

Editorial
METALIZAÇÃO - MODERNIZAÇÃO
NO BRASIL E PROTEÇÃO
DE GERADORES EÓLICOS (pg. 2)

REVESTEEL,
UMA EMPRESA
DE ÚLTIMA GERAÇÃO (pg. 3)

PRESTADORES DE
SERVIÇO
INVESTINDO EM
EQUIPAMENTOS
DE ALTA
TECNOLOGIA (pg.4)

Tema do mês
A METALIZAÇÃO
E OS
EQUIPAMENTOS
EÓLICOS (pg. 5/11)

Cursos
CURSO DE METALIZAÇÃO
2012 NA ABM (pg. 11)

Novidade
A INFLUÊNCIA DO
SHOT PEENING
NO AÇO AISI 4340
REVESTIDO COM
CARBETO DE TUNGSTÊNIO
PELO PROCESSO
HVOF (pg. 12/15)

Fotos Sulzer Metco e Internet

EDITORIAL

METALIZAÇÃO - MODERNIZAÇÃO NO BRASIL E PROTEÇÃO DE GERADORES EÓLICOS

Eng. Luiz Cláudio O. Couto*

Esta edição do **InforMetalização** de 2.012, mostra um pouco da modernização do parque industrial dos Prestadores de Serviço de Metalização no Brasil.

Até então, com raras exceções, a maioria das empresas que prestavam serviços de metalização eram de pequeno porte, atuavam regionalmente e focavam os seus serviços em simples reparos de eixos, buchas e mancais.

Contudo, algumas dessas exceções vêm se sobressaindo no mercado nacional, como por exemplo: a Rijeza e a Ogramac já mostradas aqui, e outras surgindo com novas filosofias de trabalho, como é o caso da Tec Metal, que avançam através daquele, que entendemos, seja o caminho correto para os Prestadores de Serviço de Metalização no Brasil.

Felizmente, outras empresas também seguem este rumo, e nesta edição falamos um pouco da Revesteel, outra daquelas que investem na melhoria do serviço que pode ser oferecido ao cliente final, através da aquisição de equipamentos de alto nível. Fizemos questão de convidar o seu Diretor o Sr. Edison Luiz Marge, para que compartilhasse conosco um pouco da história da Revesteel.

Antes de mais nada, porém, gostaríamos de deixar claro, que devido à reduzida quantidade de informações disponíveis da área de Prestadores de Serviço de Metalização em nosso país, cometemos um erro de avaliação. Em nossa edição anterior, incluímos na reportagem da Rijeza, e em nosso editorial, uma citação que dizia que o primeiro robô teria entrado em funcionamento na empresa. Contudo, desconhecíamos que em Pinhais, no Paraná desde julho de 2.008, já se encontrava em funcionamento um robô nas dependências da Revesteel.

Fornecedores como a Sulzer Metco, através de seu Gerente de Produtos na Harris Soldas Especiais, Marcos Galvano, nos dão a idéia do investimento que vem sendo realizado pelos prestadores de serviço de aplicação de metalização nacionais, em equipamentos utilizando alta tecnologia.

Percebemos que o mercado de Metalização, além de sua necessária ampliação, tornando-se um processo mais conhecido do público técnico brasileiro, também carece de divulgação e união de esforços neste sentido. O **InforMetalização**, como informativo exclusivamente voltado a este mercado, vem se colocando à disposição do Prestadores de Serviço, Produtores de Equipamentos e Materiais e Clientes Finais, para esta missão.

Não podemos esquecer que aplicações globais dos Processos de Metalização, cada vez mais estão presentes em nosso cotidiano. Basta verificar o que vem acontecendo nos setores de Petróleo & Gás e Energia em geral, citando apenas dois daqueles que têm extrapolado fronteiras nacionais.

A Energia Eólica e a Metalização, como reportagem central desta edição, ultrapassou em extensão, a todos os outros temas tratados em edições anteriores do **InforMetalização**. Ao iniciarmos a pesquisa em relação ao assunto, nos deparamos com uma quantidade incrível de informações que concluímos, mesmo de forma "resumida", seria de grande interesse apresentá-la aos nossos leitores, tanto para os simpatizantes, como para aqueles que efetivamente atuam na área de Metalização.

O Brasil já mostra a sua força no caminho das energias limpas e renováveis, atuando através de programas como o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica lançado em 2004, pelo Governo Federal, que embora ainda no início, já começa a colher alguns frutos na geração de energia eólica no país.

Mais um Curso de Metalização, desta vez nos dias 31 de maio e 1 de junho deve ser realizado na sede da ABM/SP. Aguardamos a presença de todos!

Esperamos mais uma vez que a presente edição do **InforMetalização** esteja do agrado de todos os leitores interessados no tema Metalização/Aspersão Térmica.

Boa leitura!

Procedimentos
Desenvolvimento
Acompanhamento



www.metalizacao.eng.br

Avaliação
Orientação
Treinamento
Apoio Técnico



Consultoria metalizacao.eng.br

www.mai/queneuronio.com.br

Recurso Humano
Busca de Informação
Metodologia Científica
Propaganda & Marketing



www.mai/queneuronio.com.br

mai/queneuronio@mai/queneuronio.com.br

REVESTEEL, UMA EMPRESA DE ÚLTIMA GERAÇÃO

* Edison Luiz Marge

Fundada em 1993, em Pinhais, no Estado do Paraná, a Revesteel inicia suas atividades com foco em metalização por aspersão térmica.

Já no seu início, possuía equipamentos de última geração da marca Metco: Plasma Térmico, HVOF, Arco Elétrico e Chama, aplicando revestimentos cerâmicos e carbetos para vários segmentos industriais.

Passados três anos, a empresa amplia seu leque de serviços oferecendo também usinagem, fabricação de peças e partes de máquinas que agregam valor à tecnologia de metalização.

Hoje nosso parque fabril ocupa um terreno próprio de 10.000 m² com 3.000 m² de área construída, quatro cabines de metalização com automação, dispositivos e Robô operando desde julho de 2008, para aplicação em superfícies não lineares, e equipamentos de aspersão térmica, sendo: 2 *Plasma Spray*, 2 HVOF, 3 *Arc Spray* e vários à chama (*Flame Spray*).

Complementam os nossos serviços, 26 máquinas operatrizes dentre as quais: torno mecânico, retífica, mandrilhadora, frezadoras, lixadeiras e máquina para super acabamento com abrasivos diamantados.

Atualmente, contamos com 40 profissionais treinados e capacitados, e certificação ISO 9001-2008.

Visando novos mercados, acabamos de adquirir um moderno HVOF fabricado pela Sulzer Metco com acendimento automático e parâmetros pré-fixados, que garantem a operação com a qualidade requerida.

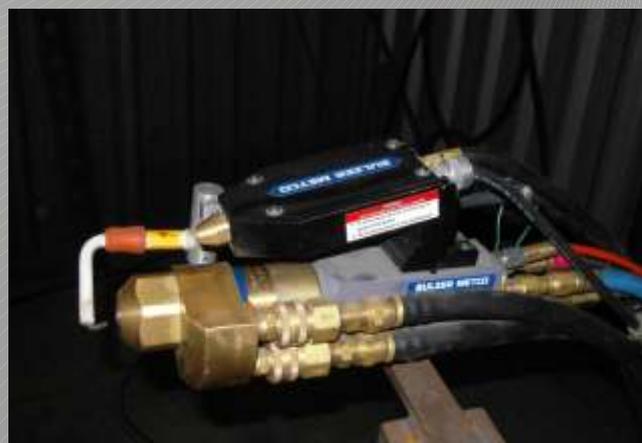
Nossa carteira de clientes é formada por empresas de destaque nos segmentos do Petróleo e Gás, Celulose e Papel, Gráfica, Automotiva, Siderúrgica, Cimenteira, etc.



HVOF automatizado



Robô aplicando revestimento a Plasma



HVOF acendimento automático



* Edison Luiz Marge é Sócio Proprietário e Diretor da Revesteel Metalização. Formado em Administração de Empresas, Professor aposentado da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Técnico Mecânico.

R. Aluisio de Azevedo, 414 - CEP 83321-270
Pinhais - Paraná
Fone: (41) 3668-0156 - Fax: (41) 3669-7571
edison@revesteel.com.br
www.revesteel.com.br

PRESTADORES DE SERVIÇO INVESTINDO EM EQUIPAMENTOS DE ALTA TECNOLOGIA

*Marcos Galvano

Empresas brasileiras, especializadas na Prestação de Serviços de Metalização realizam investimentos em equipamentos com maior nível de tecnologia.

A Revesteel adquiriu recentemente um equipamento Sulzer Metco Diamond Jet HVOF (DJC) com sensores que não permitem a operação fora dos parâmetros mínimos necessários, o que assegura a produção de revestimento de alta qualidade.



Assim o acendimento ocorre de forma automática através de acionamento no painel de comando. Desvios na pressão de gases, a falta dos mesmos ou falhas no sistema de refrigeração desligam o sistema com indicação do motivo da falha no painel de monitoramento de parâmetros. O sensor de chama detecta eventual falha da chama interrompendo a operação. O alimentador de pó fornecido na configuração selecionada, mantém a vazão de pó segundo *set point* estabelecido, efetuando automaticamente as correções necessárias, independente da ação do operador. A vazão de pó pode ser observada a todo instante em *display* que indica vazão real e *set point*. Valores fora do *set point* acionam alarme de alerta.

