



INFLUÊNCIA DO ABRASIVO E DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL NAS PROPRIEDADES DE REVESTIMENTOS DE ALUMÍNIO

Roseana da Exaltação Trevisan

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica

Cx. P. 6122 – 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

E-Mail: roseana@fem.unicamp.br

Marcelo Torres P. Paes

CENPES-Petrobrás S.A

Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Fabricio Freire

Augusto J. A Buschinelli

Universidade Federal de Santa Catarina, Dep. de Engenharia Mecânica

Cx.P. 476 – 88040-900 – Florianópolis, SC, Brasil

Vários pesquisadores vêm estudando proteções por barreiras, assumindo destaque crescente os processos por Aspersão Térmica. Neste campo a literatura técnica vem demonstrando uma grande potencialidade dos revestimentos com alumínio para proteção contra a corrosão de estruturas metálicas, instalações “offshore” e equipamentos de refinarias. Dentre os processos de Aspersão Térmica para revestimentos protetores com alumínio a aspersão por chama oxi-acetilênica convencional apresenta vantagens de menor custo e facilidade operacional. Entretanto, o processo a arco voltaico, pela sua maior temperatura da fonte de calor permite a deposição da camada protetora com superior aderência. A aderência entre a camada aspergida e o substrato é um requisito essencial para o bom desempenho do revestimento. Assim sendo, a preparação da superfície tem relação direta com a aderência da camada e sua resistência à corrosão, tornando-se essencial que se faça um trabalho criterioso nesta preparação. Este trabalho procurou correlacionar o preparo da superfície por jateamento abrasivo (rugosidade) com a aderência do revestimento de alumínio aplicado por chama convencional e por arco voltaico. No desenvolvimento experimental, foram obtidas diferentes rugosidade superficiais, através da utilização de dois abrasivos comerciais aplicados com diferentes parâmetros de jateamento. A análise dos resultados experimentais alcançados neste trabalho mostra que a distância e o ângulo de jateamento influem significativamente nas propriedades dos revestimentos e que o abrasivo de Escória de Cobre, como fornecido comercialmente, não é recomendado para o jateamento do substrato para Aspersão Térmica a Chama.

Palavras-Chave: Aspersão Térmica, Rugosidade Superficial, Jateamento Abrasivo, Alumínio

1. INTRODUÇÃO

Corrosão é um dos grandes problemas encontrados nas instalações de refino, transporte e armazenagem de petróleo. Para minimizar ou mesmo eliminar esse problema, várias pesquisas têm sido direcionadas para o estudo da proteção através de barreiras contra a corrosão. Neste sentido, os processos de Aspersão Térmica têm assumido um destaque crescente. A literatura técnica vem demonstrando uma grande potencialidade dos revestimentos com alumínio para proteção contra a corrosão de estruturas metálicas, instalações “offshore” e equipamentos de refinarias.

A resistência da camada de alumínio efetuada por Aspersão Térmica corresponde à aderência entre o revestimento e o substrato, sendo a aderência um requisito essencial para um bom desempenho do revestimento. Considerando-se que o principal mecanismo de aderência do substrato é o de ancoramento mecânico, as superfícies devem ser adequadamente preparadas antes de receberem a camada de revestimento. A qualidade deste ancoramento interfere de maneira diretamente proporcional na adesão da camada de revestimento. Portanto, as superfícies a serem revestidas precisam sofrer um processo de texturização superficial antes de receberem o revestimento. Outros mecanismos, tais como aderência mecânica pelo aumento da área interfacial específica entre revestimento e substrato, são ativados pelo aumento dos pontos de ancoragem e aumento da área interfacial específica (.Mellali, M., Grimaud, A. and Fauchais, P., 1994).

Tanto na prática como na literatura especializada, os parâmetros de rugosidade Ra (rugosidade média) e o parâmetro Ry (profundidade de rugosidade) são os mais usados para avaliar a rugosidade superficial do substrato. É importante avaliá-los porque, na maioria dos trabalhos, são os parâmetros disponíveis e servem como base para comparação de resultados.

