

**Qualificação de revestimentos de liga Hastelloy C276 depositados a Laser**



L. E. H. S. Rivero<sup>1</sup>, A. Pizzatto<sup>1</sup> e A. Scheid<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Ensaios Micromecânicos – MTL/PGMec-UFPR  
UFPR PGMec - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica

**Resumo:**

Ligas à base de níquel são amplamente usadas para proteger a superfície de componentes mecânicos em muitas áreas diferentes como, por exemplo, em refinarias de petróleo e dispositivos de geração de energia devido a uma associação de elevada tenacidade, boas propriedades em tração e alta resistência à corrosão. As propriedades dos revestimentos estão associadas à composição química e microestrutura que dependem dos parâmetros de processamento e do substrato a ser protegido. Este trabalho avaliou o efeito da potência do Laser na diluição e microestrutura dos revestimentos de liga Hastelloy C276 depositados sobre substrato de aço inoxidável AISI 304L e ferro fundido nodular GGG40. As propriedades mecânicas foram avaliadas por meio da dureza Vickers e resistência ao risco. A microestrutura dos revestimentos é composta por dendritas de  $\gamma$  (Ni-CFC) e carbonetos dispersos interdendríticamente. A influência mais relevante do substrato nas características dos revestimentos foi observada em diluições mais altas, ou seja, para as deposições com maior potência de Laser.

**Introdução**

**Objetivo**

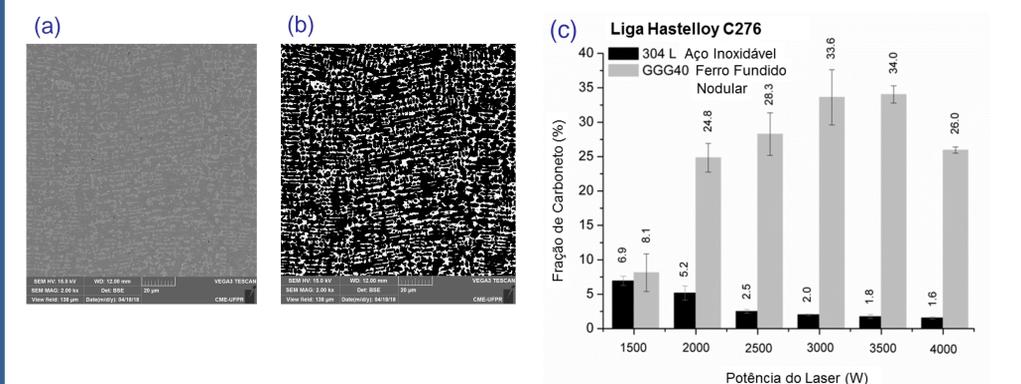
• Abordar o efeito da potência do laser na microestrutura e nas propriedades dos revestimentos de liga Hastelloy C276.

**Abordagem**

• Correlacionar a diluição com a microestrutura e propriedades mecânicas de revestimentos de cordões individuais, visando qualificar o processo de deposição para diferentes substratos. Diferentes potências de laser foram adotadas, conforme a Tabela 1.

A microestrutura dos revestimentos é composta por dendritas de  $\gamma$  (Ni-CFC), contendo carbonetos interdendríticos. A Fig. 2a mostra a microestrutura típica da liga Hastelloy C276 depositada por Laser. A partir do software Image J<sup>TM</sup> as imagens foram analisadas, conforme exemplo mostrado na Fig. 2b. É importante ressaltar que, dependendo do substrato, a fração de carbonetos foi conseqüentemente alterada, como mostra a Fig. 2c.

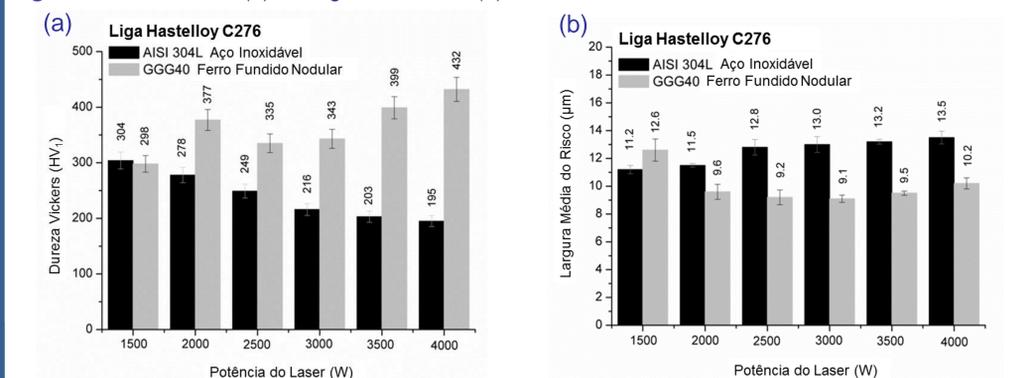
**Fig. 2.** Microestrutura Típica de Revestimentos Hastelloy C276 (a), Microestrutura Image J<sup>TM</sup>(b) e Fração de Carbonetos versus Potência do Laser (c).



Por um lado, os depósitos sobre substrato de ferro fundido nodular indicaram que uma maior diluição resulta em uma fração mais elevada de carbonetos até 3500W de potência de Laser. Assim, maior introdução de carbono (do substrato) resulta em aumento na fração de carbonetos. De fato, acredita-se aqui que em 4000W, a quantidade dos principais formadores de carbonetos é reduzida a um nível crítico, limitando a fração final medida. Ao contrário, os revestimentos sobre aço inoxidável mostraram uma diminuição na fração de carbonetos, uma vez que o substrato apresenta menor teor de carbono que a liga C276.

