

MELHORIA DA QUALIDADE SUPERFICIAL DO AÇO INOXIDÁVEL P430A 2B-BRILHANTE ¹

Wiliam da Silva Labiapari ²
Cláudio M. de Alcântara ³
Ronaldo Claret Ribeiro da Silva ⁴
José Carlos Batista ⁵
José Sérgio Ferreira ⁵
Gilvan Coura ⁵
Cleber Barros Cunha ⁵
Paulo Henrique dos Santos ⁶
José Romário de F. Mota ⁶

Resumo

A substituição dos aços da série 3XX para os da série 4XX é cada vez maior pela estratégia da ArcelorMittal Inox Brasil. Isto se deve à ausência ou baixo teor de níquel em sua composição química. O aço 430 destaca-se em importância nesta estratégia, pois, dele é requerida uma alta qualidade física e superficial, de forma que sua produção exige uma complexidade que se traduz em uma barreira técnica para os concorrentes. O trabalho foi motivado devido à alta incidência do defeito “fosco” no aço P430A, em 2005 e 2006, com picos de 34% dos quais 8,7% levando ao desvio de qualidade. Em relação à ocorrência do defeito entre 2000 e 2002, uma das causas era a alta temperatura na LTQ durante o bobinamento. Outras causas estavam associadas ao processo da RB3. A análise era facilmente executada via MEV. Vários microdefeitos foram levantados como os causadores do defeito “fosco”. Neste caso, o melhor equipamento para análise era o microscópio ótico que possibilitou investigar e caracterizar tais defeitos. “Fosco por Microestrias” – Causadas por problemas relacionadas à lubrificação nos laminadores, ou seja, cilindro/óleo/chapa. “Fosco de decapagem” – Provocado pelo ataque preferencial nos contornos de grãos das BQs na RB3. “Fosco de jateamento” – Provocado pelo jateamento excessivo de granalha na RB3. “Arranhões de cilindros” – Provocado por arranhões de cilindros durante a laminação a frio.

Palavras-chave: Aço 430; Brilho, Fosco.

IMPROVEMENT OF THE SUPERFICIAL QUALITY OF STAINLESS STEEL P430A 2B- BRIGHT

Abstracts

The substitution of steel grade series 3XX for the ones of the series 4XX is each time for the strategy of the ArcelorMittal Inox Brasil. This if must to the absence or low nickel content in its chemical composition. Steel 430 is distinguished in importance in this strategy, therefore, of it is required one high physical and superficial quality, of form that its production demands a complexity that if translates a barrier technique for the competitors. The work was motivated due to high incidence of the defect “dull” in steel P430A, in 2005 and 2006, with peaks of 34% of which 8.7% leading to the quality shunting line. In relation to the occurrence of the defect between 2000 and 2002, one of the causes was the high temperature in the hot rolling - LTQ line during the coiling. Other causes were associates to the process of the pickling annealing -RB3 line. The analysis was easily executed way MEV. Some micro defects had been raised as the causers of the defect “dull” in this case that, optimum equipment for analysis were the optical microscope that it made possible to investigate and to characterize such defects. “Dull for Micro ribbings” - Caused by problems related to the lubrication in the rolling mills, that is, cylinder/oil/plate. “Dull of pickling” - Caused by the preferential attack in the contours of grains of the BQs in the RB3. “Dull of shot blasting” - Caused by the extreme shot blasting in the RB3 line. “Scratches of cylinders” - Caused by scratches of cylinders during the cold rolling mill.

Key words: Steel 430; Bright; Dull.

¹ *Contribuição técnica ao 45° Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE*

² *Pesquisador – ArcelorMittal Inox Brasil*

³ *Técnico em Pesquisa – ArcelorMittal Inox Brasil*

⁴ *Gerente do Centro de Pesquisas – ArcelorMittal Inox Brasil*

⁵ *Engenheiro Metalurgista – ArcelorMittal Inox Brasil*

⁶ *Técnico em Controle de Processo – ArcelorMittal Inox Brasil*

1 INTRODUÇÃO

A substituição dos aços da série 3XX para os da série 4XX é cada vez maior pela estratégia da ArcelorMittal Inox Brasil. Isto se deve à ausência ou baixo teor de níquel em sua composição química. O aço 430 destaca-se em importância nesta estratégia, pois, dele é requerida uma alta qualidade física e superficial, de forma que sua produção exige uma complexidade que se traduz em uma barreira técnica para os concorrentes.

A reflexão especular é possível com a capacidade de uma superfície em se comportar como um espelho. A perda desta propriedade produz uma falta de nitidez da imagem refletida, o que é conhecido para os aços inoxidáveis como defeito “fosco”, principalmente no 430 acabamento 2B, padrão na ArcelorMittal Inox Brasil de material brilhante.

O trabalho foi motivado devido à alta incidência do defeito “fosco” no aço P430A, causando 19% de ocorrência em outubro de 2005 e em 2006, picos de 34% dos quais 8,7% levando ao desvio de qualidade. Isto gerava alto índice de material disponível e atraso no atendimento, o que abriria espaço para importação, devido à insatisfação dos clientes.

2 OBJETIVO

Conhecer os mecanismos de formação do defeito “fosco” para reduzir seus índices de ocorrência no aço P430A.

3 DESENVOLVIMENTO

O fluxo do processo produtivo do aço inoxidável 430, após a laminação a quente, inicia-se com o recozimento em caixa da bobina laminada a quente, objetivando uma recristalização homogênea, com dureza adequada aos processos de laminação a frio posteriores.

