
Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Efeito da marcação a laser por fibra óptica na resistência à corrosão de utensílios produzidos em aço inoxidável DIN 1.4110

Fernando S. Fardo^a, Alvaro Meneguzzi^b, Jane Z. Ferreira^c

Abstract

The research study describes a corrosion caused by surface marking through optical fiber laser of neodymium - ytterbium utensils made of steel DIN 1.4110 . The approach is the study of the steel microstructure evaluation of microstructural changes caused by the thermal effect of the laser on the marked region using three marking geometries. These markings were made on the stainless steel surface to dry, in an aqueous medium . After marking , immersion corrosion test was performed for each situation , chemical analysis of the material , surface evaluation and metallographic optical microscope . After the evaluations , it was found that for each surface marking accomplished is a type of thermal effect on the stainless steel microstructure and that when marked dry or in an aqueous medium , there is high incidence of pitting corrosion in the marked area.

Keywords: corrosion, fiber laser, stainless steel

Resumo

A pesquisa realizada descreve um estudo de corrosão causado pela marcação superficial através de laser de fibra óptica neodímio-itérbio em utensílios produzidos em aço DIN 1.4110. A abordagem adotada é o estudo da microestrutura do aço, avaliação das alterações microestruturais ocasionadas pelo efeito térmico do laser na região marcada utilizando três geometrias de marcação. Estas marcações foram feitas sobre a superfície do aço inoxidável a seco e em meio aquoso. Após a marcação, realizou-se teste de corrosão por imersão para cada situação, análise química do material, avaliação superficial e metalográfica em microscópio óptico. Após as avaliações, constatou-se que para cada marcação superficial realizada ocorre um tipo de efeito térmico na microestrutura do aço inoxidável e que, quando marcado a seco ou em meio aquoso, ocorre forte incidência de corrosão por pite na região marcada.

Palavras-chave: corrosão, laser de fibra, aço inoxidável

^a Mestrando, Engenheiro Químico - UFRGS

^b PHD, Engenheiro Químico - UFRGS

^c Dr., Química - UFRGS

Introdução

Os aços inoxidáveis apresentam como principal característica a elevada resistência à corrosão promovida principalmente devido a elevadas concentrações de cromo. [2]. Para ser considerado um aço inoxidável, a liga não pode apresentar uma concentração de cromo inferior a 10%. Apesar de apresentarem esta excelente propriedade, os aços inoxidáveis também podem ser passíveis à corrosão, dependendo da condição e ambiente aos quais estiverem submetidos. (1) O aumento da resistência à corrosão pode ser promovido também pela adição de elementos de liga como o níquel e o molibdênio. [2]

O aço DIN 1.4110 (X55CrMo14) é um aço inoxidável martensítico com adição do elemento de liga Molibdênio. Possui como principal característica a elevada resistência ao desgaste e boa resistência contra a corrosão. Este tipo de aço pode apresentar durezas acima dos aços convencionais, quando tratados termicamente e passando pelas etapas de revenimento e subzero. [4]

A gravação a laser é um processo de marcação onde parte do material é removido da peça de trabalho por um feixe de laser focado, com certa intensidade e potência. Dependendo da energia utilizada para fusão e vaporização do material, a perda de material dependerá fortemente do tempo de interação entre o pulso do laser no material e da potência de pico do impulso do laser. Devido à forte dependência de potências elevadas com interação curta de tempo para uma boa eficiência na marcação, alguns tipos de lasers de pulso curto têm sido muito utilizados. A indústria atualmente tem utilizado laser com pulso em nanossegundos para aplicações de gravações em joias, moldes, aços, entre outros. A principal desvantagem no uso deste tipo de laser com pulso em nanossegundos é o efeito térmico que ocorre na superfície do material. Apesar de ter uma alteração muito suave do material em comparação com processos de soldagem ou corte, a gravação a laser deixa uma região perceptivelmente afetada pelo calor. Em alguns casos, o efeito térmico ocasionado na peça gravada é mais acentuado e pode ser prejudicial ao material. [3]

Metodologia

Amostragem

Algumas amostras do aço inoxidável DIN 1.4110 foram tratadas termicamente, em seguida foram usinadas e polidas para marcação através do processo a laser. Para isso, foram elaborados três tipos de marcação, com o objetivo de avaliar também a influência do espaçamento entre as linhas de marcação. A marcação foi realizada segundo a imagem 1, com espaçamento entre linhas de 0,02 mm, 0,04 mm e 0,08 mm.

