

ESTUDO DO DESEMPENHO EM CORROSÃO DE REVESTIMENTOS OBTIDOS POR ASPERSÃO TÉRMICA E POR SOLDAGEM¹

Carlos Roberto Camello Lima²
Bianca Vieira Bette³
Flavio Camargo⁴

Resumo

O custo de manutenção em todo o mundo tem sido extremamente alto. No Brasil, cerca de 4% do Produto Interno Bruto é gasto anualmente com manutenção, acompanhando a média mundial, sendo boa parte gasta na substituição de material degradado pela ação da corrosão e desgaste. Revestimentos têm grande importância em aplicações que exigem elevada resistência ao desgaste ou elevada resistência à corrosão. A aspersão térmica é uma tecnologia de aplicação de revestimentos utilizada em diversas áreas da engenharia, cujos diferentes métodos de aplicação e grande variedade de materiais utilizados fazem desta técnica uma das mais conceituadas para soluções relacionadas a desgaste, corrosão e degradação térmica. Já a soldagem é tradicionalmente usada na aplicação de revestimentos duros, com sucesso em diversos segmentos e situações. Este trabalho realiza um estudo das propriedades de materiais protegidos com revestimentos depositados por aspersão térmica e soldagem sobre substratos metálicos. São verificadas e discutidas as propriedades e o comportamento em corrosão dos revestimentos obtidos visando à viabilidade de utilização das alternativas.

Palavras-chave: Aspersão térmica; Soldagem; Revestimentos; Corrosão.

STUDY OF THE CORROSION PERFORMANCE OF COATINGS OBTAINED BY THERMAL SPRAYING AND WELDING

Abstract

The cost of maintaining worldwide has been extremely high. In Brazil, about 4% of Gross Domestic Product is spent annually for maintenance, following the world average and spending a large part for the replacement of material degraded by the action of corrosion and wear. Coatings have great importance in applications requiring high wear resistance and high corrosion resistance. Thermal spray technology is an application of coatings used in various fields of engineering. The several different application techniques and wide range of used materials make this one of the most respected technical solutions related to wear, corrosion and thermal degradation. Welding is traditionally used in the application of hard coatings, with success in various sectors and situations. This paper deals with a study of the properties of metal substrate materials protected by thermal sprayed and welded coatings. The properties and corrosion behavior of the obtained coatings are verified and discussed with the aim of the feasibility of using alternatives.

Key words: Thermal Spray; Welding; Coatings; Corrosion.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Doutor em Engenharia Mecânica. Prof. Titular da UNIMEP- Universidade Metodista de Piracicaba.

³ Aluno do Curso de Engenharia Química da UNIMEP.

⁴ Técnico em Soldagem. Diretor da Ogramac Metalização

1 INTRODUÇÃO

Revestimentos utilizados sobre componentes ou produtos metálicos compõem, atualmente, uma das mais importantes alternativas da engenharia. Os revestimentos são filmes espessos e são aplicados por Deposição Química de Vapor (CVD), Deposição Física de Vapor (PVD), Eletrodeposição, Soldagem, Cladeamento e Aspersão Térmica. Estas técnicas são utilizadas para aumentar a vida útil e o desempenho de componentes de equipamentos sujeitos a condições severas de operação. Utilizar materiais estruturalmente adequados e um revestimento que possa proteger o material de situações com alta agressividade do ambiente de aplicação, como revestimentos que protegem materiais que estão expostos a fenômenos de corrosão e erosão a temperatura elevada, oferece alta flexibilidade na adequação ao uso, além de ser economicamente viável.^(1,2)

1.1 Aspersão Térmica

Os processos de aspersão térmica, devido a sua versatilidade, quanto à aplicação, tipos de camadas e espessuras, constituem-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 cerâmicas.⁽³⁾

Os primeiros revestimentos metálicos foram de caráter decorativo, utilizando principalmente ouro em função do seu brilho, cor e resistência. Com a evolução do uso dos metais foram descobertos diferentes métodos de revestir os próprios metais com outro metal como, por exemplo, o revestimento por imersão em metal.^(1,4) No início do século XX, uma equipe de pesquisadores, sob o comando de Max Schoop, na Suíça, foi a primeira a verificar a possibilidade de deposição de camadas de metais sobre uma superfície sem o uso adesivo ou imersão.⁽⁵⁾

