

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO TERMOMECÂNICO NA FORMAÇÃO DE CAREPA NA LAMINAÇÃO A QUENTE DE TIRAS FINAS ¹

Sergio de Oliveira Lima Júnior²

Júlio Cezar Bellon³

Paulo Antônio de Souza Júnior⁴

Fernando Gabriel da S. Araújo⁵

André Barros Cota⁵

Resumo

Neste estudo foi avaliada a influência de três parâmetros de processamento termomecânico – espessura do esboço, vazão de água de resfriamento da superfície da tira e vazão de óleo de laminação – na formação de carepa na laminação a quente de tiras finas (espessura < 2,0mm) de um aço baixo carbono ($C \leq 0,11\%$). Os experimentos da pesquisa foram divididos em três etapas distintas: laminação experimental em escala industrial, caracterização da carepa e análise da composição das camadas de óxido presentes na carepa encontrada nas tiras laminadas a quente. Para a laminação experimental utilizou-se o laminador de tiras a quente da CST. A caracterização da carepa foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) com o qual foram obtidas as espessuras da carepa. A avaliação da composição da carepa foi realizada utilizando-se a espectroscopia Mössbauer. O estudo mostrou que, dentro de uma faixa de valores definidos, dois parâmetros de processamento influenciavam diferentemente a intensidade da carepa e sua espessura: a espessura do esboço e a vazão de água de resfriamento da superfície do esboço/tira. Em contrapartida, o outro fator, volume de óleo de laminação aplicado, indica que tanto a intensidade quanto a espessura da carepa diminuem quanto maior for a sua quantidade. Observou-se também diferença no mecanismo de formação, crescimento e deformação da carepa entre as amostras avaliadas próximo as bordas e no centro da tira, mesmo tendo sido laminadas na mesma condição. A principal fase da carepa, identificada através da espectroscopia Mössbauer, foi a magnetita, sendo esta estequiométrica.

Palavras-chave: Laminação de tiras; Carepa; Espectroscopia Mössbauer.

INFLUENCE OF TERMOMECHANICAL PROCESS PARAMETERS ON SCALE FORMATION IN THE HOT STRIP MILL FOR THIN GAGES

Abstract

An evaluation of the influence of three different thermo mechanical process parameters – transfer bar thickness, water flow of interstand cooling and oil flow in roll gap lubrication system – in scale formation during hot rolling process of thin gages (< 2.0mm) for low carbon steels ($C \leq 0,11\%$). The experiments were divided in three steps: experimental rolling, scale characterization and oxide layer composition analysis of scale found over hot rolled strip. For experimental rolling, CST's hot strip mill was used. The scale characterization was made using scanning electron microscope when scale thicknesses were obtained. The scale oxide layers composition analysis were measured through Mössbauer spectroscopy. This study presented that chosen process parameters influence the amount of scale and its thickness based on the behavior of two of them: transfer bar thickness and water flow of interstand cooling. Otherwise, the other parameter – oil flow in roll gap lubrication system – indicates that both scale thickness and its amount decreases as bigger the amount of oil applied in the strip. The scale integrity of the bottom side of strip and also bottom rolls surface appearance indicate that there is difference of temperature between top and bottom side of strip into hot rolling process. There was also difference in scale formation, grow and deformation if is compared edges surface and centre surface of strip, even though the strips have been rolled in the same condition. Finally, the main scale phase identified through Mössbauer spectroscopy was magnetite stoichiometric.

Key words: Hot rolling; Oxide; Mössbauer Spectroscopy.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Mestre em Engenharia de Materiais, Engenheiro Especialista em Laminação de Tiras a Quente, CST-Arcelor Brasil, Serra, ES

³ Engenheiro Especialista em Laminação de Tiras a Quente, CST-Arcelor Brasil, Serra, ES

⁴ Dr. rer. nat., Laboratório de Propulsão e Combustão, INPE, Guaratinguetá, SP

⁵ Doutor, Professor, DEFIS/REDEMAT/Universidade Federal de Ouro Preto

1 INTRODUÇÃO

A variedade de parâmetros atuando ao mesmo tempo durante a laminação a quente torna a determinação do ponto ótimo de processamento ainda mais complexo. Contudo, a escolha de alguns parâmetros para avaliação, objetivando otimizar a laminação de tiras a quente de baixa espessura de tal forma a obter um produto que atenda às expectativas do mercado de laminados a frio é necessária e desafiadora, ou seja, com uma qualidade de superfície do laminado a quente isenta de defeitos, dentre os quais destaca-se o principal: a carepa (denominação dada à camada de óxido formada durante a transformação da placa de aço em uma tira por laminação a quente, por oxidação do Fe presente na matriz em temperatura elevada, entre 700 e 1250°C durante um período de tempo).