Considerando o efeito da Potência do Laser nos revestimentos depositados sobre aço inoxidável, tanto a fração de carbonetos quanto a menor quantidade de elementos em solução sólida foram responsáveis pela menor dureza, conforme mostra a Fig. 3a. Por outro lado, como uma tendência geral, a escolha do substrato ferro fundido nodular resultou em uma maior dureza. Apesar de mostrar, neste caso, mecanismos competitivos de endurecimento, isto é, menor teor de elementos em solução sólida e maior fração de carbonetos, o segundo mecanismo foi dominante em relação ao primeiro. Finalmente, os testes de risco indicaram que o comportamento dos revestimentos seguiu as tendências de dureza, ou seja, foi observada maior largura de risco para revestimentos depositados sobre aço inoxidável, como mostrado na Fig. 3b.

**Fig. 3.** Dureza Vickers (a) e Largura de Risco (b) dos Revestimentos.



**Centro de Deposição a Laser (PRECO)**

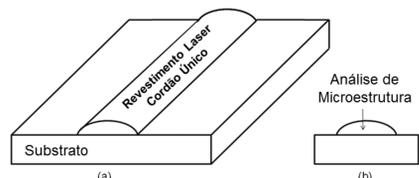


**Tabela 1.** Matriz de Avaliação

Potência do Laser (W)	Substrato	
	Aço Inoxidável AISI 304L	Ferro Fundido Nodular GGG40
1500	X	X
2000	X	X
2500	X	X
3000	X	X
3500	X	X
4000	X	X

**Procedimentos Experimentais**

**1. Avaliação Metalográfica**



**2.2 Método Toyserkani**

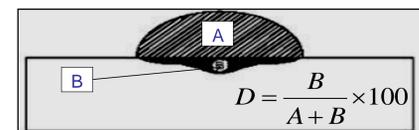
$$\eta = \frac{\rho_c (X_{c+s} - X_c)}{\rho_s (X_s - X_{c+s}) + \rho_c (X_{c+s} - X_c)}$$

Onde:

$\eta$  é a Diluição,  
 $\rho_c$  é a densidade da liga aditiva,  
 $\rho_s$  é a densidade do substrato,  
 $X_s$  é o conteúdo de ferro no substrato,  
 $X_c$  é o teor de ferro da liga aditiva,  
 $X_{c+s}$  é o teor de ferro depositado na liga aditiva.

**2. Diluição**

**2.1 Método de áreas**



Onde:  
D é a diluição,  
A + B é a área total fundida,  
B é a área fundida do substrato.

**3. Microestrutura**

- 3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura e EDS
- 3.2 Análise de difração de raios X
- 3.3 Quantificação de fases (Image J<sup>TM</sup>)

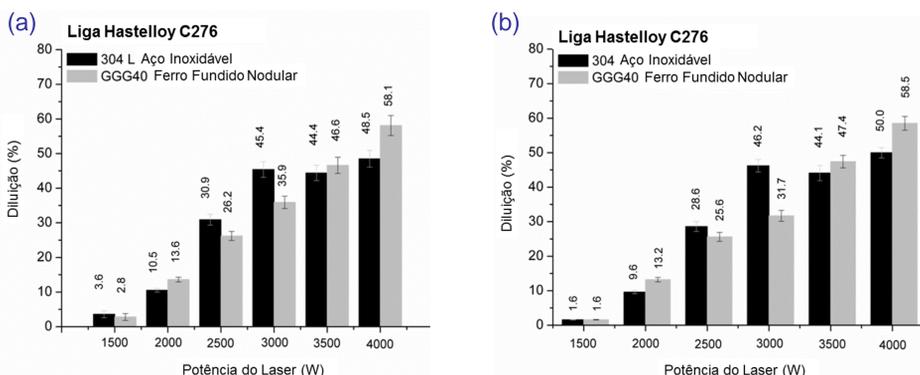
**4. Propriedades Mecânicas**

- 4.1 Dureza Vickers (HV<sub>1</sub>)
- 4.2 Testes de Risco (Carga de 100mN)

**Resultados e Discussão**

**Fig. 1** mostra a diluição obtida para deposição em diferentes substratos. Diluição versus potência do Laser apresentou uma correlação linear, excetuando-se os depósitos sobre aço AISI 304 L em potências a partir de 3500 W.

**Fig. 1.** Diluição versus Potência do Laser: (a) Método de Áreas e (b) Método de Toyserkani.



**Conclusão**

- 1 - Foi observada maior diluição para maior potência do Laser. No entanto, partindo de 3500W, a absorvidade do aço inoxidável AISI 304 L influenciou a diluição, levando a valores similares.
- 2 - O presente estudo destacou a importância da qualificação dos parâmetros de processamento a Laser e indicou claramente a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de modelos para a previsibilidade das propriedades finais dos revestimentos.
- 3 - Notavelmente, a compreensão da influência do substrato nas propriedades dos revestimentos deve orientar o estabelecimento de critérios para o projeto de engenharia de superfícies de revestimentos.
- 4 - Este trabalho evidenciou que propriedades similares de revestimentos podem ser obtidas, desde que menor diluição seja o objetivo. Caso contrário, considerando a engenharia de superfície como ciência, a alta diluição é uma opção potencial para otimizar propriedades específicas.

[lubarsantos@yahoo.com.br](mailto:lubarsantos@yahoo.com.br) - [apzztt@gmail.com](mailto:apzztt@gmail.com) - [scheidadriano@gmail.com](mailto:scheidadriano@gmail.com)

**Promoção:**



**Apoio Institucional:**

