

DESENVOLVIMENTO DE UM MODIFICADOR DE FLUXO PARA USO EM DISTRIBUIDOR DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE AÇOS⁽¹⁾

Mateus Daroit⁽²⁾
Marcos Augusto Zilles Mattiello⁽³⁾
Miguel Liska Bock⁽⁴⁾
Magda Galant François⁽⁵⁾
Antônio Cezar Faria Vilela⁽⁶⁾

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um modificador de fluxo para um distribuidor de lingotamento contínuo de aços que proporcione um fluxo ascendente e diminua o volume morto no centro do distribuidor. Também é feita a comparação dos resultados com os obtidos no caso do distribuidor equipado de um conjunto de barreiras duplas. Primeiramente foi estudado o escoamento no interior do distribuidor em um modelo físico equipado com um conjunto de barreiras e, a partir dos resultados, foi confeccionado um novo modificador de fluxo. Para caracterizar o escoamento foram realizados ensaios de determinação de tempos e volumes característicos com injeção de HCl. A visualização do escoamento foi realizada por meio da injeção de KMnO₄ e o comportamento da camada de escória foi estudado pela visualização do comportamento do querosene durante um evento de troca de panela. O último passo foi a comparação dos resultados obtidos com o conjunto de barreiras duplas. Com o uso do modificador de fluxo obteve-se, nos ensaios de determinação de tempos e volumes característicos, um aumento dos tempos mínimo e médio de residência, a diminuição do volume morto e aumento do volume pistonado do distribuidor em comparação com o conjunto de barreiras duplas. O ensaio de corante permitiu visualizar um fluxo ascendente em direção ao centro do distribuidor e o ensaio de emulsificação mostrou um considerável arraste de escória e uma pequena abertura de olho. O modificador de fluxo desenvolvido no Laboratório de Siderurgia (LASID) mostrou-se mais eficiente que o conjunto de barreiras duplas.

Modelo físico; distribuidor de lingotamento contínuo; modificador de fluxo.

(1) 5º ENEMET, 25 a 29 de julho de 2005, Belo Horizonte e Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil.

(2) Graduando em Engenharia Metalúrgica – UFRGS.

(3) Graduando em Engenharia Metalúrgica – UFRGS.

(4) Graduando em Engenharia Metalúrgica – UFRGS.

(5) Engenheira Química, Dra., Pesquisadora LASID /UFRGS.

(6) Engenheiro Metalúrgico, Dr. -Ing., Professor do DEMET/PPGEM/UFRGS.

Introdução

O processo de lingotamento contínuo é um processo de escoamento e solidificação do aço de forma continuada que pode contribuir para o aumento de produção e aumento de qualidade. Uma das etapas do processo de lingotamento contínuo é a passagem do aço líquido pelo distribuidor e esta etapa é o enfoque de estudo deste trabalho. O distribuidor de lingotamento contínuo possui a função de distribuir o aço líquido para os moldes, auxiliar na remoção de inclusões (impurezas) e garantir homogeneidade térmica e química. Ele deixou de ser apenas um reservatório de aço líquido durante a troca de panelas, para auxiliar efetivamente na produção de um aço de maior qualidade (MAZUMDAR, 1999, p. 524).

Para controlar o escoamento do aço líquido dentro do distribuidor são utilizados modificadores de fluxo que direcionam o escoamento para a superfície e aumentam o tempo médio de residência do aço no distribuidor. Isto contribui para a remoção de inclusões porque há mais tempo para elas flatarem (SINGH, 1993, p.1228) e ficarem presas na camada de escória. Além disso, para ocorrer uma homogeneização térmica e química eficientes a fração de volume morto do distribuidor deve ser minimizada (SAHAI, 1986, p.241).

Em virtude das altas temperaturas e da opacidade do aço se empregam modelos físicos para a análise do escoamento. Estes modelos podem ser em escala plena ou reduzida e usa-se água como fluido de simulação (SAHAI, 1996, p.667).

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento, no Laboratório de Siderurgia (LASID) da UFRGS, de um modificador de fluxo para o distribuidor de lingotamento contínuo que proporcione um fluxo ascendente e diminua a fração de volume morto presente no centro do distribuidor e a comparação dos resultados obtidos com a condição de barreiras duplas que é utilizada em plantas industriais.

