



## 20º Congresso de Iniciação Científica

# AVALIAÇÃO DA TRIBO-CORROSÃO DE MATERIAIS PROTEGIDOS COM REVESTIMENTO MICRO E NANO ESTRUTURADOS

### Autor(es)

---

BIANCA VIEIRA BETTE

### Orientador(es)

---

CARLOS ROBERTO CAMELLO LIMA

### Apoio Financeiro

---

PIBIC/CNPq

### 1. Introdução

---

Revestimentos têm grande importância em aplicações que exigem elevada resistência ao desgaste, à corrosão ou mesmo resistência em situações de tribocorrosão. Existem diversos processos para aplicação de revestimentos, podendo-se destacar os métodos de aspersão térmica e soldagem. A aspersão térmica devido a sua versatilidade quanto à aplicação, tipos de camadas e espessuras, constitui-se numa forma bastante adequada na obtenção de camadas de elevada dureza para proteção ou reparo do componente base, sendo possível revestir substratos metálicos com polímeros, metais ou cerâmicos. Entre esses processos, podem ser citados: HVOF (High Velocity Oxygen Fuel), Arc-spray (arco elétrico) e Flame-spray (chama-pó), entre outros (1). Antes de se aplicar o revestimento, a superfície do substrato deve estar limpa e isenta de umidade, ferrugem, crostas de óxido, graxa, óleo e tinta. É de fundamental importância a preparação das superfícies a serem aspergidas. Considerando-se que o principal mecanismo de aderência do substrato é o de ancoragem mecânica. A qualidade deste ancoramento interfere, de maneira diretamente proporcional, na adesão da camada de revestimento. Em alguns casos, a rugosidade (texturização) do substrato influencia, também, a rugosidade do revestimento (2). O processo de soldagem por revestimento utiliza a deposição de materiais previamente selecionados e com características específicas para as necessárias condições de trabalho (3). Diversos processos de soldagem podem ser utilizados, como: endurecimento superficial (hardfacing), recuperação (buildup), cladização (cladding), e amanteigamento (buttering). O endurecimento superficial é aplicado para reduzir desgaste, abrasão, impacto, erosão e cavitação. Para tanto, são utilizados os processos de soldagem oxi-gás, a arco e laser, os quais são aplicados, preferencialmente, para obter espessuras maiores quando comparados aos processos de aspersão térmica, nos quais não há fusão e sim um ancoramento mecânico entre material de base e adição. Os processos mais utilizados são: soldagem oxiacetilênica, TIG (Tungsten Inert Gas), MIG/MAG (Metal Inert Gas/ Metal Active Gas), arco submerso e plasma por arco transferido (PTA), o qual também pode ser inserido nos processos de aspersão térmica em função do spray térmico decorrente das características do material de adição(4,5). Distorções no processo de soldagem para revestimentos podem aparecer devido à falta de uniformidade nas características de expansão e contração dos metais base e de deposição, durante o ciclo de aquecimento e resfriamento (6). A preparação da interface substrato-camada depositada é importante na deposição por solda. Características como o nivelamento e faceamento da superfície são necessárias para manter e promover a uniformidade da deposição e o aporte de calor durante o procedimento realizado (3). A deposição por solda melhora a resistência à corrosão intergranular e reduz a segregação no contorno de grão da matriz, no nível de diluição e no perfil de dureza na interface revestimento-metal de base (7). Desta forma, diante de grande diversidade de opções, estudar métodos de deposição e opções de materiais numa mesma aplicação torna-se extremamente relevante e oportuno.

## 2. Objetivos

---

O principal objetivo deste trabalho é avaliar revestimentos nano e micro estruturados depositados por aspersão térmica e por soldagem sobre substratos metálicos por meio de ensaios de corrosão e desgaste. Com tais dados, comparar a viabilidade das alternativas em função de sua adequação e resultados.

