



INFLUÊNCIA DA FORMA DE DEPOSIÇÃO DO METAL NA QUALIDADE MICROESTRUTURAL DE TIRAS DE METAL LEVE.

Adinan Tomaz da Silva

Universidade Federal Fluminense – adinan.silva@bol.com.br

Luciana Torres

Universidade Federal Fluminense – luciana.torres@uol.com.br

Pedro Gutemberg Q. Netto

Universidade Federal Fluminense – pedro@metal.eeimvr.uff.br

Resumo: *Dentre os processos “Near-Net-Shape-Casting”, que envolvem principalmente o lingotamento de tiras, o lingotamento em máquina de cinto único, “single-belt casting”, tem-se mostrado bastante promissor, já que é o único processo que tem condições de alcançar uma produtividade similar à do lingotamento contínuo convencional. Realizou-se experimentos de lingotamento de tiras da liga Al-11,6%Si em um simulador físico de uma máquina de cinto único. Tais experimentos visaram estudar a influência da forma de deposição de metal líquido sobre substrato móvel, na taxa de resfriamento do metal e, conseqüentemente, na qualidade microestrutural de tiras produzidas via lingotamento em cinto único. Utilizou-se dois diferentes sistemas de alimentação de metal: distribuidores reto e de base inclinada a 45°. Termopares localizados no cinto mediam temperaturas para o cálculo de fluxo de calor na interface metal/substrato. Mediu-se o espaçamento dendrítico secundário (SDAS) em amostras retiradas das tiras lingotadas. As tiras produzidas com o distribuidor de base inclinada apresentaram microestrutura mais refinada do que aquelas lingotadas com o distribuidor reto. Em todas as tiras, os valores de SDAS foram menores junto à superfície inferior, devido às maiores taxas de resfriamento naquela região. Tiras produzidas sob as duas condições de deposição (distribuidor reto e de base inclinada) não apresentaram significativa segregação.*

Palavras-chave: *microestrutura, deposição de metal, lingotamento de tiras.*

1. INTRODUÇÃO:

Os principais projetos de desenvolvimento dos chamados processos “Near-Net-Shape-Casting” visam a produção de placas finas e tiras. Uma das principais características desses novos processos é a ocorrência de solidificação rápida devido às elevadas taxas de resfriamento, que por sua vez são decorrentes de um contato “íntimo” entre o metal líquido e o substrato. Tal fenômeno influencia diretamente a microestrutura do material e, conseqüentemente, as propriedades mecânicas do mesmo.

Estudos realizados por Spitzer et al. (1995) com aço inox têm mostrado que tiras produzidas a partir de processos que envolvem solidificação rápida apresentam tamanho de grão reduzido, espaçamento dendrítico secundário pequeno, micro e macrosegregação comparáveis àquelas encontradas em amostras retiradas do centro de placas lingotadas convencionalmente. De acordo com Wang et al

(1996), o contato entre metal líquido e substrato dependerá de algumas variáveis de processo, tais como: superaquecimento (diferença entre a temperatura de vazamento do metal e a sua temperatura de fusão), rugosidade da superfície do substrato e velocidade do substrato. A transferência de calor entre o metal líquido e o cinto em movimento também é influenciada pela forma de deposição do metal líquido sobre o cinto (substrato), como mostra estudo feito por Scholz et al (1993).

Os trabalhos reportados, na literatura, apresentam sistemas de alimentação regulados basicamente por pressão ou gravidade (conforme Scholz et al (1993)). Segundo os pesquisadores, a deposição do metal líquido sobre o substrato deve atender às seguintes exigências: a velocidade relativa média entre o metal líquido e cinto deve ser aproximadamente zero no ponto de alimentação, ou seja, o metal deve “deitar” sobre o cinto; devendo ser alimentado sobre o mesmo na forma de um filme com largura e espessura iguais às da tira a ser lingotada.

O objetivo do presente trabalho foi estudar a influência de dois diferentes sistemas de deposição de metal líquido, na transferência de calor interfacial (metal/substrato) e, conseqüentemente, na qualidade microestrutural de tiras de metal leve produzidas em máquina de cinto único.

