

MELHORIA DE QUALIDADE DE PLACAS PARA LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS*

Afrânio Márcio Costa¹
Carlos Vinicius Domingos de Carvalho²
Eduardo de Paula Silveira³
Wagner Santos Araujo da Assunção⁴
Wenderson Tcharles Resende⁵

Resumo

Com a entrada em operação da laminação de chapas grossas surgiu a necessidade de estudar os efeitos da qualidade das placas nesse produto. Neste trabalho são apresentadas algumas análises realizadas visando identificar as principais causas da ocorrência de trincas de quina em placas e suas consequências nas chapas laminadas. Apresenta-se uma discussão das principais variáveis de processo que devem ser avaliadas para prevenir a formação dessas trincas no lingotamento contínuo bem como as ações implementadas para reduzir essa ocorrência no produto laminado. Os resultados encontrados mostram uma evolução na qualidade das placas de aços peritéticos micro ligados na laminação de chapas grossas.

Palavras-chave: Qualidade superficial; Trincas de quina, Lingotamento de placas, Chapas grossas.

IMPROVE SLAB QUALITY FOR PLATE MILL

Abstract

After Gerdau plate mill start, it was necessary to study the effects of slab quality in the final product. In this paper some metallurgical analyses are performed to identify slab corner cracks causes and consequences on plates. A discussion about some continuous casting parameters was made to prevent this type of cracks on slab and actions to reduce this occurrence in plates. The results show that the improvement on slab caster brought better plate mill quality.

Keywords: Superficial quality; Corner cracks; Slab caster; Plate mill.

¹ *Engenheiro Metalurgista, M. Eng., Gerente Técnico de Pesquisa e Desenvolvimento de Aços Planos, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.*

² *Engenheiro Metalurgista, M. Eng., Gerente Técnico de Aciaria, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.*

³ *Engenheiro Metalurgista, Assessor Técnico do Lingotamento Contínuo de Placas, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Metalurgista, Gerente dos Lingotamentos Contínuos, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.*

⁵ *Engenheiro Metalurgista, Técnico de manutenção do Lingotamento Contínuo de Placas, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios na produção de aços micro ligados para laminação de chapas grossas no lingotamento contínuo de placas é garantir produtividade com excelente qualidade. Neste aspecto, placas isentas de defeitos superficiais é uma questão chave para garantir competitividade e uma meta constante dos especialistas. Dentro desse cenário, um dos defeitos mais comuns são as trincas de quina, que exigem controles rigorosos das condições de processo para evita-las.

Uma das principais causas para a formação de trincas nos cantos das placas[1] está associada ao resfriamento rápido do sólido, elevado gradiente térmico, que resulta na formação de tensões térmicas capazes de iniciar a nucleação do defeito. Soma-se a isso as tensões de origem mecânicas presentes tais como: pressão ferrostática do aço e dos rolos, tração e compressão devido encurvamento e desencurvamento em máquinas do tipo vertical-curva.

Aços HSLA (alta resistência de baixa liga) contendo Nb, V, Al e N apresentam maior susceptibilidade à formação dessas trincas pois reduzem a ductilidade a quente[2]. A figura 1 mostra uma curva típica para estes aços[3]. Verifica-se uma forte redução de área e consequentemente uma queda drástica na ductilidade para temperaturas entre 750 e 900 °C.

