

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MISTURA DE FeAl DEPOSITADO COMO REVESTIMENTO POR ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA

Samuel Mariano do Nascimento¹ (Universidade Federal do Paraná); Carolina Mariano² (Universidade Federal do Paraná); Ramon Sigifredo Cortés Paredes³ (Universidade Federal do Paraná)

¹Samucasmn@yahoo.com.br

²Carolinamariano_24@yahoo.com.br

³Ramon@demec.ufpr.br

Na proteção contra a corrosão ácida – H₂S – no processo de refino do petróleo na presença de gás naftênico; destaca-se a proteção por barreira através de superfícies intermetálicas do tipo FeAl. Este tipo de revestimento pode ser obtido através de tratamento térmico em forno, sendo que este tipo de proteção é impraticável em campo em componentes de grande porte. Na atualidade através do processo de aspersão térmica a chama e por arco elétrico é possível depositar alumínio como revestimento e através da realização de tratamentos térmicos posteriores, por meio de refusão a chama e/ou tratamento térmico em forno, é possível que o alumínio difunda no substrato e com isso permitir a formação de uma camada de intermetálicos do tipo FeAl. Sendo as duas soluções já estudadas e com sucesso no Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagem Especiais – LABATS da UFPR, tem aplicações que sua viabilidade fica comprometida. Portanto, a motivação deste trabalho de pesquisa foi produzir pseudoligas de pó de ferro e pó de alumínio e depositar como revestimento protetor através do processo a chama oxiacetilênica esperando-se que pelo calor da chama permitisse a formação de superfícies intermetálicas do tipo FeAl. Por conseguinte, neste trabalho serão apresentados os resultados da deposição de três diferentes composições de misturas em pó de Fé e Al. Após análises dos corpos de prova dos ensaios de dobramento, medição da microdureza e microscopia óptica e MEV, é observado que os revestimentos obtidos apresentam pouca porosidade, excelente aderência e têm formação de intermetálicos do tipo FeAl na superfície do aço. Além disso, temos também difusão do alumínio nos substrato de aço com preaquecimento e conseqüentemente com formação de intermetálicos do tipo FeAl.

Palavras-chaves: *Aspersão Térmica; Intermetálicos de Alumínio; Corrosão ácida.*

1. INTRODUÇÃO

As pressões econômicas e o elevado custo do petróleo estão forçando cada vez mais as refinarias a utilizarem petróleo pesado ou ácido nos seus processos. A vantagem neste caso está no preço de venda mais baixo, cerca de 80%, quando comparado ao petróleo leve.

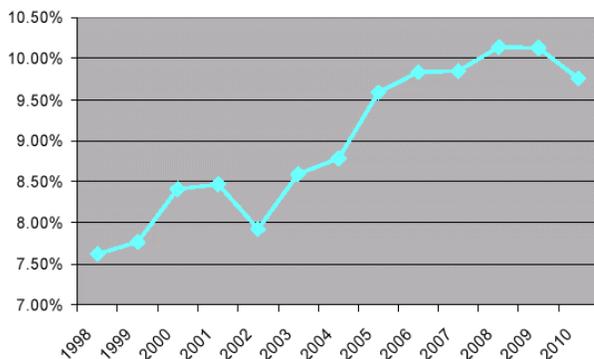


Gráfico 01: Crescimento da produção de petróleo naftênico no mundo. (Skippins et al., 2002)

No Brasil a produção de petróleo, com alto índice de acidez naftênica, está relacionada diretamente com as bacias produtoras existentes. O tipo de exploração mais difundida em nosso país, com 68%, é a exploração marinha a alta profundidade, sendo esta tecnologia de exploração detida por nós.

Normalmente os óleos explorados a alta profundidade são pesados e com grande quantidade de ácidos naftênico, o que motiva a busca de novas tecnologias para a proteção dos equipamentos. Sendo assim, o revestimento visando a proteção por barreira pode ser uma excelente alternativa para a redução de custos com manutenção e aumento da resistência a corrosão e desgaste.

