

Fallas en la zona del molde que afectan a la colada continua de tubos de cobre^(*)

J.M. Rodríguez^(*), J. Montecinos^(*), L. Barrera^(*) e Y. Yurac^(*)

Resumen Se midió la razón entre el flujo del refrigerante y la velocidad de colada y se determinó cuál es el valor apropiado para evitar atrasos o adelantos del frente de solidificación. Por otra parte, mediante un flujo variable de N₂ a la salida de los tubos de cobre, se logró mejorar la transmisión de calor en el molde y mejorar también la calidad interna de los tubos colados.

Palabras clave: **Fallas. Colada continua. Tubos. Cobre.**

Failures in the mould zone which affect to the continuous casting of copper tubes

Abstract It has been measured the ratio between the refrigerant flow and the casting speed and the appropriate range of this ratio to avoid the advance or delay of the solidification front has been determined. By means of a variable flow of N₂ at the exit zone of the copper tubes the improvement of heat transmission in the mould and of the internal surface quality of the cast tubes was achieved.

Keywords: **Defects. Continuous casting. Copper. Tubes.**

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de colada continua de tubos de cobre está afectado, tanto en su viabilidad técnica como en la calidad del producto, por las fallas que se ocasionan en la zona del molde.

Por lo antes expuesto, se justificó como objeto de estudio prevenir el problema de detención de la colada por fallos mecánicos del molde probando con distintos materiales de grafito o con materiales compuestos con mejores propiedades mecánicas y que garanticen las propiedades térmicas adecuadas para el proceso de colada continua de tubos de cobre.

También se estudió el modo de prevenir el atraso del frente de solidificación (interfase líquido sólido) para evitar el atascamiento subsiguiente. Además, se investigó la influencia que tiene el nitrógeno gaseoso soplado a la salida del tubo de cobre en la calidad de éste.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para prevenir el fallo por rotura del molde interior debido al esfuerzo de tracción, se probaron otros materiales distintos del grafito con mayor resistencia mecánica que éste, pero no dieron resultado porque no reunían las propiedades térmicas y superficiales adecuadas para el proceso.

A continuación, debido a las insuperables ventajas térmicas y superficiales del grafito, se volvió a este material pero reforzado, para aumentar su resistencia mecánica. El grafito, como material para fabricar el molde, en un proceso de colada continua de cobre, ofrece importantes ventajas que se han comprobado en trabajos anteriores (1-6) y que son, fundamentalmente, las siguientes:

- Baja mojabilidad por los metales fundidos.
- Alta resistencia térmica y química.
- Muy elevada resistencia al choque térmico.
- Buenas propiedades lubricantes frente a la fricción.
- Bajo coeficiente de expansión térmica.
- Elevada conductividad térmica.

Sin embargo, el molde interior de grafito suele fallar por falta de resistencia mecánica adecuada

(*) Trabajo recibido el día 12 de febrero de 1997.

(*) Dpto. de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica. Pontificia Católica Universidad de Chile. Casilla 306. Correo 22. Santiago (Chile).

para los esfuerzos críticos de tracción. Por este motivo se ensayaron diferentes tipos de refuerzo para incrementar su resistencia mecánica y así aumentar su vida útil.

Para prevenir las detenciones accidentales de la colada por atascamiento, se estudió el retraso del frente de solidificación variando la extracción de calor desde el molde interior mediante cambios en la razón r = (flujo de agua/velocidad de colada) y mediante cambios en el área de la superficie de la rosca entre el molde interior y el molde exterior.

Para estudiar cómo se puede disminuir la formación de óxido de cobre y del *gap* de monóxido y dióxido de carbono en la zona de solidificación del cobre, se soplaban nitrógeno gaseoso con distintos flujos a la salida de los tubos.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la figura 1 se presentan el diseño y las principales características de los materiales elegidos para el molde exterior y el molde interior de la máquina de colada continua de tubos de cobre. Se obtuvo, como resultado del estudio, que el grafito era insuperable desde el punto de vista de las propiedades térmicas y superficiales, pero que debía ser reforzado para aumentarle la resistencia mecánica frente a las sollicitaciones del proceso. El refuerzo consistió en una pieza de acero inoxidable AISI 420, hueca, de 1 mm de espesor y 60 mm de longitud, separada de la zona por donde entra el cobre por un tapón de grafito para que el cobre líquido no la toque directamente. A continuación del espacio hueco de la pieza de refuerzo sigue el espacio hueco del molde interior de grafito, lo que tiene la ventaja de que al disminuir la transmisión de calor en la dirección de colada se evitan situaciones como *jj* (Fig. 1) en la cual, en vez de un tubo, se obtiene una barra.

