

COMPARAÇÃO TRIBOLÓGICA DE REVESTIMENTOS DE INCONEL 625 VIA PROCESSOS LASER E TIG

Rafael Gomes Nunes Silva¹

Milton Pereira¹

Jurandir Marcos Sá de Sousa¹

Adriano de Souza Pinto Pereira¹

João Victor El-Hage Meyer Osório¹

Kaue Correa Riffel²

Richard de Medeiros Castro³

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Mecânica de Precisão - Laser, LMP Laser

²Universidade Federal de Santa Catarina, Instituto de Soldagem e Mecatrônica, LABSOLDA

³Faculdade SATC, Laboratório de Vibrações e Acústica

rafaelnunes.mat@hotmail.com

milton.pereira@ufsc.br

marcos.jurandir@yahoo.com.br

adriano.sppereira@gmail.com

joaoosorio1@hotmail.com

kaue.riffel@posgrad.ufsc.br

richard.castro@satc.edu.br

Resumo. A busca por processos e materiais que aumentem a resistência de componentes metálicos à mecanismos de desgaste representam um objetivo comum a todos os setores da indústria. Essa busca, sempre alinhada a questões financeiras, se traduz na necessidade de aplicações de revestimento, onde materiais mais nobres são depositados somente onde são realmente necessários. O presente trabalho aborda, através de ensaios tribológicos de microdureza e resistência ao desgaste, uma comparação da contribuição das características inerentes aos processos de revestimento Laser e TIG para o aumento da resistência e, conseqüentemente, redução dos custos envolvidos com a manutenção e troca de componentes desgastados em serviço. Para se atingir uma avaliação mais fiel ao propósito de comparação entre os dois processos mencionados, foram utilizados parâmetros de modo a se alcançar o mesmo resultado de diluição.

Palavras chave: Soldagem, Revestimento, Tribologia, Laser, TIG

1. INTRODUÇÃO

Os mecanismos de desgaste estão presentes em todos os setores da indústria e representam uma enorme fração do investimento financeiro e de energia despendidos para a execução da atividade. Homberg e Erdemir (2017), através de uma pesquisa para quantificar a energia mundialmente utilizada devido ao desgaste e atrito dos componentes, estimaram que 3% do consumo global de energia é destinado à fabricação de novos componentes para substituir aqueles desgastados, e que um valor de 970.000 milhões de euros poderia ser economizado nos próximos 12 anos com a utilização de tecnologias de proteção aos componentes contra o desgaste.

Uma alternativa econômica e viável para mitigar o desgaste é proteger os equipamentos com revestimentos metálicos. Assim, o equipamento pode manter os metais mais nobres, e que necessitam de maior investimento, apenas nas regiões onde suas propriedades químicas e mecânicas serão realmente necessárias.

O processo de revestimento Laser, um processo relativamente novo e concorrente ao processo TIG (*Tungsten Inert Gas*), pode aplicar tais revestimentos com alta precisão e reprodutibilidade, minimizando a ocorrência de elevada diluição, distorções, falta de fusão e a formação de uma larga zona termicamente afetada, conforme descrevem Toyserkani, *et al* (2005) e Da Silva (2016). Este trabalho avalia o comportamento de microdureza e resistência ao desgaste de revestimentos com Inconel 625 realizados pelos processos mencionados, devido às elevadas resistências contra mecanismos de desgaste e corrosão das ligas de Ni, conforme indicam Gunen, A (2017), Jeong, J. (2016), Phiri, R. (2018) e Fox, G. R. (2010).

O processo TIG é amplamente utilizado em aplicações de revestimento por, além de elevada qualidade microestrutural, permitir uma independência entre o calor aportado e a velocidade de material adicionado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos procedimentos, foi utilizado Argônio (Ar) como gás de arraste e gás de proteção para ambos os processos. No processo Laser a adição de material ocorre mais comumente em forma de pó, esta modalidade foi utilizada, com granulometria entre $-106+53\ \mu\text{m}$, enquanto no processo TIG o material foi adicionado em forma de arame, com diâmetro de 1,2 mm. O objetivo da comparação nesses termos se dá pela busca de uma comparação coerente aos meios mais naturais à realidade industrial. Nos dois processos, utilizou-se a liga Inconel 625 (Tabela 1) como material de adição e AISI SAE 1020 como substrato.

