



GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CAVITAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE CARBONETOS COMERCIAIS COM LIGAS FEMNCRSI EXPERIMENTAIS APLICÁVEIS EM ROTORES DE TURBINAS HIDRÁULICAS POR ASPERSÃO TÉRMICA HVOF

ANDRÉ CHICOSKI; ROMILDO TRISTANTE(1); GUSTAVO BAVARESCO SUCHARSKI(2); MURILO SÉRGIO LAMANA(2); PEDRO POLATO BITES COSTA(2); ANDERSON GERALDO MARENDA PUKASIEWICZ(3) COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.(1); LACTEC(2); UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ(3)

RESUMO

Visando reduzir desgaste e custos de manutenção de componentes de turbinas hidráulicas, estuda-se aplicações de revestimentos por aspersão térmica, que agem como barreiras de sacrifício resistentes à cavitação. Foi comparada resistência à erosão por cavitação de ligas comerciais com ligas experimentais desenvolvidas em P&D Copel/LACTEC. As aplicações dos revestimentos foram pelo processo HVOF. Os ensaios de cavitação foram executados conforme ASTM G32, foram realizadas análises de morfologia, microdureza e aderência. Os resultados indicaram valores reduzidos de perda de massa para as ligas experimentais, mais resistentes que revestimentos duros de carbonetos, em níveis similares daquele apresentado pelo aço CA6NM fundido.

PALAVRAS-CHAVE

Cavitação; HVOF; Ligas FeMnCrSi; Ligas Carboneto de Cromo; Ligas de Carboneto de Tungstênio.

1.0 - INTRODUÇÃO

Apesar do aumento da utilização de outras fontes, renováveis ou não, para a geração de energia elétrica, como a térmica, eólica e solar, a produção hidrelétrica é ainda dominante no Brasil. No Brasil, atualmente, 83 % da energia elétrica gerada vem de fontes renováveis, sendo a principal delas a hidráulica, a qual, com 1382 empreendimentos em operação, representa quase 62 % da matriz energética, com mais de 109 GW de potência instalada (1).

A erosão por cavitação pode gerar custos significativos de manutenção, além da perda de produção em função dos longos períodos de parada de máquinas para reparo. Neste caso, apesar da tecnologia já ser muito bem estudada e desenvolvida, é ainda muito comum a ocorrência de desgaste das turbinas hidráulicas e demais componentes expostos ao fluxo de água em função do fenômeno da cavitação. A aplicação de revestimentos por aspersão térmica vem sendo bastante estudada e utilizada para proporcionar o aumento de vida útil dos rotores de hidrelétricas. Diferentes processos de aplicação e ligas podem ser utilizados, em função do tipo de desgaste que ocorre na máquina e do seu nível de agressividade. Há um grande número de publicações que citam a utilização da aspersão térmica para proteção de turbinas hidráulicas contra cavitação, erosão e/ou corrosão (2, 3, 4, 5). Uma das principais vantagens da aplicação desses revestimentos é eliminação da necessidade de recuperação por soldagem dos rotores (2), o que gera impactos bastante significativos ao material, seja metalurgicamente ou através da geração de deformações ou tensões residuais no componente. Entretanto, uma vez que tais revestimentos atuam como camadas de sacrifício, é essencial que haja controle dos níveis de desgaste e paradas para reaplicação destes.

Atualmente, quando realizada a aplicação de revestimentos sobre rotores hidráulicos, tem sido utilizado, principalmente, o processo de aspersão térmica HVOF (High Velocity Oxy Fuel), o qual, comprovadamente, é capaz de gerar revestimentos mais densos, aderentes e resistentes à erosão em relação àqueles aplicados pelo processo a arco elétrico (2, 6, 7, 8). Esses revestimentos agem como barreiras de sacrifício resistentes à cavitação, de forma a evitar a perda de massa do próprio componente. Dessa forma, reduz-se a necessidade de intervenções por soldagem, a qual acarreta em problemas como alterações metalúrgicas e formação de tensões residuais, que podem levar a trincas e até fratura de seções dos rotores de turbina e outras peças. Para uma melhor eficiência dos revestimentos, além da escolha de processo e parâmetros de aplicação, é importante a correta seleção da liga metálica a ser utilizada na barreira protetora, a qual deve ser compatível com o tipo de desgaste existente durante a operação da turbina.