2. METODOLOGIA:

Realizou-se experimentos de lingotamento de tiras da liga Al-11.6%Si, utilizando-se um simulador de uma máquina de cinto único. A Figura (1) mostra o sistema experimental utilizado no lingotamento das tiras.

O sistema experimental é composto por um distribuidor (sistema de alimentação), um forno elétrico, uma barra de aço (substrato), um copo de aço, um sistema pneumático e uma interface para aquisição das temperaturas medidas por termopares do tipo K inseridos em dois orifícios localizados na parte central da barra de aço, como mostra a Fig. (1). A interface é conectada a um microcomputador. O substrato ou molde era composto por uma barra de aço comum onde foi usinado um canal com 70 mm de largura, 800 mm de comprimento e 2 mm de profundidade.

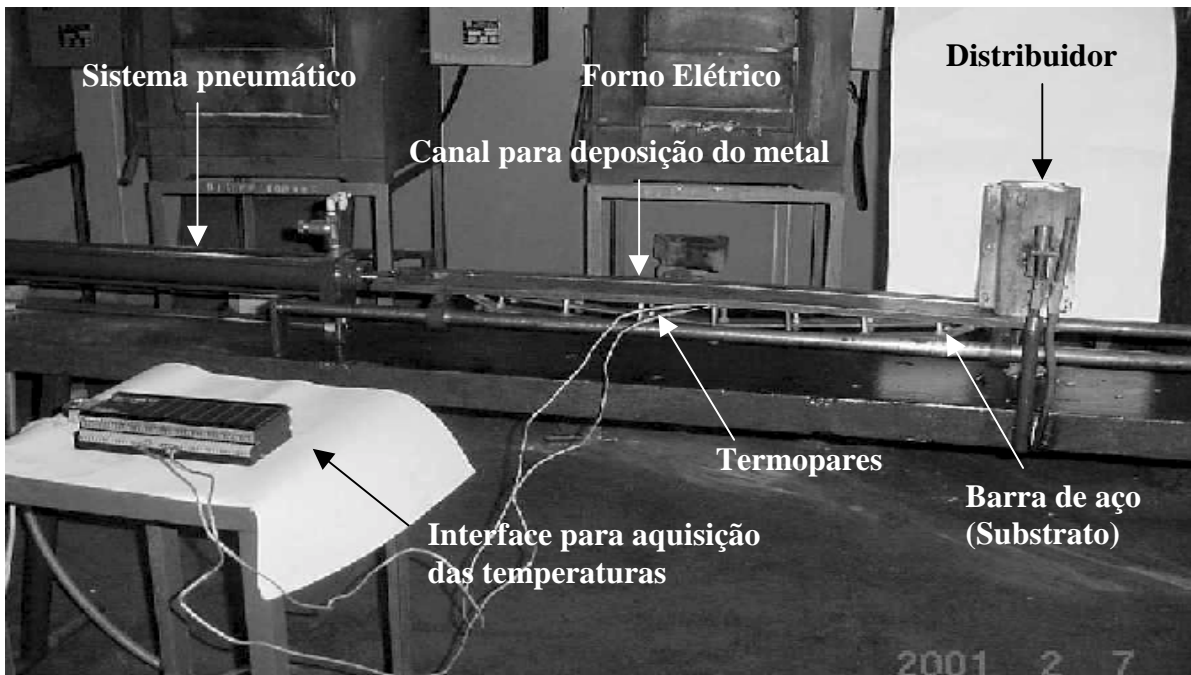


Figura 1. Sistema experimental.

Utilizou-se dois diferentes distribuidores, quais sejam: reto e de base inclinada a 45°. Experimentos foram realizados com os dois sistemas de alimentação. A liga foi fundida no forno, dentro de um cadinho de carbetto de silício. O vazamento do metal do cadinho para o distribuidor foi feito através do copo de aço. O volume do copo era cerca de 30% maior que o volume do canal existente na barra. Com o objetivo de evitar um possível efeito de turbulência no início do ensaio, o que afetaria a qualidade superficial da tira lingotada, o metal era mantido no distribuidor por cerca de 7 segundos após o vazamento. Em seguida, o sistema pneumático era acionado, empurrando e deslocando a barra de aço de modo que o metal depositava-se no canal.

