

MECANISMO DE FORMAÇÃO DO DEFEITO “COLAMENTO” CAUSADO POR “ESFOLIAÇÃO”¹

Diogo de Souza Coimbra²

Wiliam da Silva Labiapari³

José Carlos Batista⁴

Cláudio Moreira de Alcântara⁵

José Romário de Freitas Mota⁶

Braúlio Alexandre Dias Pascoal⁶

Resumo

O defeito “colamento” nos aços inoxidáveis ferríticos está associado à presença de cavidades nos cilindros de trabalho, geralmente provocadas pelo desprendimento de particulado da borda da bobina. No caso do processo em laminador Sendzmir, este defeito torna-se mais crítico pelos sucessivos bobinamentos e desbobinamentos da operação, provocando mais cavidades entre as espiras das bobinas. Uma variante deste mecanismo, relacionado ao defeito “esfoliação”, foi proposta para execução do estudo. O trabalho desenvolveu-se em duas frentes. A primeira consistiu no levantamento de dados da linha industrial. Foram correlacionados os defeitos “colamento” e “esfoliação” em função do alinhamento entre eles, devidamente registrado nos mapas de inspeção. A segunda etapa foi executada em laboratório. Através de amostras de bobinas laminadas a quente, recozidas e decapadas, com e sem o defeito “esfoliação”, verificou-se a intensidade e dimensão dos particulados desprendidos durante o processo de laminação piloto. Observou-se uma acentuada perda de massa das amostras com o defeito, comparadas às isentas deste. Em seguida, laminou-se uma partícula entre os cilindros do laminador piloto, evidenciando a formação de uma cavidade no cilindro de trabalho, mesmo sendo este mais duro que a partícula. Os resultados deste desenvolvimento permitiu um trabalho preventivo de análise e alocação prévia de bobinas com o defeito “esfoliação”, evitando a formação do “colamento”, reduzindo de qualidade por este motivo.

Palavras-chave: Laminação; Colamento; Esfoliação.

MECHANISM OF MECHANICAL DEFECT CAUSED BY “PEELING”

Abstract

The mechanical defect impressed on the surface of ferritics stainless steel is associated with the presence of holes in the work rolls, generally caused by particles unfastening of the coils edge. On Sendzimir rolling process, this defect becomes critical for the successive coiling and uncoiling, causing some others mechanical marks between the sheets. Another way to form this mechanism, related to the defect "peeling", was proposed for this study. The work was developed in two steps. The first one consisted of data collecting at industrial line. The mechanical marks and “peeling” was correlated as a function of the alignment between them, as reported on inspection maps. The second stage was done in laboratory. Some samples of hot rolled, annealed and pickled coils, with and without the “peeling” defect were used. It was verified the intensity and dimension of the particles left during rolling pilot process. It was observed much more weight loss of the samples with the defect, compared with the others without. After that, a particle was plated between the work rolls of the pilot mill, making a hole on it, since this being hardest than the particle. The results of this development allowed a preventive work analysis and previous allocation of coils with the “peeling” defect, preventing the other defect as mechanical mark, and reducing quality loss at the industrial lines for this reason.

Key words: Rolling; “Peeling”; Defect.

¹ *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.*

² *Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico da Laminação a Frio de Inox – Acesita S.A.*

³ *Engenheiro Mecânico, M. Sc, Pesquisador do Centro de Pesquisa – Acesita S.A.*

⁴ *Engenheiro Mecânico, M. Sc, Assistente Técnico da Laminação a Frio de Inox – Acesita S.A.*

⁵ *Técnico Químico, Analista Técnico de Pesquisa de Inox – Acesita S.A.*

⁶ *Técnico Metalúrgico, Analista Técnico da Laminação a Frio de Inox – Acesita S.A.*

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo mecanismo de formação do defeito “colamento”, visto na superfície da tira laminada de aço inoxidável, é objeto de estudo há algum tempo na Acesita.

Em 2003, constatou-se que o defeito nos aços inoxidáveis ferríticos está associado à presença de cavidades nos cilindros de trabalho. Geralmente, estas são provocadas pelo desprendimento de particulado da borda da bobina, fonte conhecida e aceita, sendo validada em ensaios de laboratório.⁽¹⁾

Durante uma crise do defeito em 2005, onde todas as ocorrências eram atribuídas a marcas mecânicas, descobriu-se que parte deste material apresentava restos de óxido no interior do defeito, quando analisados via MEV. Resolvido este problema, os índices continuavam elevados, mesmo aplicando-se todas as contramedidas para o defeito “colamento” tradicionalmente conhecido.