O desafio do trabalho de pesquisa está em produzir pseudoligas de Fe/Al em pó, que ao serem depositadas como revestimento pelo processo de aspersão térmica (AT), formam uma barreira intermetálica pela difusão do Al, e pela formação de um intermetálico Fe/Al, que tem boa resistência ao desgaste e à corrosão ácida, na presença de ácidos naftênico.

Objetivo do Trabalho determinar os parâmetros ótimos para a deposição da liga e obter os seguintes resultados: um revestimento de Ferro e ligas de Fe/Al com boa aderência, baixa porosidade, boa ductilidade e com boas propriedades de resistência à corrosão. Com base na técnica de Planejamento de Taguchi e posterior utilização do software Sadie, as quais determinam os dados da ANOVA e a influência de cada parâmetro no revestimento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para uma maior compressão do estudo proposto se faz necessário uma revisão da tecnologia do processo de aspersão térmica e também dos fatores que influenciam diretamente o revestimento aspergido essencialmente aderência, porosidade e formação de óxidos.

2.1 Aspersão térmica –[AT]

Na tecnologia de aspersão térmica [AT] existem seis (6) processos de deposição, todos diferentes e que utilizam diferentes fontes de calor assim como diferentes meios gasosos de transporte. Os processos são os seguintes:

- O mais convencional e básico é o processo a chama oxiacetilênica a pó, que tem as variantes de alimentação do pó por gravidade ou alimentado por um gás, que pode ser inerte (argônio ou nitrogênio) ou ar comprimido. Também temos o processo a chama oxiacetilênica com arame, sólido e tubular. Além desses processos temos o processo a chama térmica com alimentação variável de pó com e sem fusão parcial do substrato, geralmente utilizado para pequenos reparos localizados.
- O processo a chama de elevada velocidade, conhecido como supersônico HVOF, com alimentação de pó e arame. Sendo a alimentação de pó em médio inerte/oxidante (nitrogênio, argônio e a mistura deles com oxigênio). A chama pode ser produzida por oxigênio e acetileno e propano ou propileno. Quando utilizado arame, a chama utilizada é com gás propileno.
- O processo a arco elétrico, é utilizado somente com arame, sólido e tubular. O arco formado produz a fusão dos arames e ar comprimido transfere o material fundido até o substrato.
- O processo a plasma com arco não transferido, conhecido como plasma spray (PS), utiliza pó transferido por gás inerte (argônio ou mistura argônio e oxigênio) com proteção adicional, geralmente de argônio.
- O processo plasma de arco transferido (PTA), que utiliza argônio como gás de transporte e também gás de proteção. Este processo produz revestimentos mais espessos e produz fusão do material a ser revestido, com baixa diluição.
- O processo por detonação, DGun e SuperDGun, que trabalha com pó, onde a detonação é pela explosão produzida por uma isca elétrica e gases combustíveis (oxigênio/acetileno), onde as partículas são transferidas pela energia liberada da explosão, na forma de gases a elevada velocidade de transferência.

Os processos de Aspersão Térmica são observados esquematicamente na Figura 1.