Jateamento abrasivo é o principal método empregado para preparação da superfície para depósitos finos. Os principais parâmetros operacionais de jateamento abrasivo que influenciam mais marcantemente na texturização do substrato são: tipo de máquina, tipo e condições do abrasivo, ângulo, distância, pressão e tempo de jateamento. (.Mellali, M., Grimaud, A. e Fauchais, P., 1994). As informações encontradas na literatura são muitas vezes controversas principalmente pela dificuldade de se comparar resultados experimentais onde as condições de jateamento não são todas bem definidas.

Infelizmente, a técnica de jateamento abrasivo leva, frequentemente, à formação de resíduos de abrasivo, que ficam incrustados na superfície do substrato. Normalmente, estes resíduos são também referenciados como contaminantes. Aparentemente, a adesão do revestimento é sensível tanto ao RA, quanto aos resíduos de abrasivo.

O principal objetivo deste trabalho é correlacionar a preparação da superfície por jateamento abrasivo com a aderência dos revestimentos de alumínio aplicados pelo processo de Aspersão Térmica a chama e a arco voltaico, utilizando dois diferentes abrasivos.

2. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

Para o desenvolvimento experimental deste trabalho foram utilizadas como substrato chapas de aço ABNT 1020, as quais foram revestidas com alumínio pelo processo de Aspersão Térmica a chama oxi-acetilênica convencional e pelo processo a arco voltaico.

As rugosidades superficiais foram obtidas através do jateamento com dois diferentes abrasivos: Óxido de Alumínio Alundum 38A, grana 30 e Escória de Cobre, grana 16/30. Para o

jateamento das superfícies, foi utilizada uma cabina modelo GS-9075X - CMV com jato a uma pressão constante de 80psi e 3 seg. de tempo de jateamento. As distâncias e ângulos de jateamento aplicados, para os diferentes abrasivos, assim como a identificação adotada para os diferentes corpos de prova são mostrados na Tabela 1.

As medidas das rugosidades foram efetuadas utilizando-se medidor de rugosidade portátil marca Mitutoyo modelo Surftest 211 e um medidor de bancada marca Perthen, modelo S8P com apalpador mecânico FRW-750. Como parâmetros de rugosidade foram medidos os R_y , R_a e R_z , os quais são adotados pela norma Petrobrás N-2568. Também foi medido o parâmetro S_m pois, conforme a norma DVS 2302/1995 é outro fator de influência na aderência dos revestimentos.

Tabela 1: Condições de jateamento e identificação dos corpos de prova

Ângulo	Escória de Cobre				Alundum		
	Distância de Jateamento (mm)				Distância de Jateamento (mm)		
	100	150	200	300	100	150	200
45°	C148		C248	C348	A148		
60°			C268	C368	A168		
90°	C198	C598	C298	C398	A198	A598	A298

Os parâmetros de metalização utilizados são relacionados na Tabela 2. De acordo com a norma Petrobrás N-2568, as medidas buscadas são:

- $R_y > 60 \mu\text{m}$
- $R_z > 40 \mu\text{m}$
- $R_a > 6 \mu\text{m}$
- $S_m < 300 \mu\text{m}$

Tabela 2: Parâmetros dos processos de Aspersão Térmica utilizados.

Processo a Arco Voltaico	Processo a Chama
Pressão de Ar Primário: 70 psi	Pressão de Ar Comprimido: 0.55 MPa (80psi); Vazão: 45 m ³ /s
Pressão de Ar Secundário: 50 psi	Pressão de Oxigênio: 0.24 MPa (35psi); Vazão: 40 m ³ /s
Tensão: 32 V	Pressão de Acetileno: 0.11 MPa (16Psi); Vazão: 35 m ³ /s
Corrente: 160 A	Distância de aspersão: 200 mm
Distância de aspersão : 100 mm	Diâmetro do Arame: 3.2 mm

Testes de adesão por tração foram efetuados de acordo com a norma ASTM C633, para tanto utilizou-se o adesivo epoxi Epon 907. Foram ainda utilizadas as técnicas de microscopia eletrônica de varredura para análise qualitativa do formato dos abrasivos utilizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são aqui apresentados separadamente em função dos abrasivos utilizados:

3.1 Jateamento com Alundum

Trabalhando-se com as variáveis ângulo e distância de jateamento, as rugosidades Ra, Ry e Rz foram alteradas significativamente. Essa alteração das rugosidades em função das variações do ângulo de 90° para 60 e 45° e da distância de 100 mm para 150 e 200 mm são apresentadas na Tabela 3 e melhor visualizadas nas Fig.1 e 2. Estes resultados estão coerentes com a literatura, isto é, maiores valores de Ra são obtidos quando o ângulo de jateamento é de 90° e distância de aspensão menor. De acordo com Mellali, M., Grimaud, A. e Fauchais, P (1994), ângulos maiores (até 90°) produzem um Ra maior. Porém para um dado tempo de jateamento, ângulos de 45° sempre induzem menos resíduos de abrasivo incrustado na superfície do que ângulos de 90°.

Distâncias de jateamento menores que 100mm não são recomendadas pois ocorre o rebotamento das partículas abrasivas as quais colidem, no vôo, com novas partículas, reduzindo, desta maneira, a eficiência do processo. Por outro lado, com aumento da distância, a velocidade das partículas diminui, diminuindo, assim, a rugosidade. Isto ocorre principalmente com partículas de abrasivo menores que tem uma inércia menor (Wigren, J.,1988).

Tabela 3: Rugosidades medidas após jateamento com Alundum

Cp	Ra	Ry	Rz	Sm
A198	7.90	53.51	42.78	238.70
A168	6.82	49.84	37.00	252.10
A148	6.40	44.53	34.15	262.93
A598	6.02	42.87	35.68	
A298	5.48	37.90	29.16	232.15