Após, a bobina é processada na linha de recozimento e decapagem contínua – RB3, onde a mesma passa com o forno desligado e recebe apenas os tratamentos de quebra de carepa, jateamento, decapagem sulfúrica, decapagem eletrolítica, escovamento e decapagem química de limpeza e passivação, estando a bobina pronta para ser laminada a frio.

A laminação a frio é feita em qualquer um dos três laminadores, sendo que a velocidade de processamento varia de 200 a 600m/min.

A bobina laminada a frio é enviada para a linha de recozimento final e decapagem contínua – RB4, onde a mesma é recozida, decapada e ainda recebe um passe contínuo de laminação de encruamento “LE”, estando o produto pronto para embalagem ou ser processado nas linhas de corte e acabamento.

Na crise do defeito “fosco” iniciada em 2005, todas as ações foram tomadas embasadas em nossos estudos entre os anos de 2000 e 2002. Uma superfície boa e ruim, conforme Figura 1, tinha os microdefeitos que causavam a perda de brilho facilmente identificados via MEV.

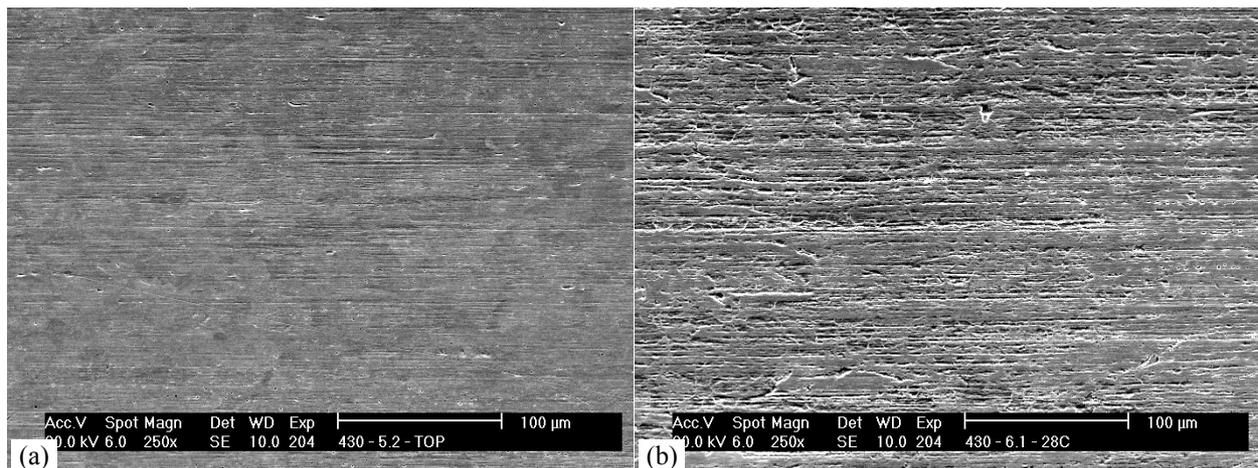


Figura 1 – Foto do ano de 2000/2002 obtida via MEV mostrando (a) uma superfície boa e (b) uma com o defeito “fosco”.

A primeira providência ao se detectar uma ocorrência do defeito “fosco” era de reduzir a velocidade nos laminadores, o que promove um melhor contato cilindro/chapa com melhor transferência de brilho. Esta ação, no entanto, reduz a produtividade nestes equipamentos e não resolve por completo o problema. Para avaliação do defeito, as amostras são enviadas diretamente para análise via MEV. Tudo isso era válido no caso da Figura 1b. No caso das ocorrências em 2005, a redução da velocidade dos laminadores resultou em melhoria da qualidade, mas não a níveis de fácil percepção. Contudo, por ser uma ação de bons resultados anteriores e praticamente a única bem entendida, foi mantida. Em relação às análises, não era possível identificar de forma clara os microdefeitos via MEV, mesmo utilizando um aumento maior, conforme Figura 2.

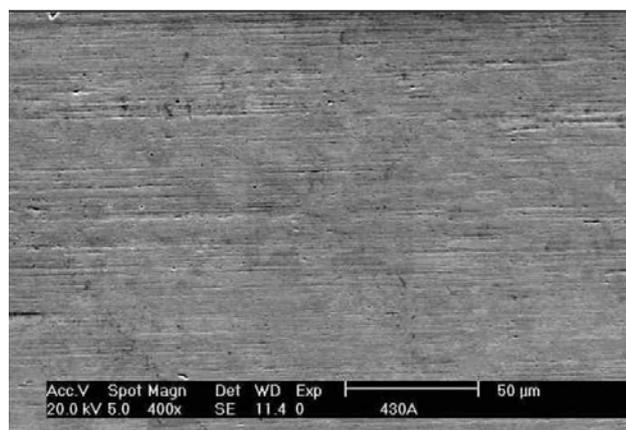


Figura 2 – Foto obtida via MEV mostrando, sem clareza, uma superfície com o defeito “fosco” em 2005.

Após várias análises sem sucesso na identificação dos microdefeitos, a única constatação clara era que não se tratava do mesmo mecanismo anteriormente estudado. Outro fato importante é que o defeito “fosco” atuante entre 2000 e 2002 correlacionava-se bem com a perda de brilho instrumental, ou seja, medida por equipamento específico. Já na crise do defeito entre 2005 e 2006 isto não era tão evidente. Material cujo brilho medido era elevado, visualmente apresentava-se com a superfície fosca. Isto explicava a ineficiência das ações pela limitação do conhecimento existente sobre a nova configuração do defeito “fosco”.