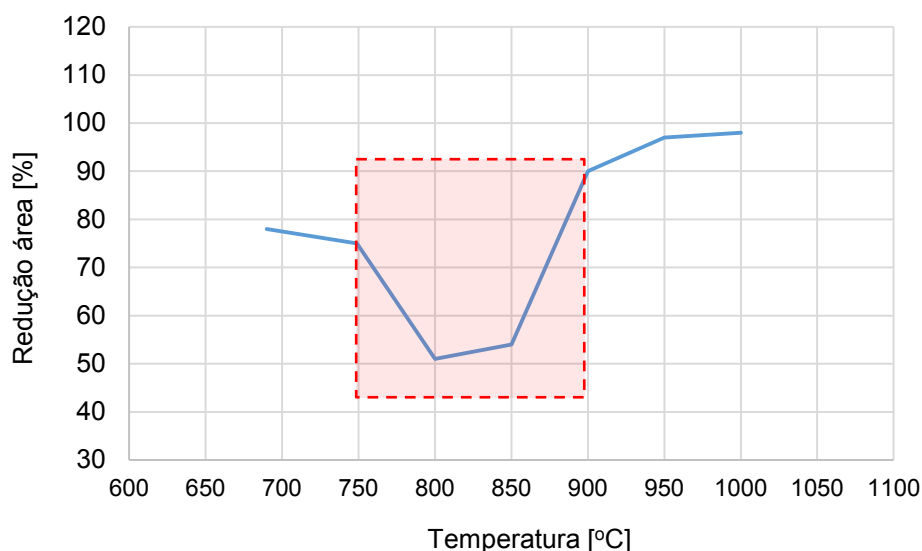


Figura 1 – Curva típica de ductilidade a quente de um aço HSLA [3].

Com o aumento da produção de aços peritéticos na laminação, tornou-se necessário produzir placas com composição química apresentando micro ligas (Nb, V, Ti, Mo, Cu e Cr) em suas especificações. Sabe-se que estes aços apresentam maior susceptibilidade para formação de trincas superficiais em placas [1] e, portanto, é necessário lingotar estes aços em condições tais que a temperatura superficial da placa, ao passar pelo desencurvamento [4], esteja fora da região de baixa ductilidade conforme apresentado na figura 1. Para se conseguir isso duas estratégias podem ser adotadas. A primeira seria utilizando um resfriamento suave para garantir temperatura superficial maior que 900 °C e a outra é o inverso, resfriamento intenso de forma a garantir uma temperatura superficial inferior a 750 °C no desencurvamento [5, 6].

Outro estudo indica que temperaturas superiores a 1000 °C são ideais para garantir alta ductilidade e redução a formação destes defeitos [4]. A figura 2 mostra uma janela de ductilidade à medida que se varia as taxas de resfriamento. Pode-se notar

que a faixa de alta ductilidade se torna menor à medida que a taxa de resfriamento diminui. A solução mais indicada, neste caso, é trabalhar com maior velocidade de lingotamento para garantir um desencurvamento em temperaturas maiores [7].

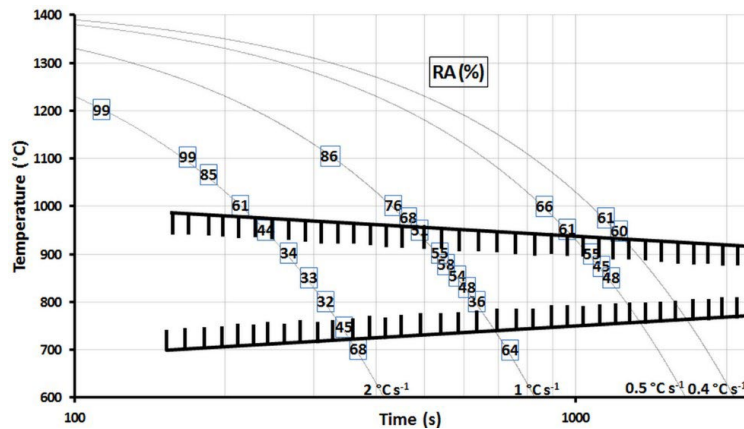


Figura 2 – Curvas de ductilidade de um aço peritético em lingotamento contínuo submetido à diferentes taxas de resfriamento [4].

Novas tecnologias têm sido empregadas para minimizar a formação de trincas de quina e destaca-se a utilização de moldes chanfrados [8]. A ideia básica é reduzir as tensões provocadas pela solidificação na quina da placa dentro do molde e, com isso, aumentar a temperatura na superfície dessa região. Simulações em modelamento matemático mostram que este efeito pode ser obtido conforme mostra a figura 3.