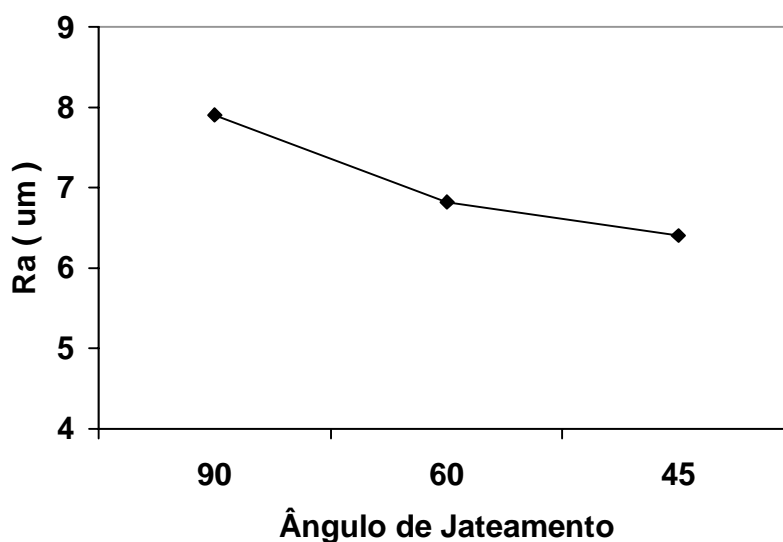


Figura 1: Relação entre Ra x Ângulo, após jateamento a 100mm com Alundum

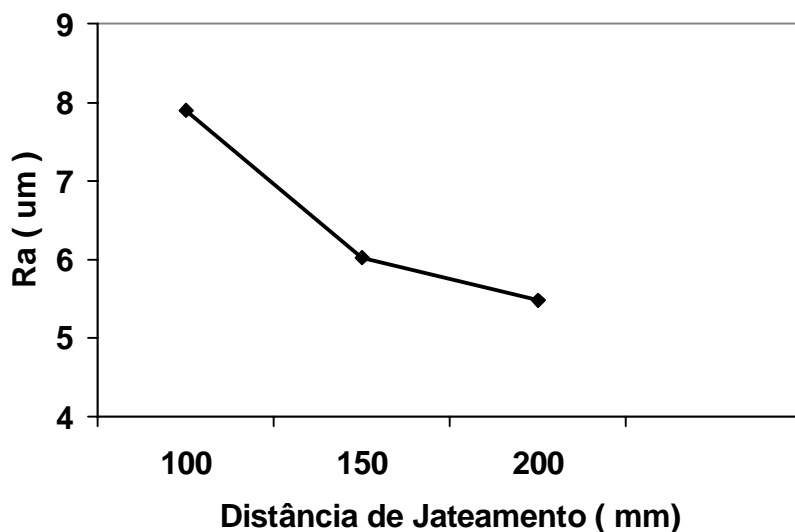


Figura 2: Relação entre Ra x Distância, após jateamento com ângulo de 90° com Alundum

De acordo com a Tabela 3, os valores obtidos de Ra atendem as normas, sendo maiores que $6\mu\text{m}$, com exceção do corpo de prova A298. Para o Rz, apenas o corpo de prova A198 ultrapassa o valor de $40\mu\text{m}$. Ry ficou sempre abaixo de $60\mu\text{m}$ que é o valor estipulado pela norma Petrobrás N-2568.

Com base nos resultados obtidos na Tabela 3, escolheu-se para metalização os parâmetros de jateamento 100mm e 90° (A198) por resultar em valores de rugosidade mais próximos da norma. O parâmetro de jateamento 150mm e 90° (A598) também foi usado por apresentar uma melhor trabalhabilidade, já que produz menor quantidade de poeira.

Com relação ao parâmetro Sm, independente dos parâmetros de jateamento usados, os valores obtidos foram menores que $300\mu\text{m}$. De acordo com a norma DVS 2302/1995 valores acima de $300\mu\text{m}$ são prejudiciais à aderência pois dificultam o ancoramento das partículas aspergidas

3.2 Jateamento com Escória de Cobre

Os resultados de rugosidade apresentados quando da utilização de abrasivo de Escória de Cobre foram diferentes dos valores normalizados. Na Tabela 4, são apresentados os valores de rugosidade obtidos nos corpos de prova jateados com abrasivo de Escória de Cobre. Observou-se que a maior rugosidade foi apresentada quando da utilização de distância de 200mm . Estes resultados são também apresentados, de maneira gráfica, na Fig.3. A variação do ângulo de jateamento para uma distância fixa mostrou-se bastante significativa.

Mudanças no ângulo de jateamento de 90° para 45° (C298 e C248) aumentaram o grau de rugosidade, como pode ser observado no gráfico da Fig.4. Estes resultados não concordam com os resultados obtidos com o abrasivo Alundum. Considerando-se que a forma das partículas abrasivas é um dos parâmetros que influenciam na rugosidade da superfície e objetivando buscar uma explicação para os resultados obtidos com abrasivo de Escória de Cobre, foi feita uma análise das partículas dos abrasivos, utilizando-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura.

Tabela 4: Rugosidades medidas após jateamento com Escória de Cobre

Cp	Ra	Ry	Rz	Sm
C198	8.06	56.66	41.39	359.53
C148	7.05	49.17	34.31	358.60
C598	7.12	53.57	38.24	349.25
C298	7.79	57.94	40.92	347.98
C268	7.82	63.60	44.11	365.15
C248	9.37	68.22	51.02	321.53
C398	7.43	54.02	40.18	359.60
C368	8.16	62.57	44.20	348.50
C348	8.37	62.88	44.85	370.90