Iniciou-se um trabalho de investigação de outras fontes de particulado, cuja dimensão fosse suficiente para provocar cavidades nos cilindros de laminação. Descobriu-se então uma estreita correlação entre o defeito “colamento” e “esfoliação”, sendo validada em trabalho conjunto entre os resultados industriais e de laboratório.

2 OBJETIVO

Desvendar uma variante do defeito "colamento", associado ao desprendimento de particulado durante a laminação a frio, neste caso, oriundo de outro defeito, a “esfoliação”.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 O Defeito “Colamento”

O defeito “colamento” são marcas de pequenas dimensões, na superfície da tira, alinhadas e espaçadas por múltiplos dos diâmetros dos cilindros de trabalho do laminador e dos passes de laminação. Morfologicamente se apresentam em baixo relevo, conforme Figura 1.

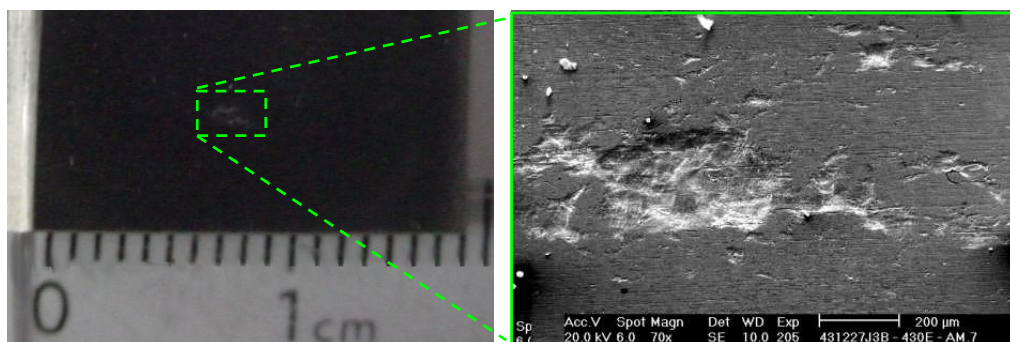


Figura 1 – Morfologia típica do defeito “colamento”.

Inicia-se com uma partícula que marca em baixo relevo o cilindro de trabalho. Com a cavidade formada, faz-se uma impressão em alto relevo na superfície da tira durante a laminação. Conseqüentemente, marcas devem aparecer alinhadas e espaçadas do perímetro do cilindro de trabalho, ou seja, a cada revolução deste, uma nova é impressa. Como estas marcas são em alto relevo, fica fácil removê-las no passe

seguinte, porém, elas podem causar danos superficiais durante o bobinamento, devido à tensão entre as espiras.⁽²⁾

A Figura 2 descreve as etapas de formação do “colamento”. O defeito impresso em alto relevo na superfície da tira (Figura 2a), durante o bobinamento no processo de laminação em Sendzimir, é comprimido contra a superfície de outra espira (Figura 2b). Esta condição promove uma marca em baixo relevo na superfície da espira adjacente, por ser um ponto de concentração de tensões, bem como na superfície do próprio defeito (Figura 2c). Desta forma, ocorre nas duas faces. Estando em baixo relevo, os defeitos não desaparecem imediatamente nos passes seguintes de laminação. Isto é constatado na linha industrial, onde aparecem alinhados, com distâncias equivalentes ao perímetro do cilindro trabalho, acrescidas das deformações impostas pelos passes de laminação.⁽²⁾