Neste sentido, os fornecedores atuais, bem como uma série de trabalhos publicados (9, 10, 11, 12, 13) costumam sugerir a aplicação de revestimentos duros, normalmente com presença de carboneto de cromo (Cr_3C_2) e carboneto de tungstênio (WC), comumente aplicados para casos onde ocorrem desgaste erosivo ou abrasivo

simultaneamente com cavitação. Porém, no desenvolvimento de um projetos de pesquisa realizados pela Copel Geração em conjunto com Lactec, foram elaboradas ligas experimentais do tipo FeMnCrSi que buscam, especificamente, uma melhor resposta ao fenômeno de cavitação no qual os mecanismos de desgaste presentes são diferentes daqueles que ocorrem nos processos de erosão por partículas duras ou abrasão. Além da elevada dureza, os revestimentos de carbonetos apresentam normalmente uma baixa eficiência de deposição e muitas vezes elevada densidade (caso dos revestimentos ricos em WC), o que representa um custo mais elevado de deposição.

O objetivo deste trabalho é comparar a resistência à erosão por cavitação de diferentes ligas comerciais, a base de carbonetos de cromo ou tungstênio, com as ligas experimentais desenvolvidas nos projetos de pesquisa e desenvolvimento, comparando suas propriedades com a do aço inoxidável ASTM A743 CA6NM, que é frequentemente utilizado na fabricação de rotores de turbinas hidráulicas. A aplicação dos revestimentos foi realizada por processo HVOF de combustível gasoso (propano). Os ensaios de cavitação foram executados conforme norma ASTM G32. Além disso, foram realizadas análises de morfologia, microdureza e aderência dos revestimentos.

2.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Aplicação dos revestimentos

O substrato utilizado nesta pesquisa foi um SAE 1020. Substratos foram previamente jateados com jato de areia com óxido de alumínio branco 36 mesh, para garantir grau de limpeza Sa3, de acordo com a ISO 8501-1. As amostras foram pré-aquecidas a 150 ° C antes da deposição. Para deposição HVOF, um equipamento Sulzer Metco Diamond Jet 2700 (Westbury, NY, EUA) foi utilizado na Revesteel Metalização Ltda (Pinhais, PR, Brasil). Os parâmetros otimizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de processo da aplicação por HVOF

| Parâmetros | Ligas de carbonetos | Ligas FeCrMnSi |
|-----------------------------------|--|----------------|
| Tipo de pistola | SulzerMetco DJ2700 | |
| Combustível | Propano (C ₃ H ₈) | |
| Pressão do combustível (MPa) | 0,552 | 0,69 |
| Consumo de combustível (L/min) | 56,67 | 71 |
| Comburente | Oxigênio (O ₂) | |
| Pressão de oxigênio (MPa) | 0,965 | 1,03 |
| Vazão de oxigênio (L/min) | 265 | 265 |
| Gás de arraste | Nitrogênio (N ₂) | |
| Pressão do gás de arraste (MPa) | 0,827 | 1,03 |
| Vazão de gás de arraste (L/min) | 10 | 60 |
| Pressão Ar comprimido | 0,52 MPa | |
| Vasão Ar comprimido (L/min) | 317 | |
| Distância entre peça e bocal (mm) | 250 | 200 |
| Taxa de alimentação de pó (g/min) | 40 | 45 |

Foram utilizadas seis ligas comerciais, dentre estas três com base de carbonetos de cromo e três com carbonetos de tungstênio (Tabela 2).

