



CARACTERIZAÇÃO DE CONSUMÍVEIS ANTIDESGASTE E ANTICORROSÃO PRODUZIDOS ESPECIALMENTE PARA ASPERSÃO TÉRMICA POR ARCO ELÉTRICO E UTILIZADOS PARA REVESTIR PONTEIRAS DE RISER PARA PLATAFORMAS *OFFSHORE*

JAIME VILLANUEVA AGUILA¹, AUGUSTO JOSE DE A. BUSCHINELLI², RAMÓN CORTES PAREDES³

¹Universidad de Tarapacá

18 de Septiembre 2222, casilla 6D, Arica Chile

²Universidade Federal de Santa Catarina,

C.P 476 CEP:88040-900 Florianópolis SC, Brasil

³Universidade Federal de Paraná, Centro Politécnico
Curitiba Pr. Caixa Postal 19011, CEP 81531-990, Brasil

(Recibido 7 de diciembre de 2005, para publicación 25 de noviembre de 2008)

Resumen – Através do processo de Aspersão Térmica (AT) aplicam-se barreiras de materiais na forma de camadas com alta resistência a abrasão e a corrosão, que envolvem partículas de alta dureza. As ponteiras, fabricadas em aço AISI 4130 e inox 17-4 PH, sujeitas ao riscamento na montagem e à corrosão pela água do mar nas plataformas OFF SHORE, tem sido protegidas por níquel químico e aspersão térmica de pós pelas ligas: WC-Co, WC-Co-Cr, Cr3C2-NiCr, (WC-12Co) + NiCrFeSiBC e uma liga autofluxante de Ni, aplicados por dois sistemas HVOF; os resultados foram interessantes, porém as camadas ainda apresentam trinca no ensaio de riscamento. O objetivo de este trabalho è apresentar resultados das camadas aspergidas por AT por arco elétrico de arames produzidos a base de Ni com adições de B e Si e outra liga de Ni, Cr e Si e ricos em FTC. Foram avaliadas as microestruturas (grau de dispersão de carbonetos e porosidade), a resistência ao desgaste e tração, dureza e o grau de fusão dos revestimentos. As análises mostraram uma camada matriz com dureza variando numa faixa entre 350 a 600 HV, e carbonetos de tungstênio finos, concentrados como triturados por impacto (~1µm), com durezas superiores 1200HV, bem como escassas partículas mais grosseiras (~50 µm), não fragmentadas, com durezas na faixa de 2000 a 2800 HV. A dureza da camada matriz, inferior à dureza das camadas de revestimentos aplicados com HVOF mencionadas anteriormente, assegura uma maior ductilidade, o que permite augurar ausência de trincas nos fundos dos riscos em ensaios de riscamento. O melhor desempenho ao desgaste e às trincas está no arame com maior quantidade de Cr, que dá como resultado uma maior resistência a corrosão. Os outros arames estudados apresentam, um bom potencial com vistas ao seu uso no revestimento de ponteiras de risers, sendo o preaquecimento um fator de melhoria das camadas aspergidas.

Palabras clave – Riscamento, trincas, corrosão.

1. INTRODUÇÃO

Os *risers* são tubos rígidos para a ligação entre as linhas flexíveis de plataformas *offshore* e a boca de um poço petrolífero, usadas para a extração de gás/óleo do oceano, transportando uma produção de cerca de 700.000 barris de óleo/dia (US\$ 8 bilhões/ano). A perda da estanqueidade da ligação é um sério problema da indústria *offshore* e acontece devido à deterioração por desgaste [metal/metal, metal/areia] das ponteiras nos *risers*. Os componentes críticos são as ponteiras (Fig. 1), que tem como função conectar os tubos rígidos entre si pelo sistema caixa-pino. Neste processo pode acontecer riscamento da ponteira e pode-se perder a estanqueidade na conexão com o vazamento de fluido sob os o'ringes durante o teste hidrostático da coluna de *risers* em uma tensão até 20,7 MPa (3000 Psi.). Esta falha em qualquer uma das ponteiras determina a retirada de toda a coluna de completação lançada ao mar, para a verificação de qual delas está com problema e substituir seu respectivo *riser*, com um custo que pode alcançar cerca de US\$

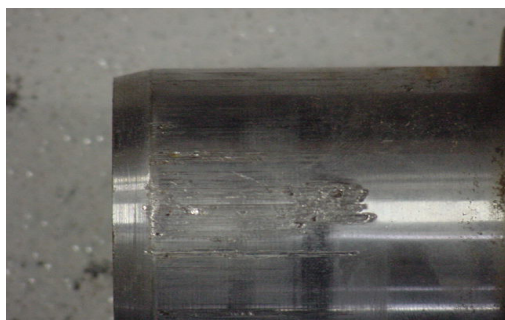


Fig. 1. Ponteira com riscos.

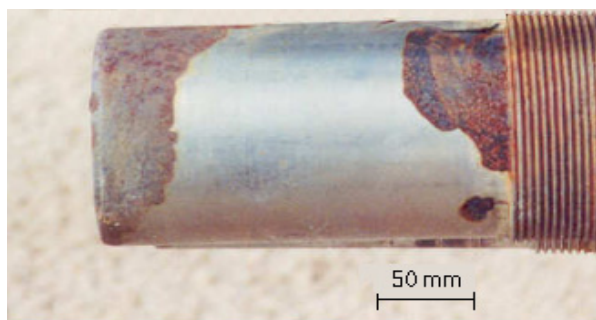


Fig. 2. Deslocamento da camada de Ni.

