

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE REVESTIMENTOS DUROS SOLDADOS UTILIZANDO O PROCESSO GMAW DUPLO ARAME ENERGIZADOS

Iara Maria Barros de Deus, iaragim@hotmail.com¹

Rafaela Patrícia Mendes de Araújo, engrafaelaifpi@outlook.com¹

Ayrton de Sá Brandim, brandim@ifpi.edu.br¹

Valtair Antonio Ferraresi, valtairf@mecanica.ufu.br²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Praça da Liberdade nº 1957, Centro, Teresina-PI, Brasil, CEP 64000-040.

² Universidade Federal de Uberlândia, UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Caixa Postal 593, CEP 38400-902, Uberlândia, MG.

Resumo: A aplicação de revestimentos duros por meio de depósitos soldados tem sido utilizada em larga escala nas indústrias siderúrgicas, nos setores de mineração, sucroalcooleira, indústria naval etc., visando aumentar a durabilidade e o desempenho dos componentes de máquinas e equipamentos, os quais estão sujeitos à corrosão, a perda de metal por mecanismo de desgaste e/ou corrosão. Atualmente, para otimização do procedimento de deposição e atenuação dos custos utiliza-se a deposição com arames múltiplos energizados. Assim, para a seleção desses consumíveis os parâmetros que influenciam na soldabilidade são: a composição das ligas dos revestimentos, o diâmetro desses eletrodos e o ângulo de incidência na poça de fusão, além dos parâmetros convencionais, Corrente, Tensão, Velocidade de soldagem que são significativos na obtenção da microestrutura final do revestimento e, por consequência, sua resistência à abrasão e a determinação da eficiência do processo de proteção e recuperação dos componentes mecânicos, porém nos trabalhos analisados pouca importância tem sido dada ao estudo da microestrutura final. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a microestrutura do revestimento duro, obtido pelo processo de soldagem GMAW duplo arame. Foram utilizados três tipos de consumíveis (FeCrC, FeCrC +Nb e FeCrC +Ti), e um arame maciço de aço inoxidável do tipo ER308L. Os revestimentos foram depositados sobre uma chapa de aço carbono. A caracterização microestrutural dos revestimentos foi realizada através da Microscopia Eletrônica de Varredura (M.E.V). Foram confirmados pela M.E.V. que os carbeto são Complexos de Cromo, Nióbio e Titânio. Os resultados obtidos mostram que as ligas de FeCrC com adição de Nióbio e FeCrC apresentaram a dureza superior as ligas de FeCrC com adição de Titânio, devido a composição final da microestrutura do revestimento.

Palavras-Chave: Soldagem GMAW; Revestimento Duro; Microestrutura; Carbeto.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a necessidade de aperfeiçoamento de técnicas de soldagem para aplicação na fabricação e manutenção de máquinas e equipamentos das indústrias tem sido cada vez mais evidente, visando garantir a produtividade e economia com manutenções. Dentre as novas técnicas no processo de soldagem, a MIG/MAG duplo arame energizado tem demonstrado uma alternativa para as indústrias que utilizam do processo de soldagem para aplicação de revestimento, devido sua elevada produtividade e boa estabilidade. Segundo Pessoa (2014), O MIG/MAG com duplo arame, uma variação do MIG/MAG com um arame, diferencia-se basicamente por empregar dois eletrodos consumíveis que se fundem sobre uma única poça fundida, sendo capaz de intensificar características como elevar a taxa de deposição de material, proporcionando maior velocidade de deslocamento à soldagem. A elevada taxa de deposição aumenta o potencial na aplicação de revestimentos, contribuindo para redução de tempos de parada e aumento da produtividade.

