

MELHORIA DA QUALIDADE SUPERFICIAL EM BARRAS ATRAVÉS DO AUMENTO DA TEMPERATURA DE REAQUECIMENTO NA LAMINAÇÃO¹

Fabiana Lopes da Silva²

Rogério Alves Oliveira³

Afonso Reguly⁴

Resumo

Defeitos superficiais em barras laminadas representam inúmeros transtornos durante o processo produtivo, pois dependendo de sua profundidade, característica e morfologia podem gerar uma elevada rejeição de barras laminadas durante o processo de inspeção em linha automática. A fim de reduzir a rejeição e o retrabalho por defeitos superficiais foram realizadas melhorias no processo de reaquecimento de materiais para laminação. O processo de laminação em um trem laminador aberto tende a aumentar as perdas de temperatura do material. Conseqüentemente, a susceptibilidade ao surgimento de pequenos defeitos superficiais aumenta, pois o material perde mais temperatura tendo sua ductilidade à quente reduzida. Além disso, especialmente em um trem laminador aberto, a movimentação do material durante o processo de laminação pode favorecer o surgimento de pequenas marcas que pode nuclear defeitos. O objetivo de se elevar a temperatura de reaquecimento é favorecer a remoção de pequenos defeitos presentes no tarugo através da maior formação de carepa e proporcionar um material mais aquecido durante as etapas de laminação, reduzindo a susceptibilidade ao surgimento e/ou propagação de defeitos superficiais. O incremento nas temperaturas de reaquecimento levou a uma redução na rejeição devido a defeitos superficiais.

Palavras-chave: Defeitos superficiais; Defeitos artificiais; Reaquecimento; Rejeição; Sico Test.

IMPROVEMENT OF QUALITY SURFACE IN BARS THROUGH REHEATING TEMPERATURE INCREASE IN ROLLING MILL

Abstract

Surface defects in rolled bars represent a lot of problems during the productive process. This happens because depending on their depth, their characteristic and their morphology, the surface defects can result in higher rejection of rolled bars during the inspection process in an automatic line. In order to reduce rejection and rework due to surface defects, improvements were made in the reheating temperature of the materials to be rolled. The rolling process in an open rolling train can increase the temperature losses of the material. Hence, the susceptibility for small defects appears to increase because the material loses more temperature leading to a reduction in its hot ductility. Furthermore, especially in an open train, the moving of the material during the rolling process can promote appearance of small marks that may convert in defects. The aim of increasing the reheating temperature is to promote the removal of small defects present in the billets through the increase of scale formation and also to have hotter material during the rolling process, reducing the susceptibility to the appearance and/or propagation of surface defects. The increase in reheating temperature leads to rejection reduction due to surface defects.

Key words: Surface defects; Artificial defects; Reheating; Rejection; Sico Test.

¹ Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Eng^a. Metalúrgica (Assessora Técnica Laminação da Gerdau Aços Especiais Charqueadas).

³ MSc. Eng^o. Mecânico (Assessor Técnico Laminação da Gerdau Aços Especiais Charqueadas).

⁴ Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

1 INTRODUÇÃO

A qualidade superficial das barras laminadas é caracterizada pela presença ou isenção de defeitos superficiais. Em se tratando de barras laminadas destinadas a aplicação na indústria automotiva este é um requisito fundamental para garantir a qualidade e a vida útil de componentes mecânicos.

Durante o processo produtivo do aço existem etapas que constituem potenciais geradores de defeitos superficiais, seja durante o processo na Aciaria, seja durante o processo na Laminação.

Depois de concluídas estas duas etapas de produção as barras laminadas passam por uma etapa de inspeção onde os defeitos superficiais são identificados através de ensaios por correntes parasitas em uma linha de inspeção automática ou de partículas magnéticas em uma linha de inspeção *off line*. Em cada etapa do processo é possível identificar oportunidades de melhoria que levam a redução da incidência de defeitos superficiais nas barras. Estas melhorias trazem como resultados a redução da rejeição nas linhas de inspeção.

A redução da rejeição é considerada como uma melhoria significativa, pois toda barra rejeitada no processo de inspeção em linha (considera-se como rejeitada toda a barra que apresentar defeitos com profundidade acima da especificada para o produto) demanda retrabalho (reinspeção *off line*). Toda barra rejeitada cujos defeitos apresentam-se acima da profundidade máxima permitida deve ser descartada. Portanto, a melhora na qualidade superficial traz um benefício bastante grande na redução do custo com a não qualidade do produto.

O foco de atuação deste trabalho foi o processo de laminação, pois, além de defeitos com profundidade acima do especificado, defeitos de baixa profundidade, porém de maior área superficial como, por exemplo, escamas, tendem a aumentar a rejeição.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho foi a realização de testes objetivando reduzir os defeitos superficiais em barras laminadas através do uso de temperaturas mais elevadas de reaquecimento na laminação. A hipótese formulada para os testes foi a de que o aumento de temperatura favorece a formação de carepa durante o reaquecimento removendo assim pequenos defeitos presentes no tarugo. Além disso, favorece o processo de conformação evitando a nucleação e propagação de defeitos. Para validação destas hipóteses foram realizados testes comparando os resultados de rejeição para condições de temperatura baixa e alta, testes com defeitos artificiais para avaliar a propagação do defeito frente a seqüência de passes utilizada e testes em simulador termomecânico sob diferentes temperaturas e taxas de deformação para avaliar a susceptibilidade a nucleação de defeitos durante o processo de deformação.

