

## **ANÁLISE DA OXIDAÇÃO EM ALTAS TEMPERATURAS DE BOBINAS DE AÇO BAIXO CARBONO CONFORMADAS EM LAMINADOR STECKEL**

Pedro Henrique Bethônico Pinto Guimarães<sup>1</sup>, Carlos Roberto Ferreira<sup>2</sup>

1- Pedro Henrique Bethônico Pinto Guimarães, Bolsista FAPEMIG, Engenheiro metalurgista IFMG Campus Ouro Branco, Ouro Branco - MG;

2 - Orientador: Professor e Pesquisador do IFMG, Campus Ouro Branco, Ouro Branco - MG; carlos.ferreira@ifmg.edu.br

### **RESUMO**

As bobinas de aço baixo carbono apresentam grande aplicação industrial devido as suas características. Como exemplos são citados o baixo custo de produção, a boa estampabilidade, a boa soldabilidade, a qualidade superficial e propriedades mecânicas adequadas à diversas especificações técnicas. Uma rota de produção de bobinas de aço com baixo teor de carbono pouco comum e pouco estudada é através do uso dos Laminadores Steckel. O uso deste tipo de equipamento, se comparado a outros sistemas de laminação, apresenta vantagens e desvantagens. Uma desvantagem a ser citada se refere à maior espessura de carepa, película de óxido de ferro, formada sobre a superfícies da chapa metálica devido ao maior tempo de exposição do material, metálico, ao ar entre a etapa de aplicação dos esforços mecânicos para conformação. O presente trabalho teve por objetivo estudar as características dos óxidos formados em altas temperaturas ao longo do comprimento de uma chapa de aço baixo carbono conformadas em Laminador Steckel. Foram amostradas chapas de aço retiradas de 02 bobinas produzidas em diferentes espessuras, sendo elas 2 e 4,75 mm. As amostras foram posteriormente envolvidas com papel alumínio e, em seguida, ao longo da espessura das amostras fez-se o adequado de desbaste por lixamento, polimento. A análise da espessura da carepa, formada, foi realizada por técnica de microscopia ótica com auxílio do Software Clemex Vision 7.0. Os resultados demonstraram que, devido ao maior tempo de exposição ao ar atmosférico, a espessura da carepa, formado sobre o material laminado, após o resfriamento tende a ser mais espessa nas regiões próximas a extremidade interna da bobina. Ainda, os resultados demonstraram que a espessura da carepa, formada, varia bastante ao longo do comprimento da bobina Também os resultados demonstraram que a bobina de 4,75 mm apresenta carepa em média 32 % mais espessa que a carepa encontrada na bobina com 2 mm de espessura. Tal característica acontece devido a deformação simultânea da bobina e da carepa e, portanto, a redução da espessura da carepa tende a ser proporcional a espessura final da bobina

Palavras-Chave: oxidação; carepa; aço baixo carbono; Laminador Steckel

## INTRODUÇÃO:

Bobinas de aço baixo carbono devido as suas propriedades mecânicas e características superficiais apresenta grande versatilidade de aplicações industriais e tornou-se um dos produtos mais tradicionais da indústria siderúrgica. Entre os requisitos gerais deste produto destacam-se a elevada trabalhabilidade, a boa soldabilidade, baixo custo e a superfície livre de defeitos requisito primordial para quando se deseja obter produtos, metálicos, que necessitam acabamento superficial de elevada qualidade “estética”, a exemplo de embalagens de alimentos e bebidas, peças expostas na carroceria de automóveis,

O processo de conformação por laminação é sem dúvida o processamento, mais tradicional, para obtenção de bobinas metálicas e as operações para de conformação são tradicionalmente feitas em laminadores de cadeira contínua mas, apesar das bobinas de aço produzidas em Laminador Steckel, quando comparadas àquelas bobinas produzidas em laminadores contínuos, apresentarem maior heterogeneidade quanto às características e propriedades, nos últimos anos, tem-se notado o crescimento da importância do Laminador Steckel na produção mundial de aço<sup>1</sup>.

