

INVESTIGAÇÃO DA CAUSA DE DEFEITO DO TIPO ARRANHÃO EM BOBINAS LAMINADAS A FRIO, COM ORIGEM NA LAMINAÇÃO A QUENTE¹

Priscila Batista Dias²
Watson Rodrigo Silva Soares³
Arthur de Castro Souza⁴
Edmilson Fernandes Dadomi⁵
Geraldo Arruda Maia⁶
Antônio Adel dos Santos⁷

Resumo

Nesse trabalho é apresentada a metodologia empregada pela equipe formada por pessoal das áreas de processo, pesquisa e qualidade da Usina de Ipatinga da Usiminas, visando à determinação da causa raiz de defeito do tipo arranhão em bobinas laminadas a frio e à proposição de contramedidas para sua eliminação. Como parte do trabalho, foi realizada uma experiência de parada brusca do laminador de tiras a quente durante laminação de material propenso ao defeito. Amostras da tira foram coletadas em várias posições desde a entrada do laminador até o bobinamento, permitindo analisar a evolução do defeito no laminado quente e sua relação com o defeito apresentado no laminado a frio. Neste trabalho é ainda apresentada a metodologia aplicada para caracterização do defeito, o mecanismo de sua formação, a evolução ao longo do processo de laminação e a sua correlação com a qualidade do produto final.

Palavras-chave: Defeito; Bobina a quente; Bobina a frio.

INVESTIGATION OF COLD ROLLED COIL DEFFECTS ASSOCIATED WITH SCRATCHS IN THE HOT ROLLING PROCESS

Abstract

In this paper the root cause of a scratch type defect in cold rolled coils was investigated by a work team involving process, research and quality personnel, in Usiminas' Ipatinga works. The purpose was to take actions to eliminate the occurrence of this type of defect. As part of the work, it was carried out an experiment in which the hot strip mill was suddenly stopped while the material prone to the defect was being rolled. Samples of the hot strip were collected at varied positions along the mill until the coiler, thus allowing for the evaluation of the defect evolution along the rolling process and its relationship with the defect in the cold coil. This paper shows the methodology for defect characterization, its mechanism of formation, evolution along the whole process and appearance in the final product.

Key words: Defect; Hot coil; Cold coil.

¹ Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

² Técnico em Metalurgia, Centro de Tecnologia Usiminas – Usina de Ipatinga, MG.

³ Técnico em Metalurgia, Gerência Técnica de Laminação a Quente da Usiminas, Ipatinga, MG.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Gerência Técnica de Laminação a Quente da Usiminas, Ipatinga, MG.

⁵ Técnico em Metalurgia, Gerência de Laminação de Tiras a Quente da Usiminas; Ipatinga, MG.

⁶ Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, CQE/ASQ, Gerência Geral de Laminação a Quente da Usiminas; Ipatinga, MG.

⁷ Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc., D.Sc., CQE/ASQ, Centro de Tecnologia Usiminas – Usina de Ipatinga, MG.

1 INTRODUÇÃO

Um dos itens críticos de qualidade de bobinas a quente e a frio de aço é a presença de defeitos que comprometam sua aplicação. Apesar de ser motivo de constante preocupação e de controle rigoroso nas usinas, muitas vezes diferentes tipos de defeitos são gerados nos produtos. O controle e a eliminação ou redução da ocorrência de defeitos em níveis toleráveis passa pelo entendimento de sua causa raiz e dos mecanismos de formação e evolução durante o processamento do material.

Muitas investigações têm sido feitas e apresentadas na literatura a respeito da caracterização de defeitos em produtos laminados a quente e a frio,⁽¹⁻⁴⁾ com destaque para o defeito carepa.^(4,5) Entretanto, no processo industrial, os defeitos normalmente só são detectados nas inspeções finais do produto, muitas vezes afastados do local de sua origem, o que dificulta a determinação da causa raiz e o mecanismo de sua evolução. Além disso, quanto mais distante o defeito for detectado de sua origem de formação mais difícil fica estabelecer uma relação de semelhança entre origem e aspecto final.