2.1 Testes de Temperatura

A temperatura de laminação está dentre os principais fatores que favorecem o surgimento de defeitos superficiais. Lim et al⁽¹⁾ relatam que a temperatura de laminação influencia no surgimento de *wrinkles*, os quais podem causar crescimento de trincas. Para avaliar o efeito da temperatura de reaquecimento foram realizados testes comparando duas condições de temperatura, a saber: baixa (1.200°C) e alta

(1.280°C). Estas condições de temperatura foram obtidas através da utilização destes valores como *set point* para as temperaturas das zonas de aquecimento e encharque de um forno tipo *walking beam*.

As temperaturas de laminação foram monitoradas através do uso de pirômetros instalados ao longo do processo no intuito de se identificar e avaliar o impacto da alteração das temperaturas de reaquecimento sobre as temperaturas de laminação. O resultado do teste foi avaliado através do comparativo entre o percentual de rejeição nas duas condições testadas.

2.2 Testes com Defeitos Artificiais

Depois de identificado o potencial de melhoria a ser explorado com o uso de temperaturas mais elevadas no reaquecimento, foram realizados testes com defeitos artificiais a fim de se avaliar a capacidade de uma determinada seqüência de passes de reduzir a profundidade dos defeitos pré-existentes na matéria-prima. A posição do defeito no tarugo apresenta diferentes comportamentos frente a redução de profundidade. Matsui et al.⁽²⁾ dizem que defeitos que apresentam contato com o cilindro tendem a diminuir devido aos esforços de compressão a que são submetidos nesta região, já os defeitos que são expostos a região de alargamento tendem a aumentar sua profundidade devido aos esforços de tração exercidos nesta região.

Filipovic⁽³⁾ relata em seus estudos que uma seqüência de passes inadequada pode nuclear e aumentar o tamanho de um defeito durante a laminação, já uma calibração adequada pode diminuir e em alguns casos até mesmo eliminar os defeitos.

Para os testes foram usinados defeitos artificiais tanto nas faces quanto nos cantos dos tarugos testados. Estes tarugos foram previamente esmerilhados tendo removida uma camada superficial a fim de se evitar que defeitos provenientes do processo de lingotamento contínuo interferissem no resultado dos testes. A Figura 1 apresenta as características e as posições dos defeitos usinados.

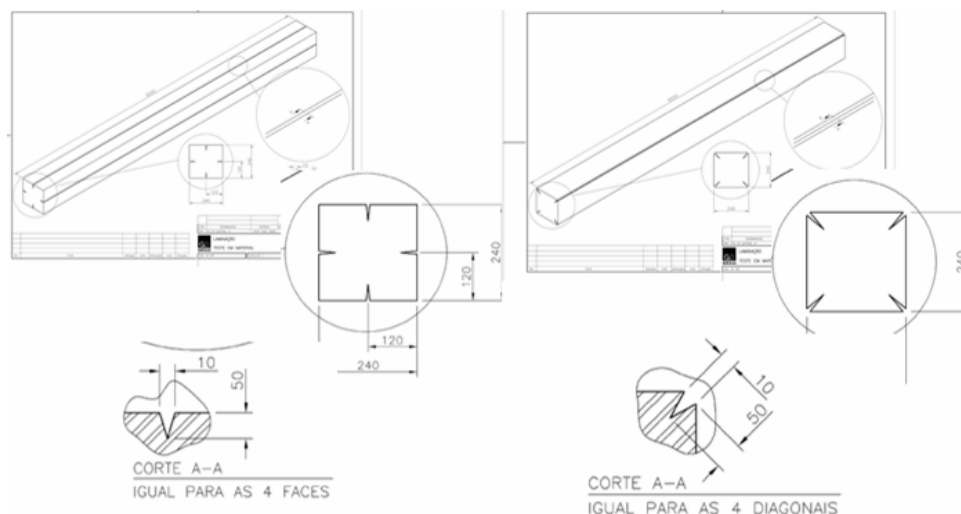


Figura 1. Croqui dos defeitos artificiais usinados para o teste.

Os tarugos com os defeitos artificiais foram submetidos a uma seqüência de desbaste com canais caixa – diamante, de intermediário e acabador com canais falso redondo – oval – redondo.

2.3 Testes com Simulador Termomecânico

Utilizando o simulador termomecânico Gleeble 3500 foi possível realizar testes com o objetivo de identificar a susceptibilidade do material à abertura de trincas durante o processo de deformação. Para isto, simulou-se a taxa de deformação nos passes da seqüência do acabador sob diferentes temperaturas de laminação utilizando o SICO TEST (Strain-Induced Crack Opening test). Os resultados destes testes foram avaliados qualitativamente através da análise visual das amostras buscando-se identificar a presença de trincas.

