

MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 420S DEPOSITADO POR L-DED VIA NITRETAÇÃO A PLASMA E DEPOSIÇÃO DE STELLITE 6

Lucas Gabriel Fagundes da Silva, Naiah Domingues Ferracioli, Luis César Fontana, Danielle Bond

INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA) refere-se a um conjunto de processos de fabricação, baseado na construção de peças por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, que vem transformando a indústria de base ao permitir que componentes com geometrias altamente complexas sejam fabricados com maior flexibilidade e economia de material (ASTM, 2021). Dentre estes processos, destaca-se a Deposição com Energia Direcionada a Laser (L-DED), no qual um material, na forma de pó metálico, é fundido sobre um substrato por um feixe de laser. Ele é particularmente adequado para a criação de peças de grande volume, para o reparo de componentes e/ou para a aplicação de revestimentos (ASTM, 2023). Diversos materiais vêm sendo empregados no processo L-DED, incluindo ligas de alumínio, titânio, níquel e, sobretudo, aços inoxidáveis, devido à sua vasta aplicação industrial e à sua reação positiva perante ao processamento térmico. Neste sentido, o aço inoxidável martensítico AISI 420S destaca-se por sua elevada dureza, boa resistência à corrosão e razoável resistência ao desgaste, sendo largamente empregado na produção de instrumentos cirúrgicos, moldes para injeção de polímeros e componentes de máquinas (ASM, 1998). Entretanto, quando submetido a aplicações eminentemente abrasivas, tal material pode apresentar limitações de desempenho, fazendo-se necessária uma modificação das suas propriedades superficiais a fim de garantir maior resistência ao desgaste e, portanto, maior durabilidade e confiabilidade operacional. Para tanto, dois métodos demonstram-se bastante eficazes: a nitretação a plasma, um tratamento termoquímico onde um plasma é gerado através da aplicação de um campo elétrico e íons de nitrogênio são acelerados em direção à superfície do material, provocando o aumento da dureza e da resistência ao desgaste, à fadiga e à corrosão devido à formação de nitretos (ASM, 2013); e a deposição de revestimentos duros, como o Stellite 6, um processo fundamentado na aplicação de uma superliga à base de cobalto que oferece excelente resistência ao desgaste, à corrosão e à oxidação em altas temperaturas (ASM, 1993). Sob este contexto, portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o aumento da resistência ao desgaste no aço inoxidável AISI 420S depositado por L-DED após modificação superficial via nitretação a plasma e deposição de Stellite 6.

DESENVOLVIMENTO

Ao todo, nove corpos de prova (CDPs) com 21 mm de diâmetro e 15 mm de espessura foram fabricados por L-DED, sendo três para cada condição. Os pós utilizados na deposição dos CDPs foram de AISI 420S, com granulometria de 45-90 μm , e de Stellite 6, com granulometria de 53-150 μm , ambos atomizados a gás. As deposições foram realizadas em substratos de AISI 420, com dimensões de 250 x 100 x 10 mm. Os CDPs revestidos com Stellite 6 foram fabricados com 13 mm de AISI 420S e 2 mm de revestimento, sendo este aplicado na superfície de topo. A deposição foi realizada no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Manufatura e Laser, em uma máquina RPM Innovations RPMI 535, com: *spot size* de 1,52 mm, taxa de alimentação do pó de 7,5 g/min, potência do laser de 1100 W, velocidade de varredura de 635 mm/min, *hatch spacing* de 1 mm e altura da camada de 1 mm, para o AISI 420S; e *spot size* de 1,52 mm, taxa de alimentação do pó de 7,5 g/min, potência do laser de 1000 W, velocidade de varredura