Poucos estudos,^(6,7) como o de Merwin⁽⁷⁾ foram realizados buscando entender esta evolução. Este autor fez uma investigação usando placas preparadas com defeitos artificiais introduzidos (cavidades vazias ou preenchidas com pó fluxante), em diferentes profundidades e diâmetros. O material foi laminado a quente, a frio, submetido ao recozimento e posteriormente revestido. Os defeitos apareceram como esfoliações em tiras a quente, sendo seu comprimento proporcionalmente maior que a redução imposta neste processo. O diâmetro do defeito não mostrou ser importante para sua ocorrência final. Houve presença de carepa na subsuperfície e oxidação interna entre a carepa e a superfície. No caso de defeitos originais não preenchidos, houve somente carepa e óxidos internos. No caso de defeitos preenchidos com pó fluxante, às vezes, apareceram partículas contendo elementos deste material. Em seções transversais, observou-se que o defeito, com mesma origem, aparecia de diversas formas em laminados a quente. Em laminados a frio, cerca de 63% dos defeitos originais ainda permaneceram. Seu aspecto foi de várias marcas, resultantes do rompimento da esfoliação em laminado a quente, com ou sem presença de óxidos internos. Notou-se que há perda de rastreabilidade do defeito quando a tira já se encontra em processos posteriores. Por exemplo, pode não aparecer nenhuma evidência de oxidação interna, mesmo o defeito sendo de aciaria, nem resíduos de pó fluxante, mesmo com sua presença no defeito original. No material revestido o defeito apareceu em somente 15% dos casos.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma investigação realizada visando à determinação da causa raiz de um defeito classificado como arranhão da laminação a quente e de sua evolução até a bobina laminada a frio. Para isso, foi composta uma equipe multidisciplinar da Usiminas, em Ipatinga. Amostras de bobinas a quente e a frio, contendo indicações do defeito, foram coletadas ao longo de todo processo. Com os subsídios da caracterização laboratorial das amostras, associados à análise dos dados de processo, foi possível chegar à origem de sua formação e entender sua evolução até sua ocorrência na bobina a frio. Com isso, ações foram tomadas com sucesso para eliminação de sua ocorrência.

2 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado um levantamento da ocorrência do defeito em termos de local na bobina a frio, tipo de aço e período de incidência. O defeito fora classificado pelos inspetores da laminação a frio como arranhão da laminação a quente. Foi realizado um acompanhamento do processamento de materiais que haviam apresentado a ocorrência do defeito, através de inspeções em bobinas a quente, antes e após a decapagem e ao final da laminação a frio. O objetivo era identificar o local de sua formação, porém não houve êxito, dado que o defeito era muito sutil, normalmente não visível nos locais de inspeção de bobinas a quente.

Então, foi realizada a caracterização laboratorial do defeito, em bobinas a frio, através de observações de superfície ao estereoscópio e no microscópio eletrônico de varredura (MEV), e por análises ao microscópio ótico de seções transversais ao defeito. Foram realizadas também, análises por energia dispersiva de raios-X (EDS) em partículas no interior do defeito. Embora tenham sido subsídios para entendimento do defeito, somente as análises laboratoriais não permitiram concluir sobre sua origem.

Partiu-se, assim, para uma experiência industrial. Como a tira fica em contato com vários cilindros e rolos durante a laminação, esse defeito poderia ter surgido tanto na laminação de acabamento quanto nas mesas de resfriamento e até mesmo na entrada da bobinadeira. Com isso, foi feita uma experiência de parada brusca do laminador do tiras a quente de um material propenso ao defeito e retiradas amostras da tira em várias posições selecionadas, desde a entrada do laminador até a bobinadeira. Também foi retirada uma amostra de bobina a quente decapada e de uma bobina a frio que apresentou o defeito. Todas as amostras foram analisadas visualmente e as que apresentaram evidência mais clara do defeito foram analisadas também em laboratório.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Levantamento do Defeito no Processo

As ocorrências do defeito foram principalmente em materiais baixo carbono, na face inferior e no meio da largura da bobina. Inicialmente, foi realizado um acompanhamento do processamento desses materiais no Tiras a Quente, na Decapagem e na Laminação a Frio. Nas bobinas a quente inspecionadas não foram identificadas marcas ou arranhões que pudessem ser vinculadas ao defeito. Após a decapagem, foi identificada a incidência do defeito, porém com aspecto diferente daquele visto no laminado a frio.

3.2 Caracterização do Defeito em Bobinas a Frio

A Figura 1 mostra um exemplo de aspecto visual do defeito em bobina a frio, onde são observadas pequenas marcas ao longo de toda a amostra. Quando analisadas ao estereoscópio, com pequenas ampliações, notaram-se regiões com tonalidade escura e indicando profundidade.