Tabela 1. Ligas utilizadas pelos processos HVOF com pistolas DJ2700(1) e JP500(2).

Materiais (1)	Fabricação	Granulometria	Materiais (2)	Fabricação	Granulometria
WC-17Co	Asp.sinter.	-53+11 μ m	WC-17Co	Asp. Sinter.	-45+15 μ m
WC-10Co-4Cr	Agl.sinter.	-53+11 μ m	WC-10Co-4Cr	Asp. Sinter.	-45+15 μ m
Cr3C2-25(Ni20Cr)	Misturado	-45+5,5 μ m	Cr3C2-25(Ni20Cr)	Asp.Sinter.	-45+15 μ m
(WC12Co)33Ni9Cr3,5Fe2Si2B0,5C	Misturado	-45+11 μ m	(WC12Co)33Ni9Cr3,5Fe2Si2B0,5C	Atomizado	-53+20 μ m

50.000/dia [1]. Os danos das ponteiros durante o encaixe, são riscos com profundidades de até 200 μ m (para um aço inox 17-4 PH).

O encaixe não é sempre direto e suave, ocorrendo choques, esforços por torção e uma eventual presença de partículas duras do ambiente, como areia e limalhas. A corrosão também ataca o metal base de aço inoxidável ferrítico das ponteiros, alternativamente fabricadas em aço AISI 4130 e revestidas com níquel pelo processo eletroquímico, que estão expostas à atmosfera salina.

Havendo qualquer riscamento do revestimento ou poros passantes nas camadas, a corrosão do substrato é imediata devido ao fato do níquel ser catódico em relação ao aço. Para solucionar esse problema tem-se utilizado revestimentos tipo ligas autofluxantes de níquel, depositadas por aspersão térmica à chama convencional. Essas camadas aspergidas nem sempre apresentam desempenho satisfatório, pois se existirem riscos muito profundos, sofrem deslocamento (Fig. 2).

A microestrutura dessas camadas mostrou excessiva porosidade, o que compromete a proteção contra a corrosão pela probabilidade de aparecimento de poros passantes, que facilita expor o substrato ao meio corrosivo salino [2]. Freire [3] realizou um estudo detalhado da qualidade de revestimentos aplicados pelo sistema de aspersão térmica de última geração HVOF com as pistolas JP5000 e DJ2700, para uma série de pós “cermets” e ligas autofluxantes, (Tabela 1) e iniciou a otimização dos procedimentos de aspersão para cada material/sistema, através da caracterização dos revestimentos (dureza, microestrutura, desgaste abrasivo e riscamento), verificando a influência das variáveis de aspersão nas transformações sofridas pelo pó aspergido em um depósito de água.

As principais conclusões obtidas foram:

- (i) Os metais duros WC-Co e WC-Co-Cr mostraram o melhor desempenho ao desgaste abrasivo porém pela alta dureza trincaram no ensaio de riscamento.
- (ii) O uso de mistura metal duro/liga autofluxante melhora a resistência ao desgaste abrasivo da liga autofluxante pela introdução de partículas de carboneto na camada.
- (iii) Para proteção contra riscamento das ponteiros, o material WC-Co-Cr seria o mais indicado com ambas pistolas, porém ocorre os surgimentos de trincas nos zircos de ensaio de riscamento, concluindo que o material da camada ainda é muito frágil.

Visando os problemas apresentados pelas ligas aspergidas pelo processo HVOF, desenvolve-se a presente pesquisa utilizando o processo de aspersão térmica ao arco visando obter camadas mais dúcteis e com menor porosidade porém, menor dureza e maior resistência à tração [4] devido a as altas temperaturas a que o material é fundido e aspergido.

2. OBJETIVOS

Dadas as propriedades de maior aderência, menor porosidade e maior temperatura de fusão das partículas do processo de aspersão térmica ao arco, a economia do processo e o fato de não gerar câmbios metalúrgicos no substrato, se testaram três novos revestimentos com camadas a base de Ni como matriz, e partículas duras de Carboneto de tungstênio, carbonetos de cromo, boretos, silicatos e outras fases geradas durante o processo, num caso mantendo os parâmetros de aspersão com e sem pré-aquecimento e pré-aquecendo uma das ligas em diferentes patamares, visando obter resultados de maior ductilidade que as obtidas por Freire [2] para eliminar as trincas geradas no riscamento que acontece nas ponteiros durante o acoplamento com os poços de petróleo no fundo do mar e manter o melhorar a resistência ao desgaste.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A aspersão Térmica é um processo por meio do qual se deposita, sobre uma superfície previamente preparada, camada de materiais metálica ou não metálica. Os materiais são fundidos ou aquecidos em uma fonte de calor gerada no bico de uma pistola apropriada por meio de combustão de gases, de arco elétrico ou por plasma. Imediatamente após a fusão, o material finamente atomizado é acelerado por gases sob pressão contra a superfície a ser revestida, atingindo-a no estado fundido ou semifundido.

Ao se chocarem contra a superfície, as partículas achatam-se e aderem ao material base e na seqüência sobre as partículas já existentes, originando-se assim uma camada de estrutura típica e diferente de qualquer outra forma metalúrgica. Essas camadas são constituídas de pequenas partículas achatadas em direção paralela ao substrato, com estrutura típica lamelar contendo inclusões de óxidos, vazios e porosidade (Fig. 3).

