

MELHORIA DO ÍNDICE DE ALARMES DE BREAKOUT MEDIANTE ALTERAÇÕES DO PÓ FLUXANTE*

Rodrigo Madrona Dias¹
Rodrigo Seara Martins²
Márcia Maria da Silva Monteiro Pereira³
Sebastião Garcia Mendes⁴
Gérson T. Ferreira⁵

Resumo

No processo de lingotamento contínuo, o contato do aço líquido com o molde refrigerado a água, forma uma pele solidificada. O rompimento desta pele, conhecido como *breakout*, deve ser evitado uma vez que traz sérios prejuízos ao processo. Utiliza-se um sistema de detecção de *breakouts*, responsável por gerar alarmes em situações propícias ao rompimento de pele, a velocidade de lingotamento é então reduzida na busca de evitá-lo. A ocorrência de *breakouts* está ligado principalmente a falta de lubrificação, obrigação essa que é atribuída ao pó fluxante. Portanto, as propriedades do pó fluxante que possuem relação com essa função podem ser alteradas, na busca de diminuir a tendência à ocorrência de *breakouts* e alarmes de colamento. Neste trabalho, foi alterada a temperatura de *break point* do pó fluxante de aços peritéticos buscando a redução do número de alarmes. A diminuição dessa temperatura reduziu o número de alarmes, sem afetar os índices de trincas longitudinais em placas, o que gerou redução nas perdas por sucateamento e aumento da produtividade do processo.

Palavras-chave: Pó fluxante; *Breakout*; Alarmes; Temperatura de break point.

IMPROVEMENT OF BREAKOUT ALARM INDEX BY ADJUSTING MOLD POWDER

Abstract

In the continuous casting process, the contact of liquid steel in a water cooled mold form a solidified skin. The breaking of this skin, known as breakout, should be avoided since it will cause serious damage to the process. A breakout detection system is used, responsible for generating alarms in situations conducive to the break of skin, the casting speed is then reduced trying to avoid it. The occurrence of breakouts is due mainly a lack of lubrication, an obligation that is attributed to the mold powder. Therefore, the powder properties that have relation with this function can be changed, trying to decrease the tendency to the occurrence of sticker breakout and sticker alarms. In this present work, the break temperature of peritetic steels mold powder was changed trying to reduce the number of alarms. Reducing this temperature decreased the number of alarms, without affecting the longitudinal crack indexes in slabs, resulting in lower scrap losses and higher process productivity.

Keywords: Mold powder; Breakout; Alarms; Break temperature.

¹ Engenheiro Metalurgista, CQE/ASQ, Mestre em Metalurgia Extrativa. Engenheiro de Produção Sênior, Gerência Técnica de Aciaria, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Pós-Graduação em Metalurgia, Engenheiro de Produção Pleno, Gerência Técnica de Aciaria, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Engenheira Mecânica, MSc, Supervisora de Laboratório, Imerys Steelcasting do Brasil, Guaratinguetá, SP, Brasil.

⁴ Técnico em Metalurgia, As.Técnico, Imerys Steelcasting do Brasil, Guaratinguetá, SP, Brasil.

⁵ Gerente do Serviço ao Cliente; Imerys Steelcasting do Brasil, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O lingotamento contínuo de aços é considerado um dos principais desenvolvimentos tecnológicos para a obtenção de produtos siderúrgicos, em virtude da alta produtividade, excepcional rendimento, excelente qualidade superficial e interna do produto, além da enorme capacidade e versatilidade para produzir uma gama imensa de categorias de aço.

O processo consiste essencialmente na utilização de três equipamentos metalúrgicos: a panela, o distribuidor e o molde. Na figura 1 é apresentado um desenho esquemático deste conjunto utilizado no lingotamento contínuo.

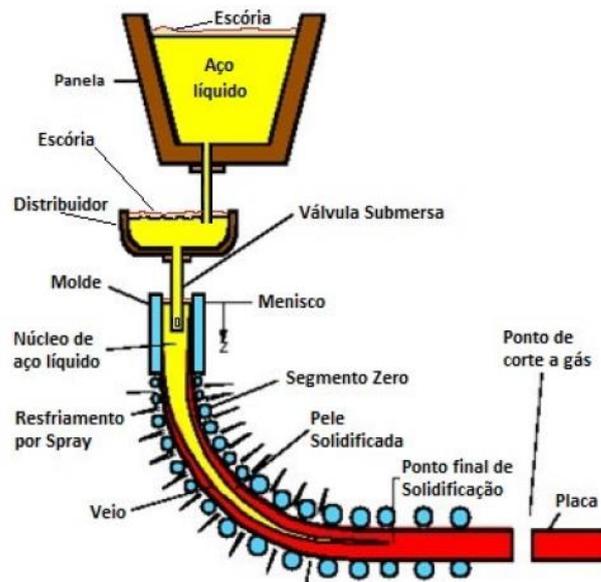


Figura 1. Visão esquemática do processo de lingotamento contínuo [1].