Tabela 2 - Ligas comerciais utilizadas nos revestimentos.

| Nome comercial | Nome da composição química |
|--------------------|--|
| Oerlikon WOKA 7205 | Cr ₃ C ₂ 25(Ni 20Cr) |
| Metco 82VF-NS | Cr ₃ C ₂ 7(Ni 20Cr) |
| Amdry 367 | Cr ₃ C ₂ 10(Ni 20Cr) |
| Oerlikon WOKA 3653 | WC 10Co4Cr |
| Oerlikon WOKA 3305 | WC 10Ni |
| Oerlikon WOKA 3105 | WC 12Co |

As ligas comerciais foram comparadas com três ligas experimentais com base FeMnCrSi, que foram desenvolvidas por parte de um Projeto de P&D da Copel Geração e Transmissão S.A. em cooperação com UTFPR, UFPR e LACTEC (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição química das ligas experimentais (% peso).

| Liga | Fe | Mn | Cr | Si | Ni | N | C | B |
|---------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| FeMnCrSi | Bal. | 20.0 | 10.0 | 4.5 | 6.0 | 0.3 | 0.2 | - |
| FeMnCrSi 0.5B | Bal. | 19.0 | 12.0 | 4.5 | 7.5 | 0.3 | 0.2 | 0.5 |
| FeMnCrSi 1.0B | Bal. | 19.0 | 11.5 | 5.5 | 6.0 | 0.3 | 0.2 | 1.0 |

Os pós de matéria-prima usados no processo HVOF foram produzidos pelo processo de atomização de gás em atmosfera de argônio. As imagens MEV dos pós são apresentadas na Figura 1.

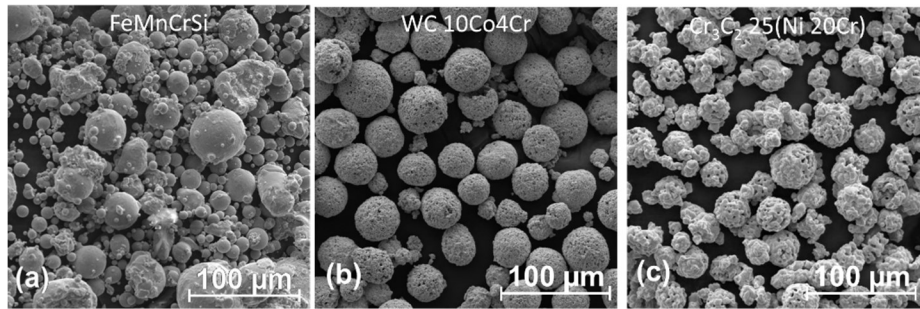


Figura 1 - Imagens de MEV dos três tipos de ligas utilizadas. Em (a) FeMnCrSi, (b) WC e (c) Cr₃C₂.

2.1.1 - Caracterização dos revestimentos

A preparação metalográfica foi realizada com base na norma ASTM E1920 (Standard Guide for Metallographic Preparation of Thermal Spray Coatings) (14), sendo a partir da retirada de uma parcela transversal e longitudinal das amostras, em cortadeira de precisão da marca Buehler ISOMET 4000 utilizando disco abrasivo. Após o corte, as amostras foram então embutidas em resina com carga mineral para garantir uma melhor estabilidade dimensional e não promover a ruptura do revestimento cerâmico, para posterior lixamento lixas de granulometrias: 600, 800 e 1200 mesh aplicadas progressivamente. O polimento foi realizado com suspensões de diamante 3 e 0,25 µm, e sílica coloidal 0,04 µm, ambos os processos de lixamento e polimento utilizaram politriz automática Buehler Vector.

Por meio da caracterização em microscópio ótico pode-se analisar a microestrutura das amostras. Esta análise foi realizada no laboratório de materiais da UTFPR – PG, a partir de imagens obtidas em Microscópio Ótico ZeissImager A2.m, por meio do software de análise de imagens AxioVision, com o emprego de lentes de 50, 100, 200, 500 e 1000x.

Para a caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram obtidas imagens através do microscópio eletrônico de varredura Vega 3 Tescan das amostras que foram limpas por ultrassom com a utilização do equipamento da marca Thornton modelo T7 por aproximadamente cinco minutos.