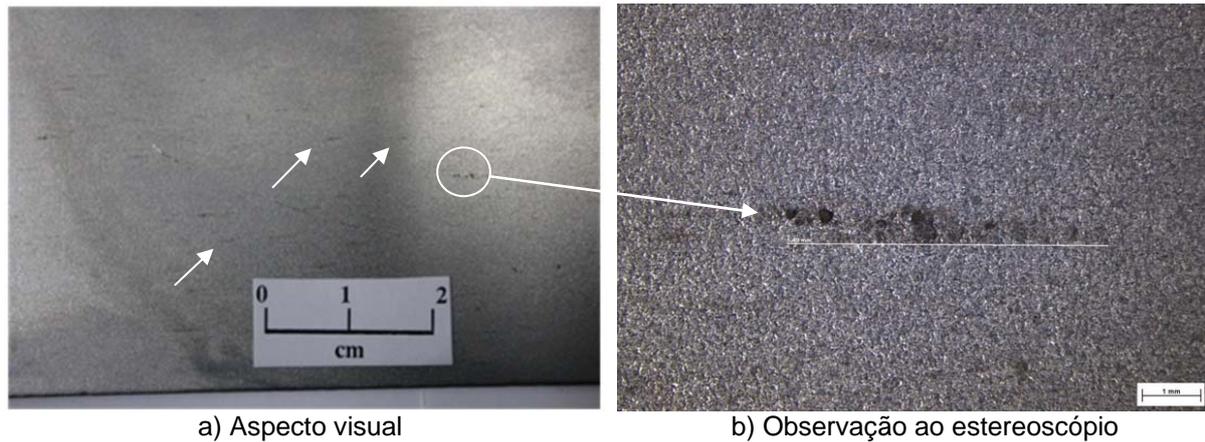


Figura 1. Fotografias de aspecto do defeito na bobina a frio e sob pequena ampliação ao estereoscópio.

Fotografias de seções transversais polidas das amostras, sem ataque, na região do defeito vistas ao microscópio óptico são mostradas na Figura 2. Nota-se uma camada subsuperficial de óxidos, com profundidade máxima de 20 μm , aflorando à superfície da tira laminada. Não há ocorrência de oxidação interna (*subscale*) nem alinhamento de inclusões exógenas que pudessem indicar discontinuidades remanescentes de placas. O aspecto de dobramento da superfície do defeito sugere que tenha ocorrido sobreposição metálica durante o final da laminação a quente ou a frio, e que as partículas mais escuras identificadas como óxido de ferro tenham ficado aprisionadas.

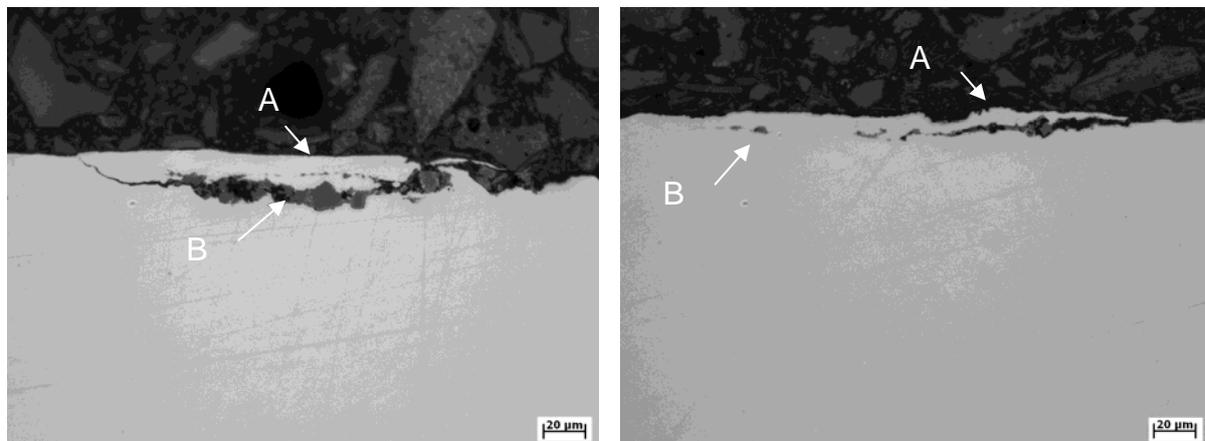
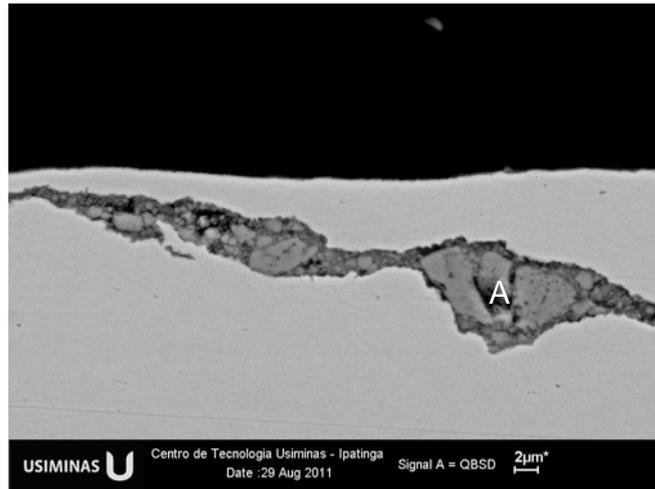