Durante a Segunda Guerra Mundial foi a fase de maior desenvolvimento do processo de aspersão de revestimentos, devido à possibilidade de recuperação de peças com deposição de materiais sobre componentes sem aquecê-los. A partir dos anos 60, houve um rápido desenvolvimento da técnica em virtude dos grandes avanços tecnológicos, principalmente nos investimentos e necessidades da indústria aeroespacial, onde os desafios quanto ao desempenho de materiais e sistemas cresciam na mesma medida da chamada “guerra fria”.⁽¹⁾

Aspersão Térmica é um grupo de processos nos quais materiais metálicos ou não metálicos, finamente divididos, são depositados em uma condição fundida ou semifundida sobre um substrato preparado, formando um depósito aspergido. O revestimento pode ser na forma de pó, vareta, cordão ou arame. Este possui três aspectos básicos: substratos, camada de ligação e estrutura de revestimento.^(1,6)

A pistola de aspersão gera o calor necessário, utilizando gases combustíveis ou um arco elétrico. Os materiais sólidos, quando aquecidos, mudam para um estado plástico ou fundido e são acelerados por um gás comprimido. Os vapores de partículas confinadas são impelidos para o substrato. As partículas são propelidas no estado fundido ou semifundido, as quais formam o revestimento ao se aderir ao substrato devidamente preparado.⁽⁷⁾

Os substratos abrangem metais, óxidos, vidros, plásticos e madeiras. Alguns materiais de aspersão possuem técnicas especiais para serem aplicados sobre os substratos. Antes de aplicar o revestimento por esse método, as superfícies do substrato devem ser adequadamente preparadas. Ou seja, a superfície deve estar

limpa e isenta de umidade, ferrugem, crostas de óxido, graxa, óleo e tinta. O primeiro passo para a limpeza do substrato é a usinagem, que auxilia na adesão do material. Logo após, passa por um pré-aquecimento para eliminar eventuais vestígios de óleos e graxas. E, por fim passa-se pelo jateamento abrasivo (jato de areia, óxido de alumínio ou granalha de ferro), que remove todas as impurezas na superfície do substrato evitando formação de óxidos para não prejudicar a aderência. Esta limpeza da superfície, que elimina a contaminação, e a manutenção de rugosidade superficial, para ocorrer pequenas asperidades ou irregularidades que permitirão a adesão ao revestimento e formarão uma maior área superficial efetiva, são dois passos importantes a serem seguidos.⁽¹⁾

A camada de ligação entre o revestimento e o substrato pode ser mecânica, química, metalúrgica, física ou uma combinação destas. A adesão é influenciada por muitos fatores, como material de revestimento, condição do substrato, grau de rugosidade da superfície, limpeza, temperatura da superfície antes, durante e depois da aspersão e velocidade do impacto da partícula.⁽⁴⁾ O material a ser aspergido é transferido com energia suficiente (cinética e calorífica), a fim de se obter revestimentos compactos mediante a agregação de finas partículas do material atomizado fundido e aspergido sobre um substrato com a superfície limpa e ativa.⁽⁵⁾

O elevado calor existente nesta transferência faz com que as partículas se deformem com maior facilidade no impacto com o substrato. A combinação da plasticidade e velocidade faz com que as partículas tornem-se aplainadas e formem finas partículas lenticulares que resfriam, se conformam e aderem às irregularidades da superfície assim preparada, formando uma estrutura lamelar orientado em direção paralela à superfície do substrato.⁽⁸⁾

Todos os processos de aspersão térmica utilizam um gás como gerador da componente cinética. Na maioria dos casos, este gás é quente e serve também como gerador de calor. O balanço entre energia calorífica e cinética pode variar em grandes proporções, o que conduz a revestimentos de diferentes propriedades dependendo da técnica utilizada para aspersão térmica.^(1,8)

