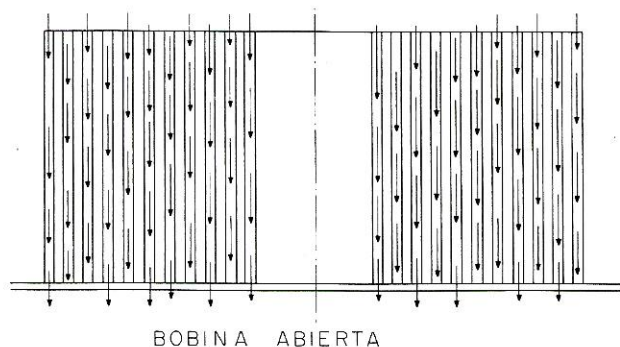


FIG. 6.—Bobina abierta.

miento, se preparó una serie de ensayos a escala semi-industrial e industrial. Estos ensayos conllevaban la creación de una serie de órdenes de fabricación experimentales, las cuales fueron tratadas de acuerdo con la práctica siderúrgica normal para los aceros calmados y estabilizados con aluminio, lo cual comporta un proceso de decapado y reducción en frío comprendido entre 60 y 80 %, previamente al recocido diferenciador.

Los ensayos así realizados pueden incluirse en tres grupos fundamentales:

Grupo A:

El objetivo de este primer grupo de ensayos es la simulación del nuevo ciclo de recocido puesto a punto por el autor (Fig. 5), estudiando las características del material así obtenido.

Para ello, el material estabilizado y tratado en frío era descarbureado en la batería *open-coil* y sometido posteriormente a una serie de nuevos recocidos a temperaturas de 750 y 800 °C, en horno de laboratorio de atmósfera inerte, ya que al no ser posible alcanzar estas temperaturas en las bases industriales, se hacía necesario efectuar la segunda fase del recocido en horno de laboratorio.

Grupo B:

Este segundo grupo de ensayos se realizó al objeto de estudiar la influencia que, sobre las propiedades finales, tenía la temperatura en la segunda fase del recocido.

Para ello, se procedió a descarburar en la batería *open-coil* materiales estabilizados con aluminio, para posteriormente suministrar al material la segunda fase del recocido a temperaturas de 580, 650 y 700 °C.

Grupo C:

Paralelamente a los anteriores grupos de ensayos, se efectuó una serie de pruebas comparativas, al ob-

jeto de estudiar el comportamiento de los materiales estabilizados ordinarios, es decir, sin efectuar descarburación frente a los mismos ciclos de recocido.

A este objeto, se recocían los materiales estabilizados, en condiciones y a temperaturas similares a los ensayados con los grupos A y B, procediéndose seguidamente a analizar los resultados.

En todas las pruebas realizadas, el tiempo de mantenimiento fue el necesario para lograr la completa recrystalización y, en su caso, el posterior crecimiento de grano.

Por lo que a los análisis químicos se refiere, puede señalarse que se realizaron dichos ensayos en cabeza y cola de cada bobina, previamente al proceso de decapado y con posterioridad al proceso de descarburación, al objeto de comprobar la extensión de la misma.

La determinación de los contenidos de carbono se hizo, en todos los casos, mediante un analizador automático de carbono por combustión, modelo LECO IR-12, importándose muestras patrón con un contenido de carbono garantizado de $0,002 \pm \pm 0,0002 \%$. Por lo que respecta al análisis de los demás elementos, éstos se efectuaron mediante un espectrofotómetro de absorción Philips mod. SP-1900.

En lo que a los ensayos mecánicos respecta, éstos se realizaron en una máquina Instron Universal mod. TT.DM.L de 10.000 kg de carga máxima, a una velocidad de ensayo de 5 mm/min.

Para la determinación de los índices de anisotropía normal, $\bar{r}$, e isotropía plana, Δr , se efectuaron medidas en la dirección de laminación, transversal a ella y a 45° de la misma, empleándose para ello un microscopio de medida con tornillo micrométrico

co incorporado, realizándose todas las medidas para alargamientos comprendidos entre 20 y 25 %.