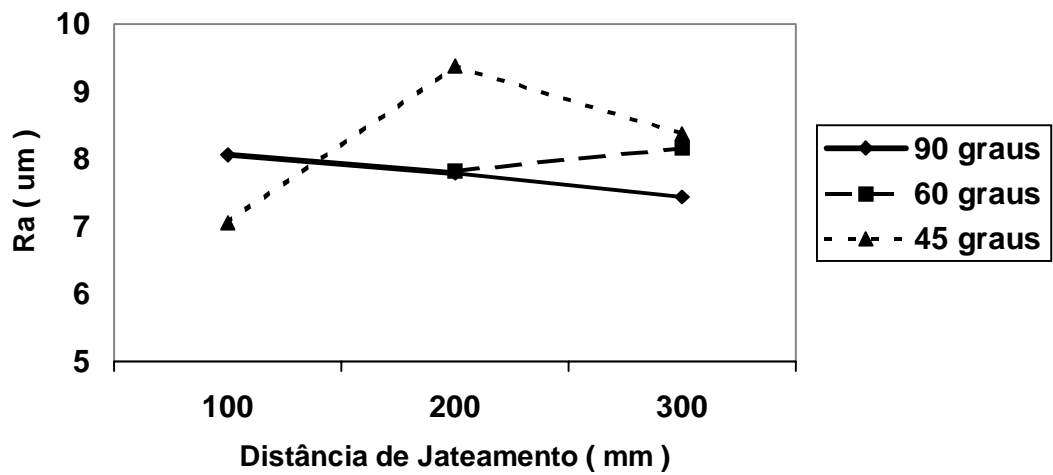


Figura 3: Relação entre Ra x Distância, após jateamento com Escória de Cobre

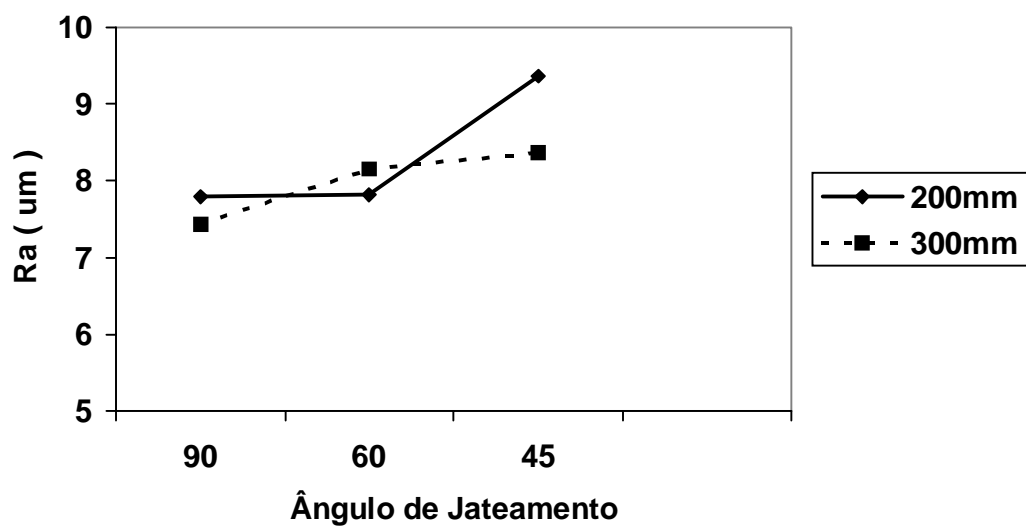


Figura 4: Relação entre Ra x Ângulo, após jateamento com Escória de Cobre

As Fig.5a e 5b mostram que as partículas do abrasivo Alundum têm uma forma angular com arestas cortantes e, após a utilização, uma pequena deterioração do abrasivo é observada (Fig.5b). Já as partículas do abrasivo de Escória de Cobre apresentam um formato parcialmente arredondado e com tamanhos variados, como mostrado na Fig.6a. Na Fig.6b, pode ser observado que após a utilização, ocorreu uma considerável deterioração das partículas. Muito provavelmente a discrepância nos resultados de rugosidade obtidos com abrasivo de Escória de Cobre se deve à forma, à dispersão no tamanho e à fragilidade apresentada por suas partículas.

