

Trabalho

Título em Português: Análise de texturização e resistência de metais com marcação a laser nano e femtossegundos

Título em Inglês: Metal texture and resistance analysis with nano and femtosecond laser marking

Autor: Breno Costa Ponce

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Jarbas Caiado de Castro Neto

Área de Pesquisa / SubÁrea: Física da Matéria Condensada

Agência Financiadora: USP - Programa Unificado de Bolsas



Análise de texturização e resistência de metais com marcação a laser nano e femtossegundos

Breno Costa Ponce

Vinícius Pereira Pinto, Jéferson Aparecido Moreto, Fátima Maria Mitsue Yasuoka,

Jarbas Caiado Castro

IFSC/USP

brenoponce@usp.br

Objetivos

O projeto tem como objetivo principal estudar os parâmetros associados à marcação a laser de femtossegundo em superfícies metálicas. A pesquisa busca caracterizar as condições de formação de Laser-Induced Periodic Surface Structures (LIPSS) e em que capacidade elas refletem na melhoria de propriedades macroscópicas da superfície modificada.

Além disso, espera-se avaliar como esses parâmetros afetam a formação de camadas de óxido de cromo (Cr_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), assim determinando as condições ideais para modificações controladas em amostras metálicas de Ti-6Al-4V e aços inox dos tipos 316L e 420, com efeitos térmicos significativamente menores que os lasers de pulso contínuo.

Por conta da escolha de metais e expectativa de melhoria de suas capacidades anticorrosivas ao se empregar esse tratamento via laser, espera-se que os resultados obtidos sirvam de fundamentação para otimizar essa técnica de texturização, viabilizando futuras aplicações industriais e biomédicas em ampla escala além do contexto acadêmico.

Métodos e Procedimentos

As atividades experimentais envolveram a preparação, marcação e análise de amostras de Aço Inox 316L e 420 e Ti-6Al-4V. Os procedimentos de caracterização das amostras foram realizados em diferentes dependências da USP São Carlos e UFSCar.

A preparação das amostras se deu pelo polimento de amostras com o uso de uma politriz lixadeira metalográfica, com a utilização de embutimento em baquelite para algumas das amostras. Em seguida, diversas regiões das amostras polidas foram marcadas em diferentes parâmetros do laser de Ti:Safira LIBRA - Coherent, variando a velocidade de marcação do laser e sua potência de saída.

Feito isso, houve a análise das superfícies por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), obtendo imagens e medições associadas às espessuras das linhas e o padrão de formação dos LIPSS, relacionando assim esses parâmetros com as alterações de sua superfície. Além disso, algumas das amostras de Ti-6Al-4V marcadas pelo laser foram enviadas a ensaios eletroquímicos, para avaliar possíveis alterações de propriedades anticorrosivas.

Resultados

As etapas de preparação e marcação das amostras ocorreram com êxito, havendo o registro dos parâmetros associados a cada marcação laser e a observação de formação de LIPSS.

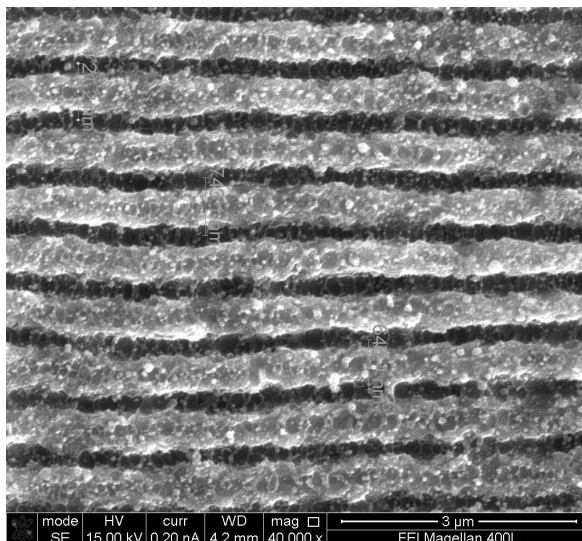


Figura 1: Produção de LIPSS em amostra de Aço 316L em potência de saída de 1,94 mW e velocidade de 0,5 mm/s.

No entanto, a realização do MEV não foi concluída em todas as amostras, devido a indisponibilidade do equipamento no IFSC-USP. Foi dado prosseguimento a essa etapa realizando agendamento nas dependências da UFSCar, mas a insuficiência de dados obtido impediu a elaboração de conclusões mais significativas.

Além disso, os ensaios eletroquímicos em Ti-6Al-4V tiveram suas amostras preparadas com sucesso, porém os parâmetros de marcação adotados nessas amostras em particular resultaram em uma menor capacidade anticorrosiva se comparado com as amostras sem o tratamento laser.

Conclusões

A utilização do tratamento de superfícies metálicas pelo laser femtossegundos é uma técnica ainda não muito bem desenvolvida para aplicação comercial, e o seu comportamento varia para diferentes tipos de metais, o que indica que há a necessidade de se definir condições de operação e parâmetros necessários para a correta aplicação do método em cada metal.

Além disso, como evidenciado pelas imagens do MEV, a adoção de diferentes parâmetros de marcação também está atrelada a diferentes modificações na superfície metálica. Os ensaios eletroquímicos realizados nas amostras de Ti-6Al-4V reforçam esse ponto, pois foi nítido que a adoção errônea desses parâmetros pode inclusive acarretar a piora das propriedades da superfície metálica.

Agradecimentos

Ao Departamento de Engenharia de Materiais da EESC-USP por fornecer a infraestrutura para a preparação de amostras e realização dos ensaios eletroquímicos pertinentes a esse projeto.