A laminação é um processo complexo e pouco se sabe sobre o processo de oxidação em bobinas de aço baixo carbono produzidas em Laminadores Steckel, portanto, este trabalho tenta suprir uma lacuna na literatura técnica referente.

A oxidação em altas temperaturas é um dos grandes problemas envolvendo os aços com baixo conteúdo de carbono, especialmente aqueles destinados a posterior processo de estampagem pois a carepa, oriunda da oxidação, gera uma série de defeitos, como exemplo a carepa encrustada, que além do prejuízo estético aos produtos poderá gerar prejuízos financeiros as empresas em decorrência da redução de produtividade devido a maior dificuldade na remoção dos óxidos <sup>2</sup>

Os Laminadores Steckel foram desenvolvidos para a laminação de placas oriundas de um processo de lingotamento contínuo e o início do processo se realizada a temperaturas entre 1150 a 1250°C para aços ao carbono. Em algumas unidade industriais, conhecidos como Mini Mills, é comum que as placas entrem no laminador oriundas diretamente do lingotamento contínuo, sem que haja um resfriamento total do material, no entanto, o mais comum é que exista na planta a presença de um forno de reaquecimento de placas, responsável por elevar a temperatura das placas até a temperatura de início de laminação. A Figura 1 mostra o layout de um Processo Steckel para laminação.<sup>3</sup>

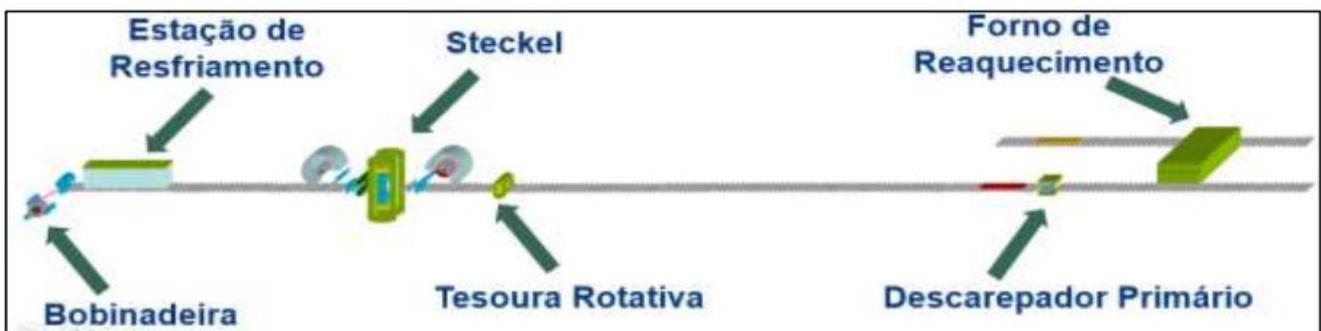


Figura 1 - Layout de um Laminador Steckel.

O presente trabalho teve por objetivo estudar as características dos óxidos formados em altas temperaturas ao longo de comprimento de bobinas de aço baixo carbono conformadas em Laminador Steckel.

O equipamento de laminação Steckel ilustrado na Figura 2 é composto por dois cilindros de encosto e dois cilindros de trabalho reversíveis que são trocados periodicamente para retificação. Também estão anexadas a cadeira Steckel dois fornos acoplados com bobinadeiras e os jatos de água, em alta pressão, para descarepação.