O Sico Test pode ser usado para determinar a susceptibilidade a trincas, ou seja, através da análise da amostra testada é possível identificar a presença de trincas após o teste. No procedimento experimental do SICO a deformação e a taxa de deformação são programadas para determinar o limite de resistência para surgimento das trincas em determinada taxa de deformação e faixa de temperatura de interesse.⁽⁴⁾

Para a execução dos testes, utilizou-se o módulo fixo e de compressão do simulador termomecânico Gleeble 3500 (Figura 2).



Figura 2. Foto do simulador termomecânico Gleeble 3500.

A Figura 3 apresenta o corpo de prova utilizado para realização do ensaio.

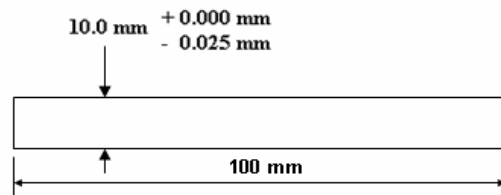


Figura 3. Corpo de prova utilizado para realização do ensaio SICO TEST.

O corpo de prova utilizado é retificado para obter melhor precisão dimensional e também para evitar imperfeições na sua superfície, o que pode afetar o ensaio. Quanto ao sistema de aquecimento das amostras, o simulador trabalha com a passagem de corrente elétrica no corpo de prova.

Durante o ensaio, o esforço e o aquecimento ocorrem somente na região central do corpo de prova. O termopar, controlador de temperatura, é soldado na região central da amostra e o conjunto é então posicionado na câmara de vácuo do simulador termomecânico. Para obtenção dos dados de deformação é utilizado um transdutor, o qual proporciona medidas precisas de deslocamento do corpo de prova durante o ensaio.

A amostra é aquecida até a temperatura do teste e comprimida a uma determinada taxa de deformação estipulada previamente.⁽⁵⁾

A Figura 4 apresenta uma imagem esquemática do teste utilizado para avaliar a susceptibilidade do material a trincas quando deformado sob diferentes temperaturas.

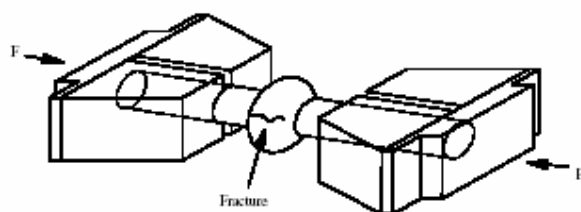


Figura 4. Esquema representando o ensaio SICO TEST.⁽⁶⁾

Damm et al.⁽⁶⁾ relatam a realização de SICO TEST na faixa de temperaturas de 850°C a 1.150°C muito similar a praticada por XIE et al.⁽⁷⁾ que varia de 700°C a 1.100°C. Visando simular situações reais identificadas através da coleta de dados de temperatura em diferentes pontos da laminação, para os estudos realizados neste trabalho foram utilizadas temperaturas variando de 850°C a 1.025°C.

3 RESULTADOS

3.1 Testes de Temperatura

O primeiro teste realizado foi variando a temperatura de reaquecimento utilizando como set points os seguintes valores: 1.220°C e 1.280°C. Conforme se observa nas Figuras 5 e 6 estes valores foram atingidos durante todo tempo de permanência dos tarugos sob estas diferentes condições no forno de reaquecimento.

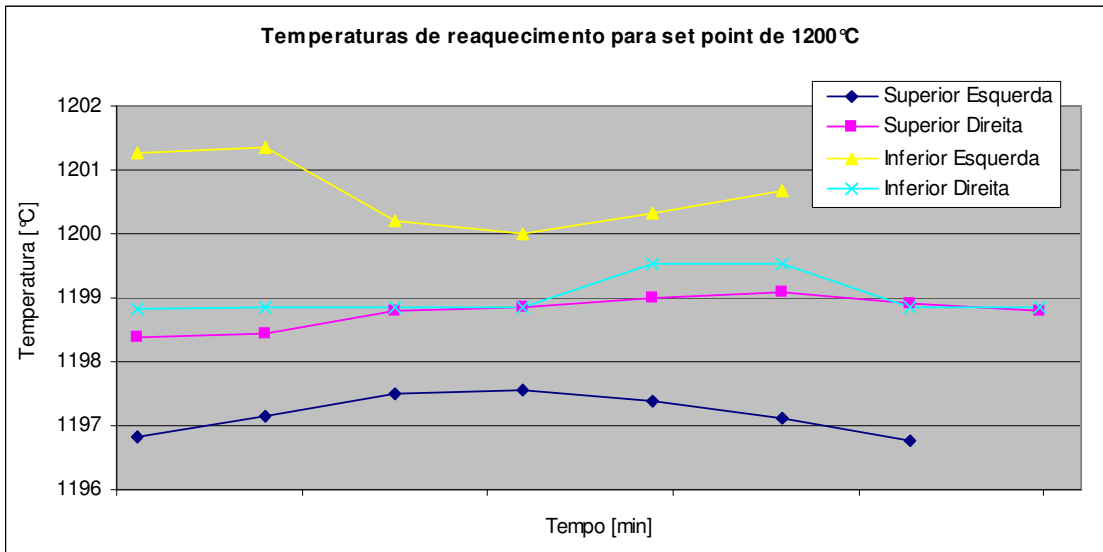


Figura 5. Evolução das temperaturas de reaquecimento para o set point de 1.200°C.