Soplado N_2 en la zona de salida del tubo (Fig. 1) se obtuvo como resultado que al aumentar el flujo de N_2 aumentaba el valor porcentual de reducción de área y disminuía, en general, el tamaño de grano, tal y como muestra la tabla I.

En cuanto a los atascamientos por atraso del frente de solidificación, se observó que lo más efectivo para evitarlos era aumentar r .

Los aumentos del área de la superficie roscada entre el molde interior y el molde exterior fueron irrelevantes desde el punto de vista de la extracción de calor desde el molde interior.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fue conveniente que la pieza de refuerzo del molde interior fuera de un acero inoxidable del tipo AISI 420 porque, como se sabe, tiene bastante

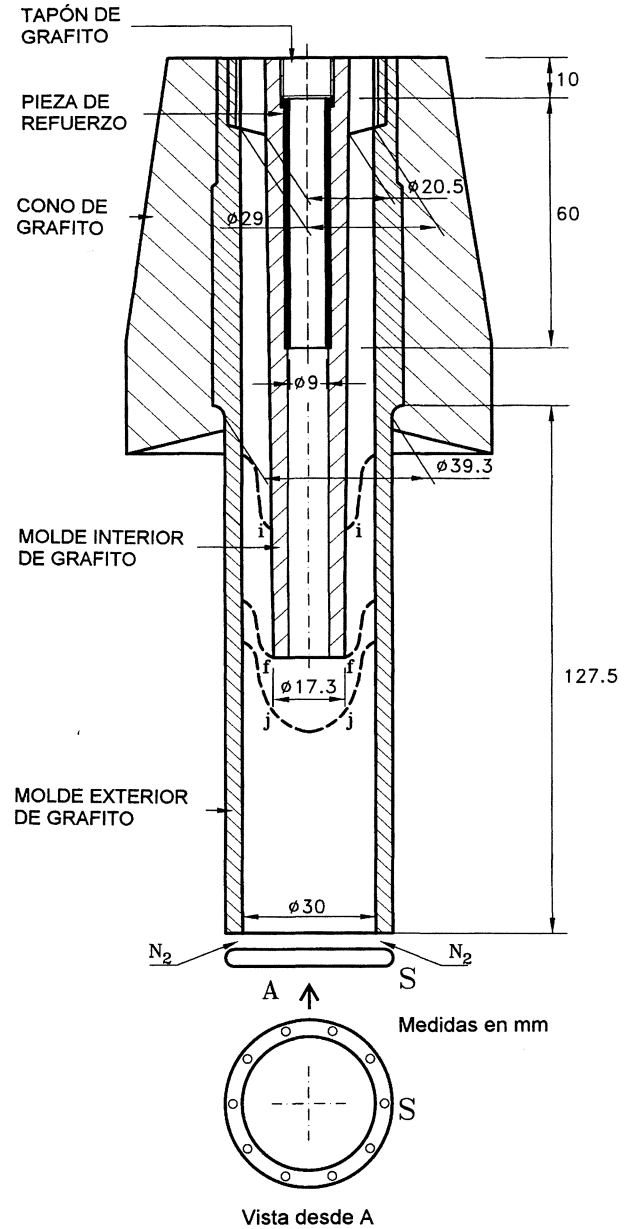


FIG. 1.— Molde para colada continua de tubos de cobre.

FIG. 1.— Mould for continuous casting of copper tubes.

resistencia incluso aun a pequeños espesores y, además, buenas propiedades para resistir el cobre líquido en caso que éste se introduzca en la rosca del tapón que está en la parte superior de la pieza de refuerzo.

Cuanto mayor sea el espacio hueco dentro de la pieza de refuerzo y mayor sea el espacio hueco dentro del molde interior, menor será la transmisión de calor en la dirección de colada y, por lo tanto, disminuye la probabilidad de tener situaciones como *jj* (Fig. 1) en la cual, en vez de un tubo, se obtiene una barra (4 y 5).