Referências

- [1] M. Malinauskas, et al. "Ultrafast laser processing of materials: from science to industry." *Light: Science & Applications*, 5, 8 (2016).
- [2] H. Sun, et al. "A review of effects of femtosecond laser parameters on metal surface properties." *Coatings*, 12, 10 (2022).
- [3] J. M. Liu. "Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes." *Optics letters*, 7, 5 (1982)
- [4] Z. Sun, et al. "Generic incubation law for laser damage and ablation thresholds." *Journal of Applied Physics*, 117, 7 (2015).

Metal texture and resistance analysis with nano and femtosecond laser marking

Breno Costa Ponce

Vinícius Pereira Pinto, Jéferson Aparecido Moreto, Fátima Maria Mitsue Yasuoka,

Jarbas Caiado Castro

IFSC/USP

brenoponce@usp.br

Objectives

The main objective of the project is to study the parameters associated with femtosecond laser marking on metallic surfaces. The research aims to characterize the conditions for the formation of Laser-Induced Periodic Surface Structures (LIPSS) and their ability to improve the macroscopic properties of the modified surface.

Additionally, the project aims to evaluate how these parameters affect the formation of chromium oxide (Cr_2O_3) and iron oxide (Fe_2O_3) layers. This will help determine the ideal conditions for controlled modifications on Ti-6Al-4V and 316L and 420 stainless steel samples, with significantly lower thermal effects compared to continuous wave lasers.

Due to the choice of metals and the expectation of improving their anti-corrosive properties, the project hopes that the results will serve as a foundation for optimizing this texturizing technique, enabling future large-scale industrial and biomedical applications beyond the academic context.

Materials and Methods

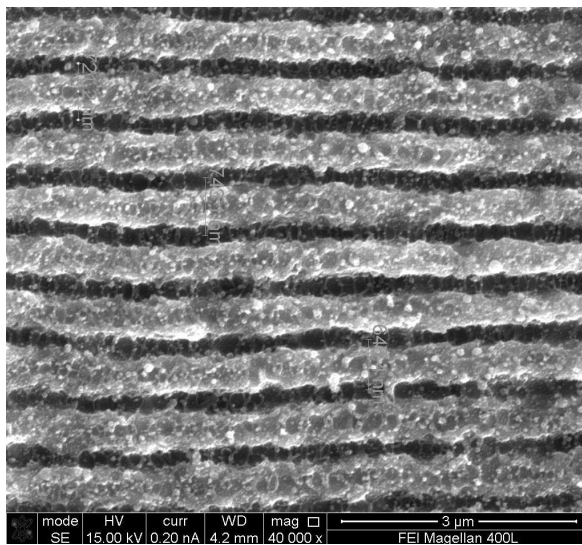
The experimental activities involved preparing, marking, and analyzing samples of 316L and 420 stainless steel and Ti-6Al-4V. The sample characterization procedures were performed in different facilities at USP São Carlos and UFSCar.

Sample preparation began with polishing using a metallographic sanding and polishing machine, with some samples requiring embedding in Bakelite. Afterward, various regions of the polished samples were marked with different parameters using a Ti:Sapphire LIBRA Coherent laser, by varying the laser's marking speed and output power.

The surfaces were then analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM), obtaining images and measurements related to line thicknesses and the LIPSS formation pattern. These parameters were then correlated with the surface changes. Some of the Ti-6Al-4V samples that were marked with the laser were also sent for electrochemical testing to evaluate potential changes in their anti-corrosive properties.

Results

The preparation and laser marking phases of the experiment were carried out successfully, and the parameters associated with each surface treatment were systematically logged. The SEM images allowed to visualize and measure the formation of LIPSS.



Picture 1: LIPSS production on a 316L Steel sample at a laser output power of 1.94 mW and a marking speed of 0.5 mm/s.

Nevertheless, the complete SEM analysis of all samples was hindered by the limited availability of the instrument at IFSC-USP. Efforts to proceed with this characterization were made by securing equipment time at UFSCar; however, the resulting dataset was insufficient, which precluded the formulation of more robust conclusions.

Additionally, regarding the electrochemical assays on Ti-6Al-4V, the samples were prepared as planned. The laser parameters employed on these particular samples, however, led to a diminished anti-corrosion capability in comparison to the non-laser-treated control samples.

Conclusions

The application of femtosecond laser surface treatment on metallic materials remains a technique that is not yet commercially mature. The diverse effects observed across various metals underscore the necessity of establishing well-defined operational conditions and parameters to ensure the appropriate implementation of the method for each specific alloy.

Moreover, as demonstrated by the SEM micrographs, different processing parameters are correlated with distinct surface modifications. This observation is further substantiated by the electrochemical assays on Ti-6Al-4V samples, which clearly showed that the improper selection of these parameters could, in fact, result in the degradation of the surface's intrinsic properties.

Acknowledgements (optional)

To the Department of Materials Engineering at EESC-USP for providing the infrastructure for sample preparation and for carrying out the electrochemical tests relevant to this project.

References

- [1] M. Malinauskas, et al. "Ultrafast laser processing of materials: from science to industry." *Light: Science & Applications*, 5, 8 (2016).
- [2] H. Sun, et al. "A review of effects of femtosecond laser parameters on metal surface properties." *Coatings*, 12, 10 (2022).
- [3] J. M. Liu. "Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes." *Optics letters*, 7, 5 (1982)
- [4] Z. Sun, et al. "Generic incubation law for laser damage and ablation thresholds." *Journal of Applied Physics*, 117, 7 (2015).