cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Influência da Profundidade de Textura a Laser na Resistência ao Desgaste e Molhabilidade do Aço DIN 1.2367 Nitretado e Revestido

João Vitor Piovesan Dalla Nora[1]; Thiago Marques Ivaniski[1]; Felipe Canal[1]; Morvan Silva Franco[1]; Frederico Murilo Wlassak[1]; Leandro Bettoni Ortega[2]; Gabriel Rogério da Silva[3]; Milton Pereira[3]; Alexandre da Silva Rocha[1]

1.Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); 2. Oerlikon Balzers USA ; 3. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Introdução

A combinação de nitretação a plasma e revestimento PVD, conhecida como tratamento duplex, é amplamente aplicada em processos de conformação a quente, pois aumenta a vida útil de matrizes [1-3]. Paralelamente, a texturização superficial a laser com *dimples* tem sido reconhecida por melhorar a retenção de lubrificante e reduzir o atrito [4-5]. Contudo, o efeito combinado da profundidade dos dimples em relação à espessura do revestimento no desempenho tribológico de aços para trabalho a quente permanece subexplorado [6-8].

Objetivos

Avaliar *dimples* de 2 µm e 10 µm (confinados ao revestimento *versus* expondo o substrato) na resistência ao desgaste e molhabilidade do DIN 1.2367 apenas nitretado e do aço com tratamento dúplex (nitretação + CrN/CrAlTiN).

Metodologia

Foi utilizado o aço DIN 1.2367 (51 HRC), em amostras polidas de 25 mm de diâmetro e 6 mm de altura. A sequência dos tratamentos superficiais está descrita na Figura 1. A texturização foi realizada com laser de fibra de itérbio em regime de picossegundos (1030 nm, 50 W, 1,5 ps, taxa de repetição ajustável até 2750 kHz), com feixe focalizado a aproximadamente 30 µm por uma lente F-theta de 100 mm e direcionado por um cabeçote galvanométrico de alta velocidade, gerando dimples hemisféricos de 100 µm de diâmetro, densidade de área de 62% e profundidades de 2 µm e 10 µm. A caracterização envolveu MEV com EDS, microscopia óptica, medições de ângulo de contato e ensaios pino-disco a seco (ASTM G99-17), com perfilometria 3D.

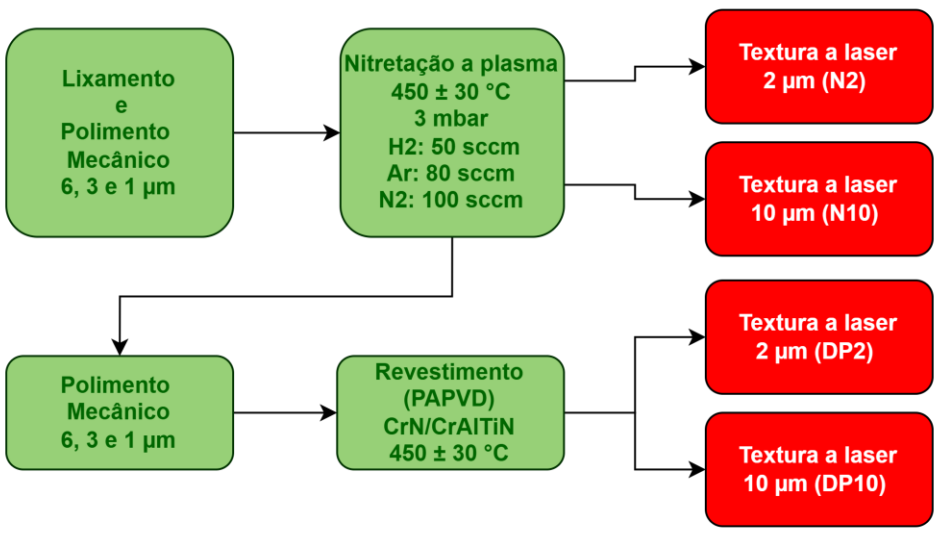


Figura 1. Fluxograma de tratamentos superficiais

Resultados e Discussão

As imagens de MEV evidenciaram reprodutibilidade satisfatória do padrão de *dimples* com diâmetros dentro da faixa de 100 µm (Figura 2 A). Em relação à molhabilidade (Figura 2 C), a superfície apenas nitretada apresentou comportamento inicialmente hidrofílico, enquanto a dúplex exibiu caráter hidrofóbico (acima de 90°); após a texturização, o menor ângulo de contato (24,17°) foi obtido para a condição N2, seguido pela DP2 (35,82°). Nos ensaios pino-disco, a condição N2 apresentou textura completamente desgastada na trilha, porém com largura e profundidade menores que a N10; as amostras com tratamento dúplex preservaram os *dimples*, que atuaram na retenção de detritos, resultando em menor volume desgastado do que as amostras apenas nitretadas e a profundidade de 2 µm proporcionou o menor volume em ambos os tratamentos (Figura 2 B e D).