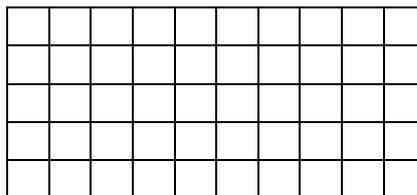


Figura 1 – Modelo de grade utilizado

Processo de marcação a laser

Foi utilizada um laser neodímio-ytérbio da Technifor (TF-420) o qual operou nas condições de 90 % de potência do laser, velocidade de 500 mm/s e frequência de 80 Hz. Foi utilizada uma medida focal de 7,5 cm de distância da lente até a superfície do aço inox a fim de obter uma marcação nítida e com foco.

Tipos de marcação

Foram realizados três tipos de marcação na superfície do aço com o objetivo de avaliar a influência do espaçamento da marca. A influência da forma como foi marcado, foi realizada de forma comparativa entre a marcação a seco e em meio úmido. As marcações em meio úmido foram realizadas utilizando água desmineralizada.

Análise química do material

Foi realizada a análise química do aço inoxidável através de espectrofotômetro de emissão óptica, com o objetivo de quantificar os elementos químicos presentes no aço inoxidável e se os mesmos encontram-se dentro da faixa especificada para o aço DIN 1.4110.

Análise metalográfica

A análise metalográfica das amostras de aço bruto e tratado termicamente do aço DIN 1.4110 foram feitas seguindo procedimentos de corte e lixamento iniciando com lixas de carbetto de silício de grana 120, 220, 320, 500, 800 e 1000 para o desbaste mais grosseiro. O polimento fino foi realizado com suspensão lubrificante/refrigerante e pasta de polimento diamantada com tamanho de partícula de 3 µm. Para revelação da microestrutura do aço, foi empregado o reagente químico, usualmente aplicado na revelação da microestrutura de aços inoxidáveis martensíticos, picral, (5 gr de ácido pícrico em 100 mL de álcool etílico) por imersão por aproximadamente 35 segundos. Após o ataque, as amostras foram lavadas com água fria, álcool etílico e secas utilizando ar quente forçado. Após foram submetidas a exame em microscópio óptico marca Olympus modelo BX60.

Resultado

Análise química

A análise química realizada com o aço inoxidável demonstrou que a amostra utilizada para avaliação apresenta concentração dentro da faixa estabelecida para um aço do tipo DIN 1.4110, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações e análise química do aço DIN 1.4110

Especificação	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V
Mínima (%)	0,48	-	-	-	-	13	0,5	-
Máxima (%)	0,60	1,0	0,04	0,015	1,0	16	0,8	0,15
Análise (%)	0,49	0,34	0,022	0,07	0,27	15,89	0,61	0,05

Análise metalográfica do aço inoxidável

As micrografias do material bruto laminado e do material após tratamento térmico são apresentadas na Figura 2.