A aplicação de revestimentos duros com diferentes composições químicas tem sido uma alternativa para aumentar a resistência ao desgaste abrasivo e a corrosão. As ligas de Fe-Cr-C são particularmente atrativas por causa do poder de formar carbetos com grandes variedades de microconstituintes, os quais proporciona elevada resistência abrasiva (Buchely *et al.*, 2005). Elementos de ligas como Ti, V, Nb e Cr têm sido muito utilizados, principalmente nos revestimentos a base de ferro e cromo devido a sua maior disposição de formação de carbetos complexos que elevam a dureza e aumentam a resistência ao desgaste. Segundo Garcia *et al.* (2015) com estas adições consegue-se inserir também na matriz novos carbetos do tipo MC (NbC, TiC, VC, ZrC e WC) com durezas superiores ou iguais à dureza do carbetos de cromo, melhorando ainda mais a resistência ao desgaste abrasivo. Lima e Ferraresi (2009) afirmam que a microestrutura, o tipo, o tamanho e a distribuição dos carbetos na matriz, influenciam no desempenho do revestimento quanto a resistência ao desgaste. Para melhor compreensão da influência da microestrutura nas propriedades mecânicas, tem-se a necessidade da caracterização das soldas para verificar o quanto essa influência é preponderante nos resultados de resistência ao desgaste. Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar a microestrutura de revestimentos duros na eficiência da resistência ao desgaste abrasivo, soldados via processo MIG/MAG duplo arame energizado, em 12 (doze) condições diferentes, utilizando consumíveis de ferro-ligas aplicadas com material de deposição para formação de cordões de soldas de revestimentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As soldas recebidas para serem analisadas foram soldadas utilizando duas fontes MTE DIGITEC 600, trabalhando em paralelo e conectadas eletronicamente através de cabos, no modo de tensão constante. Para a deposição dos revestimentos foram utilizadas chapas de aço ao carbono ABNT 1020 com dimensões de 12,5 x 60 x 300 mm. As soldas de revestimentos foram realizadas utilizando 03 (três) consumíveis de liga FeCrC, sendo um arame eletrodo de diâmetro de 1,2 mm e um arame maciço de aço inoxidável ER308L 1,2 mm para amanteigamento, os arames eletrodos da liga FeCrC diferem entre si pelos teores de Fe, Cr, C, Mn e Si, além da adição de Nb em uma liga e da adição de Ti, Mo e V em outra. Doravante os consumíveis serão identificados, respectivamente, de FeCrC (HC), FeCrC +Nb (CN), FeCrC+Ti (TIC) e ER308L (AM). A Tabela 1 apresenta a composição química dos arames, cujos dados foram obtidos do fabricante e a dureza a ser obtida pelo metal de solda após a soldagem de três camadas. A Tabela 2 apresenta a composição química do amanteigamento, dados obtidos do fabricante.

Tabela 1. Composição química dos arames utilizados fornecida pelos fabricantes

Consumíveis	% em peso								Dureza (HRc)
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Nb	Ti	V	
FeCrC (HC)	5	1,5	1,5	27	-	-	-	-	-
FeCrC + Nb (CN)	5	0,5	1	22	-	7	-	-	63 HRc
FeCrC + Ti(TIC)	1,8	1,2	0,7	6,5	0,8	-	5	0,2	57 HRc

Tabela 2. Composição química do amanteigamento

Consumível (Amanteigamento)	Tipo	(%) em peso								
		C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	P	S	Cu
ER 308L (AM)	Aço Inox	0,03	1-2,5	0,30-0,65	19,5-22	0,75	9-11	0,03	0,03	0,75

As condições de soldagem fixadas foram: a tensão, velocidade de soldagem (V_{sold}), velocidade de alimentação (V_{alim}) dos arames eletrodos e a DBCP (Distância Bico de Contato Peça). Para a proteção da poça de fusão foi utilizado Argônio 98% + 2%O₂, com uma vazão ajustada em 30 litros por minutos. Ocorreram variações da corrente média I_m (1) e I_m (2), fato este devido à composição química dos arames serem diferentes. Na Tabela 3 o (1) é o arame da frente e o (2) é o arame que fica atrás. A Tabela 3, também apresenta os parâmetros de soldagem utilizados e as condições de soldagem, segundo Silva (2014). Após a soldagem, os revestimentos foram escovados a fim de remover as sujeiras, para a preparação metalográfica da superfície e realização de ensaios de dureza e microdureza.