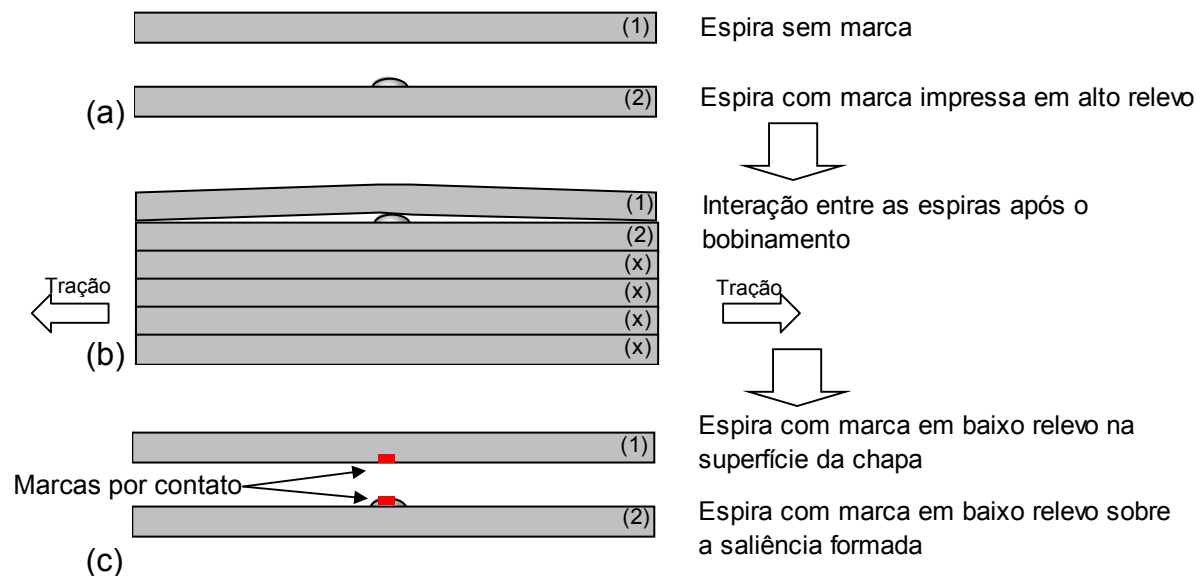


Figura 2 – Mecanismo de formação de marcas em baixo relevo durante o bobinamento.

3.2 Correlação entre os Defeitos “Colamento” e “Esfoliação”

Nos aços ferríticos, para a ocorrência do defeito “colamento”, necessita-se de uma cavidade formada na superfície do cilindro de trabalho, geralmente provocado por uma partícula. A procedência conhecida para o desprendimento de particulado é a borda da bobina. O aparo de borda praticado durante a crise de 2005 não foi suficiente para reduzir o índice do defeito a níveis satisfatórios. Sendo assim, esta foi descartada como principal fonte geradora, neste período.

4.2.1 Levantamento de dados

A necessidade de se encontrar novas causas para desprendimento de particulado, que pudessem marcar os cilindros de trabalho durante laminação a frio, levou a uma análise detalhada dos mapas de inspeção na linha final. Foi observado que grande parte dos desvios por “colamento” estavam alinhados a outro defeito no mapa de inspeção final, a “esfoliação”. Posteriormente, esta foi vista também em mapas de inspeção de processos anteriores, alinhada à ocorrência do “colamento” no produto final. A Figura 3 mostra este fato.

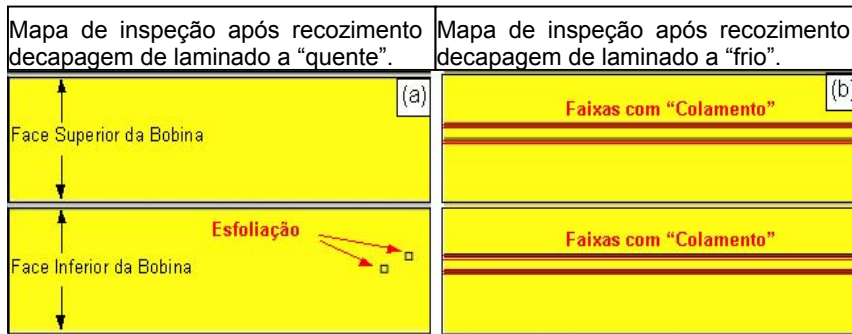


Figura 3 – Mapa de inspeção mostrando as duas faces de uma bobina em dois equipamentos. (a) O defeito “esfoliação” no primeiro recozimento e (b) “colamento” alinhado, visto na inspeção do recozimento final, na mesma posição em relação ao sentido transversal da tira.

Sendo identificada esta consistência nos resultados, o defeito “colamento” foi desmembrado para melhor identificação de sua origem. A classificação proposta foi:

1. 062, o tradicionalmente conhecido;⁽²⁾
2. 162, associado ao defeito “esfoliação”, conforme Figura 3; e
3. 262, óxidos remanescentes de bobinas laminadas a quente, conforme Figura 4.

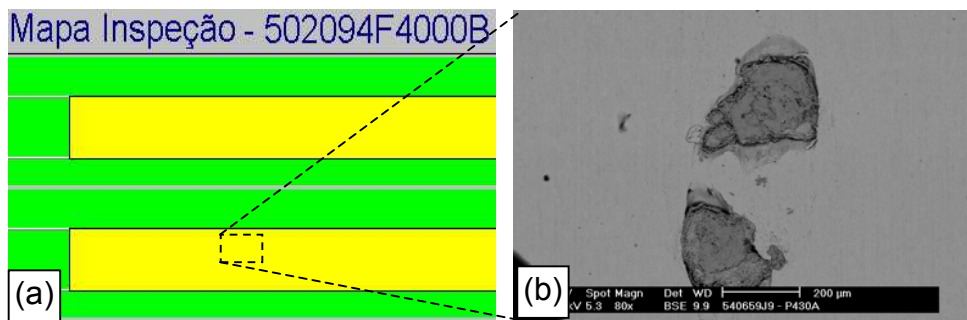


Figura 4 – (a) Mapa de inspeção mostrando em amarelo e em ambas as faces o defeito “colamento” 262 que ocorre de forma aleatória. (b) Óxido causador do defeito, visto em MEV.