Outra empresa, a Portcrom, encontra-se em fase de instalação de um equipamento Sulzer Metco EvoCoat, Evolink com pistola WokaJet HVOF que utiliza combustível líquido. O equipamento é o mais moderno em toda a América Latina para esta tecnologia. Opera de maneira automática. Quaisquer falhas ou alterações de programa são indicadas no painel e armazenadas na memória do equipamento, permitindo total rastreabilidade do processo.

Trata-se da mais atualizada tecnologia para equipamento HVOF de combustível líquido. O monitoramento do processo coleta dados diretamente na pistola (tecnologia Evolink), eliminando quaisquer interferências de transferência física de dados entre o ponto onde ocorre o fenômeno e o ponto de medição.



A tecnologia avançada do painel, que utiliza controle mássico da vazão de oxigênio integrada à vazão volumétrica do querosene, mantém a estequiometria da reação de combustão de acordo com os parâmetros de *set point* do processo. Este controle associado a sensores instalados no ponto onde ocorre o fenômeno (pistola), permite a real avaliação do processo, assegurando excelente performance e repetibilidade do *spray*.



*Marcos Galvano é formado em Engenharia Industrial Mecânica pela Universidade Santa Cecília dos Bandeirantes. Participou de diversos cursos dentre eles o "Thermal Spray Technology - ASM International" nos EUA. Iniciou sua carreira profissional há 26 anos como responsável técnico pelo processo de metalização a plasma na Cofap (atualmente do grupo Mahle). Trabalhou em diversas unidades participando de pesquisa e desenvolvimento onde atuou como funcionário e consultor na área de processos químicos, metalúrgicos e análises laboratoriais/qualidade em diversas unidades no Brasil e exterior desenvolvendo processos de fabricação e aprimorando projetos nas áreas de metalização, galvanoplastia, tratamento térmico e termoquímico, conformação, fundição, laminação entre outros. É atualmente Gerente de Produtos Sulzer Metco na Harris Soldas Especiais/Brastak.
E-mail: marcos@harris-brastak.com.br
www.harris-brastak.com
www.sulzer.com

A METALIZAÇÃO E OS EQUIPAMENTOS EÓLICOS

Eng. Luiz Cláudio O. Couto*

1. A energia eólica ao redor do planeta

1.1. A Energia eólica no mundo

Em 2011, a capacidade instalada de energia eólica no mundo aumentou 21%, alcançando 238.000 MW, segundo recentes informações do Conselho Global de Energia Eólica. Este valor equivale a 17 vezes a potência instalada na Usina de Itaipu.

Enquanto a China teve um aumento de 40%, alcançando uma capacidade instalada de 62.000 MW, os Estados Unidos chegaram a 52.000 MW e a Índia a 16.000 MW. A Europa, atualmente com a maior capacidade instalada do planeta, conta com 96.000 MW, após um aumento que representou 25% do total instalado no mundo.

O setor de energia eólica da indústria energética está crescendo exponencialmente e fornecendo atualmente 1,5% de todas as necessidades de energia do mundo. A Associação de Energia Eólica Mundial (WWEA - World Wind Energy Association) é uma associação internacional (não lucrativa) integrada por membros de mais de 90 países.

Em 2008 o setor de energia eólica gerou um total de 440.000 postos de trabalhos no mundo inteiro.

Estima-se uma capacidade global de mais de 1.500.000 MW para o ano 2020

Estudos indicam que os principais motivos para o crescimento explosivo da energia eólica são: o vento como fonte de recurso é infinita e de acesso mundial, a grande concorrência atual de preços das instalações, a energia eólica tem emissão zero de carbono, de resíduos perigosos e nenhuma exigência de refrigeração de água

Além da atual tecnologia, utilizada na maioria das turbinas *onshore*, as suas "primas" *offshore*, estão expandindo-se ao redor do mundo. Podem ser divididas por profundidade de instalação, ou seja: águas rasas (de 0 a 30 m), águas de profundidades intermediárias (entre 30 e 50 m) e águas profundas (de 50 a 200 m).

Quanto à ação do meio ambiente *offshore*, as instalações eólicas estão sujeitas, na zona da atmosfera ao ar, exposição UV e água do mar. Na zona de respingos, ao ar, exposição UV e água do mar. Na zona submarina à água do mar e na zona submarina/subsuperficial à ação da água do mar e da lama.

1.2. A energia eólica no Reino Unido

O Reino Unido, através da TWI, realiza estudos para produzir especificações para aumento de vida útil dos revestimentos aplicados nas zonas de respingos e de maré, para 40 anos em instalações eólicas *offshore*.

Os principais objetivos destes estudos estão ligados à identificação das lacunas tecnológicas atuais, estabelecendo relação entre a forma atual de trabalho e a experiência acumulada na mitigação da corrosão nas zonas de respingos e maré. Busca-se a definição dos melhores sistemas de revestimento voltados à mitigação destas mesmas áreas, a longo prazo, e consequentemente produzir uma especificação de revestimento (ou revestimentos) que atenda a estes objetivos.

Entre os principais benefícios que se esperam deste projeto, estão: a significativa redução dos custos de manutenção das estruturas *offshore* ao longo dos pretendidos 40 anos de vida útil, principalmente nas zonas de respingos e maré e o aumento na confiabilidade dos projetos, levando em conta a redução das taxas de corrosão e a consequente redução no peso das estruturas *offshore*.

O estudo levará em conta, entre outros itens, o desempenho das camadas de alumínio e respectivas ligas, aplicadas por aspersão térmica, sua taxa de corrosão, a influência do processo (chama, arco elétrico), tipo, cor e espessura de selante, compatibilidade com sistemas orgânicos de pintura atuais e outros, preparação superficial, composição do substrato, redução na corrosão do substrato, solda e aumento da vida útil da estrutura, compatibilidade com a proteção catódica, custos comparativos com outros sistemas de proteção, aplicação em áreas de difícil acesso, comportamento em relação ao crescimento microbiano e marinho, normas, saúde e meio-ambiente, etc.

1.3. A energia eólica na América do Sul

Longe de seus vizinhos, em 2010 o Brasil contava com 927 MW instalados, uma taxa de crescimento de 35% e o número de empregos alcançando 13.500. Enquanto isto o Chile contava apenas com 172 MW instalados, a Argentina com 60 MW, o Uruguai com 43 MW, a Colômbia com 20MW, o Equador com 2 MW e o Peru com 1 MW.

1.4. A energia eólica no Brasil

A capacidade total instalada no Brasil, em 2011, saltou de 927 para 1.509 MW, com um aumento de 62%. Em função dos recentes leilões ocorridos, espera-se que até 2013 este número alcance os 5.000 MW.

A energia eólica que atualmente representa 0,8% da matriz energética nacional, deve ampliar-se, atingindo 7% em 2020, conforme previsões do Plano Decenal de Expansão de energia (PDEE) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ou segundo as previsões de Ricardo Maya Simões Presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), poderá alcançar até 15%.

Os 9.650 km de áreas costeiras e enormes regiões desabitadas, proporcionam ao Brasil excelentes possibilidades de se transformar num dos maiores produtores mundiais de energia eólica.

Os melhores ventos estão concentrados na Região Nordeste, principalmente nos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Pernambuco e Bahia e na Região Sul, principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Ao lado destes, Minas Gerais desponta como um novo Estado com grande potencial a ser explorado em um futuro breve.

No último leilão de energia ocorrido em 2011, foram contratados 555,2 MW através de 42 empreendimentos, sendo 1 usina hidrelétrica, 2 usinas térmicas e 39 geradoras eólicas, situadas nos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul.

Novo leilão A-3 deverá ocorrer em 28 de junho de 2012 e o A-5, agora também composto de parques eólicos, usinas a biomassa e térmicas a gás natural e que anteriormente só contava com usinas hidrelétricas, em 16 de agosto de 2012, com início de

suprimento previsto para 1º de janeiro de 2015. No leilão A-3, a EPE tem cadastrado 598 empreendimentos de geração de energia elétrica para o leilão, cuja capacidade total será de 25.850 MW. Das usinas participantes, 88% delas, 524 parques, são de geração eólica.

Um crescimento de 4,5% no consumo de energia no Brasil está previsto para 2012, em relação aos 3,4% obtidos em 2011.

O mercado de fornecedores de equipamentos eólicos no Brasil, até pouco tempo dominado por apenas uma empresa, viu-se, já em 2010, alvo das operações de diversos outros fabricantes do setor, inclusive sete dos maiores deles.

2. O Gerador eólico

A Turbina Eólica Horizontal Axial, produz energia elétrica a partir do vento que impulsiona e movimentam as pás, que por sua vez acionam a caixa de engrenagens, o gerador de força, o sistema hidráulico e um controlador eletrônico sustentados por um chassi e contidos em uma nacela, apoiada em uma torre de aço elevada a partir de fundações de concreto.