## 3. Desenvolvimento

---

O material usado como substrato foi aço carbono SAE 1020. Os materiais para aplicação no revestimento foram materiais metálicos e óxidos nano e micro estruturados. Os processos de aplicação dos revestimentos usados foram aspersão térmica por Arc-Spray e por HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) e soldagem MIG (Metal Inert Gas). As amostras utilizadas nos ensaios de metalografia foram embutidas em um equipamento que varia a temperatura de 350°C a 1850°C, no máximo, e a pressão deve manter-se entre 100 e 200 Kgf/cm. Após o embutimento, as amostras foram lixadas e, por fim, medidas as durezas. As medidas de microdureza foram realizadas em um equipamento Microdurômetro computadorizado Shimadzu, com capacidade de 0,01Kg a 2 Kg em escala Vickers. Posteriormente, as amostras embutidas foram polidas com alumina para serem obtidas as imagens de microscopia ótica. Em função da não disponibilidade por problemas ocorridos, a amostra do material 140- MXC não foi avaliada por microscopia e também não foi avaliada por microdureza, o que será providenciado oportunamente. Os ensaios de corrosão foram realizados de acordo com a Norma ASTM - G48. Foi preparada uma solução com 100 g de cloreto férrico, hidratados em 900 ml de água destilada, realizando-se a imersão dos revestimentos nesta solução. As amostras revestidas foram preparadas previamente, sendo isoladas com material polimérico, deixando somente uma face revestida exposta. A solução utilizada permaneceu em banho-maria à temperatura de 45°C, com as amostras sendo avaliadas após 24 horas e 120 horas de imersão. As amostras foram pesadas em balança de precisão antes e depois do ensaio, sendo verificada a perda de massa. Os ensaios de desgaste abrasivo (abrasão a três corpos) foram realizados de acordo com a Norma ASTM-G65. Foi utilizado o equipamento de roda de borracha (Rubber Wheel) do Laboratório da USP de São Carlos, do Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura, construído de acordo com esta Norma. O princípio de funcionamento deste equipamento consiste em esmerilhar um corpo de prova padronizado com areia de tamanho de grão e composição controlados. O abrasivo é colocado entre o corpo de prova e um anel de borracha, provocando o riscamento. Neste ensaio, o corpo de prova é pressionado contra a roda de borracha que está girando, por meio de um braço de alavanca com peso de 90 KN, enquanto que o fluxo de areia esmerilhando a superfície do corpo de prova é controlado. Os corpos de provas foram pesados antes e após ciclos totais de 2000 rotações em uma balança de precisão e a perda de massa foi determinada em uma balança BG 2000, Gehaka. Para possibilitar a comparação entre os revestimentos, foi necessário converter a perda de massa para perda de volume em milímetros cúbicos, conforme especificado na norma, devido à grande diferença nas densidades dos metais. O material 140-MXC foi aplicado pelo método arc-spray; é um material usado especificamente para revestimentos de alta solicitação, possuindo nano partículas em sua estrutura. Proporciona um revestimento de alta qualidade, caracterizado com baixa porosidade, alta dureza, resistência ao desgaste, boa proteção contra corrosão e distribuição homogênea. É aplicado em válvulas, rolamentos, componentes de vedação, infraestrutura e caldeiras, além de ser utilizado para proteção automotiva em casos de corrosão e reparo de peças. O material aço inoxidável 420 foi aplicado pelo método de soldagem MIG. É uma alternativa para proteger os componentes de aço em ambientes corrosivos e é, basicamente, liga de ferro-cromo. A existência de cromo confere resistência à corrosão, entretanto, os revestimentos de aço inoxidável têm, em alguns casos, a incapacidade de proteger a superfície de aço em ambientes agressivos. O material CrC-25NiCr foi aplicado pelo método HVOF, apresentando partículas basicamente de cromo com adição de níquel e carbono. A dureza deste revestimento é relativamente baixa. O material Vecalloy B foi aplicado pelo método arc-spray, apresentando partículas basicamente de ferro com adição de cromo, nióbio e níquel. Este revestimento possui uma excelente resistência à corrosão, com 80% de eficiência de depósito e dureza típica elevada. Esse revestimento é mais utilizado em tubos de caldeira, antiderrapante, secador de rolos Yankee, pás de ventilador e colares de perfuração. O material WC-12Co foi aplicado pelo método HVOF, apresentando partículas basicamente de tungstênio. Este pó é feito exclusivamente para aspersão térmica. Resulta em um revestimento denso, duro e resistente, que é adequado para muitas aplicações. Estas aplicações incluem a erosão, desgaste por deslizamento, impacto e abrasão. É aplicado em campos petrolíferos nas áreas de desgaste, ventiladores de tiragem, reparação de polias industriais, reparação de equipamentos de transporte a gás e reparação de equipamentos de granulação de plásticos. O material WC-17Co foi aplicado pelo método HVOF, apresentando partículas basicamente de tungstênio. É, também aplicado em campos petrolíferos nas áreas de desgaste, ventiladores de tiragem, reparação de polias industriais, reparação de equipamentos de transporte a gás e reparação de equipamentos de granulação de plásticos. O material WC-20, que apresenta estrutura com nano partículas, foi aplicado pelo método HVOF. É fabricado a partir de partículas finas de carboneto de tungstênio (composto refratário e duro) ligado por um metal de transição (cobalto), que proporcionam uma melhor proteção do substrato à corrosão, prevendo-se elevada dureza, baixo atrito, resistência ao desgaste e a temperatura e quimicamente inertes. Carboneto de tungstênio com cobalto é muito utilizado em abrasivos para corte, polimento, desgaste e usinagem na qual se deseja uma grande dureza superficial aliada a grandes resistências a compressão elevada e ao desgaste, além de possuir boa condutibilidade térmica. O material zinco foi aplicado pelo método arc-spray utilizando arame de zinco. Esse metal é muito utilizado como revestimento anticorrosivo e oferece proteção galvânica ao aço nas descontinuidades do