A análise de porosidade dos revestimentos foi realizada com base na norma ASTM E2109 (*Standard Test Method for Determining Area Percentage Porosity of Thermal Spray Coatings*) (15) a partir de imagens obtidas com MEV a partir das imagens BSE (Backscattering Electron). Para as avaliações de porosidade utilizaram o software de análise de imagens AnalySIS e AxioVision. Para avaliar a porosidade, foi realizado o tratamento das imagens, com alteração para tons de cinza e controle de contraste. Em seguida foi estabelecido o limiar das fases cerâmicas e de poros, com isso, foi possível calcular a porcentagem das fases medidas.

Foram realizadas medições de microdureza Vickers, em um Microdurômetro Shimadzu HMV-20G, com aplicação de carga de 300 gf (gramas-força) ou 2,94 N (Newtons), durante um período de 15 segundos. A técnica se dá a partir do indentedor, onde a pirâmide de diamante Vickers possui ângulo de 136° entre faces opostas. As medições foram realizadas transversalmente ao revestimento, sendo indicado o valor médio e o desvio padrão de 10 indentações. Os ensaios foram realizados segundo norma ASTM E384 (*Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*) (16).

2.2 - Procedimentos do Ensaio de Cavitação

O ensaio de cavitação foi realizado no Laboratório de Materiais da UTFPRPG, conforme norma ASTM G32 (*Standard Test Method for Cavitation Erosion Using Vibratory Apparatus*) (17), utilizando o equipamento de ensaio ultrassônico Qsonica modelo Q700. Este ensaio consiste na medição da perda de massa da amostra fixada a uma distância de 0,5 mm da ponta do sonotrodo, com frequência de vibração de 20kHz em água destilada a 25±1°C. A técnica aplicada segue a norma ASTM G32 (2016) adaptada para o método indireto, conforme esquema da Figura 2. Os parâmetros utilizados para realização desta técnica são apresentados na Tabela 4.

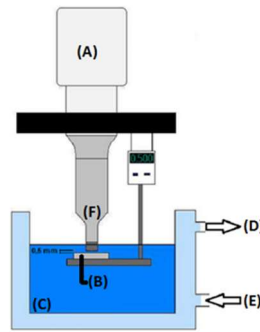


Figura 2 – Desenho esquemático do teste de cavitação. (A) Fonte de sonotrodo, (B) amostra, (C) água destilada, (D) saída de água para chiller, (E) entrada de água fria do chiller, (F) sonotrodo

Tabela 4 - Parâmetros do ensaio de cavitação acelerada.

| Parâmetro | Especificação |
|-------------------------------------|--|
| Equipamento | Qsonica Q700 |
| Frequência de vibração | $(20 \pm 0,5)$ kHz |
| Amplitude | $(50 \pm 0,5\%)$ μm pico-a-pico |
| Diâmetro do sonotrodo | 19 mm |
| Método aplicado | Indireto (sem contato físico) |
| Distância entre amostra e sonotrodo | 500 μm |
| Temperatura | 25 ± 1 °C |
| Profundidade de imersão da amostra | 20 mm |
| Fluido | Água destilada pura |

3.0 - RESULTADOS

Após a aplicação dos revestimentos é possível observar grande diferença entre as diferentes ligas (Figura 3). Nas ligas de carboneto de cromo é possível observar que houve uma distribuição não uniforme entre os carbonetos e a matriz, fator este que pode se mostrar prejudicial durante os ensaios de cavitação (Figura 3 – (a)). As ligas de WC (Figura 3 – (b)) apresentaram uma melhor distribuição dos carbonetos ao longo da matriz metálica, além de baixos níveis de porosidade e oxidação. Já as ligas do tipo FeMnCrSi (Figura 3 – (c)) apresentaram maiores níveis de oxidação, o que é esperado devido á alta reatividade de alguns dos componentes das ligas. Entretanto foi possível observar em EDS que os óxidos são formados em sua maioria por silício, isso mostra que a alocação deste elemento nas ligas foi adequada para manter os elementos restantes diluídos na matriz metálica.