Tabela 1 - Composição química da liga Inconel 625.

Elemento	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb + Ta	Ti	Al	Si	Mn	Co	C
% wt.	Balanço	21,7	8,8	3,9	3,9	0,23	0,17	0,15	0,14	0,08	0,05

O processo de soldagem TIG utilizou um pré-aquecimento do arame (50 A), com alimentação de 2000 mm/min, corrente de soldagem de 250 A e uma velocidade de soldagem de 500 mm/min.

O sistema de cladding por laser é composto uma fonte IPG PHOTONICS® YLS-10000, seguido por um cabeçote coaxial de cladding, com uma taxa de deposição de 11,2 g/min, potência laser de 1,4 kW e uma velocidade de operação de 800 mm/min.

Os perfis de microdureza foram construídos a partir de 3 repetições de análises a cada 0,5 mm de espaçamento, conforme sugere a norma ASTM E92.17, conforme pode-se observar na Figura 1.

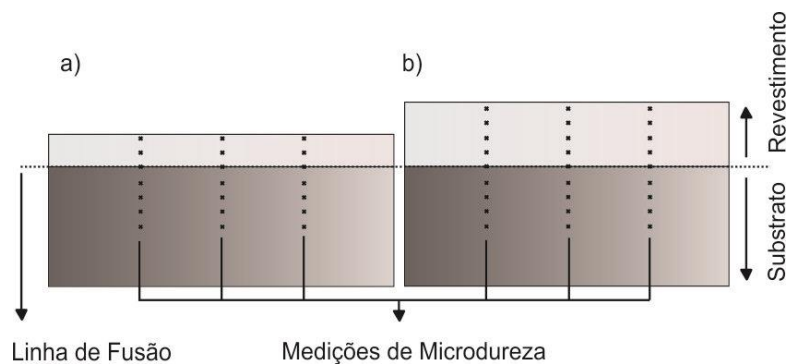


Figura 1 - Perfis transversais evidenciando as indentações das medições de microdureza e as linhas de fusão das chapas revestidas pelos processos a) laser e b) TIG.

As diluições dos dois perfis foram medidas utilizando o método geométrico, onde após a preparação metalográfica, a seção transversal foi atacada com o ácido Nital 5% e analisada no microscópio ótico. A relação da diluição pode ser calculada através da Figura 2 e Equação 1.

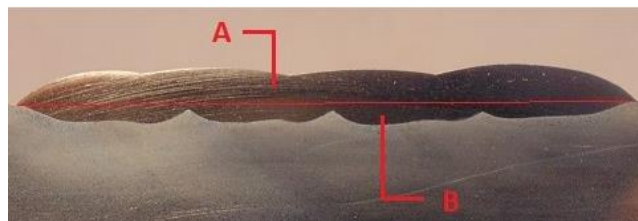


Figura 2 – Seção transversal de uma amostra revestida e preparada metalograficamente para análise geométrica de diluição

$$\text{Diluição (\%)} = \frac{\text{Área Penetração (B)}}{\text{Área Revestimento (A)} + \text{Área Penetração (B)}} \times 100 \quad (1)$$

Uma outra área transversal de cada amostra revestida foi levada ao ensaio de microdureza HV₁, sofrendo uma carga de 10 N por 10 s.