3.1. Principais Características e Propriedades dos Revestimentos

3.1.1 Características

- **Aderência:** é resistência mecânica de um revestimento a ser decolado por solicitações externas. Três mecanismos de aderência são considerados, de acordo com a natureza dos mecanismos atuantes: Ancoramento mecânico; Ancoramento químico, e Ancoramento físico.
- **Oxidação.** As fontes de oxidação são: a fonte de calor, o gás de transporte, o ar do ambiente na transferência ou nas camadas já ancoradas ao substrato. Percentuais de 2,5% a 3,0% de óxidos de Al no processo ASP não prejudicam a aderência [7].
- **Porosidade.** Consiste em cavidades isoladas ou interconectadas (indesejável em revestimentos contra a corrosão). Afeta diretamente propriedades físicas como condutividade elétrica e térmica, diminui a coesão das camadas e sua aderência ao substrato. Depende dos parâmetros do processo, tais como: temperatura da fonte, gás de transporte, velocidade das partículas, distância pistola/substrato e qualidade do substrato.

3.1.2 Propriedades

- **Calor de fusão ou aquecimento:**

Combustão ou detonação de gases ou líquidos: mistura de combustíveis (Propano, butano, kerosene, acetileno, etileno, hidrogênio) com oxigênio e calor, entre eles se acham: processo a chama. HVOF. Detonation Gun, Ultrasonic, etc. Atinge temperaturas até 3160°C.

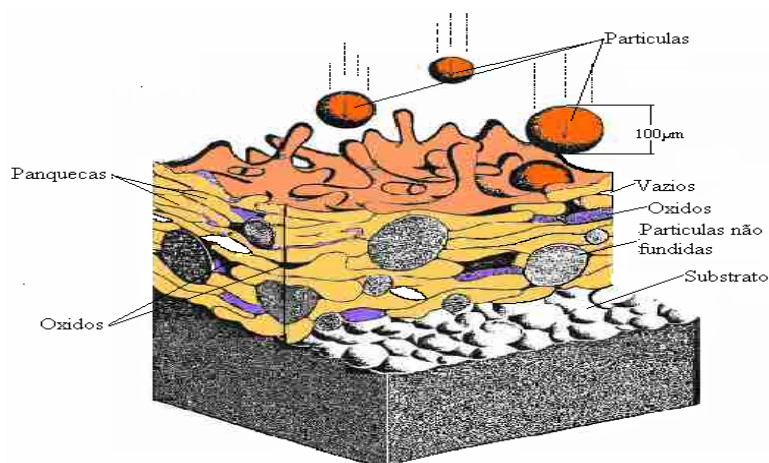


Fig. 3. Características da formação da camada depositada por AT (3,6).

Eletricidade, mediante a geração dum arco elétrico (temperaturas na faixa de 4000°C a 6000°C) [3] ou plasma, neste último caso o arco é gerado no bico da pistola e ao passar o gás (Argônio, Hélio, Hidrogênio, ar) gera-se o plasma. Atingem-se temperaturas até 20.473°C [8].

Raio Laser, neste caso um feixe de alta energia luminosa concentrada é a fonte de calor que funde o material [9]. Atinge temperaturas até 10.000°C [8].

- **Atomização do material:** Quando sólido (forma de arame) o material aquecido, fundido é pulverizado em pequenas partículas pela ação dum gás a pressão e dum bico adequado. Quando o material entregue em forma de pó, só precisa-se aquecer para obter uma boa aderência no substrato.
- **Ancoramento ao substrato:** O material é acelerado fortemente por gases sob pressão contra o substrato, atingindo-a no estado fundido ou semifundido. Ao bater contra a superfície, as partículas achatam-se e aderem ao material base e na seqüência sob as partículas já existentes. O substrato deve estar preparado com acabamento superficial R_y entre 60µm e 100µm. Com o preaquecimento do substrato tem-se obtido melhoras significativas. Acabamentos menores ou maiores não permitem aderência de resistência satisfatória.
- **Espessura da camada:** Esta depende das propriedades anteriormente mencionadas, mas numa deposição não é recomendável superar as 500µm dado que o substrato tem uma temperatura baixa e as partículas fundidas ou semifundidas formam uma camada onde o efeito de contração térmica pode gerar a decolagem da camada.

3.2. Processo de aspersão térmica por arco elétrico – ASP (*Arc Spray Process*)

Um par de arames eletricamente condutor é fundido por um arco voltaico, atingindo temperaturas na faixa de 4000 °C a 6000 °C [3] e o metal fundido é atomizado pelo jato de ar comprimido e projetado com energia cinética na superfície do substrato onde solidificam rapidamente formando a camada. Para evitar que as partículas do jato se aglomerem na travessia, tem sido agregado uma segunda fonte de ar cuja aerodinâmica ajuda a espalhar as partículas (Fig. 4).

As camadas são mais densas e resistentes do que as equivalentes a chama. Outras vantagens são os baixos custos e as altas taxas de deposição o que permite aspergir a altos volumes de produção [6].

A principal desvantagem é que só pode-se aspergir arames eletricamente condutores e si o pré-aquecimento é requerido, este deve ser feito com aquecedores externos ao equipamento.