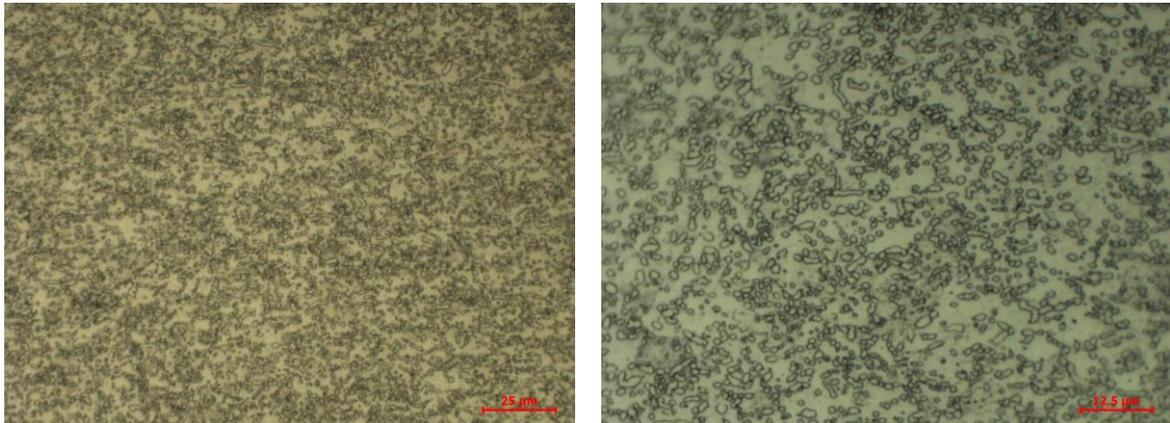


Figura 2 – Micrografia do aço DIN 1.4110 bruto, antes do tratamento térmico.

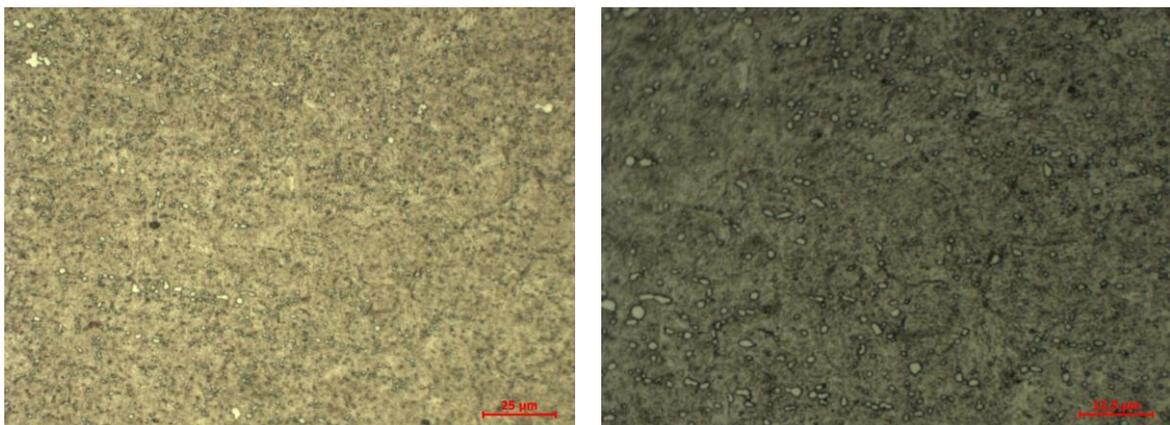


Figura 3 – Micrografia do aço DIN 1.4110 após tratamento térmico.

As imagens da figura 2 mostram a microestrutura do aço inoxidável laminado antes do tratamento térmico, indicando a presença significativa de carbonetos e presença predominante de ferrita.

As imagens da Figura 3 mostram a microestrutura do aço inoxidável laminado após tratamento térmico, indicando uma distribuição homogênea de carbonetos primários e a fase martensítica (branca) predominante na microestrutura do material.

Realizou-se também a avaliação superficial da região marcada através de microscópio óptico para as três situações estudadas e com os diferentes espaçamentos entre linhas.

