

INFLUÊNCIA DO DESGASTE DE PANEAS SOBRE AS PERDAS TÉRMICAS DO AÇO LÍQUIDO ⁽¹⁾

Ney Francisco Ferreira ⁽²⁾
Leonardo Barboza Trindade ⁽³⁾
Antonio Cezar Faria Vilela ⁽⁴⁾

RESUMO

A perda térmica faz parte do processo de fabricação do aço e o seu controle dentro de faixas restritas é necessário para que se atinjam as metas de produtividade e qualidade do produto. Corridas com temperaturas fora de faixa são tratadas como anômalas e as causas são pesquisadas baseando-se em um conhecimento prévio dos fenômenos térmicos envolvidos. Uma das causas mais apontadas são as perdas excessivas em painéis desgastados, mesmo carecendo estudos mais aprofundados a esse respeito. Nesse trabalho é analisada a importância do desgaste de painéis na taxa de resfriamento do aço líquido visando fornecer subsídios para a correta avaliação de anomalias térmicas do processo. Para tal, foi empregada a ferramenta de simulação numérica de escoamento e transferência de calor (CFD) para simular painéis com diferentes espessuras de refratário e perdas térmicas sob a influência do escoamento do aço líquido.

Palavras chaves: controle da temperatura do aço líquido, simulação numérica de escoamento e transferência de calor em painéis, painéis desgastados.

¹ Trabalho a ser apresentado no XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais – Maio de 2004 – Salvador, BA, Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Dr., consultor técnico da SOLVER Engenharia.

³ Físico, Dr., Pesquisador do LASID/CT/UFRGS, bolsista do CNPq

⁴ Engenheiro Metalúrgico, Dr-Ing, Professor do DEMET/PPGEM/UFRGS

1 INTRODUÇÃO

A condição térmica dos refratários da panela é um fator que provoca diferentes taxas de resfriamento do aço líquido. Porém, a avaliação da ordem de grandeza dessa perda térmica é difícil, visto que o isolamento das variáveis é impraticável em experimentos práticos. Vale lembrar que a espessura de escória, a vazão e a forma da argonagem, e a estratificação térmica também influenciam nas perdas. Além disso, a precisão do sistema de medição de temperaturas também é fundamental na correta avaliação das perdas térmicas de uma corrida.

A atribuição de maiores perdas em panelas desgastadas é ainda uma informação baseada em experiências pessoais, muitas vezes obtidas sem o rigor científico adequado, o que pode mascarar os resultados devido à influência de outras variáveis. A literatura, por sua vez, não fornece subsídios a esse respeito. O resultado disso é que muitas vezes as ações tomadas em relação às anomalias térmicas estão vinculadas ao aumento do sobreaquecimento do aço em panelas desgastadas.

Esse trabalho se propõe a apresentar um estudo a respeito da importância da variável “desgaste de panela” sobre as perdas térmicas do aço líquido. Para tal, é utilizada uma ferramenta de simulação numérica para calcular o escoamento e a transferência de calor em uma panela nova e em uma velha, com espessura refratária reduzida. Ambas panelas são simuladas em condições normais de processo visando impor um idêntico “histórico térmico”. Após é considerado o aço líquido no interior das mesmas e as perdas térmicas são analisadas durante um resfriamento de 1 hora.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Modelos

Foram gerados dois modelos:

- panela NOVA – com a espessura máxima do refratário de trabalho;
- panela VELHA – com uma redução de 80mm do refratário de trabalho.

A Figura 1 mostra as camadas refratárias da panela nova e um detalhe da porção considerada como desgaste da panela velha.

