

desenvolvimento de um circuito para o controle de tamanho de zona no processo de purificação de metais por fusão zona horizontal

Paulo Roberto Wel, Eng^o Mec. M.Sc.; Luis Carlos Barbosa, Físico, M.Sc.; Maurício Prates de Campos Filho, Dr. Eng.

Universidade Estadual de Campinas - Dept^o Eng. Metalúrgica
Projeto Materiais de Usina Eletrotécnica - TELERJUS - BRASIL

RESUMEN

Foi desenvolvido um circuito para o controle automático do tamanho de zona no processo de fusão zona horizontal. Este circuito consiste de dois termopares colocados nas extremidades de cada uma das alas do material a ser purificado e outro junto ao resistor de forno. As variações geradas nestes termopares são somadas por um potenciômetro e enviadas a um controlador de temperatura, fazendo este fornecer uma maior potência para a região central do lingote e menor nas extremidades. Este circuito automático bastante simples de ser construído apresenta um bom desempenho na purificação do estanho, onde reduziu as variações do tamanho de zona de 43 para menos de 5%.

F. J. J. J.

IN

2,3) e co

ta de de

que m

za de c

do de m

do tam

de um e

estudo e

onal em

por 1111

11111111

onal de m

zando o

F. J. J. J.

3,3

ramos de

de

ção e m

no sim

11111111

variáveis

111

grupos de

11111111

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1. Introdução

Durante a purificação de metais por fundo zonal (1), o comprimento da zona líquida varia ao longo do tempo devido às mudanças nas condições de extração de calor - que ocorrem ao longo deste (2). O desenvolvimento de um sistema de controle de tamanho de zona ternário passível e a utilização de métodos matemáticos aplicados à purificação por fundo zonal onde se supõe que o tamanho de zona é constante, permite o tamanho de zona controlado δ que se pode fazer um estudo sistemático sobre a eficiência do processo de fundo zonal em função deste parâmetro. Também este sistema pode ser utilizado nos processos de purificação por fundo zonal (formate vertical), crescimento de monocristais a fundo zonal de materiais com alta condutividade térmica onde o controlado tamanho de zona é extremamente crítico.

2. Técnica experimental

A montagem utilizada nas experiências de controle do tamanho de zona é visto na figura 2.1.

Calculam-se vários tempos característicos em um gráfico e move-se a zona líquida ao longo deste, registrando-se simultaneamente a temperatura dos termopares. O registrador utilizado foi o PHILIPS - FM 5331, com registro por temperatura de até 32 termopares.

Foram feitas experiências com os mesmos eletrônicos operacionais. Estas condições foram:

- velocidade da zona (cm/h) 25
 - velocidade do papel no registrador (cm/h) 12
 - diâmetro da lingote (cm) 1,2
 - comprimento do lingote (cm) 30
- A partir dos dados da figura 2.2 calculou-se o tamanho de zona (l_z) utilizando-se a seguinte fórmula:

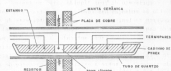


Fig. 2.1—SCHEM DE ALIMENTARE PENTRU CONTROLUL TEMPERATURII DE FURN.

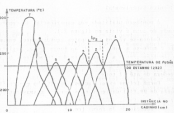
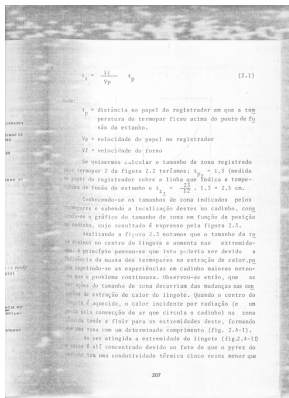


Fig. 2.2—REGISTRUL DE TEMPERATURI DE PUNCT DE STABILIZARE DE LA FURN.



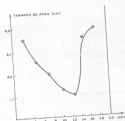


Fig. 5.3 - VARIATIA TANGENTEI DE UNGI ROTANTE A FIILULI PLECI, DE UN LUMINTE DE STRANCI.