A distância percorrida pela barra foi de 960 mm. A velocidade desenvolvida durante esse percurso pôde ser estimada com o auxílio de um cronômetro digital com precisão de 0,01 s. O cinto partia da inércia e atingia uma velocidade de aproximadamente 0,78 m/s, na metade do percurso, onde estavam localizados os termopares. Testes realizados por Netto (1998) em equipamento semelhante confirmam a faixa de velocidade medida nesses experimentos.

O software INSTRUNET Model 100 instalado no computador, permitiu a coleta das temperaturas, com uma taxa de amostragem de, aproximadamente, 100 pontos por segundo. Durante cada experimento, o sistema foi mantido acionado por cerca de 10 segundos, o que possibilitou a aquisição de 1000 valores de temperaturas, os quais eram salvos em arquivos do tipo texto.

Mediu-se o espaçamento dendrítico secundário (SDAS) em amostras de doze tiras. Retirou-se três amostras de cada tira ao longo da largura, na posição longitudinal correspondente à localização dos termopares no cinto. O objetivo deste procedimento foi verificar uma possível variação na microestrutura ao longo da largura, que poderia estar relacionada às variações nas condições de resfriamento ao longo daquela direção. Técnicas usuais de corte, lixamento, polimento e ataque químico (solução de HF – 5%), adequados ao material em questão foram utilizadas durante essa etapa do trabalho. Utilizou-se o analisador PROVE PRO-PLUS para captar as imagens metalográficas do material lingotado e efetuar as medidas de espaçamento dendrítico secundário. Em cada amostra, captou-se seis imagens, sendo três junto à superfície inferior (onde ocorreu o contato metal/substrato) e três próxima à superfície superior (superfície livre).

Determinou-se as frações volumétricas das fases que constituem a liga bifásica utilizada nos experimentos. As medidas foram feitas em amostras retiradas das tiras T-90 e T-45, às quais foram lingotadas com o distribuidores reto e de base inclinada, respectivamente. Utilizou-se seis amostras (três de cada tira) retiradas das bordas e do centro do material lingotado. Em cada amostra, foram feitas medidas em cinco posições ao longo da espessura, sendo tomados cinco campos em cada posição. Os procedimentos adotados para a determinação das frações volumétricas basearam-se na norma ASTM E-562.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

3.1. Fluxo de Calor

Calculou-se o fluxo de calor interfacial a partir das temperaturas medidas pelos termopares inseridos na barra de aço (substrato). O cálculo foi feito através de um modelo inverso de condução de calor. No caso dos experimentos realizados com o distribuidor reto, os valores máximos de fluxo de calor (picos máximos) ficaram em torno de 0,65 MW/m². Os picos, assim como no caso do distribuidor de base inclinada, ocorreram aproximadamente 1,5 segundo após o vazamento do metal sobre a superfície do canal. Já no caso do distribuidor de base inclinada, os picos máximos do fluxo de calor ficaram em torno de 0,85 MW/m².

A diferença observada nos valores dos picos de fluxo de calor é, certamente, conseqüência de um contato interfacial mais eficiente no caso da deposição em ângulo. A melhor qualidade superficial

(superfície inferior) das tiras lingotadas sob essa condição confirma os resultados obtidos com o cálculo do fluxo de calor interfacial.

O gráfico da Fig. (2) mostra a evolução do fluxo de calor interfacial para duas tiras lingotadas com o distribuidor reto (Tira T-90) e de base inclinada (Tira T-45), respectivamente.

