

LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS DE AÇO AO NÍQUEL¹

Antonio Augusto Gorni²
Flávio Viana de Freitas³
Maurício Martins Pereira⁴
Marcus Vinícius de Góes⁵

Resumo

A presença do níquel é fundamental em determinadas classes de chapas grossas, onde se requer maior tenacidade ou em aços contendo cobre. Contudo, a presença do níquel leva à formação de carepa superficial com alta aderência durante o reaquecimento e laminação a quente. Esse trabalho descreve as medidas tomadas no sentido de se melhorar a descarepação das chapas grossas de aços ao níquel. Os resultados obtidos foram muito positivos, conseguindo-se eliminar definitivamente esse problema da linha de chapas grossas da Cosipa.

Palavras-chave: Aços patináveis; Níquel; Laminação a quente; Carepa aderente

PLATE ROLLING OF NICKEL STEELS

Abstract

The presence of nickel is essential in plate steels where greater toughness is required or when copper is included in the alloy - for example, in weathering steels.. However, hot rolling of nickel steels is characterized by the presence of a surface oxide scale with high adhesion. This work discusses the countermeasures adopted in order to improve the descalability of nickel steels processed at the plate mill. The results got were outstanding, as problems with the adherent scale of nickel steels were completely eliminated during plate rolling of this kind of material at Cosipa.

Key workds: Weathering steels; Nickel; Hot rolling; Scale adhesion.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Membro da ABM. Engenheiro de Materiais, M. Eng., Dr. Eng., Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: gorni@cosipa.com.br.*

³ *Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, M.B.A., C.Q.E., Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: flaviofreitas@cosipa.com.br (no momento da realização do trabalho).*

⁴ *Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, M.B.A., Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: mauriciopereira@cosipa.com.br.*

⁵ *Membro da ABM. Engenheiro Mecânico, Analista de Manutenção da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: marcusgoes@cosipa.com.br.*

1 INTRODUÇÃO

O níquel freqüentemente é incluído na composição química dos aços de alta resistência e baixa liga que devam apresentar melhor tenacidade, uma vez que ele abaixa a temperatura de transformação austenita → ferrita (Ar_3). Essa condição leva ao refino suplementar do tamanho de grão, requisito essencial para essa classe de produtos.⁽¹⁾ Ele também é muito útil nos aços contendo cobre. Este elemento, incorporado ao aço com o objetivo de aumentar sua resistência à corrosão atmosférica ou proporcionar endurecimento por precipitação,⁽²⁾ possui o inconveniente provocar fragilização a quente.^(3,4) Durante o reaquecimento e posterior laminação ocorre a oxidação do ferro presente na superfície da placa; o cobre, por sua vez, não é afetado. Logo, ocorre um aumento da concentração superficial desse metal, que acaba por se fundir dentro do forno de reaquecimento, uma vez que sua temperatura de fusão é da ordem de 1.050°C , enquanto que a superfície da placa pode atingir temperaturas superiores a 1.250°C ao final do enformamento. Esse cobre líquido penetra pelos contornos de grão do aço, reduzindo sua ductilidade a quente. A posterior laminação desse metal fragilizado leva à formação de trincas que produzem defeitos superficiais no produto acabado, os quais impõem recondicionamento posterior ou até mesmo o desvio do produto para outra qualidade. O níquel pode evitar esse problema pois reage com o cobre, formando um composto cujo ponto de fusão está acima da faixa usual de temperaturas de laminação a quente dos aços. Dessa forma pode-se minimizar ou mesmo suprimir a formação dos defeitos superficiais decorrentes da fusão do cobre.^(3,4) O custo decorrente da adição de níquel é largamente compensado pela redução nos desvios de qualidade causados por esses defeitos.