2.1. Geradores eólicos *offshore*, os mais críticos

As turbinas eólicas *offshore* estão sujeitas à ação crítica da corrosão devido ao ambiente marinho onde operam. Isto pode levar a sérios problemas na estrutura da nacela, no chassi de sustentação e na torre da turbina.

3. A Aspersão Térmica/Metalização voltada à recuperação dimensional

Foram realizados estudos em relação ao reparo de um pino de mancal fabricado em aço ligado AISI 4140, pertencente a um componente rotativo do sistema de transmissão de turbina eólica, aplicando um revestimento de aço inoxidável 420 pelo Processo de Aspersão Térmica.

Concluiu-se que o revestimento, aplicado através de equipamento a arco elétrico, obteve melhora na resistência ao destacamento e ao desgaste, com consequente validação do reparo.

4. A Aspersão Térmica/Metalização contra a incrustação e o crescimento biológico

A incrustação em estruturas *offshore* é um fenômeno conhecido. Estudos foram realizados tanto no setor de extração de petróleo e gás, quanto em torres eólicas *offshore*. O meio-ambiente através da temperatura, composição e cinemática da água, determina o tipo e a quantidade de incrustações ocorridas.

A corrosão do aço, devido à incrustações, pode ocorrer através da criação de áreas de água retida, da concentração de pilhas de oxigênio, dos locais para as bactérias aeróbias e da remoção de metal.

Contudo, concluiu-se que a incrustação parece não ter afetado o desempenho da proteção contra a corrosão dos sistemas de revestimento.

5. Corrosão no ambiente marinho

Uma vez que o processo de corrosão na água do mar é um fenômeno eletroquímico, pode ser afetado pelo tipo e massa do sal dissolvido, da massa de oxigênio dissolvida e de sua temperatura e movimento. Ao projetarmos a proteção de uma estrutura metálica contra a corrosão provocada pela água do mar, temos como objetivo reduzir ao máximo a sua taxa de

corrosão, que embora não possa atingir o zero, pode alcançar valores negligenciáveis de 0,001 mm/ano.

Quando não protegidos, aços baixa-liga ou não ligados, apresentam taxas variáveis de corrosão em água do mar, em função das condições de exposição da estrutura do gerador eólico, variando, segundo algumas especificações de 0,03 mm/ano na zona submersa, até 0,27 mm/ano na zona de respingos. Ou seja, para projetos de 20 anos, pode-se perder cerca de 6 mm/ano devido à estas taxas de corrosão.

6. Revestimentos protetivos - Experiência da indústria de petróleo e gás

A experiência indica que algumas normas voltadas a sistemas de proteção da zona atmosférica (acima da linha d'água), compostos por epóxi rico em zinco, epóxi e *topcoat* resistente à UV devem ser redimensionadas para resistir a 20 anos, enquanto epóxi+ânodos de sacrifício e poliéster conseguem atender a este período, quando respectivamente aplicados na zona submersa e de respingo.

7. A Corrosão nos geradores eólicos *offshore*

Um dos atuais objetivos dos operadores *offshore* é estender a vida projetada de suas instalações, estruturas e componentes para 40 anos, viabilizando-as financeiramente e aumentando a sua disponibilidade até os últimos anos de operação.

A manutenção, relativamente fácil, realizada no topo das instalações, torna-se crítica quando se trata da estrutura e demais equipamentos situados nas zonas severamente expostas à corrosão de respingos e maré.

Mesmo com a utilização de aços tolerantes à corrosão, sistemas de pintura e a utilização de ânodos de sacrifício, ao cogitarmos em uma vida útil estimada em 40 anos, tais medidas resultariam em aumentos exagerados do peso da estrutura e a falta de tal durabilidade dos atuais sistemas de pintura.

8. Desafios da proteção contra a corrosão de geradores eólicos *offshore*

Somando-se todas as características necessárias ao funcionamento ideal de geradores eólicos durante um período de aproximadamente 40 anos, deveríamos levar em conta: o ambiente marinho com suas elevadas taxas de corrosão, erosão devido ao impacto das partículas de sal e gotas d'água, cargas mecânicas devido à flutuação do gelo, bioincrustação, variações meteorológicas, ventos, ondas, reduzido acesso, longos e irregulares intervalos de manutenção, reparos e seus respectivos custos, maior aproveitamento na geração de energia com aumento das dimensões dos geradores e melhoria de suas fundações de concreto, utilizando o aço com previsão de até 50 anos de duração.

9. Atuais formas de proteção contra a corrosão dos geradores eólicos *offshore*

A proteção contra corrosão nos geradores eólicos sempre foi e continuará sendo necessária devido à segurança e necessidade de regularidade na produção de energia

9.1. Condições ambientais

O gerador eólico *offshore* é de maneira geral, dividido nas seguintes áreas, sujeitas à corrosão: zona atmosférica, zona de respingos, zona submersa e interior da torre.

9.2. Projeto da estrutura

Podemos considerar como componentes básicos de um gerador eólico *offshore*: as lâminas de rotor, a nacelle, a torre, a subestrutura e finalmente a sua amarração.

9.3. Tipos de instalações em função da tecnologia de profundidade utilizada

Águas pouco profundas (0 a 30 m): Parte fixa inferior da nacelle e subestruturas de base adaptadas dos sistemas terrestres.

Águas de profundidade intermediária (30 a 60 m): Fixação na parte inferior da carcaça através de treliça ou subestruturas múltiplas, fornecendo maior rigidez à base (similar às estruturas de águas pouco profundas). Podem ser necessárias embarcações para águas mais profundas.

Águas profundas (> 60 m): As subestruturas de flutuação podem desconectar-se da parte inferior, permitindo o seu deslocamento e um maior nível de produção com menor quantidade de trabalho no mar. As subestruturas compõem-se de semi-submersíveis, bóias de mastro e colunas de sustentação das plataformas. Turbinas mais aperfeiçoadas estão em desenvolvimento

9.4. Como a turbina *offshore* pode ser protegida

De maneira geral podemos considerar que a torre de aço utiliza contra a corrosão, a proteção catódica em sua subestrutura e no interior da torre a proteção é obtida mantendo o ambiente interno seco. Quanto às lâminas, são fabricadas em materiais compostos resistente à corrosão. A nacelle pode ser fabricada com materiais resistentes à corrosão e mantendo o ambiente interno seco.

9.5. Sistemas de revestimento atualmente em uso em parques eólicos *offshore*

As áreas externas dos geradores eólicos *offshore* já são revestidas em grande parte através de sistemas de zinco duplex, depositando zinco/ligas por aspersão térmica ou sistemas de pintura. Nas áreas internas, pode ser utilizado zinco aplicado por aspersão térmica (ZAT) especificado na zona de respingo em algumas torres ou apenas pintura. Contudo, as informações disponíveis sobre os revestimentos e sobre seu desempenho, geralmente são ainda muito limitadas.

10. Proteção contra a Corrosão de Estruturas de Sustentação da Turbina Eólica

10.1. Zona Atmosférica

Acima da zona de respingos (que inclui a torre da turbina), a proteção normalmente utilizada é um sistema formado por *primer* de zinco (preferivelmente aplicado por aspersão térmica), selante, epóxi e poliuretano.

10.2. Zona de Respingos

Devido ao contato desta área com a água do mar combinada com o ar carregado de sal do ambiente marinho, as instalações *offshore* de exploração de petróleo e gás, vêm utilizando revestimentos de borracha ou então de alumínio aplicado por aspersão

térmica para proteção contra a corrosão. Porém a simplicidade das estruturas envolvidas num gerador eólico, quando comparada à complexidade das plataformas marítimas, a princípio, não comporta para uma vida de 20 anos, tais valores de aplicações. Alternativas de proteção semelhantes àquelas utilizadas na zona atmosférica também são aplicáveis, bem como novos conceitos, como por exemplo, a deposição de poliéster.

10.3. Zona Submersa

Pode ser protegida por um sistema formado por epóxi complementado por anodos de sacrifício.

10.4. Proteção contra a corrosão do sistema elétrico da turbina eólica

O projeto de construção da nacelle da turbina leva em conta a sua blindagem, impedindo a penetração de umidade nos sistemas elétricos e instrumentos de controle, tais como unidades de geração de energia, painel de distribuição elétrica, instrumentos, isolamento elétrico e caixas de junção de motores de movimentação de bombas hidráulicas. Porém, medidas adicionais devem ser tomadas para impedir os danos causados pelo crítico ambiente marinho com ventos de velocidades elevadas contendo sal.

11. Demandas da proteção contra a corrosão em turbinas eólicas

A rapidez na produção, com investimentos e serviços de baixos custos e vida longa, exigem sistemas de proteção à corrosão livres de manutenção.

12. Revestimentos para aumento da vida projetada para 40 anos das Zonas de Respingos e Maré

Devido ao ambiente crítico em que estão instalados os geradores eólicos *offshore*, todos os seus componentes estão sujeitos a sérios problemas de corrosão. Deve-se levar em conta que turbinas eólicas *offshore* de grande capacidade, estão sendo instaladas em agrupamentos maciços que variam entre 3 MW e 5 MW de capacidade, diferindo dos projetos terrestres apenas pelo heliporto localizado sobre a nacelle.

12.1. É possível prolongar a vida do revestimento?