Na Fig. 5 e mostrado o princípio de funcionamento de uma pistola de ASP onde o ar comprimido atua em forma concêntrica e tem a proteção do jato de ar comprimido secundário, cuja aerodinâmica impede que as partículas se aglomerem em seu trajeto até o substrato.

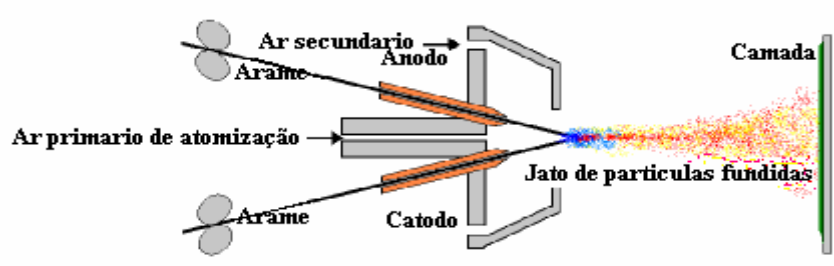


Fig. 4.

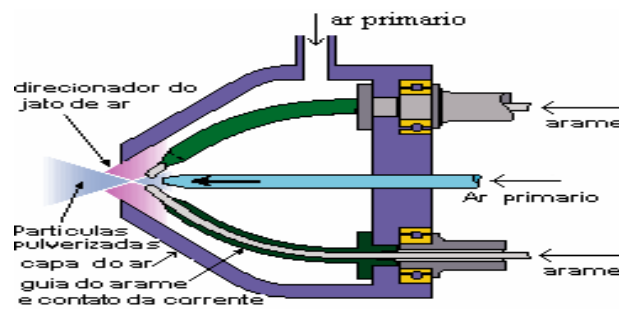


Fig. 5. Esquema de bico de aspersão com ar primário e ar secundário [10].

Tabela 2

Processo	Velocidade da partícula $m.s^{-1}$	Adesão MPa	Conteúdo de Óxidos %	Porosidade %	Fluxo de deposição $kg.hr^{-1}$	Espessura Normal mm
Flame	40	<8	10-15	10-15	1-10	0.2-10
Arc	100	10-30	10-20	5-10	6-60	0.2-10
Plasma	200-300	20-70	1-3	5-10	1-5	0.2-2
HVOF	600-1000	>70	1-2	1-2	1-5	0.2-2

A velocidade das partículas atinge até 250 m/s. Os parâmetros a serem ajustados são: alimentação dos arames, suprimento de ar comprimido e a energia elétrica. A fonte de poder de corrente contínua trabalha na faixa de 18 a 40 V e permite operação com arames sólidos ou tubulares. A abertura do arco e o tamanho das partículas aumentam com a elevação da tenção. Esta deve ser mantida nos níveis mais baixos para manter a estabilidade do arco o que deveria de resultar em camadas mais densas e uniformes. O arco elétrico gera temperaturas onde qualquer material aspergido é fundido. A Tabela 2 indica as faixas dos resultados esperados para alguns dos processos de aspersão térmica [10].

No processo ASP, pelo fato das partículas serem fundidas a altas temperaturas e transportadas pelo ar e, uma vez aderidas ficar expostas ao meio ambiente, a formação de fases novas no processo é favorecida, é assim como a presença de carbono, forma carbonetos, o silício, forma silicatos, o boro forma boretos, o nitrogênio forma nitretos, dando desta forma, resultados favoráveis em alguns casos e negativos em outros. Este fato é aproveitado para selecionar adequadamente os componentes dos produtos a aspergir para atingir resultados convenientes para casos específicos, como e o caso das ponteiras, que além de apresentar boa resistência a corrosão, devem apresenta boa aderência, resistência ao desgaste, à corrosão e riscamento.

3.3. Materiais resistentes ao desgaste corrosão e trincas

Os principais materiais citados pela literatura para obter revestimentos resistentes ao desgaste e a corrosão são: WC-Co, WC-Ni, WC-Co-Cr, WC-Cr-Ni, Cr₃C₂-NiCr, NiWCrSiFeBC e 50% (WC-17Co) + 50% (Ni 17,5Cr 4,5Si 4,75Fe 3,5B 1C). Os cinco primeiros possuem carbonetos de alta dureza, os quais estão imersos em uma matriz tenaz/dúctil de Co, Ni, Co-Cr ou Ni-Cr que tem como função a união das partículas, além de possuírem resistência a corrosão. A liga autofluxante NiWCrSiFeBC, forma uma camada com a matriz de Ni endurecida por solução sólida de Si, Cr e Fe, contando com a presença de fases duras como CrB, Ni₃B e Cr₇BC₄. Com o uso de pós-aglomerados/sinterizados de WC-Co adicionados ao pó NiCrSiBFeC, é possível introduzir carbonetos na camada levando-a a um aumento de resistência ao desgaste [11].

Os pós variam pela composição, granulometria e também tipo de fabricação: sinterizado, aglomerado sinterizado, recoberto, esferoidizado, atomizado, britado ou apenas misturado. A morfologia dos pós é importante na troca de calor, pois a área de contato define a capacidade de absorver a energia térmica. As partículas ficam na fonte de calor cerca de 1 ms, uma rápida e homogênea absorção de calor permite que o material atinja uma semi-fusão ou fusão adequada à sua deformação ao se chocar ao substrato. A morfologia dos pós determina como as partículas ao se chocarem com o substrato, se deformarão e adaptará a ele, distribuindo homogeneamente as fases duras, formando a estrutura da camada. Com pouco tempo para absorver energia térmica, os grãos mais densos não atingem suficiente temperatura para amolecerem, podendo, ao se chocarem com o substrato, eliminar os poros que se formam entre as lamelas [2]. Segundo Schwetske e Kreye, 2000 pós-aglomerados sinterizados geram camadas menos porosas que pós mais densos, pelo contrário, pós com granulação máxima superior a 45µm conduzem camadas com porosidade elevada e pequena dureza.

