

REVESTIMENTOS Nb/Al PARA ALTAS TEMPERATURAS

Karin Graf¹ (PRH24), Ana Sofia Clímaco Monteiro D'Oliveira² (UFPR)

¹ Centro Politécnico, Programa de Recursos Humanos ANP, PRH-24, CEP 81531-990, Curitiba-Paraná,
kgraf@hotmail.com

² Centro Politécnico, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco IV, CEP 81531-990, Curitiba-Paraná, Fone:
0XX(41) 3361-3119, sofmat@ufpr.br

Resumo - A necessidade de processar óleos cada vez mais pesados exige, entre outras, uma capacidade cada vez maior das unidades de conversão de resistir a temperaturas elevadas em ambientes agressivos. A possibilidade de processar componentes que atendam a requisitos específicos de solicitação estrutural e de superfície permite a otimização do desempenho. O desenvolvimento de revestimentos, em particular, extrapola operações de recuperação/manutenção permitindo, através da produção customizada de equipamentos, atender às condições específicas aos quais os componentes estão expostos. É neste contexto que o presente trabalho se enquadra, através do desenvolvimento de revestimentos Nb/Al para a proteção de equipamentos de refino. A técnica de deposição selecionada foi plasma por arco transferido (PTA), reconhecido pela alta qualidade dos revestimentos produzidos e por oferecer enorme flexibilidade em relação à composição química dos depósitos, pelo fato do material de adição estar na forma particulada. Os revestimentos são uniformes e apresentam baixos níveis de distorção. Sendo assim, através da utilização do PTA como ferramenta no desenvolvimento de ligas (*tailoring*), é possível obter revestimentos com características superiores para aplicações específicas. Neste trabalho foram analisadas as características de revestimentos Nb/Al obtidos por PTA. Foi analisada a soldabilidade das diferentes composições a partir da mistura dos pós elementares, segundo as proporções em peso Nb10%Al, Nb20%Al, Nb40%Al e Nb60%Al que foram depositados sobre aço carbono AISI 1020. A molhabilidade dos depósitos é muito semelhante, independentemente dos teores de Al. Os revestimentos foram inicialmente avaliados através da análise do perfil de microdureza de cada mistura depositada que mostrou menores valores de dureza (450HV) quando os teores de Alumínio aumentam. A mistura com a menor quantidade de Alumínio apresentou o maior valor de dureza (825HV). Resultados mostraram revestimentos homogêneos em sua seção transversal comprovados pela dureza uniforme. A análise microestrutural por microscopia óptica e eletrônica de varredura foi utilizada para o melhor entendimento deste comportamento.

Palavras-chave: *Nb/Al, PTA, Revestimentos, Temperatura*

1. INTRODUÇÃO

Os parâmetros de processo durante o beneficiamento do petróleo são diretamente influenciados pelas características físico-químicas do produto da extração. Entre os processos normalmente empregados podemos citar o craqueamento catalítico, onde temperaturas relativamente altas são comuns. A necessidade de processar óleos cada vez mais pesados, como os encontrados em águas profundas, exige das unidades de conversão uma capacidade cada vez maior de resistir a ambientes agressivos a temperaturas cada vez mais elevadas.

A produção de componentes maciços para operar em plantas petroquímicas visando atender a estas severas condições de operação que na maioria das vezes envolvem desgaste e/ou corrosão agindo sinergicamente com altas temperaturas acaba por não atender simultaneamente de forma otimizada a requisitos estruturais e de superfície. Como na maioria das situações a degradação se concentra ou inicia na superfície dos componentes, a utilização de revestimentos otimizados específicos para cada aplicação (*tailoring*) representa um grande avanço tecnológico e tem forte impacto ambiental, no sentido de aumentar a vida útil dos componentes gerando menos lixo industrial. A otimização do desempenho de superfícies revestidas depende principalmente de dois fatores: a seleção do material e a técnica de deposição.

Entre os processos de produção de revestimentos de alta qualidade destaca-se a deposição por plasma com arco transferido (PTA), capaz de produzir depósitos espessos, revestir áreas relativamente grandes e apresentar um custo de equipamento significativamente menor (até 10x) “Lugscheider e Oberlander (1992)” que o processo de deposição a Laser. Uma das principais vantagens do PTA em relação a outros processos com eletrodos fusíveis como por exemplo, eletrodo revestido, MIG/MAG (Metal Inert Gás / Metal Active Gás) e TIG (Tungsten Inert Gas), está na utilização do material de adição na forma de pó, que propicia grande flexibilidade na composição química do material a ser depositado, além de ser um processo mais limpo que gera menos resíduos.