Sim, desde que o revestimento atenda a exigências mínimas, como por exemplo, utilizar sistemas de proteção anti-corrosiva com desempenho documentado, experiência operacional, pré-qualificação e o atendimento a severas regras de controle das condições de preparação da superfície, de aplicação da camada, dos equipamentos e insumos utilizados.

12.2. Objetivos principais

Após identificar as atuais lacunas da tecnologia de aplicação de revestimentos, devem ser estabelecidos procedimentos de ensaios referentes à mitigação da corrosão nas zonas de respingos e maré. Finalizados os ensaios, definir qual (ou quais) entre os sistemas testados, oferece o maior nível de mitigação, a longo prazo. Finalmente, de posse dos resultados, criar uma especificação que atenda a uma vida projetada de 40 anos para o revestimento (ou revestimentos) voltados à proteção das zonas de respingos e maré.

12.3. Benefícios principais

Espera-se alcançar reduções significativas nos custos do ciclo de vida projetada para 40 anos contra a corrosão, nos regimes de manutenção, principalmente das zonas de respingos e maré e conseqüente aumento na confiança dos projetos, reduzindo a corrosão permitida e obtendo importantes reduções de peso das estruturas

13. Alternativas de sistemas de proteção

13.1. Sistema de revestimento convencional

Baseado na experiência adquirida pela indústria de petróleo e gás *offshore*, a primeira manutenção ocorre após 8 anos. Porém há normas qualificadoras que propiciam vida útil de 20 a 25 anos, podendo ser ampliada para 25 a 30 anos.

13.2. Incluindo a Metalização/Aspersão Térmica

Já utilizados em turbinas eólicas *offshore*, sistemas de revestimentos compostos por zinco aplicado por Metalização/Aspersão Térmica + pintura anti-corrosiva protegem também pontes em estradas norueguesas, que não apresentaram corrosão durante 40 anos.

13.3. Recomendações - revestimentos existentes

Recentes análises foram executadas levando em conta o ciclo de vida do sistema de revestimento convencional de três camadas e os sistemas de ZAT duplex. Chegou-se à conclusão que a utilização da automação e da redução do número de camadas de pintura, torna o sistema viável técnica e financeiramente, principalmente para a zona atmosférica e de respingos, principalmente quando levada em conta a possibilidade do aumento da vida projetada da estrutura para 40 anos.

13.4. Novas tecnologias de revestimento

Alguns revestimentos (que ainda dependem de avaliação e otimização), que se auto-reparam, podem ser utilizados para melhorar o desempenho de um sistema de proteção contra a corrosão em turbinas eólicas *offshore*. Nestes revestimentos, inibidores químicos em conexão com os danos do revestimento, são liberados de microcápsulas e atuam como agentes "cicatrizadores" da camada danificada.

14. A Aspersão Térmica/Metalização nos Geradores Eólicos

14.1. A Mitigação da Corrosão *Offshore*:

Utilizando-se as previsões atuais de projeto, com base numa combinação de estratégias de mitigação da corrosão, para uma vida útil projetada para 20 anos de uma instalação *offshore*, é utilizado como parâmetro uma taxa de corrosão de no mínimo 0,3 mm por ano, o que resulta em 6 mm de redução na estrutura ao final do período.

Ao considerarmos os 40 anos, agora pretendidos, a esta taxa de mitigação de corrosão, teríamos 12 mm de redução no aço. Esta solução se torna inviável, quando levamos em conta o aumento necessário na massa da estrutura e a inexistência de sistemas orgânicos de pintura suficientemente duráveis.

Porém, a soma das experiências a longo prazo, realizadas desde os anos 40 em áreas litorâneas, com a experiência *offshore* adquirida desde meados dos anos 80 no setor de petróleo e gás, indicam o Alumínio aplicado por Aspersão Térmica (AAT) como uma excelente potencial solução para mitigação da

corrosão, para períodos de 40 anos, nas zonas de respingos e maré. Como conseqüência deste processo, ao menos um dos principais operadores de petróleo e de gás, diminuiu a redução por corrosão da zona de respingos para 3 mm em alguns de seus projetos *offshore*, desde 1999.

14.2. Resultados com mitigação convencional da corrosão

Ao utilizar sistemas convencionais de mitigação da corrosão, os resultados sem sempre são os ideais, ou seja: ânodos de sacrifício adicionam peso significativo à estrutura da instalação, o nível de proteção da cobertura varia sobre a estrutura, as pinturas são altamente suscetíveis a danos mecânicos e são necessários sistemas de pintura diferentes para a região do topo, e para as zonas de respingos, submarina, temperatura elevada e sob a isolamento.

14.3. O Alumínio Aplicado por Aspersão Térmica (AAT):

Mesmo que o AAT seja potencialmente a solução para proteção de estruturas *offshore*, quando levado em conta períodos de 40 anos, algumas questões ainda não resolvidas em relação aos estudos efetuados, devem ser levadas em consideração para atingir este objetivo.

Até o momento, foram executados nestes estudos a longo prazo, apenas exames visuais têm sido levados em conta para avaliação do desempenho deste tipo de revestimento, com base em evidências de relatórios de corrosão (oxidação, hidróxido de alumínio), empolamento e deslocamento. Porém já se dispõe de alguns dados limitados, que indicam que revestimentos submersos de AAT se corroem livremente a taxas de 2 µm a 3 µm por ano.

A obtenção de taxas de corrosão específicas para a zona de respingos e de maré, juntamente com a definição de espessuras de camada e a adequada aplicação de selantes, pode estender a vida útil dos revestimentos AAT, resultando no atendimento dos 40 anos de vida planejada para as estruturas eólicas *offshore*.

14.3.1. Quem usa o AAT?

O setor de petróleo e gás tem feito uso dos revestimentos AAT durante períodos superiores a 20 anos em plataformas *offshore*, na proteção anti-corrosiva de estruturas, tubulações submarinas, trocadores de calor do topo das estruturas e plantas de processamento sob isolamento.

O setor de auto-estradas tem utilizado os revestimentos de AAT em pontes e outras estruturas de aço nas estradas e em pontes de concreto reforçado com aço.

14.3.2. O Alumínio aplicado por Aspersão Térmica (AAT) pode ser a solução?

Sim, as possibilidades são enormes, uma vez que o AAT é anódico em relação ao aço, atua como anodo de sacrifício, é apassivado com o tempo e ainda oferece como alternativa, a possibilidade de utilização de alguns outros materiais.

14.3.3. SMS (Saúde, Meio-ambiente e Segurança)

Como em todo o processo industrial, alguns cuidados

devem ser tomados durante a aplicação do AAT em relação à Saúde, o Meio-ambiente e a Segurança. Itens como: ruído, radiação UV, perigos mecânicos, eletricidade/gases, riscos térmicos, fumos e poeira devem ser levados em consideração.

14.3.4. Avaliação AAT x Pintura:

A diferenciação entre os processos de aplicação do AAT e da pintura, ocorrem principalmente em relação: ao tempo necessário para secagem ou manipulação (inexistente no AAT e tipicamente de 24h com a necessidade de várias aplicação de várias camadas, na pintura), ao impacto ambiental (AAT não emite vapores orgânicos voláteis como a tinta), à proteção dentro do ciclo térmico (não é efetivo na pintura), à temperatura de operação contínua (cerca de 480°C para o AAT e 175°C para pintura), à resistência a impactos (AAT conta com maior resistência a danos mecânicos quando comparado à pintura), à corrosão sob isolamento (o AAT com danos menores, resiste entre 25 e 30 anos enquanto a pintura, com alguns danos, resiste entre 5 e 10 anos) e ao custo (de 5% a 20% superior no momento da aplicação, o AAT pode custar menos que os sistemas de pintura convencionais ou especiais, quando se leva em conta a somatória do custo de aplicação e manutenção em relação ao seu período de vida útil).

14.3.5. Conclusões sobre o AAT

Os revestimentos de AAT têm sido considerados padrão de proteção em estruturas *offshore* e marinhas. Características como: bom desempenho em zona de respingos e de altas temperaturas quando complementados com o selante adequado, mesmo sem selante, o revestimento proporciona adequada proteção à substratos de aço, possibilidade de aumento da vida útil através da aplicação de camadas de maior espessura, proteção anti-corrosiva devido ao efeito anódico acrescido de proteção das áreas expostas pelos produtos de corrosão, pesa cerca de 30% a 40% dos ânodos para a mesma cobertura, apresenta um nível de proteção consistente sobre a estrutura inteira, bom desempenho após danos mecânicos e ainda pode ser utilizada apenas uma composição para todas as zonas.

14.4. O Zinco e suas Ligas, aplicados por Aspersão Térmica (ZAT)

Grande parte dos fabricantes de estruturas de turbinas eólicas, especificam camadas de Zinco ou suas ligas, aplicadas por Aspersão Térmica (ZAT), como um método de proteção contra a corrosão. O ZAT apresenta alta resiliência e menor suscetibilidade a danos do que os revestimentos de pintura. Ao observarmos o crescimento explosivo da indústria eólica no mundo, percebemos que a proteção contra a corrosão torna-se de suma importância.