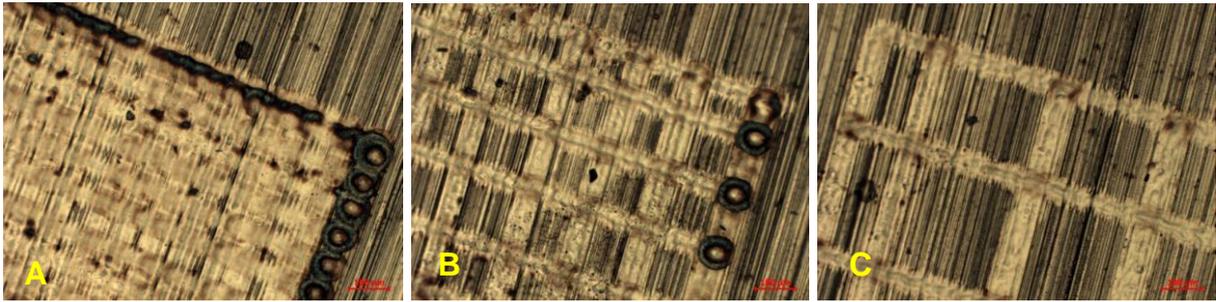


Figura 4 - Marcação a seco – A) espaçamento de 0,02 mm; B) espaçamento de 0,04 mm e C) espaçamento de 0,08 mm

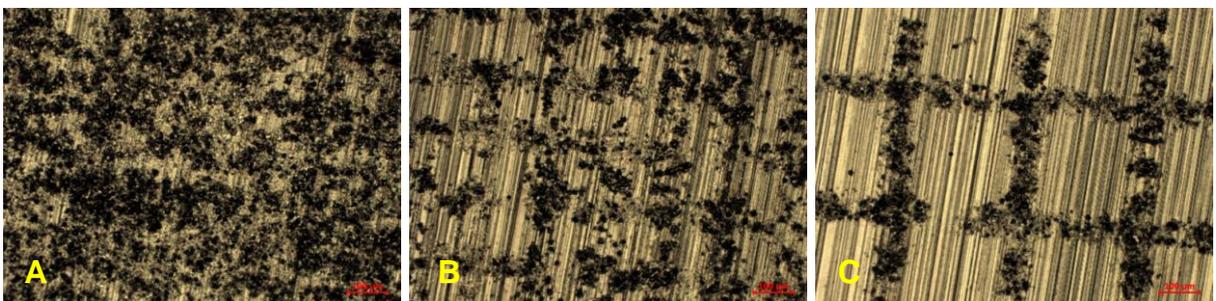


Figura 5 - Marcação em meio úmido – A) espaçamento de 0,02 mm; B) espaçamento de 0,04 mm e C) espaçamento de 0,08 mm

A avaliação superficial da marca indica que para a marcação a seco, ocorre uma interação significativamente maior do feixe do laser com o material, permitindo que ocorra a fusão do material e conseqüentemente, a agressão ao aço seja mais evidente. Nesta situação verifica-se que a região da borda e algumas regiões do centro apresentam uma queima mais intensa, com formação significativa de óxidos decorrentes do efeito térmico. No entanto, para as peças marcadas com água, observa-se que o efeito térmico foi inferior e que devido à difração do raio laser durante a passagem pela película de água no momento da marcação, a geometria da marca altera-se. Uma desvantagem deste processo de marcação é que o visualmente observam-se algumas falhas na marcação.

Teste de corrosão por imersão

Foi realizado teste de corrosão por imersão conforme definido pela norma ISO 8442-2, a qual especifica as condições do teste de corrosão em aços inoxidáveis.