O aço líquido é vazado dentro de um distribuidor e posteriormente para dentro do molde de cobre, o qual é resfriado internamente com água. Com o intuito de proteger a parte superior (região do menisco) da atmosfera e ainda diminuir as forças de fricção com as superfícies do molde, é adicionado durante o processo um fluxante cujas características (composição química, temperatura de fusão, cristalização, etc.) dependem do tipo de aço. O contato do aço com o molde refrigerado a água, juntamente com a adição de pó fluxante, dá início à formação de uma pele solidificada. O rompimento desta pele deve ser evitado e, para isto, o molde oscila com determinada frequência e o pó fluxante é adicionado constantemente para lubrificação do contato desta pele com o molde [2].

O fenômeno de rompimento desta pele é conhecido pelo nome de *breakout*, cujo acontecimento acaba gerando risco às pessoas, parada de equipamento e conseqüentemente perda de produção e sucateamento de produto.

O *breakout* pode ser causado por desvios de natureza procedimental, operacional, qualidade das matérias-primas, falhas eletromecânicas do equipamento ou combinações desses fatores. Para reduzir a chance desse evento ocorrer, o uso de um Sistema de Detecção de *Breakout* (SDB), ou *Breakout Detection System*, é aplicado com êxito desde que bem dimensionado e ajustado aos parâmetros metalúrgicos do processo [3].

Na figura 2 é ilustrado um exemplo prático da atuação da lógica de colamento do SDB na face larga da placa. Nesse caso a lógica atuou e reduziu a velocidade de lingotamento da máquina. Nota-se pela figura que, se não houvesse atuação do SDB, muito provavelmente ocorreria o *breakout*.

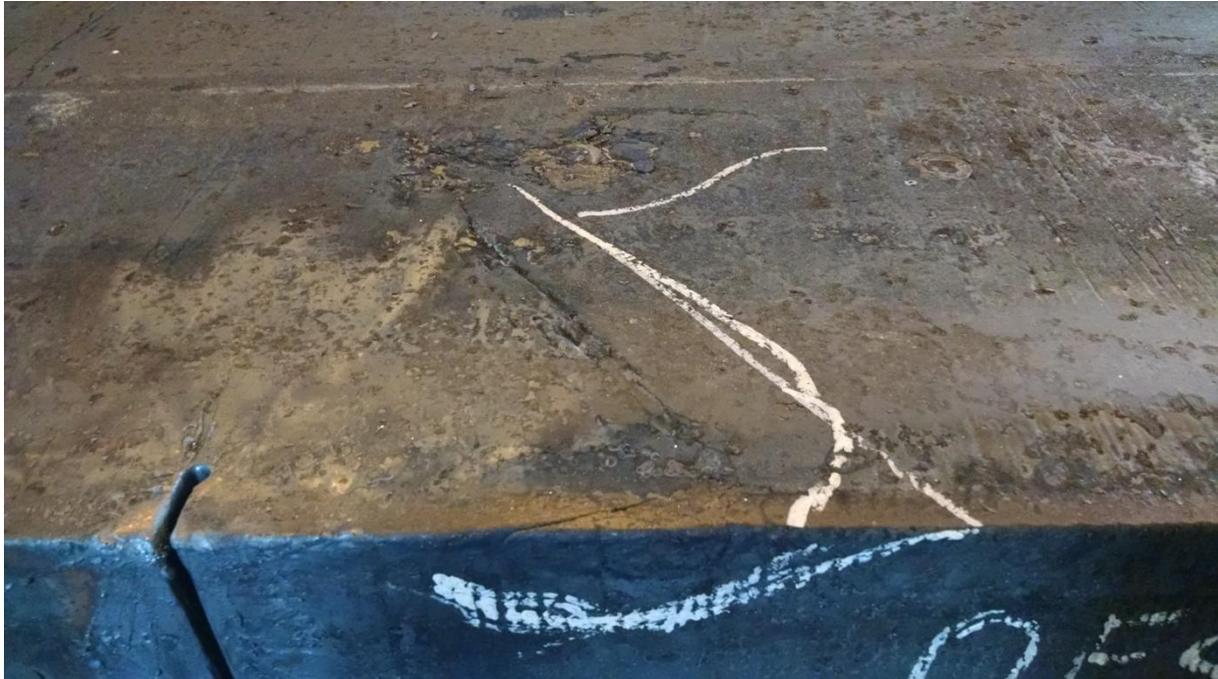


Figura 2. Exemplo de placa em que houve alarme de colamento na face larga.

Quando a lógica de colamento é ativada, a velocidade de lingotamento é automaticamente reduzida para 0,10 m/min, permanece nesta velocidade de segurança por certo tempo e depois a velocidade sobe gradativamente até velocidade padrão.

A ocorrência dos alarmes deve ser constantemente monitorada e trabalhada para diminuição, uma vez que o processo está exposto a riscos de *breakout*.