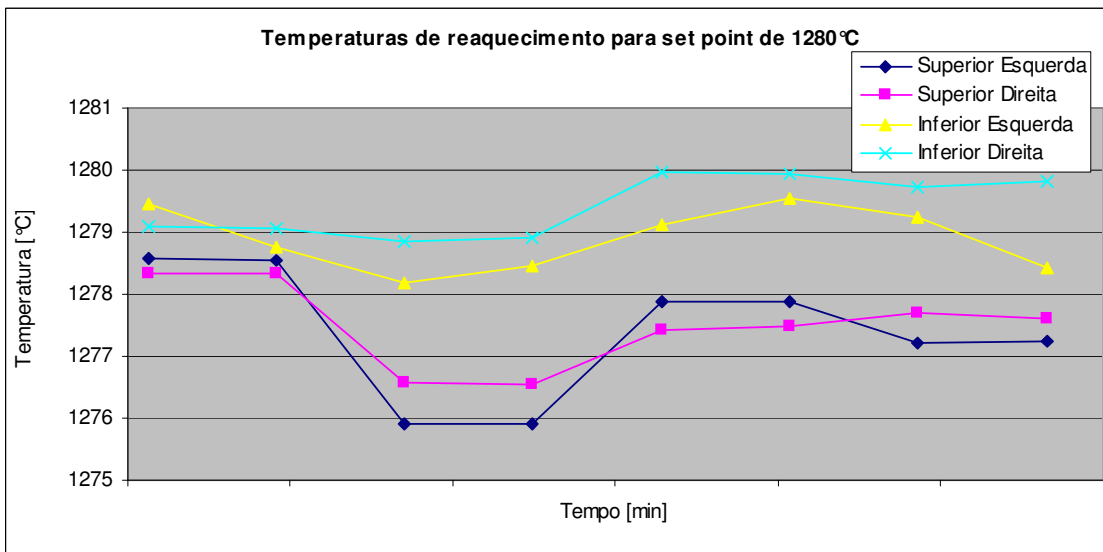


Figura 6. Evolução das temperaturas de reaquecimento para o set point de 1.280°C.

As temperaturas objetivadas no teste foram atingidas sendo que, para o set point de 1.200°C, a temperatura de câmara variou se 1.196°C a 1.202°C e, para o set point de 1.280°C, a temperatura de câmara variou de 1.275°C a 1281°C.

Nota-se na Figura 7 que a diferença de 80°C no reaquecimento se reflete na diferença de temperatura durante os passes de desgaste em uma gaiola do tipo duo reversível, ou seja, é mantida a diferença de 80°C entre as duas condições de teste.

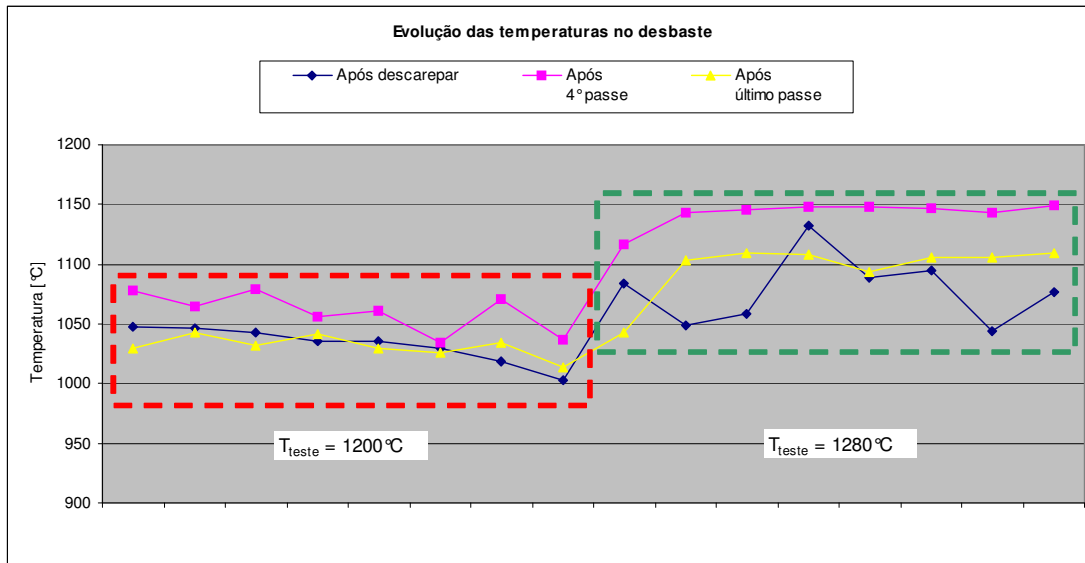


Figura 7. Evolução das temperaturas de laminação no desbaste.