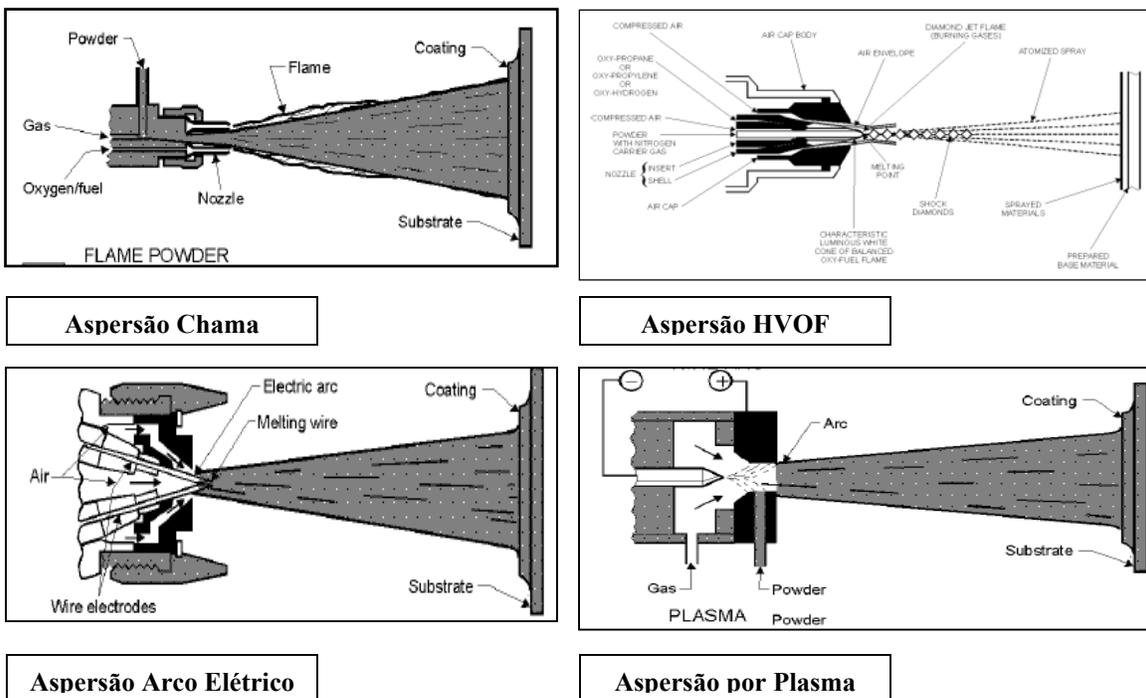


Figura 01: Descrição esquemática de diferentes processos de aspersão térmica

Por conseguinte, os revestimentos são depositados em condições muito diversas, em termos de aquecimento das partículas transferidas e da atmosfera na qual são transferidas, portanto, essas condições podem afetar as propriedades dos materiais como revestimentos, sejam propriedades mecânicas (dureza, tração, dobramento, fadiga, etc.), resistência à corrosão e resistência aos diferentes tipos de desgaste (erosão, abrasão, cavitação, fadiga térmica, etc.).

2.2 Porosidade

A presença da porosidade é inerente ao processo de deposição de materiais por aspersão térmica afetando as propriedades físicas, como condutividade elétrica e térmica, além de reduzir a coesão e aderência das camadas ao substrato. Quando a porosidade é passante e interconectada tem-se uma redução da resistência à corrosão.

2.3 Aderência

É a resistência mecânica de um revestimento efetuado por aspersão térmica compreendendo a aderência entre a camada e o substrato, bem como a coesão entre as partículas depositadas. Fatores como preaquecimento, limpeza e rugosidade afetam diretamente a aderência do revestimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados corpos de prova tendo como objetivo caracterizar revestimentos de Fe/Al metálico por aspersão térmica a chama. Para tanto se utilizou alumínio em pó com granulometria inferior a 0.045 μm . Os substratos utilizados foram aço ABNT 1020 de 4 mm e 1,2 mm de espessura, o primeiro para obtenção do revestimento e o segundo para testes de dobramento. Ainda para obtenção do grau de limpeza e rugosidade necessária foi empregado jateamento por pressão de 100 [Psig] com oxido de alumio branco (granulometria 36/ Alundum 38 A). O pré-aquecimento foi realizado segundo a norma AWS

C2.18/93, a qual recomenda uma temperatura de 120°C para o substrato. Em seguida, procedeu-se a aspersão térmica utilizando a pistola SP-2 da Sulzer Metco nas seguintes condições conforme tabela 2.