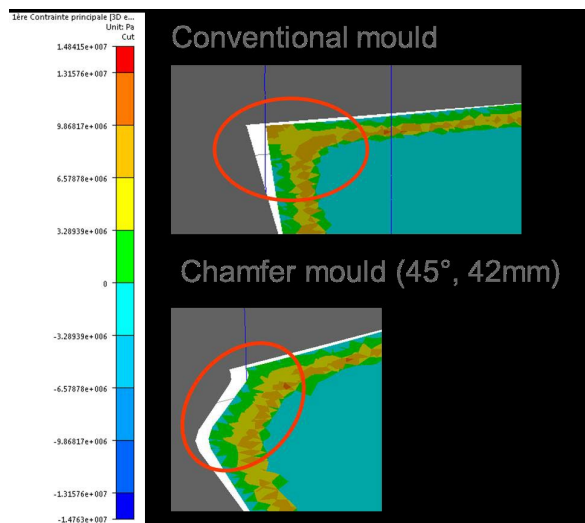


Figura 3 – Comparação entre a distribuição de tensões nas quinas da placa em molde normal e chanfrado [8].

Portanto é muito importante durante a etapa de solidificação garantir uma condição de processo de tal forma que o aço apresente ductilidade suficiente para resistir aos esforços provocados pelas tensões térmicas e mecânicas. Dessa forma, a placa entra na parte horizontal da máquina sem a nucleação de trincas, principalmente nas quinas onde normalmente a temperatura superficial é menor. Na figura 4, imagem termográfica de uma placa na saída da máquina de lingotamento, percebe-se as quinas com uma cor mais escura, indicando uma temperatura superficial mais baixa. Essa diferença pode chegar à 200 °C como indicado na figura 4b.

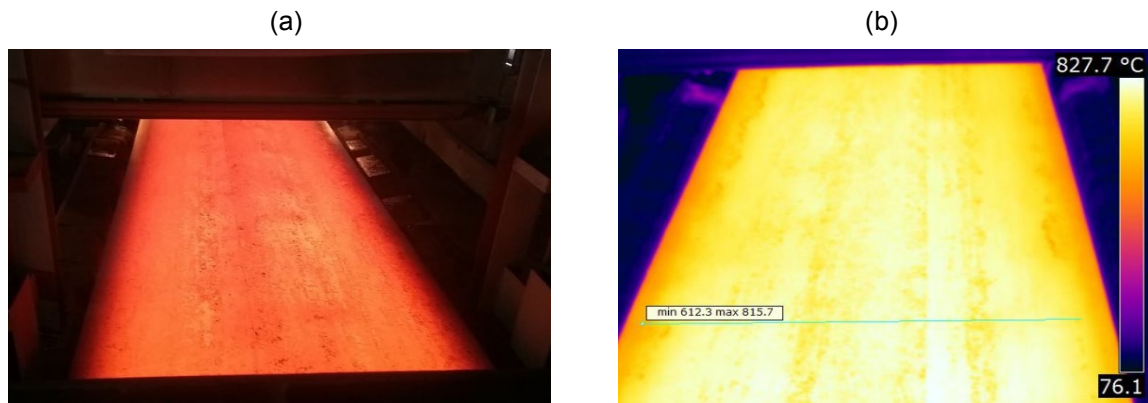


Figura 4 – Fotografia de uma placa na saída da máquina de lingotamento contínuo (a) e sua imagem termográfica (b).

As máquinas modernas de lingotamento de placas utilizam modelos matemáticos de solidificação e os parâmetros são definidos de forma a garantir que a temperatura superficial seja sempre superior a 900 °C no início do desencurvamento. Caso ocorram variações na velocidade e/ou superaquecimento do aço no distribuidor a quantidade de água do resfriamento secundário varia para garantir essa temperatura. É certo que nem sempre consegue-se manter essa condição e, neste caso, a tendência de aparecerem trincas superficiais aumenta. Quando isso ocorre, as placas devem ser inspecionadas visualmente para garantir que não há defeitos. Para isso utiliza-se escarfigem localizada com aplicação de líquido penetrante para melhor identificar as possíveis trincas.