A literatura reporta muitos trabalhos teóricos realizados sobre aplicação de conceitos do fenômeno da oxidação na laminação a quente em avaliações simuladas ou em laboratório.^[1] Poucos trabalhos encontram-se disponíveis na visão de utilização de uma linha de laminação para realização de experimentos, com variação de parâmetros de processamento termomecânico e seus impactos sobre a formação de carepa no laminado a quente.^[2-4]

Da experiência na indústria, algumas usinas realizaram análises dos parâmetros de processamento e posteriores melhorias para redução do defeito carepa presente no laminado a quente, visando aumentar os índices de aprovação de produto e, por conseqüência, a qualidade superficial das tiras produzidas.^[2-4] Outras, por sua vez, se preocuparam em caracterizar os defeitos provenientes do fenômeno da oxidação^[1] e avaliar a estrutura e morfologia da carepa formada na laminação a quente de aços.

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência de três parâmetros de processamento termomecânico, espessura do esboço, vazão de água de resfriamento da superfície da tira e vazão de óleo de laminação, na formação de carepa terciária na laminação a quente de tiras finas (espessura nominal de 1,50mm) de aço baixo carbono ($C \leq 0,11\%$). A ocorrência de carepa será discutida sob três aspectos principais: intensidade na qual a carepa se apresenta no laminado a quente, sua espessura e sua composição, avaliada pela quantidade das fases encontradas (hematita, magnetita e wüstita).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material escolhido para realização do experimento foi um aço baixo carbono, cujas tiras laminadas possuem as seguintes dimensões nominais (seção reta): espessura de 1,5mm e largura de 1.000mm (dimensões reais: 1,54 x 1.007mm).

A faixa dos principais elementos presentes na composição química das tiras é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química típica (% em peso) do aço utilizado (principais elementos)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%N
0,030 a 0,055	$\leq 0,030$	0,10 a 0,30	$\leq 0,025$	$\leq 0,015$	0,010 a 0,040	$\leq 0,0040$

Os experimentos da pesquisa foram divididos em três etapas distintas: laminação experimental, caracterização da carepa e composição das camadas de óxido presentes na carepa encontrada nas tiras laminadas a quente.

2.1 Laminação Experimental

Dentre todos os parâmetros de processamento presentes na laminação a quente, três foram selecionados e variados durante a laminação experimental: espessura do esboço (mm), vazão de água de resfriamento da superfície da tira ou *ISC* (superior e inferior) entre a cadeira F1/F2 e F2/F3 (m³/h), e, vazão de óleo de laminação aplicado nos cilindros de trabalho (F2 a F4) (mL/min). A escolha destes parâmetros levou em consideração a carga térmica contida no material, para o caso da espessura do esboço, a necessidade de resfriamento até uma temperatura abaixo de 950°C, o que se consegue com o uso do *ISC* e, por fim, a diminuição do coeficiente de atrito que pode ser obtida com a utilização de óleo.

Os valores definidos de cada parâmetro citado anteriormente estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores utilizados dos parâmetros durante a laminação experimental

Parâmetro	Valores utilizados	Observação
Espessura	28mm e 32mm	Para o esboço na entrada do trem acabador
ISC	12% (38m ³ /h) e 20% (67m ³ /h)	Percentual relativo a vazão total do sistema; variação apenas no ISC 1 e 2, que equivale, respectivamente as cadeiras F1/F2 e F2/F3
Óleo	- 30% e + 30% (F2 = 130 e 230mL/min; F3 = 120 e 220mL/min; F4 = 100 e 180mL/min)	Parâmetro com variação de ± 30% da vazão apenas nas cadeiras F2, F3 e F4 em relação aos valores usualmente utilizados; nas demais cadeiras (F1, F5 e F6) os valores não foram alterados

O processamento termo-mecânico das tiras finas, realizado no laminador de tiras a quente da CST, foi dividido em oito experiências, cada uma com três tiras, cujas condições são listadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Laminação experimental e suas condições

Experiência / Condição	Amostra	ISC 1 e 2 (%)	Espessura Esboço (mm)	Óleo de Laminação (mL/min)
1	A1	12	28	+ 30%
2	A2	20		
3	A3	12	32	
4	A4	20		
5	A5	12	28	- 30%
6	A6	20		
7	A7	12	32	
8	A8	20		

2.2 Caracterização da Carepa

As bobinas produzidas foram reprocessadas no laminador de acabamento da CST, sem, contudo, promover-se o encruamento da tira, de forma a preservar as características da carepa formada na laminação a quente. Uma amostra de 400mm de comprimento e da largura do material foi retirada na metade do comprimento total da bobina intermediária de cada condição, e destas foram cortadas amostras-filhas nas dimensões de 100x100mm.