A seleção do material a ser depositado também é de fundamental importância. Existe uma grande variedade de materiais resistentes ao desgaste e/ou corrosão disponíveis no mercado, porém, para conciliar estas

21-24 de Outubro de 2007

solicitações extremas simultaneamente com elevadas temperaturas de serviço, a otimização de cada componente exigiria ligas com composição e propriedades projetadas sob medida, o que tornaria a sua comercialização muito mais difícil, devido às particularidades de cada situação. Dentre os materiais apropriados para aplicações envolvendo temperaturas elevadas estão as superligas, os metais refratários, os intermetálicos e os cerâmicos. Neste trabalho foram estudados revestimentos a base de Nióbio, metal refratário capaz de formar intermetálicos de acordo com os elementos a ele associados. Este metal é bastante utilizado como elemento de liga em aços e como material estrutural sem revestimento, como por exemplo, na fabricação de tubos transportadores de petróleo a longas distâncias, devido à sua boa resistência mecânica associada à resistência à corrosão. A capacidade do Nb em resistir a ambientes bastante corrosivos, na presença de compostos naftênicos, comumente encontrados na indústria de petróleo já foi demonstrada [<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ni%C3%B3bio>]. O presente trabalho tem como objetivo estudar o desenvolvimento de revestimentos NbAl processados *in-situ*, isto é, quando da deposição da mistura de pós elementares Nióbio e Alumínio pelo processo de Plasma por Arco Transferido.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Na seleção de revestimentos é imprescindível determinar primeiramente quais os requisitos finais a serem atendidos. A Indústria Petroquímica utiliza materiais refratários e refratários-isolantes no revestimento interno de equipamentos que trabalham com temperaturas elevadas, tais como: fornos de aquecimento de carga, fornalhas de geradores, de vapor, chaminés, dutos e em conversores de unidades de craqueamento catalítico fluido (UFCC) [<http://www.abraco.org.br/corros19.htm>]. Estes revestimentos são termicamente estáveis e apresentam alta resistência à corrosão, porém, a baixa tenacidade à temperatura ambiente os torna extremamente frágeis, dificultando imensamente seu manejo nestas situações. Aliado a este fato, a necessidade de processar óleos cada vez mais pesados demanda a necessidade por novos materiais, que resistam à corrosão em temperaturas ainda mais elevadas. Um material para poder ser utilizado em altas temperaturas (acima de 540°C) não pode sofrer alterações microestruturais, como por exemplo, coalescência de microestrutura e/ou a precipitação de uma segunda fase, decorrente principalmente do aumento da energia térmica disponível no sistema.

Em aplicações envolvendo altas temperaturas, a seleção de materiais encontra-se atualmente fundamentada na utilização de Superligas, principalmente a base de Níquel. Porém, a limitação do uso destes materiais é imposta pela sua temperatura de fusão, em torno de 1300°C. Para atender a demanda por materiais que resistam a condições mais extremas, surge uma nova categoria de materiais, os intermetálicos, que podem operar a temperaturas acima de 1500°C, citado por “Trevisan *et al* (1996)”. Ligas intermetálicas bem como ligas reforçadas por compostos intermetálicos têm sido desenvolvidas nas últimas décadas em consequência do seu potencial de aplicação como materiais que operam a altas temperaturas “Kuwabara *et al* (2003)”. No entanto, estas propriedades desejadas durante a operação a altas temperaturas acarretam em uma sensível diminuição da tenacidade à temperatura ambiente, citado por “Rios *et al* (2002)”, que acaba se refletindo no aparecimento de trincas, o que tem exigido uma concentração de esforços no sentido de melhorar estas propriedades.

Dentre os vários elementos que podem formar intermetálicos, os sistemas contendo Alumínio são os que vêm sendo mais estudados. Nesta classe de materiais, o sistema Nb-Al apresenta um enorme potencial a ser explorado. Um dos intermetálicos deste sistema, Al₃Nb, por exemplo, apresenta como principais características: elevado ponto de fusão, excelente resistência à oxidação e baixa densidade (4,54g/cm³), além de mostrarem uma resistência significativamente superior aos aluminóides de maior utilização atualmente, a base de Níquel “Lee *et al* (2000)”. Ligas a base de Nióbio vêm sendo desenvolvidas para utilização como revestimentos resistentes a altas temperaturas, principalmente para aplicações na Indústria Petroquímica. Além das características técnicas destas ligas, é importante citar que o Brasil produz atualmente cerca de 84 mil toneladas de Nióbio por ano, devendo passar para 90 mil em 2008, segundo a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, CBMM [www.cbmm.com.br], posicionando o país como um dos maiores produtores mundiais deste metal, justificando um incentivo ainda maior aos estudos no desenvolvimento de ligas que utilizem este elemento como base.