A partir das Figuras 8 e 9 é possível identificar que a diferença de 80°C no reaquecimento se reflete não apenas no desbaste, mas também nas demais seqüências do laminador, onde a diferença de temperatura entre as condições de teste é da ordem de 50°C.

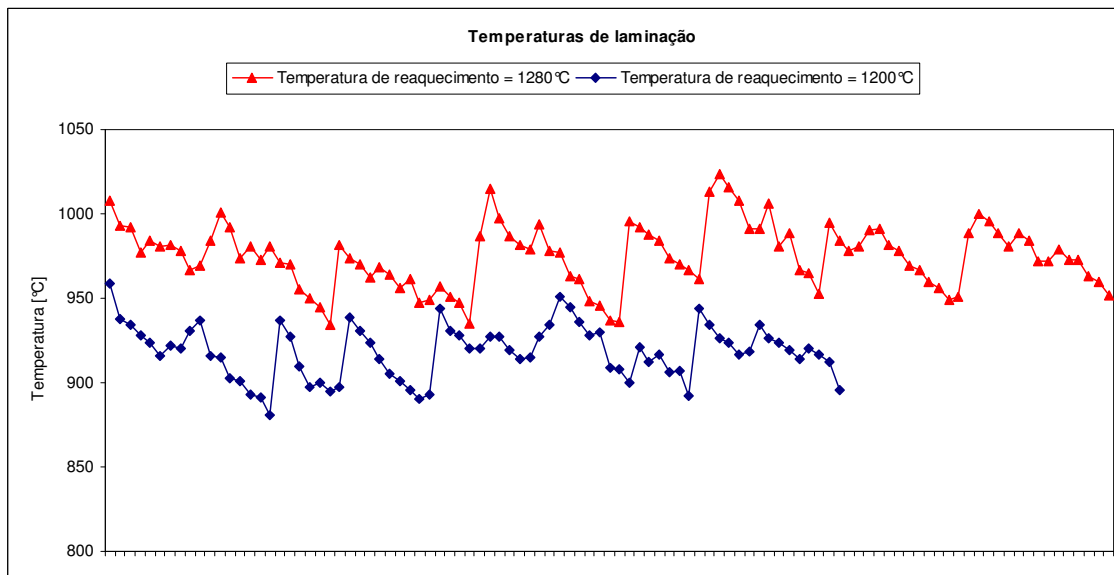


Figura 8. Evolução das temperaturas ao longo da laminação.

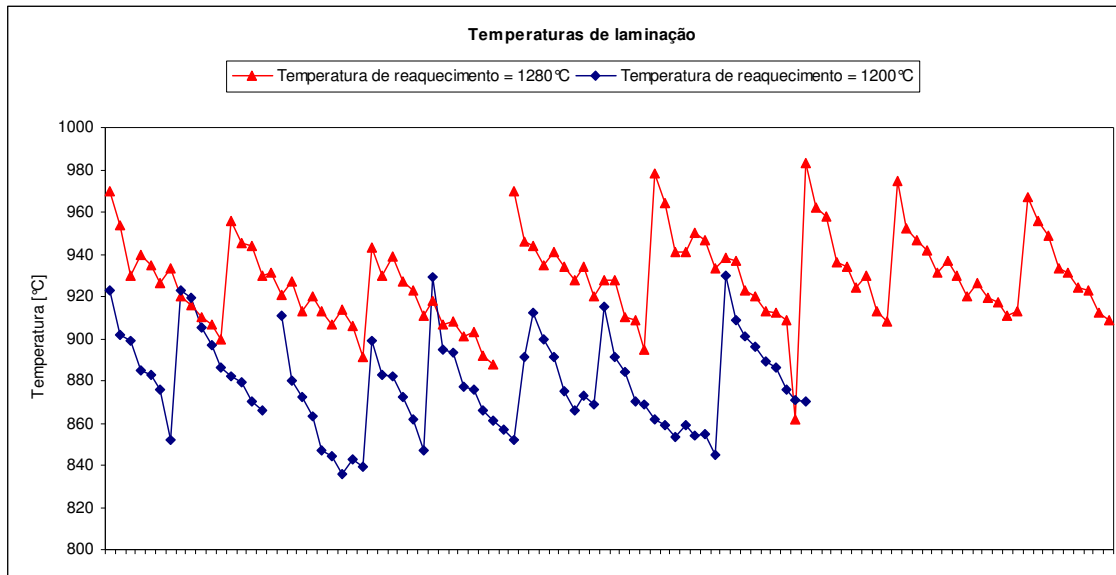


Figura 9. Evolução das temperaturas de laminação.

A Figura 10 apresenta os resultados de rejeição para as duas condições testadas. Observa-se uma melhoria significativa nos resultados de rejeição para a condição de teste onde a temperatura de reaquecimento foi de 1.280 °C.