Por outro lado, os aços ao níquel apresentam um sério inconveniente, que é a formação de uma camada superficial de óxido com alta aderência durante o reaquecimento e laminação a quente, a qual freqüentemente resiste à descarepação hidráulica. Essa aderência pode ser atribuída à interpenetração de camadas de metal e óxido na interface entre a carepa e o metal-base, a qual ancora o óxido ao metal.⁽³⁻⁸⁾ A não-remoção dessa carepa freqüentemente leva a sérios problemas na qualidade superficial do produto. Em casos mais graves, quando a remoção da carepa é quase nula, também ocorre dispersão excessiva na espessura e distorções na forma do esboço, como má planicidade e pontas altas ou baixas. Este último defeito, em casos mais graves, pode fazer com que o esboço não possa ser mais mordido pelo laminador, levando a seu sucataamento. Em outras ocasiões o laminado se choca com a mesa de rolos, a própria cadeira de laminação ou os equipamentos periféricos ao longo da linha, provocando enormes prejuízos. Esses problemas de formato decorrem da variação no coeficiente de atrito entre os cilindros de trabalho e o esboço que está sendo laminado, uma vez que a carepa possui efeito ligeiramente lubrificante.⁽⁹⁾

A carepa clássica dos aços ao níquel é composta de duas camadas: a mais externa é composta exclusivamente de óxidos, enquanto que a interna consiste de uma mistura de óxidos com um “reticulado” tridimensional de metal com alto teor desse elemento. Esse fenômeno decorre da chamada oxidação interna subsuperficial, que promove enriquecimento local de níquel nessa camada mais interna, uma vez que ele não se oxida, ao contrário do ferro. Quanto maior for o grau de interpenetração entre as camadas de óxido e metal nessa região, maior será o grau de aderência da carepa.^(4,8) A interface entre essas duas subcamadas de carepa é porosa, o que reduz sua resistência mecânica. Logo, a descarepação hidráulica tende a remover somente a camada externa da carepa altamente aderente dos aços ao níquel, em função da de-

sagração na interface que une as duas subcamadas. A camada interna permanece “ancorada” ao metal-base, por ação dos filamentos de metal enriquecido em níquel que se projetam a partir da matriz metálica.

O reticulado de filamentos de metal com alto teor de níquel tende a ter sua presença intensificada por fatores como, por exemplo, a combustão redutora, a qual gera fumos com baixos teores de oxigênio, abaixo de 2% em volume.^(3,7) Outro problema é a presença de enxofre na atmosfera do forno, o que leva à formação de um eutético ferro-sulfeto de níquel com baixo ponto de fusão, da ordem de 645°C. Ao se liqüefazer durante o reaquecimento, esse constituinte penetra pelos contornos de grão do aço, elevando ainda mais o efeito de “ancoramento” da carepa rica em níquel ao esboço.^(3,4) Contudo, o enxofre na atmosfera do forno desapareceu depois da substituição do óleo combustível pelo gás natural, em meados da década de 1990. Também ocorreu progressiva redução do teor residual de enxofre dos aços em função das melhores práticas de dessulfuração adotadas no refino do aço líquido.

Altas temperaturas de encharque, superiores a 1.100°C, também tendem a intensificar a aderência da carepa de aços ao níquel, bem como prolongados períodos sob essas temperaturas.⁽⁵⁻⁷⁾

Outros efeitos, além da presença do níquel, podem contribuir para aumentar a aderência da carepa sobre o laminado. Por exemplo, a presença de silício na composição química do aço. Neste caso, a oxidação do metal durante o reaquecimento leva à formação de faialita ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$), a qual forma um eutético com o FeO que se funde a 1.177°C, atuando de forma similar ao eutético ferro-sulfeto de níquel descrito anteriormente.^(6,8)

Outro fator que eleva a aderência da carepa é um período de espera excessivo entre o desenformamento da placa e sua descarepação hidráulica. Aparentemente tal fato tende a reduzir as tensões decorrentes do choque térmico entre os jatos de água e a carepa, dificultando sua remoção da superfície da placa.⁽¹⁰⁾ Além disso, compostos com baixo ponto de fusão, como eventuais eutéticos, não são obstáculos à remoção da carepa caso ainda estiverem líquidos, o que ocorre desde que a temperatura da placa seja alta o suficiente.⁽¹¹⁾

