

ANÁLISE DA ORIGEM DO PARTICULADO NOS FILTROS DE ÓLEO DO LAMINADOR Nº4 DA ACESITA, CAUSADOR DE PERDA DE EFICIÊNCIA DE FILTRAGEM E PRODUÇÃO ¹

Willian da Silva Labiapari ²
Gilvan José Coura ³
Cláudio Moreira de Alcântara ⁴
Clênio da Silva Santana ⁵
Cleber Barros Cunha ⁶
José Carlos Batista ⁷
Epifânio M. T. Souza ⁸
José Torres de Castro ⁹
Sandro Oliveira M. Lage ¹⁰

Resumo

O Laminador a frio de bobinas nº4 da ACESITA, LB4, possui um sistema de filtragem de óleo cujas paradas conduzia o equipamento a perdas na produção. Neste trabalho foram executados ensaios de laminação a frio, numa aproximação das condições do processo industrial, bem como a caracterização dos materiais empregados no estudo como amostras de bobina decapada, após laminação a quente/recozimento, além dos resíduos encontrados nos filtros. O estudo direcionou o entendimento da origem dos particulados encontrados no sistema de filtragem. Os ensaios apontaram para o desprendimento de material durante a laminação a frio, como sendo inerente ao processo. Este fenômeno é acentuado pelo acréscimo da temperatura do óleo de laminação, sendo influenciado também, pela qualidade da borda e superfície da tira. O aumento da redução total a frio conduz ao maior desprendimento de resíduos, associando-se à perda de capacidade do material em sofrer uma nova deformação plástica. Sendo o desprendimento de material uma condição normal de processo, constatou-se em testes a saturação dos elementos filtrantes, que foram substituídos.

Palavras-chave: Laminação; Superfície; Resíduos

ANALYSIS OF PARTICLES FOUND IN THE OIL FILTER SYSTEM OF ACESITA'S COLD ROLLING EQUIPMENT Nº 4, THAT LEFT TO LOSE FILTRATION EFFICIENCY EM PRODUCTION CAPACITY

Abstract

The ACESITA's cold rolling mill nº4, LB4, has a filter system to oil that left to lose working time when stopped. In this work, we did some tests of rolling in the lab, intending to approximate at real process condition. In this way, some analysis of material used, like samples and filter system residues, of were done. This work conducted to understand the origin of the dirty found at the filter system. The tests shows the detachment of particles of metal during the cold rolling as a normal condition of process. This phenomena increases with the increase of oil temperature, total cold reduction and edge of coil. With that, we concluded that the detachment of particles is a normal cold rolling condition. The process wasn't with a problem and we need to change the filter elements of the system.

Key words: Rolling; Surface; Dirty.

¹ Trabalho a ser apresentado no 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 17 a 20 de outubro de 2006, Curitiba – PR

² Engenheiro Mecânico, M. Sc, Pesquisador do Centro de Pesquisa – Acesita S.A.

³ Engenheiro Mecânico, Ass. Téc. Recozimento e Decapagem de Inox – Acesita S.A.

⁴ Técnico Químico, Analista Téc. de Pesquisa de Inox – Acesita S.A.

⁵ Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico da Melhoria Contínua – Acesita S.A.

⁶ Engenheiro Metalúrgico, Ass. Téc. Recozimento e Decapagem de Inox – Acesita S.A.

⁷ Engenheiro Mecânico, M. Sc, Assistente Técnico da Laminação a Frio de Inox – Acesita S.A.

⁸ Técnico Metalúrgico, Analista Téc. de Recozimento e Decapagem de Inox – Acesita S.A.

⁹ Engenheiro Mecânico, Assistente Téc. Eng. Manutenção de Inox – Acesita S.A.

¹⁰ Técnico Químico, Analista Téc. de Recozimento e Decapagem de Inox – Acesita S.A.

1 INTRODUÇÃO

O Laminador a frio de bobinas nº 4 da ACESITA, LB4, possui um sistema de filtragem de óleo cujas paradas conduzia o equipamento a perdas na produção. Neste trabalho foram executados ensaios de laminação a frio, numa aproximação das condições do processo industrial, bem como a caracterização dos materiais empregados no estudo como amostras de bobina decapada, após laminação a quente/recozimento, além dos resíduos encontrados nos filtros. O estudo direcionou o entendimento da origem dos particulados encontrados no sistema de filtragem.

Os ensaios apontaram para o desprendimento de material durante a laminação a frio, como sendo inerente ao processo. Este fenômeno é acentuado pelo acréscimo da temperatura do óleo de laminação, sendo influenciado também, pela qualidade da borda e superfície da tira. O aumento da redução total a frio conduz ao maior desprendimento de resíduos, associando-se à perda de capacidade do material em sofrer uma nova deformação plástica.

Sendo o desprendimento de material uma condição normal de processo, constatou-se em testes a saturação dos elementos filtrantes, que foram substituídos.