Torres de turbinas eólicas terrestres geralmente são revestidas externamente com ZAT, parcial ou totalmente em suas três ou quatro seções, que podem alcançar mais de 30 m cada uma. Dimensões deste porte são críticas para qualquer processo de proteção contra a corrosão.

Os processos de aspersão térmica contam com algumas ótimas possibilidades de otimização das operações de aplicação através da utilização de equipamentos e automação adequados, com vantagens técnicas e financeiras na proteção de turbinas eólicas, oferecendo uma vida útil de até 20 anos.

14.4.1. Análise comparativa dos custos de proteção ZAT x pintura (custos de aplicação e manutenção) sobre 30 anos de vida útil

Estudos realizados na Alemanha, comparam sistemas de proteção que incluem o ZAT com os sistemas que utilizam apenas pintura, obtemos para períodos de até 5 anos (incluindo custos de aplicação e manutenção), valores cerca de 20% superiores para o ZAT quando comparados à aplicação de sistemas de pintura convencionais. Porém, estes valores invertem-se, mesmo neste curto período, quando comparados com sistemas de pintura especiais.

Já para períodos de 30 anos, a vantagem dos sistemas que utilizam o ZAT impressiona. O sistema de pintura convencional alcança custos superiores ao dobro do valor do sistema que utiliza o ZAT. O sistema de pintura especial, de alta qualidade, atinge valores cerca de 65% superiores quando comparados ao sistema que utiliza o ZAT.

14.5. Alumínio ou Zinco?

Embora o material mais utilizado para aplicação pelo processo de aspersão térmica no setor de petróleo e gás, seja o alumínio, e no setor de turbinas eólicas seja o zinco e/ou ligas, há ligas que se mostram com resultados igualmente vantajosos em ambos os segmentos.

15. Bibliografia:

15.1. Textos Técnicos

Corrosion Protection of Offshore Wind Farm Structures - Present Understanding and Future Challenges
By: A. R. Black, P. K. Nielsen, FORCE Technology, Brøndby/Denmark
EUROCORR 2011

Corrosion Protection for Offshore Wind Turbines
By: Malte Lossin
Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH
Steinhoeft 9
20459 Hamburg Germany

Corrosion Protection of Offshore Wind Turbines
By: Astrid Bjørgum and Ole Øystein Knudsen
Wind Power R&D seminar – deep sea offshore wind, SINTEF - Materials and Chemistry
Trondheim, 21-22 January 2010

IMPCOAT: Improved Splash and Tidal Zone - Coatings for a 40-Year Design Life
By: Shiladitya Paul
TWI, Granta Park, Cambridge
shiladitya.paul@twi.co.uk

Improved Splash & Tidal Zone Coatings for a 40-Year Design Life
Project Outline TWI - PR14597 - April 2009
For: A Group of Sponsors
World Centre for Materials Joining Technology

Investigating Corrosion Protection of Offshore Wind Towers - Part 2 Results of the Site Tests
J P C L - A p r i l 2 0 0 9
www.paintsquare.com

iTSSe November 2010 - Vol 5 - Issue 4
International Thermal Spray & Surface Engineering
Advanced Materials & Processes – November/December 2010
ASM Thermal Spray Society

iTSSe November 2011 - Vol 6 - Issue 4
International Thermal Spray & Surface Engineering
Advanced Materials & Processes – November/December 2010
ASM Thermal Spray Society

Large-Scale Offshore Wind Power in the United States - Assessment of Opportunities and Barriers
By: Walter Musial, NREL and Bonnie Ram, Energetics
September 2010
NREL/TP-500-40745

Latin America: new wind capacity in five countries
<http://www.gwec.net/index.php?id=19>

Marine Atmospheric Corrosion Museum Report on the Performance of Thermal Spray Coatings on Steel
By: Robert M. Kain, Corrosion Scientist and Earl A. Baker, Senior Research Technologist
http://www.intmetl.com/marine_atmospheric.htm (28/06/11)

Offshore Corrosion Protection of Wind Farms
James Thick
james.thick@internationalpaint.com
International Paint Ltd.
Stoneygate Lane
Felling, Gateshead, NE10 0JY
England

Offshore Wind Turbines-Corrosion Protection of Electric Systems and Support Structures
Written by: Willie Scott - Edited by: Lamar Stonecypher
Published Mar 25, 2010 - Related Guides: Wind Turbines
<http://www.brighthub.com/environment/renewable-energy/articles/67156.aspx>

Performance History of Thermal-Sprayed Aluminum Coatings in Offshore Service
By: Karl P. Fischer
Marine Materials AS, Sandefjord, Norway
By: William H. Thomason
Conoco Inc., Ponca City, OK
By: Trevor Rosbrook
Salamis JV Ltd., Aberdeen, UK
By: Jay Murali
Conoco Norway Inc., Stavanger, Norway
http://www.intmetl.com/performance_history.htm (29/06/11)

Resistência a Corrosão Marinha de Revestimentos de Alumínio
Por: Ramón S.Cortés Paredes e Regina M.H.Pombo Rodriguez
Departamento Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná.
Por: Marcelo Torres Piza Paez e Gerson Vianna
Centro de Pesquisa da Petrobrás - CENPES
Por: André Capra
Aluno do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
2o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás

Spraytime - Volume 17, Number 4 – Fourth Quarter 2010
International Thermal Spray Association

World Wide Wind Energy Facts and Information on Eolic Energy
Written by: Rafael - Edited by: Lamar Stonecypher
Updated Jan 7, 2010 - Related Guides: Wind Power | Wind Energy
<http://www.brighthub.com/environment/renewable-energy/articles/26099.aspx>

15.2. Reportagens

BNDES aprova financiamento para construção de cinco parques eólicos no interior da Bahia
Por: Alana Gandra
Repórter da Agência Brasil - 04/10/2011 - 21h23
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-10-04/bndes-aprova-financiamento-para-construcao-de-cinco-parques-eolicos-no-interior-da-bahia>

BNDES aprova financiamento para oito parques eólicos no Rio Grande do Sul
Por: Alana Gandra
Repórter da Agência Brasil - 28/07/2011 - 17h58
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-07-28/bndes-aprova-financiamento-para-oito-parques-eolicos-no-rio-grande-do-sul>

Brasil puxa crescimento da eólica no mundo
Postado por Ricardo Baitelo* - 07/02/2012 - 16h54

<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Blog/brasil-puxa-crescimento-da-eolica-no-mundo/blog/38950/>

Britânicos começam a construir o maior parque eólico do mundo em alto mar
Por: Alex Mansur
Geral Tags: energia eólica - 10/02/2012 - 16h44,
<http://colunas.revistaepoca.globo.com/planeta/tag/energia-eolica/>

Capacidade instalada de energia eólica cresce 21% no mundo em 2011
Do Globo Natureza, em São Paulo - 09/02/2012 - 08h00
<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/02/capacidade-instalada-de-energia-eolica-cresce-21-no-mundo-em-2011.html>

Consumo de energia deve crescer mais este ano, projeta Tolmasquim
Por: Alana Gandra
Repórter da Agência Brasil - 13/02/2012 - 19h28
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-02-13/consumo-de-energia-deve-crescer-mais-este-ano-projeta-tolmasquim>

Energia eólica brasileira já é a mais barata do mundo
Por: Sabrina Bevilacqua
07/02/2012 - 14h51
[HTTP://INVERTIA.TERRA.COM.BR/SUSTENTABILIDADE/NOTICIAS/0,0I05599146-EI10411,00-ENERGIA+EOLICA+BRASILEIRA+JA+E+A+MAIS+BARATA+DO+MUNDO.HTML](http://invertia.terra.com.br/sustentabilidade/noticias/0,0I05599146-EI10411,00-ENERGIA+EOLICA+BRASILEIRA+JA+E+A+MAIS+BARATA+DO+MUNDO.HTML)

Governo adia Leilão A-5 para Agosto e abre Espaço para Eólicas, Biomassa e Gás Natural
Luiza's Blog - 16/03/12
http://www.linkedin.com/news?viewArticle=&articleID=5586473978362343503&gid=2127679&type=member&item=101655385&articleURL=http%3A%2F%2Fleilao5-para-agosto-2012.com%2F2012%2F03%2Fgoverno-adia-leilao-5-para-agosto-e%2Ehtml&urlhash=zpdC&goback=%2Egde_2127679_member_101655385

Leilão de energia em março terá participação de 600 empreendedores
Por: Sabrina Craide
Repórter da Agência Brasil - 14/02/2012 - 18h14
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-02-14/leilao-de-energia-em-marco-tera-participacao-de-600-empreendedores>

Para associação, leilão exclusivo de energia eólica poderia reduzir preço para o consumidor
Por: Alana Gandra
Repórter da Agência Brasil - 14/08/2011 - 17h08
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-08-14/para-associacao-leilao-exclusivo-de-energia-eolica-poderia-reduzir-preco-para-consumidor>

Participação da energia eólica na matriz nacional pode chegar a 15% em 2020, diz associação
Por: Alana Gandra
Repórter da Agência Brasil - 14/08/2011 - 16h34
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-08-14/participacao-da-energia-eolica-na-matriz-nacional-pode-chegar-15-em-2020-diz-associacao>

Produção de energia eólica vai aumentar sete vezes até 2014, prevê EPE
Por: Vladimir Platonow
Repórter da Agência Brasil - 31/08/2011 - 22h50
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-08-31/producao-de-energia-eolica-vai-aumentar-sete-vezes-ate-2014-preve-epe>

Último leilão de energia do ano alcança 8,37% de deságio
Por: Bruno Bocchini
Repórter da Agência Brasil - 20/12/2011 - 18h55
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-12-20/ultimo-leilao-de-energia-do-ano-alcanca-837-de-desagio>



Torre metalizada internamente
(foto Internet)



Hubs ou cubos metalizados
(fotos Internet)



Chassi metalizado
(foto Revex)



* O Eng. Luiz Cláudio de Oliveira Couto é responsável pela publicação do periódico digital InforMetalização.