revestimento, além de seu preço ser mais viável se comparados com outros tipos de revestimentos e proteger o metal base. Entretanto, a resistência à corrosão do zinco puro não é satisfatória sob muitas circunstâncias corrosivas, particularmente em atmosfera úmida e a temperaturas superiores a 110°C. No caso de zinco cromatizado, sua resistência à corrosão melhora com o aumento da espessura da camada de cromatização, o que também corresponde a um maior teor de cromo na superfície.

#### 4. Resultado e Discussão

---

Foram verificadas a microdureza, a corrosão e o desgaste de cada revestimento metálico. Nos ensaios de microdureza (Vickers), de acordo com a Tabela 1, observou-se que, utilizando o processo arc-spray, conseguiu-se um revestimento com alta dureza no caso do Vecalloy B e um revestimento com dureza cerca de 8% maior no caso do WC-12Co aplicado por HVOF, ambos em torno de 1.000 HV. Vecalloy B tem basicamente ferro e possui uma grande porcentagem de cromo em sua composição, o que contribuiu para uma dureza elevada. WC-12Co tem basicamente tungstênio em sua composição, ou seja, tem um teor elevado de carboneto de tungstênio, o que também auxilia para uma dureza elevada. Entretanto, o revestimento por HVOF de WC-17Co obteve uma maior dissolução de carbono, provavelmente pela alta temperatura do processo aplicado, levando a uma menor dureza comparativamente às superfícies citadas. No ensaio de corrosão (ASTM-G48), como mostra a Figura 1, nota-se um resultado bastante superior do revestimento de WC-20Co, nano estruturado, com uma perda de massa da ordem de 10 vezes menor que o segundo material de melhor comportamento, o WC-12Co. O pior resultado aparece com o revestimento de Zinco, que praticamente se deteriorou nas primeiras 24 horas do teste. É importante observar que a Norma ASTM- G48 orienta que o ensaio seja encerrado com 72 horas. Além disso, na prática industrial, amostras são aprovadas quando resistem às primeiras 24 horas do teste, o que levaria à aceitação de todos os revestimentos aqui testados, a menos do revestimento de Zinco. Para se obter um melhor resultado em comparação com o revestimento que foi usado, Zinco puro, pode-se usar o zinco cromatizado, para aumentar a resistência à corrosão. Quanto maior for a espessura da camada de cromatização, melhor será o resultado em relação à corrosão, pois existirá um maior teor de cromo na superfície. O revestimento 140-MXC, por ser também um revestimento com nano partículas em sua estrutura, apresentou uma perda de massa significativa, que poderia ser parcialmente explicada pelo uso de uma voltagem excessiva do equipamento na aplicação, reduzindo a qualidade do revestimento. No ensaio de desgaste abrasivo (ASTM-G65), abrasão a três corpos, Figura 2, é possível observar um resultado mais satisfatório do revestimento de WC-12Co, com uma perda de volume de aproximadamente 8,3 mm, perda mais de quatro vezes menor comparando-se com o Vecalloy B, que apresentou a maior perda de volume, 36,8 mm. Em função de problemas com as amostras existentes de WC-20Co, não foram realizados ensaios de desgaste para este revestimento, o que será providenciado oportunamente. Os revestimentos de WC-12Co e WC-17Co apresentaram os melhores resultados devido à presença de carboneto de tungstênio (composto refratário e duro) ligado por um metal de transição (cobalto), que proporcionaram uma elevada dureza e excelente resistência ao desgaste.