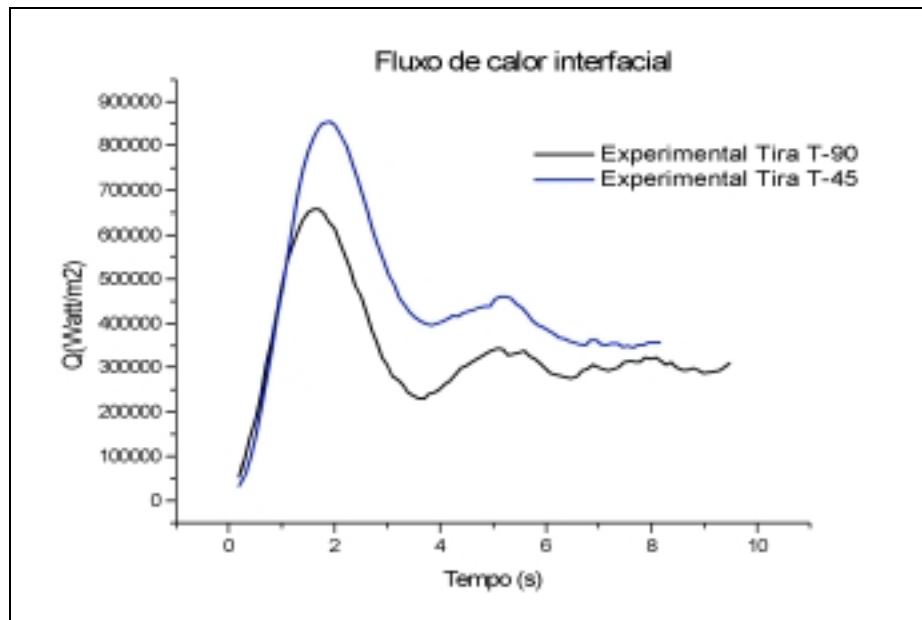


Figura 2. Fluxo de calor interfacial.

3.2. Espaçamento Dendrítico Secundário (SDAS):

As amostras retiradas das tiras lingotadas com o distribuidor de base inclinada apresentaram valores de SDAS que variaram de 5 a 7 μm e de 7 a 10 μm junto às superfícies inferior e superior, respectivamente (mostrado na Fig.(3)). No caso das tiras lingotadas com o distribuidor reto, o SDAS medido junto à superfície inferior variou entre 6 e 9 μm , enquanto próximo à superfície superior ficou entre 7 e 12 μm (mostrado na Fig.(4)).

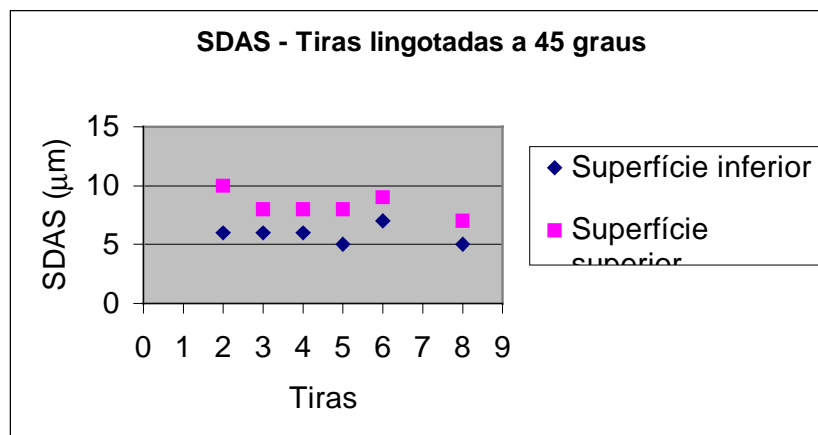


Figura 3. SDAS medidos junto às superfícies superior e inferior de amostras retiradas das tiras lingotadas com o distribuidor de base inclinada.

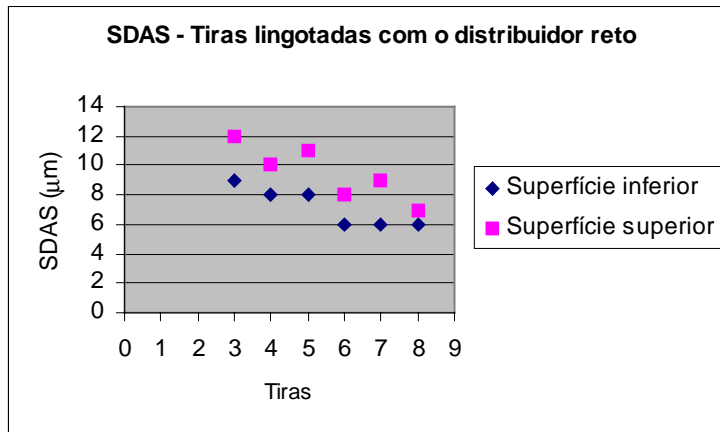


Figura 4. SDAS medidos junto às superfícies superior e inferior de amostras retiradas das tiras lingotadas com o distribuidor reto.