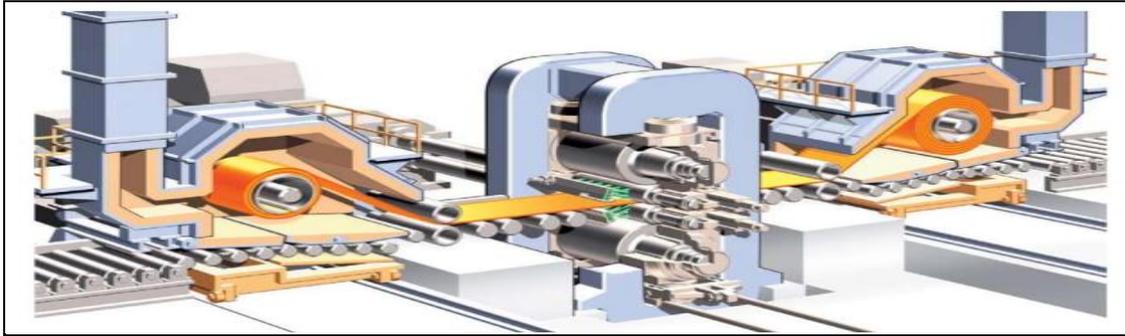


Figura 2 – Imagem ilustrativa de uma Laminador Steckel.<sup>1</sup>

### METODOLOGIA:

Neste trabalho estudou-se os aços baixo carbono especificados pela classe ASTM A1011SS36T2 cuja composição química está especificada na Tabela 1 e as espessuras, das chapas retiradas das bobinas, amostradas para análise de carepa foram de 2 e 4,75 mm pois, essas, representam parte significativa da produção do aço em estudo.<sup>4</sup>

Tabela 1 - Composição do aço especificado na norma ASTM A1011SS36T2<sup>4</sup>

% Máximo										
C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Ti
0,25	1,35	0,035	0,04	0,2	0,2	0,15	0,06	0,008	0,008	0,025

Por possuírem grande dimensão a amostragem em treplicas, das chapas, foi feita com auxílio do laminador acabador, instalado junto ao Laminador Steckel e apresentado na Figura 3, dotado de uma guilhotina com capacidade de corte adequada às bobinas de aço.



Figura 3- Laminador Acabador utilizado na amostragem.

A Figura 4 ilustra, esquematicamente, a posição de retirada das amostras ao longo do comprimento das bobinas. As amostras tinham como dimensão; comprimento de 500 mm e largura de 1200 mm tal qual a largura da tira laminada. A partir do descarte da ponta externa, saltou-se 5 m e então a primeira amostra identificada como “2 PE 1” foi retirada. A partir daí, o mesmo procedimento foi repetido até a amostra central, identificada como “2 M 6”. A partir da amostra central, “2 M 6” laminou-se até próximo a outra extremidade da bobina procedendo a amostragem a cada 5 metros até a chegada da amostra final identificada como 2 PI 10.