Os processos de aspersão térmica podem ser divididos em dois grupos básicos, de acordo com o método de geração de calor. Entre os que utilizam uma reação de combustão como fonte de calor estão: aspersão por chama, aspersão por detonação e aspersão oxi-combustível de alta velocidade (HVOF - *High Velocity Oxygen Fuel*). Os que apresentam uma fonte elétrica como fonte de calor são: plasma atmosférico (APS- *Air Plasma Spray*), plasma a vácuo (VPS - *Vacuum Plasma Spray*), plasma em atmosfera controlada (CAPS) e arco elétrico.⁽⁶⁾

1.1.1 Arc spray

Arc Spray ou Arco Elétrico é um processo que consiste em dois eletrodos consumíveis de arame, que se encontram inicialmente isolados um do outro, os quais avançam automaticamente para se encontrar em um ponto em uma névoa de gás atomizante. O processo de aspersão a Arco Elétrico apresenta, normalmente, maiores taxas de aspersão do que outros processos de aspersão térmica. Os fatores que controlam a taxa de aplicação são a corrente da fonte de energia e a taxa de alimentação de arame permissível para utilizar a energia disponível. A combinação de alta temperatura e velocidade das partículas produz um revestimento de alta aderência, deposição e alta densidade. Este é um processo de alta produtividade, com altas taxas de deposição, combinando com baixo custo dos consumíveis.^(1,6)

1.1.2 HVOF (*High velocity oxygen fuel*)

O processo HVOF- *High Velocity Oxygen Fuel* ou Oxi-combustível de Alta Velocidade é o gás combustível que é queimado com oxigênio a alta pressão, gerando um jato de exaustão de alta velocidade, ou seja, atingindo velocidades supersônicas até 7 vezes a velocidade do som, permitindo uma camada densa e compacta de ligas metálicas. O combustível, usualmente, propano, propileno, metil-acetileno-propadieno ou hidrogênio, é misturado com oxigênio e queimado em uma câmara de combustão.⁽⁴⁾

A temperatura da chama é relativamente baixa, tornando difícil a aspersão de cerâmicas e alguns metais refratários. As altas velocidades de impacto das partículas sobre o substrato implicam que as partículas podem não necessitar estar completamente fundidas para se obter um revestimento de alta qualidade. O fato de não haver superaquecimento pode minimizar problemas de tensões residuais, o que é importante em relação a diâmetros internos e revestimentos espessos. A principal característica desse processo é a não formação de óxidos.^(1,4)

A técnica de HVOF oferece as vantagens de apresentar maior plasticidade, fluidez e velocidade do material aspergido, permitindo que as partículas alcancem o substrato, no momento do impacto, adquirindo uma forma lenticular mediante a união destas lenticulas. As partículas evoluem até alcançar uma morfologia de um bom revestimento, com elevada densidade e baixa porosidade e boa aderência.⁽⁵⁾

1.2 Soldagem

A Soldagem é o processo de união de materiais (particularmente os metais) mais importante do ponto de vista industrial, sendo extensivamente utilizada na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas. Sua aplicação atinge desde pequenos componentes eletrônicos, até grandes estruturas e equipamentos (pontes, navios, vasos de pressão etc.). Existe um grande número de processos de soldagem diferentes, sendo necessária a seleção do processo (ou processos) adequado para uma dada aplicação. A técnica de soldagem varia conforme os tipos de materiais a serem soldados, levando em consideração a sua estrutura cristalina, composição química, dimensões, posição de soldagem etc.⁽⁹⁾

O termo *surfacing*, aplicado para soldagem, refere-se à deposição de um material de adição num metal de base (substrato) com o objetivo de alcançar propriedades desejadas que o substrato não possuía.^(9,10) Os processos utilizados são classificados como: endurecimento superficial (*hardfacing*), recuperação (*buildup*), cladeamento (*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 oxi-acetilênica, 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.^(11,12)

A soldagem é o principal processo usado para a união permanente de peças metálicas, permitindo a montagem do conjunto com rapidez, segurança e economia de material. Entretanto, apesar de ser considerada classicamente como um processo de união, verifica-se que nos últimos anos vários processos de soldagem

vêm sendo utilizados para a deposição de material sobre uma determinada superfície com finalidade de recuperar peças desgastadas ou para formação de um revestimento com características especiais. Tal aplicação caracteriza soldagem de revestimento.⁽¹³⁾