Foram coletadas então amostras de várias bobinas com e sem o defeito para análise, mas desta vez, via microscopia ótica. Embora seja uma técnica de análise muito mais simples do que o MEV, se mostrou de grande eficiência, permitindo distinguir várias morfologias para os microdefeitos, sendo então associados ao “fosco”.

3.1 “Fosco de Arranhões de Cilindros”

Uma das causas são os “arranhões” provocados pelos cilindros de trabalho do laminador, o que contribui para aumentar a opacidade da superfície, contudo, a ocorrência não era o suficiente para afetar o nível de qualidade do produto.

A Figura 3 mostra a morfologia deste defeito. As marcas provocadas pela rugosidade do cilindro de trabalho do laminador podem não ser reparadas pelo processo de laminação de encruamento - LE.

Neste caso, foi desenvolvido um acabamento mais fino aplicado aos cilindros nos passes finais de laminação.

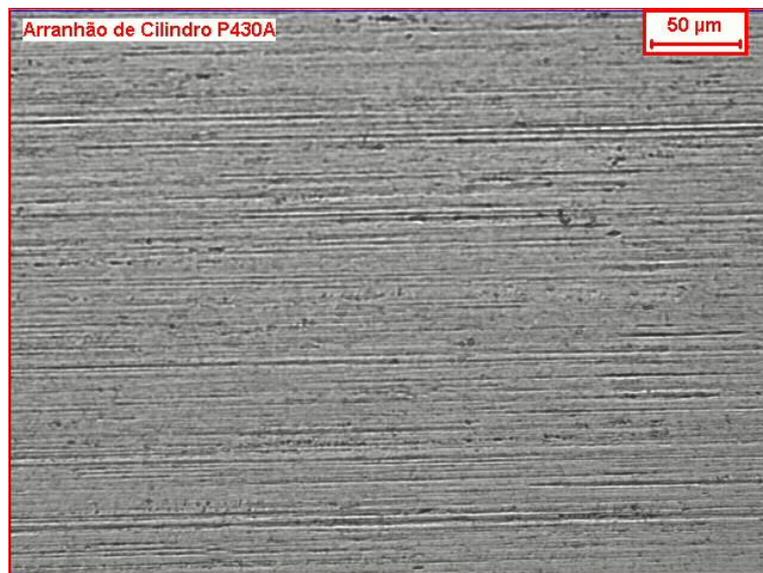


Figura 3 – Superfície de BF com o defeito classificado como arranhão de cilindro.

Com esta ação, conseguiu-se uma menor dispersão de brilho observada anteriormente entre bobinas.

3.2 “Fosco de Jateamento”

O descontrole durante a etapa de jateamento para decapagem após a laminação a quente pode levar à formação do defeito “fosco”. Na Figura 4 pode-se ver a superfície final originária de uma bobina cujo jateamento foi excessivo.

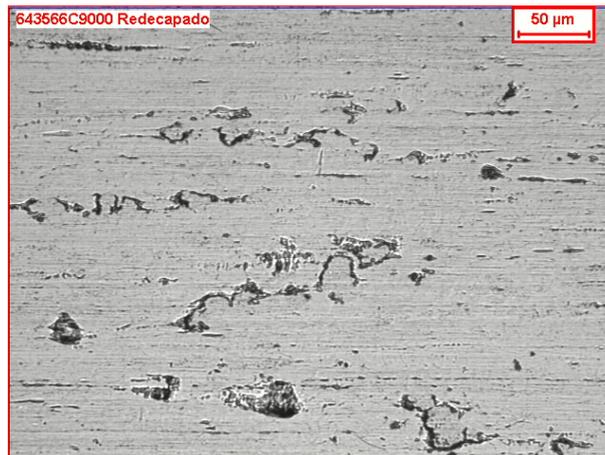


Figura 4 – Superfície de BF com o defeito provocado pelo jateamento excessivo da BQ na RB3.

Passou a ser ter um controle rígido da granulometria da granalha e a potência dos jatos, promovendo uma maior homogeneidade superficial para uma mesma bobina, tanto ao longo do comprimento quanto da largura.

3.3 “Microestrias”

Em 2005 a maior parte das ocorrências era motivada por um dano superficial que ficou classificado como “microestrias”. Trata-se de pequenas imperfeições na superfície da tira, estando sempre alinhadas no sentido de laminação, conforme Figura 5.