Para análise microestrutural foram extraídas amostras dos revestimentos de cada consumível, as quais foram embutidas em resina de cura a frio e lixadas com grana 220, 360, 400, 600 e 1200, sob fluxo de água. Em seguida foi dado o polimento com alumina, de granulometrias 1 μ m e 0,3 μ m. Posteriormente foram atacadas com reagente constituído de NaS₂O₅ misturada com a solução de Picral 4% na proporção 1:1, por 30 segundos e realizadas as análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a microanálise feita por espectroscopia de energia dispersiva de

elétrons (EDS). Para a medição de dureza Rockwell C, foi utilizado um durômetro com uma carga de 150 kg. Realizou-se uma análise sistemática nas amostras acerca da microdureza Vickers, para tanto, utilizou-se de um microdurômetro com uma carga de 500 g, tempo de aplicação de 15 s.

Tabela 3. Parâmetros de soldagem

ENSAIO	CONDIÇÃO	V_{sold} (mm/s)	V_{alim} (m/min)	I_m (1) (A)	I_m (2) (A)	TENSÃO (V)	DBCP (mm)
1	HC(1)-TIC(2)	12	12	393,2	340,5	32	25
2	HC(1)-CN(2)	12	12	340,5	363,6	32	25
3	TIC(1)-CN (2)	12	12	330,2	355,9	32	25
4	HC(1)-HC(2)	12	12	353,8	350,2	32	25
5	TIC(1)-TIC(2)	12	12	329,6	345,0	32	25
6	CN(1)-CN(2)	12	12	375,0	373,6	32	25
7	HC(1)-TIC(2)-AM	12	12	344,7	316,2	32	25
8	HC(1)-CN(2)-AM	12	12	357,3	364,7	32	25
9	TIC(1)-CN(2)-AM	12	12	347,1	372,8	32	25
10	HC(1) -HC (2)-AM	12	12	352,0	349,0	32	25
11	TIC(1)-TIC(2)-AM	12	12	333,5	347,1	32	25
12	CN(1)-CN(2)-AM	12	12	372,8	370,5	32	25

Onde: V_{sold} : Velocidade de soldagem; V_{alim} : Velocidade de alimentação; I_m (1): corrente média do arame da frente; I_m (2): corrente média do arame que fica atrás; DBCP: Distância do bico de contato a peça.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1(a) apresenta a microestrutura obtida com o arame FeCrC + Nb(CN CN) por microscopia eletrônica de varredura, após ataque com composto de Le Pera, onde os revestimentos apresentaram uma matriz eutética com carbeto complexo constituídos de Cr e Nb dispersamente distribuídos na matriz. A comprovação desses carbeto foi feita pela microanálise por espectroscopia de energia dispersiva dos elétrons (EDS), conforme mostra a Fig. 1(b). Nessa Figura 1(b), observa-se que os picos são referentes aos elementos de liga que constituem os complexos carbeto.