Com base nestes dados estratificou-se, através dos mapas de inspeção, os índices de colamento, de forma a ter uma nova distribuição, conforme Figura 5.

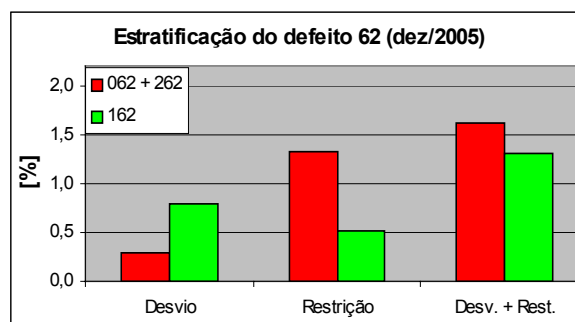


Figura 5 – Estratificação do defeito “colamento”

Através das informações contidas nesta distribuição, iniciou-se um trabalho minucioso de análise e alocação prévia das unidades metálicas com o defeito “esfoliação” durante fase de inspeção na linha de recozimento inicial. Isso permite o direcionamento para aplicações menos críticas, como superfície lixada. Apesar desta

atividade não solucionar a causa fundamental do problema, ela trouxe um impacto imediato nos desvios por “colamento”, conforme Figura 6.

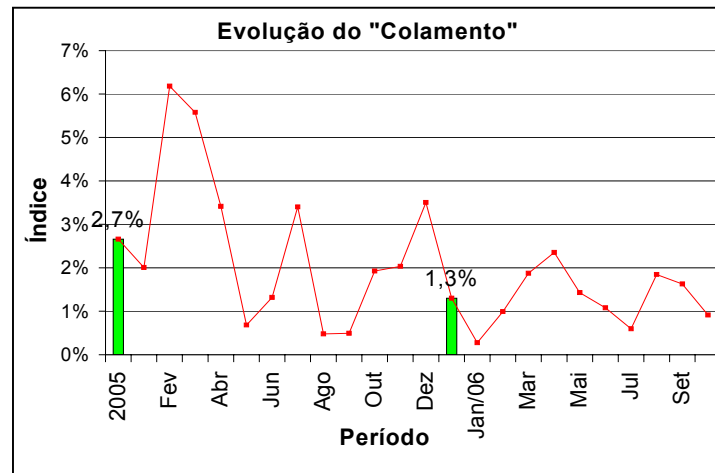


Figura 6 – Evolução do defeito “colamento”. Abril/2005, decréscimo em função das ações em relação com óxidos superficiais (262). Jan/2006, trabalho de alocação em função da relação com as esfoliações (162).

Contudo, alguns pontos careciam de maior suporte técnico. Não havia uma teoria para sustentação sobre em qual condição uma “esfoliação” pode causar cavidade no cilindro de trabalho, mesmo sendo este um aço ferramenta. Ainda assim, em alguns casos uma “esfoliação” mais grave não causava cavidade, ao passo que outra mais leve sim.

Neste sentido, esta variante do mecanismo, relacionado ao defeito “esfoliação”, foi proposto para execução do estudo em laboratório.

4.2.2 Correlação física

O objetivo desta etapa foi identificar a possibilidade de desprendimento de particulado em amostras com o defeito “esfoliação”, durante a laminação a frio em laboratório, de tal forma que promoveriam cavidades nos cilindros de trabalho.

Em um segundo momento, evidenciar fisicamente a geração de uma marca mecânica no cilindro de trabalho em laboratório, causada por uma partícula de menor dureza.

4.2.2.1 Laminação piloto

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório do Centro de Pesquisa, partindo de amostras de bonina do aço P430E com e sem o defeito “esfoliação”. Foi utilizado o Laminador Piloto FENN para simulação do processo. As amostras em dimensão de 50X100mm, foram laminadas de 4,00 para 0,60mm, sendo medido o desprendimento de material das amostras durante a operação.⁽³⁾

O processo de laminação piloto permite acompanhar e registrar cada etapa, observando a mutação morfológica da superfície. Na Figura 7 pode-se ver a evolução do defeito “esfoliação” entre os passes de laminação que a deformou ⁽⁴⁾. São assinalados cinco pontos distintos, onde fica evidenciado o desprendimento de material durante o processo, em dimensão suficiente para promover marcas nos cilindros de trabalho.