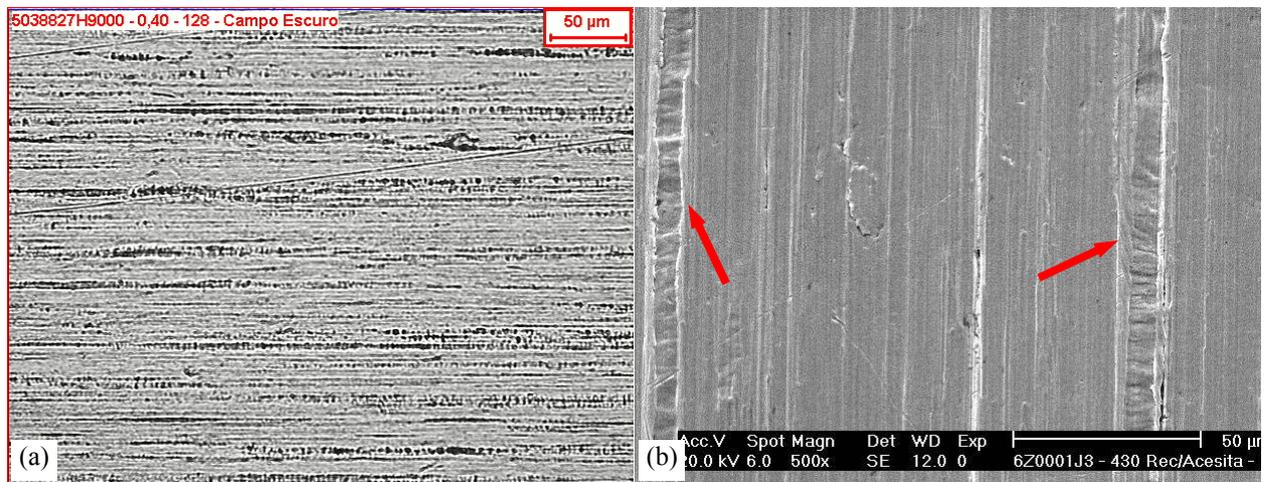


Figura 5 – Defeito “fosco” de 2005. Ocorrência causada por “microestrias”. (a) Superfície final avaliada por microscopia ótica e (b) “micro estria” se formando nos passes intermediários, visto via MEV.

Em análise via MEV, pôde ser constatada sua formação durante os passes de laminação a frio, Figura 5b, associado às condições de lubrificação, ou seja, ao conjunto, rugosidade do cilindro, óleo de laminação e superfície da chapa.

A rugosidade do cilindro contribui para a formação deste tipo de “fosco” por permitir uma deformação “livre”, ou seja, menos limitada nos vales da rugosidade do cilindro, conforme esquematizado na Figura 6A condição apresentada na Figura 6b pode ser comprovada na Figura 5b.

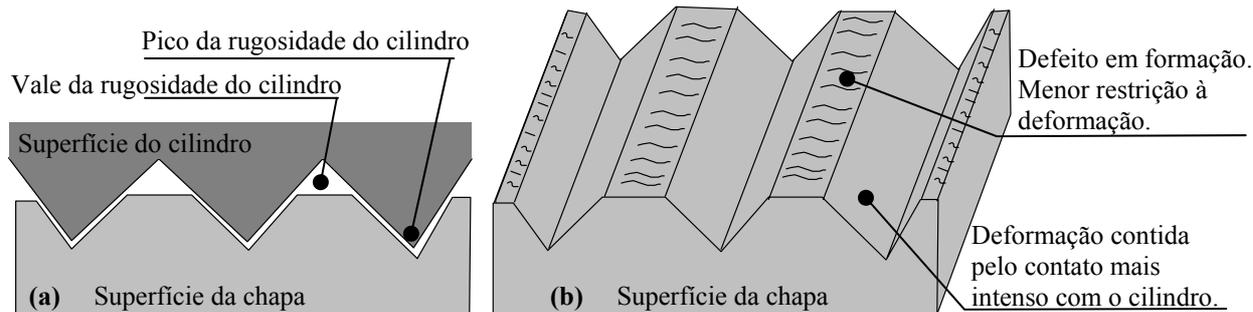


Figura 6 – Desenho esquemático do (a) contato entre o cilindro e a chapa e (b) da formação das “microestrias” pela deformação superficial no vale de rugosidade do cilindro.

Enquanto a superfície da chapa ainda tem ductilidade, o defeito pode ser reparado no passe seguinte, mas, se já está frágil e se rompe, gerando micro trincas transversais, o defeito já estará formado. Daí a influência da dureza da superfície e da chapa como um todo.

Assim, toda condição que possibilite esta deformação “livre” auxilia no aparecimento deste defeito. Além do espaçamento entre os vales de rugosidade do cilindro de trabalho, as características físico-químicas do óleo de laminação e mesmo a velocidade são influentes no mecanismo por mudar as condições de atrito nesta configuração de contato.

Foi verificada também uma grande contaminação de óleo hidráulico no óleo de laminação, havendo uma forte correlação com o defeito, conforme Figura 7.