Os pós pesquisados por Freire [2] atingiram durezas entre 700 e 1410 HV_{0,3}. A menor dureza vem da liga intermetálica NiWCrSiFeBC (700 HV_{0,3}) e a maior nas camadas de WCo-Cr (1410 HV_{0,3}) e os valores de desgaste ficaram na faixa de 25 a 49 mg (ASTM G-65).

O trabalho de Kreye et al., 1994 mostra que o material NiCrSiFeBC aumenta 200HV após um tratamento térmico, pois se forma na liga uma mistura polifásica finamente dispersa, incrementando levemente a resistência ao desgaste. Enquanto que para o aumento da dureza é especialmente eficaz uma fina dispersão de partículas (0,01 a 0,10 µm). Para melhorar a resistência ao desgaste é mais favorável uma distribuição grosseira de fases ou partículas duras (1,0 a 10 µm). As partículas grosseiras formam-se na liga NiCrSiFeBC só após longo recozimento em temperatura elevada ou num resfriamento lento da fusão. A maneira mais eficaz de melhorar a resistência nestas camadas consiste na introdução de 50% de partículas duras de WC-17Co em volume de porção carbídica [11].

4. MATERIAIS, EQUIPAMENTO E MÉTODOS

4.1. Materiais

Os materiais pesquisados foram arames tubulares de Ni com pós de CW, Cr, Si, B, formando diferentes compostos particulados de tamanho micrométrico na faixa das 100µm as maiores e 0,1µm as menores (Tabela 3). Se assume a presença de partículas precipitadas de níquel-cromo –tungstênio – boro na forma de compostos complexos de carburo de tungstênio –cromo, silicatos e bororos de tungstênio –cromo [12]. A Tabela 4 indica as especificações definidas para cada corpo de prova e os parâmetros usados nesta pesquisa.

Os corpos de prova preparados em aço AISI 1045 em discos de 90 mm de diâmetro com 8 mm de espessura e os pinos para o ensaio de tração de 25 mm de diâmetro por 25 de comprimento (Norma ASTM C-633/79) foram jateados com oxido de alumínio tamanho 26, obtendo-se uma rugosidade superficial Ra na faixa de 6 a 9µm (Ry na faixa de 50-60 µm) [3].

4.2. Equipamentos e métodos

Para a aspersão dos arames foi utilizada uma equipe VALUEARC™ 300E ELECTRIC ARC SPRAY SYSTEM da ZULZER METCO no Laboratório de Aspersão Térmica da U.F.P.R.

Tabela 3.

Produto	%C	%Si	%B	%Ni BAL	%Cr	%SC	%FTC
DURMAT AS-751	0,4	4,0-5,0	1,7-2,0	X			X
DURMAT AS760	0,3	3,8	X	X	19,0	X	
DURMAT AS 761	0,4	4,0-5,0	1,7-2,0	X	10,0		X

Tabela 4.

Material	Ar Prim BAR	Tensão V	Corrente A	Sim pré aquecer	Pré aq. 150°C	Pré aq. 200°C	Pré aq. 250°C
AS760	5,0	28	200	Lado A	Lado B		
2AS761	5,0	28	200	Lado A	Lado B		
3AS751	5,0	33	200	Lado A	Lado B		
4AS751	2,7	33	200	Lado A		Lado B	
5AS751	2,7	33	200				Lado B

Tabela 5.

Material	1AS760	2AS761	3AS751	4AS751 (Pré-aquecido a 150°C)
Media (MPa)	44,93	44,85	41,63	59,71
Desvio Padrão	3,76	4,54	2,03	7,50
Coef. de Variação %	8,37	10,12	4,88	12,56

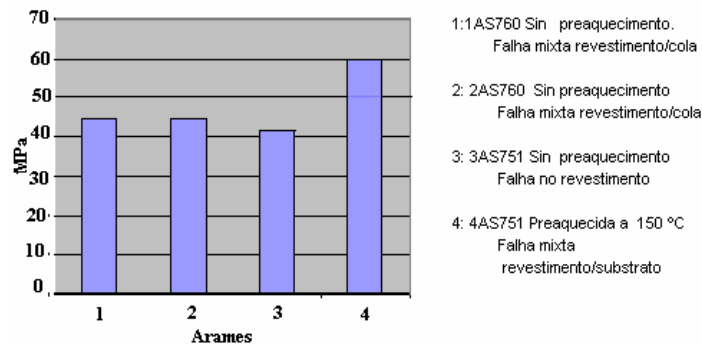


Gráfico 1. Representação da resistência à tração.