A correta seleção do processo de deposição do material escolhido é de fundamental importância no sentido de garantir a obtenção do revestimento de acordo com o desejado para cada situação. Dentre os processos de deposição, o PTA que utiliza material de adição na forma de pó é um processo automatizado que permite a produção de revestimentos de alta confiabilidade, menor distorção e estrutura mais refinada e homogênea “Aoh *et al* (1999)”, “Deuis *et al* (1998)”, em relação aos processos de soldagem convencionais como eletrodo revestido, arco submerso, MIG/MAG e TIG. Já foi demonstrado também que o PTA tem características que o tornam uma ferramenta em potencial para o desenvolvimento de ligas “Almeida e D’Oliveira (2004)”, “D’Oliveira *et al* (2004)”, “Silvério e D’Oliveira (2003)”.

Em relação a processos de elevada concentração de energia à técnica, como *Laser cladding*, áreas relativamente grandes podem ser revestidas através da sobreposição de cordões ou pela técnica conhecida por tecimento, que consiste na movimentação conjugada da tocha, um avanço linear associado a uma oscilação lateral. O PTA também apresenta uma maior eficiência de deposição que a técnica a Laser “Lugscheider e

21-24 de Outubro de 2007

Oberlander (1992)”, podendo atingir valores de até 95%, e um maior controle na cinética de solidificação “D’Oliveira *et al* (2002)”, resultando num maior controle das propriedades finais dos depósitos.

Segundo o “Committee on Materials Technologies for Process Industries”, “Commission on Engineering and Technical Systems” e o “National Research Council”, o desenvolvimento de materiais resistentes à corrosão e ao desgaste resistentes a altas temperaturas, é um dos fatores indicados como estratégicos para o desenvolvimento tecnológico desta década [http://www.nap.edu]. O desenvolvimento destes materiais permitirá processar o petróleo a temperaturas mais altas ou por tempos mais longos, o que terá como consequência direta a diminuição nos custos de produção, não apenas no sentido de diminuir o consumo de energia, mas também aumentando a vida útil dos componentes, acarretando em um impacto ambiental muito positivo devido à diminuição na produção de lixo industrial.

O potencial da técnica PTA para o desenvolvimento de revestimentos *in-situ*, permitindo a proteção de componentes com materiais de difícil soldabilidade já vem sendo estabelecido. Pretende-se neste trabalho usar esta técnica para processar revestimentos de NbAl, contribuindo para melhorar o desempenho de componentes expostos a situações envolvendo principalmente desgaste/corrosão a altas temperaturas, ambientes comuns na indústria petroquímica. Os revestimentos serão obtidos a partir da deposição de misturas de pós elementares NbAl, sendo a variação das características dos depósitos obtidas pela variação da composição química da mistura.

3. METODOLOGIA

3.1 Aparato Experimental

O sistema Nb-Al vem despertando grande interesse para aplicações a altas temperaturas em atmosferas oxidantes. Estudos dos mais diversos tipos vêm sendo realizados no sentido de compreender melhor este sistema, como por exemplo, identificar propriedades termodinâmicas (Du *et al* (2003)”, verificar mecanismos de fratura “(Chan (2002)”, etc...

Com o objetivo de identificar o potencial de desenvolvimento de revestimentos a base de Nb, foram depositadas misturas de pó de Nióbio com 10wt%, 20wt%, 40wt% e 60wt%Al. O processamento das misturas foi realizado sobre chapas de aço de baixo carbono AISI1020 (dimensões 10 x 5 x 1,2mm) para minimizar o efeito da composição química do substrato sobre os revestimentos. A técnica de deposição a Plasma por Arco Transferido foi utilizada para a obtenção dos depósitos, na forma de cordão único, sem pré-aquecimento e as variáveis de processamento foram mantidas constantes. As vazões dos gases de plasma e transporte utilizadas foram de 2l/min, a vazão do gás de proteção 15l/min, a distância da peça/tocha de 10mm, a velocidade de avanço da tocha 10cm/min e a intensidade de corrente 170A. Os depósitos foram inicialmente avaliados quanto ao acabamento por inspeção visual e a uniformidade pelas medidas de dureza Rockwell ao longo do cordão. A molhabilidade foi avaliada pela geometria dos cordões através de medições da largura e do reforço. A diluição, que representa o grau de participação do substrato no revestimento, foi obtida pelo método das áreas com o auxílio de um software específico. A caracterização incluiu também a verificação da homogeneidade ao longo da seção transversal pela obtenção de perfis de microdureza Vickers com cargas de 500gf. A análise microestrutural foi feita na seção transversal com o auxílio de microscopia óptica e eletrônica de varredura. Foram realizados também ensaios de difração por Raio-X para identificação das fases presentes e análise semi-quantitativa da composição química por EDS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para mostrar que é possível alterar completamente as características dos depósitos através da variação dos teores de Alumínio, foram obtidos revestimentos pela deposição de misturas dos pós elementares de Nióbio e Alumínio nos teores de 10, 20, 40 e 60wt%Al.