2 OBJETIVO

Objetivou-se o entendimento da origem do particulado encontrado no sistema de filtragem do Laminador de Bobinas nº4, LB4, da ACESITA S.A., devido à perda de eficiência do sistema e conseqüentemente, de produção.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Análise Química dos Resíduos

Inicialmente, os resíduos encontrados nos filtros eram designados como uma forma de “grafita” ou “graxa”, em função da coloração e textura. Isto gerava dúvida em função de não haver uma fonte definida para este material.

Para iniciar o entendimento, foram executadas análises morfológicas (Figura 1c) e química via MEV (Tabela 1).

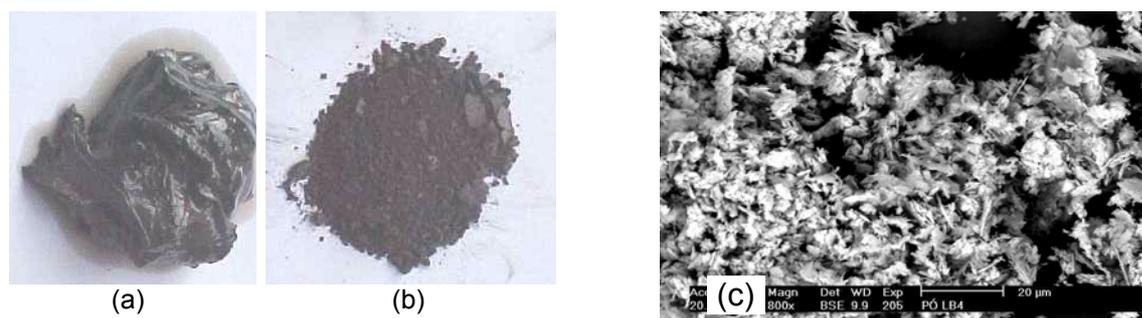


Figura 1. (a) Resíduo recolhido, (b) separado a fase sólida e (c) morfologia via MEV.

Tabela 1. Análise química do resíduo recolhido no filtro do LB4.

Elemento	Fe	Cr	Ni	O2
Concentração [%]	68,08 %	15,98 %	6,60 %	8,48 %

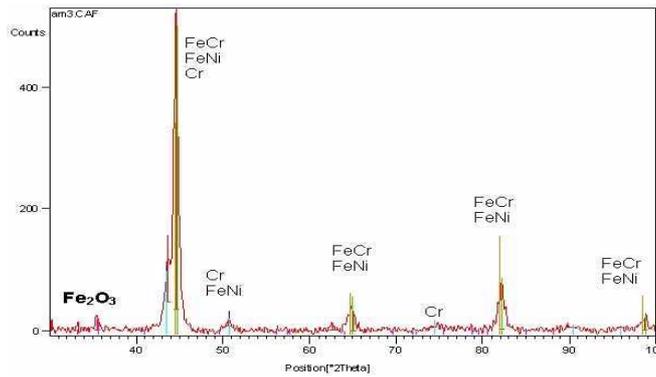


Figura 2. Análise por difração de raios X do resíduo.

Com este resultado, mudou-se o conceito sobre o resíduo encontrado, pois tratava-se de material metálico com alguma presença de óxido. Foi visto, por difração de raios X, que o óxido se tratava de Fe_2O_3 , conforme Figura 2.

A origem do particulado, deveria então ser da própria bobina, havendo uma forte ligação aos aços da série 304, em função da concentração presente de Ni.

Melhorando a análise, foi efetuada uma filtragem seletiva, em laboratório, do resíduo encontrado no LB4, além de análise química. Segundo a Tabela 2, a composição básica é a mesma, sendo progressivo o teor de oxigênio, quanto menor o tamanho do particulado. Isto é facilmente explicável em função do óxido ser friável, não comportando deformação plástica, o que lhe permite passar por uma malha menor durante a filtragem seletiva.

Tabela 2. Análise química do resíduo após filtragem seletiva.

Elemento	Fe	Si	Mn	Cr	Ni	O2
Retido na malha de 1,00 μm	67,37	0,73	1,59	17,61	5,77	6,93
Retido na malha de 0,80 μm	67,26	0,77	1,53	17,23	5,51	7,71
Retido na malha de 0,45 μm	66,04	0,73	1,69	16,99	6,50	8,05

3.2 Análise do Mecanismo

Estudou-se inicialmente o centro da largura da bobina, em amostras decapadas, após laminação a quente/recozimento, chamadas de BQB. Este material foi submetido à laminação piloto, no Laminador FENN do Centro de Pesquisa, sendo observado o desprendimento de resíduo, conforme Figura 3.