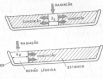


Fig. 5.4 - MĂSURAREA UNGI ROTANTE DE CALDI ROTANTE A FIILULI PLECI. (1) UNGI DE UN LUMINTE DE STRANCI; (2) UNGI DE UN LUMINTE DE STRANCI.

o do estado, atuando como isolante térmico (a condutividade térmica do vidro é $11,7 \cdot 10^{-3} \text{ kcal/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ e a do estanho é $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ kcal/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

3. Método de controle

Um método de se controlar o problema da variação de tensão de tensão é simular uma função que atua no controle da temperatura, fazendo com que este forneça uma tensão ao resistor do forno no resili central de ligação e elimine-a nas extremidades deste. Isto foi realizado simulando-se em tempo real em cada extremidade do ligante - conforme a figura 2.1. A temperatura alcançada por este método durante a fase inicial é observada na mesma figura. Os eixos são tempo e um potenciômetro de fio linear. Na figura 2.2 são mostrados o circuito simulador mostrado na figura 2.1 onde temos:

$$T_1 = T_2 + T_3 + T_4 \quad (2-1)$$

T_1 = temperatura do tempo 1

T_2 = temperatura do tempo 2

T_3 = temperatura do resistor do forno

T_4 = temperatura de retroação do controlador de temperatura.

Esta simulação pode ser melhor entendida se tomarmos um exemplo prático. Supondo-se que na figura 2.1, tendo como as seguintes temperaturas no gráfico T_1 , T_2 ($T_1 = 100^\circ\text{C}$, $T_2 = 10^\circ\text{C}$, $T_3 = 100^\circ\text{C}$ e o controlador de temperatura foi ajustado para 100°C (a temperatura do controlador de temperatura é fixa, não variando com a posição). Ajustando-se o potenciômetro para 50,2 (o que equivale a dizer que o potenciômetro

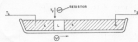


Fig. 8.4. Esquema para controle de temperatura de zona, mediante a posição dos sensores de temperatura por dois pontos de medida a uma única zona.

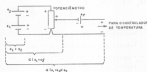


Fig. 8.5. Sistema aplicado para o controle de temperatura de zona.

vo de fluxo
(m/s), tem

$$= (T_1$$

$$8.2 ($$

de seja com
em seu nível
que não
de resistir
superfície,
até a sempre

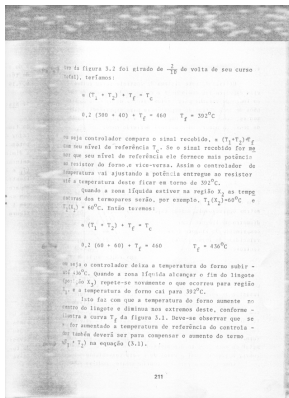
Quando
resolvido, tem
 $T_1(T_2) = 60^\circ$

$$= (T_2$$

$$8.2 ($$

de seja o co
até 200°C. Q
posição T_1
 $T_2 =$ a temp

Inte
contro de t
lustra a co
e ... amos
no estado d
 $T_1 + T_2$ na



na figura 3.2 foi girado de $-\frac{1}{10}$ de volta de seu curso
(40), resultando:

$$= (T_1 + T_2) + T_c = T_d$$

$$9,2 (300 + 40) + T_c = 450 \quad T_c = 302^\circ\text{C}$$

Se o controlador compara o sinal recebido, a $(T_1 + T_2)$, com
seu nível de referência T_c . Se o sinal recebido for me-
nor que seu nível de referência ele fornece mais potência
ao motor do forno a vapor. Assim o controlador de
temperatura vai ajustando a potência entregue ao resistor
até a temperatura deste ficar em torno de 302°C .

Quando a zona líquida estiver na região 2, ao tempo
curvo dos segundos acima, por exemplo, $T_1(T_2) = 400^\circ\text{C}$ e
 $T_2(T_1) = 40^\circ\text{C}$. Então teremos:

$$= (T_1 + T_2) + T_c = T_d$$

$$9,2 (40 + 40) + T_c = 450 \quad T_c = 450^\circ\text{C}$$

Se o controlador deixa a temperatura do forno subir -
até 450°C . Quando a zona líquida alcançar o fim do ligante
(3), a T_1 e T_2 repetem-se novamente e que ocorreu para região
1, a temperatura do forno cai para 302°C .

Isso faz com que a temperatura do forno oscile no
centro do ligante e dista nos extremos desta, conforme a
curva T_d da figura 3.1. Deve-se observar que se
for aumentada a temperatura de referência do controlador
ou talvez devê-lo ser para compensar o aumento de termo-
resistividade $(T_1 + T_2)$ na equação (3.1).