Engenheiro Metalurgista formado pela FEI – Faculdade de Engenharia Industrial e Publicitário formado pela ESPM – Escola Superior de Propaganda e Marketing.

Atua a cerca de 30 anos na área de Metalização, tendo trabalhado em algumas prestadoras de serviço do segmento, nas áreas de vendas, supervisão de

vendas, apoio técnico a vendas, departamento técnico, supervisão técnica, engenharia de desenvolvimento, qualidade, marketing e publicidade industrial. É atualmente consultor em Metalização, Vendas, Propaganda & Marketing e responsável pelos sites: www.metalizacao.eng.br e www.maisqueuronio.com.br Criou e gerencia o Grupo Metalização / Aspersão Térmica - Consultoria Técnica no LinkedIn. E-mail para contatos: metalizacao@metalizacao.eng.br

CURSO DE METALIZAÇÃO 2012 NA ABM

A ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, sediará, sendo parceira mais uma vez na apresentação do curso “METALIZAÇÃO – DEPOSIÇÃO DE MATERIAIS NA FABRICAÇÃO E NA MANUTENÇÃO DE COMPONENTES MECÂNICOS E ESTRUTURAS METÁLICAS PARA PROTEÇÃO CONTRA DESGASTE, CORROSÃO E PARA RECUPERAÇÃO DIMENSIONAL” em sua sede em São Paulo, nos dias 31 de maio e 01 de junho de 2.012.

Agradecemos, como sempre, o Eng. Bruno Luiz Sigolo, Gerente de Educação Continuada e Marketing da ABM que acompanha as necessidades do mercado em relação à divulgação dos processos de metalização. Agradecemos também aos Srs. Luiz Roberto Hirschheimer e João Carmo Vendramim, Diretor e Vice-diretor, respectivamente, da Divisão Técnica de Tratamento Térmico e Engenharia de Superfície da ABM pelo apoio recebido e de toda a sua equipe, durante o evento.

Esperamos mais uma vez poder contar com as diversas empresas que têm enviado os seus profissionais com o objetivo de ampliar seus conhecimentos, proporcionando-lhes a oportunidade de colocar as alternativas oferecidas através dos Processos de Metalização/Aspersão Térmica à disposição dos diversos segmentos da indústria brasileira.

Novos materiais e processos quando conhecidos dos técnicos responsáveis pelas diversas áreas das empresas, tornam-se ferramentas voltadas ao aumento da produtividade e qualidade de todo e qualquer tipo de indústria quer seja fabricante ou prestadora de serviços.

Assim, como nos anos anteriores, esperamos poder continuar nos encontrando em 2.012, e facilitando cada vez mais a troca de informações tão necessária ao desenvolvimento desta tecnologia, que embora ainda bastante desconhecida do público em geral, possa ser cada vez mais útil à indústria nacional.

Procedimentos
Desenvolvimento
Acompanhamento

www.metalizacao.eng.br

Avaliação
Orientação
Treinamento
Apoio Técnico

Consultoria metalizacao.eng.br

Recurso Humano
Busca de Informação
Metodologia Científica
Propaganda & Marketing

www.maisqueuronio.com.br

www.maisqueuronio.com.br

maisqueuronio@maisqueuronio.com.br

A INFLUÊNCIA DO *SHOT PEENING* NO AÇO AISI 4340 REVESTIDO COM CARBETO DE TUNGSTÊNIO PELO PROCESSO HVOF (RESUMO)

*Engº Luiz Cláudio de Oliveira Couto (compilação)

1. Objetivos

Alguns estudos reunidos e resumidos, levaram em conta a utilização do *shot peening* como um processo de melhoria nas condições de tensões residuais, somadas àquelas próprias do processo de aspersão térmica/metalização HVOF, quando utilizado para aplicação de carbeto de tungstênio-cromo. O objetivo desta aplicação é melhorar as condições de resistência ao desgaste/corrosão de componentes mecânicos sem criar situações onde tensões residuais indesejáveis possam prejudicar o conjunto componente-revestimento.

Uma vez que ainda não dispomos de um estudo específico da aplicação de carbeto de tungstênio-cromo, aplicado por HVOF, em materiais da família do AISI 4340, após o *shot peening*, tentamos aqui criar pontos de semelhança entre os materiais/processos utilizados nas pesquisas citadas e tiramos algumas conclusões voltadas para o nosso caso.

As vantagens obtidas pela somatória de ambos os processos é evidente e leva a crer que o custo-benefício de sua utilização, seja tanto maior, quanto maiores são os riscos, a responsabilidade e o custo dos componentes, sobre os quais foram aplicados.

2. Definições

2.1. *Shot Peening*:

É a utilização do bombardeamento através de partículas abrasivas esféricas (granalhas), a altas velocidades cujo objetivo é a realização de um tratamento a frio da superfície.

Conhecido como *shot peening*, o "martelamento" resultante deste tratamento gera deformação plástica superficial e visa atenuar os efeitos das tensões residuais de tração da superfície, criados através de processos como: acabamento, conformação ou revestimento, gerando zonas de tensão compressivas residuais ligeiramente abaixo da superfície do metal, retardando a iniciação de trincas de fadiga.

O *shot peening* exige equipamentos de aplicação automáticos ou semi-automáticos com controles de movimento, tempo, pressão e velocidade da granalha. Somando-se estes controles ao controle da granalha (granulometria, esfericidade, dureza e tipo de material), pode-se obter repetibilidade do processo.

2.2. Aspersão Térmica/Metalização HVOF

Segundo a AWS - *American Welding Society*, Aspersão Térmica (mais conhecida no Brasil como Metalização) é definida como "Grupo de processos nos quais se divide finamente materiais metálicos e não metálicos que são depositados em uma condição fundida ou semi-fundida, sobre um substrato preparado para formar um depósito aspergido".

O processo de aspersão térmica HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) caracteriza-se pela queima do gás combustível ou do querosene, pelo oxigênio, gerando na câmara de combustão, um jato de exaustão de alta velocidade. Ejetado através de um tubo Venturi, os produtos de combustão acelerados a velocidades supersônicas recebem a matéria-prima em forma de

pó, cujas partículas aquecidas e aceleradas atingem o substrato.

Formam-se então camadas de ótima compactação e aderência ao substrato, características estas, as melhores obtidas dentre os processos de aspersão.

3. Benefícios obtidos na superfície do substrato

3.1. Utilizando o *Shot Peening*

O "martelamento" resultante do choque da granalha com o substrato, causa o aumento de sua dureza superficial e ajuda à compactar a sua micro porosidade. As tensões residuais de compressão obtidas através da aplicação do *shot peening*, aumentam também a resistência do substrato à propagação de trincas, porém quanto à sua nucleação os benefícios são muito limitados. Propagando-se abaixo da superfície, altos estados de esforços compressivos são mantidos, quando então percebe-se maior potencial do *shot peening* em relação às taxas de propagação das trincas.

Lembramos que as micro-trincas são provenientes ou nucleadas a partir da tensão residual superficial existente nas peças, partindo principalmente de riscos provocados por processos mecânicos de acabamento ou de conformação. Com a concentração de esforços constantes e contínuos nestas áreas e atingindo aí o ponto de fadiga ou escoamento do metal (movimento de tração, compressão e geração de calor), estas micro-trincas expandem-se de tal modo que podem resultar na quebra do componente mecânico.

3.2. Utilizando a Aspersão Térmica/Metalização HVOF

Estudos realizados com revestimentos à base de WC-Co aplicados pelo processo HVOF de aspersão térmica/metalização, indicam leve queda no comportamento de fricção exposto, característica esta muito provavelmente ampliada quando da presença de Cr em sua composição. Estes revestimentos possuem também excelentes propriedades contra o desgaste, resultando em revestimentos bastante utilizados na proteção de superfícies contra abrasão, erosão e corrosão (neste último caso, apenas quando existe Cr na sua composição).

Comprovando também que a cinética de desgaste se torna muito mais reduzida e homogênea, estudos demonstram o potencial interesse deste processo no combate a danos gerados pelo desgaste abrasivo.

Aplicado sobre superfície de 30NiCrMo, o revestimento de WC-17Co depositado por HVOF (equipamento DJ 2700 da Metco) apresentou resistência a desgaste muito boa e diminuiu por mais de 9 vezes o coeficiente de energia de desgaste sob condições de desgaste abrasivo.