A figura 5 mostra um exemplo de placa submetida à inspeção no acabamento de placas da Gerdau Ouro Branco enquanto a figura 6 apresenta um exemplo de ocorrência de trinca de quina.



Figura 5 – Inspeção superficial de placas visando identificar defeitos superficiais (a) especialmente trincas de quina (b).

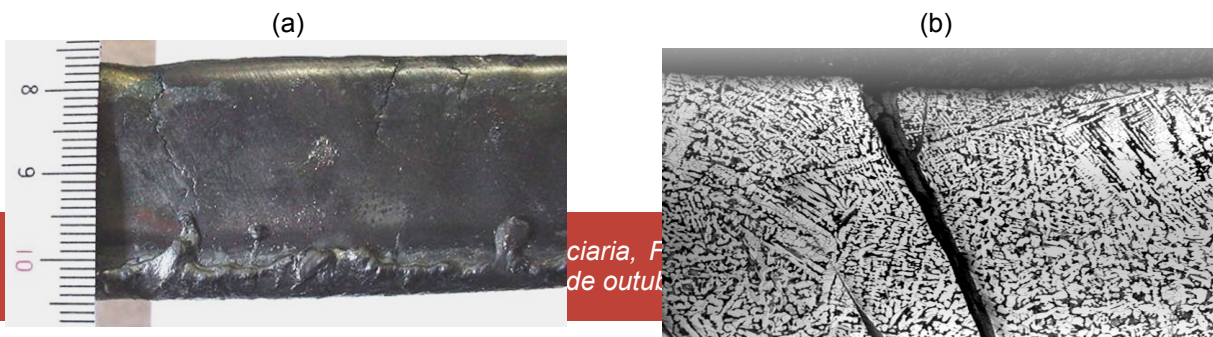


Figura 6 – Exemplo de ocorrência de trinca de quina em placa do lingotamento contínuo (a) e micrografia de uma dessas trincas (b).

2 DESENVOLVIMENTO

Para este estudo foram considerados apenas os aços peritéticos com adição de micro ligas (Nb, V, Ti, Al). Essa escolha se deve à maior tendência de ocorrência de trinca de quina e por este aço representar atualmente uma parcela importante do volume de produção do laminador de chapas grossas.

Foram realizadas análises entre algumas das principais variáveis de processo na Aciaria com relação à ocorrência de trincas de quina nas chapas, destacando-se: superaquecimento do aço no distribuidor, velocidade de lingotamento, produto $AlxN$, teor de Nióbio, a temperatura superficial da placa no desencurvamento e a densidade de água do resfriamento secundário.

Como o modelo matemático existente no lingotamento estima a temperatura apenas no centro da placa, foi necessário verificar a temperatura superficial ao longo da largura da placa imediatamente antes do início do ponto de desdobramento, com o objetivo de verificar a diferença entre o centro e cantos das placas. Para isso foram capturadas imagens termográficas entre os segmentos 6 e 7 utilizando uma câmera termográfica.

As temperaturas obtidas foram comparadas com as temperaturas estimadas pelo modelo. Cabe enfatizar que estes dados foram tratados visando eliminar interferências relacionadas à presença de carepa e vapor entre a câmera e superfície da placa.

As figuras 7, 8 e 9 apresentam os resultados encontrados.