Menor remoção de calor resulta na formação de uma pele mais fina e menos resistente, podendo abaular e romper na saída do molde, gerando o *breakout*. Vários parâmetros podem afetar nesta menor remoção de calor, incluindo composição química do aço, velocidade de lingotamento, frequência de oscilação, *superheat*, *taper* do molde, *clogging* na válvula submersa e propriedades do pó fluxante [4].

Há provavelmente muitas causas de *breakouts* por colamento, porém, muitos deles envolvem falta de lubrificação [5].

Promover lubrificação adequada e o nível ideal de transferência de calor são as principais funções do pó fluxante utilizado no molde de lingotamento contínuo [6].

Mediante este fato, propriedades do pó fluxante foram estudadas e modificadas neste trabalho para diminuir o número de alarmes e propensão à ocorrência de *breakouts* e, conseqüentemente, obter ganhos em produtividade e redução de perdas por sucateamento.

2 DESENVOLVIMENTO

No ano de 2016, através de acompanhamentos de desempenho de pó fluxante nos veios de lingotamento contínuo da Usiminas, foi notado que o índice de alarmes de colamento nos aços peritéticos estava elevado, principalmente nos aços com maior teor de carbono, conforme figura 3. Aços peritéticos possuem características de diferenças de contração entre as fases ferrita e austenita, o que gera tensões na pele. O aumento do teor de carbono tende a criar pele com baixa resistência mecânica, tendendo a maior ocorrência de *breakouts* [8].

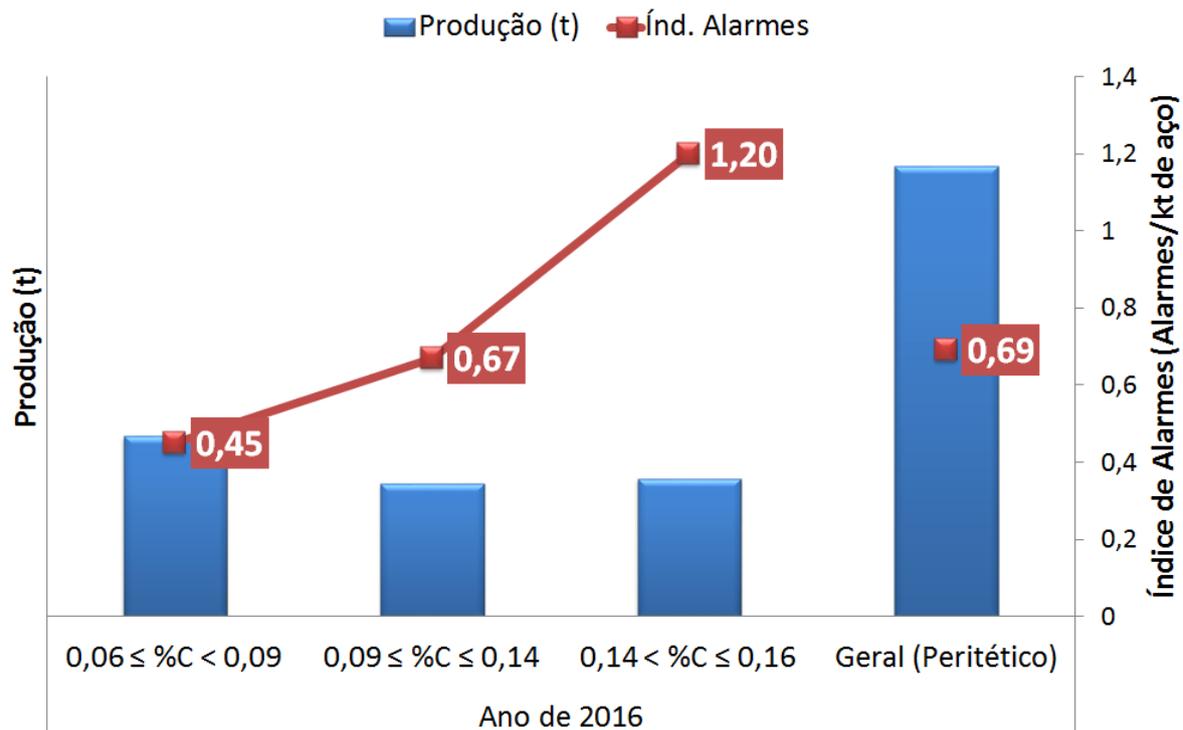


Figura 3. Índice de alarmes para aços peritéticos – fornecedor Imerys.

Portanto, no geral, para cada 1.449 toneladas lingotadas com este pó fluxante, um alarme de colamento era gerado. Para o caso de teor de carbono superior a 0,14%, para cada 833 toneladas lingotadas, ocorria um alarme. A maior parte destes alarmes eram verdadeiros, ou seja, o alarme evitou a ocorrência de um *breakout*. Mediante esse fato, discussões com o fornecedor se iniciaram e uma nova versão do pó foi estudada e desenvolvida entre as partes para diminuir ocorrência de alarmes.