de 650,24 mm/min, *hatch spacing* de 1,057 mm e altura da camada de 0,578 mm, para o Stellite 6. Após a deposição, os CDPs foram lixados com lixas d'água 100, 320, 400 e 600 e polidos com alumina de 1 μm , para garantir que a rugosidade fosse menor ou, no máximo, igual a 0,8 μm , de acordo com a norma ASTM G99 (ASTM, 2017). A rugosidade superficial dos CDPs foi medida em um rugosímetro Mitutoyo SJ-210, com perfil de filtro de 2,5 μm e velocidade de deslocamento da agulha de 0,5 mm/s, onde o maior valor obtido foi de 0,049 μm . A nitretação a plasma de três dos nove CDPs foi realizada por um tempo total de 6 h no Laboratório de Plasmas, Filmes e Superfícies/UDESC, em um reator a vácuo sob potencial flutuante, a uma temperatura de 400 °C, em uma atmosfera composta por 75% de H₂ e 25% de N₂, com pressão de 4 Torr e tensão de 400 V. Antes da nitretação, os CDPs foram submetidos a um processo de limpeza de óxidos e impurezas no mesmo reator, sendo expostos por 45 min à uma atmosfera de 90% de H₂ + 10% de Ar, com pressão de 2 Torr e tensão de 300 V. Os ensaios de desgaste foram realizados no Laboratório de Metalurgia do Pó/UDESC, em um tribômetro de pino sobre disco Tri Bom CZ1000, utilizando-se uma esfera de alumina de 3 mm de diâmetro como contracorpo, com velocidade de deslizamento de 0,15 m/s, carga de 10 N, diâmetro da pista de 18 mm e distância percorrida de 1000 m. Por fim, a área desgastada da pista dos CDPs foi medida em um perfilômetro Mitutoyo Contracer CV-2100, com comprimento de medição de 2,50 mm, passo de 0,0020 mm e velocidade de deslocamento da agulha de 0,20 mm/s. Cada pista foi medida em quatro locais e os resultados médios foram apresentados com seus respectivos erros-padrão.

RESULTADOS

Os CDPs nitretados apresentaram o pior desempenho tribológico entre as três condições, com volume desgastado médio de $(5,28 \pm 2,068) \text{ mm}^3$, coeficiente de atrito médio de $0,73 \pm 0,070$ e taxa de desgaste específica média de $(52,83 \pm 20,679) \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Em contrapartida, os CDPs revestidos com Stellite 6 apresentaram os resultados mais satisfatórios entre as três condições, com volume desgastado médio de $(1,30 \pm 0,084) \text{ mm}^3$, coeficiente de atrito médio de $0,46 \pm 0,009$ e taxa de desgaste específica média de $(6,65 \pm 0,838) \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Os CDPs como depositados, por fim, apresentaram um comportamento intermediário entre as três condições, com volume desgastado médio de $(0,67 \pm 0,503) \text{ mm}^3$, coeficiente de atrito médio de $0,79 \pm 0,010$ e taxa de desgaste específica média de $(12,96 \pm 5,026) \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Estes resultados indicam que o aço AISI 420S aditivo, após a nitretação, sofreu uma diminuição significativa da resistência ao desgaste em relação ao como depositado. O comportamento dos CDPs com Stellite 6 confirma que a deposição deste revestimento é, de fato, efetiva no aumento da resistência ao desgaste do aço AISI 420S aditivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez que as amostras nitretadas apresentaram resistência ao desgaste inferior às amostras como depositadas, sugere-se o aparecimento de camada branca típica desse processo. Fragmentos da camada branca podem se soltar e atuar como partículas abrasivas entre o pino e o disco, aumentando o desgaste. Diante dos resultados obtidos, os próximos passos da pesquisa devem incluir a caracterização detalhada da superfície das amostras nitretadas, com foco na identificação e confirmação da presença da camada branca. Caso sua formação seja comprovada serão investigados novos parâmetros de nitretação, que permitam melhorar a resistência ao desgaste sem induzir a formação dessa camada frágil.

Palavras-chave: Manufatura aditiva; Aço inoxidável martensítico; Plasma; Revestimento com superliga; Resistência ao desgaste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM INTERNATIONAL. ISO/ASTM 52900:2021(E): Additive manufacturing - General principles - Fundamentals and vocabulary - Second Edition. American Society for Testing and Materials, Suíça: ASTM International, 2021.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM F3187: Standard Guide for Directed Energy Deposition. American Society for Testing and Materials, Pensilvânia: ASTM International, 2023.

ASM International Handbook Committee. ASM Desk Edition: Metals Handbook Desk Edition - Second Edition, Ohio: ASM International, 1998.

ASM International Handbook Committee. ASM Handbook: Volume 4A - Steel Heat Treating Fundamentals and Processes, Ohio: ASM International, 2013.

ASM International Handbook Committee. ASM Handbook: Volume 6 - Welding, Brazing, and Soldering. Ohio: ASM International, 1993.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM G99-17: Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. Pensilvânia: ASTM International, 2017.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Lucas Gabriel Fagundes da Silva

MODALIDADE DE BOLSA: PROBIC/UDESC

VIGÊNCIA: Setembro/2024 a Agosto/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): Danielle Bond

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia Mecânica

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharias / Engenharia Mecânica

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Tratamentos termoquímicos superficiais por plasma em metais depositados por manufatura aditiva

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: PVCT158-2024