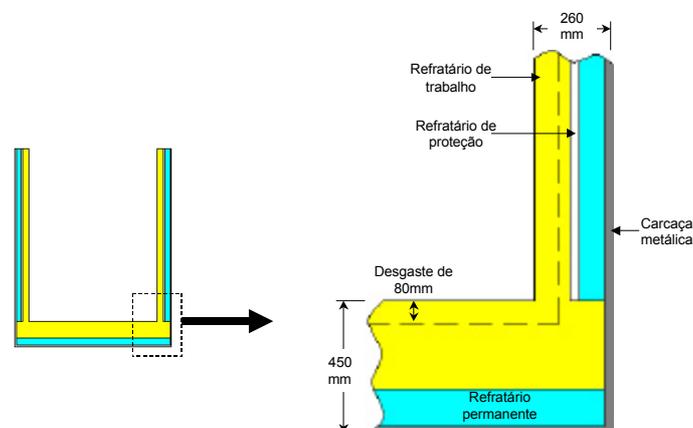


Figura 1 – Camadas refratárias.

Foram desconsideradas as bordas livres, ou seja, a porção das paredes laterais da panela que não tem contato direto com o aço líquido. A Figura 2 mostra as camadas refratárias e a malha utilizada. A capacidade de aço das panelas é de 89 toneladas.

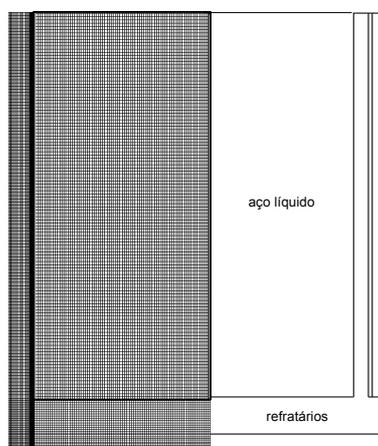


Figura 2 – Malha de volumes finitos.

Os modelos numéricos de escoamento e transferência de calor foram resolvidos através do método de volumes finitos do pacote numérico CFX-5.6. Foram utilizadas malhas hexaédricas de 6384 volumes para as regiões sólidas (materiais refratários e carcaça da panela) e de 9600 volumes para as regiões de aço líquido.

Devido à simetria em relação ao centro, os modelos foram gerados em duas dimensões, em regime transiente e turbulento. As condições de contorno empregadas seguem as mesmas condições de operação da planta durante as diversas etapas de aquecimento, resfriamento, tratamento do aço na panela, lingotamento e escoamento do aço.

2.2 Histórico térmico

As panelas foram simuladas com um mesmo histórico térmico mostrado na Tabela 1 e que perfazem as etapas de secagem, aquecimento e as três primeiras corridas. As panelas foram consideradas inicialmente em temperatura ambiente de 30°C.

ETAPA	MINUTOS	HORAS	
1	secagem	360	6,0
2	aquecimento	720	12,0
3	resfriamento	30	0,5
4	1a. corrida	150	2,5
5	resfriamento	60	1,0
6	aquecimento	60	1,0
7	resfriamento	15	0,3
8	2a. corrida	150	2,5
9	resfriamento	60	1,0
10	aquecimento	60	1,0
11	resfriamento	15	0,3
12	3a. corrida	150	2,5
13	resfriamento	60	1,0
14	aquecimento	60	1,0
15	resfriamento	15	0,3
TOTAL			32,8

Tabela 1 – Etapas do histórico térmico simulado.

2.3 Simulação do resfriamento do aço

Partindo da condição térmica das placas após a etapa 15 do histórico, foram simuladas as condições de resfriamento do aço líquido no interior das mesmas durante um período de 1 hora.

As considerações do cálculo foram:

- Massa de 89 toneladas de aço com uma temperatura inicial homogênea de 1650°C;
- Sem agitação do banho com gás inerte;
- Perda pela escória de 120 kW/m², o que corresponde a uma espessura de escória de 50mm^(3, 5).

Na análise do resfriamento foram consideradas, além das temperaturas médias do banho, as temperaturas médias em duas regiões significativas para avaliação da estratificação térmica do aço, quais sejam, na região onde são tomadas as medidas de temperatura e na região próxima à saída do aço. Essas regiões são mostradas na Figura 3.