Ensaio de desgaste foram realizados nas superfícies das amostras de dimensões 76 cm de comprimento, 25,4 cm de largura e 12,7 cm de espessura, com um tribômetro ASTM-65, com parâmetros relativos ao procedimento A, utilizando

uma carga de 130 N aplicada de forma constante ao longo dos 30 min de ensaio, areia abrasiva de granulometria média de 595 μm e um fluxo de areia de 390 g/min. A areia abrasiva foi também pré-aquecida a 100°C por 1 hora, com a finalidade de remoção da umidade. O coeficiente de desgaste foi avaliado pausando o teste a cada 5 min. O desgaste foi obtido pela perda de massa do revestimento, e em seguida, a correção com a dureza foi obtida.

3. DISCUSSÕES DE RESULTADOS

A partir da análise geométrica de diluição dos cordões, foi obtido um valor de 27% para o processo de soldagem TIG, e de 24% para o processo laser. Cabe ressaltar que esses valores, principalmente ao caso do processo Laser, está distante de sua faixa otimizada, porém parâmetros que resultaram nesses valores foram escolhidos com objetivo de se comparar a densidade de potência de ambos os processos.

Conforme indica Deschuyteneer, *et al* (2017) e consolidado na literatura, a velocidade de resfriamento possui um forte impacto no refino de grãos do material, o que se traduz na dureza do material resfriado subitamente.

Conforme pode-se observar na Figura 3, a microdureza do revestimento por Laser foi calculada somente até 1 mm da linha de fusão, já que o mesmo possuía uma espessura menor para, novamente, manter valores similares de diluição; fato este enxergado como positivo para diversas aplicações de revestimento.

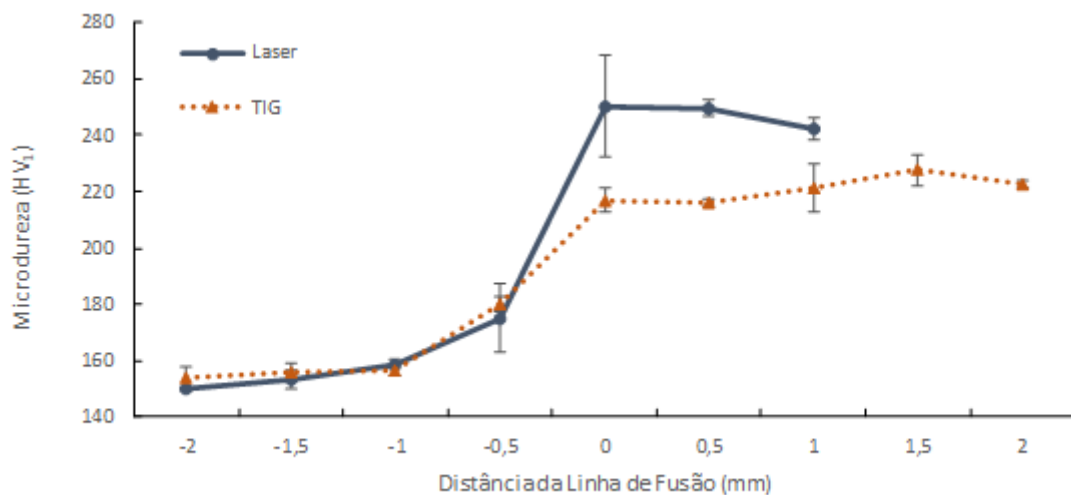


Figura 3 - Análise de microdureza dos revestimentos realizados pelos processos Laser e TIG

A partir dos perfis de dureza, calculou-se os valores médios de 247 HV e 218 HV para as amostras revestidas pelos processos Laser e TIG, respectivamente.

Como trata-se dos mesmos materiais envolvidos e valores de diluição similares, pode-se constatar a influência da velocidade de resfriamento em cada processo para o constatado aumento de dureza no processo Laser. Por se tratar de um processo com uma menor área afetada pelo calor do processo, o processo Laser, além do benefício do refino de grãos comentado, apresenta ainda uma zona termicamente afetada menor e menores índices de distorções, quando comparado aos processos tradicionais de revestimento a arco voltaico.

O ensaio de desgaste forneceu um valor de perda mássica do revestimento a cada 5 min de ensaio. Esses valores foram relacionados com a densidade do Inconel 625 e então analisadas como perda volumétrica, conforme segue na Figura 4.