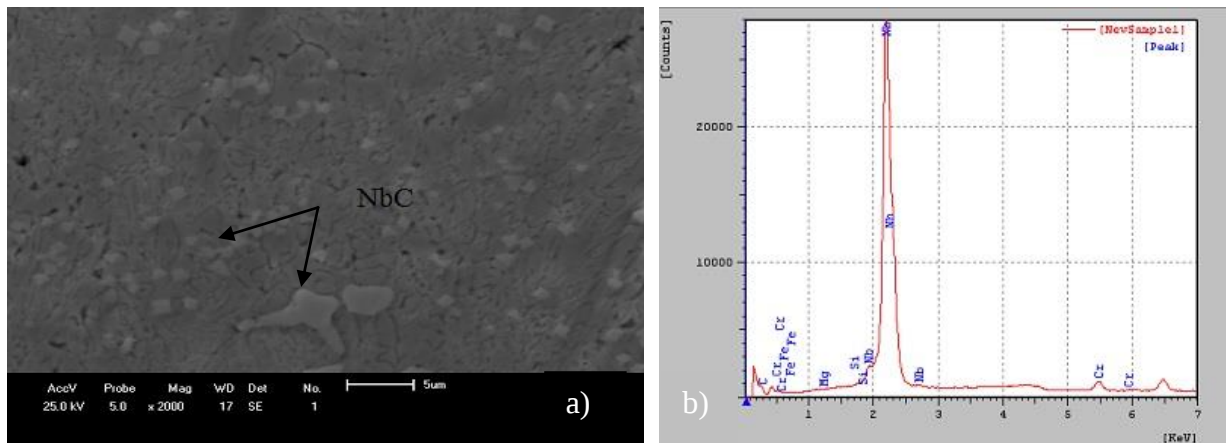


Figura 1. Micrografia via MEV do revestimento obtido da liga FeCrC+ Nb(CN CN), ataque Le Pera (a) e microanálise realizada sobre os Carbeto Complexos de Níbio(b).

O Nb e o Ti vêm sendo usados por serem os mais efetivos formadores de elementos de carbonitretos, produzindo precipitação de elevada dureza. Essas partículas duras se distribuem de forma regular na matriz e possuem elevada dureza e ponto de fusão, a qual fortalece a resistência mecânica e, conseqüentemente, melhora a resistência ao desgaste (Yang *et al.*, 2008). A microestrutura do revestimento FeCrC + Ti e FeCrC + Nb(TiC CN) está representada na Fig. 2(a), e a microanálise sobre os carbeto na Fig.2(b). Nessa microestrutura, constata-se a participação efetiva tanto do Nb, quanto do Ti na formação dos carbeto primários TiC e NbC distribuídos pela matriz eutética com dureza média de (48,08HRC).

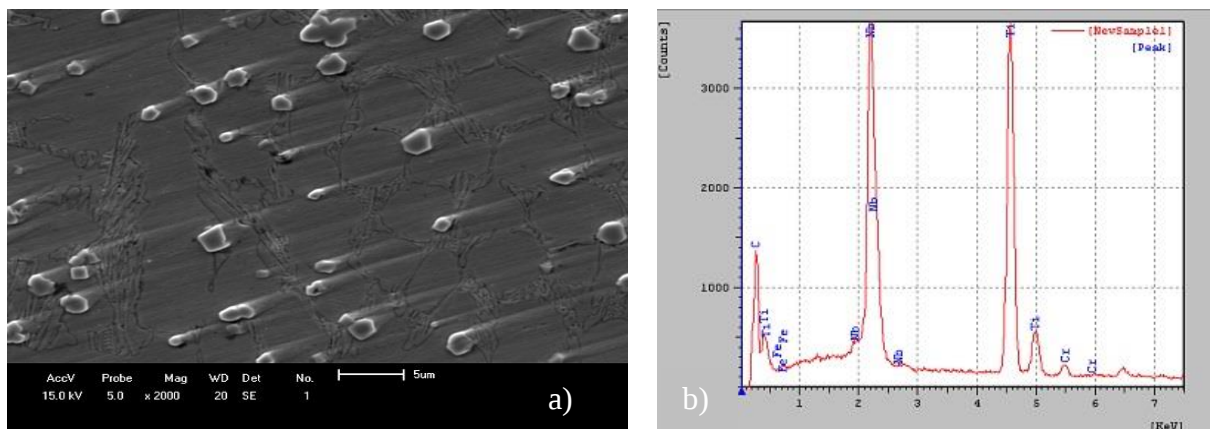


Figura 2. Micrografia via MEV do revestimento obtido da Liga FeCrC+Ti e FeCrC +N apresentando matriz eutética com carbeto de Cr, Ti e Nb dispersamente distribuídos pela matriz, ataque Le Pera (a) e microanálise realizada sobre os Carbeto Complexos (b).

O revestimento FeCrC (HC HC) e o FeCrC com amantecimento (HC HC AM) apresentaram uma microestrutura de matriz eutética devido ao alto teor de carbono, com a distribuição de carbeto de cromo do tipo M_7C_3 , como mostra a Fig.3(a) e sua microanálise dos carbeto na Fig. 3(b).