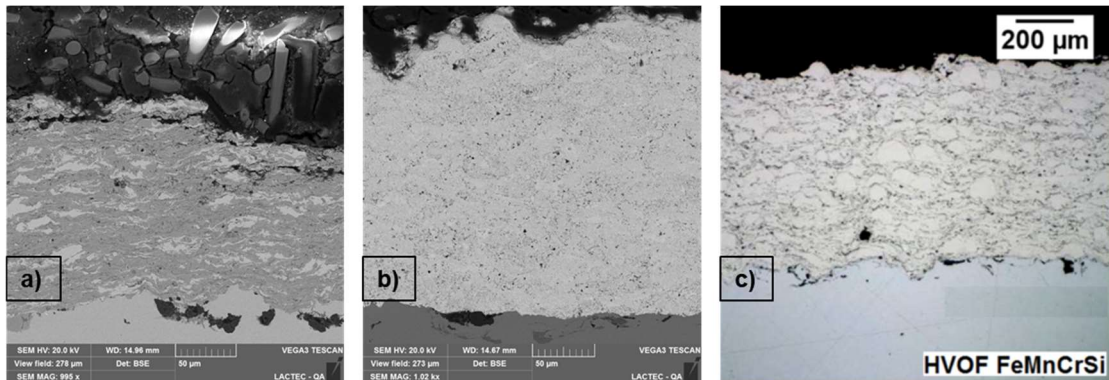


Figura 3 – Morfologia dos revestimentos: a) Cr₃C₂-7NiCr, b) WC-10Co₄Cr, c) FeMnCrSi.

Foram analisados os teores de poros nos revestimentos e comparando-se os melhores resultados para cada tipo de pó (Figura 4 – (a)), fica evidente a superioridade da liga FeMnCrSi, principalmente quando comparada aos carbonetos de tungstênio, sendo estes próximos aos encontrados na literatura para pós micrométricos depositados por HVOF. Os níveis de porosidade da liga com carboneto de cromo também ficaram notavelmente baixos, porém os valores da liga FeMnCrSi foram ainda inferiores, com sua faixa contida dentro da faixa de erro de medição do procedimento utilizado.

As análises de dureza (Figura 4 – (b)) mostraram pouca variação entre as diferentes ligas com carbonetos, não sendo possível provar que há diferença real entre as médias devido aos grandes desvios causados pela diferença de dureza entre matriz e carbonetos, porém os resultados encontram-se dentro da faixa esperada para esse tipo de revestimento. Os valores de dureza encontrados nas ligas são inferiores devido á sua composição química se aproximar a um aço inoxidável austenítico.

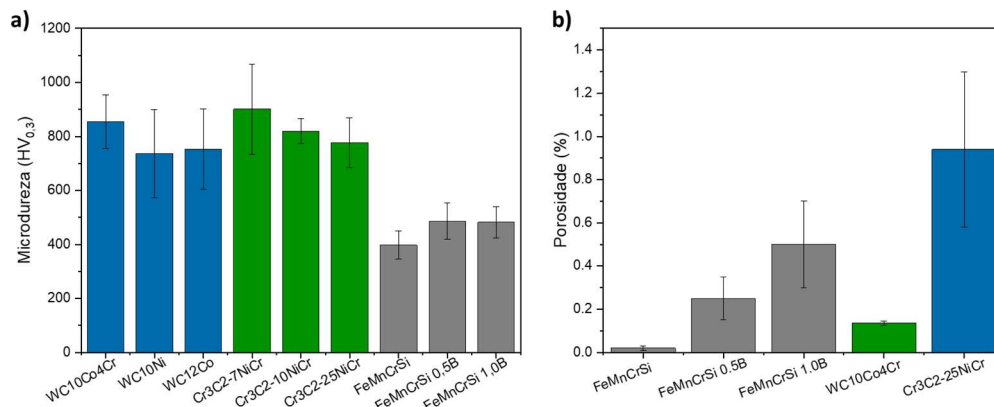


Figura 4 - Gráficos com resultados de Porosidade (a) e Microdureza (b) dos revestimentos analisados.

Os ensaios de tração (Figura 5) revelaram que as ligas desenvolvidas obtiveram resultados coerentes com os valores esperados para revestimentos de aços inoxidáveis depositados por HVOF. Já ambos os revestimentos de carbonetos obtiveram resultados acima dos encontrados em outras literaturas.