A possibilidade de deposição de material para a criação de superfícies com características especiais tem feito da soldagem de revestimento uma aplicação crescente em vários tipos de indústrias. Este interesse é justificado pelo fato de que revestimentos com propriedades e dimensões desejadas podem ser produzidos de forma rápida e econômica, através de um procedimento de soldagem.⁽¹⁰⁾

Considerando os vários tipos de materiais para revestimentos, os aços inoxidáveis são geralmente depositados sobre superfícies de aços carbono ou aços de baixa liga, produzindo uma camada com propriedades anticorrosivas e de resistência necessárias para suportar ambientes sujeito ao alto desgaste de corrosão. Contudo, a soldagem tem apresentado algumas vantagens condizentes com as atuais necessidades industriais no que diz respeito à obtenção de processos produtivos e econômicos.^(10,13)

1.2.1 Soldagem MIG

A soldagem MIG (*Metal Inert Gas*) usa calor de um arco elétrico entre um eletrodo nu, alimentado de maneira contínua, e o metal de base. O calor funde o eletrodo e a superfície do metal de base para formar a poça da fusão.^(9,10)

As maiores vantagens do processo MIG são alta versatilidade, a larga capacidade de aplicação, a alta taxa de deposição, a baixa liberação de gás e fumaça e a ampla faixa de materiais e de espessuras que podem ser soldados. Entretanto, ocorrem descontinuidades próprias do processo, como falta de fusão, falta de penetração, inclusões de escória, trincas, poros e porosidade, sobreposição e mordedura.^(9,10)

1.3 Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo das propriedades em corrosão de revestimentos nano e micro estruturados, depositados por aspensão térmica e por soldagem sobre substratos metálicos e comparar a viabilidade das alternativas em função de sua adequação e resultados. Os revestimentos serão aplicados por soldagem MIG e por dois diferentes tipos de aspensão térmica: *Arc-spray* e *HVOF*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Pela grande importância e vasta utilização industrial, o material usado como substrato foi um aço carbono SAE 1020. Os materiais para aplicação no revestimento foram materiais metálicos e óxidos nano e micro estruturados, apresentados na sequência. Os processos de aplicação dos revestimentos são de aspensão térmica por *Arc Spray* e por *HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)* e soldagem MIG (*Metal Inert Gas*).

As peças foram embutidas em um equipamento que varia a temperatura de 35°C a no máximo 185°C e a pressão deve manter-se entre 100 Kgf/cm² e 200 Kgf/cm², neste processo. Após o embutimento, as amostras foram lixadas e, então, realizadas medidas de microdureza. As medidas de microdureza foram realizadas em um Microdurômetro Shimadzu computadorizado, com capacidade de 0,01 Kg a 2 Kg, em

escala Vickers. As composições químicas de cada revestimento estão descritas, detalhadamente, nas Tabelas 1 a 5.

2.1 Vecalloy B

O corpo de prova utilizando este material foi revestido pelo método arc-spray de aspersão térmica. Este revestimento possui uma excelente resistência a corrosão, com 80% de eficiência de depósito, dureza típica de 9850 Hv e resistência adesiva de cerca de 10.000 psi, de acordo com dados técnicos do fabricante.

O equipamento de arc spray utilizado foi ajustado com pressão de ar de 50-60 psi, voltagem de 29 V-32 V, amperagem de 150 A-250 A. O equipamento é capaz de fazer a tocha oscilar a uma distância do bocal à peça de 4 in-8 in (10 cm-20 cm). A distância de aspersão (SOD – *Standoff Distance* – distância entre o bocal da tocha e a peça a ser revestida) usada foi de 180 mm.

Esse revestimento é mais utilizado em tubos de caldeira, antiderrapante, secador de rolos *Yankee*, pás de ventilador e colares de perfuração. A composição química deste material é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do Vecalloy B

% Peso dos elementos							
Cr	Nb	B	Ni	Si	Mn	Al	Fe
13,2	6,0	4,2	5,5	1,2	1,3	2,0	Bal.