A caracterização dos corpos de prova foram feitos no Departamento de mecânica da U.F.S.C. com as equipes e procedimentos indicados como segue:

- Micro dureza –Norma DIN 50133- diamante vickers na carga de 2,94 N(HV 0,3), 15 S 10 medições, Maximo coeficiente de variação: 15%. Equipamento Shimadzu HMV.
- Desgaste Abrasivo -Norma ASTM G65-01- Procedimentos B e C, Areia de Oxido de sílice, grau 50 fornecida e certificada pelo PTB. Equipamento fabricado na própria Universidade.
- Tração – Norma ASTM C633/79- Cola KLEBER, Resistência máxima 100MPa, cura a quente, 25 min a 230°C , pressão de colagem 70MPa., prensa Hidráulica VEB de 30 ton.
- Microestrutura ótica - Norma ASTM E 112-00- Corpos de prova polidos com alumina sem ataque. Microscópio refletivo Olympus BX60M: X50,X100,X200,X500,X100 com câmara digital.

Tabela 6 . Perda de massa segundo procedimento B(10 min) e C(30 seg) da norma ASTM G65-01.

Material	C.Q.	Tensão V	Corrente A	Pressão Do ar Bar	Prea q.	Dureza Obtida	Dureza Forneec.	Perda de massa 30S	Perda de massa 10 min
1AS760A	C 0,3/Cr 19/ Si 3,8/ SC /Ni Bal%	28	200	5		504-2671	720-1000	0,080	0,984
1AS760B	C 0,3/Cr 19/ Si 3,8/ SC /Ni Bal%	28	200	5	170	486-3370	720-1000	0,0817	0,856F
2AS761A	C 0,4/ Si 4-5/ B 1,7 -2,0/ Cr 10/ Ni Bal + FTC	33	200	5		524-2177	650-2053	0,085	0,799
2AS761B	C 0,4/ Si 4-5/ B 1,7 -2,0/ Cr 10/ Ni Bal + FTC	33	200	5	150	538-2235	650-2053	0,081	0,589
3AS751A	C 0,4/Si4-5/B 1,7-2,0/ Ni bal +FTC	33	200	5		434-2158	560-640	0,081	1,634F
3AS751B	C 0,4/Si4-5/B 1,7-2,0/ Ni bal +FTC	33	200	5	150	388-1866	560-640	0,115	1,409F
4AS751A	C 0,4/Si4-5/B 1,7-2,0/ Ni bal +FTC	33	200	2,7		589-2108	560-640	0,097	1,109
4AS751B	C 0,4/Si4-5/B 1,7-2,0/ Ni bal +FTC	33	200	2,7	200	554-2555	560-640	0,0855	0,850
5AS751B	C 0,4/Si4-5/B 1,7-2,0/ Ni bal +FTC	33	200	2,7	250	400-1922	560-640	0,083	1,060

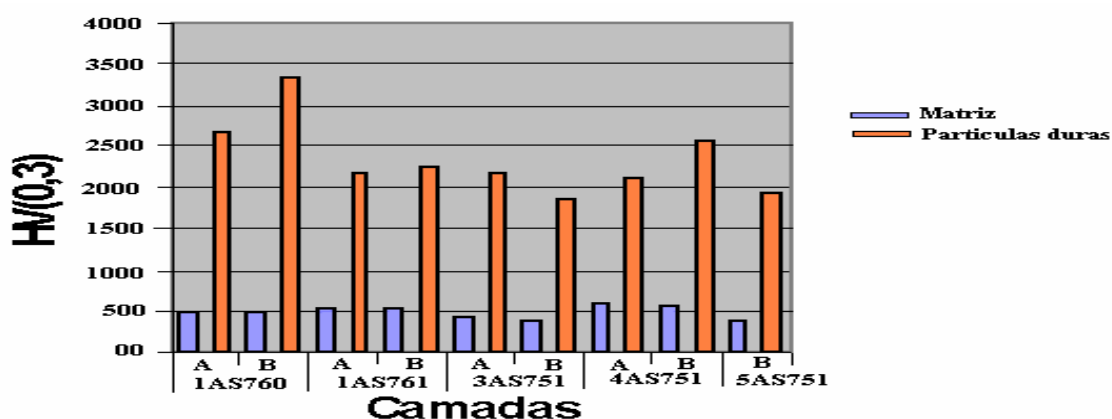


Gráfico 2. Dureza das camadas e partículas duras.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Resistência a tração

Na Tabela 5 e no Gráfico 1 se pode observar o alto nível da resistência a tração, por sobre os valores indicados na Tabela 2. Observe-se que a pior resistência obtida é melhorada com o preaquecimento.

5.2. Dureza

Existindo uma matriz macia e partículas duras de diferentes morfologias e tamanhos e para respaldar os resultados do ensaio ao desgaste mediram -se as durezas em forma separada. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos visando manter a porcentagem de variação dentro do 15% para a matriz o que não é aplicado aos corpos duros. O Gráfico 2 indica que os valores da dureza da matriz ficam na faixa dos 450 a 600 HV(0,3), obtendo-se a maior dureza diminuendo a pressão do ar primário e pré aquecendo a 200°C.

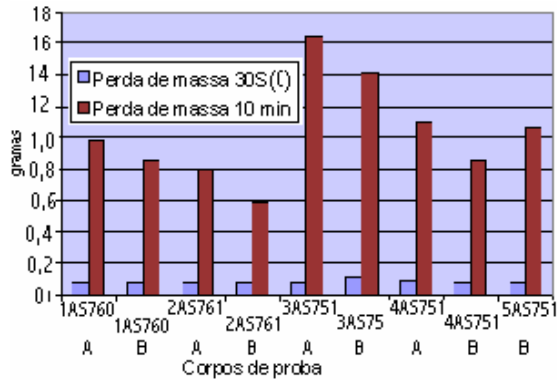


Gráfico 3. Comparação dos procedimentos B e C.