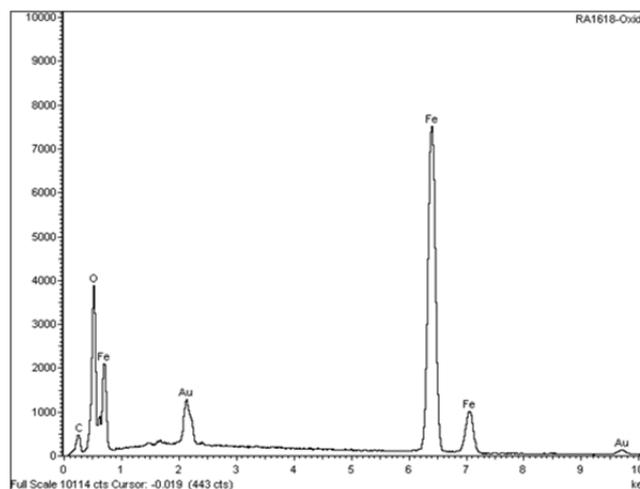
Figura 2. Fotografias de aspecto das seções transversais ao defeito indicando a camada metálica sobreposta, (A), e partículas de óxido de ferro, (B).

Análises em MEV pela técnica de dispersão de energia (EDS), em seções do defeito, confirmaram que as partículas no seu interior eram constituídas de óxido de ferro e apresentam-se bastante fragmentadas (Figuras 3-a e 3-b).

Os resultados obtidos durante a caracterização indicaram que a origem do defeito era no processo de laminação a quente. As partículas de óxido de ferro aprisionadas não eram provenientes do processo de reaquecimento de placas, nem poderiam ter se sido formadas durante o processo de laminação a frio. Concluiu-se que os arranhões teriam sido formados ou no processo de laminação de acabamento ou no início da mesa de resfriamento, e que os óxidos formados ficaram incrustados subsuperficialmente nessa região, não sendo removidos na decapagem.



a) Análise por MEV de uma seção do defeito indicando a região de análise por EDS.



b) Espectro por EDS na região destacada em (a).

Figura 3. Aspecto ao MEV da seção transversal da amostra e espectro de análise por EDS de óxidos em seu interior.

3.2 Evolução do Defeito no Laminado a Quente

Um fator complicador para a investigação do defeito na laminação a quente foi a sua não visualização na inspeção. A efetividade das ações tomadas para minimizar o problema só eram avaliadas quando o material era processado na laminação a frio. Com isso, foi realizada a experiência de parada brusca do laminador acabador de tiras a quente. Amostras do material sendo laminado foram retiradas ao longo de todo o processo de acabamento como mostrado na Figura 4.