2.2 WC-20Co

O corpo de prova com este material foi revestido pelo método HVOF. Possui nano partículas basicamente de tungstênio, que proporcionam uma melhor proteção do substrato à corrosão, prevendo-se elevada dureza, baixo atrito, resistência ao desgaste e quimicamente inertes.

Carboneto de tungstênio com cobalto é muito utilizado na fabricação de ferramentas de corte, aplicação na qual se deseja uma grande dureza superficial aliada a grandes resistências a compressão elevada e ao desgaste. Esse material é fabricado a partir de partículas finas de carboneto de tungstênio (composto refratário e duro) ligado por um metal de transição (cobalto).⁽⁶⁾ A Tabela 2 mostra a composição química deste material

Tabela 2. Composição química do WC-20Co

% Peso dos elementos					
Co	Cr	C tot.	Fe	Outros	W
20	4,1	5,3	0,018	0,1	Bal.

2.3 Aço inoxidável 420

O corpo de prova utilizando este material foi revestido pelo método de soldagem MIG com arame de diâmetro 1,6 mm. É uma alternativa para proteger os componentes de aço em ambientes corrosivos. Entretanto, os revestimentos do aço inoxidável têm, em alguns casos, a incapacidade de proteger a superfície de aço em ambientes agressivos.⁽⁷⁾ A Tabela 3 mostra a composição química deste material.

Tabela 3. Composição química do aço inox 420

% Peso dos elementos				
Fe	Cr	Si + Mn	C	Outros
81,6 a 87,9	11 a 17	Máx. 1,1	0,15 a 0,45	Máx. 2,5

2.4 Cr₃C₂- NiCr- 75-25

O corpo de prova utilizando este material foi revestido pelo método HVOF. De acordo com informações técnicas, o material possui densidade aparente de 2,9 g/cm³. Sua composição química é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4. Composição química do Cr₃C₂-NiCr 75-25

% Peso dos elementos				
Ni	C tot.	O	Fe	Cr
19,0	11,0	0,0	0,0	Bal.

2.5 Zinco

O corpo de prova utilizando arame de zinco como material de adição foi revestido pelo método de aspersão arc-spray. A composição química do material é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5. Composição química do zinco

% Peso dos elementos						
Al	Cd	Fe	Cu	Pb	Sn	Zn
0,002	0,003	0,003	0,001	0,003	0,001	Bal.

Os ensaios de corrosão foram realizados de acordo com a Norma ASTM - G48,⁽¹⁴⁾ sendo realizados por imersão em cloreto férrico. A solução utilizada continha 100 g de cloreto férrico hidratado em 900 ml de água destilada. 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.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, apresentam-se os resultados médios de microdureza superficial dos revestimentos obtidos. Foram executadas cinco medidas para cada amostra, sendo apresentada a média das medidas obtidas.