O combate à carepa aderente dos aços ao níquel também passa pela melhoria no sistema de descarepação da linha de laminação. Basicamente o que se deseja é elevar a pressão dos jatos de água no ponto de incidência sobre o laminado, o que pode ser conseguido através do uso de bicos de alto impacto, redução da distância bico-superfície do laminado e aumento da pressão da água de alimentação nos descarepadores.⁽¹²⁾

Portanto, o objetivo desse trabalho consistiu em identificar e implantar contramedidas no sentido de tornar mais fácil a laminação de chapas grossas ao níquel na Cosipa, produto que recentemente passou a ser solicitado com maior intensidade pelo mercado.

2 ADEQUAÇÃO DA LAMINAÇÃO DE CHAPAS GROSSAS

A necessidade de se obter alta eficiência energética, produtividade e baixos custos no processo de reaquecimento de placas impõe uma série de condições que, infelizmente, nem sempre contribuem para reduzir a aderência da carepa de aços ao níquel: a necessidade de se manter um ritmo produtivo mínimo, as altas temperaturas de encharque exigidas nos aços microligados e flutuações no poder calorífico dos combustíveis utilizados, entre outras. Isso limita a aplicação de possíveis contramedidas que poderiam ser adotadas durante o reaquecimento das placas.

Ainda assim foram adotadas algumas contramedidas viáveis no processo de reaquecimento de placas no sentido de se minimizar a formação de carepa nos aços ao níquel. As regras de programação desse material no Laminador de Chapas Grossas foram modificadas nesse sentido. Foram especificadas quantidades mínimas e máximas de placas a serem processadas numa mesma seqüência de laminação, bem como a localização adequada dos lotes no programa de laminação, de forma acelerar o processamento desse material. O *set-up* das temperaturas das zonas dos fornos também foi ajustado de forma a aquecer mais suavemente esse material. No caso específico dos aços contendo cobre e níquel também se passou a efetuar escarfação leve a quente.

Mas o foco prioritário das medidas tomadas foi o aumento da eficácia da descarepação hidráulica nos vários pontos da linha: na saída do forno de placas, no laminador de chapas grossas e na entrada da desempenadeira a quente.

O diagnóstico da descarepação hidráulica da laminação de chapas grossas apontou diversas oportunidades de melhoria. Uma delas consistiu na garantia de desempenho das bombas da descarepação, fazendo com que os valores de vazão e pressão da água fornecida aos bicos sempre atingissem consistentemente os valores de projeto, conforme mostra a Figura 1.

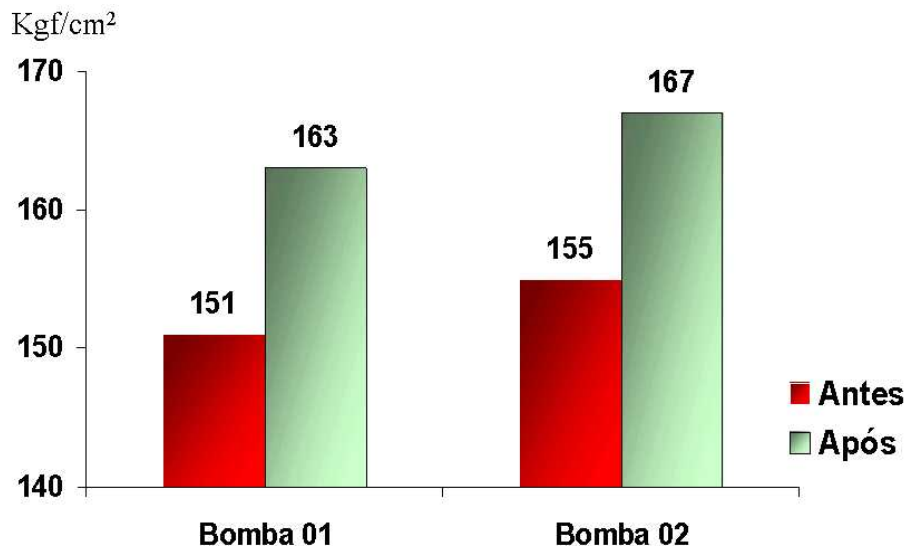


Figura 1: Aumento observado na pressão da água fornecida aos bicos de descarepação após reforma das bombas do sistema de descarepação.