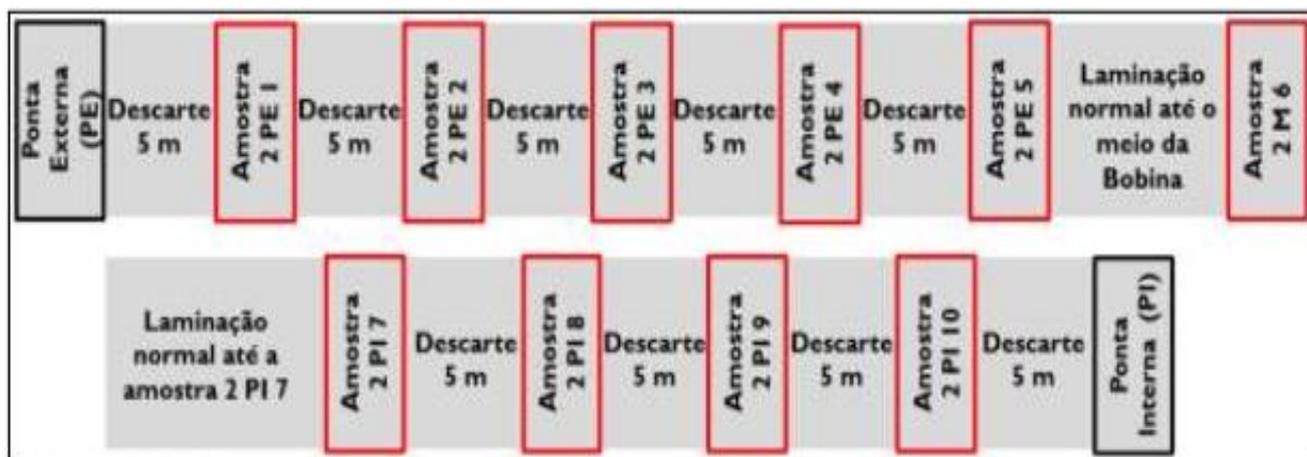


Figura 4 - Esquema representando a posição para a retirada das amostras ao longo do comprimento de uma bobina de 2 mm de espessura

Das amostras então obtidas, a 1/4 a partir das laterais, seguimentos menores foram retirados e, assim, gerando amostras de pequena dimensão. As pequenas amostras foram cortadas novamente mas, desta vez, mediante ao uso de uma cortadora metalográfica sob a presença de solução refrigerante e, assim, obteve-se amostras finais.

Em seguida, visando a preservação da carepa durante o embutimento, as amostras foram envelopadas em papel alumínio<sup>(5,6)</sup>. Com as amostras envelopadas, seguiu-se com o embutimento, a quente, em resina para preparação metalográfica.

As amostras foram desbastadas nas lixas de granulometria: 200, 400, 600, 800, 1000 e 1200 mesh respectivamente. A partir das amostras lixadas executou-se o polimento com pasta de diamante na granulometria de 1 $\mu$ m.

É importante observar que por se tratar de uma caracterização da espessura da carepa não é necessário o ataque químico. Diversos pesquisadores tentaram desenvolver ataques químicos para identificação das fases presentes na carepa (FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), no entanto a literatura diverge em diversos momentos em relação a essa questão<sup>(5, 6)</sup>.

A análise da espessura da carepa é feita em microscópio ótico, da marca Leica, com aumento de 500 x. Para adequada medição, em micrômetros, da espessura da carepa, foi necessário o auxílio do Software Clemex Vision 7.0, que forneceu os dados exportáveis em software Microsoft Excel.

O Software Clemex Vision 7.0 trabalhou com o contraste de cores entre a carepa, o metal base e o alumínio usado para a preparação. Com o software foi possível gerar uma base de dados, exportáveis, de aproximadamente 50 medições em cada campo de análise. Os dados gerados permitiram fazer uma série de inferências estatísticas sobre a espessura da carepa nas amostras.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Uma vez gerado os dados de média e de desvio padrão, esses, foram plotados em gráficos de forma a possibilitar uma comparação entre as medições realizadas em diversos pontos ao longo de todo o comprimento da bobina. Considerando os resultados para bobina de espessura de 2 mm, como ilustrado na Figura 5, foi registrada uma espessura da carepa com média de 10,72  $\mu$ m e um desvio padrão de 3,49.