Certamente, o fato da microestrutura ter se mostrado mais refinada na região próxima à superfície inferior das tiras é devido às taxas de resfriamento mais elevadas naquela região. Comparando-se as faixas de valores de SDAS medidos, observa-se um maior refinamento da microestrutura do material lingotado com o distribuidor de base inclinada. Isso é consequência de um contato interfacial mais eficiente entre metal e substrato, o que certamente contribuiu fortemente para a ocorrência de um resfriamento mais rápido quando comparado com a deposição perpendicular à superfície do substrato. A diferença observada nos valores de fluxo de calor está de acordo com essa afirmação.

3.3. Segregação

O gráfico da Fig. (5) ilustra a dispersão dos valores de fração volumétrica média de silício nas tiras T-45 (lingotada com o distribuidor de base inclinada) e T-90 (lingotada com o distribuidor reto), respectivamente.

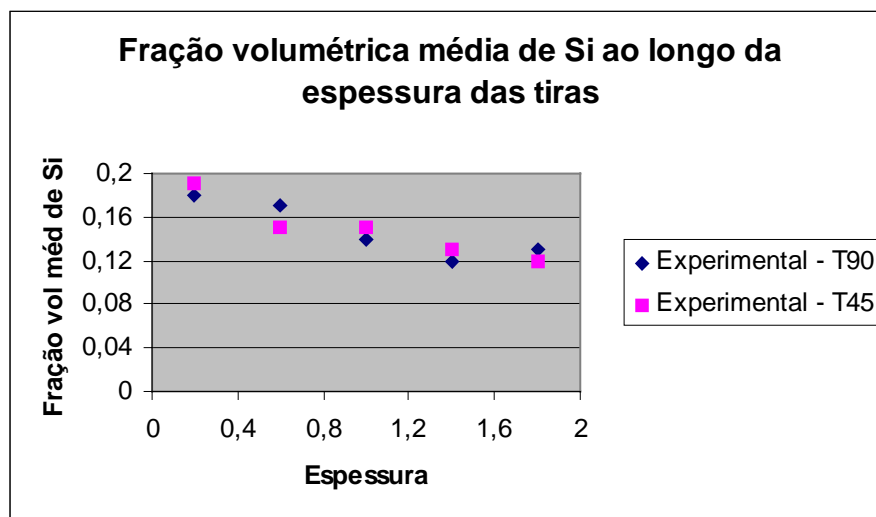


Figura 5. Fração volumétrica do silício ao longo espessura de amostras retiradas das tiras T-45 e T-90.

O valor médio da fração volumétrica encontrado nos dois casos (T45 e T90) foi igual a 0,148, que está bem próximo do valor calculado a partir do diagrama de fases (aproximadamente 0,130). Observa-se também um maior teor de silício junto à superfície inferior, o que, possivelmente, é resultante da ocorrência de maiores taxas de resfriamento naquela região.

Amostras retiradas das bordas das duas tiras (T-90 e T-45) apresentaram resultados semelhantes àqueles encontrados na região central da tira. Ensaios de dureza ao longo da largura corroboram os resultados de fração volumétrica obtidos, uma vez que não se observou variação significativa na dureza das tiras naquela direção. O gráfico da Fig.(6) mostra os resultados obtidos com os ensaios de Dureza Vickers feitos nas tiras T-90 e T-45.