Outro ponto a ser melhorado foi a grande distância entre os bicos da descarepação primária e a superfície do esboço, o que acarretava perda desnecessária na pressão de impacto que efetivamente atingia a carepa. Isso foi corrigido através da redução dessa distância de 360 mm para 240 mm. Além disso, os bicos existentes foram substituídos por uma versão de alto impacto. A Figura 2 mostra o ganho conseguido na força de impacto dos jatos de água de descarepação sobre a placa, da ordem de 23%, contribuindo para uma remoção mais eficaz da carepa.

Também foi invertido o sentido dos jatos aplicados sobre a placa pelo descarepador primário, que originalmente ocorria no mesmo sentido do deslocamento da placa. Essa medida aumentou a eficiência da remoção da carepa.

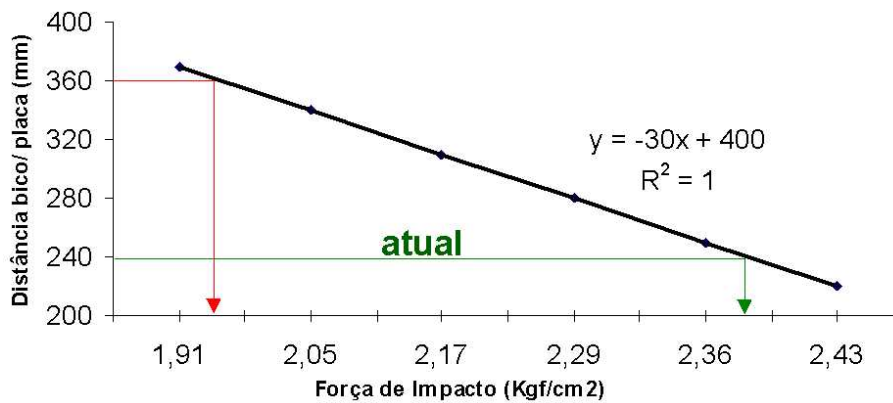


Figura 2: Aumento na força de impacto do jato da descarepação sobre a placa em função da diminuição da distância entre o bico e a placa no descarepador primário.

Finalmente, foram adotados procedimentos de inspeção com o objetivo de avaliar regularmente a eficiência da descarepação, como inspeções periódicas e a definição da vida útil padrão dos bicos de descarepação em função da quantidade de esboços processados. Os bicos passaram a ser incondicionalmente substituídos após o cumprimento dessa vida útil para se garantir a eficiência da descarepação.

3 PROCESSAMENTO EXPERIMENTAL DE AÇOS AO NÍQUEL

Após a implantação das medidas de adequação na Laminação de Chapas Grossas foram iniciados os testes de processamento com aços ao níquel. O primeiro produto testado foi um aço estrutural patinável microligado (Cos-Ar-Cor), cuja composição química nominal é 0,16-0,18% C, 1,20-1,50% Mn, 0,50% máx Si, 0,20-0,50% Cu, 0,40-0,70% Cr e 0,15% máx. de elementos microligantes. A esta composição acrescentou-se 0,20 a 0,30% de níquel para se evitar a formação de defeitos superficiais decorrentes da fragilidade a quente promovida pelo cobre. Foram produzidas três corridas com aço contendo níquel e outras três sem esse elemento para verificar sua eficácia no sentido de se reduzir os defeitos superficiais provocados pela presença do cobre. A escarragem das placas lingotadas continuamente foi adequada para se evitar oxidação excessiva que pudesse causar fragilidade a quente decorrente da segregação de cobre na superfície.