Tabela 02: Variáveis de processo

Variáveis	Valores utilizados
Preaquecimento	120°C
Distancia de projeção	200 mm
Fluxo de oxigênio[*1]	90
Fluxo de Acetileno[*2]	46
Fluxo de nitrogênio[*3]	10
Pressão de oxigênio	50 psig
Pressão de acetileno	15 psig
Pressão de nitrogênio	40 psig
Taxa de alimentação	20 g/min
Numero de passes	2 passes

[*1] 90 = 174,83 pés/h [*2] 46 = 89,35 pés/h [*3] 10 = 19,43 pés/h
Para análise dos corpos de prova fez se os seguintes procedimentos:

3.1 Teste de aderência pelo ensaio de dobramento

Feito com um corpo de prova de dimensões 1,25x50x75(mm), velocidade de avanço de 1,25x10E-3 m/s, diâmetro de cutelo 13 mm, diâmetro de apoios de 32 mm, distancia entre apoios de 22 mm e ângulo de dobramento de 180°.

3.2 Visualização em microscópio ótico

Para análise micro-gráfica fez-se o embutimento, lixamento, polimento e então observação no microscópio ótico com aumentos de 100, 500 vezes. Ataque químico com solução de 80ml HCL, 30ml de HF e 15ml HNO3.

3.3 Microdureza

Para teste de micro-dureza Vickers foi utilizado o microdurometro Wilson ,mechanical Co. modelo MO. TUKO com carga de 500g . E para os devidos Cálculos utilizado a formula 01.

$$HV = \frac{2 * L * \text{sen}(136/2)}{d^2} \quad (01)$$

Onde:

L= Carga aplicada em Kg

d = distancia media das duas diagonais existentes da indentação em mm

HV = Dureza em vickers

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dobramento

Observa-se na seguinte figura 02 que o revestimento submetido ao ensaio de dobramento não apresenta trincas a olho nu, mas apenas micro trincas a aumento de 10x da superfície de dobramento. Portanto, conforme a norma Petrobras N-2568, o revestimento não pode ter indícios de delaminação, trincamento grosseiro e “disbonding” (deslocamento do revestimento). Pode-se afirmar então que o revestimento está aprovados e tem excelente aderência e coesão da camada.

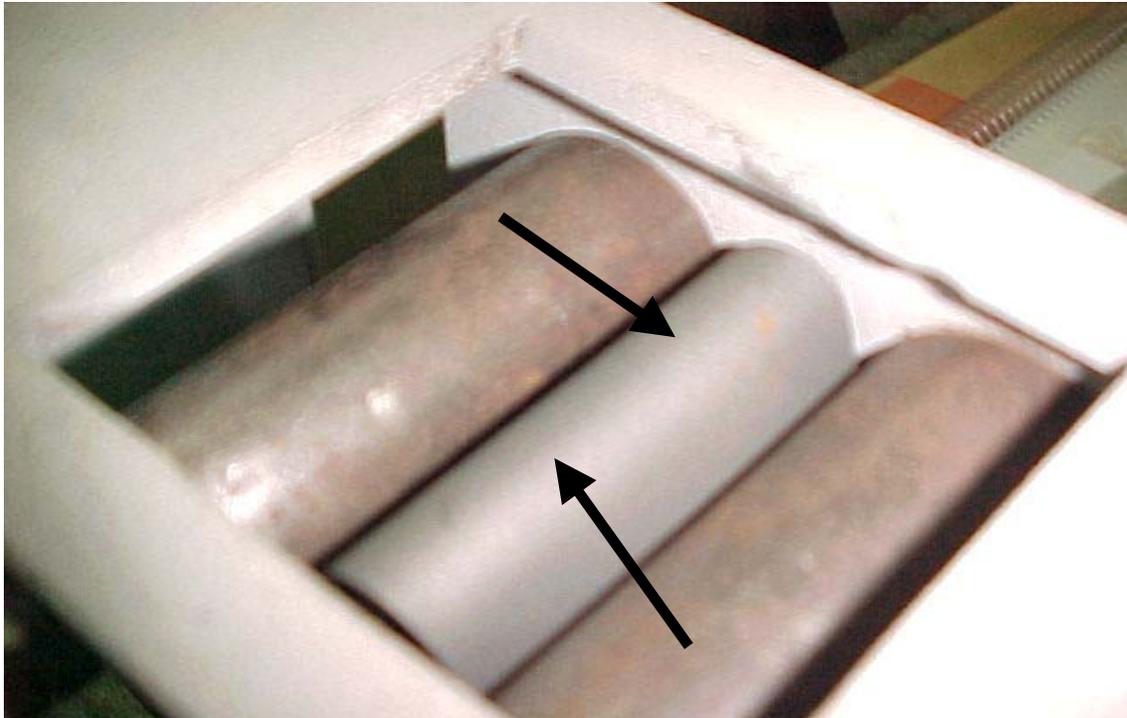
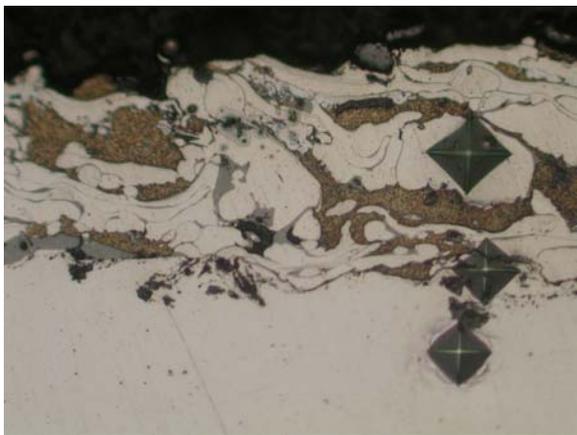


