

## 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  $\mu\text{m}$ , para garantir que a rugosidade fosse menor ou, no máximo, igual a 0,8  $\mu\text{m}$ , 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  $\mu\text{m}$  e velocidade de deslocamento da agulha de 0,5 mm/s, onde o maior valor obtido foi de 0,049  $\mu\text{m}$ . 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 H<sub>2</sub> e 25% de N<sub>2</sub>, 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 H<sub>2</sub> + 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  $(5,28 \pm 2,068)$  mm<sup>3</sup>, coeficiente de atrito médio de  $0,73 \pm 0,070$  e taxa de desgaste específica média de  $(52,83 \pm 20,679) \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/Nm. Em contrapartida, os CDPs revestidos com Stellite 6 apresentaram os resultados mais satisfatórios entre as três condições, com volume desgastado médio de  $(1,30 \pm 0,084)$  mm<sup>3</sup>, coeficiente de atrito médio de  $0,46 \pm 0,009$  e taxa de desgaste específica média de  $(6,65 \pm 0,838) \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/Nm. Os CDPs como depositados, por fim, apresentaram um comportamento intermediário entre as três condições, com volume desgastado médio de  $(0,67 \pm 0,503)$  mm<sup>3</sup>, coeficiente de atrito médio de  $0,79 \pm 0,010$  e taxa de desgaste específica média de  $(12,96 \pm 5,026) \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/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