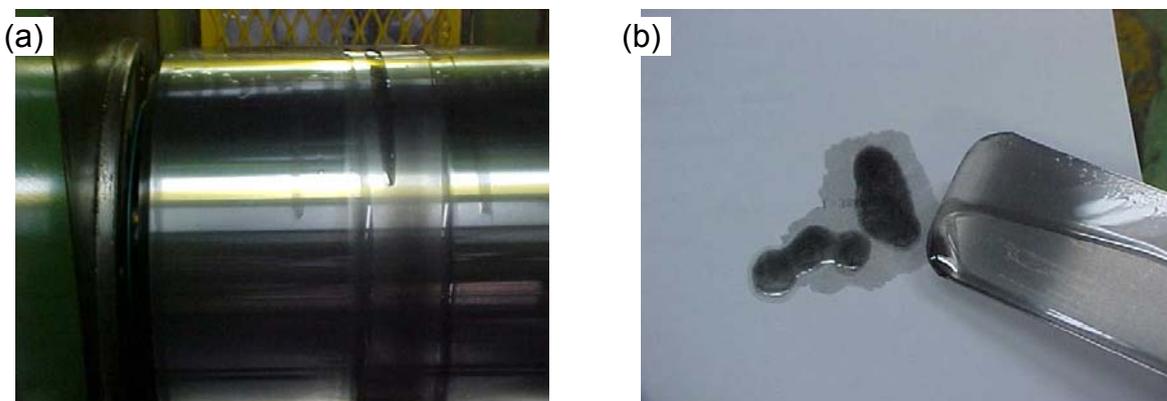


Figura 3. Resíduos que se desprenderam durante a laminação a frio no Laminador FENN do Centro de Pesquisa (a) sobre o cilindro e (b) sobre a amostra.

Visto que há um desprendimento de material, e que podem ser medidos com balança de precisão, novos ensaios de laminação foram executados. Comparando-se diversos aços e condições de processo.

3.2.1 Desprendimento de material em função da deformação a frio

Foram recolhidas várias amostras de aço na etapa de BQB, sendo focado a região central da largura da tira. Todas as amostras respeitaram um tamanho inicial padrão, de 45X100mm pela espessura. Foram submetidas à laminação a frio em laboratório com o mesmo plano de redução da linha industrial, sendo pesadas antes e após cada passe. Trabalhou-se nesta etapa com o óleo de laminação à temperatura ambiente. Pode ser observado que o material desprendido, ou seja, a perda de massa nas amostras, segue uma tendência quase exponencial para todos os aços, em função da redução, conforme mostrado na Figura 4.

Na Figura 5 pode-se ver que, ao perder a capacidade de alongar-se, o material torna-se mais susceptível ao desprendimento de material. Contudo, os dados não podem ser aplicados diretamente na escala industrial, que tem diâmetro de cilindro menor, que promove um acúmulo maior de energia de deformação plástica nas asperezas da superfície (HUART, 2004), além de trabalhar a uma maior velocidade, em outro regime de lubrificação.

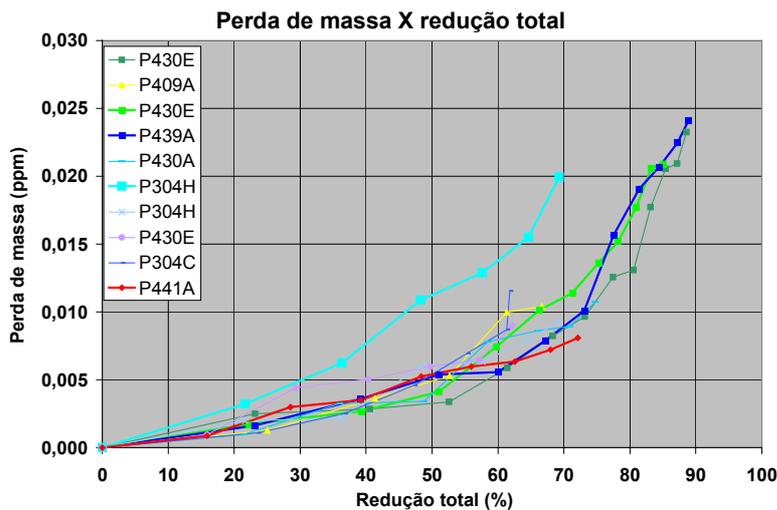


Figura 4. Perda acumulada por cada passe de laminação em função da redução

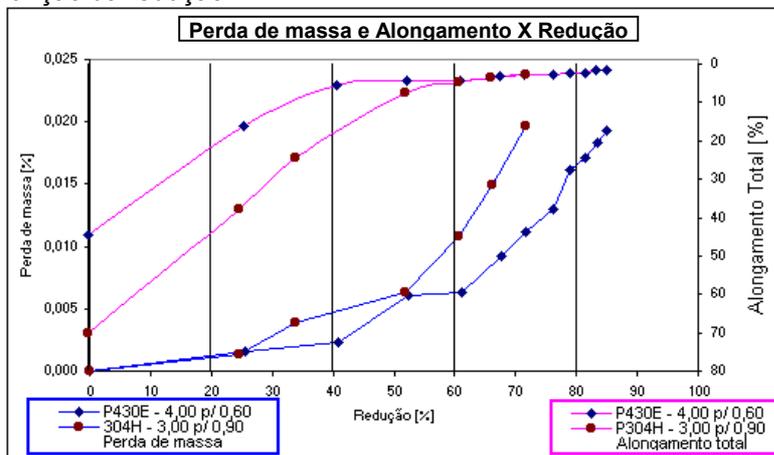


Figura 5. Perda de massa e alongamento em cada passe de laminação.