TABLA I.— Colada continua de tubos de cobre de 30 mm de diámetro exterior y 6 mm de espesor obtenidos bajo condiciones de soplado de diferentes flujos de N₂ a la salida y partiendo de cobre electrolítico

TABLE I.— Continuous casting of copper tubes with an external diameter of 30 mm and a thickness of 6 mm obtained under different N₂ blow conditions at the exit and starting from electrolytic copper

Número de colada	Velocidad de colada, cm/min	Flujo de N ₂ a la salida, L/min	Reducción de área a la tracción, %	T cobre entrada del molde, °C	Flujo de H ₂ O L/min	Tamaño de grano, mm
1	22	0	38,33	1.190	0,60	2,52
2	21	0	57,26	1.066	0,50	3,01
3	20	9	56,35	1.126	0,70	1,20
4	16	16	76,66	1.126	0,70	1,01
5	16	24	79,43	1.126	0,70	1,00
6	28	8	61,03	1.120	0,40	1,50
7	28	16	65,93	1.120	0,40	2,00
8	28	24	72,80	1.120	0,40	1,45

El soplado de N₂ a la salida de los tubos evita que entre aire con oxígeno y humedad, con lo cual se evita el desgaste por oxidación del molde de grafito y el *gap* de CO/CO₂ que, junto con una película de óxido de cobre, dificultan la transferencia de calor. Así, el soplado de N₂ mejora la transferencia de calor produciendo en la solidificación granos más finos y menor grado de impurezas intergranulares, como muestran las figuras 2 y 3 al compararlas con las figuras 4 y 5 que se obtuvieron sin soplado de N₂.

En cuanto al hecho de que a través de la razón *r* se aprecie el peligro de un atascamiento por atraso del frente de solidificación (Fig. 6) o derrame de cobre

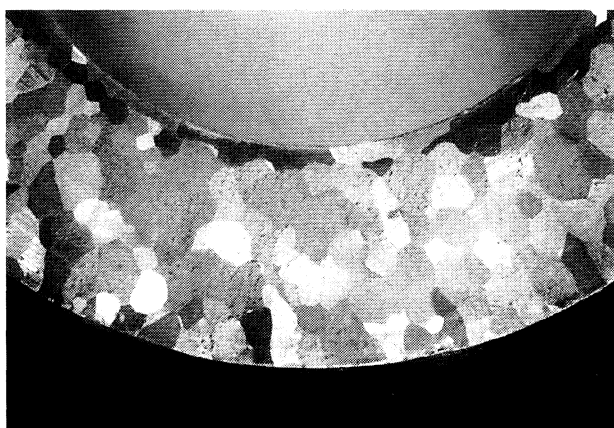


FIG. 2.— Estructura granular de los tubos colados soplando N₂ a la salida. × 7. (Reproducida en imprenta al 64%)

FIG. 2.— Grain structure of the casting tubes blowing N₂ at the exit. × 7. (Printed reproduction at 64%)

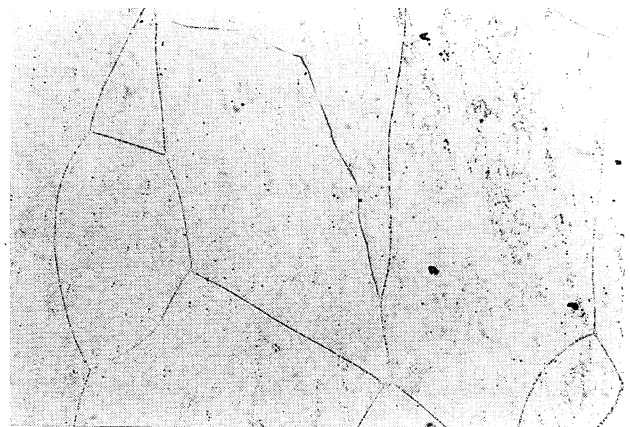


FIG. 3.— Límites de granos de tubos colados soplando N₂ a la salida. × 100. (Reproducida en imprenta al 64%)

FIG. 3.— Grain limit of the casting tubes blowing N₂ at the exit. × 100. (Printed reproduction at 64%)

líquido por adelante de dicho frente, muestra la importancia del control informático del flujo de refrigerante y de la velocidad de colada de los tubos (7).

En la figura 6 se muestra un trozo de tubo en el cual la solidificación empezó dentro de los agujeros de entrada del cobre en el molde interior que aparece superpuesto en dicha figura. Las barbas del tubo son prueba de lo que se afirma y pueden frenar la colada por fricción dentro de los agujeros cuando se producen cambios térmicos.

Para evitar atascamientos de la colada o derrames de cobre, la razón $r = \text{flujo de H}_2\text{O} / \text{velocidad de colada}$ debe estar en el intervalo: $0,014 \leq r \leq 0,044$, como se ve en la tabla I.