Ambos índices vienen dados de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\bar{r} = \frac{r_o + r_{90} + 2r_{45}}{4} \quad \Delta r = \frac{r_o + r_{90} - 2r_{45}}{2}$$

Los resultados de los análisis químicos, juntamente con las características mecánicas obtenidas para los distintos tipos de recocido y sus diversas variantes en función de la temperatura de la segunda fase del recocido, se muestran en el siguiente apartado.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En las tablas III, IV y V se muestran los resultados obtenidos, correspondientes a los grupos de ensayos A, B y C, respectivamente.

Del análisis de estos resultados se deduce que:

- Se hace posible, mediante el recocido descarburante en dos fases, y siempre que la temperatura de la segunda fase alcance los 750°C , mejorar sensiblemente el índice de anisotropía normal, $\bar{r}$, tal y como puede verse comparativamente en el grupo de ensayos A-1 y A-2 con relación al C-1, correspondiendo este último a material estabilizado tratado convencionalmente.

El no haberse alcanzado valores en el índice $\bar{r}$, similares a los de los aceros calmados con titanio (C-3), tal y como era nuestro obje-

TABLA III.—Grupo A de ensayos realizados para la obtención de nuevas calidades de acero

Grupo de ensayos	Etapa diferenciadora en el proceso siderúrgico	RECOCIDO DESCARBURANTE EN DOS FASES				COMPOSICION QUIMICA, %				
		FASE I		FASE II		C	Mn	Al	P	S
		Temp., $^\circ\text{C}$	Tiempo, h	Temp., $^\circ\text{C}$	Tiempo, h					
A - 1	Estabilizado. Recocido descarburante en dos fases	710	11	800	16,5	0,004	0,35	0,045	0,025	0,020
A - 2	Estabilizado. Recocido descarburante en dos fases	710	11	750	12,9	0,004	0,35	0,045	0,025	0,020
Grupo de ensayos	Dirección de la probeta	CARACTERISTICAS MECANICAS								
		R kg/mm ²	E kg/mm ²	A %	r_{90}	r_{450}	r_{900}	$\bar{r}$	n	Δr
A - 1	Laminación	26,6	14,2	38,6	2,21	1,305	2,18	1,75	0,231	0,89
	Bisectriz	26,4	14,6	35,4						
	Transversal	25,8	14,6	39,2						
A - 2	Laminación	27,1	15,4	37,4	2,17	1,29	2,09	1,71	0,229	0,84
	Bisectriz	26,9	15,8	34,3						
	Transversal	26,3	15,6	35,9						

TABLA IV.—Grupo B de ensayos para la obtención de nuevas calidades de acero

Grupo de ensayos	Etapa diferenciadora en el proceso siderúrgico	RECOCIDO DESCARBURANTE EN DOS FASES				COMPOSICION QUIMICA, %				
		FASE I		FASE II		C	Mn	Al	P	S
		Temp., °C	Tiempo, h	Temp., °C	Tiempo, h					
B - 1	Estabilizado. Recocido descarburante en dos fases	710	11	700	21,8	0,004	0,35	0,045	0,025	0,020
B - 2	Estabilizado. Recocido descarburante en dos fases	710	11	650	15	0,004	0,35	0,045	0,025	0,020
B - 3	Estabilizado. Recocido descarburante en dos fases	710	11	580	14,5	0,004	0,35	0,045	0,025	0,020
Grupo de ensayos	Dirección de la probeta	CARACTERISTICAS MECANICAS								
		R kg/mm ²	E kg/mm ²	A %	r ₀₀	r ₄₅₀	r ₉₀₀	$\bar{r}$	n	Δr
B - 1	Laminación	25,9	16,6	39,6	1,81	1,105	1,86	1,47	0,230	0,73
	Bisectriz	27,2	16,8	39,9	—					
	Transversal	26,0	15,5	40,5						
B - 2	Laminación	27,2	17,6	38,6	—	—	—	—	—	—
	Bisectriz	27,5	17,3	41,2						
	Transversal	26,4	18,2	38,6						
B - 3	Laminación	28,5	18,6	38,6	1,77	1,09	1,84	1,447	0,226	0,715
	Bisectriz	28,0	18,2	37,3						
	Transversal	27,9	18,1	36,5						

TABLA V.—Grupo C de ensayos realizados para la obtención de nuevas calidades de acero