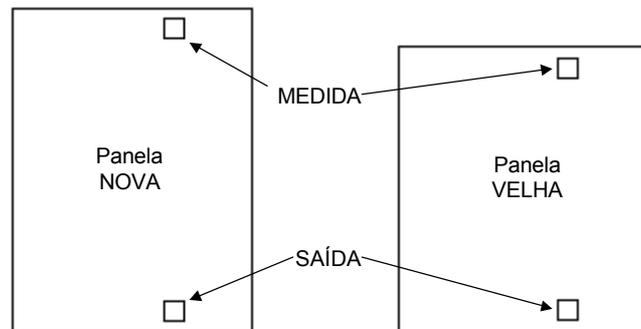


Figura 3 – Seção do aço líquido.

As perdas térmicas para os refratários e para o ambiente através da escória também são analisadas.

2.4 Perdas térmicas

As perdas térmicas do aço líquido para os refratários e para a escória, segundo as considerações adotadas, dependem de dois fatores: potencial de perda e área de contato.

O potencial de perda representa a capacidade que o meio tem de retirar calor do aço. Esse potencial independe da área, é expresso em kW/m² e pode ser de dois tipos:

- da escória: esse potencial é idêntico nas duas placas uma vez que foi adotada a mesma taxa de extração;
- dos refratários: uma vez que os refratários em contato com o aço são do mesmo tipo, o potencial de perda para os refratários depende somente da temperatura dos mesmos. Quanto mais frio estiverem os refratários, maior será a perda térmica por área. Para facilitar a análise, o potencial de perda dos refratários é analisado através da temperatura média de uma camada de 50mm mais próxima à face de contato com o aço. Vale lembrar que foram simulados os históricos térmicos das duas placas com o objetivo de obter o potencial de perda para os refratários.

A área de contato depende basicamente da geometria da panela e da espessura de desgaste dos refratários. A Tabela 2 mostra as áreas das panelas simuladas.

panela	ÁREAS [m ²]		
	lateral	fundo	escória
NOVA	22,28	4,08	4,08
VELHA	20,85	4,68	4,68

Tabela 2 – Áreas de contato.

A combinação entre o potencial de perda [kW/m²] e a área de contato [m²] resulta na perda térmica total do aço líquido [kW] que representa o calor perdido no tempo [kJ/s].

3 RESULTADOS

3.1 Histórico térmico das panelas

A Figura 4 mostra o comportamento do encharcamento térmico das panelas durante as três primeiras corridas. Entende-se como encharcamento térmico a quantidade de calor contida nas camadas refratárias. Quanto mais encharcada a panela, menor a perda térmica do aço.

A panela nova armazena uma quantidade de calor 50% maior que a panela desgastada e isso se deve a sua maior massa (54% superior). Por isso faz-se necessário aumentar o sobreaquecimento do aço nas primeiras corridas das panelas novas visando suprir as maiores perdas térmicas. Após a terceira corrida as panelas atingem um regime chamado de EDE ⁽¹⁾ (Estado Dinamicamente Estável). A partir desse estágio as perdas térmicas se estabilizam e as panelas podem ser consideradas “no ciclo”.