2.1 Desenvolvimento de nova versão de pó fluxante

O pó fluxante tem muitas funções, sendo o controle de lubrificação e da transferência de calor as principais [6]. Tais funções são extremamente importantes para evitar formação de defeitos e *breakouts*. Para controle efetivo destas funções e atuação para diminuir ocorrência de problemas, as propriedades físicas do pó fluxante podem ser trabalhadas.

Dentre as propriedades físicas mais importantes, pode-se destacar [5]:

- Viscosidade, que está diretamente associada ao consumo do pó, à lubrificação da pele, à erosão da válvula submersa e à infiltração da escória líquida do pó;

-Temperatura de *break point* (T_{br}), é a temperatura na qual inicia-se um aumento significativo da viscosidade, a temperatura na qual a lubrificação líquida começa a cair.

Estas propriedades podem controlar a lubrificação e o fluxo de calor horizontal. Elevados valores de T_{br} pode reduzir a infiltração de escória e, conseqüentemente, a lubrificação, o que leva ao aumento da tendência à ocorrência de *breakouts* [7].

A temperatura de *break point* pode ser estimada a partir da composição química, com um erro aproximado de +/- 20°C, conforme equação 1 [7]:

$$T_{br} - 1120^{\circ}\text{C} = -8,43\%Al_2O_3 - 3,3\%SiO_2 + 8,65\%CaO - 13,86\%MgO - 18,4\%Fe_2O_3 - 3,2\%MnO + 22,86\%K_2O - 3,20\%Na_2O - 6,47\%F \quad (1)$$

Para alteração destas propriedades, modificações na composição química podem ser realizadas.

O pó fluxante geralmente possui composição conforme tabela 1.

Tabela 1. Composição Química – pó fluxante [5]

Características - Composição Química - Pó Fluxante						
CaO + SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O	F	Outros (TiO ₂ , ZrO ₂ , B ₂ O ₃ , Li ₂ O e MnO)	Basicidade (%CaO/%SiO ₂)
~70%	0 - 6%	2 - 6%	2 - 10%	0 - 10%	Residual	0,7 - 1,3

A tabela 2 mostra um sumário dos efeitos dos diferentes compostos em algumas propriedades físicas do pó fluxante.

Tabela 2. Efeitos dos compostos nas propriedades físicas do pó fluxante [5]

Propriedade/Constituinte	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	FeO	TiO ₂	CaF ₂	MnO	B ₂ O ₃	ZrO ₂
Viscosidade	↓	↑	↑	↓	↓	↓		↓	↓	↓	↔
T_{br}	↑	↓	↓	↓	↓	↓		↓	↓	↓	↑

Uma estratégia para minimizar *breakouts* é usar um pó fluxante que tem como característica a formação de um filme de escória fino e vítreo, que proverá a formação de uma pele mais espessa, formando um filme de escória que permitirá alta transferência de calor [7]. Pó fluxante com esta característica tem T_{br} mais baixos. Portanto, para redução do índice de alarmes faz-se necessário redução do T_{br} , que pode ser obtido reduzindo a basicidade (diminuindo CaO e/ou aumentando SiO₂).

No entanto vale ressaltar que tais características vão contra as características de um pó fluxante que reduz o índice de trincas longitudinais, pois nestes casos é necessário ter um pó fluxante que permita reduzir a transferência de calor horizontal, minimizando a condução de radiação com a produção de um filme de escória espesso, obtido com o aumento de T_{br} [7], que é o oposto do que é necessário para reduzir *breakouts*. Na figura 4 é mostrado que há um valor ideal de T_{br} que pode evitar tanto *breakouts* quanto trincas longitudinais.

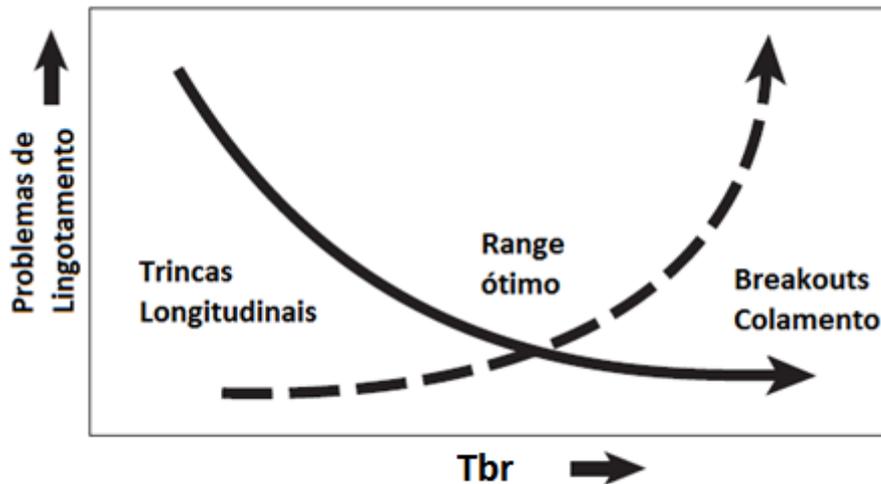


Figura 4. Janela para evitar trincas longitudinais e *breakouts* [7].