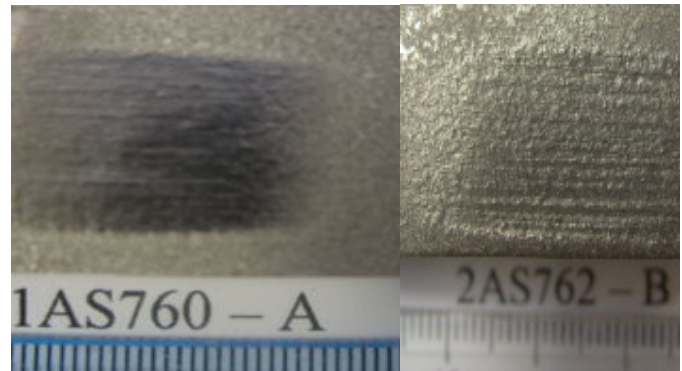


Fig. 6. Ensaio de desgaste proc. C .

Fig. 7. Ensaio de desgaste proc. B.

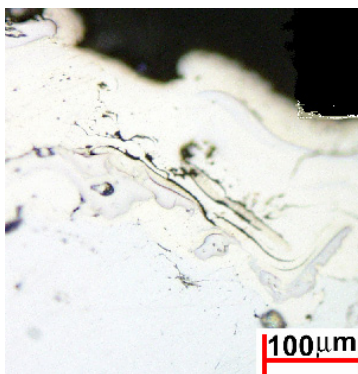


Fig. 8. 3AS751B (vista lat.).

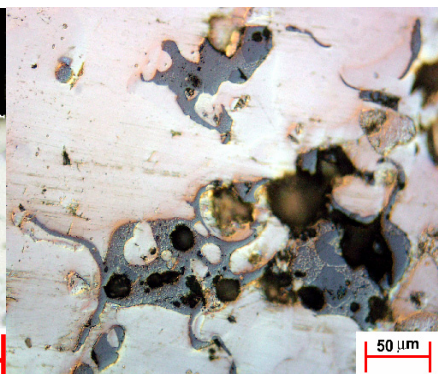


Fig. 9. 4AS751A (vista perp.).

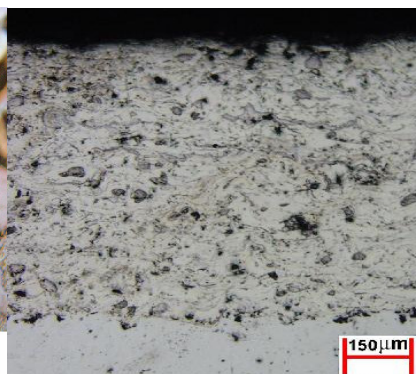


Fig. 10. 2AS761 B (Vista lat.).

Os corpos duros que atingiram a maior dureza foram claramente identificados como WC, sendo os maiores valores obtidos em partículas não fundidas.

5.3. Desgaste abrasivo

A norma ASTM G65-01 estabelece o Procedimento C para camadas de pequena espessura e o tamanho de grão 70 para a areia. Pelo fato de dispor só de areia certificada Grau 50 pelo PTB e que os trabalhos com os que se comparam os resultados aqui apresentados foram feitos com o procedimento B e areia grau 50, os corpos de prova foram submetidos ao procedimento B e C com a areia disponível. Efetuo-se previamente à calibração do equipamento obtendo-se os porcentagem do coeficiente de variação de 3,2% no procedimento B (Max proposto pela norma 3,5%). Dado que as camadas contem poro em forma aleatório, não é possível conhecer uma densidade padrão, por este fato os resultados ficam em perda de peso e não em volume como indicado pela norma [2,12].

No caso do procedimento C, a maior perda de massa aconteceu no 3AS751B e a menor em 1AS760A (Fig. 6), mas as diferenças de perda de material são tam pequenas que e muito aventurado concluir com esses dados embora o de maior perda é também um dos de maior perda no procedimento C e o de menor dureza (Tabela 6). Os de melhor desempenho no procedimento B foram 2 AS761B (Fig. 7) e 2AS761A.

As líneas que se observam na Fig. 7, indicam a existência de partículas duras e grosseiras que se opõem ao desgaste e ficam aderidas à matriz. Estas partículas duras em na camada podem ser WC, Carbonetos de Cromo, silicatos e boratos, considerando que é o único Arame com Cr e confirmado pelo coeficiente de variação da dureza de 38,3% (Tabela 6).

5.4. Micrografias

Apresentam-se micrografias dos materiais aspergidos que mostraram melhor desempenho nos diferentes ensaios, para observar como a microestrutura respalda esses resultados. No caso da resistência à tração na Fig. 8, a separação entre camada e substrato é imperceptível. A maior dureza na Fig. 9 responde as partículas de FTC fundidas e espalhadas pela camada e a Fig. 9 e na Fig. 10 a maior resistência ao desgaste se explica pela abundância de partículas duras nela.