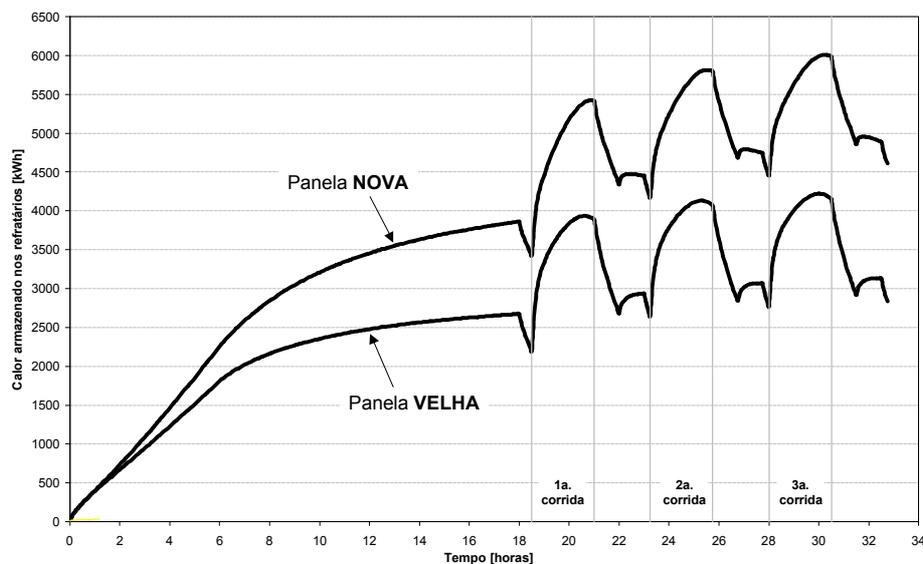


Figura 4 – Calor armazenado nas camadas refratárias.

3.2 Movimentação do aço líquido durante o resfriamento

As trocas térmicas com os refratários e através da escória provocam o resfriamento localizado do aço e que, por efeito convectivo, é acompanhado de uma movimentação do mesmo. A Figura 5 mostra esse efeito através do mapa de velocidades do aço após 10 e 60 minutos do início do resfriamento. Vemos que não existe uma diferença significativa nas correntes convectivas entre as condições de panela nova e velha.

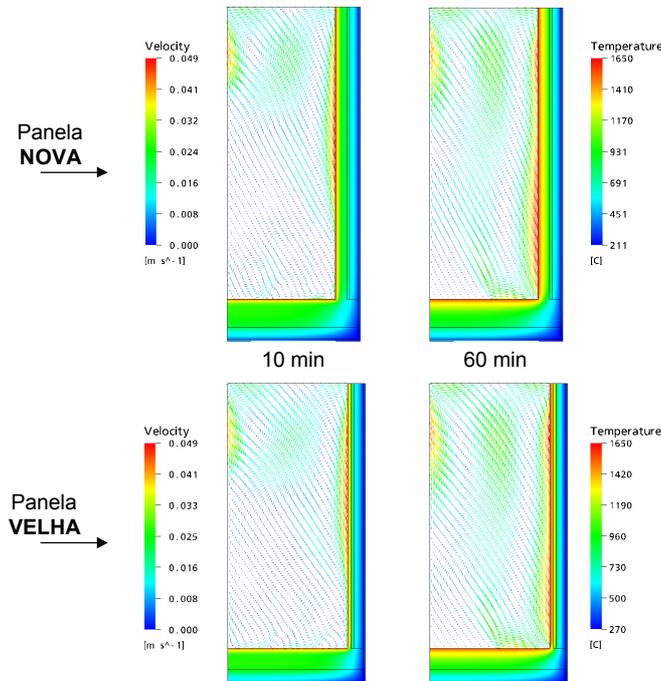


Figura 5 – Mapa de velocidades do aço líquido e temperaturas dos refratários.

3.3 Temperatura dos refratários (potencial de perda)

No início da simulação do resfriamento do aço, o potencial de perda para os refratários depende das temperaturas resultantes do histórico térmico. A Tabela 3 apresenta a temperatura média da camada de 50mm mais próxima à parede interna após a última etapa do histórico.

Através das temperaturas vemos que a panela velha apresenta um potencial de perda superior nas paredes laterais visto que a temperatura média é 11% menor. Já para o fundo a panela velha apresenta um potencial de perda inferior devido à uma temperatura média 2,4% maior.

panela	LATERAL	FUNDO
NOVA	768	804
VELHA	683	823

Tabela 3 – Temperatura média parcial dos refratários (50mm).

Durante a simulação do resfriamento, uma quantidade de calor é transferido do aço para os refratários aumentando a sua temperatura e alterando a condição do potencial de perda. A Figura 6 mostra o comportamento das temperaturas médias (camada de 50mm) durante o resfriamento do aço.