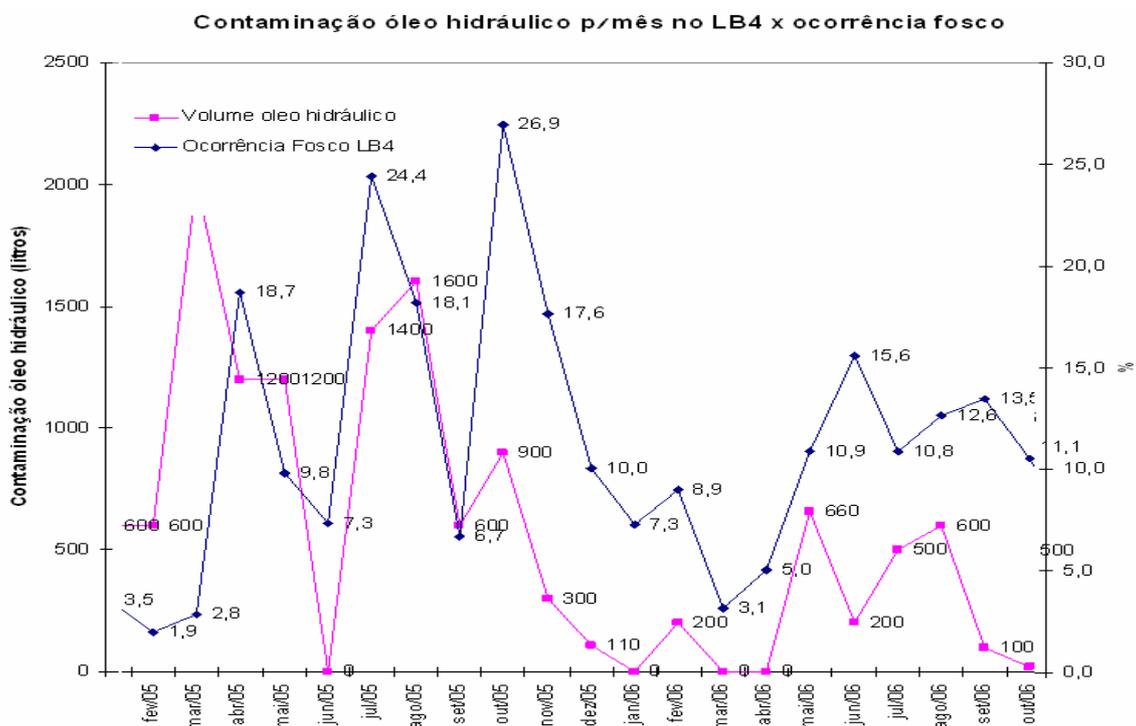


Figura 7 – Correlação entre o defeito fosco e o vazamento de óleo hidráulico.

Com esta constatação, foram executados testes em laboratório para visualizar a influência do óleo hidráulico no óleo de laminação. Foi verificado, conforme Figura 8, uma reação entre os dois óleos formando uma terceira fase de maior densidade e viscosidade.

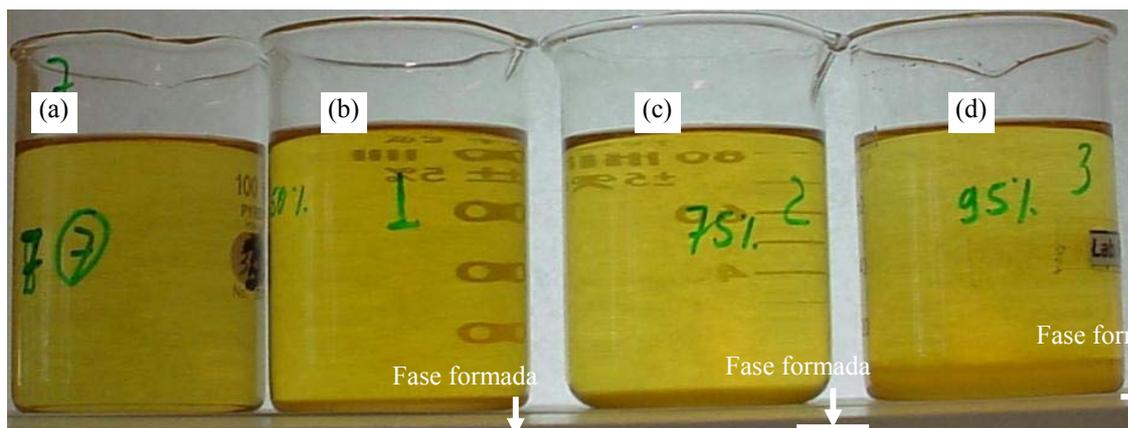


Figura 8 – Recipientes com óleo de laminação (a) sem contaminação, com (b) 50%, (c) 25% e (d) 5% de contaminação com óleo hidráulico.

Após testes de aquecimento dessa mistura, foi constatado que esta fase é diluída em temperaturas acima de 65°C. Como a temperatura de controle do óleo no laminador não excede 48°C, no processo de produção ela continua presente.

O que pode ser notado na Figura 8 é que no recipiente (a) não há nada no fundo diferente do próprio óleo de laminação, enquanto os outros com contaminação de óleo hidráulico, formam uma fase distinta pela reação entre os dois óleos. Com uma maior concentração de óleo hidráulico na mistura, Figura 8b, a fase formada é mais densa do que com uma menor concentração, Figura 8d, ficando mais dispersa.

Após análise das fases encontradas, por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), foi constatado que se tratam de uma reação entre aditivos do óleo hidráulico, a base de Zn, e os ésteres do óleo de laminação.

Segundo relato da literatura, no arco de contato ocorre a “concentração dinâmica” das fases mais viscosas⁽¹⁾ o que promove o aumento do filme de lubrificação.⁽²⁾ A equação abaixo, Eq.1, desenvolvida por Wilson e Walowit descreve a espessura do filme de lubrificante para o regime hidrodinâmico:⁽³⁾

- h_w - espessura do filme de óleo;
- η_0 - viscosidade;
- α - coeficiente de variação da viscosidade com a pressão;
- \bar{U} - velocidade média de laminação;
- ϕ_0 - ângulo de mordida;
- Y - limite de escoamento no estado plano de deformação.

$$h_w = \frac{6\eta_0\alpha\bar{U}}{\phi_0(1 - \exp(-\alpha Y))} \quad (\text{Eq. 1})$$

Neste exposto, a maior viscosidade contribui então para aumento da espessura do filme de óleo, reduzindo o coeficiente de atrito entre a chapa e cilindro. Este fenômeno leva à maior facilidade de deformação na superfície da chapa, ou seja, deformação “livre”, facilitando o aparecimento das “microestrias”.

Passou-se então a controlar o vazamento de óleo hidráulico e mais recentemente, foi iniciada a substituição gradativa deste por outro que não contém aditivos reativos. Em novos testes de contaminação, foi verificado que este novo óleo não reage com o de laminação.

3.4 “Fosco de Decapagem”

Em 2006, quase a totalidade dos casos foi devido a outro micro defeito. A morfologia era diferente das anteriormente descritas até então. A Figura 9 exemplifica bem esta situação mostrando duas superfícies distintas em bobinas do aço P430A. Na primeira, vê-se o micro defeito causador do “fosco” e na segunda, uma superfície isenta.