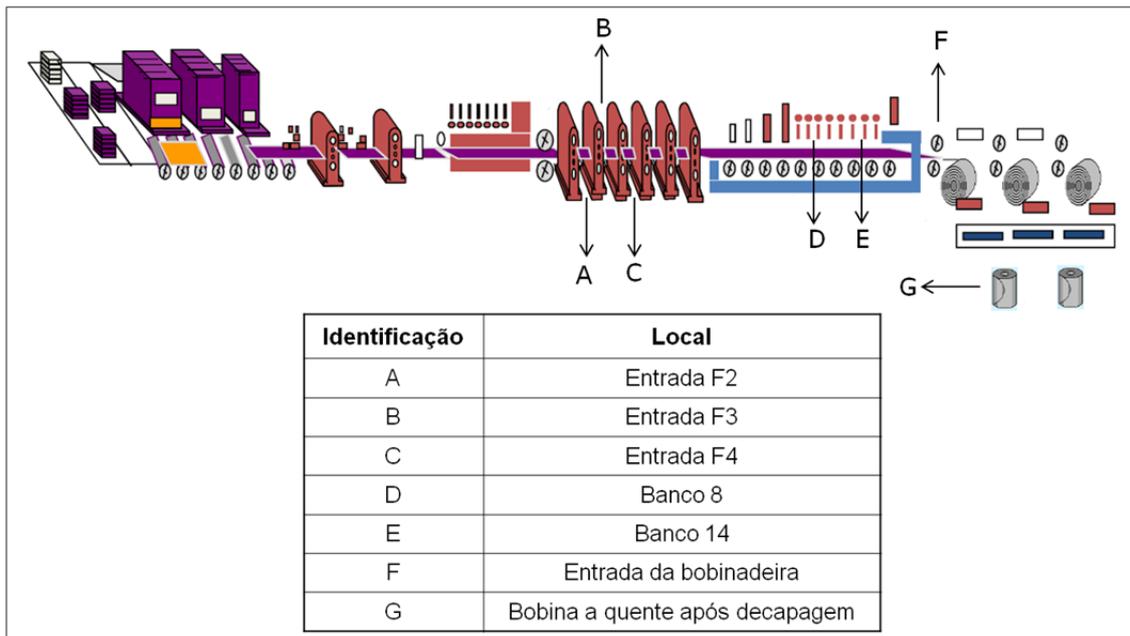


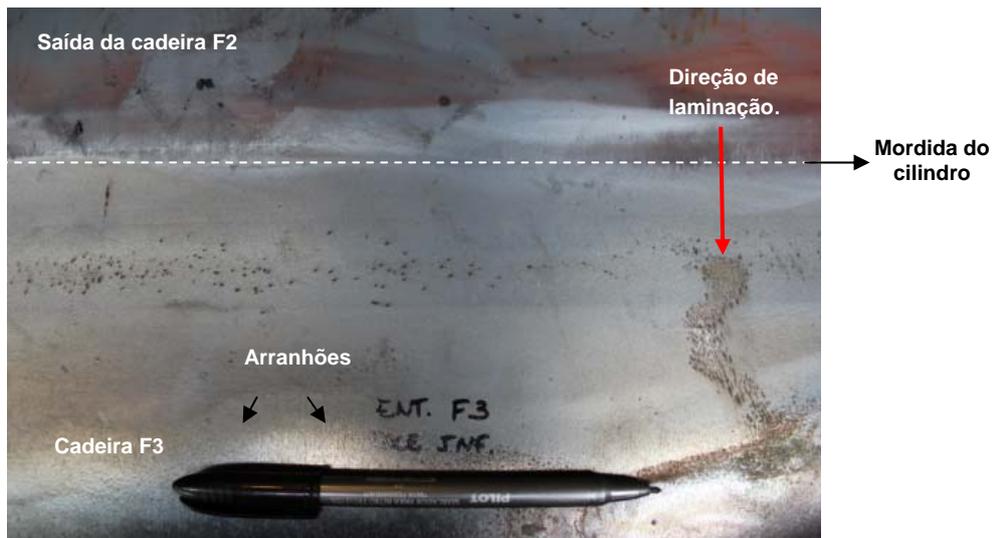
Figura 4. Esquema de retirada das amostras nas etapas de laminação de acabamento e de resfriamento de tiras a quente.

Nas amostras retiradas no início da laminação de acabamento na posição A, antes da cadeira F2, não foram identificadas anormalidades na superfície das amostras que pudessem ser associadas ao defeito, como mostrado na Figura 5. Porém, nota-se na figura 6 que, a partir da mordida do cilindro da cadeira F3, surgem arranhões e irregularidades mais acentuadas no meio da largura, na direção de laminação e apenas na face inferior. Essas marcas vistas na cadeira F3 também foram identificadas com as mesmas características nas amostras retiradas nos bancos 8 de resfriamento (Figura 7), e 14. Na entrada da bobinadeira essas depressões se mostraram visualmente menos intensas, provavelmente devido à maior formação de carepa.

O aspecto dos defeitos vistos em amostras do esboço e tira a quente, no evento de parada do laminador, também foi similar ao observado em bobinas a quente logo após a decapagem, também na superfície inferior. Observa-se também a presença de vários pontos mais escuros em toda a superfície, como mostrado na Figura 8.



Figura 5. Fotografia de aspecto da superfície inferior do esboço entre as cadeiras F1 e F2.



a) Saída da cadeira F2 para a F3.



b) Entrada da cadeira F4.

Figura 6. Fotografias de aspecto da superfície inferior do esboço ao longo do trem acabador, indicando o aparecimento de defeitos.