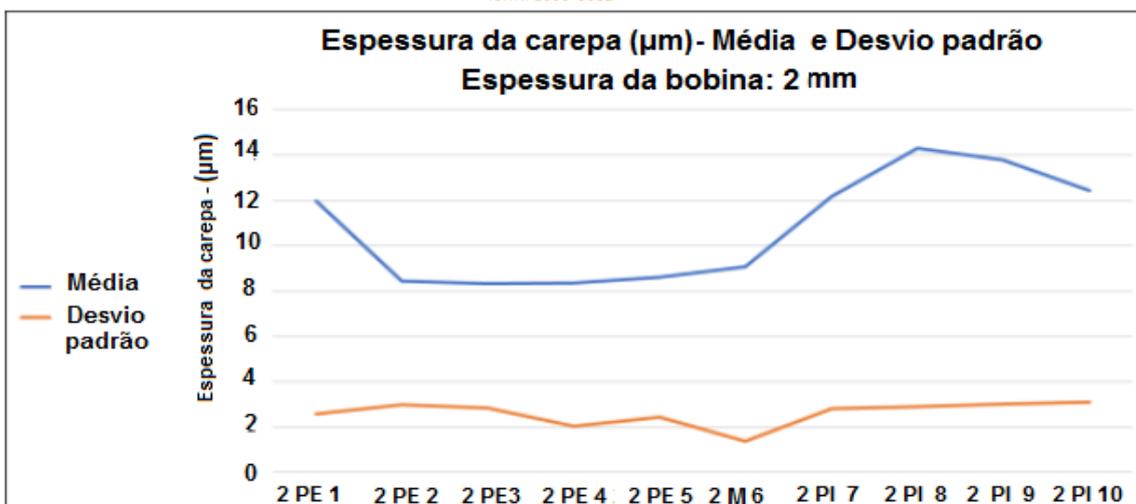


Figura 5 - Média e desvio padrão da espessura da carepa ( $\mu\text{m}$ ) das amostras na bobina com espessura de 2 mm

Avaliando a Figura 6, para a bobina de 2 mm de espessura, mais precisamente nas amostras 2 PI 7, 2 PI 8, 2 PI 9 e 2 PI 10, retiradas da parte interna da bobina, foi detectado um, sensível, aumento da espessura da carepa. Acredita-se que esta diferença se deve à carepa formada após o bobinamento pois, durante a operação as partes internas da bobina se mantêm, em relação às partes externas, a uma temperatura superior e, dessa forma, cria-se condições favoráveis a evolução do processo de oxidação.

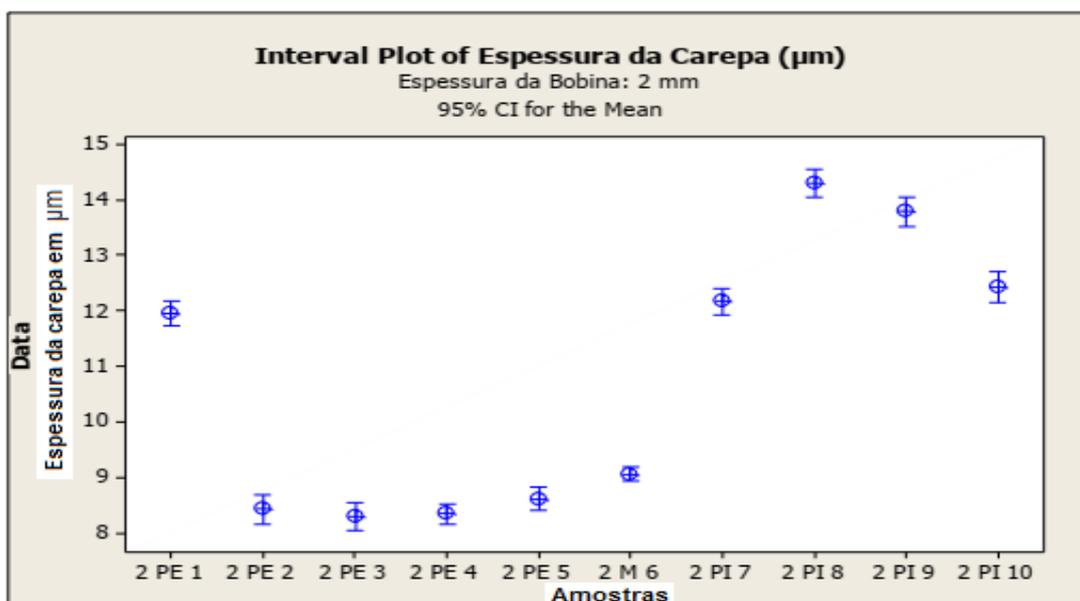


Figura 6 - Interval Plot da espessura da carepa ( $\mu\text{m}$ ) das amostras na bobina com espessura de 2 mm.