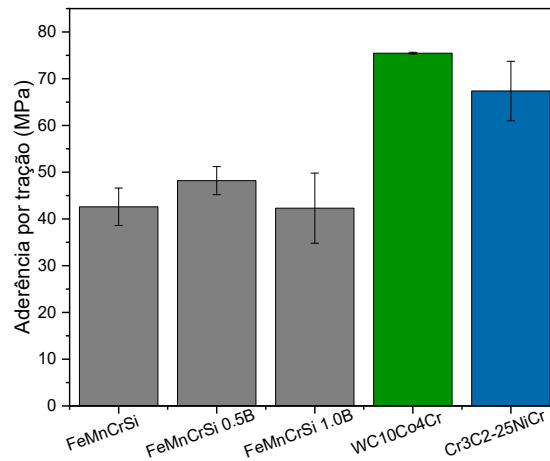


Figura 5 - Resultados de aderência por tração.

Os resultados de cavitação são apresentados na Figura 6, onde podem ser comparadas as taxas de erosão dos revestimentos com 96 horas de ensaio de cavitação acelerada. Após resultados dos ensaios de cavitação foi comprovada a eficácia das ligas experimentais para a prevenção do desgaste por cavitação, sendo esses valores no mesmo patamar de resistência ao aço de referência CA6NM. Também é importante notar o papel do níquel no aumento da resistência à cavitação, porque as ligas com menor (ou nenhum) teor de níquel apresentaram desempenho significativamente inferior aos revestimentos com maior presença deste elemento.

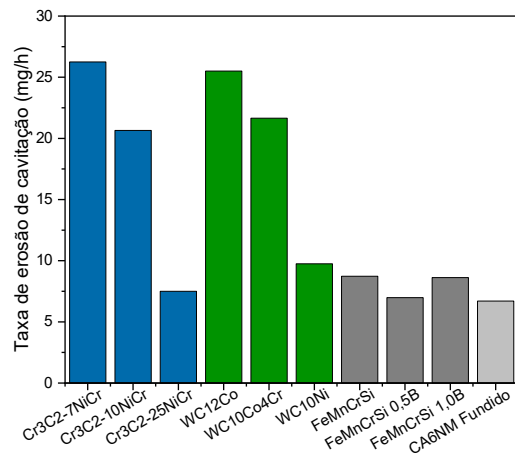


Figura 6 - Resultados de taxa de erosão dos revestimentos após 96h de ensaio de cavitação acelerada, conforme norma ASTM G32.

4.0 - CONCLUSÕES

Os revestimentos com base de carboneto de cromo apresentaram distribuição irregular de suas fases, porém não foram notados efeitos colaterais em nenhum dos ensaios. Os revestimentos de carbonetos de tungstênio apresentaram boa dispersão de fases e não apresentaram formação de óxidos. Já as ligas experimentais formaram óxidos, porém majoritariamente de silício, preservando os elementos de liga restantes na matriz metálica.

O teor de poros encontrados nas ligas de carboneto de tungstênio foi próximo ao obtido em outras literaturas, porém os resultados das outras ligas foram superiores aos esperados, em especial o da liga FeMnCrSi.

A análise de microdureza mostrou que os revestimentos ficaram dentro do esperado, mas devido a diferença elevada de dureza entre matriz e carbonetos a dispersão ficou muito alta.

A resistência a tração dos revestimentos com carbonetos foi bastante elevada para este tipo de revestimento, já as ligas experimentais tiveram o comportamento previsto para os ensaios.

O teor de níquel se mostrou fundamental na resistência à cavitação, sendo que os melhores revestimentos possuem resistência a cavitação similar ao aço CA6NM, que é o mais utilizado contra cavitação em turbinas hidráulicas.

Por último é possível observar que as ligas desenvolvidas apresentaram desempenho igual ou superior às ligas comerciais, fato este de extrema relevância ao se considerar que ligas de carbonetos possuem rendimento de deposição inferior e já possuem parâmetros de deposição completamente otimizados, enquanto as ligas do tipo FeMnCrSi ainda possuem espaço para otimização.