A inspeção visual dos revestimentos mostrou muitas trincas nos revestimentos contendo 10 e 20wt%Al, sendo que para a liga Nb10%Al verificou-se inclusive destacamento de material, como pode ser observado na figura 1. A elevada fragilidade deste depósito impediu a realização de sua caracterização.

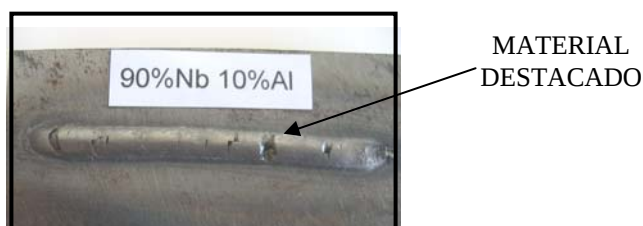


Figura 1. Cordão obtido pela deposição da liga Nb10%Al sobre substrato de aço carbono AISI 1020.

21-24 de Outubro de 2007

A medida que os teores de Al aumentam a quantidade de trincas diminui, sendo que para os revestimentos Nb60%Al, não foram observadas nem trincas nem porosidades.

A uniformidade ao longo de cada cordão foi verificada para todas as ligas desenvolvidas *in-situ*, conforme comprovam as pequenas dispersões dos resultados das medidas de dureza, $68 \pm 2\text{HRC}$ para os revestimentos Nb20%Al, $65 \pm 2\text{HRC}$ para os revestimentos Nb40%Al e $59 \pm 2\text{HRC}$ para os revestimentos Nb60%Al. A composição química mostrou grande influência sobre os valores de dureza, que decrescem à medida que os teores de Alumínio aumentam. Os cordões desenvolvidos apresentam geometrias muito semelhantes, independentemente do teor de Alumínio. Estes resultados mostram que a molhabilidade dos depósitos independe dos teores de Al, associando-se aos parâmetros de deposição o maior grau de influência nesta característica “Graf e D’Oliveira (2006)”.

Foram medidos altos valores de diluição para todos os revestimentos, 45% para a liga Nb20%Al, 52% para a liga Nb40%Al e 51% para a liga Nb60%Al. Estes valores contrastam com os resultados obtidos para depósitos de superligas que raramente ultrapassam os 10%, “Takano *et al* (2007)”, “Lugscheider e Oberlander (1992)”, e podem ser associados à reação exotérmica esperada no processamento de aluminóides. Estes valores de diluição elevados implicam na presença de grandes quantidades de Ferro nos revestimentos.

Os perfis de microdureza Vickers, figura 2, confirmam a homogeneidade dos revestimentos também na sua seção transversal e a queda de dureza com o aumento do teor de Alumínio, 825HV para a liga Nb20%Al, 720HV para a liga Nb40%Al e 460HV para a liga Nb60%Al. A elevada dureza exibida pelos revestimentos supera ligas de Níquel (Colmonalloy C, 60HRC) e de Cobalto (Stellite 1, 53 HRC), largamente utilizadas em aplicações que requerem excelente resistência ao desgaste, à corrosão e erosão e por manter estas características a elevadas temperaturas.

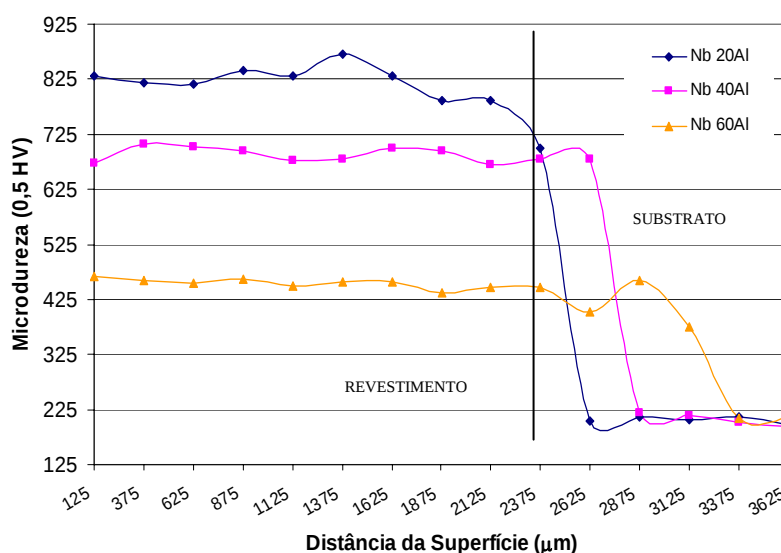


Figura 2. Perfis de microdureza Vickers obtidos para as ligas Nb20%Al, Nb40%Al e Nb60%Al desenvolvidas