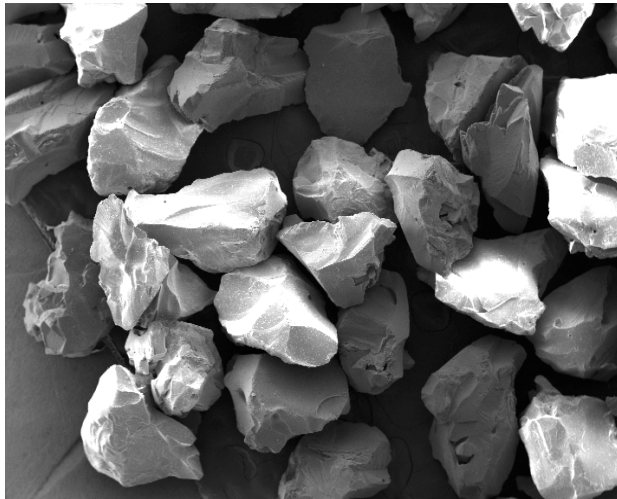


Figura 5a. Alundum 38A Grana 30 virgem

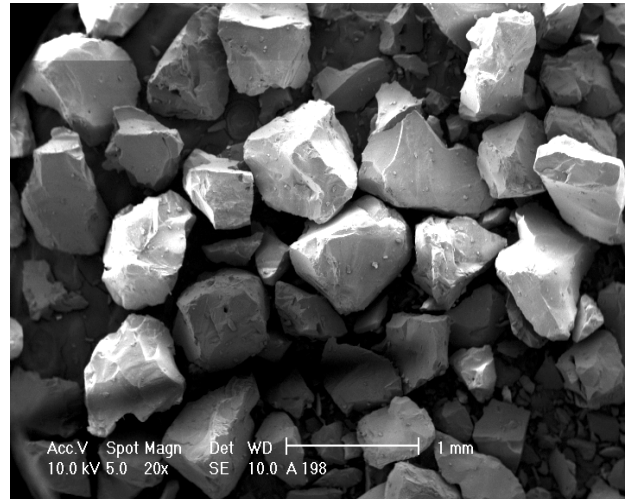


Figura 5b. Alundum, após uma utilização

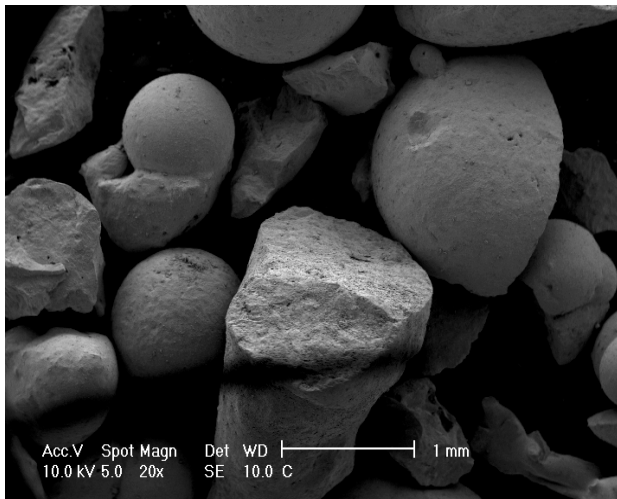


Figura 6a – Abrasivo de Escória de Cobre Grana 16/30 virgem

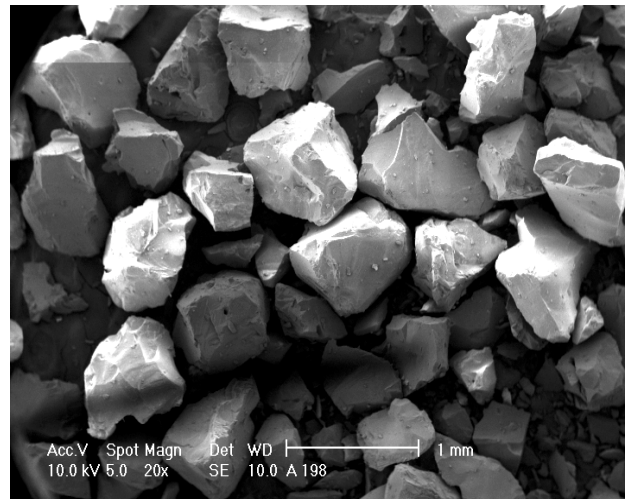


Figura 6b – Abrasivo de Escória de Cobre, após uma utilização

Ainda em relação ao abrasivo de Escória de Cobre, os valores de Sm obtidos ultrapassaram 300 μm , sendo que os menores valores foram obtidos quando se usou distância de 200mm e ângulos de 90° e 45°.