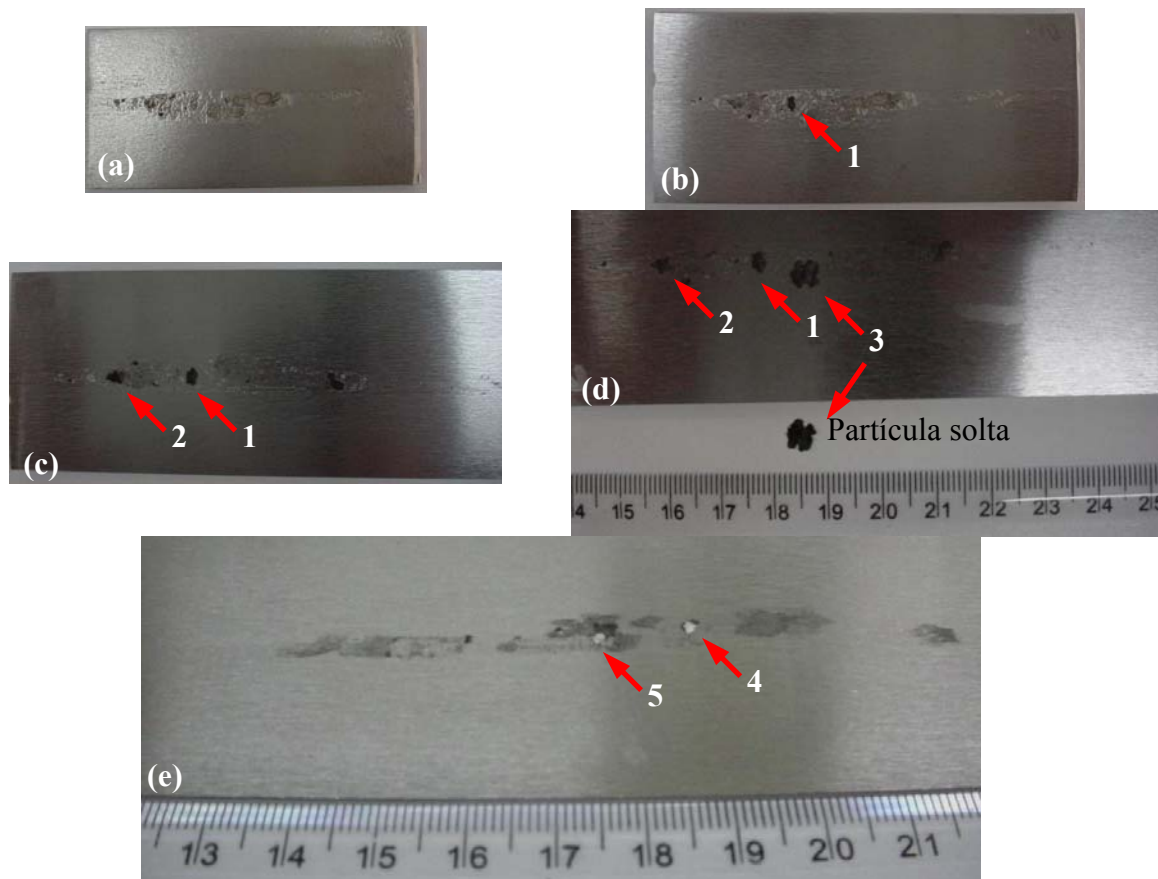


Figura 7 – Evolução da deformação entre os passes de laminação a frio, piloto. A numeração de 1 a 5 mostra o desprendimento de material. De (a) a (e) é mostrada a evolução morfológica do defeito com a deformação, sendo: (a) 0%, (b) 9%, (c) 19%, (d) 28% e (e) 70% de deformação.

A Figura 8 mostra a diferença de perda de peso entre as amostras com e sem “esfoliação”, distinguindo o comportamento superficial entre elas.