5.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao agente financiador Copel GeT, através do projeto ANEEL PD-06491-0363/2015, pelos recursos disponibilizados; e pela infraestrutura disponibilizada das instituições UTFPR, através do Laboratório de Soldagem e LACTEC, através do REVSOLDA.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Matriz por Origem de Combustível. 2021. Disponível em: <https://bityli.com/ObWtP>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- (2) VAZ, Rodolpho F.; SUCHARSKI, Gustavo B.; CHICOSKI, André; SIQUEIRA, Irene B. A. F.; TRISTANTE, Romildo; PUKASIEWICZ, Anderson G. M.. Comparison of FeMnCrSi Cavitation Resistance Coatings Deposited by Twin-Wire Electric Arc and High-Velocity Oxy-Fuel Processes. *Journal Of Thermal Spray Technology*, [S.L.], 24 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC.
- (3) MAYER, André R.; BERTUOL, Kaue; SIQUEIRA, Irene B.A.F.; CHICOSKI, Andre; VÁZ, Rodolpho F.; SOUSA, Milton J. de; PUKASIEWICZ, Anderson G.M.. Evaluation of cavitation/corrosion synergy of the Cr3C2-25NiCr coating deposited by HVOF process. *Ultrasonics Sonochemistry*, [S.L.], v. 69, p. 105271-105280, dez. 2020. Elsevier BV.
- (4) BERTUOL, Kauê. Estudo do Efeito Sinérgico Cavitação/Erosão em Revestimentos de Carboneto de Cromo e Tungstênio Depositados por Aspersão Térmica de Alta Velocidade. 2020. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

- (5) PUKASIEWICZ, Anderson Geraldo Marena; CAPRA, Andre Ricardo; VAZ, Rodolpho Fernando. Cavitation Resistance Of Asp Coatings, Ultrasonic Testings And Francis Runner Field Performance Comparison. In: *Materials Science And Technology (MS&T)*, 13., 2013, Montreal. Proceedings. Montreal: Ms&t13, 2013. p. 799-805.
- (6) LIMA, C.C., TREVISAN, R. *Aspersão Térmica Fundamentos e Aplicações*. Artliber Editora, São Paulo, Brasil, 2007.
- (7) SUGIYAMA, K.; NAKAHAMA, S.; HATTORI, S.; NAKANO, K. Slurry wear and cavitation erosion of thermal-sprayed cermets. *Wear*, v. 258, n. 5–6, p. 768–775, 2005.
- (8) ASM INTERNATIONAL (United States) (comp.). *Handbook of Thermal Spray Technology*. Materials Park: Asm International, 2004. Edited by J.R. Davis.
- (9) SANTA, J.; ESPITIA, L.; BLANCO, J.; ROMO, S.; TORO, A. Slurry and cavitation erosion resistance of thermal spray coatings. *Wear*, v. 267, n. 1-4, p. 160-167, 2009.
- <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105271>.
- (10) WANG, Q.; TANG, Z.; CHA, L. Cavitation and sand slurry erosion resistances of WC-10Co-4Cr coatings. *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 24, n. 6, p. 2435-2443, 2015.
- (11) LAVIGNE, S.; POUGOUM, F.; SAVOIE, S.; MARTINU, L.; KLEMBERG-SAPIEHA, J. E.; SCHULZ, R. Cavitation erosion behavior of HVOF CaviTec coatings. *Wear*, v. 386, p. 90-98, 2017.
- (12) MARQUES, A. S.; DALCIN, R. L.; OLIVEIRA, L. F.; DA SILVA, L. A. V.; DOS SANTOS, G. R.; DA SILVA ROCHA, A. Comparative Analysis of the Friction and Microstructural Properties of WC-10Co-4Cr and Cr₃C₂-25NiCr Coatings Sprayed by High-Velocity Oxy-fuel (HVOF). *American Journal of Materials Science*, v. 8, n. 3, p. 51-57, 2018.
- (13) MATIKAINEN, V.; PEREGRINA, S. R.; OJALA, N.; KOIVULUOTO, H.; SCHUBERT, J.; HOUDKOVÁ, Š.; VUORISTO, P. Erosion wear performance of WC-10Co₄Cr and Cr₃C₂-25NiCr coatings sprayed with high-velocity thermal spray processes. *Surface and Coatings Technology*, v. 370, p. 196-212, 2019.
- (14) ASTM E1920: Standard Guide for Metallographic Preparation of Thermal Spray Coatings. American Standard of Testing Materials. West Conshohocken: 2008.
- (15) ASTM E2109: Standard Test Method for Determining Area Percentage Porosity of Thermal Spray Coatings. American Standard of Testing Materials. West Conshohocken: 2014.
- (16) ASTM E384-17, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- (17) ASTM G32: Standard Test Method for Cavitation Erosion Using Vibratory Apparatus. American Standard of Testing Materials. West Conshohocken: 2003.