Figura 02: Corpos de prova revestidos com Fe/Al submetidos ao ensaio de dobramento

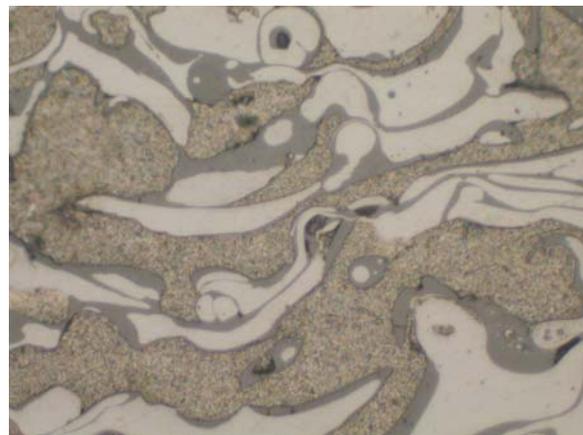
4.2 Microscopia Ótica

A microestrutura formada quando depositado Fe/Al metálico pelo processo de Aspersão térmica a chama está representado na figura 03, com aumentos de 100, 500 vezes.

Na figura 03 (a), observa-se a camada como um todo onde se pode dizer que ocorreu a formação das panquecas, óxidos e poros que são todas características do processo de Aspersão térmica. Em (b), nota-se a formação de várias fases sendo esses possíveis óxidos de ferro e/ou a possível formação de compostos de Fe/Al com outros elementos como nitrogênio, pois as partículas de nióbio quando aspergidas estão em contato direto com o gás nitrogênio que tem a função de transportar as partículas até o substrato.



a) Aumento de 100x



b) Aumento de 500x

Figura 03: Aspecto metalográfico do revestimento Fe/Al metálico

4.3. Microdureza:

De acordo aos resultados na medição da microdureza transversal da camada mostrados na figura 03, pode-se comentar que a dureza superficial do revestimento de Fe/Al é bastante elevada, superior ao Alumínio metálico. Ainda é notável a grande dispersão dos valores de microdureza quantificado pela media de 210,5 HV e desvio padrão de 129,3 HV , isso se deve as varias fases presentes conforme visto na microscopia ótica da figura 04 e também a influencia de poros e vazios presentes ao redor da indentação do microdurometro levando assim a uma dispersão dos valores.