Um melhor entendimento da resposta mecânica dos revestimentos pode ser conseguido pela análise das microestruturas desenvolvidas para cada uma das misturas Nb/Al processadas. Em condições de resfriamento controlado e considerando-se o sistema como sendo binário, seria de se esperar a presença das fases intermetálicas Nb_2Al e NbAl_3 para as ligas Nb20%Al e Nb40%Al e a presença do intermetálico NbAl_3 para a liga Nb60%Al, porém, não apenas devido às elevadas taxas de resfriamento, mas também à mistura de elementos do substrato, decorrentes dos elevados valores de diluição, outras fases, ricas em Ferro, devem ser esperadas.

A microestrutura do revestimento da liga Nb20%Al, Figura 3, mostra uma estrutura celular dendrítica bem como a presença de uma segunda fase, de aparência mais clara, rica em Nióbio. A difração por raio-X identificou a presença de três fases distintas, uma solução sólida FeNbAl , o intermetálico Nb_3Al e o carboneto Nb_6C_5 . Devido ao maior ponto de solidificação do Nb_3Al , acredita-se ser esta a fase colunar. A solução sólida FeNbAl estaria presente nas regiões de contorno destas estruturas. Os ensaios de análise química semi-quantitativa por EDS confirmaram elevados teores de Nióbio na segunda fase presente, representada pelas pequenas estruturas de coloração mais clara dispersas na matriz, o que vem a confirmar tratar-se do carboneto de Nióbio. A literatura mostra que o composto intermetálico Nb_3Al além de apresentar elevada dureza, apresenta elevada resistência à oxidação tornando este material de grande interesse em operações a altas temperaturas “YOO *et al* (2000)”. Estas características são muito importantes pois mostram o grande potencial destas ligas no revestimento de

21-24 de Outubro de 2007

componentes submetidos a ambientes corrosivos a altas temperaturas, situações comumente encontradas em plantas de refino.

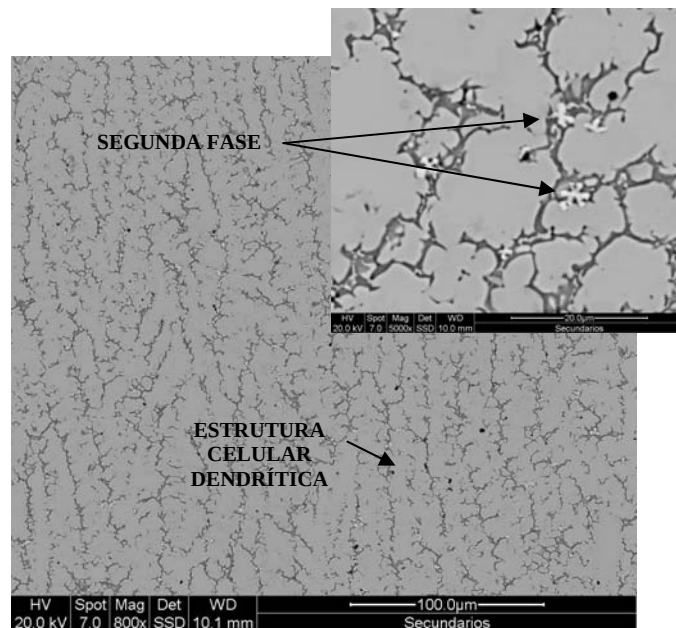


Figura 3. Microestruturas mostrando uma visão geral e detalhada para o revestimento Nb20%Al

O revestimento da liga Nb40%Al, apresentou crescimento dendrítico conforme pode ser observado na Figura 4. É possível identificar claramente duas regiões distintas, dendrítica e interdendrítica, bem como a presença de uma fase secundária na região interdendrítica.