DADOS BIOGRÁFICOS



Formado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR, com especialização em Engenharia da Soldagem pela mesma instituição e MBA em Gestão de Projetos pela ESIC Business e Marketing School. Possui 12 anos de experiência, atuando na execução e gestão de projetos de PD&I aplicados aos setores de geração de energia e petróleo e gás, com aplicação das tecnologias de soldagem e aspersão térmica. Atuou também na supervisão de serviços de reparo por soldagem em campo, principalmente em componentes de usinas hidrelétricas e termelétricas.

(2) ROMILDO TRISTANTE
Possui graduação em Tecnologia em Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2005) e graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Positivo (2009). Atualmente é engenheiro de manutenção de equipamentos da geração, na Empresa Copel Geração e Transmissão. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Mecânica, atuando principalmente nos seguintes temas: manutenção de usinas hidrelétricas, turbinas hidráulicas, soldagem, aspersão térmica e cavitação.

(3) GUSTAVO BAVARESCO SUCHARSKI
Graduado em Tecnologia em Manutenção Eletromecânica pela UTFPR, campus Medianeira. Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica pela UFPR, na área de revestimentos para alta temperatura e resistentes a erosão depositados por aspersão térmica. Foi professor Magistério Superior (Substituto) na Universidade Federal do Paraná, no Departamento de Engenharia Mecânica (UFPR-DEMEC), Professor na Escola Técnica da PUC-PR (TECPUC) e também atua como Pesquisador Voluntário no Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais (LABATS) da UFPR, coorientando trabalhos experimentais de iniciação científica, mestrado e doutorado. Atualmente é Pesquisador no LACTEC, na área de revestimentos depositados por aspersão térmica e soldagem.

(4) MURILO SÉRGIO LAMANA
Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2016), programa de intercâmbio em Engenharia Mecânica - State University of New York at Stony Brook (2015) e mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2017). Possui também Formação Pedagógica para não Licenciados, em Matemática (2020). Atualmente, é doutorando em Engenharia Mecânica, Industrial e Aeroespacial na Concordia University - Montreal, com previsão de término para 2025. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, atuando principalmente nos seguintes temas: aspersão térmica, resistência à cavitação, desgaste, carboneto de tungstênio e HVOF.

(5) PEDRO POLATO BITES COSTA
Graduado em Engenharia Mecânica pela UFPR, campus Centro Politécnico. Mestrado em Engenharia Mecânica pela UFPR, na área de revestimentos resistentes a erosão depositados por aspersão térmica. Atualmente é doutorando em Engenharia Mecânica pela UFPR, na área de otimização de processos de aspersão térmica. Também é bolsista no LACTEC, na área de revestimentos depositados por soldagem e aspersão térmica.

(6) ANDERSON GERALDO MARENDA PUKASIEWICZ
Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Paraná (2008), mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Paraná (2002), graduado em Engenharia de Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1998). Atualmente, professor da UTFPR-Ponta Grossa. Tem experiência e projetos de pesquisa na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Propriedades Mecânicas dos Metais e Ligas, atuando principalmente nos seguintes temas: aspersão térmica, revestimentos para elevadas temperaturas, cavitação, soldagem, aço inoxidável martensítico e revestimento.