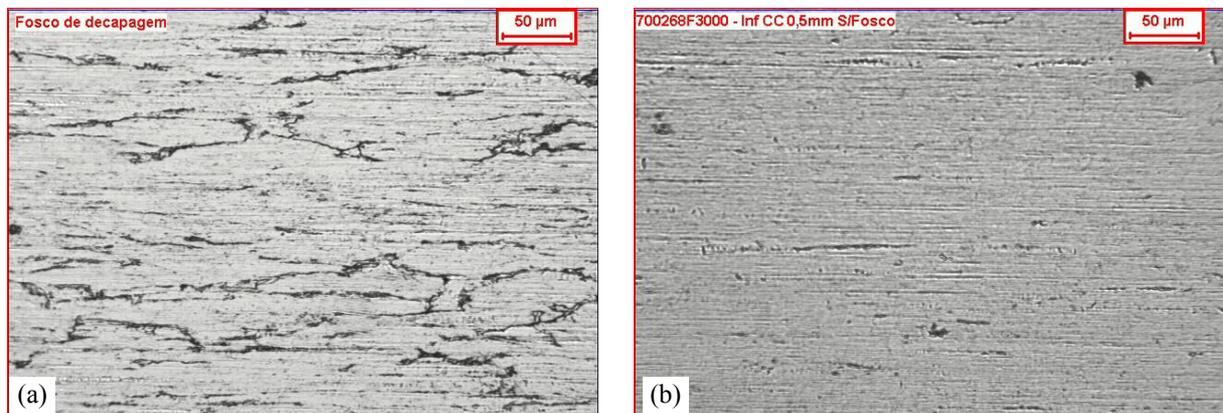


Figura 9 – Superfície do aço P430A (a) ruim, com o micro defeito causador do “fosco” e (b) boa, sem este.

As discussões ocorridas nos remetiam à superfície da BQ, mas faltavam evidências objetivas. No sentido de melhorar a qualidade superficial da BQ, ajustou-se o ciclo de recozimento do Box, o que produziu uma sensível melhora nos índices de ocorrência do “fosco”.

A ação de aumentar o tempo de resfriamento no Box, possibilitaria ao P430A a recomposição de Cr da região descromizada, tornando-a menos sensível ao ataque químico durante a decapagem.

Outros controles foram impostos ao Box, como a garantia de espaçamento entre as bobina empilhadas, de forma que o fluxo de gás durante o processo não fosse restringido. Além disso, este processo que não despertava muito interesse passou a ser mais estudado.

Com o equipamento em perfeito funcionamento e seguindo o novo ciclo definido, a superfície mudou, conforme mostrado na Figura 10. As bobinas com bom desempenho em relação ao defeito “fosco” apresentavam uma “camada branca” próxima à superfície, sem ataque nos contornos de grãos.

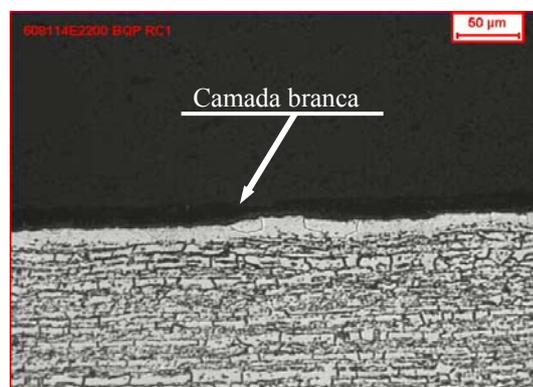


Figura 10 - BQ de P430A padrão de 2006 após BOX. Ataque “Oxálico” mostrando a formação de uma “camada branca” possivelmente descarbonetada.

Possivelmente trata-se de uma região com descarbonetação superficial. Sem carbono não há carbonetos nos contornos de grãos e nem regiões descromizadas, motivadas por estes. Como consequência, não potencializaria o ataque químico da decapagem.

Com estas ações, os índices do defeito “fosco” melhoram, mas de forma inconsistente, pois havia problemas que ainda provocavam flutuações nos índices. Quando se processava as bobinas na RB3 abaixo de 28m/min, considerada baixa velocidade, havia uma forte correlação com o defeito “fosco”, conforme Figura 11, além de perda de produtividade neste equipamento. Era um resultado direto da severidade da decapagem pelo maior tempo em contato com o banho químico.

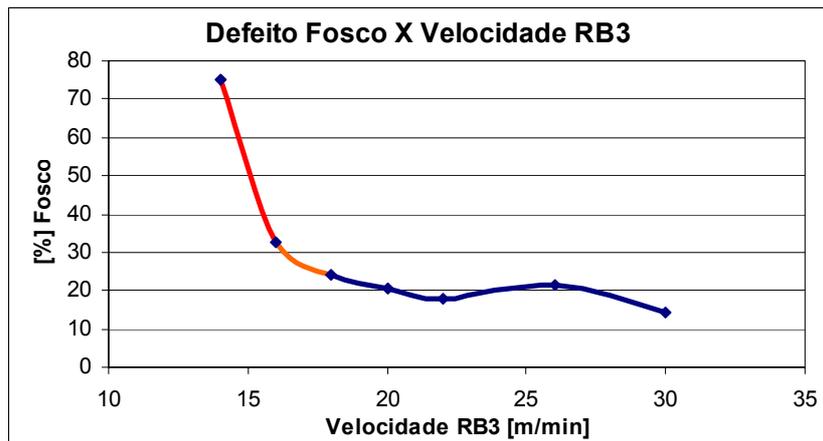


Figura 11 – Correlação entre os índices de defeito “fosco” na BF e a velocidade de processo das BQs na RB3

Neste caso, amostras de BQ com ataque excessivo da superfície foram retiradas e posteriormente, também da BF gerada. Estava bem evidenciado o comportamento sobre o defeito “fosco” da superfície super-atacada.