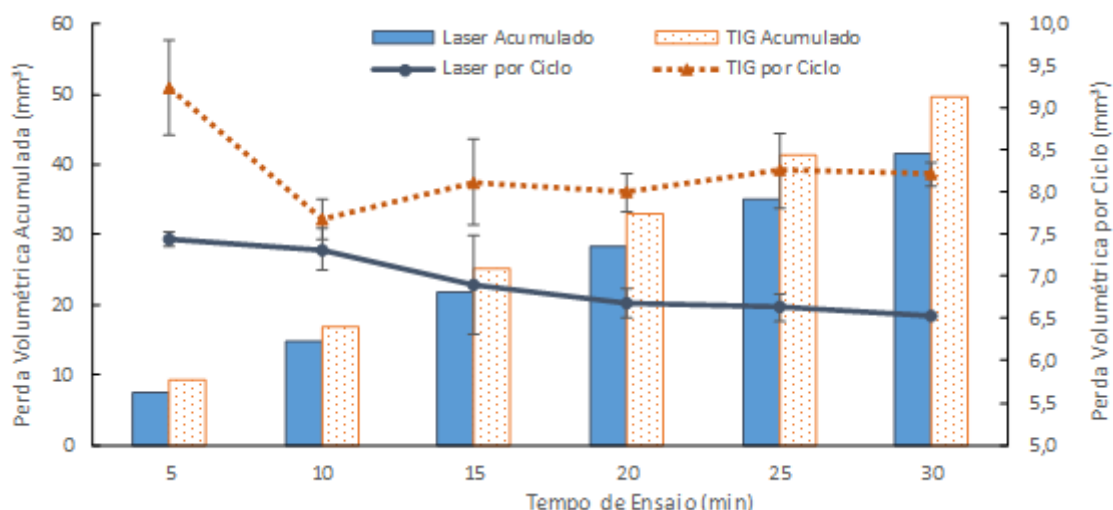


Figura 4 - Análise de perda volumétrica total e por ciclo de 5 min das amostras revestidos pelos processos Laser e TIG

Após 30 min de ensaio, as amostras foram analisadas e os valores de perda volumétrica totais foram de 41,5 mm³ e de 45,9 mm³ nas amostras revestidas pelos processos Laser e TIG, respectivamente.

Uma lógica relação entre a dureza obtida e o valor de perda volumétrica pode ser observada na Figura 5.

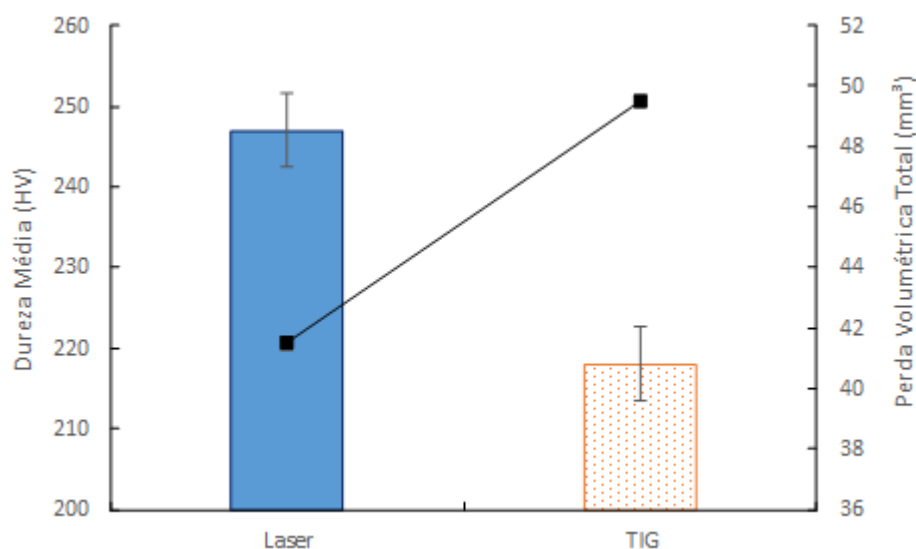


Figura 5 - Relação de microdureza e perda volumétrica total das amostras revestidas pelos processos Laser e TIG