Grupo de ensayos	Etapa diferenciadora en el proceso siderúrgico	RECOCIDO DESCARBURANTE EN DOS FASES				COMPOSICION QUIMICA, %					
		FASE I		FASE II		C	Mn	Al	P	S	Ti
		Temp., °C	Tiempo, h	Temp., °C	Tiempo, h						
C - 1	Estabilizado. Recocido convencional	580	12	—	—	0,044	0,27	0,049	0,025	0,020	0,107
C - 2	Estabilizado. Recocido convencional	800	12,5	—	—	0,044	0,27	0,049	0,025	0,020	
C - 3	Calmao al titanio (importación)	—	—	—	—	0,024	0,32	0,011	0,012	0,016	
Grupo de ensayos	Dirección de la probeta	CARACTERISTICAS MECANICAS									
		R kg/mm ²	E kg/mm ²	A %	r ₀₀	r ₄₅₀	r ₉₀₀	$\bar{r}$	n	Δr	
C - 1	Laminación	30,8	22,6	39,6	1,73	1,085	1,82	1,43	0,218	0,69	
	Bisectriz	30,7	19,8	39,4	1,67						
	Transversal	30,5	19,6	38,2							
C - 2	Laminación	30,2	19,4	35,4	1,67	1,05	1,75	1,38	0,221	0,66	
	Bisectriz	30,5	20,2	35,6							
	Transversal	30,7	19,6	35,7							
C - 3	Laminación	31,6	15,8	38,8	1,83	1,72	2,35	1,905	0,250	0,37	
	Bisectriz	—	—	—							
	Transversal	—	—	—							

tivo, debe atribuirse en opinión del autor a la no inducción, por los precipitados de nitrógeno de aluminio, de la textura adecuada en el material estabilizado durante la primera fase del recocido, consecuencia de la pre-precipitación parcial de dichos nitrógenos durante la fase de bobinado en la laminación en caliente, ya que la práctica siderúrgica seguida en la planta de tratamiento en frío había sido correcta.

Sin embargo, es de señalar que, paralelamente al aumento del coeficiente de anisotropía normal, se produce un ligero aumento del índice de isotropía plana, lo cual no es positivo, en cuanto a la homogeneidad del comportamiento del material en el proceso de embutición se refiere.

- Del análisis de los resultados obtenidos en el grupo de ensayos B, cabe deducir que, para temperaturas iguales o inferiores a 700 °C en la segunda fase del recocido descarburante, no se obtiene ninguna mejora sensible en lo que al índice de anisotropía normal $\bar{r}$ se refiere, manteniéndose también prácticamente constantes los índices Δr y n .
- Asimismo, no se obtiene ninguna mejora en los índices de embutibilidad cuando se aplican sobre materiales estabilizados, recocidos convencionales a temperaturas superiores a las normales, tal y como puede verse en el grupo de ensayos C-2.

Los resultados aquí reseñados se encuentran en perfecta concordancia con los trabajos de Matsudo et al. (12), debiendo matizarse lo expuesto por Wise et al. (11), en el sentido de que el aumento del tamaño de grano producido y la subsiguiente elevación del índice de anisotropía normal $\bar{r}$, no son únicamente función de la elevación de la temperatura, sino que ambos son posibilitados por el proceso de descarburación previo al que se somete dicho acero.

Por lo tanto, de los trabajos aquí expuestos, podemos señalar a modo de conclusión final:

1. Aun a pesar de no haberse alcanzado plenamente el objetivo propuesto, por las causas anteriormente mencionadas, se hace posible mejorar el índice de anisotropía normal, $\bar{r}$, en los aceros calmados y estabilizados con aluminio. Esta mejora se logra mediante la modificación propuesta por el autor para el proceso siderúrgico convencional, consistente en un recocido descarburante en dos fases, en sustitución del tradicional recocido en bobina cerrada.
2. Mediante la introducción de esta variante, es posible obtener un nuevo producto siderúrgico para embuticiones extraprofundas, siendo este material no envejecible, con el nitrógeno fijado en forma de nitrógenos y el carbono eliminado mediante el proceso descarburante en

bobina abierta, teniendo además en el caso de los aceros estabilizados las propiedades superficiales de un acero efervescente.