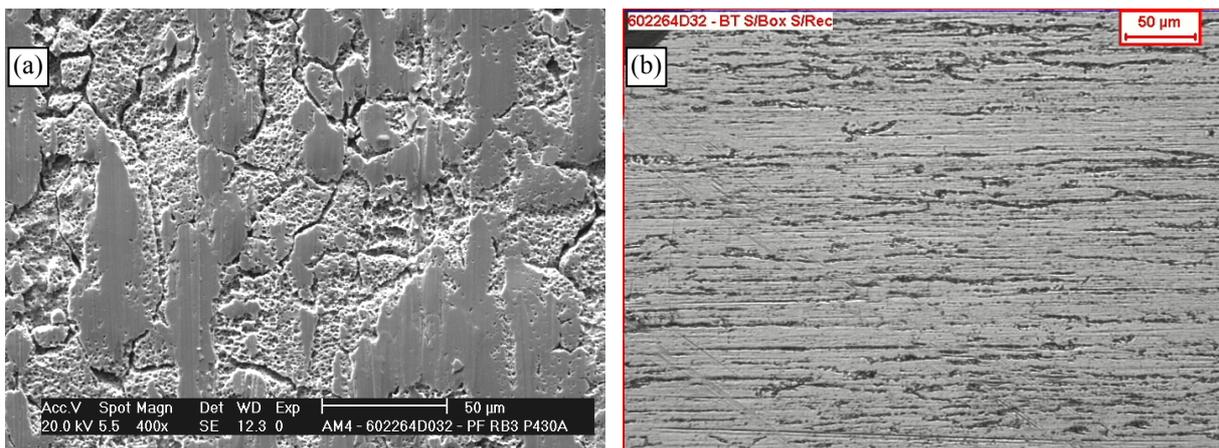


Figura 12 – (a) Superfície de BQ após a decapagem na RB3 mostrando o ataque nos contornos de grãos da superfície e (b) superfície da BF desta mesma bobina com os microdefeitos causadores do “fosco”.

3.4.1 –Variáveis de RB3 e ações tomadas

Algumas variáveis no processo de decapagem da BQ agravam este fenômeno de ataque preferencial nos contornos de grãos. O teor de HF e H₂SO₄, o jateamento excessivo de granalha e a baixa velocidade da linha intensificam o efeito do ciclo do

Box na composição química e estrutural, tanto da chapa quanto da carepa, no que diz respeito ao ataque superficial. Baseado em dados de processo, ensaios e análises executadas, implantou-se então uma série de ações na RB3 para o processo do aço P430A.

Sob estas condições, os resultados foram bem animadores, baixando significativamente o índice de “fosco” no aço P430A, conforme Figura 13.

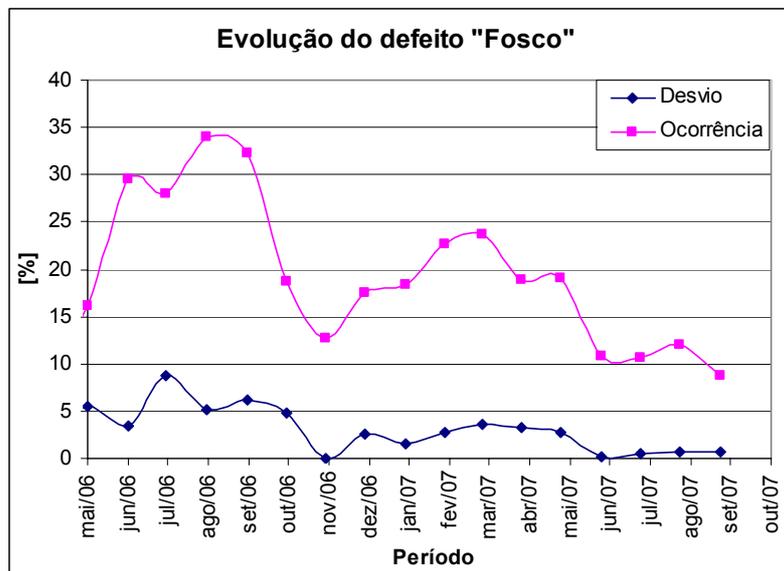


Figura 13 – Redução dos índices de ocorrência do defeito “fosco”.

Entre dezembro e abril de 2007, a turbulência nos números é reflexo no ajuste fino nos processos de Box e RB3, com resultados melhores a partir de junho. Atualmente os índices de ocorrência são principalmente por motivos de redescapagem ou por algum acidente do processo, mas sem afetar substancialmente os resultados de qualidade.

4 RESULTADOS MENSURÁVEIS

Como a primeira ação tomada em uma crise do defeito “fosco” é de reduzir a velocidade nos laminadores, isto promove uma perda de produtividade, cuja evolução é descrita na Figura 14.