O pó fluxante de aços peritéticos da Usiminas estava um pouco deslocado do ponto ótimo, com menor tendência à ocorrência de trincas longitudinais e maior tendência à ocorrência de alarmes. Portanto, foi discutido a oportunidade de diminuir o número de alarmes por colamento, reduzindo T_{br} . Neste trabalho T_{br} foi alterado aos poucos, sempre acompanhando os resultados de alarmes e ocorrências de trinca longitudinal em produtos.

Ajustes na composição química foram realizadas, principalmente dos teores de CaO e SiO₂ e, conseqüentemente, da basicidade (CaO/SiO₂), para promover a redução de T_{br} , conforme equação 1.

2.2 Resultados e discussão

Conforme comentado anteriormente, necessitava-se reduzir o número de alarmes nos aços peritéticos. Para isso era necessário reforçar a pele e ao mesmo tempo aumentar a transferência de calor. Com isso, ao longo de dois anos buscou-se diminuir a T_{br} através da alteração da composição química do pó fluxante. A mudança foi realizada de forma cautelosa, pois havia o risco de aumentar a tendência à formação de trincas longitudinais. No gráfico da figura 5 é mostrado as reduções realizadas para a basicidade.

Nota-se pelo gráfico que houve uma redução total de aproximadamente 12% da basicidade do pó fluxante utilizado para aços peritéticos.

Conforme informações apresentadas na Tabela 1 e através de cálculos utilizando a equação 1, a diminuição da basicidade, diminuindo CaO e/ou aumentando SiO₂ tende a diminuir T_{br} . No gráfico da figura 6 é mostrada a evolução de T_{br} , sendo consequência principalmente dos diferentes valores de basicidade.

É possível observar uma redução total de aproximadamente 2% na T_{br} do pó fluxante utilizado para aços peritéticos.

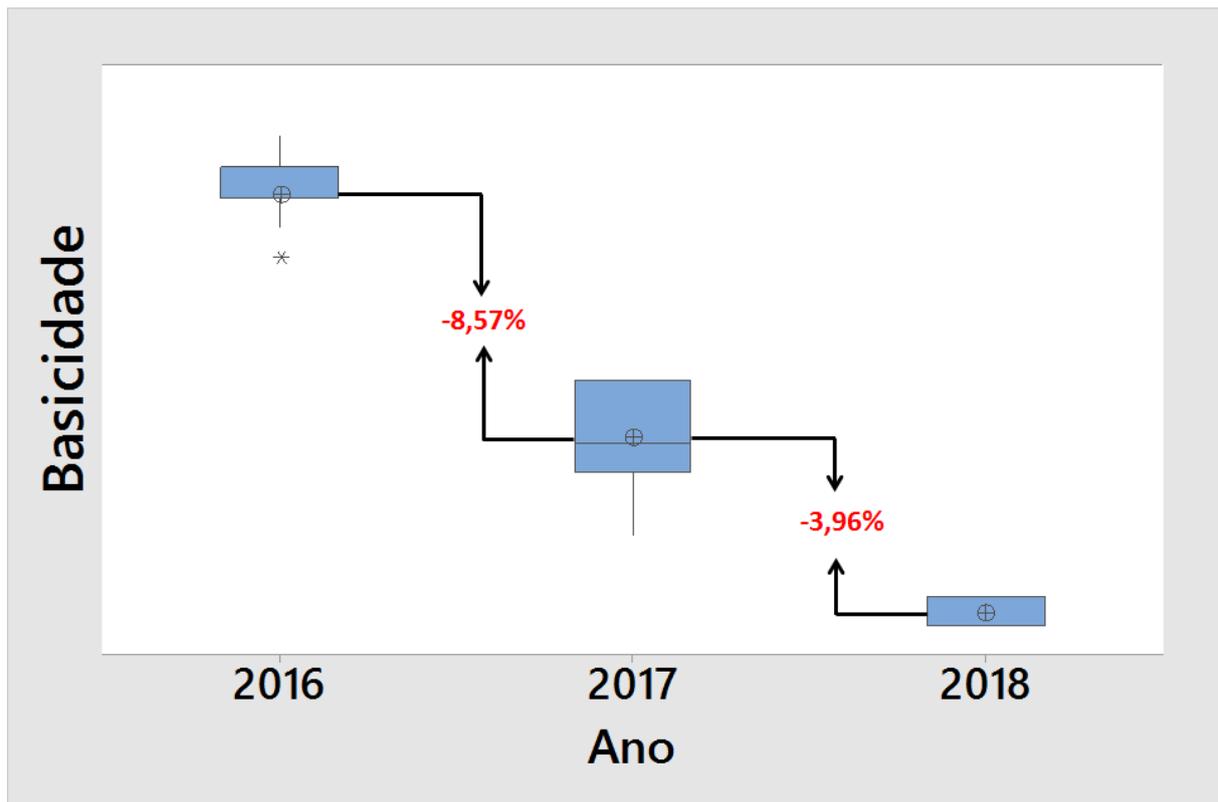


Figura 5. Evolução da basicidade para pó fluxante de aços peritéticos – fornecedor Imerys.