Foram feitos alguns ajustes no processamento desse material. O processo de reaquecimento foi o mais brando possível, de forma a reduzir a formação não só da segregação superficial de cobre líquido, como também de carepa superficial, combatendo respectivamente a fragilização a quente e a alta aderência da carepa. Portanto, ocorreu redução tanto no tempo de reaquecimento como nas temperaturas programadas do forno em relação ao padrão adotado para os aços ao carbono comuns. Essas medidas não prejudicaram a homogeneidade térmica ao longo da espessura da placa.

Além disso, adotou-se atmosfera o mais redutora possível no interior do forno. Apesar dessa medida contradizer algumas indicações teóricas,^(3,7) ela comprovadamente reduz sob condições práticas a incidência de carepa incrustada e defeitos superficiais nos aços contendo cobre e níquel.

Objetivou-se ainda que a laminação se iniciasse sob a menor temperatura possível e que fosse executada da maneira mais rápida possível. Dessa forma se minimiza a presença de cobre líquido sobre a superfície do esboço, sua penetração nos contornos de grão do aço e a fragilização a quente associada a esse fato.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento das chapas grossas de aço Cos-Ar-Cor contendo ou não níquel foi bem sucedido, verificando-se fácil remoção total da carepa primária e secundária ao longo da laminação. Também não foram observados os problemas no formato do esboço que anteriormente eram típicos do processamento de aços ao níquel no laminador de chapas grossas da Cosipa, como ponta alta e “acanoamento” do esboço. A inspeção posterior das chapas grossas confirmou a ausência de carepa incrustada.

Os resultados obtidos confirmaram o efeito benéfico do níquel e de uma adequada escarragem a quente na redução da incidência de defeitos associados à presença do cobre no aço, ainda que não se tenha logrado eliminá-la completamente, conforme mostrado na Figura 3.

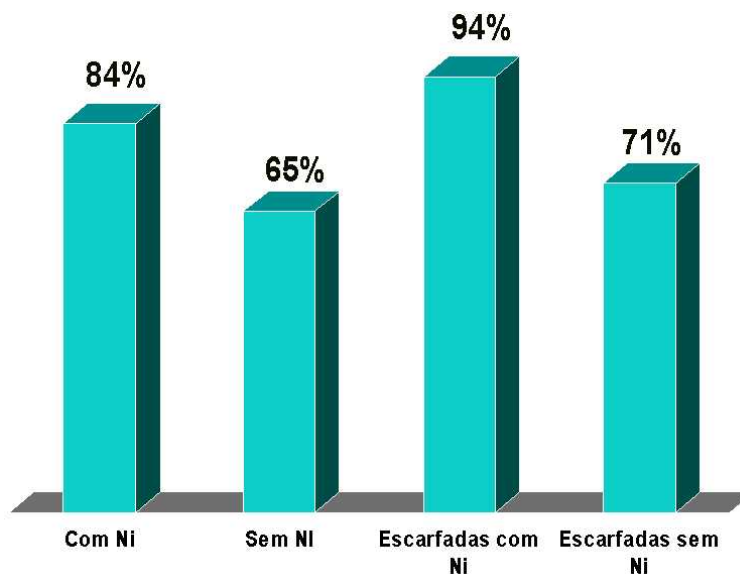


Figura 3: Aumento nos índices de aprovação de chapas grossas do tipo Cos-Ar-Cor em função da adição de níquel e aplicação de escarragem leve.

Os bons resultados obtidos nessa experiência levaram à implantação rotineira da adição de níquel aos aços Cos-Ar-Cor e das respectivas recomendações para seu processamento na linha de chapas grossas.