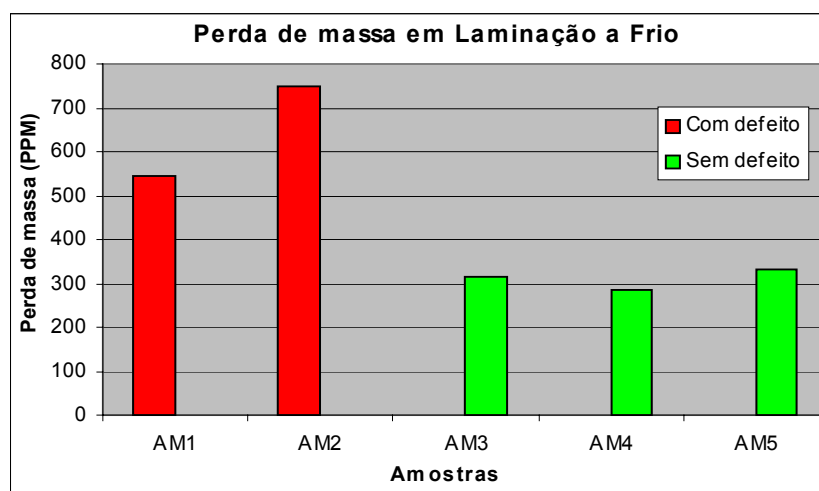


Figura 8 – Perda de massa das amostras durante processo de laminação a frio.

Fica evidenciado pelas figuras acima a diferença de comportamento entre amostras de uma mesma bobina com e sem o defeito “esfoliação”.⁽⁴⁾ Segundo análises já realizadas sobre a qualidade de borda de bobinas e das tensões envolvidas no

processo de laminação a frio,⁽²⁾ o comportamento aqui estudado nos remete ao mesmo mecanismo de formação do defeito “colamento” já conhecido.

4.2.2.2 Avaliação da Geração de Dano no Cilindro de Trabalho

Como visto, a superfície com o defeito “esfoliação” gera partícula em dimensão suficiente para a ocorrência de outro, o “colamento”. Contudo, para que isto ocorra, é necessário que esta partícula marque o cilindro de trabalho, mesmo sendo este mais duro.

Para validação, foi inserida uma partícula metálica, de 28 HRC de dureza, entre os cilindros de trabalho do laminador piloto, neste caso com 62 HRC. Como pode ser observado na Figura 9, esta condição é suficiente para a ocorrência de uma cavidade.



Figura 9 – Esquema mostrando a partícula que foi inserida entre os cilindros de laminação do laminador piloto (a) antes e (b) após a deformação. (c) Quadro de um filme feito para desenvolvimento do trabalho em laboratório mostrando a cavidade formada no cilindro.

Em uma análise instantânea, pode-se acreditar ser “impossível” um material mais macio imprimir uma marca em outro mais duro. Este raciocínio é válido em um sistema simples, onde existem apenas dois corpos em contato, em dimensões suficientes para não sofrerem interações do meio.

Em nosso caso, esta partícula está apoiada sobre outro cilindro, ou seja, está entre dois corpos de igual dureza. Neste sentido, ela sofre deformação até que os campos de tensões internas atuantes excedam o valor do limite de escoamento do cilindro, marcando-o, mesmo sendo ele de dureza mais alta. Isto significa que a partícula se torna incompressível neste momento, o que permite a ela imprimir sua morfologia sobre a superfície do cilindro de trabalho.

A Figura 10 mostra esquematicamente a mudança de comportamento do sistema. Na Figura 10b, para ocorrer a deformação, deve-se exceder o limite de escoamento do material. Na Figura 10c, soma-se ainda as interações entre os campos de tensões gerados internamente, de forma que juntos, exijam mais do cilindro, aumentando a tensão no contato.