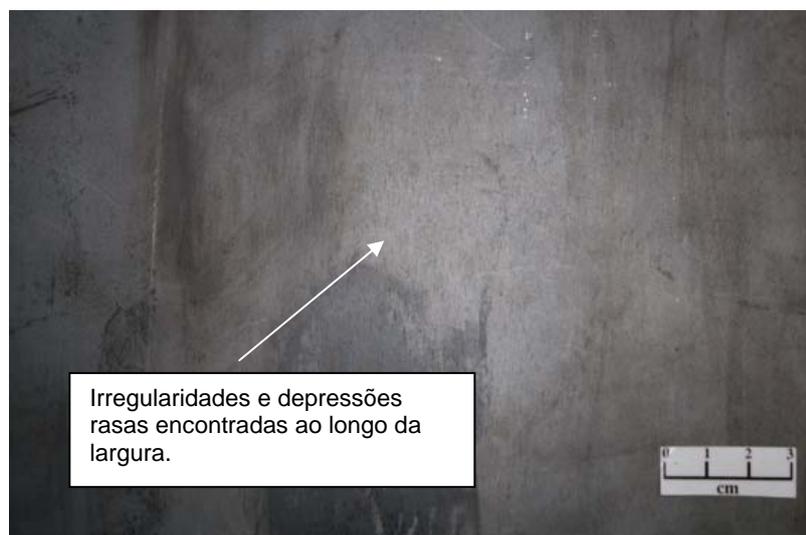


Figura 7. Fotografia de aspecto da superfície inferior de amostra retirada na mesa de resfriamento, no banco 8.

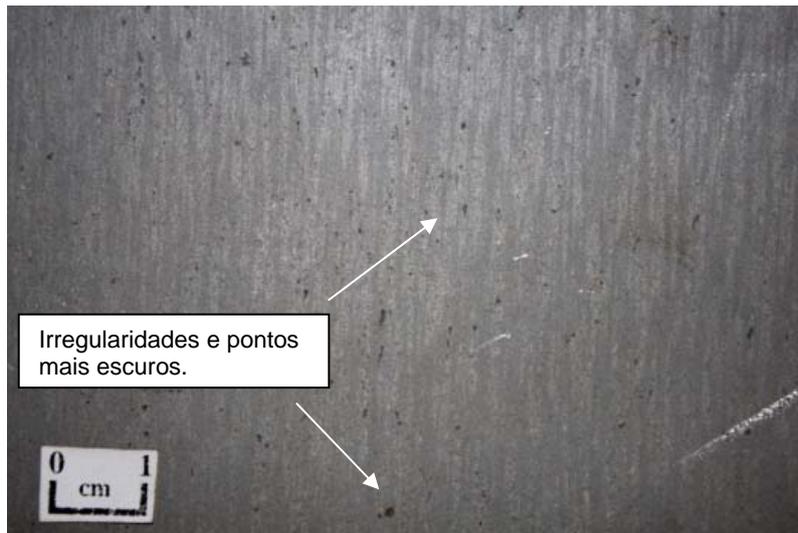


Figura 8. Fotografia de aspecto da amostra de bobina a quente decapada.

3.3 Caracterização Laboratorial do Defeito ao Longo do Processo de Laminação

Como o aspecto do defeito no laminado a quente, visto após a cadeira F3, foi similar em todas as amostras, é apresentada na figura 9 apenas a análise da amostra obtida no banco 8, por apresentar melhor evidência do defeito. Nota-se, em duas regiões diferentes, a formação de uma incrustação subsuperficial contendo carepa (óxidos), e o dobramento de uma camada metálica.

Na Figura 10 é mostrada a seção transversal de uma amostra com defeito em bobina decapada. À primeira vista, o aspecto do defeito apresentou-se diferente daquele observado na mesa de resfriamento (Figura 9). Porém, alguns aspectos são comuns, tais como: camada de óxidos subsuperficial incrustada que aflora à superfície, a camada metálica sobreposta e ausência de oxidação interna.