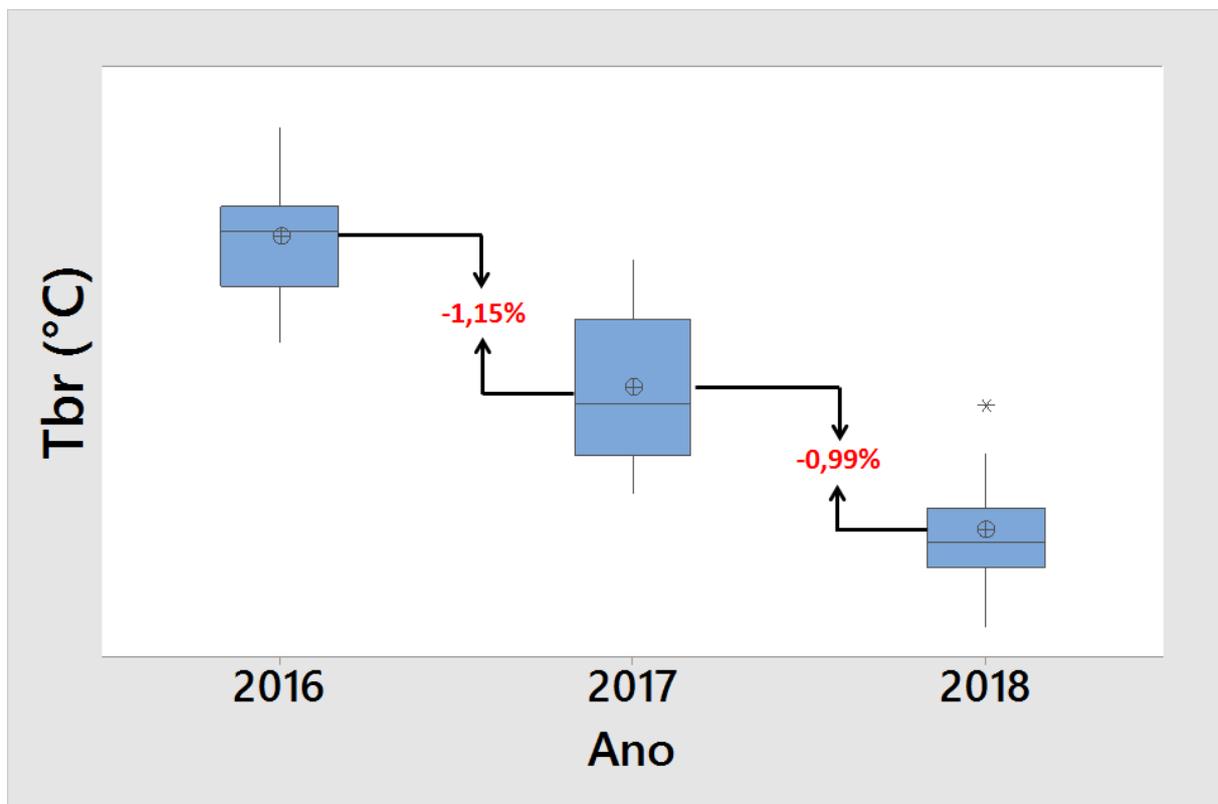


Figura 6. Evolução de T_{break} para pó fluxante de aços peritéticos – fornecedor Imerys.

Durante os testes, nenhum *breakout* ocorreu com causa relacionada ao pó fluxante. Para avaliação da efetividade da alteração, foi medido o número de alarmes de colamento obtidos ao longo dos três anos para aços peritéticos.

No gráfico da figura 7 é mostrado a evolução do índice de alarmes utilizando o pó fluxante em questão.

Nota-se pelo gráfico que houve redução superior a três vezes do índice de alarmes ao longo dos anos, ou seja, a alteração proposta de T_{break} para diminuir o número de alarmes gerou efeito muito positivo.

Para um descarte médio de 1.400 kg de aço por alarme de colamento, evitam-se após alteração, aproximadamente 156 alarmes por ano, e por consequência, o não sucateamento de 218.400 kg de aço por ano. Evita-se também 156 reduções de velocidade, que são prejudiciais à qualidade dos produtos, além de perda de produtividade da máquina.