Através de inspeção visual da superfície destas amostras, faces A (superior) e B (inferior) da tira, dois tipos de carepa foram analisadas e classificadas quanto a sua intensidade: carepa de temperatura (CT) e carepa em faixa (CF). A intensidade da carepa pode variar de 1 a 5 (muito leve a muito grave), que significa quão defeituosa está a amostra.

As amostras foram preparadas metalograficamente, atacadas e a espessura da carepa formada (faces A e B da tira) foram avaliadas com um microscópio eletrônico de varredura (MEV), Leica S440i.

A composição das camadas de óxido presentes na carepa foi avaliada no laboratório de caracterização da CVRD, utilizando um espectrômetro Mössbauer miniatura MIMOS II^[5] (*Miniaturized Mössbauer Spectrometer II*), o qual realiza experimentos em geometria de retroespalhamento, usando fonte de ⁵⁷Co/Rh de 100mCi de intensidade inicial. Os espectros obtidos foram analisados utilizando um programa de ajuste de mínimos quadrados para a obtenção dos parâmetros Mössbauer (δ , Δ , B_{hf}) e das áreas espectrais de cada sítio ferroso.¹

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Intensidade da Carepa

Na indústria, por motivos práticos, o julgamento da qualidade da superfície das tiras considera a intensidade do defeito – neste caso a carepa – para efeito de aprovação do produto. Aplicações com exigência de qualidade restrita, aceita no máximo intensidade 1. Em casos de aplicações gerais, aceita-se intensidade 2, podendo em alguns poucos casos e em negociação com o cliente, liberar intensidade até 3.

A Tabela 4 apresenta os defeitos avaliados nas amostras A1 a A8, suas intensidades, tanto na face A quanto na face B, e as espessuras de carepa.

¹ A magnetita possui dois sítios ferrosos enquanto a hematita apenas um.

Tabela 4 - Intensidade de defeitos de carepa observados nas tiras e as espessuras de carepa.

Amostra	ISC 1 e 2 %	Espessura do Esboço (mm)	Óleo de Laminação	Face da Tira	Resultado da Inspeção visual		Espessura de carepa (μm)
A1	12	28	+30%	A	-	-	3,819
				B	CF	2	3,915
A2	20			A	-	-	8,212
		B		CF	1	6,493	
A3	12	32		A	CF	2	4,297
				B	CF	2	4,583
A4	20			A	CF	1	4,870
		B		CF	2	5,061	
A5	12	28	-30%	A	CF	1	7,161
				B	CT	2	8,307
A6	20			A	CF	1	5,729
		B		CT	3	6,780	
A7	12	32		A	-	-	4,679
				B	CT	2	4,488
A8	20			A	CF	1	4,201
		B		CT	2	6,016	

CF = carepa em faixa; CT = carepa de temperatura

Utilizando a ferramenta de análise fatorial avaliou-se a correlação dos parâmetros de processamento termomecânicos escolhidos – através de sua variação (Tabela 5) – com a intensidade de carepa obtida por inspeção visual, tanto na face A quanto na face B das tiras.

Tabela 5 - Parâmetros e níveis do experimento: intensidade da carepa, faces A e B da tira

Símbolo	Parâmetro	Níveis	
		(-)	(+)
Esp	Espessura	28mm	32mm
ISC	ISC	12%	20%
Óleo	Óleo	-30%	+30%

A Figura 1 mostra o resultado da análise fatorial sobre a intensidade de carepa.