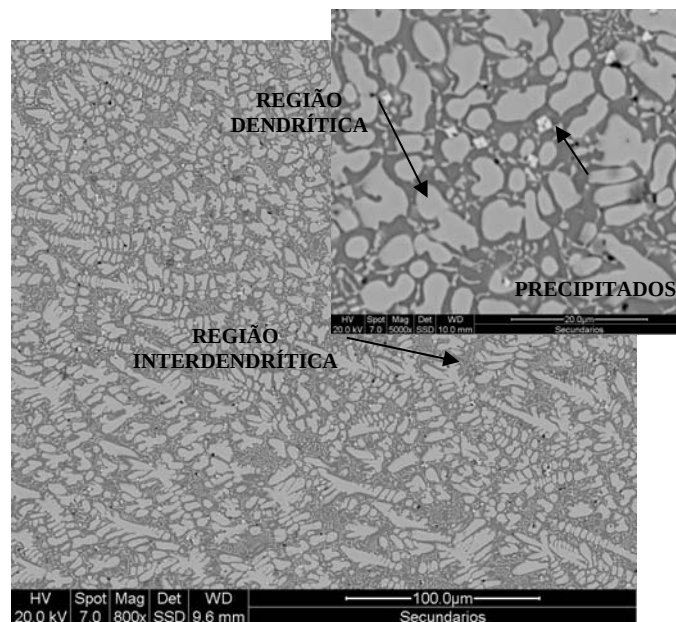


Figura 4. Microestruturas mostrando uma visão geral e detalhada para o revestimento Nb40%Al

A análise semi-quantitativa por EDS mostrou uma grande quantidade de Ferro em todas as fases (entre 42 e 66%), sendo que as maiores concentrações foram observadas nas regiões interdendríticas. Os testes de difração por raios-X identificaram a presença das fases NbAl_3 , $(\text{Nb,Fe})_3\text{Al}$ e Nb_6C_5 . A análise microestrutural por elétrons retroespalhados, apresenta a região dendrítica como sendo de coloração cinza claro, similar ao observado no revestimento da mistura Nb20%Al, o que juntamente com os resultados de difração por raio-X revela a presença

21-24 de Outubro de 2007

de dendritas de NbAl_3 e uma região interdendrítica com a fase $(\text{Nb,Fe})_3\text{Al}$. Novamente são identificados carbonetos, regiões mais claras, com altas concentrações de Nióbio, segundo análise por EDS. É interessante observar a diferença na morfologia destes carbonetos em relação ao revestimento com menor teor de Carbono, $\text{Nb20\%Al}$.

Aluminóides em geral são materiais muito atrativos devido às suas características de resistência à corrosão. Os aluminóides de Fe, por exemplo, apresentam boa resistência ao desgaste e excelente resistência à oxidação e sulfatização “Baligheid R.G. (2003)”. Combinado a ele na microestrutura está o NbAl_3 , intermetálico de grande potencial “Dollar e Dymec (2002)” para ser utilizado nestas condições de operação. Aliado a estes, a presença dos carbonetos de Nióbio dispersos na matriz, atuando como agentes de endurecimento, podendo vir a melhorar ainda mais a característica de resistência ao desgaste. Estes revestimentos mostram uma liga com características microestruturais e de composição química compatíveis para serem utilizadas com sucesso em ambientes oxidantes e sulfatizantes, envolvendo desgaste a altas temperaturas.

Para a liga $\text{Nb60\%Al}$ observam-se novamente duas regiões distintas, dendrítica e interdendrítica, e a presença de uma segunda fase, na forma de agulhas, precipitada a partir da matriz dendrítica, conforme mostra a figura 5. Esta fase não pôde ser identificada através das técnicas utilizadas em virtude de sua morfologia e por estar presente em quantidades muito pequenas. Observação no MEV no modo retroespalhado revela que as fases de maior densidade (ricas em Nb) concentram-se na região interdendrítica, caracterizada pela presença do eutético.

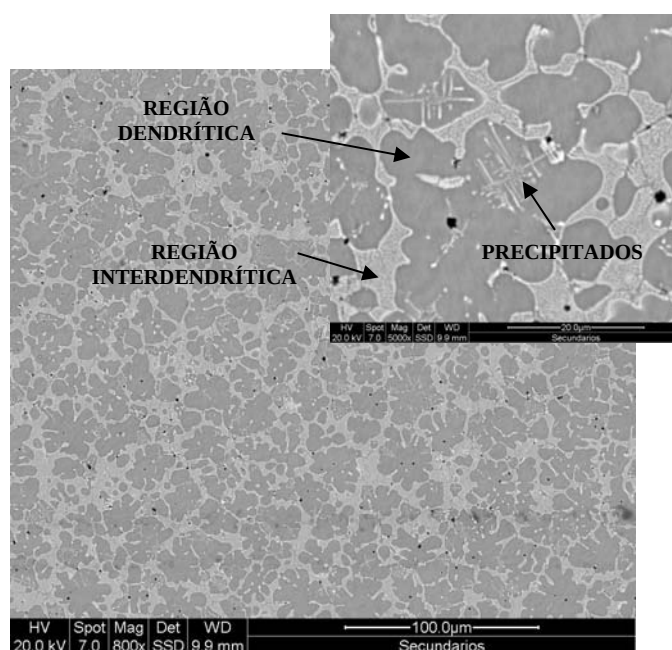


Figura 5. Microestruturas mostrando uma visão geral e detalhada para o revestimento $\text{Nb60\%Al}$