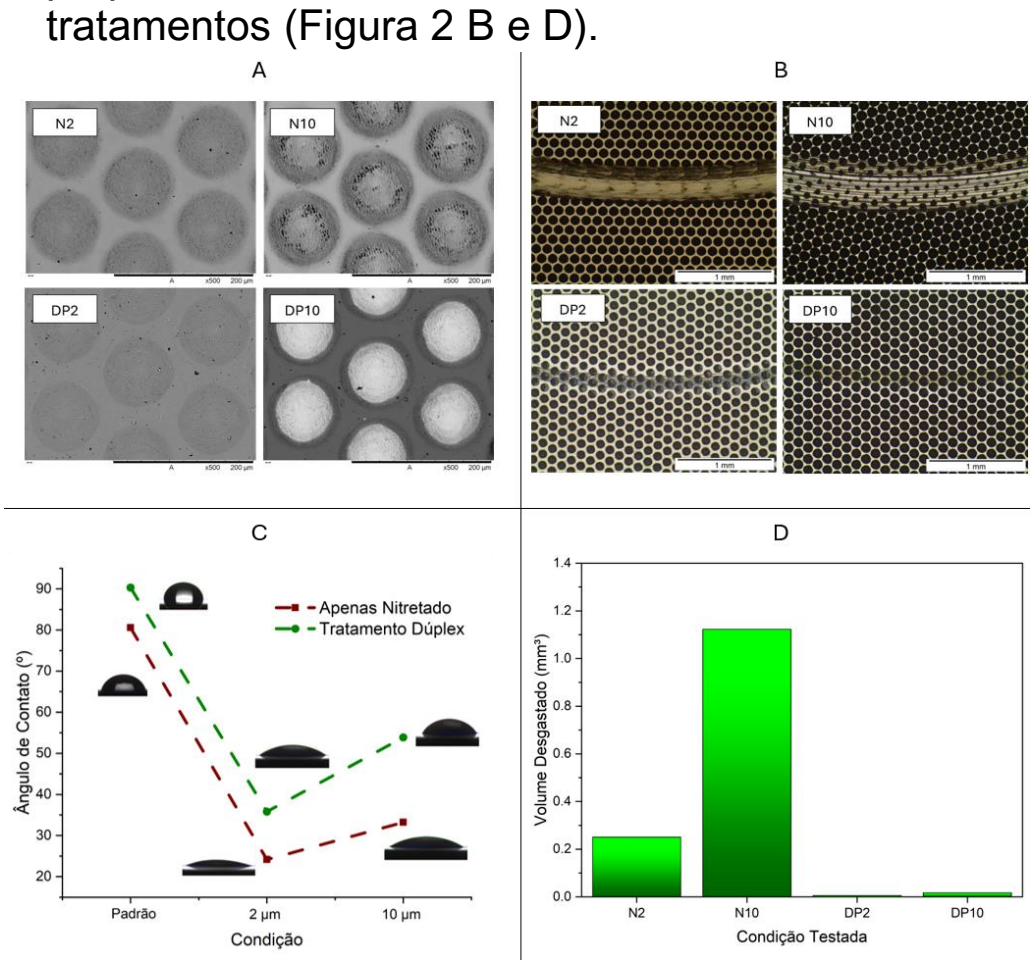


Figura 2. MEVs da superfície texturizada (A), trilhas de desgaste(B), resultados de ângulo de contato (C) e volume desgastado (D)

Conclusões

A texturização a laser com profundidade de 2 µm mostrou-se mais eficaz do que a de 10 µm: preservou a integridade do revestimento CrAlTiN, minimizou o volume desgastado, reduziu o ângulo de contato, o que confirma seu potencial para aplicação em matrizes de forjamento a quente.

Referências e Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no Brasil, por meio do processo da Chamada Universal número 316374/2024-0, processo Auxílio à Pesquisa (APQ) número 407742/2023-9 e com o apoio da FUNDEP, sendo parte do Projeto MOVER: Projeto e Fabricação de Matrizes de Forjamento Integrados à Engenharia de Superfícies. J.V.P.D. Nora agradece ao CNPq (Processo n.º 140743/2024-3), F. Canal agradece à CAPES (Processo n.º 88887.988547/2024-00), F. M. Wlassak agradece à CAPES (Processo n.º 88887.007108/2024-00), M.S. Franco agradece à CAPES (Processo n.º 88887.842729/2023-00) e A. S. Rocha agradece ao CNPq/MCTI Nº 10/2023 (Grant 308773/2018-7).

[1]EMANUELA, Affronti; MARION, Merklein. Metallographic Analysis of Nakajima Tests for the Evaluation of the Failure Developments. **Procedia Engineering**, [*s. l.*], vol. 183, p. 83–88, 2017. [2]DAS, Kalyan et al. Influence of pretreatment on surface behavior of duplex plasma treated AISI H13 tool steel. **Surfaces and Interfaces**, [s. l.], vol. 8, no April, p. 206–213, 2017. [3] JOKAR, Katayoon et al. Impact of duplex plasma nitriding and AlCrN coating on mechanical, tribological, and corrosion properties of H13 tool steel. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], vol. 41, p. 1804–1813, 2026. [4] SHIHOMATSU, Andre; BUTTON, Sergio Tonini; SILVA, Iris Bento Da. Tribological Behavior of Laser Textured Hot Stamping Dies. **Advances in Tribology**, [s. l.], vol. 2016, 2016. [5] KRAHMER, D. Martinez et al. Friction characterization when combining laser surface texturing and graphite-based lubricants. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], vol. 9, no 2, p. 1759–1767, 2020. [6] BONDAREV, Andrey et al. Textured coating or coated texture: Femtosecond laser texturing of a-C:H/WC coatings for dry friction applications. **Surface and Coatings Technology**, [s. l.], vol. 469, 2023. [7] DA SILVA, Gabriel Rogério et al. Laser dimple texturing strategy for lubricated tribological applications. 2026. **Procedia CIRP**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2026. p. 796–800. [8] THOMAS, Robert; SEITZ, Hermann; SCHNELL, Georg. Effect of Laser Scanning Parameters on Topography and Morphology of Femtosecond Laser-Structured Hot-Work Tool Steel Surfaces. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, [s. l.], vol. 10, no 2, 2026.