6. CONCLUSÕES

Os arames pesquisados apresentam uma menor resistência ao desgaste e menor dureza que os pesquisados por Freire [2] devido ao maior tamanho das partículas e à menor quantidade de estas nas camadas o que favorece a maior ductilidade das camadas [11]. A elevada resistência à tração obtida e resultado de camadas quase livres de porosidades, observando se que o pré-aquecimento moderado melhora este resultado (4AS751b) mas si este é exagerado, no só afeta as propriedades mecânicas do substrato embora a aderência da camada diminui e a dureza e seriamente afetada. No caso da dureza, esta e melhorada ao diminuir a pressão do ar primário, o que permite que os FTC fundidos e aspergidos fiquem mais espalhados formando verdadeiras redes entres as panquecas da camada e, não sendo de tamanho dos precipitados, apresentasse como barreiras aos riscos para evitar a geração de trincas.

O material 2AS761 apresenta a melhores condições para evitar as trincas, mais visando os resultados no material 4AS751, pode se obter melhores resultados aspergindo-o com uma redução da pressão do ar primário e considerando um pré-aquecimento de 150°C.

Finalmente se concluye que o proceso ao arco assegura uma exelente aderência da camada, os parâmetros usados dan uma boa referencia para continuar melhorando a ductilidade ma em nenhum caso poderá superar a resistência das ligas NiWCrSiFeBC e WCCo-Cr ensaiadas por Freire.

REFERENCIAS

- [1] Paes, M.P., “Utilização de revestimentos de níquel químico submetidos a condições de desgaste e corrosão em meio marino atmosférico severo e submerso”, *Seminário da disciplina Microestrutura do desgaste*. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (2000)
- [2] Freire, F., “Avaliação de Revestimentos Aplicados por Aspersão Térmica para Proteção contra o Desgaste de Ponteiros de Risers”, Dissertação. Mestrado em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (2002)
- [3] Cortes, R., “Aspersão Térmica”, Apostila, Departamento de Engenharia Mecânica. Laboratório de Materiais e Tratamento de Superfície, Universidade Federal de Paraná, Curitiba (2001)
- [4] American Welding Society, *Welding Handbook*, 8. ed AWS, 2 (1991)
- [5] Gordon England, “Thermal Spray Coating Consultant, Independent Metallurgist and Consultant to the Thermal Spray Coating Industry. Arc Thermal Spray Process”, Apresenta diferentes processos de Aspersão Térmica e consultorias na matéria. Disponível em: <http://www.gordonengland.co.uk/>. Acesso em: (2004)
- [6] Krienbuehl, P.K., Widmer, K., *Corrosion protection by arc sprayed aluminum: new developments*, Swiss Aluminum Ltda, Switzerland (1974)
- [7] Linde Gas Industriels, *Les procédés de projection thermique*. 174 Avenue Jean Jaurés, F-69007, Lyon, France
- [8] Foltran, B. de B., “Comparação dos revestimento de superligas à base de cobalto (Co-Cr-W-C) depositados por eletrodo revestido, plasma por arco transferido e laser”, Dissertação Mestrado em Engenharia e Ciências dos materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (2000)
- [9] Halldearn, R., “The Professional Division of The Welding Institute, Arc spraying”. Disponível em: http://www.twi.co.uk/professional/unprotected/band_1/surf15.html Acesso em 8 de setembro de 2004.
- [10] Kreye, H., Sziggeti, F.F., Buschinelli, A., “Proteção contra desgaste por Revestimento com Ligas Autofluxantes de NiCrBSi”, *Soldagem & Materiais*, São Paulo, 6(3), 34-40 (1994)
- [11] Fillion, G.L., “New Developments in Nickel-Base Self Fluxing Alloys”, *Conference Proceeding Thermal Spray Coating: Research, Design and Applications*, 365-374 (1995)

ANTIWEAR AND ANTICORROSION CONSUMIVEILS CHARACTERIZATION PRODUCED ESPECIALLY FOR ARC SPRAY PROCESS TO COAT OFFSHORE PLATFORMS TIPS RISERS

Abstract – Through the thermal spray process barriers of layers forms materials with high, wear and corrosion resistance are applied, involving high hardness particles. The tips, manufactured in AISI 4130 steel and 17-4 PH Stanley steel, under assembly scratch out risks and sea water corrosion on OFF SHORE platforms, have been protected with chemical nickel and thermal aspersion using WC-Co, WC-Co-Cr, Cr3C2-NiCr, (WC-12Co) + NiCrFeSiBC alloys and a Ni autofluxant alloy, using two HVOF systems; the results had been interesting, however the layers still presents small crack deep into the scratch. The objetive of this work is to present results of the arc spray layers using Ni base alloys with B and Si additions and other wires using Ni base alloys rich in Cr, Si and FTC. Were evaluated the microstructures (carbides and porosity dispersion degree), the wear and stress resistance, hardness and covering fusing degree. The analyses shows a matrix layer with hardness varying between 350 and 600 HV, and fine tungsten carbides particles, concentrated as triturated for impact (~1 μ m), with hardness over 1200HV, as well as scarce coarser particles (~50 μ m), not broken up, with hardness between 2000 and 2800 HV. The matrix hardness lower than that sprayed with the HVOF process, assures a better ductility, it allows assuring the crack absence deep into the scratch during the cratch out test. The best performance to waste was found in the wire with bigger amount of Cr that gives as result a corrosion resistance. The other studied wires present a good potential with sights to its use in riser tips covering, being the preheating a factor of sprayed layers improvement.

Keywords – Scratch, Crack, Corrosion.