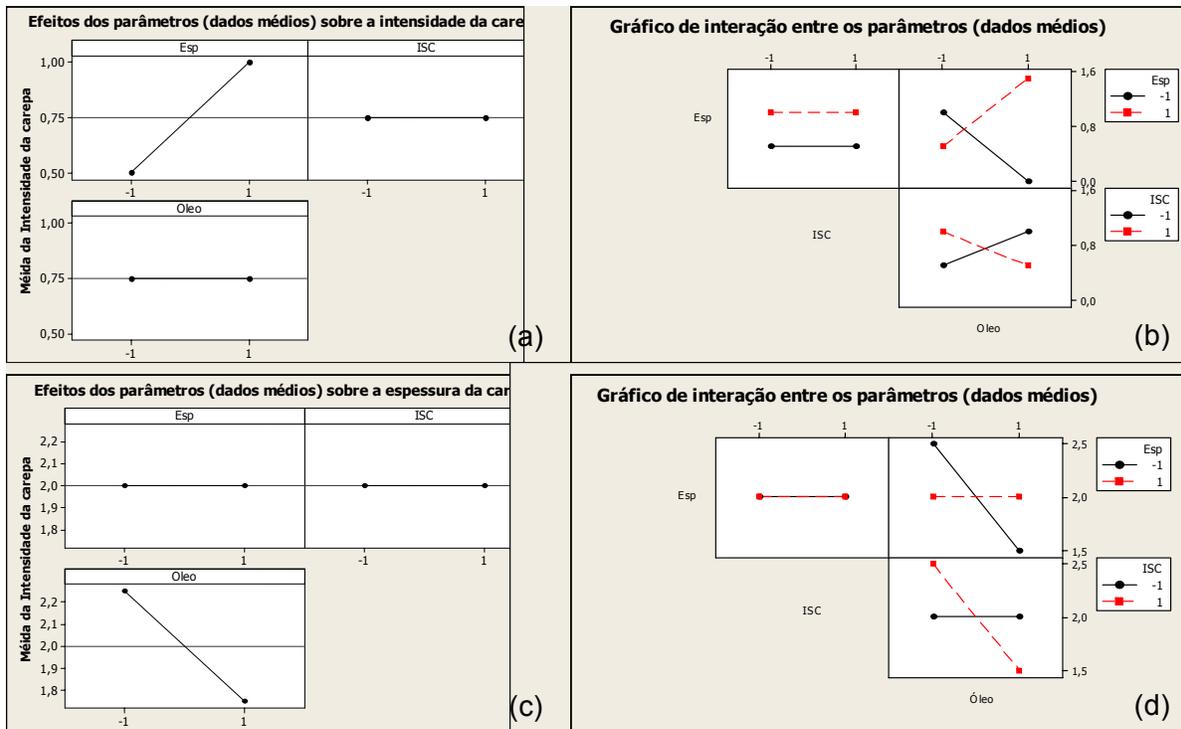


Figura 1 - (a) Efeitos dos parâmetros sobre a intensidade da carepa na face A da tira; (b) Efeitos das interações entre os parâmetros sobre a intensidade da carepa na face A; (c) Efeitos dos parâmetros sobre a intensidade da carepa na face B da tira; (d) Efeitos das interações entre os parâmetros sobre a intensidade da carepa na face B.

A Figura 1(a) mostra que o parâmetro espessura do esboço tem um forte efeito sobre a intensidade da carepa na face A da tira. Observa-se que a intensidade da carepa é menor, em média, com a espessura esboço de 28mm. Os demais parâmetros não têm, em média, um efeito forte sobre a intensidade da carepa. A figura 1(b) mostra que existe um forte efeito de interação entre os parâmetros espessura do esboço/Óleo e ISC/Óleo, em média, sobre a intensidade da carepa na face A da tira. Observa-se que a intensidade da carepa é menor, em média, com a espessura do esboço de 28mm / Óleo com +30%, e ISC de 20% / Óleo com +30%. Analisando os resultados das Figuras 1(a) e 1(b), observa-se que, em média, a intensidade da carepa na face A da tira é menor para os parâmetros: espessura do esboço de 28mm, ISC de 20% e Óleo com +30%.

A Figura 1(c) mostra que o parâmetro Óleo tem um forte efeito sobre a intensidade da carepa no lado B da tira. Observa-se que a intensidade da carepa é menor, em média, com Óleo em +30%. Os demais parâmetros não têm em média um efeito forte sobre a intensidade da carepa. A Figura 1(d) mostra que existe um forte efeito de interação entre os parâmetros espessura do esboço/Óleo e ISC/Óleo, em média, sobre a intensidade da carepa na face B da tira. Observa-se que a intensidade da carepa é menor, em média, com a espessura do esboço de 28mm / Óleo com +30%, e ISC de 20% / Óleo com +30%. Analisando os resultados das Figuras 1(c) e 1(d), observa-se que, em média, a intensidade da carepa na face B da tira é menor para os parâmetros: espessura do esboço de 28mm, ISC de 20% e Óleo com +30%.

Segundo PRADO *et al.*^[2] e FAGUNDES *et al.*^[4] quanto menor a espessura do esboço, menores serão tanto a sua temperatura superficial quanto a diferença entre o núcleo e sua superfície. Com isso, de acordo com XAVIER *et al.*^[1] a diminuição de temperatura, diminui a cinética de oxidação, reduzindo a possibilidade de fratura da camada de óxido durante o processamento e também a impressão deste óxido no metal base. Logo, como a intensidade da carepa é obtida da observação da quantidade de óxido aderido à superfície da tira, quanto menor a espessura do esboço, menos óxido será verificado e melhor será a qualidade de superfície do laminado a quente.