Materiais e métodos

Para a realização dos ensaios necessários foi utilizado um modelo físico de distribuidor de lingotamento contínuo de aços em acrílico de capacidade de 16 toneladas na escala 1:1 e água na temperatura ambiente como fluido de simulação. Assim foram garantidas as similaridades geométricas, cinemáticas e dinâmicas com a situação real, ou seja, a similaridade simultânea entre os números de Reynolds e Froude (HEASLIP, 1983). Isto possibilitou o transporte direto dos resultados obtidos no modelo físico para a realidade. Uma representação esquemática do distribuidor pode ser visto na figura 01.

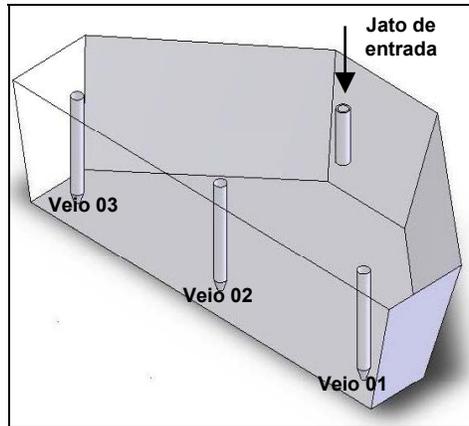


Figura 01: Modelo do distribuidor de lingotamento contínuo

O passo seguinte consistiu na confecção do modificador de fluxo. Para tanto, foi projetado um modificador que consiste de duas paredes laterais com abas e uma parede frontal com uma aba que possui uma abertura. A parede anterior é a própria parede do distribuidor. A geometria do modificador pode ser vista na figura 02 e sua localização dentro do distribuidor pode ser vista na figura 03. O modificador de fluxo foi construído de madeira, revestido com camadas de verniz e fixado no distribuidor com silicone e fitas adesivas.

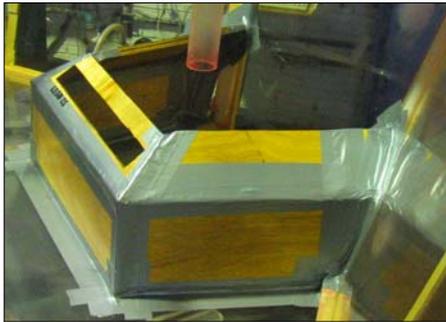


Figura 02:
Geometria do modificador



Figura 03:
Posição do modificador no distribuidor

Os primeiros ensaios realizados foram ensaios de corante que consistem em ensaios qualitativos com injeção de um traçador para a visualização do escoamento. O traçador utilizado foi o permanganato de potássio (KMnO_4). As injeções desse traçador foram realizadas através de um sistema pneumático conectado próximo ao jato de entrada do distribuidor durante 4 segundos. No momento da injeção, o distribuidor trabalha em regime estacionário com um volume de água correspondendo a 16 toneladas de aço e vazão de saída em cada um dos três veios de $2,7 \text{ m}^3/\text{h}$. Todos os ensaios foram capturados por câmera de vídeo para posterior análise.

Os ensaios seguintes consistiram de ensaios de emulsificação que são ensaios qualitativos para a determinação do comportamento da camada de escória durante o processo de troca de panela. O distribuidor com um volume menor de aço é cheio até seu volume de trabalho com o aço proveniente da panela do refino

secundário. O aumento da vazão de entrada implica num arraste da camada de escória para dentro do banho metálico, a emulsificação, (MORALES, 1998, p. 325) e isto deve ser minimizado. Querosene tingido com um pigmento vermelho foi utilizada para simular a camada de escória.

Neste caso, o distribuidor com um volume menor de água correspondendo a 7 toneladas de aço foi cheio até a marca de 16 toneladas com uma vazão de entrada de 25 m³/h. O arraste da camada de escória devido ao aumento da vazão de entrada foi capturado por câmera de vídeo para posterior análise. Também foram capturadas imagens da parte superior do distribuidor durante seu enchimento para a análise do tamanho da “abertura de olho”, ou seja, abertura da camada de escória que deixa o aço em contato direto com o ar atmosférico.