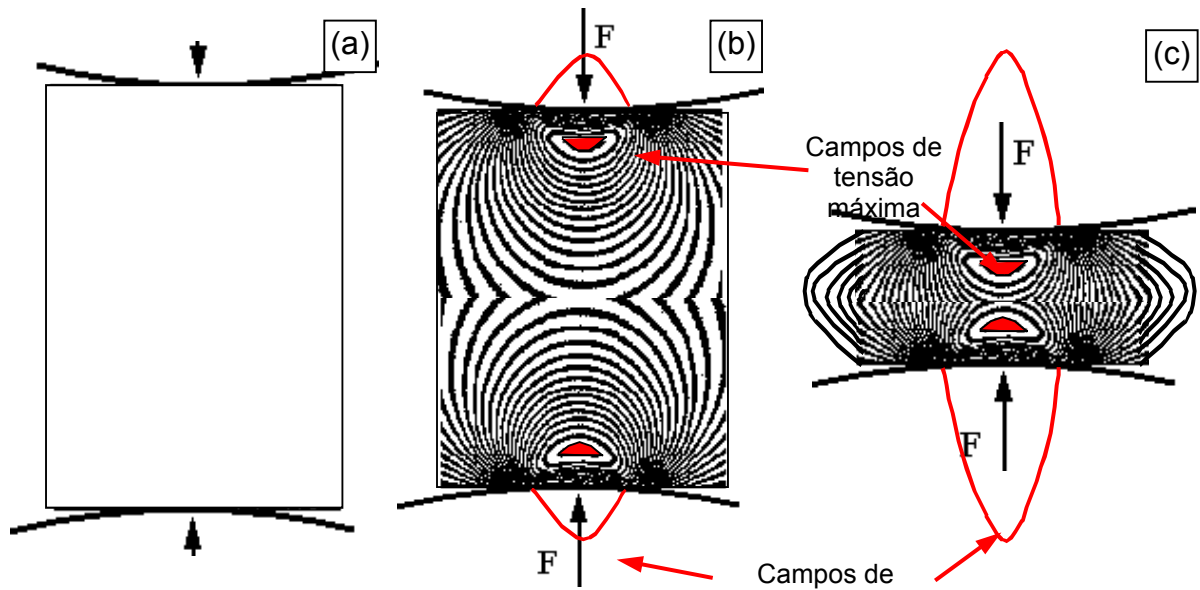


Figura 10 – Desenho esquemático mostrando a interação dos campos internos de tensões entre os cilindros de laminação e um corpo. (a) Condição sem carregamento, (b) com carregamento leve e (c) com carregamento severo.

A corpo de menor limite de escoamento se deforma. Caso o aumento de dureza provocado pelo encruamento, somado aos esforços necessários para vencer as tensões geradas pela forte interação entre os campos internos (Figura 10c) excedam o limite de escoamento do cilindro, mesmo com dureza superior a da partícula este será marcado.

O processo de laminação a frio via Sendzimir é bastante favorável à situação descrita acima. Existem quatro cilindros de 1º intermediário (Figura 11), que podem comprimir o particulado desprendido durante a laminação a frio, entre eles e o cilindro de trabalho, reproduzindo o mecanismo descrito.

Outra condição favorável à formação de cavidades no cilindro através de um particulado, trata-se do contato direto da partícula comprimida entre a chapa e o cilindro de trabalho. A Figura 12 mostra a cavidade formada na chapa por um particulado desprendido.

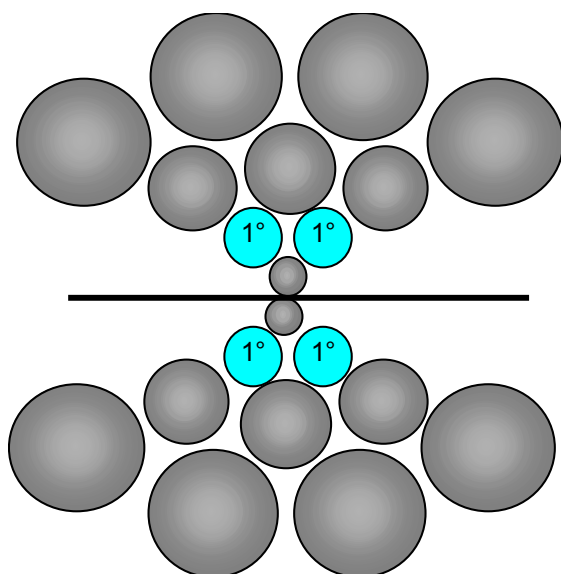


Figura 11 – Desenho esquemático da cadeia de um laminador Sendzimir mostrando, em azul, os cilindros de 1º intermediário.