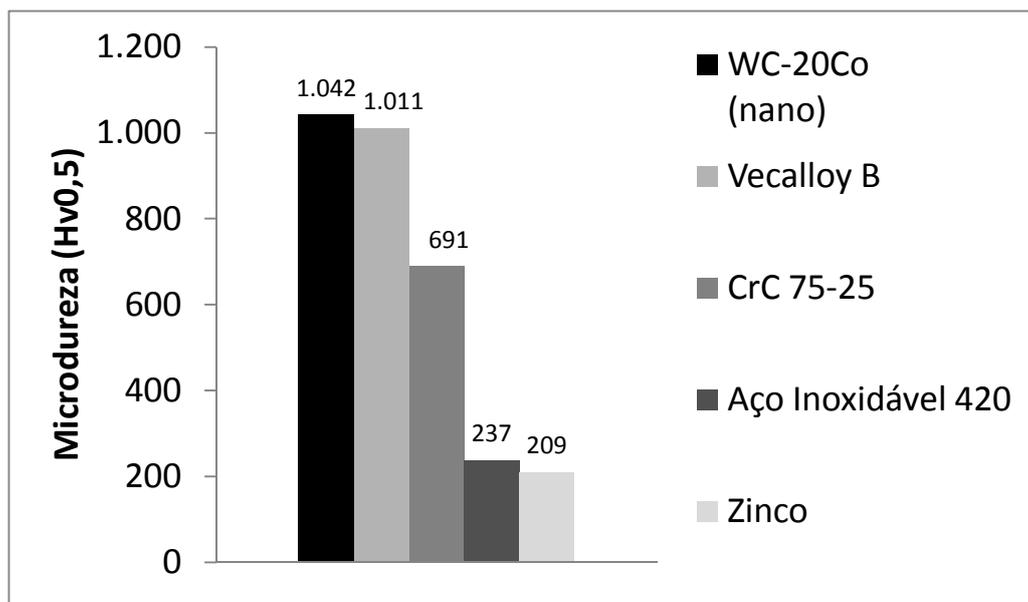


Figura 1. Resultados de microdureza Vickers dos revestimentos.

Na Tabela 6, apresentam-se os resultados de rugosidade média Ra dos revestimentos pela leitura de rugosímetro digital. Foram realizadas cinco medidas de rugosidade, sendo registrada a média.

Tabela 6. Resultados de rugosidade

Amostra	Rugosidade Ra (μm)
Aço inoxidável 420 (MIG)	> 10
Vecalloy B (Arc spray)	> 10
Cr ₃ C ₂ - NiCr 75-25 (HVOF)	8,44
Zinco (Arc spray)	4,51
WC-20Co nano (HVOF)	1,12

Pela análise da Figura 1, pode-se observar que, utilizando-se o processo *arc-spray*, conseguiu-se um revestimento com maior dureza, no caso do Vecalloy B, em torno de 1.000 Hv, cerca de 40% maior que o revestimento de Cr₃C₂ - NiCr 75-25 aplicado por HVOF. Entretanto, a maior dureza foi apresentada pelo revestimento de WC-20Co nano estruturado, aplicado por HVOF que atingiu 1042 Hv.

Vecalloy B tem basicamente ferro e possui uma grande porcentagem de cromo em sua composição, o que contribuiu para uma dureza elevada. WC-20Co tem basicamente tungstênio em sua composição, ou seja, tem um teor elevado de WC, o que também auxilia para uma dureza elevada.

Com a medida da rugosidade, informada na Tabela 6, foi possível concluir que o revestimento WC-20Co, por ser nano estruturado, possui uma menor rugosidade em comparação com os demais revestimentos micro estruturados.

Os resultados do ensaio de corrosão realizado de acordo com a norma ASTM- G48 são apresentados no gráfico da Figura 2.