Para as paredes laterais, a panela velha apresenta no início do resfriamento um potencial de perda menor devido à sua temperatura média ser 85°C maior que a panela nova conforme discutido acima. Essa diferença reduz com o tempo de contato com o aço até a inversão que ocorre aos 20 minutos. A partir desse momento a panela velha tem maior potencial de perda pela parede lateral que a panela nova.

Para a região do fundo vemos que as temperaturas médias ficam muito próximas indicando um potencial de perda semelhante.

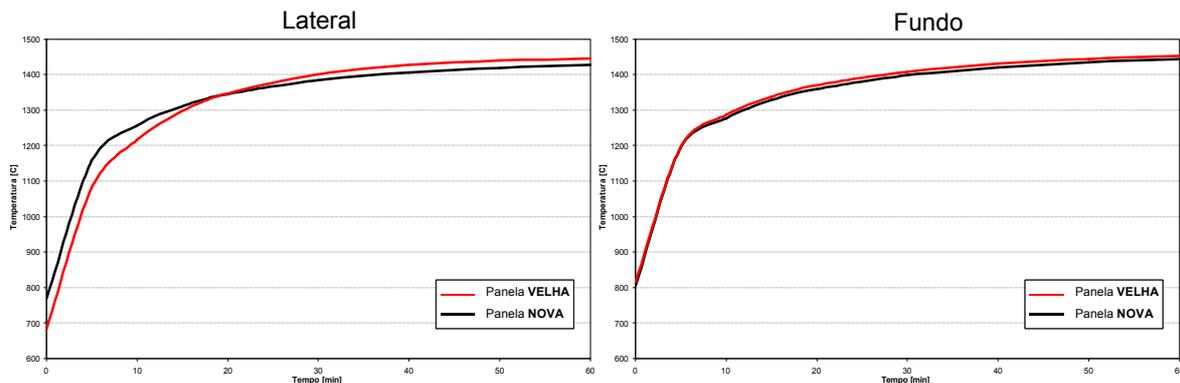


Figura 6 – Temperatura média na camada de 50mm mais próxima à área de contato com o aço.

3.4 Perdas térmicas do aço líquido

Na Figura 7 são apresentadas as perdas térmicas das 89 toneladas de aço resfriadas nas duas panelas, diferenciadas entre perdas para os refratários e através da escória. Essas perdas são resultantes da combinação entre o potencial de perda pela escória e para os refratários e as áreas de contato.

As perdas pela escória dependem somente da área da borda da panela uma vez que admitimos a mesma espessura de escória para ambas panelas. Assim a panela velha apresenta uma perda térmica pela escória 15% superior à panela nova durante todo o resfriamento.

Para os refratários a situação depende do tempo de contato. Até os primeiros 15 minutos as perdas da panela velha são maiores e isso se deve ao maior potencial de perda pela parede lateral. Após os 15 minutos iniciais, a perda para os refratários da panela velha passa a ser menor que a da panela nova.

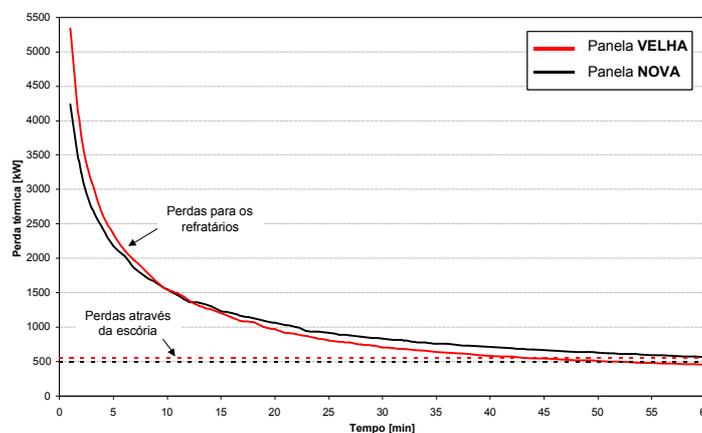


Figura 7 – Perdas térmicas.