Os últimos ensaios realizados foram os ensaios de determinação de tempos de residência (DTR). São ensaios quantitativos com injeção de um traçador para a determinação de tempos e volumes característicos. O traçador utilizado foi o ácido clorídrico (HCl) (BARRETO, 1996, p. 544). As condições de injeção foram idênticas às descritas para a injeção do KMnO₄. A condutividade da água foi medida na saída dos veios do distribuidor mediante a utilização de sensores de condutividade e armazenados em computador.

Com o uso de um coeficiente de calibração medido em laboratório transformou-se os valores de condutividade em concentração. A partir destes dados foram construídas curvas DTR que consistem em curvas concentração x tempo.

O tempo de ensaio foi de 50 minutos, pois este tempo se mostrou suficiente para a condutividade da água voltar a apresentar os valores anteriores a injeção de traçador. A partir das curvas DTR foi possível determinar os tempos e volumes característicos do distribuidor. O equacionamento empregado para o cálculo seguiu Wollmann (1999). Os tempos característicos consistem de tempos mínimo e médio de residência e os volumes característicos consistem de volume pistonado, volume de mistura e volume morto.

Todos os ensaios descritos acima foram realizados com o distribuidor equipado com o conjunto de barreiras duplas e após, com o distribuidor equipado com o modificador desenvolvido no laboratório.

Resultados e discussão

Os resultados foram divididos conforme os ensaios que foram realizados: ensaios de corante, ensaios de emulsificação e DTR.

Os ensaios de corante mostram o fluxo do aço dentro do distribuidor equipado com o conjunto de barreiras duplas que pode ser visto nas figuras 04, 05 e 06 ao tempo de 25 segundos e nas figuras 07, 08, 09 ao tempo de 1 minuto. É possível perceber nestas figuras um fluxo ascendente na forma de um “T”. Esta configuração forma uma região de volume morto no centro do distribuidor e as extremidades laterais demoram mais tempo para serem homogeneizadas.

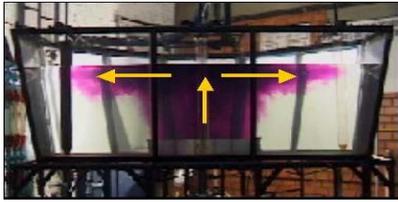


Figura 04:
Vista frontal – 25 s

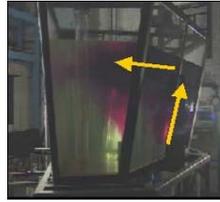


Figura 05:
Vista lateral – 25 s



Figura 06:
Vista superior – 25 s



Figura 07:
Vista frontal – 1 min



Figura 08:
Vista lateral – 1 min



Figura 09:
Vista superior – 1 min

O fluxo do aço dentro do distribuidor equipado com o modificador de fluxo pode ser visto nas figuras 10, 11, 12 ao tempo de 25 segundos e nas figuras 13, 14 e 15 ao tempo de 1 minuto. O furo que existe na aba frontal proporciona um fluxo ascendente em direção a parte central do distribuidor. O escoamento prossegue lateralmente pelas paredes traseiras do distribuidor e a 1 minuto o escoamento está relativamente homogeneizado apesar de existir zonas frontais não atingidas pelo corante.

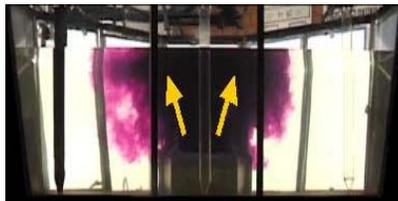


Figura 10:
Vista frontal – 25 s

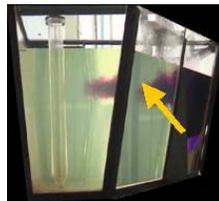


Figura 11:
Vista lateral – 25 s



Figura 12:
Vista superior – 25 s



Figura 13:
Vista frontal – 1 min



Figura 14:
Vista lateral – 1 min



Figura 15:
Vista superior – 1 min

Os ensaios de emulsificação mostram o comportamento da camada de escória enquanto o distribuidor equipado com o modificador de fluxo é cheio. O comportamento em diferentes tempos de enchimento pode ser visto nas figuras 16, 17 e 18. É possível perceber um considerável arraste de escória. Aos 25 segundos de ensaio o veio central é atingido pela escória e o veio lateral é atingido aos 45 segundos. Em 1 minuto a emulsificação já está bastante reduzida, o distribuidor está praticamente limpo.