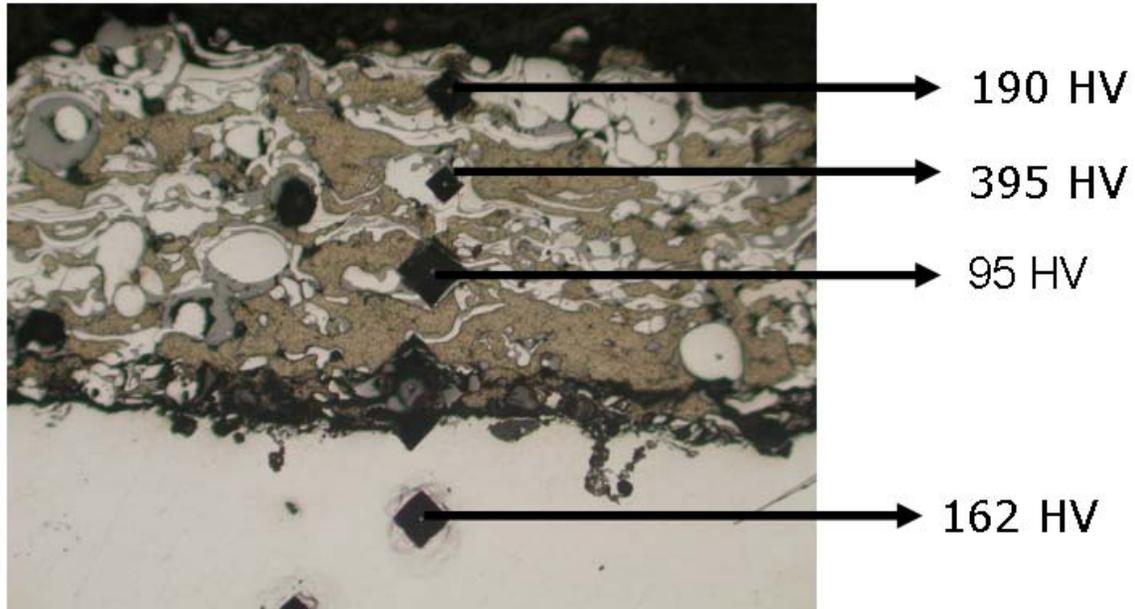


Figura 04: Aspecto metalográfico do revestimento Fé/Al metálico

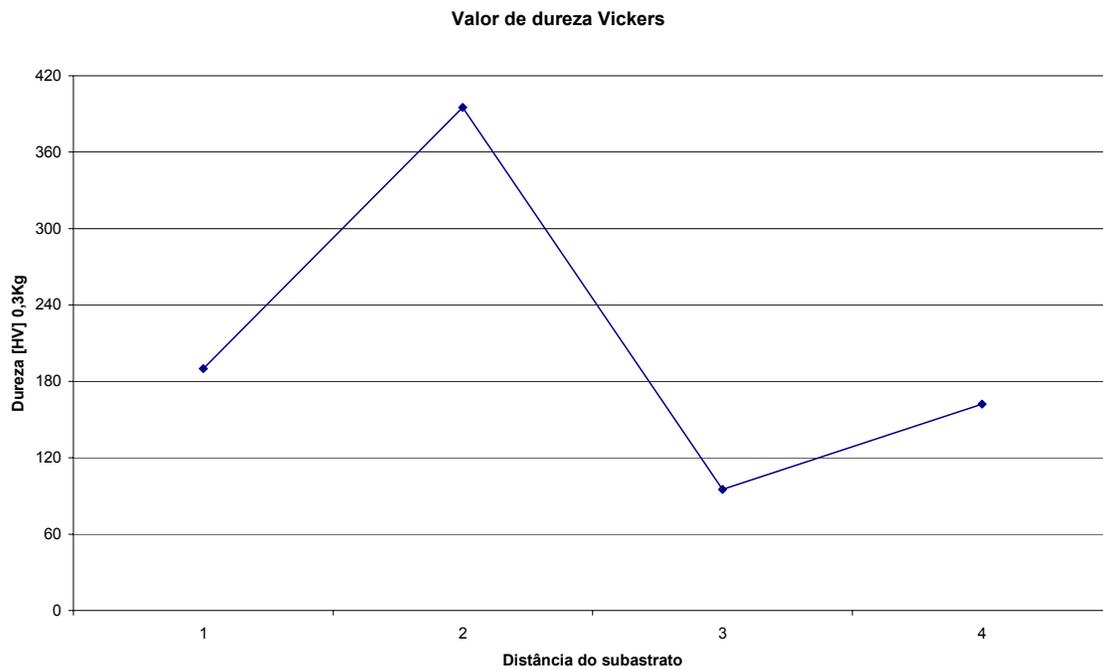


Gráfico 02: Perfil de micro dureza.

5. CONCLUSÃO

1. A deposição da Mistura de pós de Fe e Al foi viável depositar pelo processo a chama a pó, e a camada formada é homogênea e com pouca porosidade.
2. A microestrutura mostra que foi possível formar intermetálicos do tipo FeAl, no entanto, em pouca quantidade.
3. Os valores de dureza ainda não são equivalentes aos dos intermetálicos FeAl
4. Destaca-se que somente com o aquecimento da chama durante a deposição da liga FeAl o Alumínio e difundido no substrato, o que gera as condições para a formação de intermetálicos FeAl.

6. REFERÊNCIAS

- [1] ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams, ASM International, Vol.3, p 2-44 e 2-49. 1999.
- [2] PAREDES, R. C.; OLIVEIRA, A. S. C. M.; CAPRA, A. R.; “Formação de Intermetálicos Fe/Al Através de Aspersão Térmica”. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, RN. 2002.
- [3] PAREDES, R. S. C.; “Estudo de Revestimentos de Alumínio Depositados por Três Processos de Aspersão Térmica para a Proteção do Aço Contra Corrosão Marinha”. Tese de Doutorado, UFSC. 1998.

PAPER TITLE

CHARACTERIZATION OF THE FeAl COATING PROPERTIES DEPOSITED BY FLAME THERMAL SPRAY

ABSTRACT

In the protection against acid corrosion – H₂S – in the oil refining process with the presence of naftenic gas; it is remarkable the barrier protection using FeAl intermetallic surfaces. This kind of covering can be obtained by a thermal treatment in industrial ovens; however, it is virtually impossible to do a