Sendo assim, o revestimento estudado, caracterizou-se pela redução da nucleação de trincas sob condições de desgaste abrasivo e fadiga por desgaste abrasivo. Analisados, os revestimentos de WC-Co demonstram também que nenhuma nucleação de trinca ocorre dentro das condições de carregamento estudadas.

Entenda-se por desgaste abrasivo, a ação de pequenos movimentos oscilatórios na região de contato entre duas superfícies, onde pelo menos uma delas está sujeita à vibração ou a esforço cíclico. Caso uma das peças em contato esteja sujeita também a esforços constantes (em sua maioria, cíclicos), o desgaste

gerar trincas curtas e estas podem, então, propagar-se até a ruptura, devido ao esforço por fadiga sofrido pelo material.

3.3. Utilizando o *Shot Peening* combinado com a Aspersão Térmica/Metalização HVOF
Com a utilização de ambos os tratamentos superficiais combinados (*shot peening* e WC-Co aplicado por HVOF), obtemos ótimos resultados contra desgaste e danos provocados pelas trincas causadas pelo desgaste abrasivo.

Lembramos, portanto, que as tensões residuais de compressão obtidas através da aplicação do *shot peening*, aumentam a resistência do substrato à propagação de trincas, porém quanto à sua nucleação os benefícios são muito limitados. Por outro lado, o revestimento estudado de WC-Co aplicado sobre 30NiCrMo, caracterizou-se pela redução da nucleação de trincas sob condições de desgaste abrasivo e fadiga por desgaste abrasivo. A isto, somamos também suas excelentes propriedades contra o desgaste, resultando em revestimentos bastante utilizados na proteção de superfícies contra abrasão, erosão e corrosão (neste último caso, apenas quando existe Cr na sua composição).

Levando em conta a vida de fadiga, o processo HVOF induz tensões residuais na interface substrato/revestimento. As tensões residuais de tração aceleram as fases de iniciação e propagação das trincas, porém as tensões residuais compressivas criadas próximos à superfície, pelo *shot peening* podem aumentar a vida de fadiga. Esta conjugação de tratamentos superficiais atrasa o processo de nucleação e propagação de trincas.

Portanto, a combinação de ambos os tratamentos utilizados (*shot peening* e WC-Co aplicado por HVOF), indica um desempenho significativamente melhor, em torno de 35% do limite de fadiga, do que quando utilizados isoladamente. Isto nos leva a crer que esta combinação de tratamentos forneça uma boa proteção contra o desgaste por carregamento, mas pode reduzir o desempenho do plano de fadiga do material, o que deveria gerar novas pesquisas para sua confirmação.

4. Resultados experimentais - WC-10Ni sobre AISI 4340

4.1. Experimentos, materiais e equipamentos utilizados

Foram realizados experimentos de fadiga axial, utilizando revestimentos de WC-10Ni aplicados por HVOF com o equipamento modelo JP-5000 (combustível líquido: querosene) da Hobart/Tafa, sobre superfícies de aço AISI 4340 na forma de barras laminadas a quente, resfriadas e temperadas conforme ASTM E466.

4.2. Execução dos ensaios

Foram utilizados 4 tipos de lotes de corpos-de-prova:

Cp's sem qualquer tratamento superficial

Cp's apenas com *shot peening*

Cp's apenas revestidos com WC-10Ni por HVOF

Cp's com *shot peening* + revestimento de WC-10Ni por HVOF

Os ensaios foram efetuados com as amostras tratadas/revestidas com os equipamentos de *shot peening* e metalização, conforme os seguintes parâmetros. Nos tratamentos de *shot peening* realizados nas amostras, foram utilizados os seguintes

parâmetros: intensidade: 0,006-0,010 A, aço lançado: S230, fluxo de ejeção: 3Kg, velocidade: 250 mm/min, distância: 200 mm, rotação: 30 rpm e cobertura: 120%. O processo foi executado antes do jateamento com óxido de alumínio conforme norma SAE-MAS-S-13165.

Na deposição de WC-10Ni por HVOF foi utilizado o modelo de equipamento JP-5000 da Hobart/Tafa. Os parâmetros utilizados foram: distância de aplicação: 150-300 mm, densidade: 4,8 g/cm (conforme ASTM B-212), velocidade de deposição: 900 m/s e taxa de deposição: 50 µm/min.

4.3. Resultados e discussões

Os esforços residuais de tração foram aliviados pelo surgimento de microfissuras durante a aplicação do revestimento pelo processo HVOF e pelo crescimento de trincas através da interface e no interior do substrato. Unidos, estes são os fatores que reduzem a força de fadiga.

Já a utilização do *shot peening* aumenta a força de fadiga do substrato e do material da camada. Por sua vez, as tensões residuais compressivas geradas na superfície e no interior do metal-base, tiveram importante papel, evitando ou atrasando a nucleação e a propagação das trincas de fadiga.

Tensões residuais de tração foram obtidas para o metal-base, aço AISI 4340, na superfície e a 0,10mm da superfície. Tensões residuais de compressão elevadas foram observadas na superfície do corpo-de-prova em aço AISI 4340 + *shot peening*. O valor da tensão residual compressiva praticamente dobra a 0,10mm da superfície com tendência a diminuir o seu valor com o aumento da profundidade.

O processo de metalização HVOF reduziu as tensões residuais de tração na superfície da amostra (profundidade de 0,00mm), de 150 MPa para 30 MPa.

Tensões residuais de compressão são geradas por deformações mecânicas durante o impacto das partículas. Tensões de retração/tração do revestimento estão associadas ao rápido resfriamento e solidificação das partículas, enquanto golpeiam a superfície do substrato.

As tensões residuais ao longo da espessura da camada, para o aço AISI 4340, que sofreu *shot peening* e metalização com WC-10Ni, mudam de compressão para tração no interior do revestimento, atingindo esforços compressivos máximos a 0,02 mm de profundidade.

Observamos também que o processo *shot peening* alterou as tensões residuais de tração para compressão na profundidade de camada. de 0,10mm.

4.4. Conclusões

Podemos relacionar os efeitos de endurecimento em trabalho, com o aumento de dureza nas proximidades da interface da camada de WC-10Ni/ substrato de aço AISI 4340.

Para o WC-10Ni metalizado no material que recebeu o *shot peening*, a força de fadiga foi restaurada, alcançando resultados próximos ao metal-base;

O processo de aspersão térmica HVOF reduziu as tensões residuais de tração na superfície da amostra do metal-base. As tensões residuais através da camada para o *shot peening* do aço AISI 4340 metalizado com WC-10Ni, mudaram de compressão

para tração dentro da camada, com as tensões compressivas máximas na profundidade de 0,02mm;

O processo *shot peening* aumentou a força de fadiga axial das amostras de aço AISI 4340 revestidas com WC-10Ni por metalização. O limite de fadiga aumentou 13,3% indo de 750 MPa para 850 MPa.

5. Resultados experimentais - WC-17Co sobre AISI 4340

5.1. Experimentos, materiais e equipamentos utilizados

Nestes experimentos para determinação de tensões residuais e suas causas, foi aplicado o WC-17%Co (Diamalloy 2005 da Metco) com o equipamento HVOF DJ 2600 da Metco, sobre corpos-de-prova em AISI 4340 alguns deles após a aplicação do *shot peening*.

5.2. Execução dos ensaios

5.2.1. Objetivos

As técnicas de difração de raio-X foram utilizadas para caracterizar as condições de tensões residuais em torno das partículas de carbeto no revestimento. Também utilizadas para avaliar o estado de tensão residual na linha de base dos substratos dos corpos-de-prova, servem para determinar os efeitos interfaciais no revestimento. Estas avaliações dos estados de tensão foram executadas para os cp's apenas revestidos e acabados, sujeitos a baixas, médias e altas tensões de fadiga. Os valores dos resultados destes cp's foram comparados aos resultados obtidos em cp's virgens.

A MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) foi utilizada para avaliação quanto aos locais preferenciais de início de trincas no revestimento, suas causas, como e por onde se propagam através da camada aplicada por HVOF. Ou seja, o MEV foi utilizado para avaliar, além das trincas do revestimento, também as fraturas de fadiga do substrato.

5.3. Alguns critérios e definições

Devemos lembrar que a estrutura da camada metalizada é lamelar formada de *splats* justapostos e entrelaçados, resultante de rápida solidificação ao atingirem o substrato quando da utilização do equipamento de aspersão térmica/HVOF para sua aplicação.

Os corpos-de-prova em aço AISI 4340 foram tratados termicamente alcançando uma condição de alta tensão de tração com estrutura martensítica uniforme, acumulando menos que 10% de alongamento e menos de 30% de redução de área e em seguida sofreram o processo de *shot peening*.

O jateamento abrasivo foi realizado a vácuo, utilizando óxido de alumínio grão 54, pressão de 60 a 80 psi, com rugosidade superficial obtida entre 120 e 150 Ra.

A espessura da camada como aplicada foi de 150 µm e após acabamento de 90 µm, com rugosidade final de 6 Ra. A dureza obtida no revestimento foi HV₃₀₀ = 1050.

5.4. Os ensaios

Durante os ensaios, a maior média obtida foi de 13.000 psi com falha de tração final na película adesiva. Neste caso, o revestimento seria aceitável, se a tensão de tração coesiva (formada pela tensão adesiva estrutural interlamelar, inter-partículas e inter-*splat*) e a força adesiva (integridade adesiva do substrato) excedesse 13.000 psi.