Ao longo do processamento termomecânico do aço no trem acabador, muitos sistemas de água estão presentes. Segundo vários autores,^[3,6,7] as vazões de água utilizadas devem obedecer a uma faixa, não devendo ser muito baixas, senão há crescimento excessivo de carepa e nem altas, pois o super resfriamento da camada de óxido causa fratura indesejável e prejudica a qualidade. Nesta experiência, um valor maior de vazão de água, representada por um percentual de 20% de abertura da vazão total dos chuveiros de resfriamento da tira entre cadeiras (F1/F2 e F2/F3) mostrou que a intensidade da carepa na tira diminui. Esta afirmação pode ser explicada pelo fato de que a quantidade de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematita, componente mais duro) aumenta muito rapidamente acima de 930°C e 950°C, segundo MASCLA *et al.*^[3] e BLAZEVIC,^[8] respectivamente, afetando a qualidade da superfície do aço.

Na literatura, os estudos sobre a utilização de óleo^[7,8] citam que o óleo age como lubrificante, diminui o coeficiente de atrito entre a carepa e os cilindros, melhorando a deformação da carepa e da do metal base e evitando a ocorrência do defeito, pela manutenção da integridade do conjunto. O resultado obtido confirma o que traz a literatura. Não há na literatura estudada qualquer referência direta à correlação de parâmetros de processamento com a intensidade da carepa observada em tiras laminadas a quente como resultado de experiências feitas na indústria.

3.2. Espessura da Carepa

Utilizando novamente análise fatorial, é possível avaliar a correlação dos parâmetros de processamento termomecânicos escolhidos com a espessura da carepa (Tabela 4) medida através do MEV (Figura 2), tanto na face A quanto na face B das tiras, cujos resultados são mostrados na Figura 3.

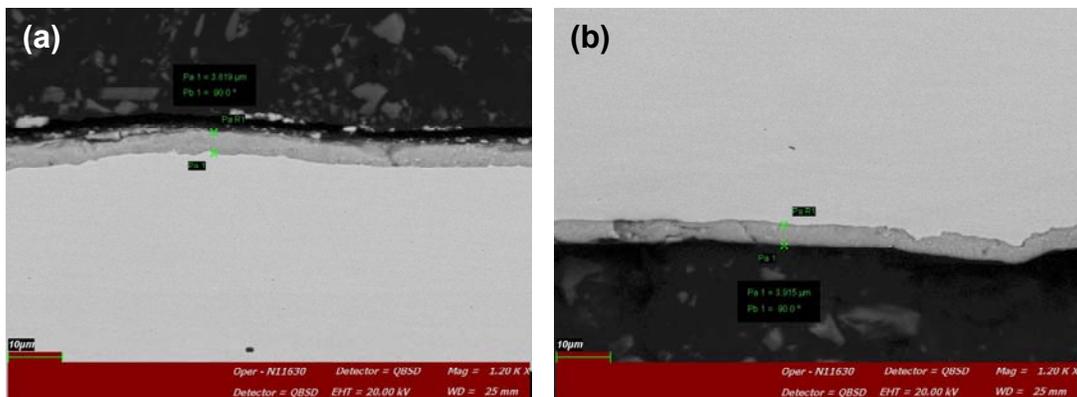


Figura 2 - Micrografias da seção reta das amostras utilizando MEV. (a) Amostra A1, centro (C) da tira em relação a sua largura, face A (superior); (b) A1, C, face B (inferior).