Em função dos valores de rugosidade obtidos serem maiores que 300 μm , decidiu-se peneirar o abrasivo de Escória de Cobre com peneira de Mesh 9 e repetir os corpos de prova C298 e C248. Após este procedimento verificou-se que a rugosidade atendeu perfeitamente os valores recomendados pela norma Petrobrás N-2568, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5: Rugosidades medidas após jateamento com Escória de Cobre peneirada.

Corpos de Prova	Ra	Ry	Rz	Sm
C298	8.42	64.69	47.83	258.75
C248	8.46	65.93	49.30	258.55

Baseado nos resultados de rugosidade obtidos, foram selecionados os seguintes parâmetros de jateamento para metalização e testes de aderência:

- usando o abrasivo Alundum, os corpos de prova foram jateados com distâncias de 100 e 150 mm e ângulo de 90° (A198 e A598).
- usando Escória de Cobre, os corpos de prova foram jateados a uma distância de 200mm e ângulos de 45° e 90° . Nestes casos, utilizou-se abrasivo virgem, sem qualquer peneiramento (C298 e C248).

3.3 Testes de Aderência

Para os ensaios de aderência as normas Mil 2138 A, AWS C2 e Petrobras N-2568 exigem um valor médio nos resultados dos testes de tração não inferior a 13MPa e nenhum valor individual inferior a 10.e MPa.

As amostras aspergidas pelo processo a chama não satisfizeram as especificações das normas, independentemente do abrasivo usado e da rugosidade superficial.

É consenso que pre-aquecer o metal de base melhora a adesão do revestimento. O pré-aquecimento retarda o resfriamento das partículas, melhorando o contato substrato/partícula e promovendo ligação térmica (James D. H., 1984). Na tentativa de se obter melhores resultados de adesão, antes de aspergidos, os corpos de prova foram pré-aquecidos à temperatura de 120°C .

Mesmo utilizando a técnica de pré-aquecimento do substrato, apenas as amostras A598, isto é, jateadas com abrasivo Alundum a 150mm sob ângulo de 90° , tiveram resultados do ensaio de aderência satisfatório (16.39 MPa).

No caso das amostras jateadas com Escória de Cobre, mesmo usando pré-aquecimento, os resultados dos testes de adesão não atenderam o requisito mínimo de 13.8 MPa, obtendo-se um valor máximo de apenas 11.74 MPa para distância de 200mm e ângulo de 90° de jateamento.

O processo a arco-elétrico permite melhores resultados de adesão, sendo menos sensível ao preparo do substrato e ao tipo de abrasivo. Amostras aspergidas em substrato jateado com Alundum apresentaram valores superiores aos exigidos pela norma, ficando dispensado o pré-aquecimento (Paredes, R. C e outros 1997).

Também para o jateamento com Escória de Cobre os resultados de adesão das camadas de Al aspergidas a arco-elétrico foram superiores aos obtidos pelo processo a chama, indicando a possibilidade do uso desse abrasivo, apesar de grosseiro, no estado de fornecimento. A condição C298, isto é, amostra jateada sem pre-aquecimento, a 200mm sob ângulo de 90° , forneceu elevada adesão (18.14 MPa), portanto de acordo com o exigidos pela norma Petrobrás N-2568. Para jateamento a 45° melhor adesão só foi obtida na aspersão sobre substrato pré-aquecido (11,58 e 14,44 MPa, respectivamente).

A inferior aderência do revestimento de Al aspergido a chama sobre substrato jateado com Escória de Cobre deve-se, provavelmente, à presença de resíduos impregnados na superfície do substrato. Os resíduos incrustados atrapalham o mecanismo de aderência do revestimento ao substrato enfraquecendo o revestimento e consequentemente a aderência (Wigren, J., 1988).