No entanto a difração por raio-X identificou apenas a presença de uma solução sólida FeNbAl . A análise semi-quantitativa por EDS também mostrou composições químicas muito próximas para ambas as regiões, dendrítica e interdendrítica. Neste revestimento não foi constatada a presença de carbonetos, nem através da análise microestrutural nem pela difração de raio-X.

5. CONCLUSÃO

Nas condições de teste estudadas é possível concluir:

A técnica PTA mostrou ser eficiente no desenvolvimento de ligas durante o processamento pois foi possível obter revestimentos NbAl . Os depósitos apresentaram grande uniformidade e homogeneidade.

A composição química dos pós depositados mostrou ter influência decisiva nas características finais dos revestimentos produzidos.

As características dos revestimentos apresentam forte dependência de composição com o aumento da tenacidade e redução da dureza com o aumento do teor de Al na mistura.

Para as composições testadas a dureza ao longo dos cordões e em sua seção transversal se apresenta uniforme.

Os depósitos exibiram elevados níveis de diluição, superior a 40%, associado à reação exotérmica decorrente da formação de aluminóides.

Revestimentos processados a partir das misturas com 20 e 40%Al apresentaram fases intermetálicas de

21-24 de Outubro de 2007

especial interesse para aplicações envolvendo desgaste/corrosão a altas temperaturas. Estes revestimentos, a princípio, mostram grande potencial para revestir, por exemplo, tubos transportadores de petróleo a longas distâncias, chaminés, dutos e em conversores de unidades de craqueamento catalítico fluido (UFCC).

Depósitos da mistura Nb60%wtAl exibiram as menores durezas superficiais, 59HRC, e na seção transversal 460HV, que foram associados à presença da fase NbFeAl. Estes revestimentos apresentam características que requerem maiores estudos, no sentido de verificar-se qual a amplitude das consequências, oriundas de alterações microestruturais, na performance envolvendo altas temperaturas.

Os resultados mostram que os revestimentos obtidos pela utilização do PTA no desenvolvimento de ligas NbAl são muito promissores e que estudos no sentido de otimizar estes depósitos são bastante viáveis.

6. AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem pelo financiamento recebido da Agência Nacional do Petróleo (ANP) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) através do Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH-24). Agradecimentos também a toda equipe do Laboratório de Engenharia de Superfícies (LaMaTS) da Universidade Federal do Paraná, em especial à Eng. Verônica Buss Almeida pela realização dos ensaios por difração de raio-X e ao Sr. Sérgio Medeiros dos Santos (Robert Bosch) pela realização dos ensaios de microscopia eletrônica de varredura.