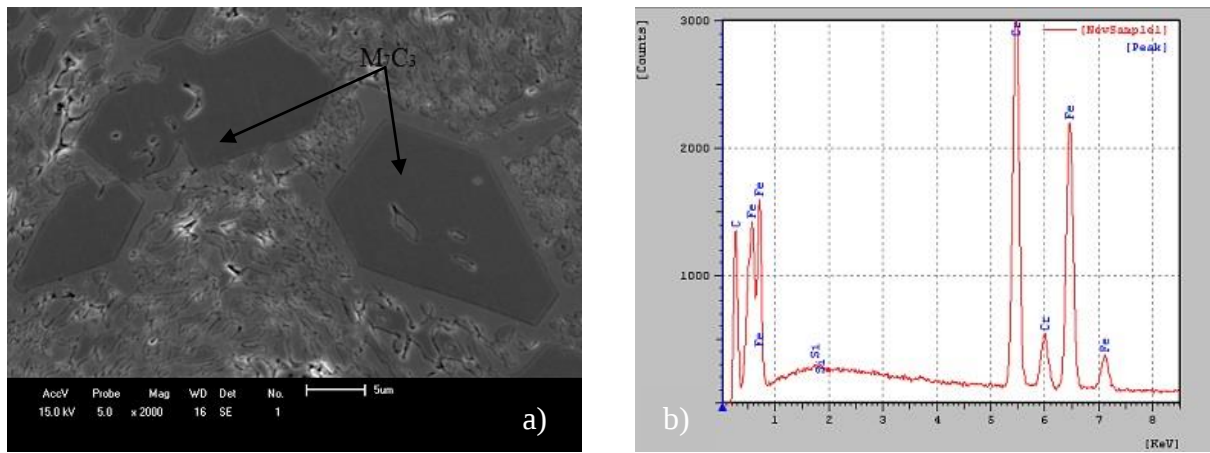


Figura 3. Micrografia do revestimento obtido da Liga FeCrC (HC HC) apresentando matriz eutética com carbeto de Cr do tipo M_7C_3 dispersamente distribuídos pela matriz, ataque Le Pera (a) e microanálise realizada nos carbeto (b).

A Figura 4(a) apresenta a microestrutura do revestimento FeCrC+Ti (TIC TIC) e a Fig. 4(b) a microanálise via EDS, onde observa-se em todo volume do depósito uma matriz dendrítica, com os carbeto distribuídos pela matriz, apresentando como principal elemento de liga formador de carbeto o Titânio.