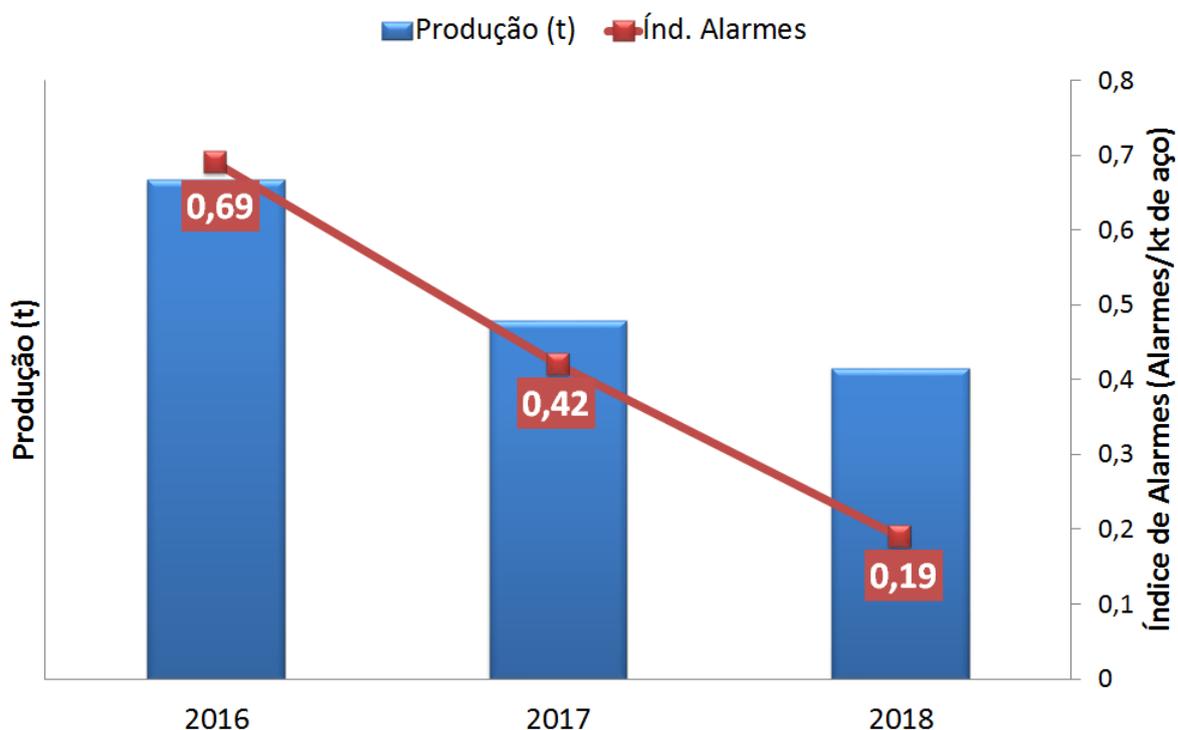


Figura 7. Evolução do índice de alarmes de colamento para aços peritéticos – fornecedor Imerys.

Como a alteração para reduzir o número de alarmes poderia trazer consequência à qualidade superficial dos produtos, mediante formação de trincas longitudinais, foi realizado levantamento ao longo dos anos de aços que utilizaram este pó fluxante. Para melhor efeito de comparação, o levantamento leva em consideração:

- Produtos chapas grossas, com espessura inferior a 14 mm;
- Placas não escaradas;
- Aços com teor de carbono entre 0,14 e 0,16%, com adição de Nb e Ti.

No gráfico da figura 8 consta o resultado de inspeção dos produtos com estas condições, avaliando o defeito trinca longitudinal ao longo de três anos.