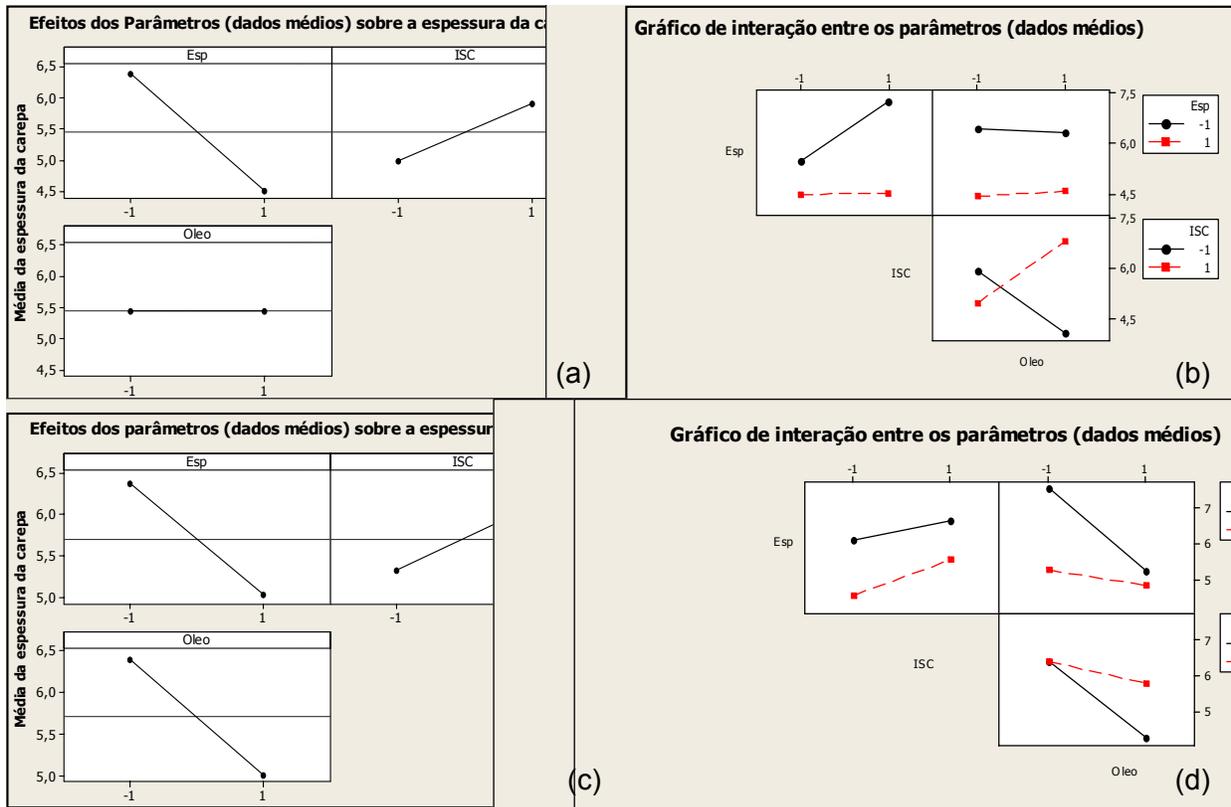


Figura 3 - (a) Efeitos dos parâmetros sobre a espessura da carepa na face A da tira; (b) Efeitos das interações entre os parâmetros sobre a espessura da carepa na face A; (c) Efeitos dos parâmetros sobre a espessura da carepa na face B da tira; (d) Efeitos das interações entre os parâmetros sobre a espessura da carepa na face B.

A Figura 3(a) mostra que os parâmetros espessura do esboço e ISC afetam a espessura da carepa na face A da tira, sendo que a espessura do esboço é o parâmetro de maior efeito, devido à maior inclinação da reta. Observa-se que a espessura da carepa é menor, em média, com a espessura esboço de 32mm e ISC de 12%. O óleo de laminação não tem um efeito forte sobre a espessura da carepa. A Figura 3(b) mostra que existe um forte efeito de interação entre os parâmetros ISC e Óleo, em média, sobre a espessura da carepa na face A da tira. Observa-se que a espessura da carepa é menor, em média, com a ISC de 12% e Óleo com +30%. Analisando os resultados das Figuras 3(a) e 3(b), observa-se que, em média, a espessura da carepa na face A da tira é menor para os parâmetros: espessura do esboço de 32mm, ISC de 12% e Óleo com +30%.

A Figura 3(c) mostra que os parâmetros espessura do esboço, ISC e Óleo afetam a espessura da carepa na face B da tira. Observa-se que a espessura da carepa é menor, em média, com a espessura esboço de 32mm, ISC de 12% e Óleo em +30%. A Figura 3(d) mostra que existe um forte efeito de interação entre os parâmetros ISC e Óleo em média sobre a espessura da carepa na face B da tira. Observa-se que a espessura da carepa é menor, em média, com ISC de 12% e Óleo com +30%. Analisando os resultados das Figuras 3(c) e 3(d), observa-se que, em média, a espessura da carepa na face B da tira é menor para os parâmetros: espessura do esboço de 32mm, ISC de 12% e Óleo com +30%.

Segundo BOLT *et al.*^[7] os fatores que afetam a espessura da carepa terciária, através do fator tempo, são: espessura do esboço, velocidade de laminação, redução por passe e layout do laminador.

