

ESTUDO DOS MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE UM DEFEITO SUPERFICIAL EM AÇO SILÍCIO DE GRÃO ORIENTADO ⁽¹⁾

Ângelo José de Faria Fonseca ⁽²⁾

Cláudio Moreira de Alcântara ⁽³⁾

Resumo

Quando as placas de aço silício de grão orientado são aquecidas a altas temperaturas antes da laminação a quente, ocorre a formação de defeitos superficiais que aparecem em todos os estágios da produção, causando desvios de qualidade, sucata e perda de produtividade. Experiências em laboratório foram realizadas para explicar os mecanismos envolvidos na formação destes defeitos. O contato entre a escória fundida e a superfície do aço pode ser considerado como um fator básico para a formação do defeito. O mecanismo identificado como mais provável para a formação do defeito é o da oxidação interna.

Palavras-chave: Aço silício de grão orientado; Laminação a quente; Defeitos superficiais.

(1) Trabalho apresentado no 60º Congresso Anual da ABM, 25 a 28 de Julho de 2005, Belo Horizonte, MG

(2) Engenheiro Metalúrgico, Mestre em Metalurgia, Centro de Pesquisas, ACESITA

(3) Analista Técnico, Centro de Pesquisas, ACESITA

1 INTRODUÇÃO

Uma das etapas mais importantes do processamento do aço silício de grão orientado é o reaquecimento da placa antes da laminação a quente. Nesta etapa ocorre a dissolução do MnS que posteriormente será precipitado na forma de partículas finas durante a laminação a quente e que terá a função de inibição do crescimento de grão. Para que ocorra uma completa dissolução de MnS, as placas devem ser aquecidas a temperaturas em torno de 1400 °C, Nesta temperatura ocorre a fusão da carepa no forno de soleira de refratários. O contato da placa com a escória produz defeitos na superfície da placa que aparecem até no produto final, além de causar rupturas da chapa durante a laminação a frio e sucatamentos (1,2,3). O presente trabalho apresenta os estudos realizados para explicar os mecanismos de formação destes defeitos.

2 OBJETIVOS

Apresentar os estudos realizados para explicar os mecanismos de formação de um defeito do aço silício de grão orientado que ocorre durante o aquecimento da placa a altas temperaturas.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Características do Defeito

A Figura 1 mostra uma fotografia do defeito na chapa laminada a quente após recozimento e decapagem.



Figura 1. Defeito na chapa laminada a quente após decapagem.

A Figura 2 mostra uma micrografia do defeito em corte transversal.

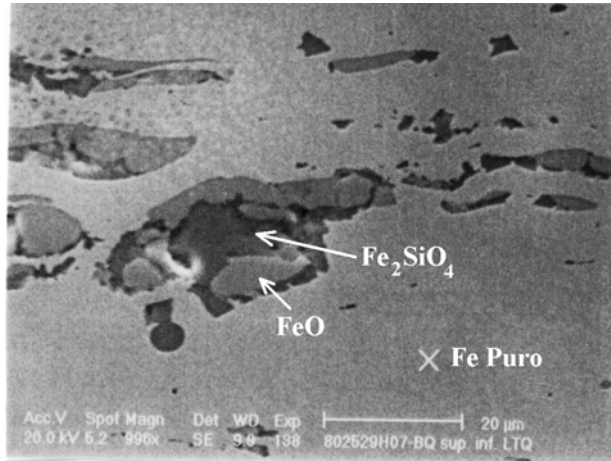


Figura 2. Micrografia em corte transversal do defeito na chapa laminada a quente.

A microanálise mostra que a matriz metálica é constituída de ferro puro e as inclusões claras de FeO (wustita) e as escuras de Fe₂SiO₄ (faialita). O defeito mostrado anteriormente pode ser associado a defeitos observados na superfície inferior e laterais das placas após forno de reaquecimento, como mostrado na Figura 3 cuja micrografia em corte transversal é mostrada na Figura 4. As inclusões observadas nesta figura são constituídas de FeO e Fe₂SiO₄ e a matriz é ferro puro como no caso anterior.



Figura 3. Defeito na placa após forno de reaquecimento da placa.

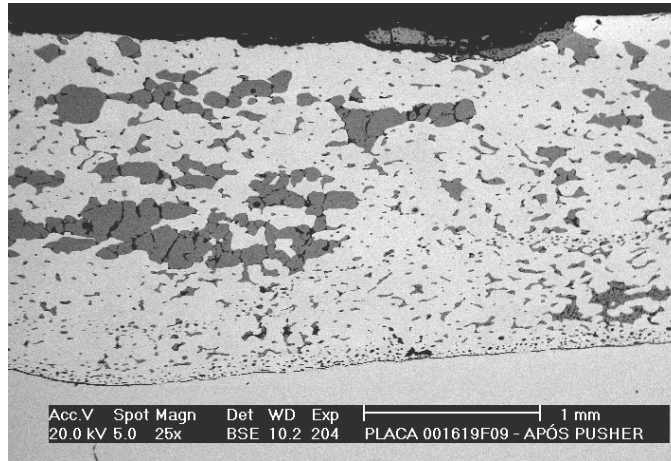


Figura 4. Micrografia em corte transversal do defeito na placa após forno de reaquecimento da placa.

3.2 Simulação do Defeito na Placa em Laboratório

3.2.1 Material utilizado

Amostras retiradas de placa de aço silício de grão orientado com dimensões de 40x40x80mm.

3.2.2 Equipamentos

Para a simulação do defeito foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Fornos de reaquecimento: Foram utilizados dois fornos:
 1. Forno A: Forno elétrico com atmosfera de 5%O₂ para preaquecimento das amostras a 1200°C
 2. Forno B: Forno elétrico com controle de atmosfera (N₂ e O₂) para simulação do forno de reaquecimento da placa.
- b) Recipiente feito com massa refratária para tratamento das amostras.
- c) Medidor de oxigênio para controle do teor de oxigênio da atmosfera.

3.2.3 Procedimentos

Para a simulação do defeito em laboratório, o roteiro básico foi o seguinte:

- a) Preaquecimento das amostras no forno a 1200°C e atmosfera com 5% O₂;
- b) Aquecimento das amostras no forno B com temperaturas variando de 1250°C a 1400°C e atmosfera de O₂ (0 a 8%) e N₂ como mostrado na Figura 5;
- c) Retirada da amostra do forno e resfriamento ao ar.

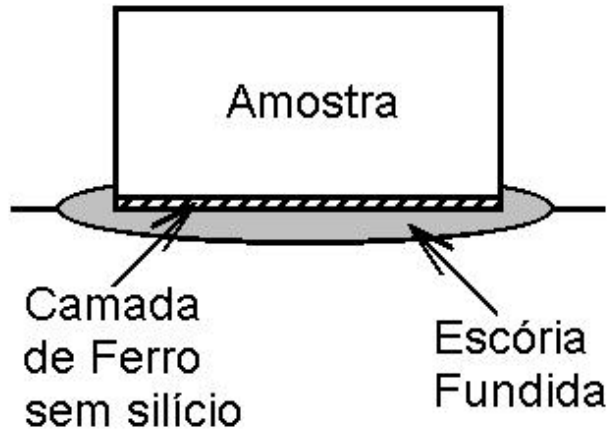


Figura 5. Diagrama da simulação do defeito na placa em laboratório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mecanismos Envolvidos

A Figura 6 mostra uma micrografia típica da camada de ferro sem silício que se forma entre a amostra e a escória.

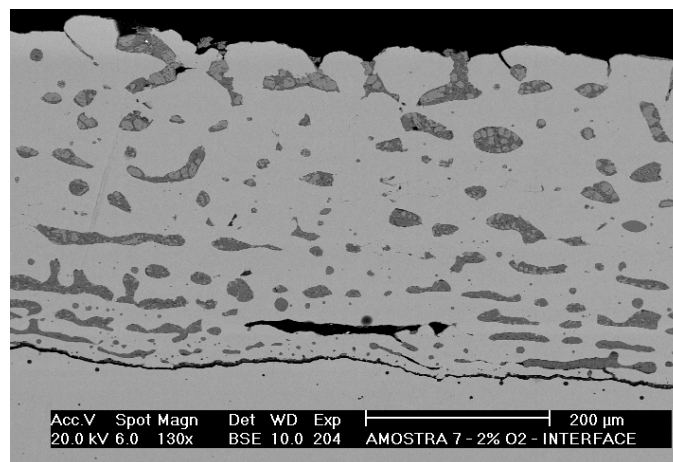


Figura 6. Camada de ferro sem silício de amostra de laboratório.

O mecanismo mais provável para explicar o aparecimento desta camada de ferro puro pode ser melhor entendido com a observação da Figura 7. O silício difunde-se muito bem no aço a temperaturas superiores a 1200°C, além disto tem mais afinidade pelo oxigênio que o ferro. A escória formada da fusão da carepa cria um isolamento entre a superfície inferior e a atmosfera do forno, sendo assim a disponibilidade de oxigênio no sistema é pequena para formar completamente a carepa, sendo assim o silício vai se oxidar primeiro, formando a sílica que se observa na interface entre o metal base e o defeito. Esta sílica reage com ferro da matriz e oxigênio formando a faialita. A wustita forma-se posteriormente nestas

ilhas de faiáita. Como resultado final, temos uma camada de ferro puro, com inclusões de faiáita e wustita. Portanto este mecanismo pode ser identificado como sendo uma oxidação interna.

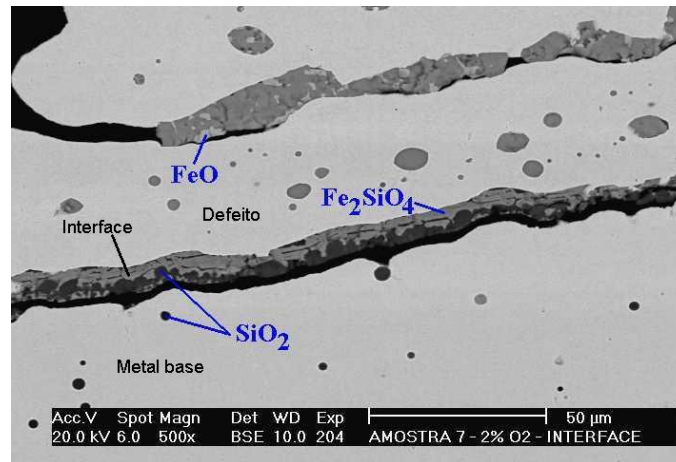


Figura 7. Micrografia mostrando a interface entre a camada de ferro puro (defeito) e o metal base.

Em resumo a seqüência de formação da camada de ferro puro é a seguinte:

Difusão do oxigênio e do silício no aço



Formação de SiO₂ na interface ferro puro/metal base



Formação da Fe₂SiO₄ ($\text{SiO}_2 + 2\text{Fe} + \text{O}_2 \Rightarrow \text{Fe}_2\text{SiO}_4$)



Formação de FeO nas regiões com Fe₂SiO₄

4.2 Variáveis que Influenciam a Formação da Camada de Ferro Puro

Como o mecanismo proposto anteriormente envolve processos de difusão (do silício e do oxigênio) e reações químicas, as principais variáveis que influenciam a formação do defeito são tempo e temperatura de processo. Além disto uma outra variável que poderia influenciar seria o teor de oxigênio da atmosfera do forno.

4.2.1 Influência do teor de oxigênio da atmosfera do forno

A figura 08 mostra a influência do teor de oxigênio na espessura da camada de ferro puro durante um tratamento por duas horas a 1400°C. Pode-se observar que não houve uma correlação muito nítida entre a espessura e o teor de oxigênio.

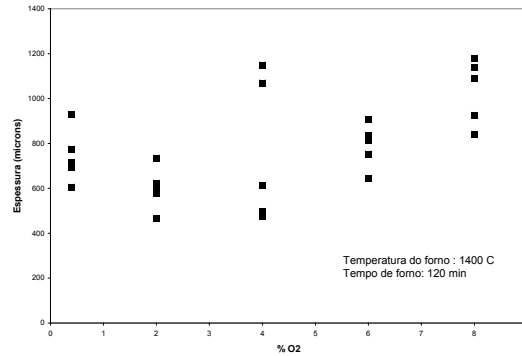


Figura 8. Espessura da camada de ferro puro em função do teor de oxigênio da atmosfera do forno.

4.2.2 Influência do tempo e temperatura

As Figuras 9 e 10 mostram, respectivamente, as influências do tempo de contato com a escória fundida e da temperatura do forno na espessura da camada de ferro puro durante um tratamento em atmosfera de 3% O₂, em amostras processadas em laboratório. Como era de se esperar, já que estão envolvidos processos de difusão e reações químicas, a espessura da camada aumenta com o tempo e temperatura.

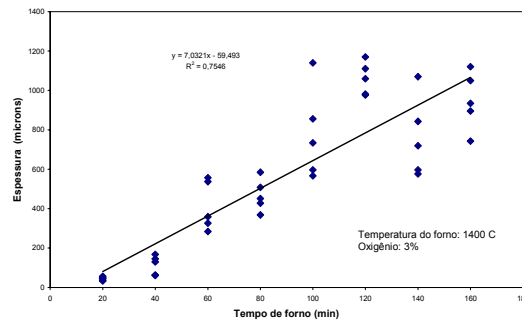


Figura 9. Espessura da camada de ferro puro em função do tempo de contato com a escória líquida.

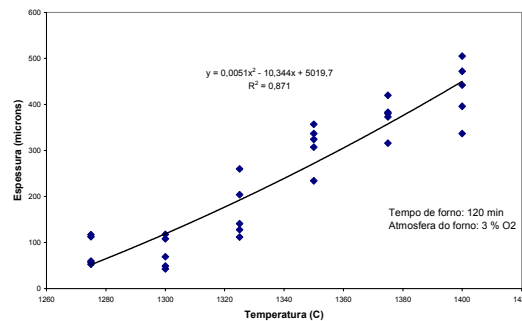


Figura 10. Espessura da camada de ferro puro em função da temperatura do forno.

5 CONCLUSÕES

- O contato entre a escória fundida e a superfície do aço pode ser considerado como um fator básico para a formação da camada de ferro sem silício;
- O mecanismo mais provável para a formação da camada de ferro sem silício é o da oxidação interna;
- O aumento do teor de oxigênio da atmosfera do forno não impede a formação da camada de ferro sem silício;
- A camada de ferro sem silício aumenta com o tempo de contato com a escória e a temperatura do forno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) BLOCK, W. F., 3% SiFe – Formation of the silicon free iron layer (silver streak) during slab reheating and its elimination, **Relatório Interno da ARMCO**, Dez 1987;
- 2) FONSECA, A. J. F., Caracterização metalográfica do defeito esfoliação no aço silício. **Relatório Técnico Interno da ACESITA**, Ago 1998;
- 3) ANDRADE, P. R. C.; MACHADO, O.; FONSECA, A. J. F.; Caracterização e Controle da Esfoliação em Aço Silício GO. **Relatório Técnico Interno da ACESITA** - 1988.

STUDY ON SUPERFICIAL DEFECT FORMATION MECHANISMS IN GRAIN ORIENTED SILICON STEEL ⁽¹⁾

Ângelo José de Faria Fonseca⁽²⁾

Cláudio Moreira de Alcântara⁽³⁾

Abstracts

When grain oriented silicon steel slabs are heated up to high temperatures before hot rolling, formation of superficial defects occurs, appearing in all stages of production and causing quality deviations, scrapping and loss of productivity. Laboratory experimentations were carried out to explain the mechanisms involved in the formation of these defects. The contact between molten slag and the steel surface can be considered as a basic factor for formation of this defect. The mechanism that has been identified as being the most likely to lead to formation of this defect is internal oxidation.

Key-word: Grain oriented silicon steel; Hot rolling; Superficial defects.

(1) Work presented during ABM's 60th Annual Congress, held from 25th to 28th July 2005, in the city of Belo Horizonte, MG.

(2) Metallurgist, Master in Metallurgy, ACESITA's Research Center.

(3) Technical Analyst, ACESITA's Research Center.