7. REFERÊNCIAS

- http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10037; 05.2007
<http://www.abraco.org.br/corros19.htm> em 08.03.07
http://www.cbmm.com.br/portug/sources/niobium/f_niobi.htm, 09.01.07
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ni%C3%B3bio>, data 20.09.06
ALMEIDA V., D'OLIVEIRA A. S. C. M.; Ni/Al intermetallics Plasma Transferred Arc processing. In: Transactions of Materials and Heat Treatment, China, v. 25, n. 5, p. 948-951, 2004.
AOH, J., JENG, Y, E WU, L. On the wear behaviour of surface clad layers under high temperature, Wear, p225-229, 1999.
BALIGIDAD R.G. Effect of Niobium on Microstructure and Mechanical Properties of High Carbon Fe-10,5%Al alloys, **Material Science and Engineering A**368, p. 131-138, 2004.
CHAN K. Alloying effects on Fracture Mechanisms in Nb-based intermetallic in-situ composites. **Materials Science and Engineering A**329-331, p.513-522, 2002.
D'OLIVEIRA A. S. C. M., VILAR R., GROWOSKI C. F. High Temperature behaviour of plasma transferred arc and laser Co based alloys coatings. **Applied Surface Science**, vol.201, p.154-160, 2002.
D'OLIVEIRA A. S. C. M.; CHIQUITO P. R.; MICCOLI, W. R. Iron-Niobium Intermetallics Processing by Plasma Transferred Arc. **Advanced Engineering Materials**, v. 8, n. 7, p. 1-10, 2006.
DEUIS R.L., YELLUP J.M., SUBRAMANIAN C. Metal-matrix composite coatings by PTA surfacing. **Composites Science and Technology**, vol58, p.299-309, 1998.
DÓLLAR A., DYMEC S. Microstructure and high temperature mechanical properties of Mechanically alloyed Nb3Al based Materials. **Intermetallics** 11, p. 341-349, Dezembro 2002.
DU Y., CHANG Y.A., GONG W., HUANG B., XU H., JIN Z., ZHANG F., CHEN S. Thermodynamic properties of the Al-Nb-Ni System, **Intermetallics** 11, p. 995-1013, Maio 2003.
GRAF K.; D'OLIVEIRA A. S. C. M. Influence of Carbon On Fe/Nb/Al Coatings. In: 15th Conference of the International Federation on heat treatment and surface engineering, **15th IFHTSE Conference**, Viena. v. CD-Rom. p. 1-10, 2006.
KUWABARA E. Y., GRAF K., D'OLIVEIRA A. S. C. M. Revestimentos de Ni reforçados por WC depositados por PTA. In: II Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, **COBEF 2003**, Uberlândia/MG, 2003.
LEE K.M., LEE J.S., LEE D.J., KIM S.S., AHN I.S., PARK M.W. Effect of thermal treatment on the atomic ordering of mechanically alloyed Al₃Nb. **Journal of Alloys and Compounds** 313, p. 214 – 217, Agosto 2000.
LUGSCHEIDER E., OBERLANDER B. C. Surface Modification technologies V, Ed: TS Sudarshan e J. F. Braza, p.383, 1992.
RIOS C.T., MILENKOVIC S., GAMA S., CARAM R., Influence of the growth rate on the microstructure of a Nb-Al-Ni ternary eutectic, **Journal of Crystal Growth**, 237-239, p.90-94, 2002.
SILVÉRIO R. B., D'OLIVEIRA A. S. C. M.; PAREDES, R. S. C. Iron aluminide development using plasma transferred arc coating process. In: International Conference on Mechanical engineering, **COBEM 2003**, São Paulo. Proceedings of the 17th International Congress of Mechanical Engineering, 2003.
TAKANO E. H.; QUEIROZ D.; D'OLIVEIRA A.S.C.M. Avaliação dos Parâmetros de Processamento por PTA nas Superfície Processadas, In: 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, **4º COBEF 2007**, São

21-24 de Outubro de 2007

Pedro - SP, 2007.

TREVISAN E.A.O, ANDREOTTI F., CARAM R. Solidificação Direcional e Caracterização do Sistema Eutético $\text{AlNb}_2 - \text{Al}_3\text{Nb}$. In: 12º. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, p. 688-692, 1996.

YOO D.J., H-WANG S.M., LEE S.M. Phase Formation in Mechanically alloyed Nb Al powders. **Journal of Materials Science Letters** 19, p. 1327-1329, 2000.

PAPER TITLE

Abstract – Processing heavier crude oil demands conversion units the capability of withstand, among others, high temperatures in aggressive environments. Manufacturing features to meet specific structural and surface requirements allows performance optimization. Developing customized coatings is quite beyond recuperation/maintenance operations but allows the attendance of specific conditions that features are exposed. In this context, the aim of this work is the development of Nb based coatings in order to protect components of refining oil process. Plasma Transferred Arc (PTA) was selected due to the high quality of deposits like soundness, low distortion, homogeneity and high flexibility of coatings chemical compositions due to feeding material powder form. Therefore, distinct mechanical properties between surface and core features might be achieved. Due to PTA technical characteristics, it may be possible to develop high quality coatings for specific applications, tailoring. This work studied Nb/Al based alloys PTA deposited. Weldability of coatings obtained by depositing Nb Al powder mixtures of different Al contents, Nb10%Al, Nb20%Al, Nb40%Al e Nb60%Al (% weight) on low carbon steel AISI1020 were analyzed. Wetability of welded layers is very similar and it is independent of Al contents. Coatings were initially analyzed through their microhardness profiles that showed to decrease until 450HV as amounts of Al were increased. The higher Al contents coatings exhibited higher microhardness, 825HV. Cross section microhardness profiles showed coatings homogeneity. Regarding their microstructure, coatings were analyzed by optical and scanning electronic microscopy, X-ray analysis and semi-quantitative EDS chemical analyses, for better coating behavior comprehension.

Key-words: *Nb/Al, PTA, Coatings, Temperature*

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.