Como para obter menores espessuras de carepa o resultado mostra que a espessura do esboço deve ser de 32mm, diferentemente do exposto na discussão sobre intensidade da carepa onde o melhor seria 28mm, e, dos fatores apresentados por BOLT *et al.*, não foram contemplados nesta experiência a avaliação da velocidade de laminação e a redução por passe, a variação correspondente dos mesmos dentro do modelo matemático do trem acabador, em função da espessura de esboço prevista, pode justificar o resultado ora em discussão. Este mesmo raciocínio se aplica a água de resfriamento do esboço entre cadeiras.

Segundo BOLT *et al.*^[7] a carepa por si só age como lubrificante. Além disso, lubrificantes adicionais, como o óleo de laminação, têm seu efeito diminuído com o aumento da espessura da carepa. O que podemos observar como resultado é que quanto maior a quantidade de óleo aplicada menor a espessura da carepa, mantendo seu efeito e importância sobre a qualidade da superfície das tiras laminadas a quente.

3.3 Composição da Carepa

A composição da carepa presente nas tiras é apresentada na tabela 6 em termos de área espectral para os sítios de ferro detectados. A profundidade de análise por espectroscopia Mössbauer de retroespalhamento utilizando o MIMOS II^[5] atinge a base da carepa, ou seja, analisa o aço. Com isso, perde-se informação detalhada sobre a camada mais superficial da carepa. Esta profundidade é de poucas centenas de micrômetros, para a radiação de 14,4 keV que foi a utilizada neste trabalho.

Os valores apresentados na Tabela 7 representam os parâmetros Mössbauer utilizados no experimento, cujo espectro pode ser observado na Figura 4.

Tabela 6 - Resultados Mössbauer obtidos do ajuste de mínimos quadrados para sítios lorentzianos das amostras medidas pelo MIMOS II^[5].

Amostra	ISC 1 e 2 %	Espessura do Esboço (mm)	Óleo de Laminação	Face da Tira	α Fe (% área)	Sítio A (% área)	Sítio B (% área)	Wustita (% área)
A1	12	28	+30%	A	64	23	13	0
				B	65	21	14	0
A2	20			A	67	21	12	0
		B		63	23	13	1	
A3	12	32		A	64	22	14	0
				B	62	22	13	3
A4	20			A	61	25	14	0
		B		62	25	13	0	
A5	12	28	-30%	A	64	23	13	0
				B	64	21	15	0
A6	20			A	61	24	14	1
		B		60	23	14	3	
A7	12	32		A	65	21	14	0
				B	66	21	13	0
A8	20			A	64	22	14	0
		B		63	23	13	1	

Tabela 7 - Parâmetros Mössbauer ajustados pelo método de mínimos quadrados para as medidas realizadas à temperatura do ambiente (298K)

* deslocamento isomérico em relação ao α -Fe. / Erros para δ^2 , Δ^3 e $\Gamma^4 = 0,02$ mm/s; para $B_{hf}^5 = 1$ T

** A literatura^[9] reporta a presença de um singlete para a wüstita, além do dubleto aqui presente. Considerando a concentração desta fase nas amostras, não se pode detectá-la.

² deslocamento isomérico

³ desdobramento quadrupolar

⁴ largura de linha na altura média

⁵ campo magnético hiperfino

Sítio	δ^* (mm/s)	Δ (mm/s)	Γ (mm/s)	B_{hf} (T)
A (Magnetita)	0,67	0,08	0,27	46
B (Magnetita)	0,40	-0,03	0,27	49
α -Fe	0,00	0	0,34	33
$Fe_{1-x}O^{**}$	0,94	0,74	0,53	0