Há uma forte correlação entre o desprendimento de material e a redução total a qual é submetida. Ainda em relação à energia acumulada nos picos de rugosidade, também aumenta com decréscimo do número de passes de laminação, para uma mesma redução a frio, visando o aumento de produtividade.⁽¹⁾ Este fenômeno está relacionado ao aumento do ângulo de entrada da chapa entre os cilindros. Assim, a partir de determinado nível de redução, o material tem progressiva perda de massa, correlacionando-se à perda de ductilidade.

3.2.2 – Desprendimento de material em função do aspecto superficial

A Figura 6 mostra o aço 304 com diferentes acabamentos superficiais, refletido em diferentes índices de perda de massa na Figura 7. Comparativamente, a superfície que foi superdecapada em laboratório (Figura 6a) não tem tantos grãos superficiais propícios a se desprenderem como na condição padrão industrial (Figura 6b), o que leva a um menor desprendimento de material. A condição superescovada (Figura 6c) propicia uma maior área isenta de grãos praticamente soltos (Figura 6d), o que leva também a um menor desprendimento de massa.

Finalizando a discussão sobre aspecto superficial foram preparadas amostras de dois aços, um austenítico, 304, e um ferrítico, 409, em três condições de superfícies sendo, BQB padrão, jateada com posterior redecapagem e polida. Figura 8 mostra o desempenho em perda de massa e a Figura 9 mostra o aspecto das amostras preparadas. As amostras polidas perdem muito menos material do que as amostras sem polimento, que se comportam praticamente iguais para um mesmo aço. Isto se deve à remoção dos picos de rugosidade que se soltariam durante a laminação, colocando-a em um patamar de 50% menos perda de massa.

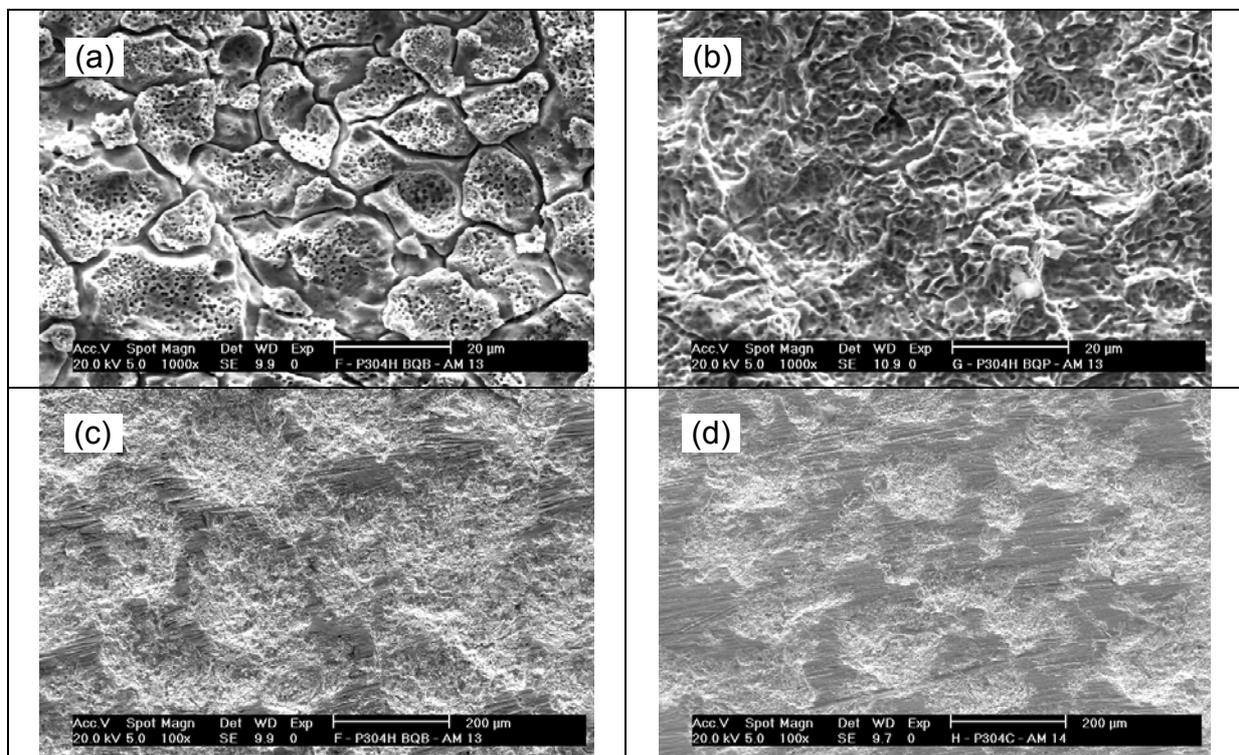


Figura 6. Superfície do 304 (a) processo padrão, (b) superdecapado em laboratório, (c) escovamento padrão e (d) superescovado.