4. Resultados obtidos

Utilizando este sistema de controle foram feitas várias experiências medindo-se a variação do tamanho de zona ao longo do tempo para vários valores de ω . Com os tangentes de zona variam de experiência para experiência utilizou-se, como parâmetro comparativo, a variação do tamanho de zona, em número adimensional definido como:

$$\Delta L = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

onde L_1 = tamanho de zona num ponto qualquer da lingote

L_0 = tamanho de zona no centro da lingote

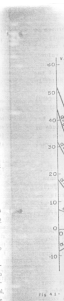
Na figura 4.1 observa-se as variações do tamanho de zona ao longo do lingote para vários valores de ω . Os parâmetros operacionais desta experiência foram:

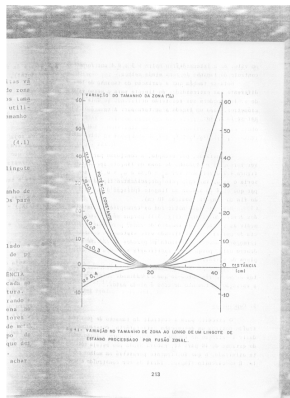
diâmetro do lingote (cm)	2,5
comprimento do lingote (cm)	40
velocidade de ferro (cm/s)	25
controle de temperatura	EMER 1000 acoplado a uma fonte dupla de 72 voltagem (relé).

Nesta gráfica a curva onde está escrito "POTENCIA CONSTANTE" indica que uma corrente constante é aplicada ao resistor do forno, sem haver um controle de temperatura.

Observa-se que com o circuito de controle "aprimorado" entre 0,3 e 0,4 consegue-se uma variação pequena no tamanho de zona (menor que 0). Obviamente estes valores são específicos para as condições utilizadas (tipo de metal, formato do cadinho, etc.) e se utilizarmos outro tipo de metal ou variarmos as dimensões do cadinho teremos que ajustar novamente com o valor de ω mais conveniente.

Como podemos verilar e continuamente, mede-se achar





um valor de α intermediário entre 0,2 e 0,4 nos fornece um controle do tamanho de zona ainda melhor.

Nota-se também que a variação do tamanho de zona é diferente nas extremidades do lingote para o mesmo valor de α . Isso poderá ser resolvido utilizando-se dois potenciômetros, cada um ligado a um termopar. A equação 3.1 ter-se-ia então:

$$\alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + T_2 = T_c \quad (4.2)$$

Outorgamos, por exemplo, a conclusão para não haver variações no tamanho de zona de lingote apresentado na figura 4.1. deveríamos ter $\alpha_1 = 0,35$ e $\alpha_2 = 9,55$, onde α_1 seria o valor indicado pelo potenciômetro ligado ao termopar que está no início do lingote (posição 1 cm), e α_2 o do fim do lingote (posição 40 cm).

Deve-se ainda notar que os termopares foram colocados dentro do estanho (fig. 3.1) porque só se funcionam melhor as variações do tamanho de zona, porém essa experiência de purificação utilizando este sistema de controle os termopares devem ficar junto às paredes de chumbo e não dentro dele, porque isto facilitaria a queda da interface plana de solidificação.

Estas experiências foram feitas em cadinhos expostos ao ar, porém notamos que em cadinhos selados a vácuo, a variação do tamanho de zona é ainda melhor.

5. Conclusões

O circuito para o controle do tamanho de zona construído mostrou um desempenho satisfatório, conseguindo reduzir a variação do tamanho de zona durante a fusão normal do estanho de 4,0 para 0,1, embora ainda não esteja totalmente otimizado, o que futuramente permitirá um melhor controle. É um circuito simples, fácil de ser construído e poder

1. Inst. Inf.
purificac
2. Garoto
3. U
4. TILKER
Projeto 2
convolv
SAS (SP)
7. Bibli
8. FVano,
Proc. Ye
9. Lind.
p. 98
Proc. Ye
10. Chald
Leman
11. Reich,
Proc. I
coties
Compte

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100

É se utilizada tanto no crescimento de cristais como na
 solidificação por fusão usual horizontal ou vertical.

1. Graduacionista

O presente trabalho contou com o suporte financeiro
 da TELEBRÁS - Telecomunicações Brasileiras S/A através do
 Projeto 822 - Materiais de Grau Eletrotécnico, que está sendo
 desenvolvido na Faculdade de Engenharia da UNICAMP - CAMPUS
 III (CP) - BRASÍLIA.

2. Bibliografia

1. Flynn, W.: Zone Melting, p.1
 New York, Wiley, 1966

2. Tiel, W. y Wilson, W.S.: Fractional Solidification, vol 1
 p.31
 New York, Marcel Dekker, 1967.

3. Mikishewski, W.: Zone Melting, p.2
 Garmar, Verlag Chemie, 1966.

4. Wick, R. y Montarini, P.: "Sur la stabilisation de la
 zone fondue et l'application de ce procédé à la purification
 de l'étain"
 Comptes Rendus, vol. 251, 1960, p.2941

218