4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados experimentais alcançados neste trabalho permitem concluir que:

1. O abrasivo de Escória de Cobre como fornecido/comercialmente tem granulometria excessivamente grosseira. Para que seja respeitado um valor de $S_m < 300 \mu\text{m}$, conforme a norma, é preciso haver um peneiramento (Mesh 9)
2. Os testes de adesão por tração reprovam o abrasivo de Escória de Cobre, como fornecido, para jateamento do substrato para revestimento de alumínio por Aspersão Térmica a Chama.
3. Para Aspersão Térmica a Arco, o abrasivo Escória de Cobre pode ser usado como fornecido, ficando dispensado o pré-aquecimento do substrato.
4. Os melhores resultados de aderência em revestimentos de alumínio foram obtidos nas seguintes condições:
 - Abrasivo Alundum: Jateamento a distância de 150mm com um ângulo de 90°
 - Abrasivo Escória de Cobre: Jateamento a distância de 200mm com um ângulo de 90°

REFERÊNCIA

- American Society for Testing and Materials, ANSI/ASTM-C-633-79, Standard Test Methods for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coating, Philadelphia, 1984, 24p.
- American Welding Society, **C2-2**: recommended practices for metallizing with Aluminum and Zinc for protection of Iron and steel. Miami, USA, 1967, 9p.
- Comissão de Normas Técnicas (SC-26) Petrobrás. Seleção e Aplicação (por Aspersão Térmica) do Alumínio, Zinco e suas Ligas como Revestimento Anticorrosivo. N-2568, Fevereiro de 1996, 34 p.
- Deutscher Verband Für Scheissttechnik E.V., DVS 2302. Korrosionsschutz von Stählen und Gußeisenwerkstoffen durch thermisch gespritzte Überzüge. Düsseldorf, 1995, 3p.
- James, D.H., 1984, A Review of Experimental Finding in Surface Preparation for Thermal Spraying, Journal of Mechanical Working Technology, Vol. 10, pp.221-232.
- Mellali, M., Grimaud, A. e Fauchais, P., Parameters Controlling the Sand Blasting of Substrates for Plasma Spraying, Proceedings of the 7th National Thermal Spray Conference, 20-24 June 1994, Boston, Massachusetts, USA, pp. 227-232.
- Mellali. M., et al, 1997, Alumina Grit Blasting Parameters for Surface Preparation in the Plasma Spraying Operation, Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 6, n. 2, pp. 217-226.
- Militar Standard, **MIL-STD-2138A (SH)**: metal sprayed coatings for corrosion protection aboard naval ship. Washington, DC, USA, 1992, 33p.
- Paredes, R. C., Buschinelli A. J. A., e Paes, M. T. P.: Aderência e microestrutura de revestimentos de Al depositados por tres processos de aspersão térmica, II Congresso Internacional da ABM, São Paulo, 1997.
- Wigren, J., Grit-Blasting as Surface Preparation Before Plasma Spraying, Proceedings of the National Thermal Spray Conference, 14-17 September 1988, Orlando, Florida, USA, pp.99-104.

INFLUENCE OF ABRASIVE AND SUBSTRATE ROUGHNESS ON ALUMINUM COATING PROPERTIES

Abstract

Thermal spray of aluminum is widely used to provide protection against oxidation and corrosion in metallic structures, offshore and oil refinery installations. Thermal spray may be obtained via conventional oxyacetylene flame or electric arc processes. The oxyacetylene flame is a low cost process and has the advantage of being operationally simple. Spraying by electric arc involves sources of higher temperatures and usually delivers superior adherence. In either process, surface preparation is the most critical step for a good result. Coating adhesion quality is directly related to the cleanliness and roughness of the substrate surface. Grit blasting is generally used to roughen the substrate surface for better mechanical adhesion of the coating to the substrate. This report describes the influence of grit blasting parameters on surface roughness and on bond strength of aluminum coating sprayed by either flame or arc processes. The work focus on the effects of the blasting angle and blasting distance on the surface roughness and coating adhesion. Two types of non-metallic grits were used for blasting: alumina and copper slag grits. Results are presented and discussed in the paper. It was also found that copper slag grits, as commercially available, are not recommend for using as abrasive in surface preparation. to thermal spray.

- **Keywords: Thermal Spraying, Surface Roughness, Grit Blasting, Aluminum**