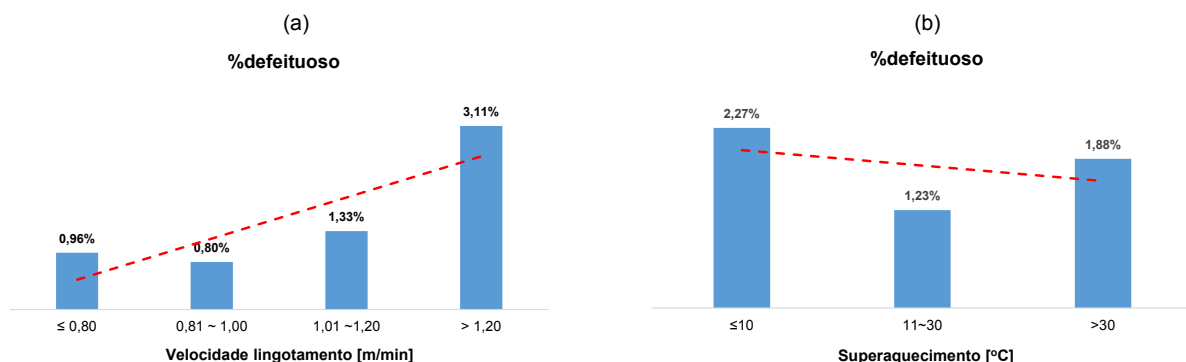


Figura 7 – Frequência de defeitos em função da velocidade de lingotamento (a) e do superaquecimento do aço no distribuidor (b).

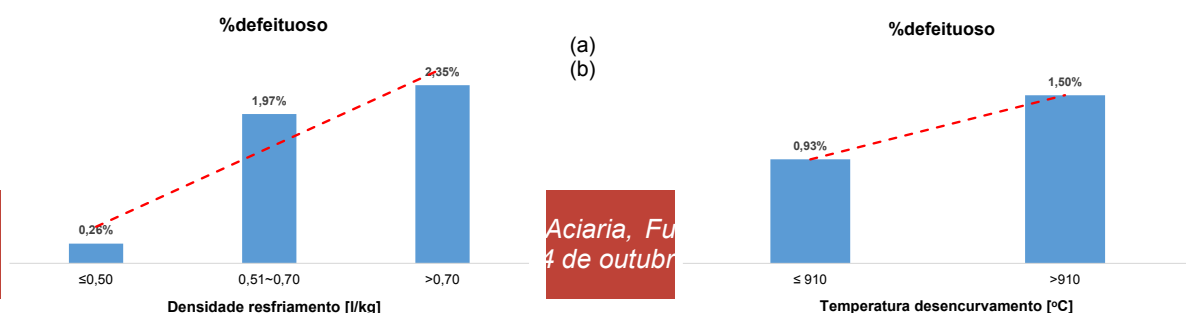


Figura 8 – Frequência de defeitos em função da densidade de água do resfriamento secundário (a) e da temperatura superficial da placa no descurvamento (b).

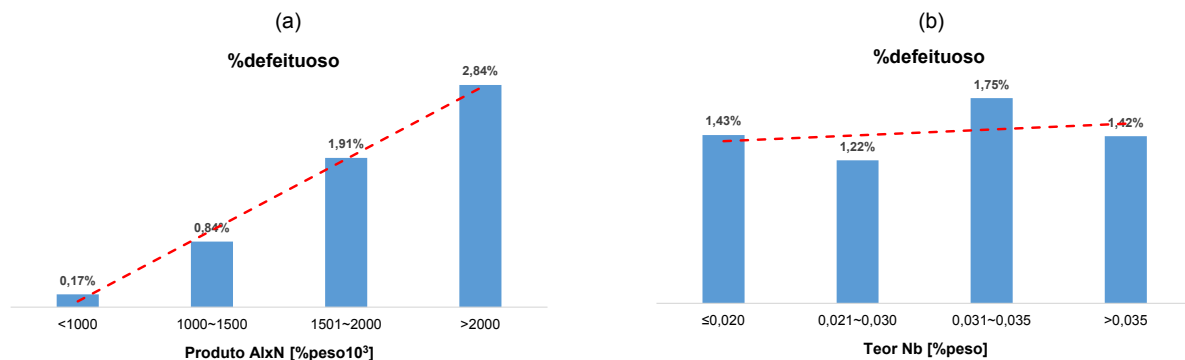


Figura 9 – Frequência de defeitos em função do produto AlxN (a) e do teor de Nióbio (b).