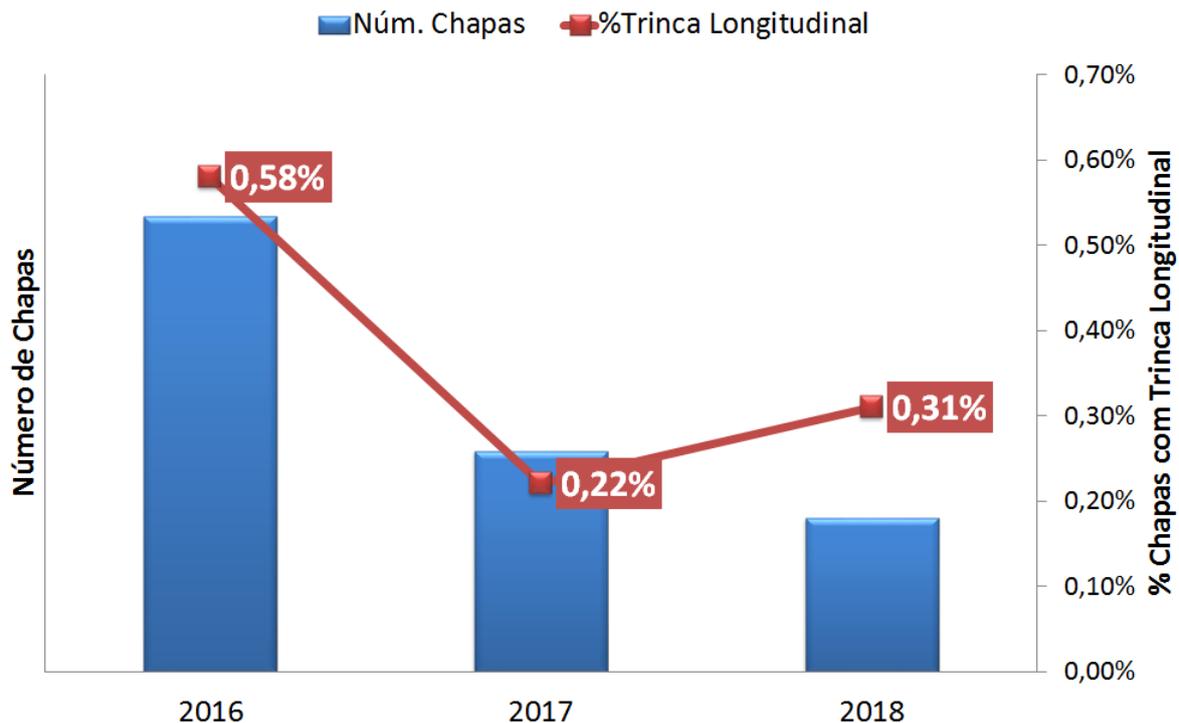


Figura 8. Evolução da ocorrência de trinca longitudinal em produtos que utilizaram pó fluxante de teste.

Pela figura 8 é possível observar que a ocorrência de trinca longitudinal diminuiu nos anos de 2017 e 2018, quando se compara ao início do teste (2016). No ano de 2018, em comparação ao ano de 2017, houve pequena elevação do índice, o que dá um direcionamento de que chegou-se próximo ao ponto ótimo de T_{br} . Portanto, a alteração da basicidade e, conseqüentemente de T_{br} , foram eficazes do ponto de vista de redução do número de alarmes de *breakout* por colamento, resultando em menores perdas por sucateamento, maior disponibilidade da máquina de lingotamento contínuo e tudo isso sem afetar negativamente as ocorrências de trincas longitudinais.

3 CONCLUSÃO

A redução da basicidade do pó fluxante, por meio da alteração de %CaO e/ou %SiO₂ reduz significativamente T_{br} .

A redução de T_{br} implica em um filme de escória com maior transferência de calor e conseqüentemente com tendência a diminuir o número de alarmes de *breakout*, o que foi de fato evidenciado.

Com a redução de T_{br} no pó fluxante para os aços peritéticos, houve uma redução significativa no número de alarmes de *breakout*. Com isso, obteve-se aumento de produtividade e ganho de rendimento.

Apesar da literatura pontuar que a redução de T_{br} implica em aumento de ocorrências de trincas longitudinais, neste trabalho o aumento de ocorrências de trincas longitudinais, considerando produtos similares, não foi observado.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos profissionais:

Ao Gestor de Pesquisa Leonardo José Silva de Oliveira e ao Engenheiro Alexandre de Freitas Gomes de Mendonça pelas contribuições técnicas;

Aos Gestores: Everton Paço Cunha e Flávio Viana Diniz Soares por abraçarem o projeto e viabilizarem uma estrutura de apoio operacional e técnico entre as áreas envolvidas;

A toda área operacional por proporcionar a realização dos testes, em especial aos Assistentes Cáiser Antônio Cunha dos Reis e Alberto César Soares Rodrigues;

A toda equipe Imerys de Laboratório e Assistência Técnica, em especial ao Analista Químico Carlos Monteiro, e ao Gerente de ciência e tecnologia, Herve Tavernier.

REFERÊNCIAS

- 1 Liu, R. Modeling Transient Multiphase Flow and Mold Top Surface Behavior in Steel Continuous Casting. Urbana: College of Illinois at Urbana-Champaign, 2014. (Dissertação, Doutorado de Filosofia em Engenharia Mecânica).
- 2 Lee, P. D., Ramirez-Lopez, P. E., Mills, K. C., Santillana, B. Review: The “butterfly effect” in continuous casting. *Ironmaking and Steelmaking*. 2012; 39: 244-253.
- 3 Mendonça, A. F. G., Reis, R. F., Marçal, G. H. R. Ajuste da lógica de canto do sistema de detecção de rompimento de pele nas máquinas de lingotamento contínuo das aciarias da Usiminas., p. 644-655. In: *49º Seminário de Aciaria, Fundação e Metalurgia de Não-Ferrosos*, São Paulo, 2018.
- 4 Nafisi, S., D'Souza, C., Collins, L., Szekeres, E. S. Breakout prevention challenges, 2011. 1609-1617.
- 5 Mills, K.C., Fox, A.B., Thackray, R.P. and Li, Z. The performance and properties of mould fluxes. VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004.
- 6 Cimarelli, T., Ferreti, A. Kempro international. A tool to explain the behavior of lubricating and covering powder during continuous casting.
- 7 Mills, K. C. Mold Powders for Continuous Casting. In: CRAMB, A. W. *The Making, Shape and Treating of Steel*. 11ª Edição. Warrendale: AIST Iron and Steel Technology, 2003, cap. 08, p.1-41.
- 8 Sridhar, S., Mills, K.C., Afrange, O.D.C., Lörz, H.P., Carli, R. Break temperatures of mold fluxes and their relevance to continuous casting. *Ironmaking and Steelmaking*. 2000; 27: 238-242.