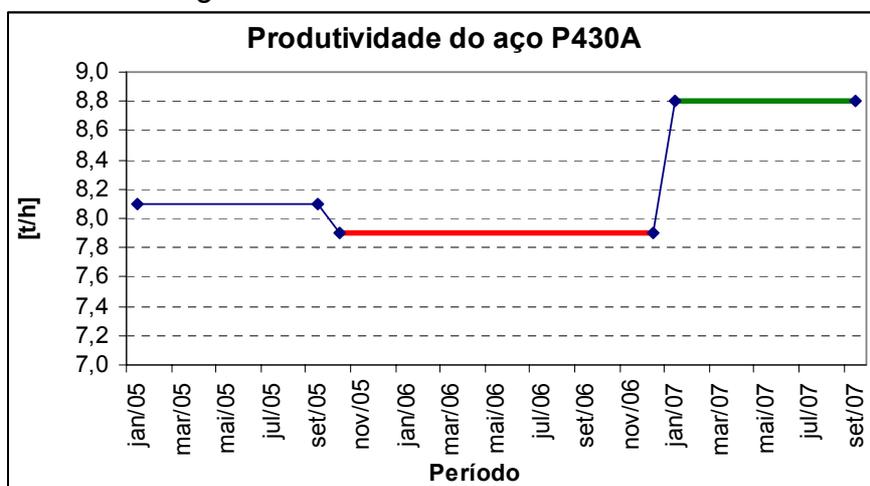


Figura 14 – Evolução da produtividade do P430A, até a espessura 0,60mm, durante o período de trabalho na causa do defeito “fosco”.

A retomada da produtividade em janeiro de 2007 marcou não somente o retorno ao padrão, mas um ganho de 0,9 t/h, em relação à perda imposta pelo defeito nos últimos dez meses. Neste período, o acréscimo da produtividade representou um ganho de 209 horas em um único laminador.

5 CONCLUSÕES

Em relação ao defeito entre 2000 e 2002, uma das causas era a alta temperatura na LTQ durante o bobinamento. Outras causas estavam associadas ao processo da RB3. A análise era facilmente executada via MEV.

Entre 2005 e 2006, vários microdefeitos foram levantados como os causadores do defeito “fosco”. Neste caso, o melhor equipamento para análise era o microscópio ótico.

- “Microestrias” e “Arranhões de cilindros” – Causadas por problemas relacionadas à lubrificação nos laminadores, ou seja, cilindro/óleo/chapa. Controlou-se a rugosidade dos cilindros e a contaminação com óleo hidráulico.
- “Fosco de decapagem” e de “jateamento” – Provocado pelo ataque preferencial nos contornos de grãos e vales de rugosidade no processo de decapagem inicial. Controlou-se o processo de jateamento, recozimento e decapagem após a laminação a quente.
- Em função do conhecimento adquirido sobre as causas dos e das ações tomadas, a retomada da produtividade marcou não somente o retorno ao padrão, mas um ganho de 0,9 t/h, em relação à perda imposta pelo defeito nos últimos meses.

O P430A 2B brilhante compete diretamente com o produto BA - Bright annealing, no mercado doméstico, América Latina e Mercosul. Assim, mesmo sem o BA, a ArcelorMittal Inox Brasil é um importante competidor neste mercado.

REFERÊNCIAS

- 1 MONTMITONNET, P, DENEUVILLE, P, GRATACOS, P, HAURET, G, LAUGIER, M - “*Understanding and Modelling the Mixed Lubrication Regime: Summary of Achievements and Perspectives of Industrial Applications*” - La Revue de Métallurgie-CIT/Science et Génie des Matériaux, Mai 2001.
- 2 ESSO MANUAL. *Esso serves the world metalworking industry* – Metalworking Process and Products – Seminar Presented by ESSO. Jun, 1979.
- 3 LE, H.R.; SUTCLIFFE, M.P.F. *Evolution of surface pits on stainless steel strip in cold rolling and strip drawing*. Journal of Tribology, v. 125, n. 2, p. 384-90, April 2003.

BIBLIOGRAFIA

- 1 LABIAPARI, Wilian da S., BATISTA, José C., FERREIRA, José Sérgio, OLIVEIRA, Tarcísio Reis de, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, COIMBRA, Diogo de Souza, RT10-552/2007- ACESITA S.A.- Descrição dos Tipos de Defeito “Fosco” no Aço P430A.
- 2 LABIAPARI, Wilian da S., FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., MACHADO, Valdomiro Crispim - RT10-536/2006 - ACESITA S.A. - Avaliação de Bobinas do Aço 430A da Acesita no Processo “*Bright Annealing – BA*” e 2B de Gueugnon.
- 3 LABIAPARI, Wilian da S., FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., FOUBERT, Jerome, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, COIMBRA, Diogo de Souza - RT10-533/2006 - ACESITA S.A. - Avaliação das Unidades Metálicas de Carlam e Gueugnon no Processo da Acesita.
- 4 LABIAPARI, Wilian da S., ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, OLIVEIRA, Tarcísio Reis, FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., CUNHA, Cleber Barros - RT10-575/2007 - ACESITA S.A. - Susceptibilidade da Superfície da BQ do Aço P430A ao Defeito “Fosco” na BF, Avaliado Após o Processo Box.
- 5 BATISTA, José C, BARDY, Pedro Bahadian, SILVA, José Nicácio - RT17-008/2005 - ACESITA S.A.- Análise do Efeito das Contaminações de Óleo de Laminação por Óleo Hidráulico na Ocorrência do Defeito “Fosco”.
- 6 LABIAPARI, Wilian da S., FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., FOUBERT, Jerome, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, OLIVEIRA, Tarcísio Reis, COIMBRA, Diogo de Souza - RT10-555/2007 - ACESITA S.A.- Estudo da Rugosidade, Diâmetro de Cilindro e Redução nos Passes de Laminação a Frio dos Aços P430A e P430E.
- 7 BATISTA, José C, RT17-001/2006 - ACESITA S.A. - Estudo dos Defeitos de e Homogeneidade de Superfície “*Gravé*” e “*Piqué*” nos Aços 430 na Usina de Ugine Gueugnon.