Analisando-se os resultados apresentados pode-se dizer que:

- As corridas onde a relação AlxN foi maior que 2000 apresentam maior índice de defeitos,
- As placas que sofreram maior intensidade de resfriamento, densidade de água, apresentam maior frequência de trincas,
- O aumento do teor de Nióbio não resultou em maior número de chapas com trincas de quina
- As placas cuja temperatura superficial no descurvamento foi menor que 910 °C não apresentaram maior tendência à formação de trincas de quina.

Outro ponto importante de mencionar é que a estratégia de resfriamento adotada no lingotamento visa garantir que a temperatura superficial da placa seja sempre superior à 900 °C no descurvamento mesmo para variações de velocidade e superaquecimento do aço no distribuidor. A figura 10 apresenta resultados encontrados utilizando-se os cálculos do modelo matemático para o centro da placa para os aços em estudo. Verifica-se que a temperatura no centro da placa quase sempre está entre 920 e 950 °C, figura 10a.

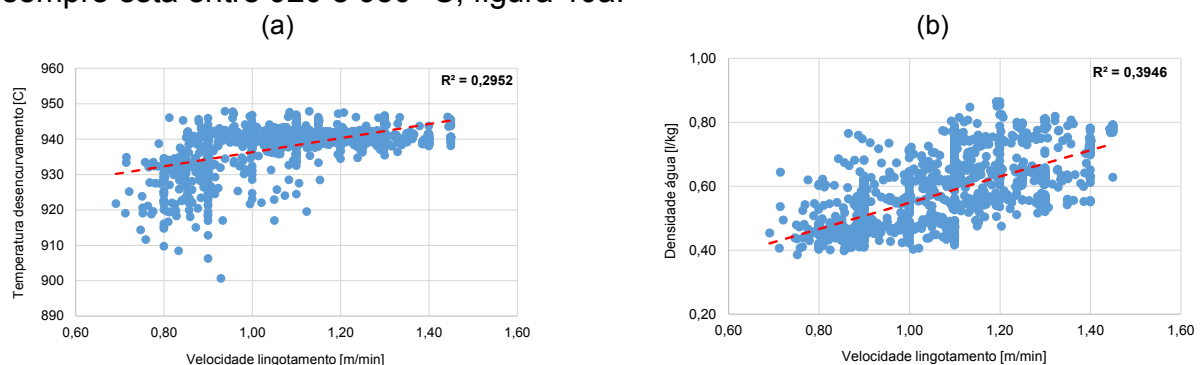


Figura 10 – Variação da temperatura superficial da placa no desencurvamento (a) e da densidade de água utilizada no resfriamento secundário (b) com a velocidade real de lingotamento.

Verifica-se pelos cálculos do modelo de resfriamento que a densidade de água adotada varia entre 0,40 e 0,80l/kg para velocidade entre 0,80 e 1,40m/min visando garantir que a temperatura superficial no desencurvamento seja sempre superior à 900 °C.

Situações reais de processo, algumas vezes, contribuem para que essas temperaturas não sejam alcançadas [5]. Um exemplo disso está relacionado à obstrução de bicos de spray que provocam distorções entre os cálculos do modelo e as temperaturas reais na placa. Para garantir que isso não seja um problema, utiliza-se o equipamento conhecido como “*Roll Gap Checker*”. A figura 11 apresenta um resultado obtido com a utilização dessa tecnologia no lingotamento de placas onde os pontos claros indicam possíveis obstruções dos bicos. Neste exemplo percebe-se uma maior tendência de problemas na parte inferior da máquina. Para evitar que isso resulte em maior ocorrência de defeitos, realiza-se uma verificação frequente e as lanças obstruídas devem ser trocadas.