6. REFERENCIAS

- (1) GOPINATHAN, V.: *Plasticity Theory and its Application in Metal Forming*. Wiley Easter Ltd., 1982, Nueva Delhi (India).
- (2) STÜWE, H. P., y FAUSTMAN, J.: *Introducción a las texturas de los materiales metálicos*. Editorial Montecorvo. Madrid, 1969.
- (3) Información de la Nippon Steel. C.A.L.P. Technology. 6-3 Otemachi 2 Chome, Chiyoda-Ku. Tokio (Japón).
- (4) ARMCO Steel Corp. 703 Curtis Street Middletown, Ohio (EE. UU.). Memoria descriptiva de Patente p. 23.01, 308.3. Oficina de Patentes. Rep. Fed. de Alemania.
- (5) KAZUO MATSUDO y KAZUHIRO NAKAOKA: Effect of Processing Conditions on the Deep Drawability of Cold Rolled Steel Sheet. 4th Interam. Conf. on Mater. Technol. (Proc.), Caracas (Venezuela), 29 junio-4 julio 1975.
- (6) LANKFORD, W.; SNYDER, S. C., y BAUCHER, J. A.: New Criteria for Predicting the Press Performance of Deep Drawing Sheets. *Trans. A.S.M.*, 42 (1950), pp. 1197-1232.
- (7) Referencia 2, pp. 209-280.
- (8) PELEGRI, E. A.; VERDEJA, J. I., y PERO-SANZ, J. A.: Parámetros mecánicos estructurales y orientaciones preferentes de chapas de acero dulce para embutición, *Dyna* (1976), 2, pp. 73-80.
- (9) MEYZAUD, Y.; MICHAUT, B., y PARNIERE, P.: Precipitation-Recrystallization Interaction and Texture Development in Al-Killed Low Carbon Steel. Texture and the Properties of Materials (4th Intern. Conf. on Texture, Cambridge, junio 1975), pp. 255-265 (256). The Metals Society. 1 Carlton House Terrace. Londres, SW 1Y5 DB.
- (10) TAKECHI, H.: *J. J. STP*, 12 (1971), 85.
- (11) WISE, D. E.; KARLYN, D. A., y VIET, R. W.: Sheet Steel. Micrometallurgy by the Millions, *Trans. A.S.M.*, 61 (1968), pp. 653-679 (667).
- (12) KAZUO MATSUDO y SHIMOMURA, T.: Effect of Carbon Content on Deep Drawability of Rimmed Steel Sheet, *Tetsu-To Hagane*, 56 (1970), 1, pp. 28-43.
- (13) KARLYN, D. A.; WIETH, R. W., y FORAND, J. L.: AIME Mechanical Working Conf. Pittsburg, PA. Enero 1969.
- (14) GIBBONS, V. J.: Open-Coil Annealing. *Sheet Metal Ind.* (1961), mayo, pp. 341-348.
- (15) BAUCHER, J. A., y MAGOR, J. K.: Open-Coil Annealing: Commercial Applications and Current Development. I.S.I. Special Report, 79 (1963), pp. 34-42.
- (16) BAUCHER, J. A.: Use of Open-Coil Process to Change Composition and Improve Sheet Steel. *Iron Steel Eng.* (1961), mayo, pp. 73-84.
- (17) ARNOLD, J.: Show Way to Gas Annealing. *Iron Steel Eng.* (1960), agosto, pp. 91-111.
- (18) MAINWARING, W. T.: Recent Developments in Hydrogen-Nitrogen Supply Systems for Furnace Atmosphere Control. *Iron Steel Eng.* (1967), octubre, pp. 115-125.
- (19) IBARRONDO, I.: Contribuciones a la optimización del procedimiento *open-coil*. Tesis doctoral. E.T.S.I.I. de Bilbao (Universidad del País Vasco), mayo 1980.
- (20) IBARRONDO, I.: Contribuciones a la optimización del procedimiento *open-coil*. V Asamblea General del CENIM. Tomo II (T-74), octubre 1981, Madrid.
- (21) IBARRONDO, I.: Contribuciones a la optimización del procedimiento *open-coil*. *Dyna* (1982), 11, pp. 25-29.