#### 5. Considerações Finais

---

Neste trabalho, foram aplicados diversos revestimentos sobre aço carbono, utilizando-se os processos de soldagem MIG e aspersão térmica por Arc-Spray e HVOF. Os revestimentos obtidos foram caracterizados por medidas de dureza e por análise metalográfica. Posteriormente, foram avaliados por ensaios de corrosão e desgaste abrasivo. O revestimento WC-20Co aplicado por HVOF foi o que apresentou melhor resultado no teste de corrosão, creditado principalmente por ser um material nano estruturado. Apresentou maior microdureza superficial, com a menor perda de massa, cerca de 20 vezes melhor que o Vecalloy B, segundo melhor desempenho. O revestimento WC-12Co aplicado por HVOF foi o que apresentou o melhor resultado no teste de desgaste, seguido pelo revestimento WC-17Co, creditando-se tal comportamento à estrutura de carboneto de tungstênio ligado ao cobalto, de alta dureza e homogeneidade. Os resultados, em geral, mostraram que os revestimentos obtidos apresentaram boa adesão ao substrato e baixo nível de defeitos.

#### Referências Bibliográficas

---

- (1) CASTELETTI, L. C. Avaliação da resistência à corrosão do aço AISI 420 depositado por processos variados de aspersão térmica. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, Minas Gerais, 2010.
- (2) LIMA, C. R. C.; TREVISAN, R. E. Aspersão Térmica: Fundamentos e Aplicações. ArtLiber Ed. Ltda., São Paulo, 2001, 148 p.
- (3) ARNT, A .B.C. e ROCHA, M.R da. Recuperação de superfície metálicas desgastadas, por deposição com solda. CBECIMAT 2004. Porto Alegre-RS.
- (4) DAVIS, J.R. Hardfacing, weld cladding, and dissimilar metal joining: Welding, Brazing and Soldering, Metals Handbook, 10ª ed. Ohio: ASM International, Metals Park, v.6, 1993.
- (5) TARNG, Y.S.; JUANG, S.C.; CHANG, C.H. The use of grey-based Taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hardfacing. Journal of Materials Processing Technology, v.128, n.1-3, p. 1-6, October 2002.
- (6) ANDERSON, T. Thermal distortion in aluminum welded structures. Welding Journal American Welding Society. . 2004.4p.