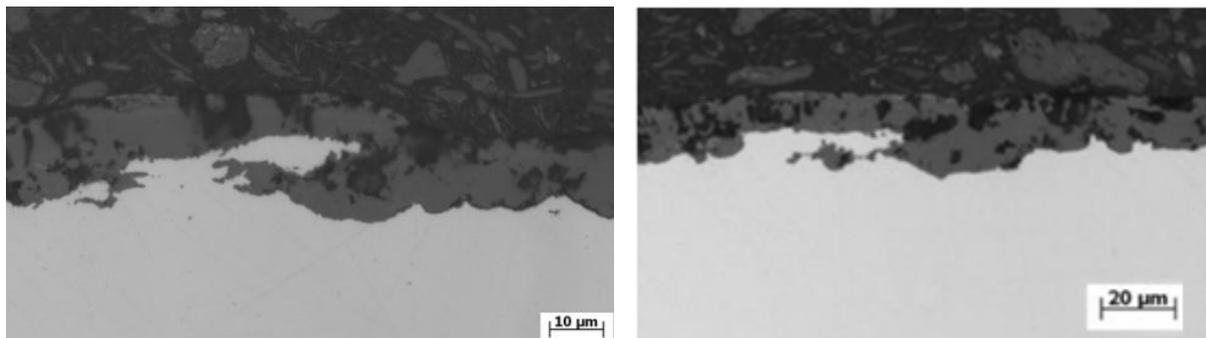


Figura 9. Fotografias de seções transversais polidas e observadas ao microscópio ótico, sobre diferentes regiões dos defeitos.

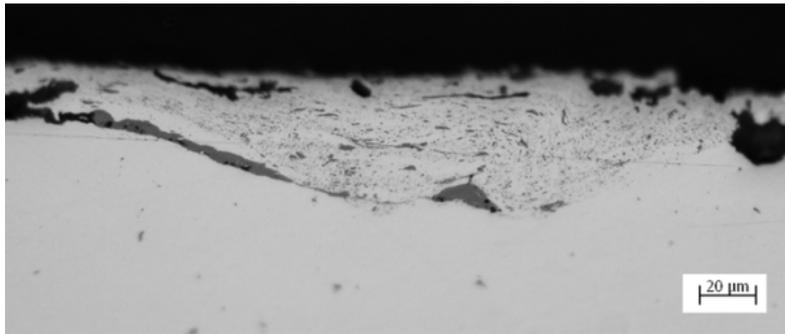


Figura 10. Fotografia de seção polida transversal ao defeito, por microscópio ótico, de amostra de bobina laminada a quente após decapagem.

Na Figura 11 é mostrada uma fotografia de seção transversal ao defeito em amostra retirada de uma bobina a frio correspondente a da amostra da Figura 10. Nota-se que o defeito manteve o aspecto, porém ficou mais alongado em virtude da redução da laminação a frio. Um fato intrigante é que o aspecto do defeito nesta análise foi diferente daquele encontrado no início do trabalho de investigação (Figura 2). Por outro lado, isto está de acordo com as observações de Merwin,⁽⁷⁾ que um mesmo defeito original pode resultar em diferentes aspectos no produto final. Embora em ambos os casos o defeito tenha sido classificado pela inspeção em bobinas a frio como arranhão da laminação a quente, o período de retirada da amostra foi diferente nos dois casos.

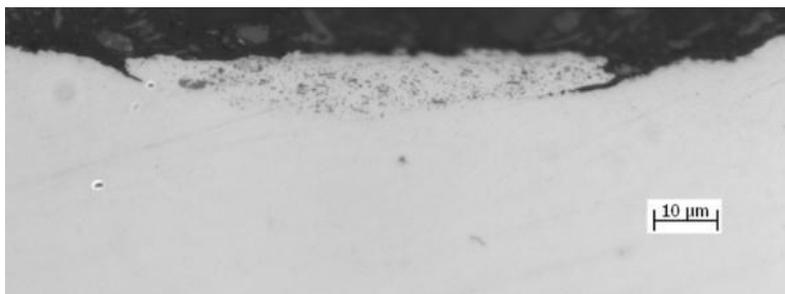


Figura 11. Fotografia de seção polida transversal ao defeito, por microscópio ótico, de amostra de bobina laminada a frio.

Na análise de superfície ao MEV do defeito em bobina a frio, nota-se a aparência de dobramento da camada metálica (Figura 12), em conformidade com as observações nas análises ao microscópio ótico.