thermal treatment in a big industrial component. Nowadays using flame and wire thermal aspersion it is possible to deposit aluminum as covering material and doing a thermal treatment and/or provoking remelting by flame thanks to that, it is possible to incite the aluminum diffusion in the substratum. When that happens, it is possible to form an FeAL intermetermetallic component. Considering that both solutions have already been researched in the Thermal Aspersion and Special Welding Laboratory (LABATS – UFPR) in some applications their viability can be compromised. Therefore the motivation for this work was to produce pseudo-leagues using iron and aluminum powder and deposit as a protection cover using the flame-powder process and hope that the flame would allow the formation of FeAL surfaces. This work will present the deposition results from three different mixed powder compositions (Fe and Al). After analyzing the samples using folding test, hardness and thickness measurement, optic and electronic microscopical analysis, it can be observed that the coverings presents low porosity, excellent tack and there is the formation of FeAl components in the steel surface. Beyond that, we have the aluminum diffusion in the steel with pre-heating and the posterior formation of FeAl intermetallic components.

keyword-1: Thermal Spray , keyword -2: Aluminum intermetallics , keyword -3: acid corrosion

- 1 Aluno de graduação do curso de Engenharia Mecânica da UFPR
- 2 Eng. Aluna de mestrado do curso de pós graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais PIPE/UFPR
- 3 Dr.Eng. Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR