

ACABAMENTO *ROLLED-ON* EM AÇOS INOXIDÁVEIS¹

José Maria Caccioppoli²
Paulo Ernesto Freiheit. Côrtes³
Ronilson Geraldo Monteiro⁴

Resumo

Existem tipos diferenciados de acabamentos de aços inoxidáveis para as mais variadas aplicações. O acabamento conhecido como *Rolled On* (RO), por apresentar um aspecto superficial similar ao acabamento lixado (I8), vem surgindo no mercado para substituí-lo. Este acabamento é obtido utilizando cilindro texturizado durante laminação de encruamento, transferindo simultaneamente para as duas faces da tira seu aspecto visual de acabamento lixado. Ensaios de laboratório mostraram que algumas propriedades do produto com acabamento RO são melhores que a do mesmo produto com acabamento lixado, tais como: maior resistência à corrosão, excelente resistência à oxidação a baixas temperaturas.

Palavras-chave: Laminação de encruamento; *Rolled-on*; Aços inoxidáveis; Transferência de rugosidade.

ROLLED-ON FINISH FOR STAINLESS STEEL

Abstract

Today, some differentiated types of stainless steel finishes exist for the varied applications. The finishing known as "Rolled On" (RO) has a similar superficial aspect as the grinding finishing (I8) and comes appearing in the market to substitute it. This finishing is gotten using textured cylinder during rolling to transfer simultaneously to the twice sides of the sheet its grinding aspect. Laboratories trials had shown that finishing RO properties are better as grinding finishing, such as: bigger resistance to corrosion, excellent resistance to oxidation at low temperatures.

Key words : Temper rolling; Rolled-on; Stainless steel; Roughness transfer.

¹ Contribuição técnica ao 47º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 26 a 29 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Doutor Professor Dept. Metalurgia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

³ Mestre em Metalurgia, ArcelorMittal Inox Brasil – Timóteo/MG

⁴ ArcelorMittal Inox Brasil – Timóteo/MG

1 INTRODUÇÃO

O nome *Rolled-On* caracteriza o processo de acabamento, em que é realizada a impressão de uma textura superficial sobre a tira metálica durante sua laminação. Esta textura pode possuir diferentes padrões como traços, pontos, círculos, riscos, dentre outros. Seu processo de fabricação depende principalmente da qualidade do padrão de textura obtido na superfície do cilindro do laminador, assim como da homogeneidade da superfície do material a ser encruado.

O cilindro do laminador preparado com textura rugosa transfere durante a laminação sua superfície para a tira, dando a ela a aparência de acabamento lixado. Existem varias maneiras de preparar o cilindro para se obter o acabamento texturizado como: acabamento com rebolo grosso (*Grinding Wheels*), jateamento de granalha; porém tecnologias modernas foram desenvolvidas para se obter maior homogeneidade do cilindro como: SBT - *Shot Blast Texturing*,⁽¹⁾ EDT *Electrical Discharge Texturing*,⁽²⁾ LaserTEX – *Laser Texturing*.⁽³⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

O acabamento RO foi desenvolvido na Arcelormittal Inox Brasil em aço inoxidável ferrítico 430 com espessura igual a 0,4 mm e utilizando rebolo grosso na retífica para preparação dos cilindros de laminação. Após sua produção, foi realizada caracterização do seu aspecto superficial e se comparou o seu resultado ao do acabamento lixado.

Para caracterização superficial utilizaram-se equipamentos de perfilometria (Hommel Werke - Modelo T8000), microscopia óptica (Leica - DMRM) e eletrônica de varredura (FEI - XL30), bem como utilização de medidores de brilho (Byk Gardner - Mirror-Tri-Gloss) e de cor (Byk Gardner - Spectro-Guide).

Os parâmetros de cor e brilho utilizados estão descritos em norma específica ASTM E313.⁽⁴⁾ Para caracterização da intensidade de amarelamento da superfície utilizou-se o índice de amarelamento (YE) fornecido pelo colorímetro.

Além da caracterização da superfície obtida, foram avaliadas outras propriedades como: resistência à oxidação em baixas temperaturas, resistência a corrosão e estampabilidade.

Dois estudos foram feitos para avaliação da resistência à oxidação a baixas temperaturas dos acabamentos sugeridos (I8 e RO) em aços 430, 439 e 304. O primeiro estudo foi realizado para conhecer a temperatura de amarelamento do material. Para este estudo utilizou-se forno mufla Vulcan modelo 3-550 em dois tempos de tratamento, 3 h e 24 h, a diferentes temperaturas.

O segundo estudo visou conhecer a cinética de oxidação (amarelamento x tempo) em condição de aquecimento e resfriamentos cíclicos. Para isso, foi utilizado o equipamento Dip Dry da Analógica a temperaturas de aquecimento iguais a 240°C e 180°C, em ciclos de aquecimento e resfriamento com periodicidade de 30 minutos cada.

Para avaliação da resistência à corrosão, foi aplicada metodologia de ensaio potencioestático em circuito aberto (OCP) descrita por Kolman⁽⁵⁾ utilizando OCP em solução NaCl 3,5% p/v à temperatura ambiente. Foram feitos testes de exposição atmosférica e resistência ao meio salino utilizando câmara de névoa salina da Equilan, solução de NaCl 5%, PH 6,5 a 7 e temperatura 35°C de acordo com a norma ASTM B117.⁽⁶⁾

3 RESULTADO

Os resultados serão apresentados em sete etapas, respectivamente caracterização superficial com comparação entre acabamento RO e I8, resistência à oxidação em baixas temperaturas avaliação na temperatura de amarelamento, resistência a oxidação em baixas temperaturas na avaliação da cinética de oxidação cíclica, resistência a corrosão, exposição atmosférica, resistência a névoa salina.

3.1 Caracterização Superficial

A Figura 1 apresenta análises obtidas por microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e perfilometria, onde são mostrados aspectos superficiais do acabamento RO.

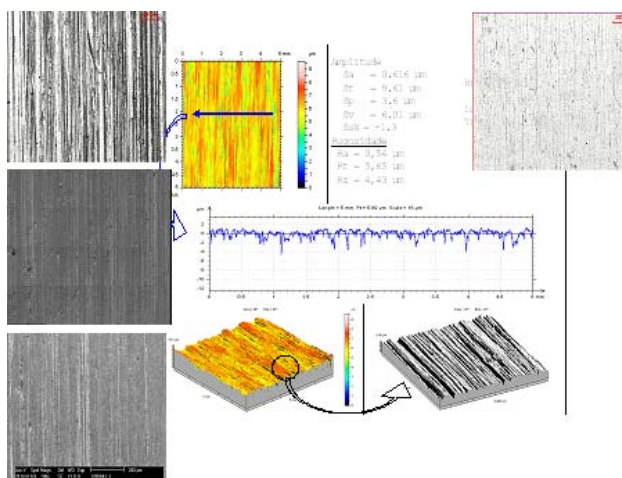


Figura 1 - Caracterização superficial acabamento RO, microscopia óptica, eletrônica e varredura e perfilometria.

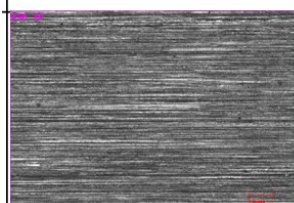
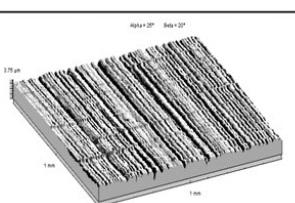
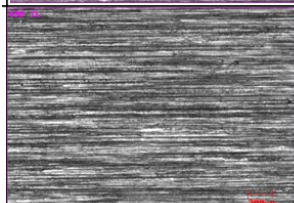
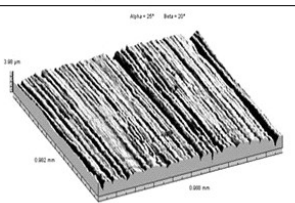
Visando comparar o acabamento RO com o acabamento lixado (I8), são apresentados nas Tabelas 1 e 2 alguns parâmetros superficiais para aço 430 com 0,4mm de espessura. Como é possível constatar, os acabamentos apresentaram mesmo brilho superficial.

Tabela 1 – caracterização superfície.

Aço		Brilho 85°GU	Cor			Rugos. µm Ra	YE
			L	C	h°		
430	I8	113	76,2	5,4	90,2	0,31	12,4
	RO	115	76,0	1,9	90,3	0,49	4,2

Os parâmetros de cor são equivalentes, mostrando pequena variação no parâmetro saturação (C). Esta variação é retratada no parâmetro de amarelamento (YE) que mostra forte amarelamento da superfície I8 devido a oxidação superficial. O YE mais elevado indica que o acabamento I8 inicialmente já possui oxidação em sua superfície, com valores três vezes maior do que o acabamento RO.

Tabela 2 – Caracterização superfície aço

	Microscopia Óptica	Topografia 3D
430/I8		
430/RO		

As imagens da superfície apresentadas na Tabela 2 mostram que os acabamentos são muito similares, com uma homogeneidade ligeiramente melhor para I8.

3.2 Estudo da Resistência a Oxidação em Baixas Temperaturas para Leitura da Temperatura de Amarelamento

Para esta avaliação são apresentados os gráficos das Figuras 3 e 4, eles mostram a relação da oxidação (amarelamento) versus a temperatura dos aços estudados, para os tempos de 3 h e 24h.

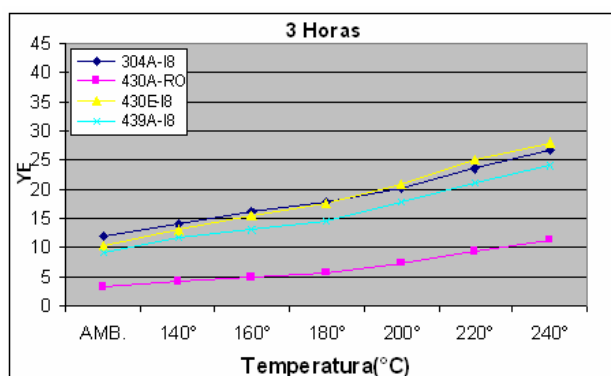


Figura 2 – Índice de amarelamento x temperatura, para tempo de tratamento igual a 3 horas.

Verificando o gráfico de YE de 3h (Figura 2) e 24h (Figura 3) é possível constatar que para todas as amostras analisadas existe um limiar na inclinação em 180°C, isto quer dizer que a partir da temperatura 180°C observa-se um aumento da variação de amarelamento, representada pelo aumento da inclinação da reta do gráfico.

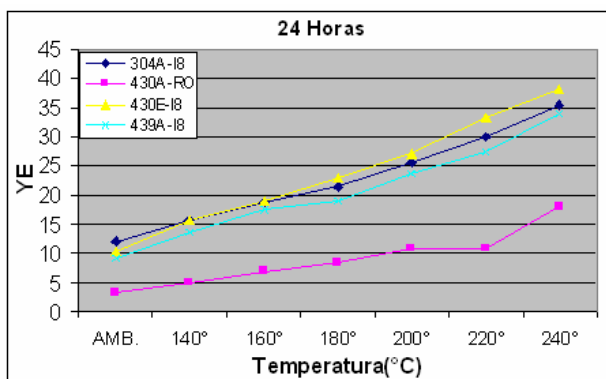


Figura 3 – Índice de amarelamento x temperatura, para tempo de tratamento igual a 24 horas.

É definido como valor de início do amarelamento visual YE igual a 20. Extrapolando este valor para os outros aços/acabamento a 3 h e 24 h levanta-se qual é a temperatura de oxidação para cada condição, e são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Temperaturas de amarelamento (°C) por produto

Aço	T _{amarelo} (3h)	T _{amarelo} (24h)
P430 (18)	200°C	180°C
P304 (18)	200°C	180°C
P439 (18)	220°C	190°C
P430 (RO)	333°C	245°C

Na Figura 4 observam-se as amostras tratadas as várias temperaturas nos tempos de 3 h e 24h. É possível distinguir a diferença de amarelamento entre as várias condições e visualizar claramente a diferença de oxidação das amostras com acabamento RO.

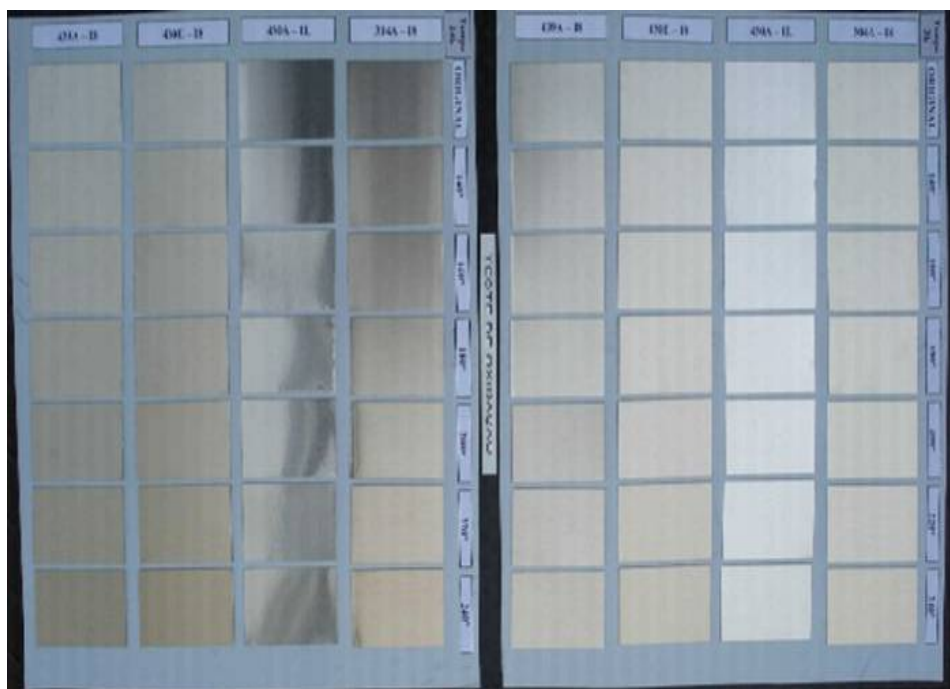


Figura 4 - Amostras processadas para levantamento da temperatura de amarelamento.

3.3 Estudo da Resistência a Oxidação em Baixas Temperaturas para Avaliação da Cinética de Oxidação Cíclica

Após estudo de oxidação anterior indicar temperaturas de amarelamento (180°C e 240°C) para os acabamentos em questão, foi programado um estudo da cinética de oxidação utilizando estas temperaturas.

O objetivo de avaliar a cinética de oxidação é de conhecer melhor a evolução da oxidação destes acabamentos quando submetidos a temperaturas limites em condições aproximadas à aplicações de aquecimento e resfriamento cíclico, como em mesa de fogões.

A Figura 5 apresenta o resultado das amostras tratadas no *Dip Dry*, onde é visível a diferença de oxidação entre as várias amostras. Nesta figura está claro que as amostras com acabamento RO (segunda linha) apresentaram menor intensidade de oxidação.



Figura 5 - Amostras processadas para levantamento da cinética de oxidação cíclica.

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados da variação do amarelamento (oxidação) com o tempo em dias das amostras tratadas a 180°C e 240°C. Nos pontos medidos foram ajustados função exponencial do tipo:

$$y = y_0 + A_a \cdot \exp\left(-\frac{x}{t_0}\right)$$

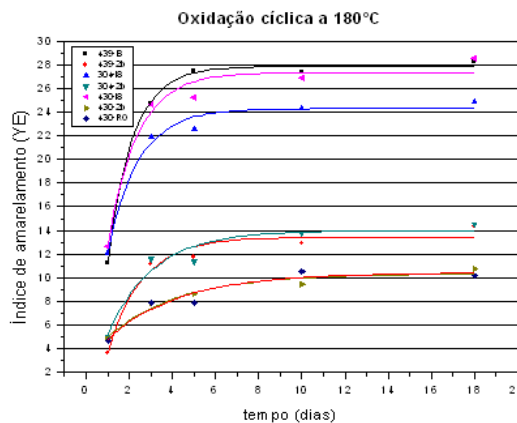


Figura 6 - Índice de amarelamento x tempo, para temperatura de tratamento igual a 180°C.

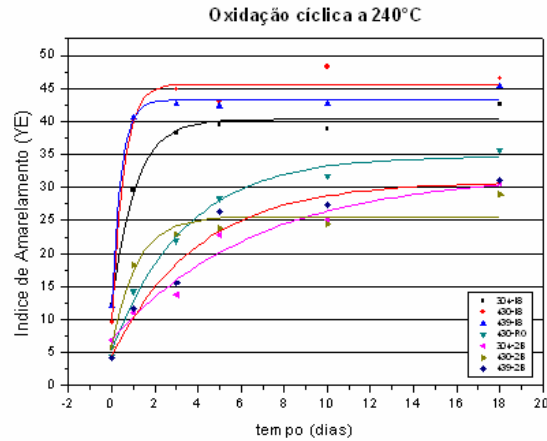


Figura 7 - Índice de amarelamento x tempo, para temperatura de tratamento igual a 240°C.

A partir do ajuste da curva é possível determinar qual amarelamento máximo alcançado para cada condição e qual foi o tempo decorrido para atingir este patamar.

3.4 Resistência à Corrosão

Esta seção irá apresentar comparação da resistência a corrosão dos aços 304, 430, para os seguintes acabamentos lixados (I8) e RO. O ensaio comumente utilizado no laboratório para levantar a resistência à corrosão é conhecido como ensaio de polarização eletroquímica (curva potencioestática).

Este ensaio depende da qualidade superficial da amostra a ser analisada. E apesar de ser uma excelente ferramenta para caracterizar resistência a corrosão por pite em metais com diferentes composições e com superfície polida, o acabamento rugoso induz um ruído elevado que inviabiliza utilização desta técnica.

A Figura 8 apresenta as curvas potencial vs. tempo obtidas neste trabalho para os aços inoxidáveis 304 e 430, comparando os acabamentos I8 (verde, marrom) e RO (vermelho).

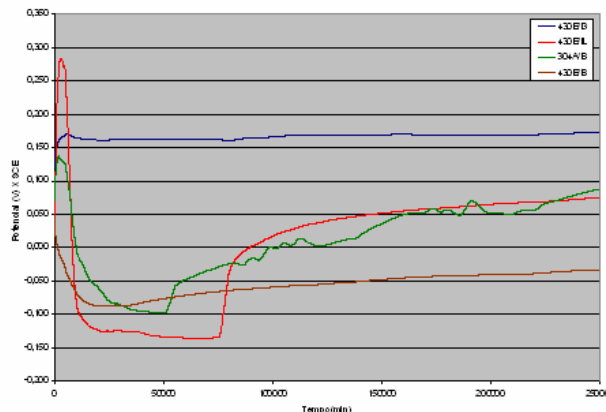


Figura 8 – Curva potencial versus tempo(segundos).

Neste ensaio são realizados os levantamentos das curvas potencial versus tempo em circuito aberto, e a partir daí é possível obter informações preliminares quanto ao valor do potencial de corrosão do material, o tempo necessário para que o potencial se estabilize e o tempo para que ocorra a formação de um filme de óxido capaz de

oferecer resistência ao processo corrosivo, passivando a superfície da amostra. O tempo total de ensaio foi 69 horas. No gráfico é possível observar que em “condições de laboratório” o comportamento da amostra 430/RO é similar ao comportamento do 304/I8.

3.5 Resistência à Corrosão em Meio Salino

Para avaliação da resistência a corrosão em meio salino foi aplicada as amostras selecionadas (430 e 439), 1.000 h de exposição em câmara de névoa salina a solução de 5% NaCl.

As Figuras 9 e 10 mostram o resultado das amostras após a exposição especificada. Está visível que o acabamento RO apresentou melhor comportamento à resistência ao meio salino e o material 439/RO dentre as amostras avaliadas apresentou o melhor resultado.

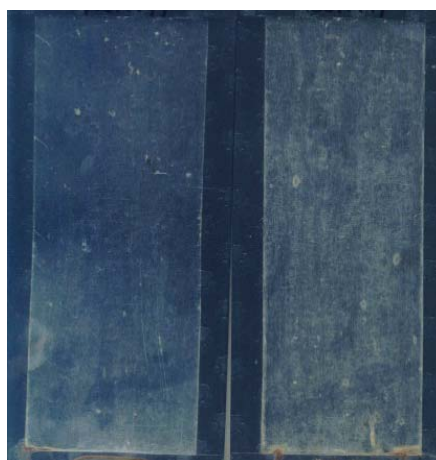


Figura 9 - Amostras de 430 RO (esquerda) e I8 (direita) após 1000hs de tratamento em câmara de névoa salina.

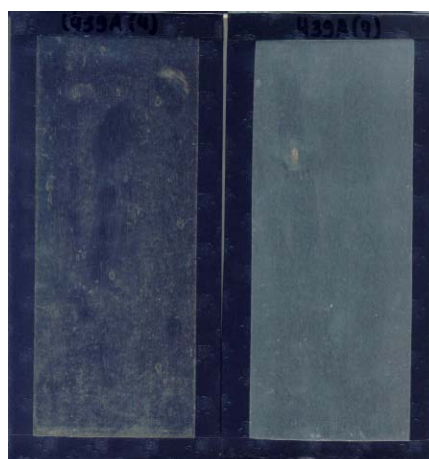


Figura 10 - Amostras de 430 RO (direita) e I8 (esquerda) após 1000hs de exposição em câmara de névoa salina.

3.6 Exposição Atmosférica

Para concluir a avaliação da resistência a corrosão do acabamento RO é apresentado o estudo de corrosão por exposição atmosférica em área industrial.

As Figuras 11 e 12 apresentam a evolução do brilho e do amarelamento da superfície das amostras analisadas, onde se observa leve amarelamento da amostra exposta *outdoor*.

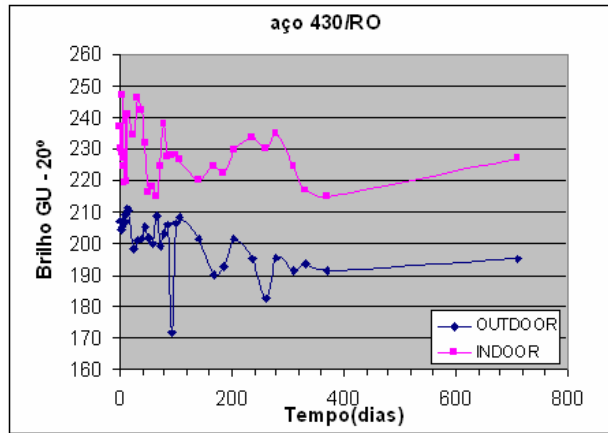


Figura 11 - Gráfico do brilho vs tempo (dias) de exposição *indoor* e *outdoor* da amostra de 430/RO.

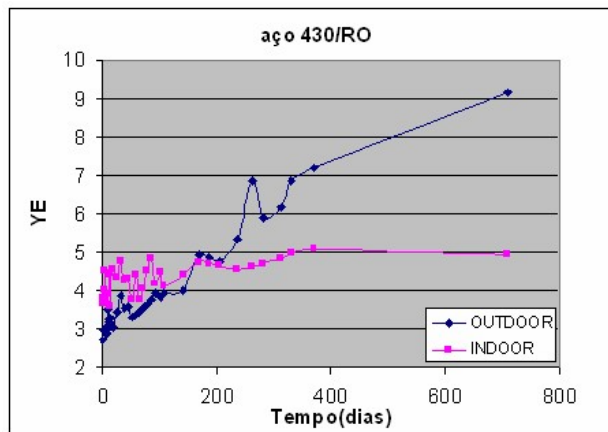


Figura 12 - Gráfico do índice de amarelamento vs tempo(dias) de exposição *indoor* e *outdoor* da amostra de 430/RO.

Vale ressaltar que as caracterizações da amostra exposta *outdoor* apresentadas nos gráficos são obtidas na face que está voltada para baixo.

4 DISCUSSÕES

O acabamento RO desenvolvido na ArcelorMittal Inox Brasil possui aspecto visual do acabamento lixado, diferindo deste último apenas por não apresentar amarelamento em sua superfície. Este amarelamento acontece devido ao aquecimento sofrido pelo material durante seu processo de lixamento que degrada sua superfície.

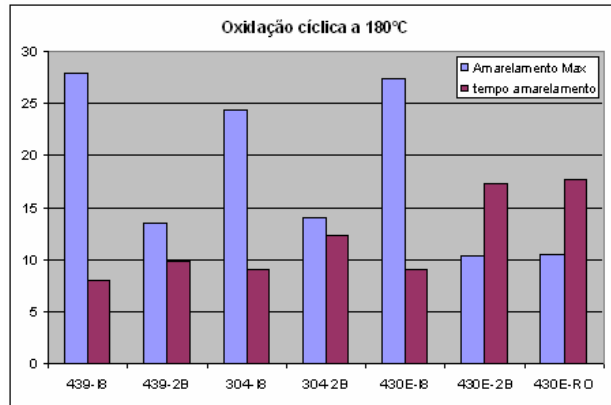


Figura 13 - Comparação entre amostras com resultados dos parâmetros de amarelamento e tempo de amarelamento, para teste de oxidação cíclica a 180°C.

Análises de laboratório mostraram que a temperatura de amarelamento do aço 430/RO é até 67% superior ao acabamento I8.

Os resultados dos estudos de cinética de oxidação das amostras podem ser vistos nos gráficos de barra das Figuras 13 e 14. Avaliando os gráficos conclui-se que o acabamento RO quando submetido a 180°C possui mesmo comportamento que o acabamento 2B, oxidando-se muito pouco.

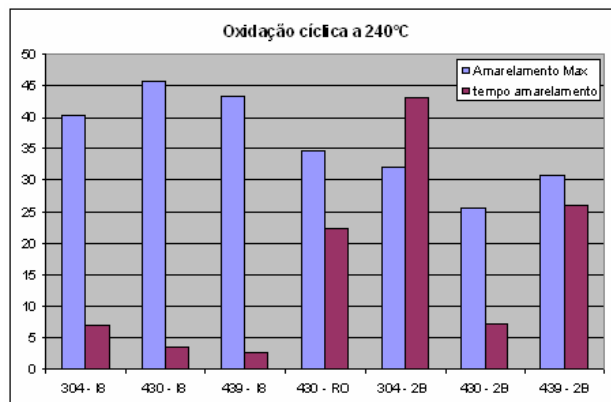


Figura 14 - Comparação entre amostras dos resultados dos parâmetros de amarelamento e tempo de amarelamento, para teste de oxidação cíclica a 240°C.

O RO inicia o processo de oxidação a temperatura mais elevada como 240°C, porém nas análises acabamento 2B apresentou melhor resistência a esta oxidação. Na análise de resistência à corrosão por OCP o patamar final de estabilização representa a capacidade de resistência à corrosão das amostras analisadas e quanto maior seu valor mais resistente a corrosão é o material.

Na Figura 9 pode-se observar que o material 430/RO (laranja) apresenta o valor do patamar de estabilização maior que o 430/I8 (marrom) e possui valor de patamar equivalente ao 304/I8 (verde). O acabamento que ainda apresentou melhor a resistência à corrosão foi acabamento liso 2B.

O acabamento RO mostrou possuir varias vantagens em relação ao acabamento lixado, melhor resistência a corrosão e oxidação a baixas temperaturas e melhor estampabilidade facilitando estiramento de cantos em peças mais complexas.

5 CONCLUSÕES

O acabamento RO foi desenvolvido com sucesso pela equipe da Arcelormittal Inox Brasil e além de possuir aspecto visual do acabamento lixado, ele apresenta *back*

side e pode ser produzido em espessuras menores que as oferecidas hoje para acabamento lixado.

O acabamento RO apresentou melhor resistência à oxidação em baixa temperatura, maior resistência à corrosão em solução salina testados em ensaio de OCP e de câmara salina e bons resultados de resistência a corrosão atmosférica em área industrial.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais para José Laurindo de Souza, Paulo César da Silva, da retífica de cilindros e equipe do laminador de encruamento: Cleydson Pereira de Oliveira, Heberte Cansil de Paula, Rubens Lagaris Madureira, Rogério Viera^(in memoriam) e Valdomiro Crispim Machado que muito contribuíram para sucesso deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Deutscher, O. Methods for attaining particular roughness on cold rolled strip. *Iron and Steel Engineer Magazine*, p. 35-40, maio 1997.
- 2 Simão, J. Mill roll texture using EDT. *RJ.Matter Process Technologie*, v. 45, p. 207-214, 1994.
- 3 DEFOUNY A., J. Update of developments in Lasertex Technology. *Iron and Steel Engineer*, p. 39-45, agosto 1991.
- 4 ASTM INTERNATIONAL. ASTM E313-00 Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates
- 5 KOLMAN D., G. I Corrosion of 304 Stainless Steel Exposed To Nitric Acid - Chloride Environments. *R Corrosion science*, v. 39, n. 12, p. 2067-2093, 1997.
- 6 ASTM INTERNATIONAL. ASTM B117, Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.