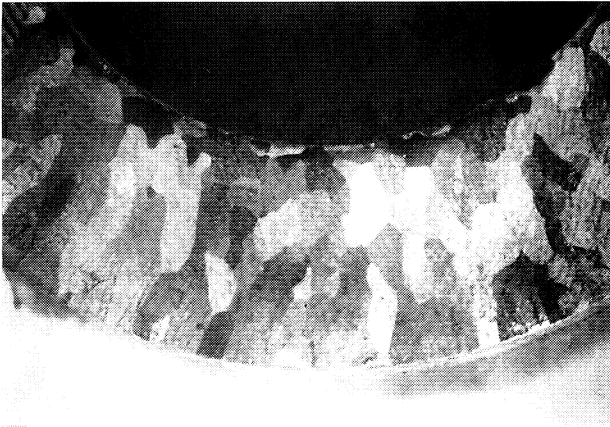


FIG. 4.— Estructura granular de los tubos colados sin soplar N_2 a la salida. $\times 7$. (Reproducida en imprenta al 64%)

FIG. 4.— Grain structure of the casting tubes without N_2 blow at the exit. $\times 7$. (Printed reproduction at 64%)

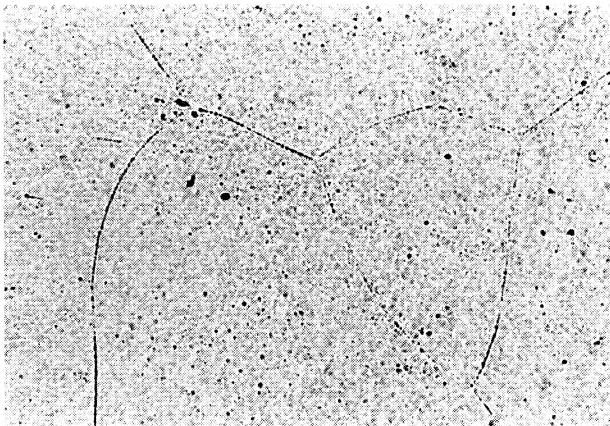


FIG. 5.— Límites de granos de tubos colados sin soplar N_2 a la salida. $\times 100$. (Reproducida en imprenta al 64%)

FIG. 5.— Grain limit of the casting tubes without N_2 blow at the exit. $\times 100$. (Printed reproduction at 64%)

5. CONCLUSIONES

El grafito tiene propiedades térmicas y superficiales insuperables para la colada continua de tubos de cobre, pero el molde debe ser armado interiormente con un refuerzo de acero inoxidable para que resista adecuadamente las tracciones críticas.

Soplado N_2 en la zona de salida de los tubos, se mejora la calidad de estos, tanto más cuanto mayor sea el flujo de este gas.

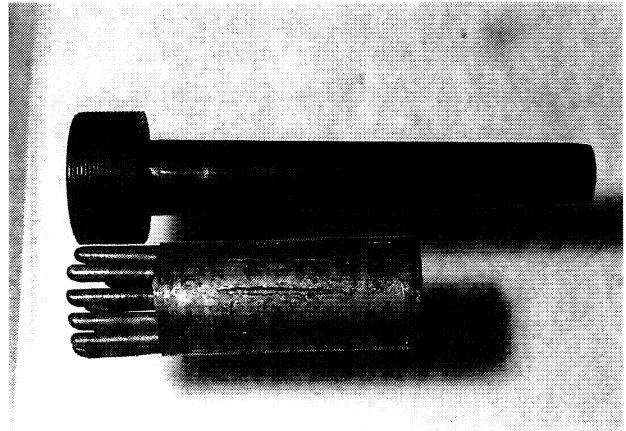


FIG. 6.— Trozo de tubo que muestra la solidificación prematura.

FIG. 6.— Piece of tube that shows the premature solidification.

Para evitar atascamientos de la colada o derrames de cobre líquido, la razón entre el flujo de agua y la velocidad de colada debe mantenerse entre 0,014 y 0,044.

Agradecimiento

Los autores desean mostrar su agradecimiento al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), a través del proyecto 1960364, gracias al cual fue posible realizar este trabajo de avance.

REFERENCIAS

- (1) RODRIGUEZ, J.M. y CASTILLO, R. *Rev. Metal. Madrid*, 24 (1), 1988: 3-7.
- (2) RODRIGUEZ, J.M., MATURANA, R. y VON STORCH, J. *Wire*, 39 (2), 1989: 125-128.
- (3) RODRIGUEZ, J.M. y MONTECINOS, J. *Wire*, 40 (5), 1990: 533-537.
- (4) RODRIGUEZ, J.M. y MONTECINOS, J. *Wire*, 41 (5), 1991: 409-414.
- (5) RODRIGUEZ, J.M. *Wire*, 43 (2), 1993: 113-115.
- (6) RODRIGUEZ, J.M. *Giessereiforschung*, 46 (4), 1994: 122-124.
- (7) MONTECINOS, J. y RODRIGUEZ, J.M. *Anales IBEROMET*. Universidad de Santiago de Chile. 1990: 185-197.