Na bobina com espessura de 4,75 mm, como mostrado na Figura 7, a média da espessura da carepa aumentou, de maneira quase constante, da extremidade externa até a extremidade interna da bobina. Não se sabe o motivo exato da diferença no padrão das médias da espessura da carepa desenvolvida na bobina com 4,75 mm se comparado à bobina de 2 mm de espessura, no entanto, acredita-se que esta diferença esteja vinculada a maior espessura e a transferência de calor desenvolvida no material após o bobinamento.

Tal diferença, observada, pode estar associada a tensão de bobinamento, que na bitola de 4,75 mm é inferior àquela aplicada na bobina de 2 mm de espessura.

A tensão aplicada na bobina de 4,75 mm cria uma folga, maior, permitindo a passagem do oxigênio no interior da bobina. Uma característica interessante é que na bobina de 4,75 mm a média da espessura da carepa é consideravelmente maior que aquela apresentada para bobinas de 2 mm de espessura. Em relação aos valores de desvio padrão, este permaneceu relativamente estável ao longo de todo o comprimento do material bobinado.

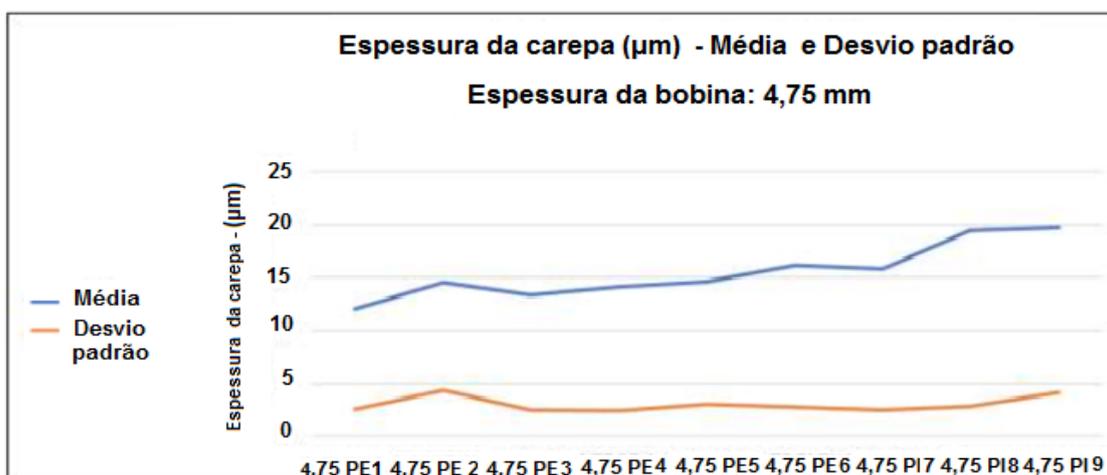


Figura 7 - Média e desvio padrão da espessura da carepa (µm) das amostras na bobina com espessura de 4,75 mm.

Com as informações citadas na Figura 8 fez-se uma comparação entre a espessura média da carepa ao longo do comprimento das bobinas amostradas. Mediante a análise percebe-se que a tendência geral é de que quanto maior a espessura da bobina maior a espessura da carepa encontrada. É possível ver ainda uma forte tendência de maior espessura da carepa na ponta interna da bobina.