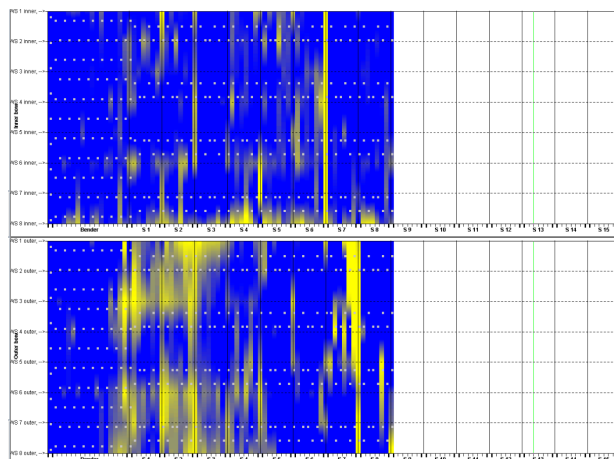


Figura 11 – Resultado das condições dos bicos de spray via roll gap Checker.

Em virtude de os resultados encontrados indicar que as temperaturas no centro da placa estão quase sempre superiores a 900 °C, contrários à queda de ductilidade a quente de aços micro ligados apresentada na figura 1, optou-se por verificar se a temperatura real superficial das placas em lingotamento realmente estavam conforme o modelo. A figura 12 mostra alguns resultados indicando que há uma diferença considerável entre as temperaturas do modelo e reais para uma das quinas da placa [8].

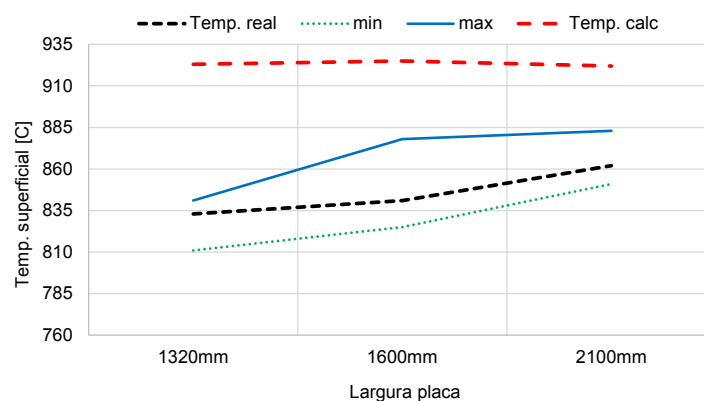


Figura 12 – Comparação entre temperaturas estimadas pelo modelo e medições reais via termografia de aços peritéticos micro ligados lingotados com velocidade 1,0m/min.

Visando minimizar a ocorrência deste defeito nas chapas adotou-se novas práticas no lingotamento e acabamento de placas que foram:

- Realizar verificação das condições dos bicos de spray semanalmente via roll gap Checker e substituir as lanças obstruídas,
- Aumentar a frequência de inspeção e escarfagem das bordas das placas das corridas cujo produto AlxN seja superior à 2000,
- Reduzir o volume de água aplicado no resfriamento secundário, bicos de spray posicionados nas margens, visando aumentar a temperatura superficial nas quinas das placas,
- Melhorar as práticas de refino secundário e selagem do distribuidor visando reduzir o teor médio de N,
- Intensificar o estudo de medição térmica da superfície da placa durante o lingotamento.

Em 2017 foram laminadas aproximadamente 360.000 toneladas de chapas grossas e o índice geral de chapas que apresentaram ocorrência de trincas de quina foi de 0,33%, enquanto para aços peritéticos este indicador foi de 0,59% em peso.

Depois de implantar as ações descritas, os resultados indicam uma evolução na qualidade das placas fornecidas pois o índice de chapas com ocorrência de trincas de quina reduziu significativamente. A figura 13 mostra a evolução dos resultados em chapas ao longo do ano.