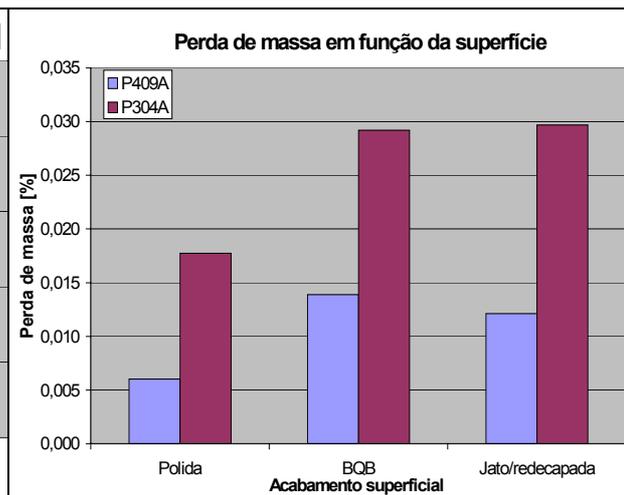
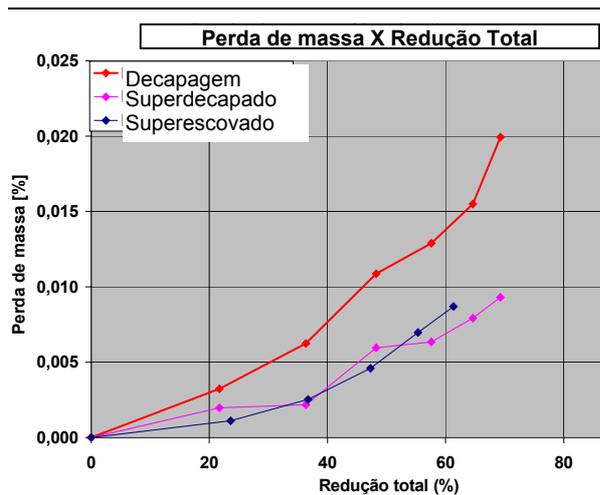


Figura 7. Perda de massa entre amostras de aço 304 com diferentes superfícies.

Figura 8. Perda de massa em função do acabamento superficial.

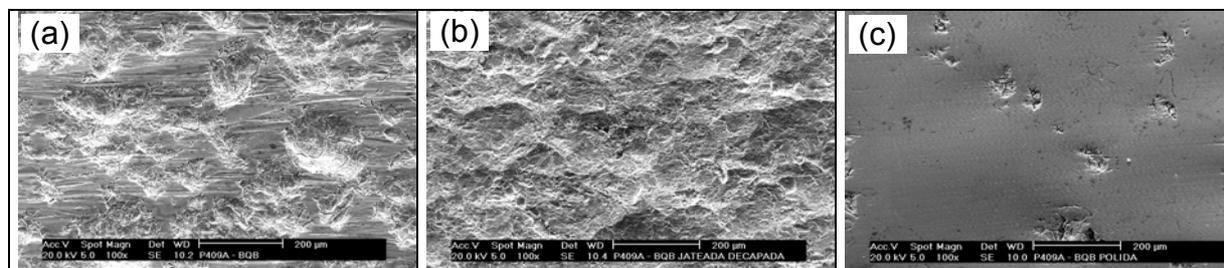


Figura 9. Aspecto superficial das amostras para laminação. (a) BQB padrão, (b) jateada com posterior redecapagem e (c) polida.

3.2.3 Desprendimento de material em função ausência de recozimento da BQB

É visto então a influência da superfície para os aços 304 e de uma forma geral, o comportamento em função do encruamento do material. Encerrando a questão de um material mais encruado, a Figura 10 compara dois tipos de aço 304, sendo os aços 304D e 304H, com e sem recozimento em laboratório.

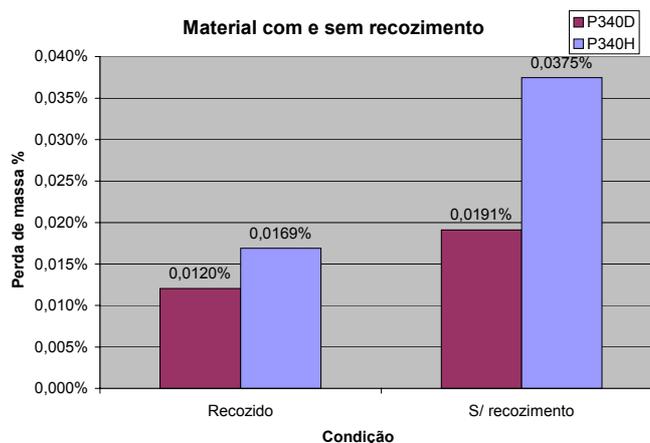


Figura 10. Perda de massa comparativa para o aço 304 com e sem recozimento.

Neste ponto, tem-se novamente evidenciado a influência do material mais encruado, que acentua o desprendimento de resíduo.