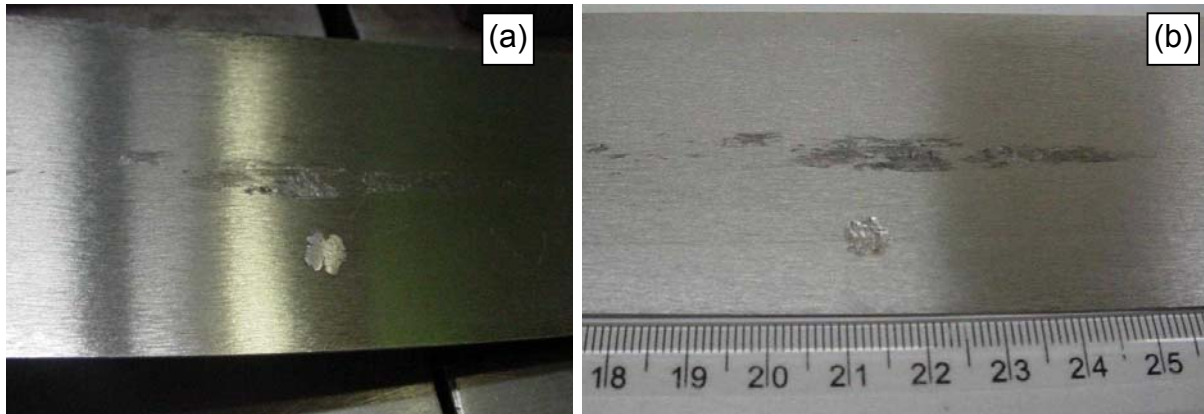


Figura 12 – Esquema mostrando uma partícula sobre a chapa (a) antes da laminação e (b) a cavidade após o passe de redução no laminador piloto.

Nesta condição, a espessura e o grau de encruamento da chapa influenciam na absorção de parte da deformação localizada imposta pela partícula, para posteriormente, deformar também o cilindro de trabalho. Se a chapa ainda tem ductilidade para suportar toda a deformação, o cilindro de trabalho não é marcado. Em qualquer caso, se uma “esfoliação”, mesmo de maior intensidade, não desprender partícula em dimensão suficiente para promover esta marca, não haverá o “colamento”.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste desenvolvimento permitiram um trabalho preventivo de análise e alocação prévia de bobinas com o defeito “esfoliação”, evitando a formação do “colamento”. Este procedimento antecipado da avaliação dos mapas de inspeção tem sido estendido para outros defeitos.

As amostras com o defeito “esfoliação” têm um desprendimento de particulado superior ao ocorrido em amostras sem o defeito.

Pela dimensão da partícula desprendida nos ensaios e as tensões que se desenvolvem internamente quando esta é comprimida entre cilindros ou entre cilindro e chapa, o cilindro de trabalho pode sofrer uma marca mecânica. Assim, mais importante do que o nível de gravidade de uma “esfoliação”, é sua capacidade de desprendimento de partícula em dimensão suficiente para a geração do defeito “colamento”.

Pelo fato de haver grande interação entre os campos de tensões internos da partícula comprimida, somado à dureza dela própria, justifica o fato de um material mais macio marcar outro mais duro.

Pelo desprendimento de partícula de uma “esfoliação”, juntamente com as condições normais de um processo de laminação a frio via Sendzimir, reuni-se todos os fatores necessários à ocorrência do “colamento”. Esta é a razão pela qual entende-se haver uma estreita correlação entre estes dois defeitos.

As correlações entre os mapas de defeitos juntamente com as caracterizações morfológicas e análises de MEV mostram que é possível se fazer a correta classificação, nas linhas de inspeção, dos defeitos codificados como “colamento”. Assim sendo, o “colamento” classificado anteriormente como 62 foi estratificado. A atual descrição traz como definição o 062, o tradicionalmente conhecido, o 162, associado ao defeito “esfoliação”, e o 262 oriundo de óxidos remanescentes do

material após a laminação a quente. Fisicamente, este último não se trata do “colamento” até então estudado, por não se tratar de marcas mecânicas.

BIBLIOGRAFIA

- 1 LABIAPARI, Wilian da S., BATISTA, José C., RT10-381/2004 - ACESITA S.A.- Influência da qualidade de borda na formação do defeito “*colamento*” na laminação a frio – Jul, 2004.
- 2 LABIAPARI, Wilian da Silva, BATISTA, José C., Santana, Clênio da S., LAGE, Sandro O. M. Fernandes, Nilson G. – ACESITA S.A. – Simulação do Mecanismo de Formação do Defeito Mecânico Impresso na Superfície da Tira Laminada de Aços Inoxidáveis, 42º Seminário de Laminação, Santos – SP, 2005.
- 3 LABIAPARI, Wilian da Silva, COURA, Gilvan José, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira de, SANTANA, Clênio da Silva, CUNHA, Cleber Barros, BATISTA, José Carlos, SOUZA, Epifânio M. T., CASTRO, José Torres de, LAGE, Sandro Oliveira M. – ACESITA S.A. – Análise da Origem do Particulado nos Filtros de Óleo do Laminador nº4 da Acesita, Causador de Perda de Eficiência de Filtragem e Produção - 43º Seminário de Laminação, Curitiba – PR, 2006.
- 4 LABIAPARI, Wilian da S., COIMBRA, Diogo de Souza, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira – RT10 - 495/2005 – ACESITA S.A. – Estudo da Possibilidade de Geração do defeito “Colamento” Através do Defeito “Esfoliação” – Dez/2005.