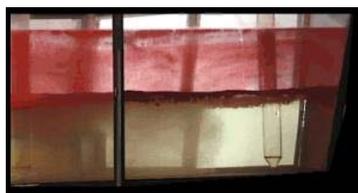


Figura 16: Tempo de enchimento 25 s



Figura 17: Tempo de enchimento 45 s



Figura 18: Tempo de enchimento 1 min

A figura 19 mostra a “abertura de olho” durante o enchimento do distribuidor equipado com o modificador de fluxo. Há uma pequena “abertura de olho”, ou seja, uma pequena fração do aço está em contato com o ar atmosférico enquanto o distribuidor é cheio.



Figura 19: Abertura de olho

Os resultados dos ensaios de determinação de tempos de residência podem ser vistos nas figuras 20, 21 e 22. Em todas as figuras é feita a comparação dos resultados obtidos com o distribuidor equipado com o conjunto de barreiras duplas e com o modificador de fluxo.

Na figura 20 são apresentados os valores de tempos mínimos de residência. Em comparação ao conjunto de barreiras duplas, o modificador de fluxo apresentou um considerável aumento no tempo mínimo de residência. O tempo mínimo passou de 57 segundos no caso do conjunto de barreiras duplas para 79 segundos com o uso do modificador.

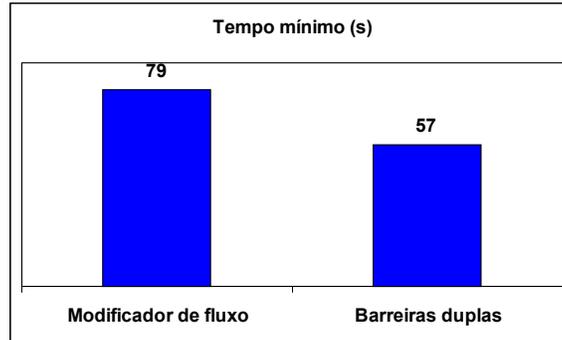


Figura 20: Comparação dos tempos mínimos de residência

Na figura 21 são apresentados os valores de tempos médios de residência. Novamente em comparação ao conjunto de barreiras duplas, o modificador de fluxo proporcionou um aumento no tempo médio de residência. O tempo médio passou de 8,3 minutos no caso do conjunto de barreiras duplas para 9,7 minutos com o uso do modificador de fluxo. Tanto o aumento do tempo mínimo e o aumento do tempo médio contribuem para a flotação de inclusões do banho metálico, ou seja, auxiliam na limpeza do banho.

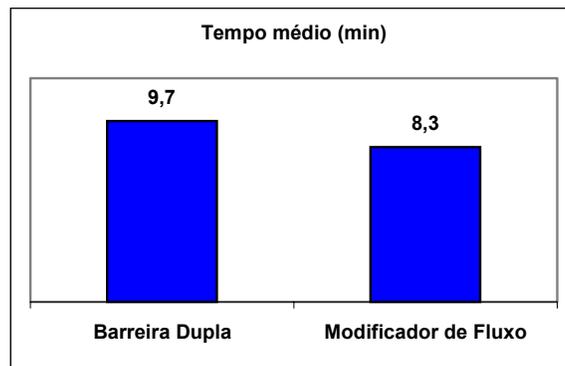


Figura 21: Comparação dos tempos médios de residência

Na figura 22 são apresentados os valores de volumes característicos. O uso do modificador de fluxo proporcionou um aumento considerável da fração de volume pistonado, passando de 8% do volume do distribuidor para 18%, e uma diminuição da fração de volume morto que passou de 48% para 44%. O aumento da fração de volume pistonado auxilia no processo de troca de qualidade usando o mesmo distribuidor pois evita a mistura entre as duas diferentes qualidades. A diminuição da fração de volume morto auxilia em uma melhor homogeneização térmica e química do aço líquido porque evita a presença de zonas estagnadas dentro do distribuidor.