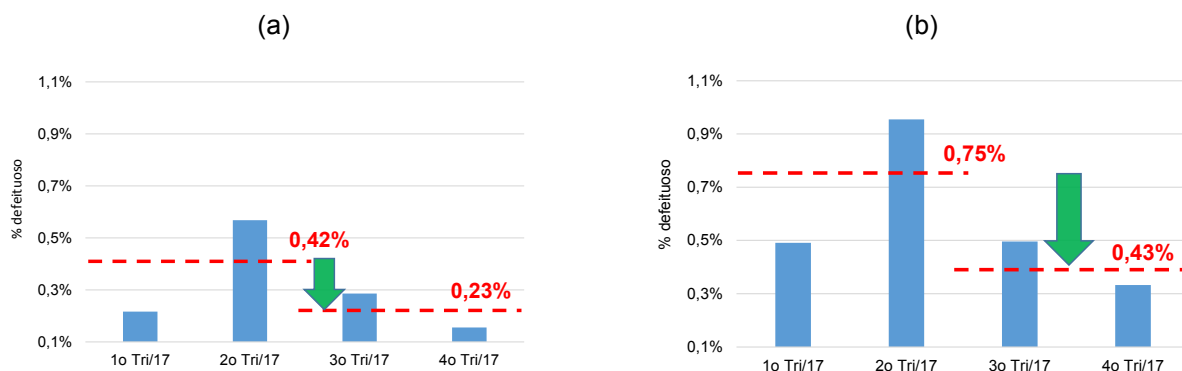


Figura 13 – Índice geral de chapas com ocorrência de trincas de quina (a) e índice de aços peritéticos micro ligados (b).

Comparando os resultados do primeiro semestre com o segundo semestre de 2017, verifica-se uma redução significativa nas ocorrências de trincas de quina em chapas grossas de aços peritéticos, 0,75 para 0,43%, redução de mais de 50%.

3 CONCLUSÃO

As ações implementadas no lingotamento contínuo e acabamento de placas visando melhorar a qualidade superficial das placas de aços peritéticos tem se mostrado eficiente no que diz respeito à ocorrência de trincas de quina em chapas grossas.

Foi identificado que o modelo matemático de solidificação do lingotamento contínuo de placa não estima a temperatura superficial no canto da placa de forma adequada para garantir temperaturas superiores à condição de alta ductilidade, maior que

900 °C[3] ou 1000 °C[7]. Dessa forma estudos termográficos continuam em andamento visando conhecer melhor estes efeitos, bem como estimar adequadamente as modificações que devem ser realizadas no resfriamento secundário do lingotamento de placas.

REFERÊNCIAS

- 1 BRIMACOMBE, J.K.; SORIMACHI, K. Crack formation in the continuous casting steel. Metallurgical Transactions B, v. 8B, p. 489-505, 1977.
- 2 SZEKERES, E.S. A review of strand casting factors affecting transverse cracking, p. 324-338, New York, 2002.
- 3 BANKS, K.M.; TULING, A.; MINTZ, B. The influence of N on hot ductility of V, Nb and Nb-Ti containing steels using improved thermal simulation of continuous casting. Journal of the southern African institute of mining and metallurgy, v. 111, p. 711-716, 2011.
- 4 MINTZ, B.; YUE, S.; JONAS, J.J. Hot ductility of steel and its relationship to the problem of transversal cracking during continuous casting. International Mater, v. 36, p. 187-217, 1991.
- 5 BOYLE, R.; FRICK, J. Audits of secondary cooling systems in existing casters as a method to enhance product quality and productivity. Iron & steel technology, p. 59-66, July, 2006.
- 6 CURREY, D.; TRINH, M.; GOERTZ, V. Improvement of secondary cooling reliability for Dofasco no.1 continuous caster. Iron & steel technology, p. 52-57, AISTech, 2005. KAINZ, A.; ILIE, S.; PARTEDER, E.; ZEMAN, K. From slab cracks to edge defects in hot rolled strip experimental and numerical investigations. Steel research int. v. 11, p. 861-867, 2008.
- 7 RIVAUX, B.; YAO, B.; DOMGIN, J.F.; MORAVEC, R. Chamfer mold technology for corner cracks reduction understanding and design optimization through numerical simulation. 9ECCC, p. 130-137, Vienna, 2017.
- 8 RESENDE, W.T. Estudo para redução da ocorrência de trincas de quina em aços peritéticos no lingotamento contínuo de placas. TCC Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Branco, MG, Brasil, 2017.