Posteriormente iniciou-se o processamento de chapas grossas estruturais de aço com alta resistência e baixa liga e resistente à corrosão atmosférica, conforme a norma ASTM A709-50W-B, a qual impõe as seguintes faixas de composição química: 0,19% máx. C, 0,80-1,25% Mn, 0,30-0,65% Si, 0,40-0,65% Cr, 0,25-0,40% Cu e 0,15% máx. de elementos microligantes. Usou-se neste caso específico adições de níquel entre 0,25 e 0,35%. A laminação de chapas grossas foi feita adotando-se as mesmas recomendações já citadas, obtendo-se níveis de aprovação de produto entre 90% e 100%, demonstrando a eficácia do novo processo.

5 CONCLUSÕES

Até há pouco tempo atrás a laminação de chapas grossas de aço contendo níquel apresentava dificuldades na Cosipa devido à formação de carepa com alta aderência, a qual levava a sérios problemas operacionais e alta incidência de defei-

tos superficiais no produto final. O problema ocorria mesmo para pequenos teores desse elemento, da ordem de 0,5%. As contramedidas descritas neste trabalho com o objetivo de viabilizar a produção de chapas grossas de níquel, aplicadas no condicionamento e reaquecimento das placas, bem como na descarepação do esboço, contribuíram decisivamente para eliminar a presença de carepa aderente, evitando os problemas a ela associados. Também foi constatado, sob condições práticas, o efeito positivo do níquel na redução da fragilidade a quente proporcionada pelo cobre.

REFERÊNCIAS

- 1 HEISTERKAMP, F. e HULKA, K. Low Carbon-Manganese-Nickel-Niobium Steel. **Niobium Technical Report**, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, São Paulo, November 1983, 48 p.
- 2 WILSON, A.D. et al. Properties and Microstructures of Copper Precipitation Aged Plate Steels. In: Microalloying '88. **Proceedings**. American Society for Metals, Chicago, September 1988, 259-275.
- 3 BROWN, G.G. Residual Elements and their Effect on the Processing of Steel Products. **Journal of the Australasian Institute of Metals**, p. 68-77, February 1961.
- 4 NICHOLSON, A.; MURRAY, J.D. Surface Hot Shortness in Low Carbon Steel. **Journal of the Iron and Steel Institute**, v. 203, n. 10, p. 1007-1018, October 1965.
- 5 SACHS, K., TUCK, C.W.; BARLOW, J. On Scale/Metal Entanglement in Low-Alloy Steels - Part I. **Anti-Corrosion**, v. 13, n. 4, p. 20-26, April 1966.
- 6 SACHS, K., TUCK, C.W.; BARLOW, J. e outros. On Scale/Metal Entanglement in Low-Alloy Steels - Part II. **Anti-Corrosion**, v. 13, n. 5, p. 33-36, May 1966.
- 7 TUCK, C.W. et al. The Effect of Reheating Furnace Atmosphere on the Adhesion of Scale to Steel. **Iron and Steel**, p. 31-38, February 1972.
- 8 ASAI, T.; SOSHIRODA, T.; MIYAHARA, M. Influence of Nickel Impurity in Steel on the Removability of Primary Scale in Hydraulic Descaling. **ISIJ International**, 37:3, p. 272-277, March 1997.
- 9 KENNEDY, G.E.; SLAMAR, F. Turn-up and Turn-down in Hot Rolling. **I.S.E. Yearbook**, 1958, p. 233-241.
- 10 FUKUTSUKA, T. et al. Study of the Descaling of Steel Slabs before Hot Rolling. **Transactions ISIJ**, 21:10, p. 699-707, October 1981.
- 11 NAKAMURA, T.; SATO, M. Descalability on Reheated Steel Slabs at High Temperature. **Tetsu-to-Hagané**, 80:3, p. 237-242, March 1994 (Tradução CIT-COSIPA n° 1232).
- 12 Mannesmann-Demag-Sack. **Hydromechanische Entzunderung**. Catálogo. Düsseldorf, Dezember 1985. 16 p.