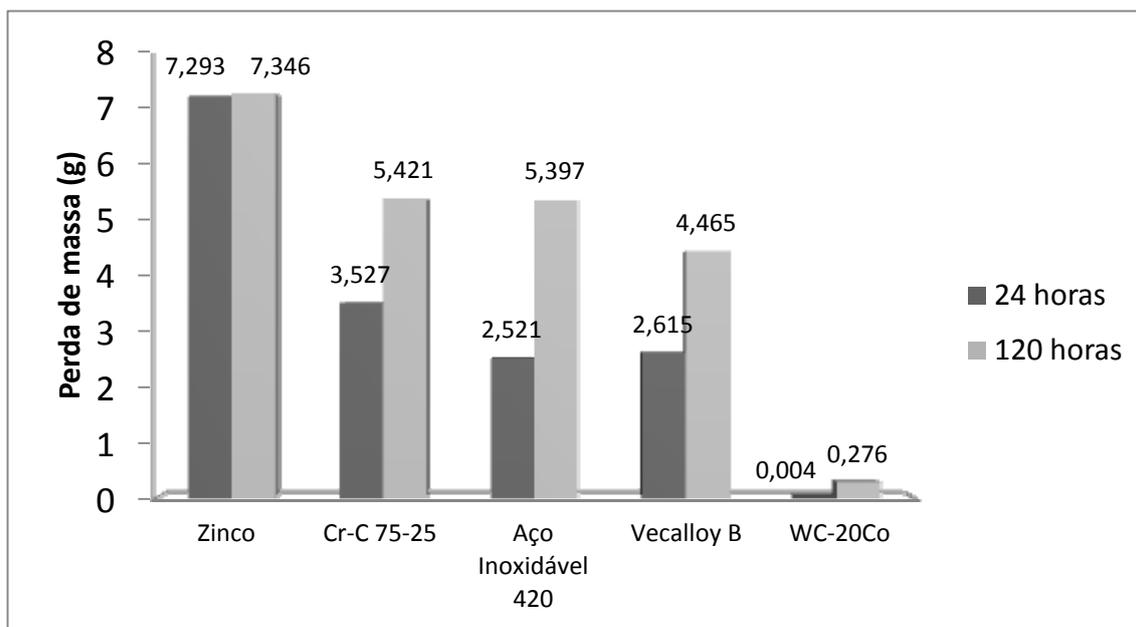


Figura 2. Resultados do ensaio de corrosão de acordo com a norma ASTM – G48

Pela análise da Figura 2, pode-se observar um resultado bastante superior do revestimento de WC-20Co, nano estruturado, com uma perda de massa da ordem de 20 vezes menor que o segundo material de melhor comportamento, o Vecalloy B. 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.

5 CONCLUSÃO

Os resultados, em geral, mostraram que os revestimentos obtidos apresentaram boa adesão ao substrato e baixo nível de defeitos.

O revestimento WC-20Co aplicado por HVOF foi o que apresentou melhor resultado geral, creditado principalmente por ser um material nano estruturado. Apresentou o menor nível de rugosidade, maior microdureza superficial e melhor comportamento no ensaio de corrosão, com a menor perda de massa, cerca de 20 vezes melhor que o Vecalloy B, segundo melhor desempenho.

Agradecimentos

Os autores agradecem o CNPq pelo apoio financeiro a este projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 LIMA, C.R.C.; TREVISAN, R.E. *Aspersão Térmica: Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: ArtLiber Ed., 2001, 148 p.
- 2 GUILMANY, J. M.; MIGUEL, J. M.; VIZCAINO, S.; CLIMENT, F. Role of three body abrasion wear in the sliding wear behavior of WC-Co coatings obtained by thermal spraying. *Surface and Coatings Technology*, v. 140, p. 141-146, 2001.

- 3 ZHAO, L., LUGSCHEIDER, E. Influence of the spraying on the properties of 316L stainless steel coatings. *Surface and Coatings Technology*, 162, 2003.
- 4 DAVIS, J.R. (Ed.) *Handbook of Thermal Spray Technology*, Ohio, ASM International, 2005.
- 5 SOVOLEV, V.; GUILMANY, J. M.; NUTTING, J. High velocity oxy-fuel spraying. London: Maney, 2004, 397p.
- 6 AWS Thermal Spraying- Practice, Theory and Applications. Miami, Flórida: American Welding Society, 1985, 184 p.
- 7 SANTOS, A. J. M. Caracterización de recubrimientos de acero inoxidable obtenidos mediante proyección térmica. 1999. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais), Facultad de Física Química, Universitat de Barcelona, Barcelona, 1999.
- 8 GUILMANY, J. M.; NUTTING, J.; DONG, Z.; DE PACO, J. M. The influence of WC-Co HVOF thermal spraying on the microstructure of an Al-4%Cu alloy substrate. *Scripta Metallurgica et Materialia*, v. 33, p. 1055-1062, 1995.
- 9 CUNHA, L. J. G. Solda: Como, Quando e Por quê. Rio Grande do Sul: D.C. Luzzanatto, 1985, 234 p.
- 10 BOND, D. Avaliação de Revestimentos Soldados Processados com Materiais Atomizados. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, 2008.
- 11 DAVIS, J.R. Hardfacing, weld cladding, and dissimilar metal joining: Welding, Brazing and Soldering, *Metals Handbook*, 10^a ed. Metals Park, Ohio: ASM International, v.6, 1993
- 12 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.
- 13 JEFFUS, L. *Welding: principles and applications*. 5 ed. Australia: Delmar Learning, 2004, 904 p
- 14 ASTM G 48- 76 (Reapproved 2011): Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.