3.2.4 – Desprendimento de material em função da temperatura do óleo de laminação

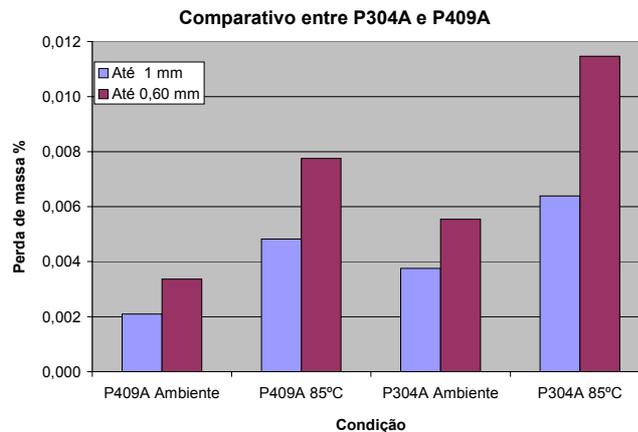


Figura 11. Perda de massa Comparativa entre os aços 409 e 304, laminados de 3,00 para 0,60 mm, com o óleo de laminação à temperatura ambiente e a 85°C.

Nota-se aqui a grande importância da temperatura do óleo de laminação. Segundo Sutcliffe e Montmitonnet,⁽²⁾ o cálculo da espessura do filme de óleo leva em consideração a viscosidade do lubrificante, que decresce com o aumento da temperatura. O aumento da viscosidade promove o aumento do filme de lubrificação.⁽³⁾

Nota-se uma diferença entre os materiais processados com o óleo à temperatura ambiente e à 85°C, sendo pior quanto maior a temperatura. Em relação aos dois aços, a diferença é sistemática, condizente com a composição química do material encontrado nos filtros do LB4.

3.2.5 – Desprendimento de material em função da posição da amostragem, borda e centro, da bobina

Como até o momento foi estudado apenas o material do centro da largura da bobina, o foco foi mudado para as bordas. A Figura 12 mostra de forma comparativa os aços 304 e 430. Fica mais uma vez evidente qual aço perde mais massa. Contudo, esta análise não é suficiente, pois, com 60% de redução na borda, os dois aços se equivalem em perda de massa. No centro, a tendência é condizente com os dados já apresentados. Isto se deve ao fato de que a borda do 430 geralmente vem acompanhada de muito óxido, conforme Figura 12, e como este não sofre deformação plástica, solta-se nos primeiros passes de laminação.⁽⁴⁾

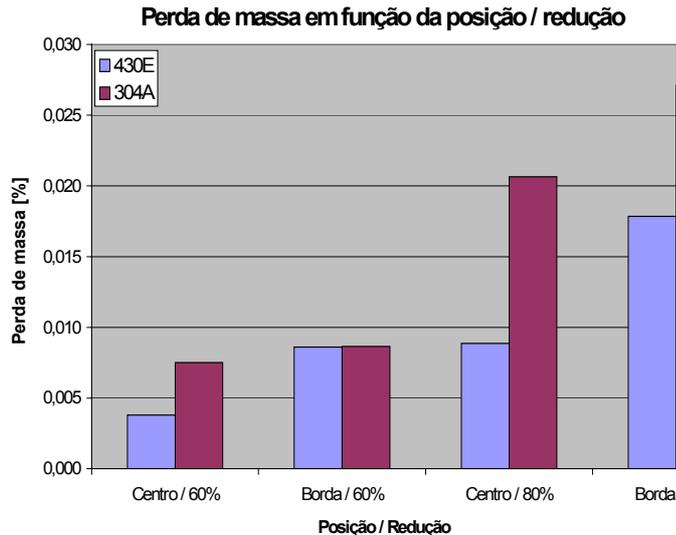


Figura 12. Perda de massa para o 430 e 304, laminados de 3,00 p/ 1,20 e posteriormente 0,60 mm, com o óleo de laminação a 85°C.

Após se soltar, o desprendimento que ocorre é de material metálico, onde o 304 evidencia mais este comportamento. A Tabela 3 mostra dados comparativos da perda de massa entre a borda e o centro, para estes dois aços.