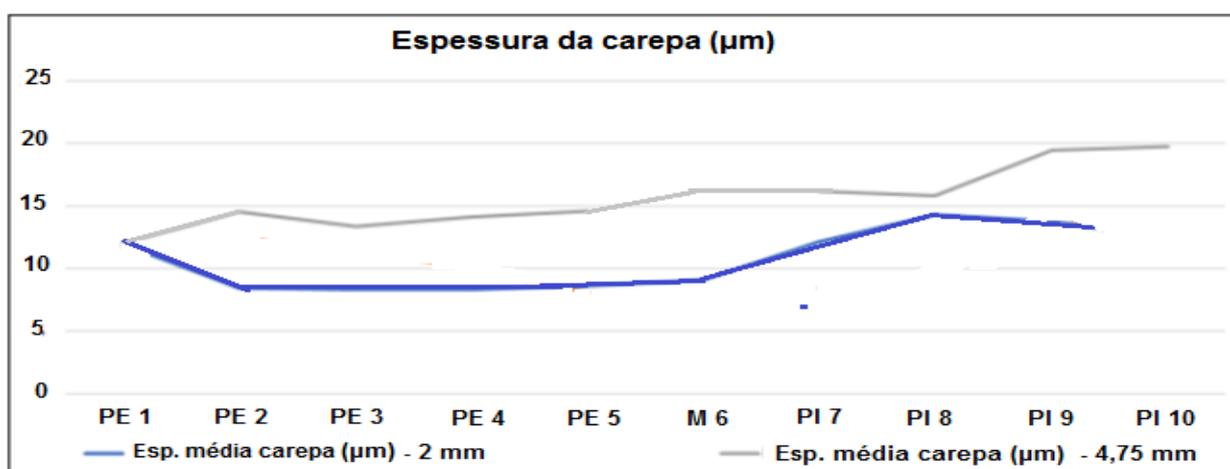


Figura 8 - Comparação da Espessura da Carepa entre as bobinas com espessura de 2, 3 e 4,75 mm

Comparando as diferentes espessuras, das chapas de aço, foi constatada que a variabilidade da espessura, da carepa, na bobina de 4,75 mm é maior, tendo está um desvio padrão de 4,044, enquanto que a bobina de 2 mm tem desvio padrão de 3,497. A variabilidade, constatada, pode ter como origem alguma instabilidade de processo ou devido a maior heterogeneidade desenvolvida nas bobinas de maior espessura.

## CONCLUSÕES:

A partir dos dados gerados, a análise da espessura da carepa formada foi possível concluir que para as chapas de aço baixo carbono laminadas no Laminador Steckel à espessura da carepa desenvolvida no material como laminado ou seja, sem nenhum tratamento par remoção da carepa após o resfriamento, tende a ser mais espessa nas regiões próximas a ponta interna da bobina. Isso acontece devido ao maior tempo de exposição, ao ar atmosférico, da ponta interna da bobina e à ineficiência na descarepação nas pontas da bobina. Tal constatação aparenta ser mais intensa ao se considerar bobinas com maiores bitolas. Na chapas de 2 mm de espessura o aumento foi de aproximadamente 3,8 % e de aproximadamente 38 % na bobina com 4,75 mm.

Os resultados demonstraram que para as bobinas cuja chapa de aço possui 4,75 mm de espessura, a carepa formada, é em média 32 % mais espessa que a carepa encontrada na bobina com 2 mm de espessura. Isso, provavelmente, acontece por que a carepa é deformada junto com a bobina, e portanto, sua espessura sofrerá deformação proporcional a deformação sofrida pela tira metálica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1 - SMS Group. **Steckel Mills** – creative solutions for the metal industry
- 2 - BERGER, Karl; FRENN, John. **EVOLUTION AND VIABILITY OF STECKEL MILLS**, Rio de Janeiro: ABM, 2016. p. 380–388.
- 3 - SUAREZ, L *et al.* **High Temperature Oxidation of Ultra-Low-Carbon Steel. *Defect and Diffusion Forum Vols 258-260***, v. 260, p. 158–163. 2006.
- 4 - ASTM A1011/A1011M. **Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, HotRolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength**, pp. 1-9, 2017.
- 5 - BIROSCA, S; WEST, G D; HIGGINSON, R L. **Microstructural investigation of the oxide scale on low carbon steel. METAL 2005**, 2005. p. 1–8.
- 6 - CHEN, R Y; YUEN, W Y D. **Examination of Oxide Scales of Hot Rolled Steel Products. *ISIJ International***, v. 45, n. 1, p. 52–59, 2005