É interessante ressaltar que a importância das perdas para os refratários reduz com o tempo de contato, passando a ter a mesma ordem de magnitude que a perda pela escória após 45 minutos.

3.5 Temperatura do aço líquido

As temperaturas tanto na região de medida quanto na de saída são mostradas na Figura 8 (ver nomenclatura no item 2.3). Até 35 minutos existe uma estratificação térmica entre o fundo (saída) e a parte superior (medida) e isso ocorre devido ao movimento descendente do aço resfriado pelas paredes laterais e pelo fundo. Isso provoca um acúmulo de aço mais frio no fundo da panela. Uma vez que as perdas para os refratários são reduzidas, o aço tende a se homogeneizar devido à influência das correntes convectivas descendentes provocadas pela perda pela escória. A maior oscilação das temperaturas na região de saída nos primeiros 30 minutos se deve à maior movimentação do aço nessa região.

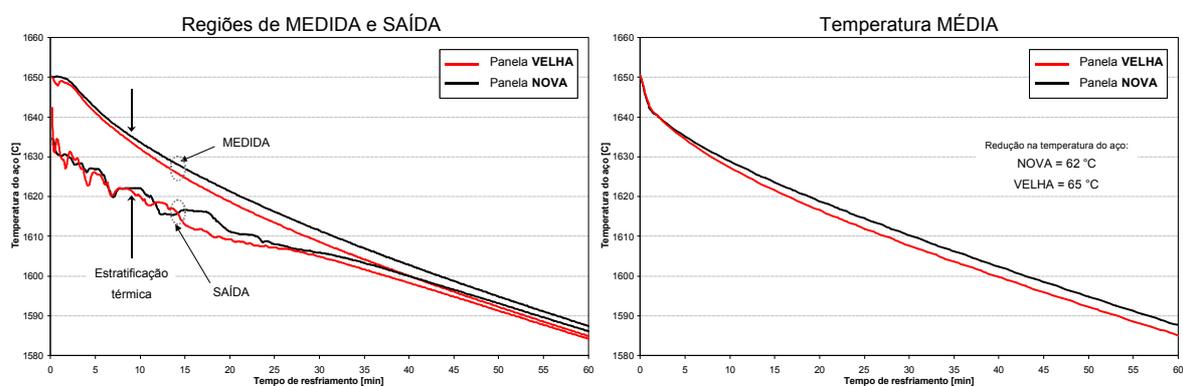


Figura 8 – Temperaturas na região de medida e de saída.

A redução na temperatura média das 89 toneladas de aço ficou muito próxima nas duas panelas conforme mostrado na Figura 8. Após 60 minutos de resfriamento a temperatura da panela nova reduziu 62°C contra 65°C da panela velha, diferença que ficou em torno de 5%.

A Figura 9 mostra a diferença entre a redução da temperatura do aço na panela velha e nova. Até os primeiros 20 minutos, a perda da panela velha aumenta mais que a da panela nova. Após esse período, as perdas são semelhantes.

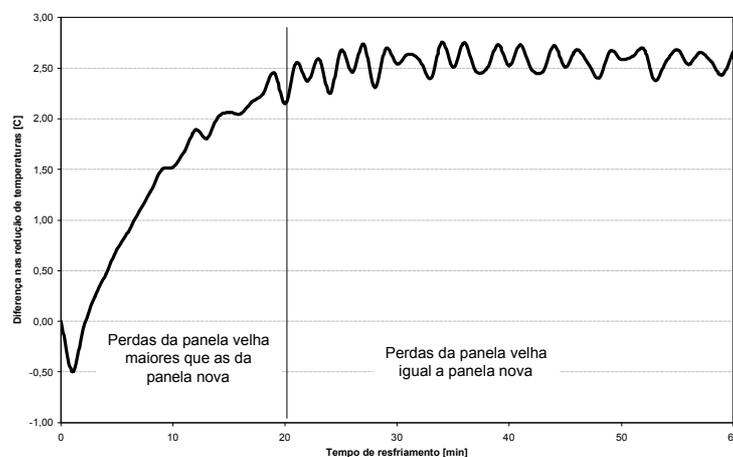


Figura 9 – Diferença entre a redução de temperatura da panela velha e nova.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos na simulação de um caso particular concluímos que:

- Com relação à perda térmica do aço líquido para os refratários, a perda é maior para a panela velha nos primeiros 15 minutos de contato. Após esse período a situação reverte e a perda é maior na panela nova.
- A panela velha apresenta sempre uma perda térmica maior pela escória por apresentar maior área de exposição da escória para o ambiente.
- A estratificação térmica do aço somente ocorre nos 35 minutos iniciais do resfriamento. Após esse período a estratificação cessa devido à homogeneização entre as perdas para os refratários e através da escória.
- O aço na panela nova perdeu 62°C em uma hora contra 65°C da panela velha. Vale lembrar que não são contabilizadas as perdas originadas da agitação do aço com gás inerte, exposição do aço, perdas essas que não devem sofrer influência do desgaste da panela.
- A panela velha causa maiores reduções de temperatura do aço somente nos primeiros 20 minutos de contato. Após esse período, ambas panelas apresentam as mesmas perdas.

Os resultados desse trabalho dizem respeito a um caso específico dentro das considerações adotadas. Porém, é um bom indicativo de que as perdas para os refratários, quer sejam de panelas novas ou de panelas desgastadas, têm uma importância maior durante os primeiros instantes do processo. Esse período compreende as etapas de vazamento e transporte para o refino secundário. Durante o final do refino e o lingotamento (contínuo ou convencional) as perdas para os refratários são menores e, conseqüentemente, a influência do desgaste da panela também. É interessante que nesse período exista um maior controle das perdas através da escória, principalmente com a adoção de tampa e controle sobre a vazão de gás inerte.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FERREIRA, N. F. Controle da Temperatura do Aço Líquido em uma Aciaria Elétrica. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, abril de 2000. 127p.
2. FERREIRA, N. F.; SILVA, L. R.M.; STROHAECKER, T. R.; VILELA, A. C. F.; BAS, J. Definição de Regras para o Aquecimento de Panelas da Gerdau – Aços Finos Piratini – Utilizando um Modelo Matemático. XXXI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Vitória, maio de 2000.
3. FERREIRA, Ney Francisco; STROHAECKER, Telmo Roberto; VILELA, Antônio Cezar Faria; WOLLMANN, André Mendes. Controle da Temperatura do Aço Líquido Durante o Lingotamento Contínuo. In: XXXII Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Salvador, maio de 2001.
4. FERREIRA, Ney Francisco; HENRIQUES, Bruno Rodrigues; SEVERO, Dagoberto Schubert. O Modelo Matemático das Panelas da CST. In: XXXIII Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Santos, maio de 2002
5. BARBER, B.; ZORYK, A.; WALKER, K.D. Process Model for the Determination of Liquid Steel Temperatures in the Ladle and Tundish. Process Technology Conference, vol. 14, Orlando, Florida, USA, 12-15 nov. 1995.

THE INFLUENCE OF THE LADLE WEARING ON THE THERMAL LOSS OF MOLTEN STEEL

ABSTRACT

The thermal loss is an inherent phenomenon in the steel making process and its control is necessary to reach the productivity and the quality of the product. The heats with outside temperatures are treated as anomalous and the reasons are researched in a previous knowledge of the thermal phenomena involved. One of the main causes is the excessive losses in worn ladles, even though there are few studies about this subject. In this work the importance of the ladle wearing on the cooling rate of the molten steel is analyzed, aiming at supplying tools for a correct evaluation of the thermal anomalies of the process. To do it, the numerical simulation tool of the fluid flow and heat transfer (CFD) was used to simulate ladles with different refractory thickness and the thermal losses under the influence of the molten steel flow.

Key words: Control of molten steel temperature, numerical simulation of fluid flow and heat transfer of ladles, ladles wearing.