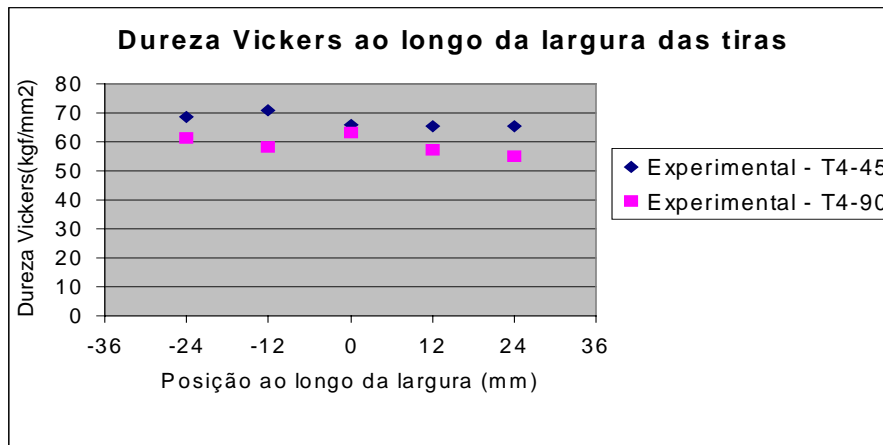


Figura 6. Resultados dos ensaios de Dureza Vickers realizados ao da largura das tiras T-90 e T-45 na posição longitudinal correspondente à localização dos termopares.

4. CONCLUSÕES

O fluxo de calor interfacial (interface metal/substrato) é influenciado pelo ângulo de deposição do metal. Deposição sob um ângulo de 45° resulta em picos de fluxo de calor cerca de 30% maiores do que aqueles ocorridos em experimentos com distribuidor reto. Isso tem como consequência a produção de tiras com microestrutura mais refinada (menores valores de SDAS). Em ambos os casos, a microestrutura das tiras é mais refinada na região próxima à superfície inferior, devido às maiores taxas de resfriamento naquela região.

Tiras produzidas sob as duas condições de deposição (distribuidor reto e de base inclinada) não apresentaram significativa segregação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Chen, J. & Ren, R.C. & Tseng, A.A., 1995 “Interface Heat Transfer In Metal Casting on a Moving Substrate”, *Journal of Materials Processing & Manufacturing Science*, Vol. 3, pp. 373-386.
- Davies, G.J., 1956, “Solidification and Casting”, Applied Publishers LTD, London, U.K., pp.40-69, 117-122.
- Netto, P.G.Q., 1998 “Mathematical and Physical Modelling of a Single-Belt Casting Process”, Ph.D. Thesis, Montreal, McGill University, pp. 313-358.
- Prasanna, T.S. & Prabhu, K.N., 1991, “Heat Flux Transients at the Casting/Chill Interface During Solidification of Aluminum Base Alloys”, *Metallurgical Transactions B*, pp.717-729.

- Scholz, R., et al., 1993, "Theoretical Modelling of an Isokinetic Steel Feeding System for Near-Net-Shape Strip Casting", *Steel Research*, Vol. 64, No. 6, pp. 300-306.
- Souza, S. A., 1974 "Ensaio Mecânico de Materiais Metálicos" Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 4ª Edição, pp. 77-80.
- Spitzer, K.H. & Schewerdtfeger, K., 1995, "Production of Steel Strip With a Single-Belt Process", Paper presented at the ISS 13th Process Technology Conference, pp. 47-53.
- Wang, G.X. and Matthys, E.F., 1996, "On The Heat Transfer at the interface between a solidifying metal and a solid substrate", *The Minerals & Materials Society*, pp. 205-236.

INFLUENCE OF THE METAL DEPOSITION ON THE MICROSTRUCTURAL QUALITY OF LIGHT METAL STRIP

Adinan Tomaz da Silva
Universidade Federal Fluminense – adinan.silva@bol.com.br

Luciana Torres
Universidade Federal Fluminense – luciana.torres@uol.com.br

Pedro Gutemberg Q. Netto
Universidade Federal Fluminense – pedro@metal.eeimvr.uff.br

Abstract: Among the Near-Net-Shape-Casting processes, the single-belt casting seems to be the most promising because it is the only one able to reach levels of productivity similar to the conventional machines. Strip casting experiments with Al-alloys were performed on a single-belt simulator. The aim was to study two delivery systems for liquid metal deposition on a moving substrate and its influence in the cooling rate and strip microstructure. The feeding systems were: tundishes with straight and inclined bases (45 degrees). Thermocouples inserted into the substrate measured temperatures and the interfacial heat fluxes were calculated in the metal/substrate interface. The secondary dendritic arm spacing (SDAS) were measured in the range of 5-10 microns. The microstructure of the strips produced with the inclined tundish was finer than the ones cast with straight tundish. For both cases, the SDAS were smaller near to the bottom surface, because of the higher cooling rates.

Keywords: microstructure, metal deposition, strip casting.