

## Influência da temperatura de laminação na formação de carepa em aço grau 27xx

### *Temperature influence of rolling on scale formed in steel 27xx grade*

Thayene R. Ferreira<sup>1</sup>

Fernando Vernilli<sup>1</sup>

José M. Lopes<sup>1</sup>

Pedro D. Daló<sup>1</sup>

Sidiney N. Silva<sup>2</sup>

Artigo  
Original

Original  
Paper

#### Palavra-chave:

Carepa de laminação

Magnetita

Hematita

Wustita

#### Resumo:

Durante a laminação a quente uma camada de óxido (carepa) é formada sob a superfície das tiras de aço, devido à atmosfera oxidante. Suas características influenciam diretamente na produtividade, desde o processo de remoção (mecânica e/ou química) como também a geração de óxido de ferro em detrimento da produção de aço. O presente projeto visa caracterizar, identificar e quantificar as fases presentes nas amostras na superfície de tiras de aço laminadas a quente em dois diferentes ranges de temperatura de bombinamento: 610/650°C para TB e 710/750°C para TBA. As fases formadas são principalmente a Hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) e Wustita (FeO) que foram identificadas e analisadas nas diferentes temperaturas, utilizando as técnicas de DRX e MEV, evidenciando que a temperatura influencia na espessura da camada total de óxidos, bem como na proporção das fases de óxido de ferro formadas.

#### Abstract

*During the hot rolling process an oxide layer (scale) is formed on the surface of the steel strip, due to the oxidant atmosphere. Its characteristics influence the productivity, since the removal process (mechanical and / or chemical) as well as the generation of iron oxide at the expense of steel production. This paper aims to characterize, identify, and quantify the phases present in the samples on the surface of strips of hot-rolled steel in two different temperature range of coiling: 610/650 °C for TB and 710/750 °C for TBA. The phases formed are mainly Hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) and Wustite (FeO) were identified and analyzed at different temperatures, using the techniques of XRD and SEM, showing that temperature influences the thickness of total layer, of oxides, as well the proportion of phases of iron oxide formed.*

#### Keywords:

Scale of roll

Magnetite

Hematite

Wustite

<sup>1</sup> Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo

<sup>2</sup> Companhia Siderúrgica Nacional.

## 1. Introdução

O aço até chegar à sua forma e propriedades finais passa por vários processos, desde a redução do minério de ferro até a etapa de revestimento.

Na CSN o produto final são as bobinas de aço. O aço da CSN é destinado, em grande parte, às indústrias de embalagens e de automóveis. Nessas aplicações, o aço necessita de propriedades especiais que são conferidas ao longo dos diversos processos de transformação: refino primário, refino secundário, lingotamento contínuo, laminação a quente, decapagem, laminação a frio e revestimento.

As placas de aço após o lingotamento contínuo passam por um Forno de Reaquecimento para atingirem a temperatura de laminação, ao redor de 1.200°C. Devido à natureza oxidante da atmosfera, forma-se uma camada de óxido na superfície das placas, ilustrado na Figura 1. Essa camada de óxido é vulgarmente conhecida na indústria como “carepa de laminação”. (Ginzburg 1989)



Figura 1. Placa de aço na saída do forno de reaquecimento a 1200 °C.

A carepa desenvolvida nestas temperaturas compreende uma camada extremamente fina de Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) na região exterior, uma camada fina de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) intermediária, e uma camada espessa de Wustita ( $\text{FeO}$ ) junto ao metal. Esta proporção das fases de óxido reflete o fato de que o coeficiente de difusão do ferro na Wustita é muito maior do que na magnetita e que a difusão de oxigênio e ferro através da camada de Hematita é extremamente lenta (Chen e Yuen 2001)

Antes de realizar o processo de laminação a quente propriamente dito, as placas de aço sofrem um jateamento de água com

pressão de 20,59 MPa para a remoção dessa camada de óxido. Os materiais removidos (carepa de laminação, juntamente com a água), são direcionados para um poço, onde são separados por decantação.

As características da carepa influenciam diretamente na produtividade, impactando desde o processo de remoção (mecânica e/ou química) como também a geração de óxido de ferro em detrimento da produção de aço.

## 2. Procedimentos Experimentais

O aço caracterizado neste projeto foi um aço comercial baixo carbono, grau 27xx, fabricado pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). As amostras de chapas foram coletadas na saída do bombinador em dois diferentes ranges de temperatura de bombinamento: 610/650°C (TB) e 710/750°C (TBA).

Para os ensaios de caracterização, o preparo das amostras foi realizado nas chapas foram cortadas em corpos de prova numa cortadeira ISOMET nas dimensões de 10x30 mm, embutidas a frio, lixadas e polidas. As amostras foram então submetidas à difração de raios-X para verificação das fases presentes. Utilizou-se o difratômetro Panalytical, modelo Empyrean, com tubo de cobre, intervalo angular de 10 a 90°, passo angular de 0,02° e tempo por passo de 15 segundos. Por fim, a análise microestrutural das amostras foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura por elétrons retro espalhados utilizando microscópio LEO modelo 1450-V.

## 3. Resultados e Discussão

As Figuras 2 e 3 ilustram os difratogramas das amostras TB e TBA respectivamente, e pode-se observar principalmente a quantidade e intensidade dos picos de wustita, que diminuíram consideravelmente da Figura 2 para a Figura 3, e que foi confirmado por análise quantitativa de Rietveld conforme gráfico da Figura 4. Não há considerável diferença entre os picos de magnetita e hematita.

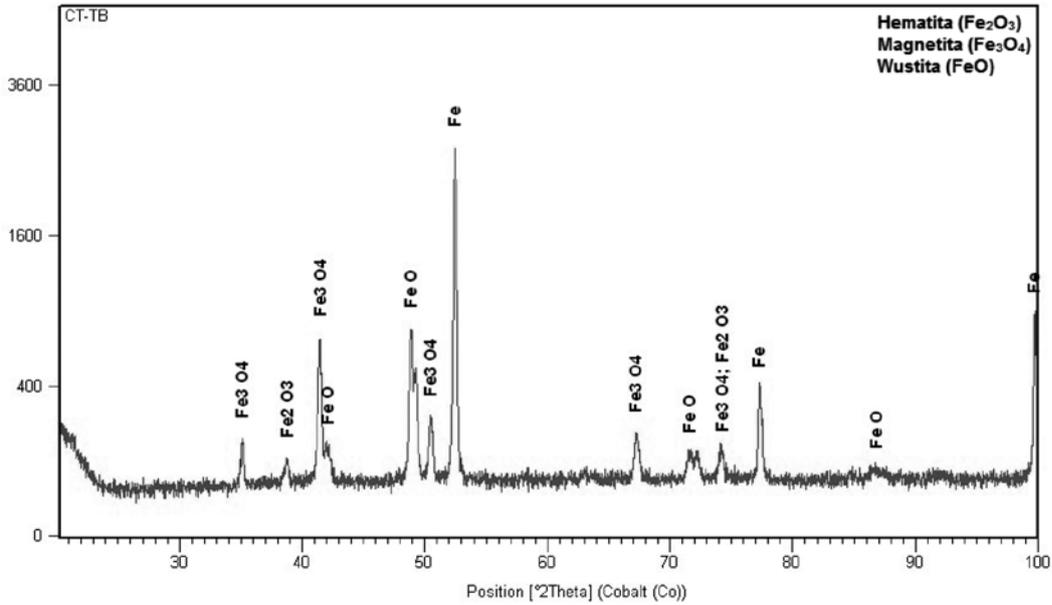


Figura 2. Difratoformas de raios X das amostras enviadas pela CSN retiradas após o bobinamento TB.

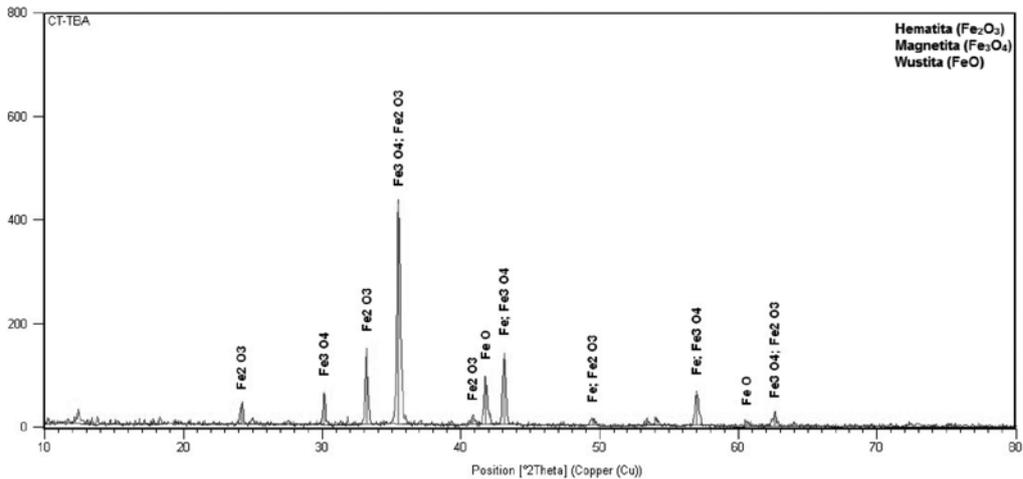


Figura 3. Difratoformas de raios X das amostras enviadas pela CSN retiradas após o bobinamento TBA.

A Figura 4 ilustra as análises quantitativas de Rietveld das amostras TB e TBA. Observa-se que a diferença de temperaturas a que foram expostas as amostras causou uma grande defasagem nas fases da carepa formada. Enquanto na amostra TB houve 94,5% de wustita formada, essa quantidade diminuiu

para 22,9% na amostra TBA, onde também formou-se 49,5% de magnetita e 27,7% de hematita, causando assim uma resistência significativamente grande à decapagem, em comparação aos 2,6% de magnetita e 2,9% de hematita formados na amostra TB.

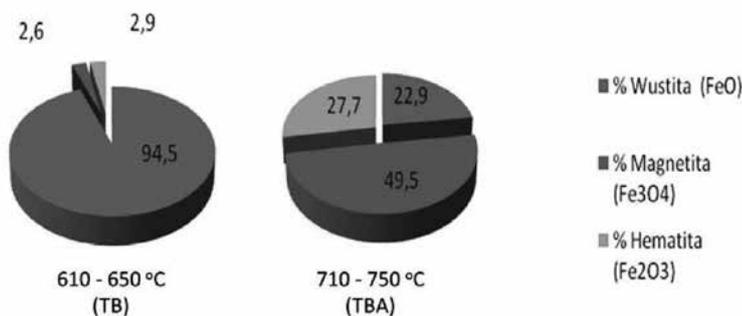


Figura 4: Gráficos com os resultados das análises quantitativas de Rietveld.

A Figura 6 ilustra a micrografia em que é verificada uma maior quantidade de Magnetita, amostra TBA, que pode ser ocasionada devido à diferença de temperatura entre os dois tipos de amostras que é de 610/650°C

para TB, e de 710/750°C para TBA. Além disso, não é observada a presença de Hematita nas micrografias. Isso pode ocorrer devido a esta camada ser fina e dura podendo ter sido retirada durante a preparação metalográfica.

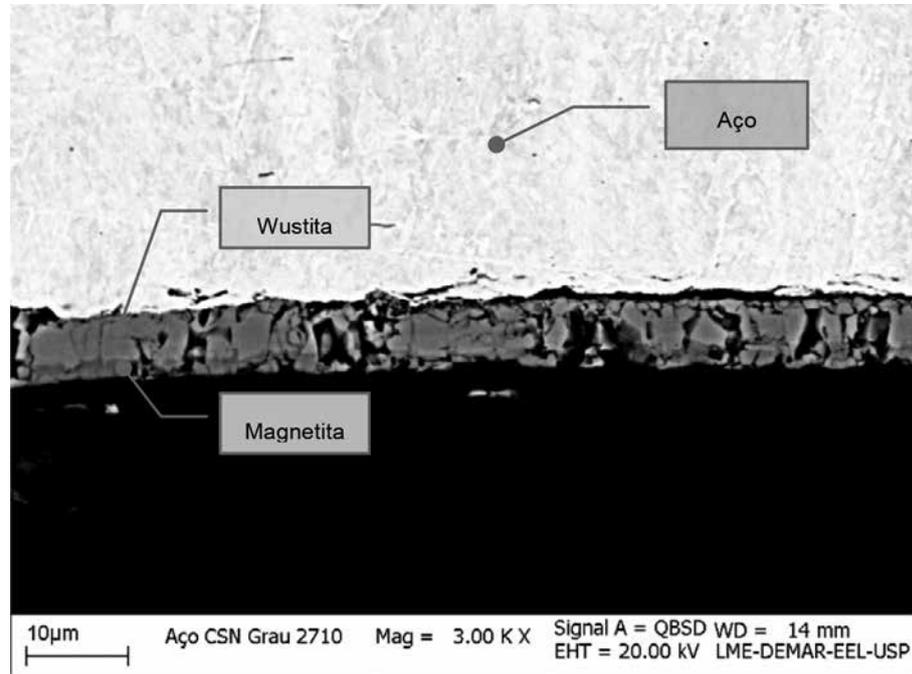


Figura 5: Micrografia da amostra de aço grau 27xx após laminação a quente com destaque para as fases formadas – TB (610/650°C).

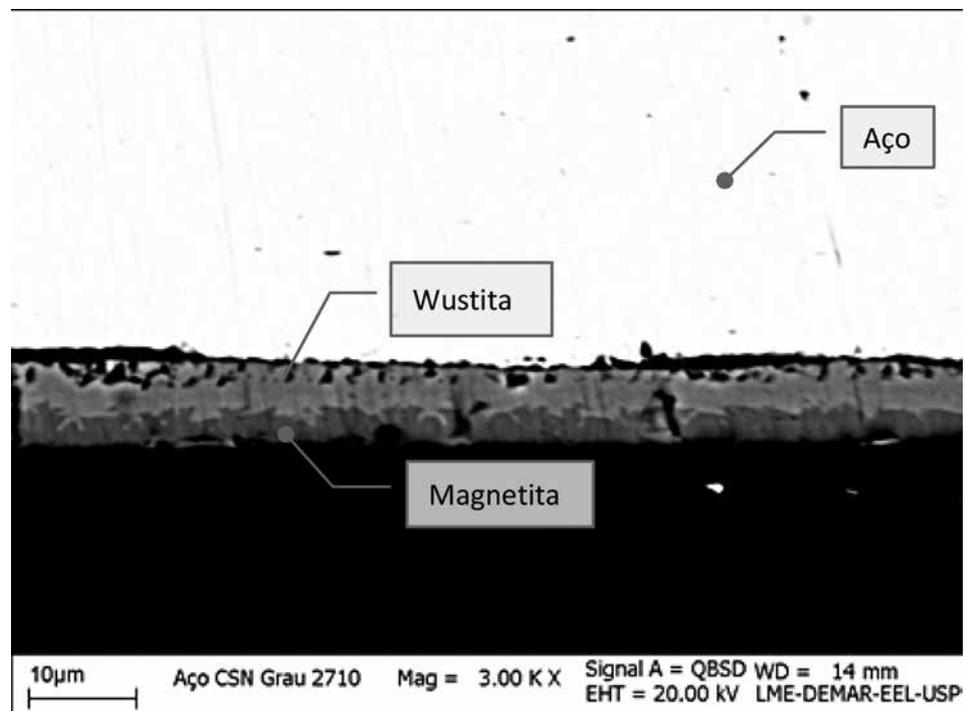


Figura 6: Micrografia da amostra de aço grau 27xx após laminação a quente com destaque para as fases formadas – TBA (710/750°C).