4. CONCLUSÕES

Com objetivo de promover uma relação entre as velocidades de resfriamento dos processos Laser e TIG com as microdurezas, e consequentemente resistência ao desgaste, os parâmetros foram utilizados para se manter uma mesma densidade de potência. Foram obtidos valores médio de microdureza de 247 HV e perda volumétrica total de 41,5 mm³ para a amostra soldada pelo processo Laser e valores médio de microdureza de 218 HV e perda volumétrica de 45,9 mm³ para a amostra soldada pelo processo de soldagem TIG.

Aliado às já comentadas, maior facilidade de se alcançar menores valores de diluição e menores espessuras de revestimento, a relação entre a taxa de resfriamento inerente ao processo com seu aumento de resistência ao desgaste torna o processo Laser ainda mais atraente às aplicações de revestimento.

5. REFERÊNCIAS

- Da Silva, L. J. *NiCrSiBC coatings: Effect of dilution on microstructure and high temperature tribological behavior*. Wear, 2016. V. 350, p. 130-140.
- Fox G. R. and Liang H., "Wear Mode Comparison of High-Performance Inconel Alloys," J. Tribol., vol. 132, no. 2, p. 021603, 2010.

Gunen, A.; Kanca, E. Microstructure and Mechanical Properties of Borided Inconel 625 Superalloy. *Revista Materia*, v. 22, n. 2, 2017.

Holmberg, K.; Erdemir, A.; *Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions*. Friction, 2017. V. 3, p. 263 - 284.

Jeong, J. H. et al. Evaluation on the Corrosion and Wear Resistance of Welding Zone Welded with Plasma Transferred Arc Welding Method. International Conference on Material Science and Engineering, ICMSE 2016.

Phiri, R. R. et al. Effect of Coating Thickness on Wear Performance of Inconel 625 Coating. 2018 4th International Conference on Applied Materials and Manufacturing Technology, ICAMMT 2018, 2018. 1: Institute of Physics Publishing.

Toyserkani, E.; Corbin, S.; Khajepour, A. *Laser Cladding CRC Press*, 2005. Boca Raton, Florida.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

TRIBOLOGICAL COMPARISON OF INCONEL 625 COATINGS VIA LASER AND GTAW PROCESSES

Rafael Gomes Nunes Silva¹

Milton Pereira¹

Jurandir Marcos Sá de Sousa¹

Adriano de Souza Pinto Pereira¹

João Victor El-Hage Meyer Osório¹

Kaue Correa Riffel²

Richard de Medeiros Castro³

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Precision Engineering Laboratory - Laser, LMP Laser

²Universidade Federal de Santa Catarina, Welding and Mechatronics Institute, LABSOLDA

³Faculdade SATC, Laboratory of Vibrations and Acoustics

rafaelnunes.mat@hotmail.com

milton.pereira@ufsc.br

marcos.jurandir@yahoo.com.br

adriano.sppereira@gmail.com

joaoosorio1@hotmail.com

kaue.riffel@posgrad.ufsc.br

richard.castro@satc.edu.br

Abstract. The search for processes and materials that increase the resistance of metal components to wear mechanisms represents a common goal to all industry sectors. This search, always aligned with financial issues, translates into the need for coating applications, where nobler materials are deposited only where they are really needed. The present work, through tribological tests of microhardness and wear resistance, is a comparison of the contribution of the inherent characteristics to the laser and TIG coating processes for the increase of the resistance and, consequently, reduction of the costs involved with the maintenance and exchange of components worn in service. In order to achieve a more accurate evaluation to the purpose of comparison between the two mentioned processes, parameters were used to achieve the same dilution result.

Keywords: Welding, Coating, Tribology, Laser, GTAW

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.