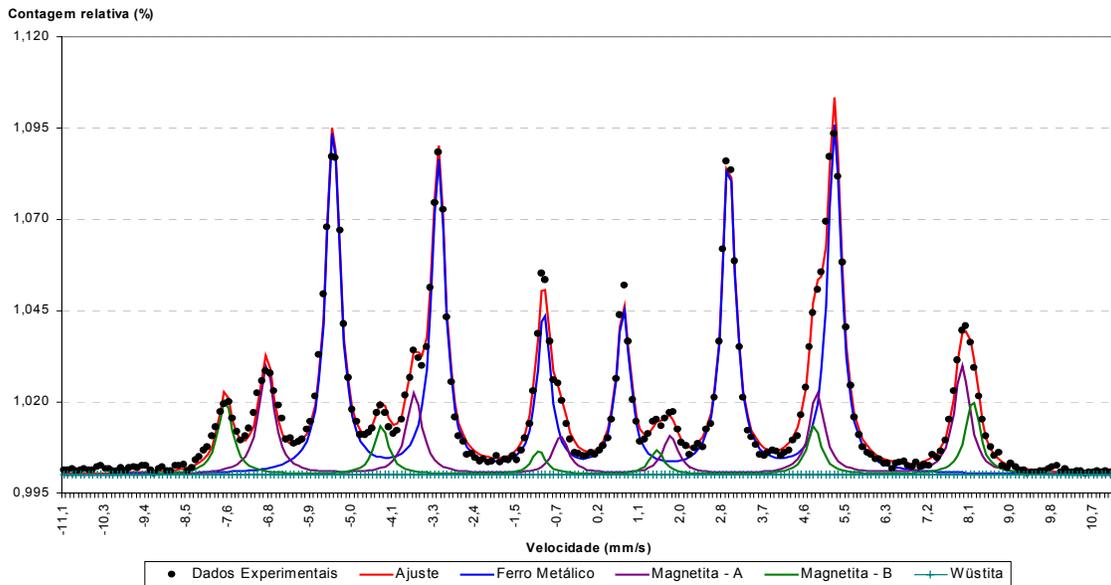


Figura 4 - Espectro Mössbauer obtido pelo MIMOS II^[5] ajustado pelo método de mínimos quadrados (amostra A2, face superior da tira)

4 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser enumeradas dos resultados experimentais:

1. Quanto menor a espessura do esboço (28mm) melhor a qualidade de superfície do produto, tendo em vista que menos óxido foi observado na superfície do laminado a quente, representada por menor intensidade da carepa.
2. Para um valor maior de vazão de água aplicada à superfície da tira (20% = 67m³/h), constatou-se que a intensidade da carepa diminuiu.
3. Quanto maior o volume de óleo de laminação aplicado (+30%: F2 = 230 mL/min, F3 = 220mL/min e F4 = 180mL/min), melhor a qualidade da superfície da tira fina laminada a quente e menor a espessura da carepa formada.
4. A carepa formada na face inferior da tira apresentou-se, em geral, menos íntegra, quando comparada à camada de óxido presente na face superior, ou seja, com mais irregularidades – trincas e poros.

5. Observou-se na carepa formada na face inferior do laminado a quente maior concentração de wüstita.
6. A principal fase da carepa identificada neste estudo foi a magnetita, sendo esta estequiométrica, ou seja, sem substituições isomórficas. Por esta razão, é provável que a sua formação deva ser controlada apenas por parâmetros de processamento termomecânicos.

Agradecimentos

Agradecimentos: a CST e a REDEMAT/UFOP pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- 1 XAVIER, R. R. *et al.*, **Caracterização e Diagnóstico do Defeito Carepa em Tiras de Aço Laminadas a Quente**, XXXIX Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, p. 59-68, ABM, Ouro Preto, 2002.
- 2 PRADO, A. C. *et al.*, **Melhoria da Qualidade Superficial da Bobina Laminada a Quente da CSN**, XXXIV Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, p.391-402, ABM, Belo Horizonte, 1997.
- 3 MASCLA, J. C. *et al.*, **Reduction of Work Roll Wear by Controlling Tertiary Scale Growth**, Siderar Hot Strip Mill, Iron and Steel Engineer, p. 48-51, San Nicolas, Argentina, Junho de 1998.
- 4 FAGUNDES JR., J. *et al.*, **Surface Quality Improvement in CST's Hot Strip Mill**, In: AISTech 2005, Charlotte, North Carolina, USA, May 9-12, Association for Iron and Steel Technology (AIST), AISTech 2005 Proceedings, 2005.
- 5 G. Klingelhöfer *et al.*, **Athena MIMOS II Mössbauer spectrometer investigation**, Journal of Geophysical Research, Vol. 108, No. E12, 8067, doi:10.1029/2003JE002138, 2003.
- 6 BEYNON, J. H. e KRZYZANOWSKI, M., **Measurement of Oxide Properties for Numerical Evaluation of Their Failure Under Hot Rolling Conditions**, Journal of Materials Processing Technology, p. 398-404, 2002.
- 7 BOLT, P. H. *et al.*, **Investigation of the Formation, Constitution and Properties of Scale Formed During the Finishing Rolling, Cooling and Coiling of Thin Hot Strips**, ECSC Steel RTD Project 7210.PR/153, Technical Report, p. 1-21, 2000.
- 8 BLAZEVIC, D. T., **Hot Strip Mill Operations: Roll Wear, Broken Rolls and Roll Life**, Vol. III, Cap. II, pp. 3-4, Cap. VI, pp. 1-40 e Cap. VII, p. 1-13, San Lakes, Arizona, USA, 2002.
- 9 SOUZA Jr., P. A., **Extraterrestrial and Terrestrial Outdoor Applications of the Mössbauer Spectroscopy**, Tese de Doutorado, Johannes Gutenberg Universität - Mainz, 2004.