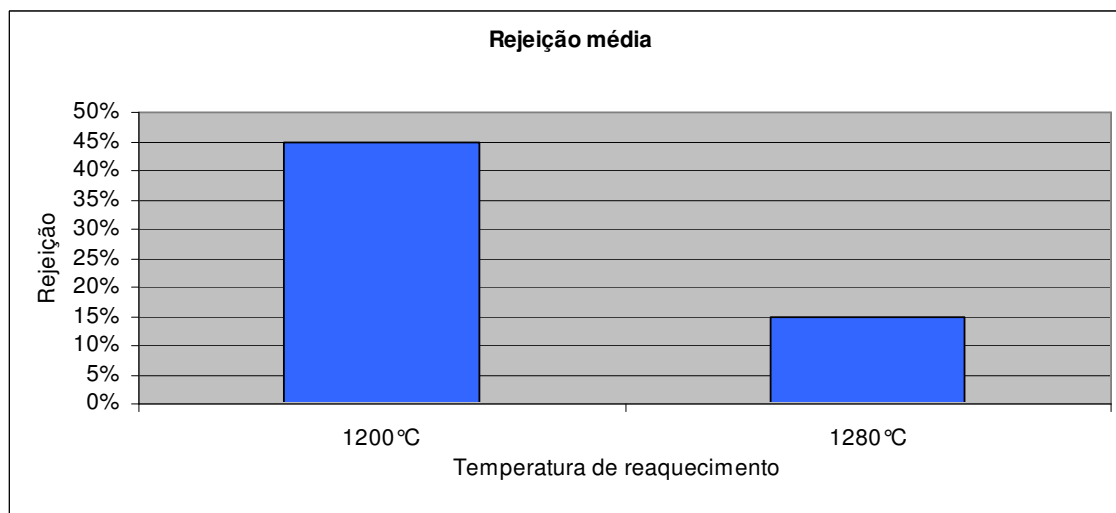


Figura 10. Evolução dos resultados de rejeição para as condições de teste com temperaturas de reaquecimento de 1.200 °C e 1.280 °C.

3.2 Testes com defeitos artificiais

O objetivo principal deste teste foi avaliar se defeitos presentes, seja nos cantos, seja nas faces do tarugo, tendem a aumentar ou a diminuir sua profundidade durante o processo de laminação. Para realização deste teste foi utilizada temperatura de reaquecimento de 1.280 °C.

A Figura 10 apresenta as macrografias das amostras retiradas nos últimos passes das seqüências de desbaste (a), intermediário (b) e acabador (c) do tarugo cujos defeitos artificiais foram usinados nos cantos.

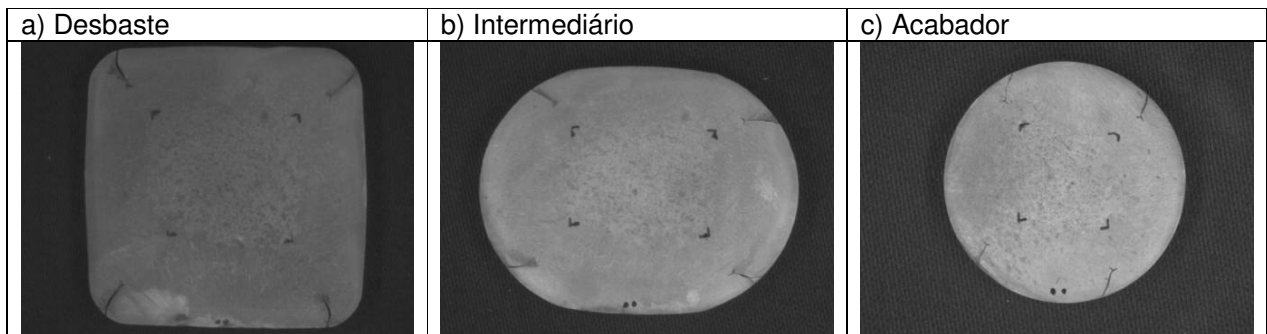


Figura 10. Macrografias das amostras retiradas nos últimos passes das seqüências de laminação: a) desbaste; b) intermediário e c) acabador.

A Figura 11 apresenta as macrografias das amostras retiradas nos últimos passes das seqüências de desbaste (a), intermediário (b) e acabador (c) do tarugo cujos defeitos artificiais foram usinados nas faces.

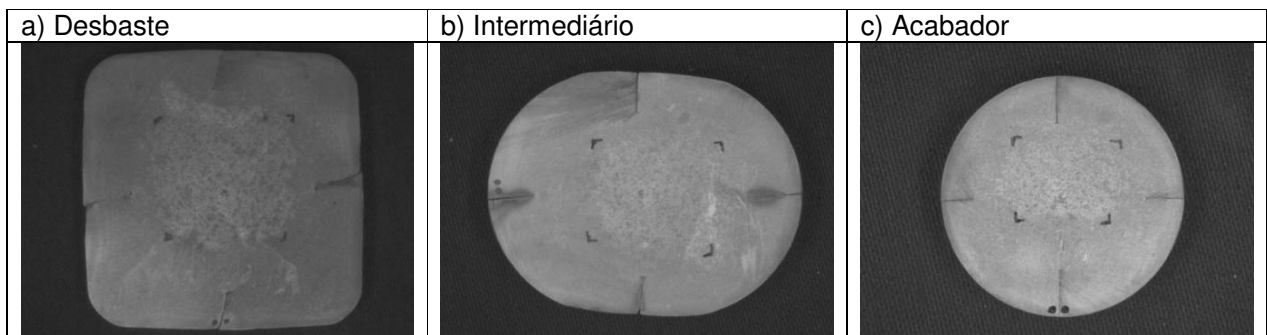


Figura 11. Macrografias das amostras retiradas nos últimos passes das seqüências de laminação: a) desbaste; b) intermediário e c) acabador.