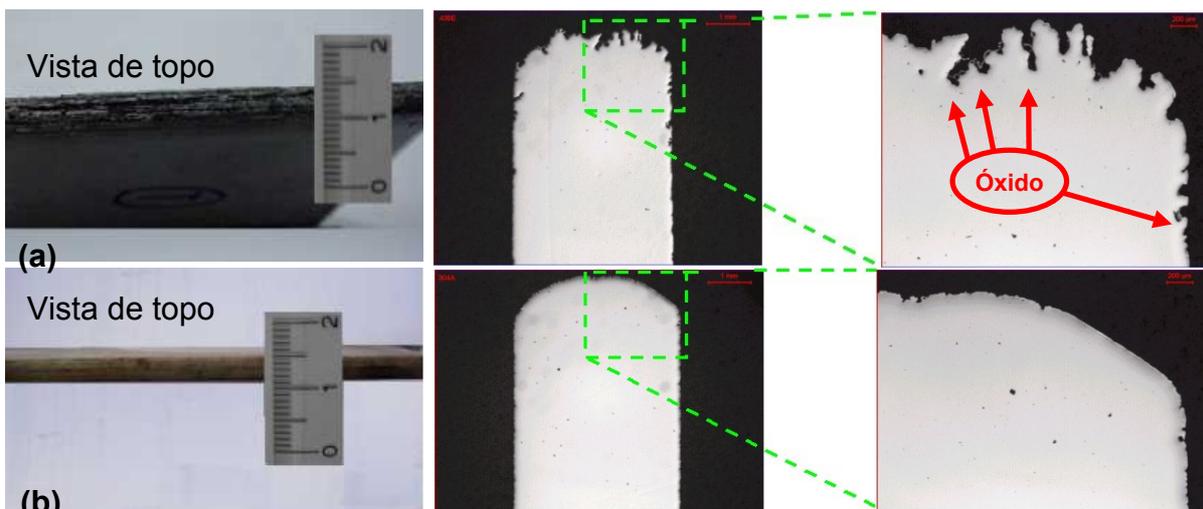


Figura 13. Vistas de topo e transversal da borda de BQB dos aços (a) 430 (b) 304.

Tabela 3. Perda de massa para os dois aços, no centro da largura e na borda.

	60% de redução			80% de redução		
	Centro [%]	Borda [%]	Difer. %	Centro[%]	Borda [%]	Difer. %
430	0,0038	0,0086	125,97%	0,0089	0,0179	101,48%
304	0,0075	0,0086	15,02%	0,0206	0,0271	31,36%

A diferença de perda de massa borda/centro nos primeiros 60% de deformação é de 125 contra 15%, respectivamente para o 430 e o 304. Isto muda um pouco até 80% de redução. No primeiro a diferença cai, pois, não há muito óxido a se soltar e a taxa de perda de massa metálica é menor do que a de resíduo óxido que já se desprendeu. No segundo, como praticamente não há óxido na borda, a diferença é crescente em função da deformação, desprendendo apenas material metálico.

3.2.6 Desprendimento de material em função da presença de particulado no óleo

É sabido que a presença de particulado metálico entre as duas superfícies em contato deslizante promove um maior desgaste, pelo mecanismo de abrasão por terceiro corpo.⁽⁵⁾ Desta forma, a presença de resíduos gera mais resíduos. Embora tenha sido testada esta hipótese, o ensaio de laboratório não foi preciso o suficiente para diferenciar o comportamento entre o óleo sujo e limpo.

3.3 Análise do Resíduo Encontrado Dentro do Elemento Filtrante

Foi recolhido um elemento filtrante sujo (Figura 14b) e retirado o particulado metálico que se encontrava em seu interior. Conforme a Tabela IV, tem-se um teor de níquel mais baixo e oxigênio mais alto, sendo valores diferentes aos apresentados até então apresentados nas Tabelas 1 e 2.

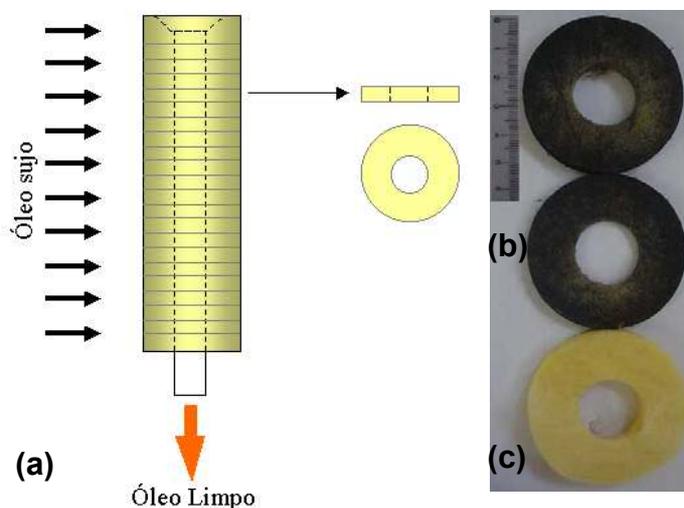


Figura 14. Esquema de um (a) elemento filtrante, apresentando sua malha interna (b) suja após uso e (c) limpa, que ainda não foi utilizada.

Tabela 4. Análise química do particulado recolhido no interior do elemento filtrante

	Fe	Si	Mn	Cr	Ni	O2
[%]	67,02	3,17	1,28	15,32	3,11	9,93

A Figura 14b mostra o material agarrado dentro do elemento filtrante. A composição química da Tabela 4, nos leva a dois raciocínios. No primeiro, pelo teor de níquel mais baixo, há uma menor influência dos aços da série 3XX em sujar as partes internas do filtro, que obviamente, é mais difícil de se limpar. No segundo, pelo teor de oxigênio mais alto, há uma maior influência dos óxidos, ainda presentes na BQB antes da laminação. Contribuindo com esta última posição, está o fato de que o óxido é um material friável, tornando-se partícula muito mais fina que os resíduos metálicos, que conseguem absorver alguma deformação plástica. Sendo então de menor dimensão, fica mais fácil entrar nos poros dos elementos filtrantes.