Enquanto que na amostra TB, figura 5, a camada de carepa tem espessura de ~6 μm, na amostra TBA essa espessura é de ~8,5 μm. Além disso, pode-se observar que a camada de magnetita na amostra TBA atinge aproxima-

madamente a metade da espessura da carepa, sendo que na amostra TB a magnetita tem uma espessura significativamente menor, não atingindo nem um terço da carepa.

Industrialmente é preferido a formação da fase Wustita em detrimento as fases Magnetita e Hematita, tendo em vista que no processo de decapagem a solubilidade da Wustita é maior do que as outras duas fases. Isto pode estar relacionado ao fato da Wustita ser um óxido com deficiência de oxigênio e assim ser mais reativa.

#### 4. Conclusões

O processo de oxidação depende da difusão de oxigênio pela camada de Wustita. Sendo a difusão, um processo termicamente ativado, uma diferença de 100°C é suficiente para que apresente uma maior formação de Magnetita e Hematita, bem como a espessura da camada de carepa formada, conforme observado no trabalho.

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que a faixa de temperatura de bombinamento favorável para que haja uma remoção mais eficiente da carepa é a TB (610/650 °C).

#### 5. Referências

- BLAZEVIC, D.T. "Rolled in scale - The consistent problem." 4th International Steel Rolling Conf., 381-402, 1987
- CASTRO, Geovane Martins. "Caracterização da carepa em aço inoxidável ferrítico ABNT 430." Tecnologia em Metalurgia e Materiais, Vol. 3, 40-44, 2006.
- CHEN, R. Y. "Review of the High Temperature Oxidation of Iron and Carbon Steels in Air or Oxygen." Oxidation of Metals, Vol. 59, 433-468, 2003.
- CHEN, R. Y., e W. Y. D. Yuen. "Oxide Scale Structure Formed on Commercial Hot Hulled Steel Strip and Their Formation Mechanisms", Oxid.Met., Vol. 56, 89-118, 2001.
- CHIAVERINE, Vicente. Aços e Ferro Fundido. Rio de Janeiro, 2006.
- CHIAVERINE, Vicente. Tecnologia de Fabricação Vol II. Rio de Janeiro: Mc Graw-Hill, 1986.
- DIETER, George E. Metalurgia Mecânica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A>, 1981.
- GENTIL, Vicente. Corrosão. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- GINES, M. J.L. "Study of the picklability of 1.8 mm hot-rolled ." Latin American Applied Research, Vol. 32, 281-288, 2002.
- GINZBURG, V. B. Steel-Rolling Technology: Theory and Practice. New York: Marcel Dekker, 1989.
- GOSWAMI, A. Indian J. Chem. 3, 1965: 385.
- JIE, Shi. "Reduction of oxide scale on hot-rolled strip steels by carbon monoxide." Materials Letters, 3500-3502, 2008.
- LECOURT, S. "Pickling." The Book of Steel, 584-595, 1996.
- SHEASBY, J. S., W. E. Boggs, e E. T. Turkdogan. Met. Sci., Vol 18, 127, 1984.
- WEST, G. D. "Phase determination and microstructure of oxide scales formed on steel at high temperature." Journal of Microscopy, 22-129, 2005.

---

#### Endereço para Correspondência:

Fernando Vernilli - [fernando.vernilli@usp.br](mailto:fernando.vernilli@usp.br)  
 Professor Doutor Mestrado em Materiais - UniFOA  
 Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 - Três Poços  
 Volta Redonda - RJ  
 CEP: 27240-560