Anexos

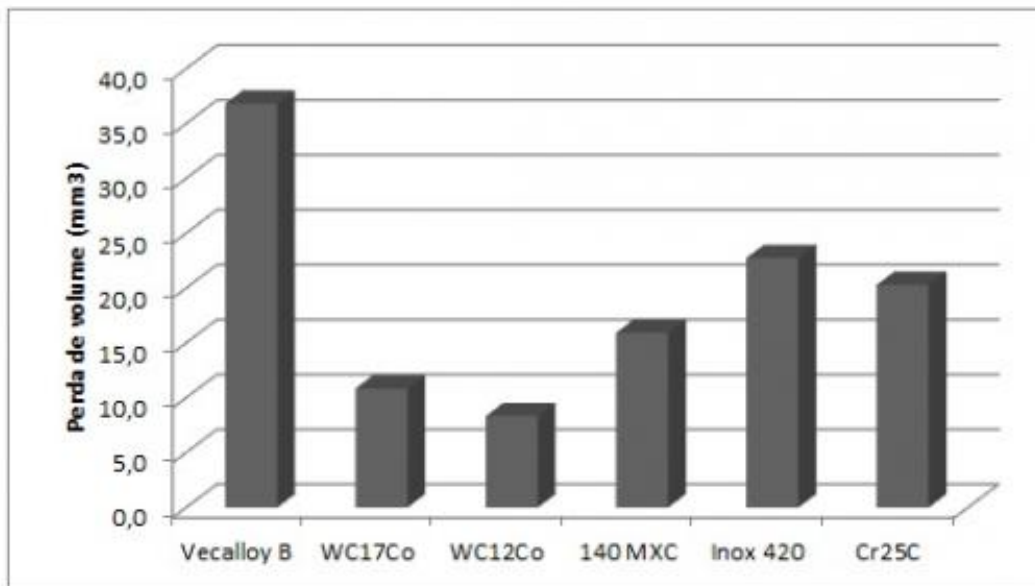


Figura 2. Resultados do ensaio de desgaste de acordo com a norma ASTM – G65.

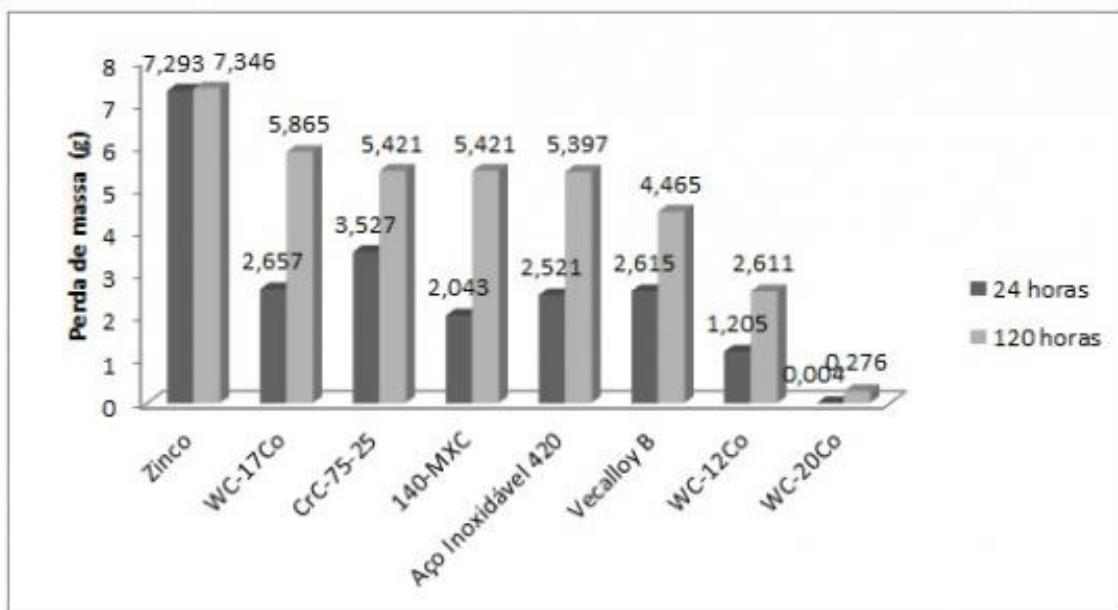


Figura 1. Resultados do ensaio de corrosão de acordo com a norma ASTM – G48

**Tabela 1.** Resultados de microdureza Vickers

<b>Amostra</b>	<b>Microdureza (HV)</b>	
	<b>Material base</b>	<b>Superfície</b>
Aço inoxidável 420 (soldagem)	208	237
CrC-25NiCr (HVOF)	179	255
Vecalloy B (arc-spray)	148	1.087
WC-12Co (HVOF)	177	1.011
WC-17Co (HVOF)	231	691
WC-20Co (nano estruturado)	209	1.042
Zinco (arc-spray)	161	209