Da análise da profundidade dos defeitos foi possível identificar que os defeitos presentes nos cantos dos tarugos tiveram sua profundidade inicial reduzida em 85%. Já os defeitos presentes nas faces dos tarugos tiveram redução de 74% em relação a sua profundidade inicial.

Na Figura 12 é possível visualizar a evolução da profundidade dos defeitos ao final das etapas de desbaste, intermediário e acabador.

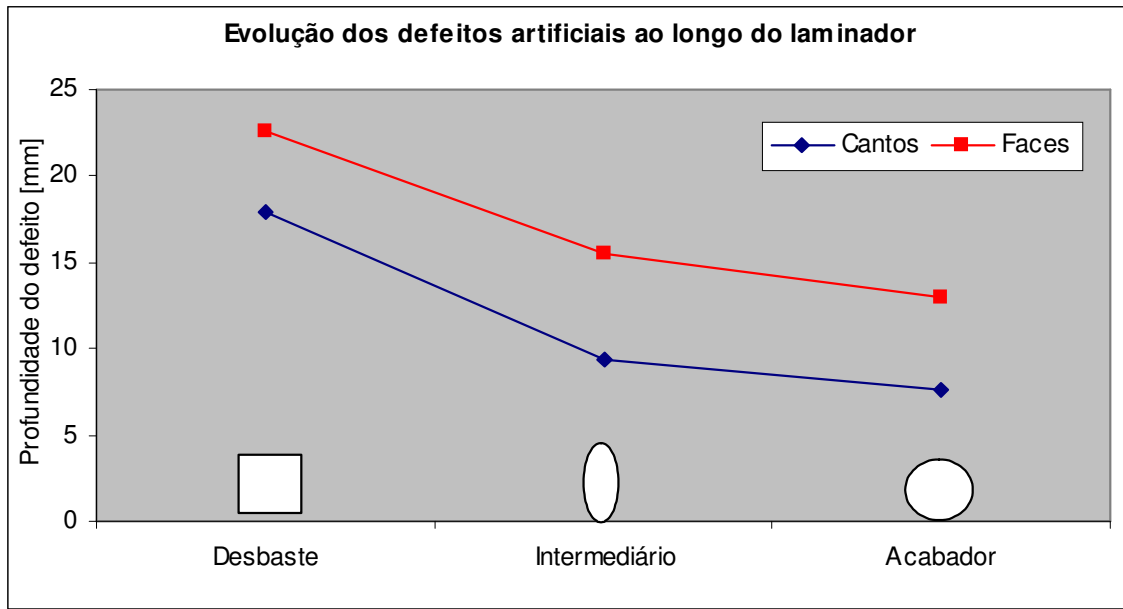


Figura 12. Evolução dos defeitos artificiais ao longo do processo de laminação.

Percebe-se que ao final do processo os defeitos presentes nos cantos tiveram profundidade 40% menor que os defeitos nas faces.

3.3 Testes com simulador termomecânico

Foram realizados testes simulando uma taxa de deformação de $3,5s^{-1}$ para faixa de temperatura de $850^{\circ}C$ a $1.025^{\circ}C$.

A Figura 13 apresenta imagem da amostra ensaiada a temperatura de $975^{\circ}C$.

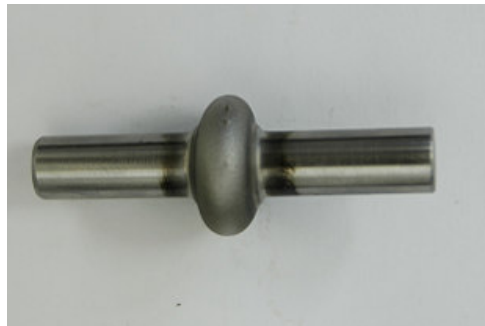


Figura 13. Corpo de prova submetido ao ensaio SICO TEST a uma taxa de deformação de $3,5s^{-1}$ e temperatura $975^{\circ}C$.

Para todas as condições testadas não se identificou a presença de trincas na região deformada durante os testes.

4 DISCUSSÃO

4.1 Testes de Temperatura

Lim et al.⁽¹⁾ relatam em seus estudos que para temperaturas de reaquecimento mais elevadas a presença de defeitos superficiais é reduzida em até

30%. Em seus testes foram usadas temperaturas de 1.030°C e 1.100°C no reaquecimento e os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 14, a seguir.