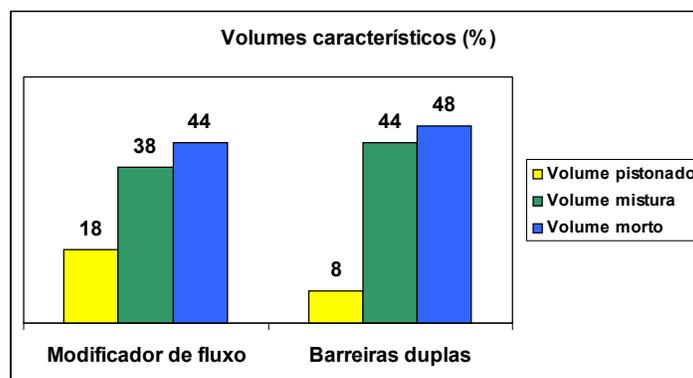


Figura 22: Comparação dos valores de volumes característicos

Conclusão

Através dos resultados deste estudo é possível concluir que os objetivos foram alcançados. O modificador de fluxo desenvolvido no Laboratório de Siderurgia (LASID) apresenta escoamento ascendente em direção a parte central do distribuidor e pequena “abertura de olho” durante o enchimento do distribuidor. Em comparação ao conjunto de barreiras duplas aumenta o tempo médio, passando de 8,7 para 9,3 minutos, e do tempo mínimo que passa de 57 para 79 segundos. Ele também aumenta a fração de volume pistonado que passa de 8% do volume do distribuidor para 18 % e altera a fração de volume morto que diminui de 48% para 44%. Todas estas características fazem o modificador de fluxo ser mais eficiente que o conjunto de barreiras duplas.

Agradecimentos

À Gerdau Aços Finos Piratini pelo contínuo apoio ao LASID no desenvolvimento tecnológico em siderurgia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ pelo apoio concedido através de bolsa de iniciação científica.

Referências bibliográficas

1. MAZUMDAR, D.; GUTHRIE, R. I. L. The physical and mathematical modelling of continuous casting tundish systems. *ISIJ International*, v. 39, n. 6, p. 524-547. 1999.
2. SINGH, S.; KORJA, S. C. Model study of the dynamics of flow of steel melt in the tundish. *ISIJ International*, v. 33, n. 12, p. 1228-1237. 1993.
3. SAHAI, Y.; AHUJA, R. Fluid flow and mixing of melt in steelmaking tundishes. *Ironmaking and Steelmaking*, v. 13, n. 5, p. 241-247. 1986.
4. SAHAI, Y.; EMI, T. Melt flow characterization in continuous casting tundishes. *ISIJ International*, v. 36, n. 6, p. 667-672. 1996.
5. HEASLIP, L. J.; McLEAN; SOMMERVILLE, I. D. Continuous casting, chemical and physical interactions during transfer operations. *ISS*, v. 1, p. 67-84. 1983.

6. MORALES, R. D.; PALAFOX-RAMOS, J.; LÓPEZ-RAMIREZ, S.; DOMÍNGUEZ-CRESPO, M. A.; RINCON, C.; SALAZAR D.; DAINTON, A. Influence of a turbulence inhibitor on steel cleanliness processed in a bloom caster. *Steelmaking Conference Proceedings*, p. 325-333. 1998.
7. BARRETO, J. J.; BARRÓN MEZA, M. A.; MORALES R. D. Physical and mathematical modeling of steel flow and heat transfer in tundishes under non-isothermal and non-adiabatic conditions. *ISIJ International*, v. 36, n. 5, p. 543-552. 1996.
8. WOLLMANN, A. M. Estudos de fluxo em um distribuidor de lingotamento contínuo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.

Abstract

In this paper the development of a flow modifier for a continuous casting tundish is shown. This modifier should make the flow ascending and should decrease the dead volume. The comparison of the obtained results is also made with the obtained results in the tundish with double barrier kit case. This comparison is made in terms of flow pattern (with KMnO_4 injection) and RTD curves. With the flow modifier, a better average residence time and a decrease of dead volume are obtained. The flow modifier developed at LASID/UFRGS seems more efficient than the double barrier kit.

Physical modelling; continuous casting tundish; flow modifier; RTD curves.