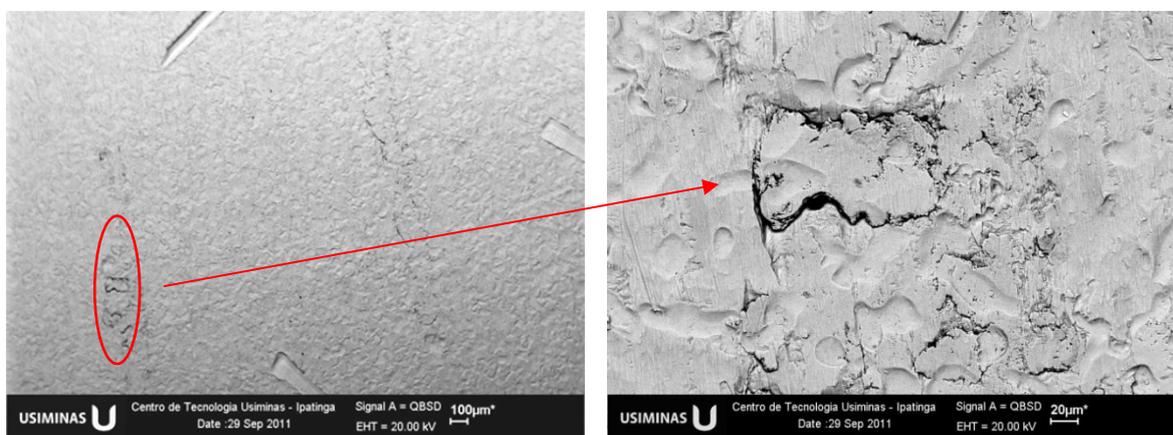


Figura 12. Fotografia de aspecto da superfície do defeito em bobina a frio visto ao MEV.

3.4 Contramedida para Eliminação do Defeito

Pelas análises de características do defeito, em seus vários estágios no processo e pela inspeção visual, inferiu-se que sua origem fosse entre as cadeiras F2 e F3 do Trem Acabador, na superfície inferior. Pelas análises realizadas em outras investigações, foi descartada a possibilidade de sua origem ser devido a marcas dos cilindros de laminação. Então, o foco foi direcionado para o raspador do cilindro de trabalho inferior que, devido ao desgaste ser maior nas três primeiras cadeiras, era de Teflon com suporte de aço e nas demais estava sendo utilizado raspadores compostos apenas por material Celeron. Suspeita-se que com o desgaste do Teflon, o suporte de aço ficava em contato com o cilindro, causando desprendimento de pequenas partículas que ficaram aderidas no cilindro e geraram defeitos na tira. Outra evidência neste sentido foi a ocorrência do defeito apenas na face inferior, ao longo de toda a largura e na direção de laminação.

Então, experimentalmente, foram substituídos os raspadores de Teflon e aço das cadeiras de F1 a F3 pelo material Celeron. Um volume significativo de material antes propenso ao defeito em bobina a frio foi acompanhado em todo o processo, não se verificando mais ocorrência do defeito. Isto confirmou que a causa raiz do problema era a utilização dos raspadores de Teflon e aço nas três primeiras cadeiras.

4 CONCLUSÃO

O trabalho em equipe de investigação da ocorrência do defeito arranhão da laminação a quente, em bobinas laminadas a frio, incluindo acompanhamento do processo e análises de laboratório, permitiu a identificação da causa raiz do problema, o entendimento da evolução do defeito nas etapas do processo e, finalmente, à tomada de medidas para sua eliminação.

REFERÊNCIAS

- 1 LIMA JR., S.O.; BARROS, J.A.G.; FONTES, L.E.; COSTA, A.F.L.; SOARES, W.L. Melhoria do Rendimento do Hot Skin da CST Devido à Redução da Ocorrência do Defeito "repuxado" em Tiras Finas Laminadas a Quente no LTQ. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS ABM, 42, 2005, Santos. Anais, p. 480-489.
- 2 PRADO, A.C.; FILHO, R.F.; CLEMENTE, M.G.; DIAS, E.S.; MARTINS, C.A. Melhoria da Qualidade Superficial da Bobina Laminada a Quente da CSN. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS ABM, 34, 1997, Belo Horizonte, Anais, 1997, p. 391-402.
- 3 EMLING, W.H.; LAKSHMINARAYANA, B.V. An AISI-Sponsored Collaborative Project on FeO-Type Sliver Defects, **Iron and Steel Maker**, May 2000, p. 73-77.
- 4 BASABE, V.; SZPUNAR, J.A. Growth Rate and Phase Composition of Oxide Scales during Hot Rolling of Low Carbon Steel, **ISIJ Int.**, v. 44, n. 9, 2004, p. 1554-1559.
- 5 SANTOS, A.A.; BARRETO, G.R.; CARMO, R.A. Estrutura e Morfologia da Carepa Formada em Aços Processados na Laminação de Tiras a Quente. In: 39º SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO DA ABM, 39, 2002, Ouro Preto, Anais.
- 6 TRIPATHY, P.K.; DAS, S.; JHA, M.K.; SINGH, J.B.; KUMAR, A.M.; DAS, A.K. Migration of Slab Defects during Hot Rolling, v. 33, n. 6, 2006, p. 477-483.
- 7 MERWIN, M.J.; ZAHUMENSKY, P. Evolution of Artificially Induced Slab Imperfections through Hot and Cold Rolling, In: AISTECH 2006 Proceedings, v. II, p. 37-48.