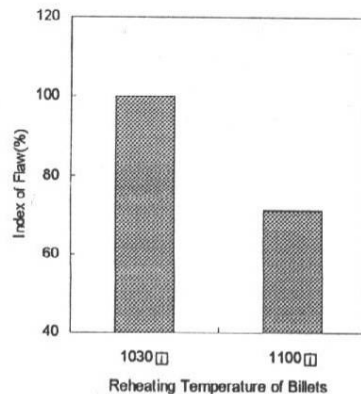


Figura 14. Estudo revelando a melhoria da qualidade superficial pelo aumento da temperatura de reaquecimento.⁽¹⁾

Percebe-se semelhança de resultados quando comparando as figuras 10 e 14. Nos teste realizados no presente trabalho também é possível identificar uma melhoria de cerca de 30% nos resultados de qualidade superficial.

4.2 Testes com Defeitos Artificiais

Matsui et al.⁽²⁾ relatam em seus estudos que a profundidade do defeito diminui através do contato com o cilindro devido a presença de compressão conforme pode ser observado na Figura 15, a seguir.

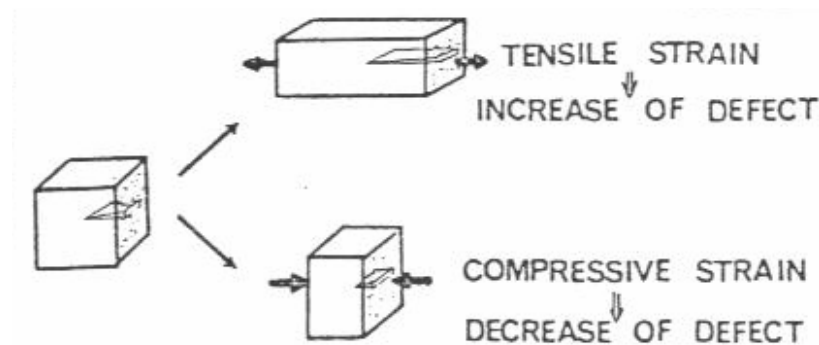


Figura 15. Relação entre defeitos superficiais e tensão.⁽²⁾

No presente trabalho foi possível identificar que o tarugo com defeitos artificiais nos cantos teve a região dos defeitos mais vezes submetida a região do canal, ou seja, foi preferencialmente submetido a esforços radiais que favorecem a redução da profundidade defeito. Já o tarugo com defeitos nas faces teve mais vezes esta região submetida ao alargamento. A diferença de profundidade final foi cerca de 40% menor nos defeitos dos cantos que nos das faces.

4.3 Testes com Simulador Termomecânico

Xie et al.⁽⁷⁾ relatam em seus estudos que a susceptibilidade a trincas identificada através do SICO TEST pode ser relacionada para determinados tipos de aço a

fenômenos de transformação e precipitação de fases. Esta mesma relação não foi identificada nos testes realizados no presente trabalho, porém merece ser mais bem explorado através da realização de novos testes para diferentes aços e também, para os parâmetros de conformação e temperatura das seqüências de desbaste e intermediário.

5 CONCLUSÃO

- O aumento da temperatura de reaquecimento tem forte influência sobre a qualidade superficial das barras laminadas. Esta influência se reflete diretamente nos resultados obtidos durante a inspeção em linha automática destas barras, ou seja, apresenta forte impacto sobre a rejeição de material laminado.
- Nos testes realizados observa-se uma redução de cerca de 30% na rejeição de barras laminadas através do incremento de 80°C na temperatura de reaquecimento.
- A posição do defeito no tarugo e a seqüência de passes a que o material é submetido apresentam influência na propagação destes defeitos.
- Nos testes realizados identificou-se que a seqüência de passes utilizada favorece a redução da profundidade dos defeitos tanto nos cantos quanto nas faces do tarugo. Porém, os defeitos presentes nos cantos apresentaram profundidade final 40% menor que os defeitos presentes nas faces do tarugo.
- O ensaio de SICO TEST é uma ferramenta fundamental para o estudo da susceptibilidade do material a nucleação de defeitos.
- Nos testes realizados não foi possível identificar a presença de trincas nas amostras em nenhuma das condições testadas. Sendo assim, faz-se necessário a realização de novos testes utilizando parâmetros que contemplem não apenas a etapa da seqüência do acabador, mas também do desbaste e intermediário.

REFERÊNCIAS

- 1 LIM, K.H., KIM, H.S., CHO, Y.K. More efficient operating practices for improving the surface quality oh high quality steel wire.
- 2 MATSUI, T., OGATA, S., FUJITA, M., ASAKAWA, M. Relationships between surface flaws and caliber design on bar and rod rolling.
- 3 FILIPOVIC, M. Evolution of artificial defects during shape rolling.
- 4 GLEEBLE SYSTEMS. Application note. Liquid/Solid interface studies.
- 5 GLEEBLE SYSTEMS. Application note. Liquation embrittlement study using Gleeble Systems.
- 6 DAMM, E.B., PAUSKAR, P., IVES, J., SAWAMIPHAKDI, K., CONNEELY, M. Modeling hot bar rolling to predict surface quality.
- 7 XIE, S.S., LEE, J.D., YOON, U., YIM, C.H. Compression test to reveal surface crack sensitivity between 700 e 1100°C of Nb-bearing and high Ni continuous casting slabs.