5.5. Resultados e discussões

As tensões circunferenciais e radiais próximas à superfície, críticas para a resistência a iniciação de trincas durante a fadiga axial, tiveram um resultado significativo, porém tendendo a reduzir os efeitos do *shot peening* no substrato.

Os processos de retificação e polimento exercem efeito significativo nas tensões residuais do revestimento, fornecendo maior esforço compressivo nos sentidos axiais e circunferenciais.

Linhas de acabamento concêntricas, porosidades superficiais e partículas extraídas da superfície podem fornecer suficiente concentração de tensões e locais preferenciais para início de trincas de revestimento.

A inspeção MEV revelou que a trinca foi iniciada devido a uma inclusão sub-superficial.

A inspeção MEV com ampliação mais elevada de uma seção transversal através da trinca superficial do revestimento, mostra que as trincas do revestimento propagam-se primeiramente em torno das partículas de carbeto e através da matriz do aglomerante cobalto

5.6. Conclusões

As trincas iniciam-se na superfície do revestimento e propagam-se ao longo das regiões de *intersplats* de altos esforços, dentro da estrutura da camada.

O resultado do aumento contínuo das tensões é a formação de uma rede de trincas através da camada, com o objetivo de aliviar a tensão interna do revestimento. Caso alcancem sua borda, pode ocorrer a delaminação ou destacamento da camada. Contudo, não há nenhuma evidência de que as trincas do revestimento alcancem o substrato.

Os exames, ótico e eletrônico (MEV), mostraram que as trincas do revestimento alcançando o substrato, não se propagam ao longo da interface da linha de aderência ou simplesmente retornam ao revestimento, apenas propagando-se ao longo dos limites dos *splats* nas primeiras camadas de revestimento depositadas.

Análises fractográficas, após altos esforços aplicados, mostraram que a origem e o início das fraturas estavam, predominantemente, localizados em alguma inclusão na superfície do substrato ou na interface revestimento-substrato.

A espectrografia de energia dispersiva confirmou que os defeitos encontrados na interface revestimento-substrato, eram partículas de óxido de alumínio remanescentes da operação de jateamento abrasivo anterior à deposição da camada, incrustadas na interface camada-substrato. Embora os defeitos sub-superficiais não tenham sido identificados, supõe-se que sejam partículas de carbeto nos limites de grão ou inclusões de enxofre na matriz.

As trincas do revestimento não se propagam para o interior do substrato e nem fornecem locais preferenciais para início das trincas de fadiga no substrato. A tensão residual compressiva na superfície do substrato, proporcionada pela ação do *shot peening*, atua para desviar o trajeto da trinca do revestimento ao longo da linha de adesão revestimento-substrato.

Posteriormente investigações serão necessárias para verificar se o revestimento com WC-Co aplicado por HVOF é motivo para determinar uma mudança na

na quantidade de particulado incrustado que possa diminuir significativamente a vida de fadiga, bem como o procedimento de acabamento superficial visando reduzir a retirada de partículas de carbetos e as linhas de acabamento, o que pode reduzir a tendência à formação de trincas com baixos a moderados níveis de tensão.

6. Conclusões gerais

Devemos considerar aqui, que foram tomados como referências, dois estudos diferentes.

O primeiro estudo utilizou dois materiais aplicados por aspersão térmica/metalização HVOF, através de equipamentos alimentados por combustíveis diferentes, sobre dois substratos distintos.

O segundo estudo utilizou um tipo de material, aplicado por aspersão térmica/metalização HVOF, através de equipamento alimentado por hidrogênio, sobre vários substratos diferentes, sendo que neste artigo, levamos em conta apenas um deles.

Resumindo:

1º estudo:

WC-Co aplicado sobre o metal-base 30NiCrMo através do equipamento HVOF: DJ 2700 da Metco (combustível gás: hidrogênio).

WC-10Ni aplicado sobre o metal-base AISI 4340, através do equipamento HVOF: JP 5000 da Hobart / Tafa (combustível líquido: querosene).

2º estudo:

WC-17Co aplicado sobre o metal-base AISI 4340, através do equipamento HVOF: DJ 2600 da Metco (combustível gás: hidrogênio).

Embora nenhum destes estudos tenha sido executado exatamente com o mesmo conjunto de material de deposição/metal-base das amostras e peças/modelo de equipamento de deposição utilizado nas pás das turbinas, por aproximação, podemos concluir específica e principalmente para este caso, o seguinte:

Há melhorias significativas em relação às tensões superficiais residuais do substrato, quando utilizado o *shot peening* sobre o metal-base, antes de realizada a aplicação de carbetos através do processo de metalização por HVOF. As tensões residuais de tração introduzidas pelo revestimento, que aceleram as fases de iniciação e propagação de trincas, são reduzidas através das tensões compressivas geradas pela aplicação do *shot peening* na superfície do substrato. Portanto, este conjunto metalização-*shot peening* atrasa efetivamente o processo de nucleação e propagação de trincas

Mesmo que ocorra aumento contínuo de tensões sobre a camada, as trincas nela geradas para aliviar estas tensões, estarão restritas ao seu interior, não alcançando, portanto o metal-base e nem criando aí locais preferenciais para seu início.

As trincas do revestimento podem ocorrer devido a porosidades, riscos resultantes de operações de acabamento e locais onde houve a remoção de partículas de carbetos.

A origem das trincas no substrato encontra-se, predominantemente, em alguma inclusão, geralmente óxido de alumínio remanescente do jateamento anterior à deposição da camada, localizada na superfície do substrato ou na interface substrato-revestimento. Quanto aos defeitos sub-superficiais,

supõe-se que sejam partículas de carbetos nos limites do grão ou inclusões de enxofre na matriz.

Investigações posteriores devem verificar se haverá necessidade de modificações na preparação da superfície para deposição do revestimento, como por exemplo, a redução na quantidade de material particulado incrustado na superfície do substrato, alteração nos procedimentos acabamento superficial, reduzindo a remoção de partículas de carbetos e as linhas de acabamento.

7. Referências:

[1 *] Fracture and Residual-Stress Characterization of Tungsten-Carbide 17% - Cobalt Thermal-Spray Coatings Applied to High-Strength Steel Fatigue Specimens
By Donald Scott Parker
University of Florida - U.S.A. - 2003

[2 *] Evaluation of WC-10Ni Thermal Spray Coating with Shot Peening on the Fatigue Strength of AISI 4340 Steel
By G. S. Júnior, H. J. C. Voorwald, L. F. S. Vieira, M. O. H. Cioffi, R. G. Bonora
Fatigue and Aeronautical Materials Research Group-DMT/FEG/UNESP - Brasil - 2010

[3 *] Behaviour of Shot Peening Combined with WC-Co Coating under Complex Fretting Wear and Fretting Fatigue Loading Conditions
By K. J. Kubiac¹, S. Fouvry¹, A. M. Marechal², J. M. Vernet¹
¹Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon - France
²SNCF, Agence d'Essai Ferroviaire - France

[4 *] A Practical Methodology to Select Fretting Palliatives: Application to Shot Peening, Hard Chromium and WC-Co Coatings
By K. J. Kubiac¹, S. Fouvry¹, A. M. Marechal²
¹LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon - France
²SNCF, AEF-S, 21- France

[5 *] Modelagem do Processo de Jateamento com Granalha: Abordagem Numérica e Experimental
By Miguel Angel Calle Gonzales¹, Daniel Benitez Barrios², Edvaldo Angelo², Edison Gonçalves¹
¹Centro de Estruturas Navais e Oceânicas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Brasil
²Grupo de Simulação Numérica (GSN). Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie - Brasil

[6 *] A História e o Processo do *Shot Peening*
By Engº. José Carlos Murakami
Wheelabrás Comércio e Representações Ltda. - Brasil

[7 *] A Aspersão Térmica - Fundamentos e Aplicações
By Carlos Camello Lima, Fernanda Trevisan
Artliber Editora Ltda. - São Paulo - Brasil - 2007

[8 *] A notações Particulares
By Engº Luiz Cláudio de Oliveira Couto
Consultoria metalizacao.eng.br - São Paulo - Brasil



* O Eng. Luiz Cláudio de Oliveira Couto é responsável pela publicação do periódico digital InforMetalização. Engenheiro Metalurgista formado pela FEI - Faculdade de Engenharia Industrial e Publicitário formado pela ESPM - Escola Superior de Propaganda e Marketing. Atua a cerca de 30 anos na área de

Metalização, tendo trabalhado em algumas prestadoras de serviço do segmento, nas áreas de vendas, supervisão de vendas, apoio técnico a vendas, departamento técnico, supervisão técnica, engenharia de desenvolvimento, qualidade, marketing e publicidade industrial. É atualmente consultor em Metalização, Vendas, Propaganda & Marketing e responsável pelos sites: www.metalizacao.eng.br e www.maisqueuronio.com.br Criou e gerencia o Grupo Metalização / Aspersão Térmica - Consultoria Técnica no LinkedIn. E-mail para contatos: metalizacao@metalizacao.eng.br