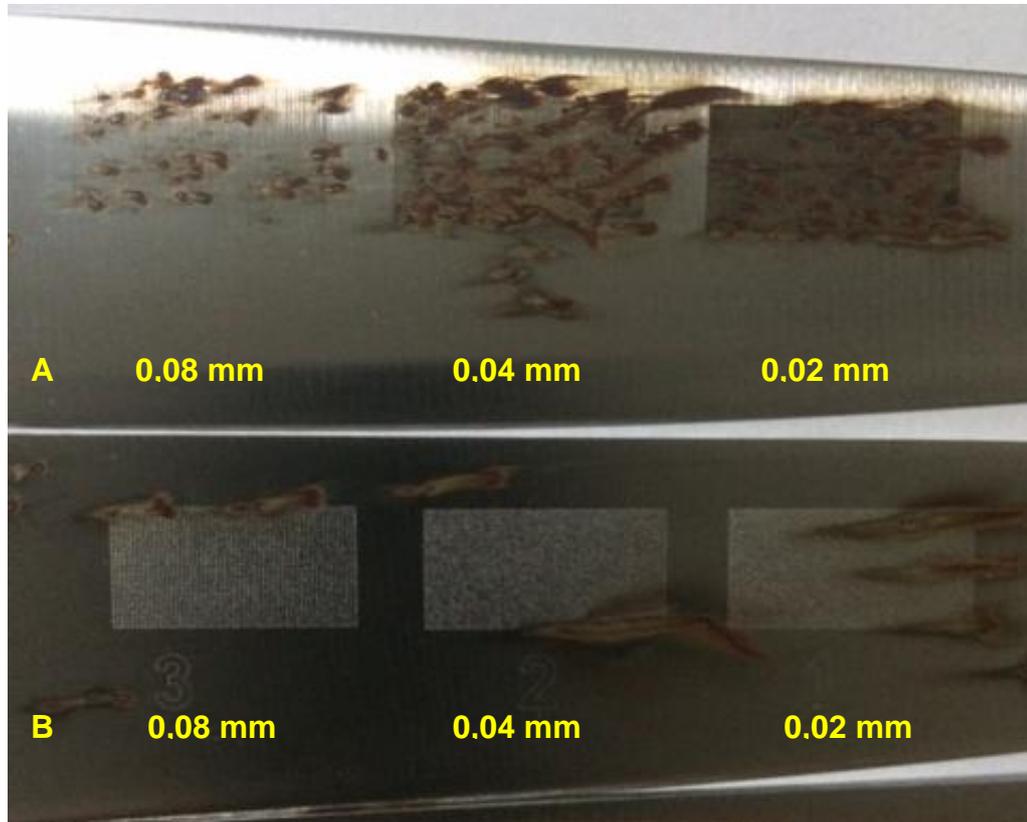


Figura 6 – Amostras após o teste de corrosão por imersão. A) Marcação a seco e B) Marcação com água

O ensaio de corrosão por imersão indicou que a condição de marcação que apresentou melhor resistência à corrosão foi com marcação utilizando solução ácida, onde a incidência de corrosão por pites foi muito baixa em comparação com as demais condições.

Conclusões

Com base nas avaliações realizadas, é possível concluir que os espaçamentos influenciam bastante na resistência à corrosão, pois quanto mais próximas estiverem as linhas de marcação, maior será o efeito térmico no material. As bordas e os pontos de encontro entre marcações apresentam fusão intensa do aço, indicando que nestes pontos a resistência à corrosão é menor. Existem diferenças significativas na marcação realizada por via úmida em comparação à marcação a seco. A marcação em via úmida não agride tanto o material devido ao efeito refrigerante da água e difração das ondas de marcação, mas também deixa a marca menos nítida. A marcação a seco proporciona uma marcação mais intensa, nítida, mas retira maior quantidade de material e funde o aço, tornando-o sua resistência à corrosão

significativamente menor. A provável causa da oxidação verificada na superfície do aço está relacionada a um mecanismo de corrosão por pite decorrente da sensibilização nas regiões onde é feita a marcação a laser e acúmulo de partículas de ferro depositadas na região marcada.

Referências bibliográfica

- (1) CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC
- (2) PANOSSIAN, Z., **Corrosão e proteção contra a corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. Volume II. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993.
- (3) CHERNIKOV, S. V et al. Supercontinuum self-Q-switched ytterbium fiber laser. **Optics letters**, v. 22, n. 5, p. 298–300, 1997.
- (4) MANNINEN, M. et al. Effect of Pulse Length on Engraving Efficiency in Nanosecond Pulsed Laser Engraving of Stainless Steel. **Metallurgical and Materials Transactions B**, v. 46, n. 5, p. 2129–2136, 2015.

* * *