É afirmativo então, a influência não só da quantidade de particulado, mas também do tipo. Como em uma bobina há mais superfície central, geralmente isenta de óxido, do que de borda, região preferencial para acúmulo de sujeira, torna-se evidente que haja mais perda de massa metálica do que de material oxidado.

3.4 Distribuição Granulométrica do Particulado no Óleo de Laminação

Amostras do óleo de laminação foram recolhidas na cadeira do LB4. Antes da coleta, várias bobinas de aço 304 foram processadas e posteriormente, o mesmo procedimento para o aço 409.

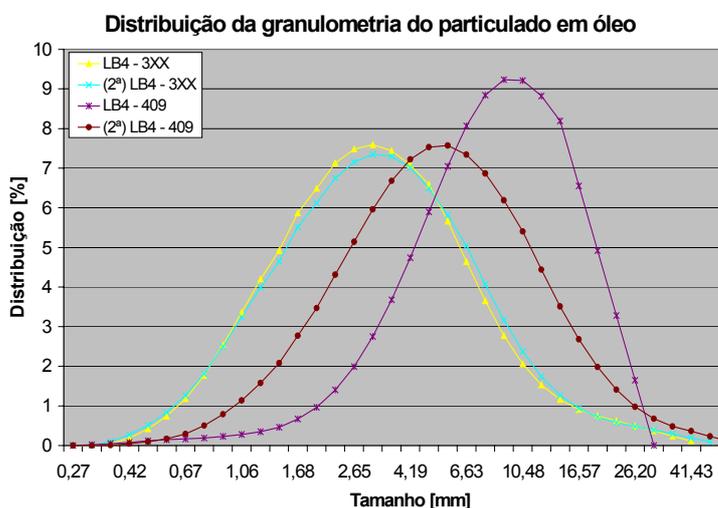


Figura 15. Distribuição granulométrica do particulado no óleo recolhido da cadeira do LB4 durante o processo dos aços P304A e P409A.

A amostragem foi na cadeira de laminação, de forma que o óleo estivesse com concentrações representativas de particulado para estes aços. A Figura 15 mostra a distribuição medida por um granulômetro a laser.

Para o aço 304, é visto que as duas curvas se sobrepõem, em uma distribuição mais homogênea. Destaca-se que não é comum, óxidos nas bordas dos aços 304 o que tende a ser material metálico arrancado durante a laminação.

Para o aço 409, têm-se duas populações distintas. Esta diferença de particulado pode ser atribuída à presença de duas fases sólidas, sendo uma metálica e outra óxida, muito observada nas bordas destes aços. O particulado menor pode ir para dentro dos elementos filtrantes e o maior ficaria retido do lado de fora. Há de se destacar ainda que a Figura 15 não trata da quantidade de particulado, sendo apenas da distribuição percentual.

4 CONCLUSÕES

Tem-se a perda de massa como inerente ao processo de laminação, e que a borda da bobina é a região onde isto mais se acentua. Quando há a presença de óxido, este fenômeno é agravado. Pode-se afirmar também que, outros fatores influenciam no aumento do desprendimento de material, como:

1. Aumento da redução total a frio, sem um processo intermediário de recozimento, sendo uma função direta do encruamento do material.
2. Materiais sem recozimento de BQ, que obviamente estão mais encruados.
3. Aumento da temperatura do óleo de laminação.
4. A qualidade da superfície tem sua influência, pois, os picos de rugosidade são os mais propícios a serem arrancados, assim como os grãos com os contornos bem atacados.

No caso do tipo de aço, o 304 perde mais material que os aços da série 4XX.

A compreensão deste mecanismo de desgaste superficial pode ser melhorada. Para tal, faz-se necessário a utilização de equipamentos que permitam uma melhor aproximação das condições industriais, como as tensões de tração envolvidas e as condições de contato em altas velocidades.

O processo não estava descontrolado, sendo que todas as modificações possíveis foram testadas. Houve uma real saturação dos elementos filtrantes, sendo necessária sua substituição.

REFERÊNCIAS

- 1 HUART, S., DUBAR, M., DELTOMBE, R., DEBOIS, A., DUBAR, L., *Asperity deformation, lubricant and iron fines formation mechanism in cold rolling processes.* – WEAR, 2004;
- 2 SUTCLIFFE, M. P. F., MONTMITONNET, P – *Numerical modelling of lubricated foil rolling,* - *Revue de Métallurgie - Science et Génie des Matériaux* 98, vol. 5, pp 435-442, 2001;
- 3 ESSO, *Esso Serves the World Metalworking Industry* – Jun, 1979
- 4 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.
- 5 HUTCHINGS, I. M., *Tribology - Frictional and Wear of Engineering Materials,* Department of Materials Science and Metallurgy University of Cambridge, Cambridge, 1992, cap 6.