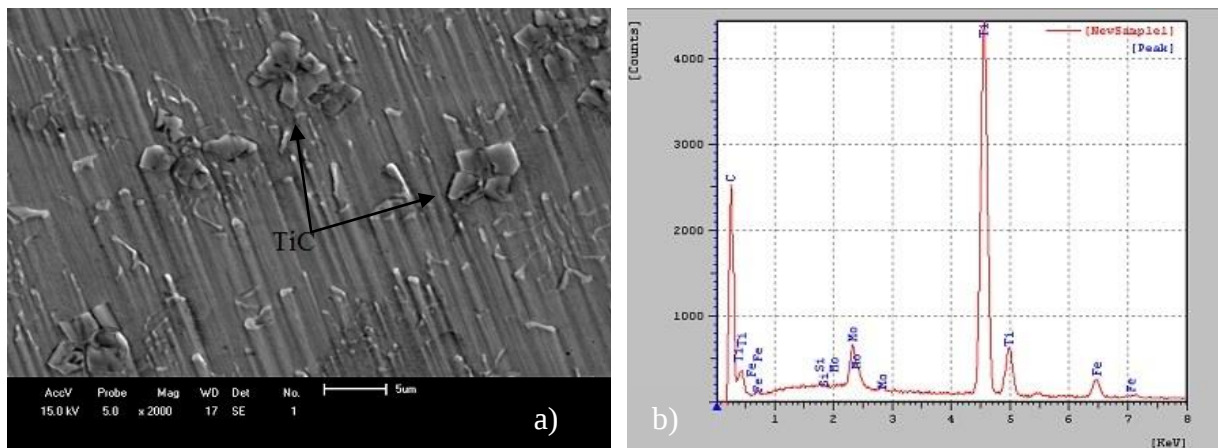


Figura 4. Micrografia via MEV da liga FeCrC+Ti (TIC TIC) dispersamente distribuídos pela matriz, ataque Le Pera (a) e microanálise realizada nos carbeto de Titânio (b).

A Figura 5(a) apresenta microestrutura do revestimento obtido da combinação das ligas FeCrC e FeCrC +Ti (HC TIC) e a Fig. 5(b) a amplificação da Fig. 5(a) destacando as dendritas, o eutético e a geometria dos carbeto de Titânio finamente distribuídos pela matriz.

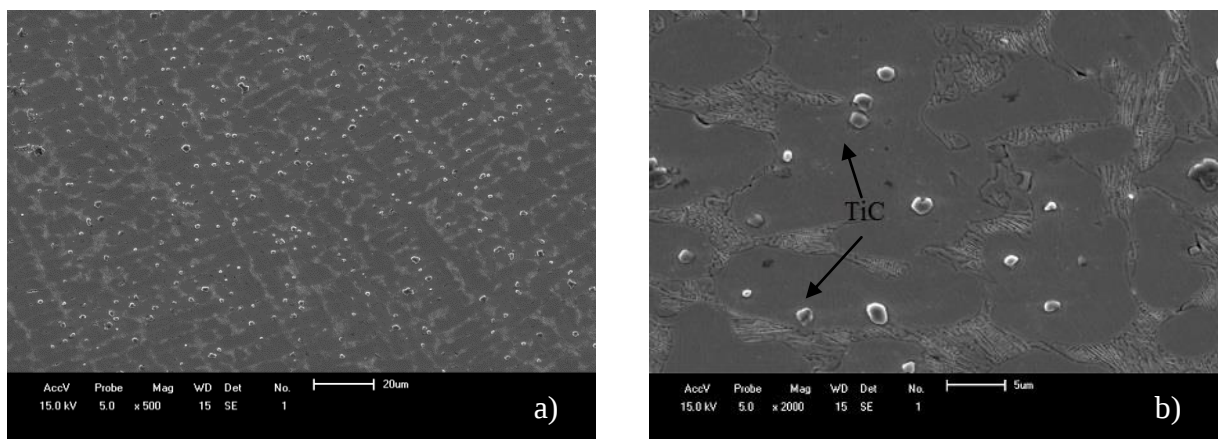


Figura 5. Micrografia via MEV do revestimento obtido por meio da combinação das ligas FeCrC+Ti (HC TIC), ataque Le Pera (a) e amplificação da Fig. 5(a), para destacar as dendritas, o eutético e a geometria irregular dos

carbeto obtidos (b).

A microestrutura apresentada na Fig. 6(a) corresponde ao revestimento da liga FeCrC+Nb(HC CN), pode-se observar a presença de carbeto do tipo M_7C_3 , apresentando formatos hexagonais prismáticos e de carbeto de tipo NbC (1 a 3 μm) distribuídos aleatoriamente na matriz com formatos semelhantes a geometrias hexagonais e quadradas. As ligas de FeCrC+Nb apresentam o mesmo tipo de microestrutura das ligas contendo apenas FeCrC, ou seja, dendritas com carbeto M_7C_3 massivos, e carbeto NbC na forma primária e secundária. As Figuras 6(c) e 6(d) mostram a microanálise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) demonstrando evidências que as regiões em alto relevo – P_1 em (b) – são carbeto de Nióbio que atingiu (42% em massa). Neste ponto P_2 o teor de cromo atingiu mais que 30% em massa, no ponto P_3 espaço interdendrítico a proporção de Ferro atingiu (52% em massa) e (30% massa) de Cromo.

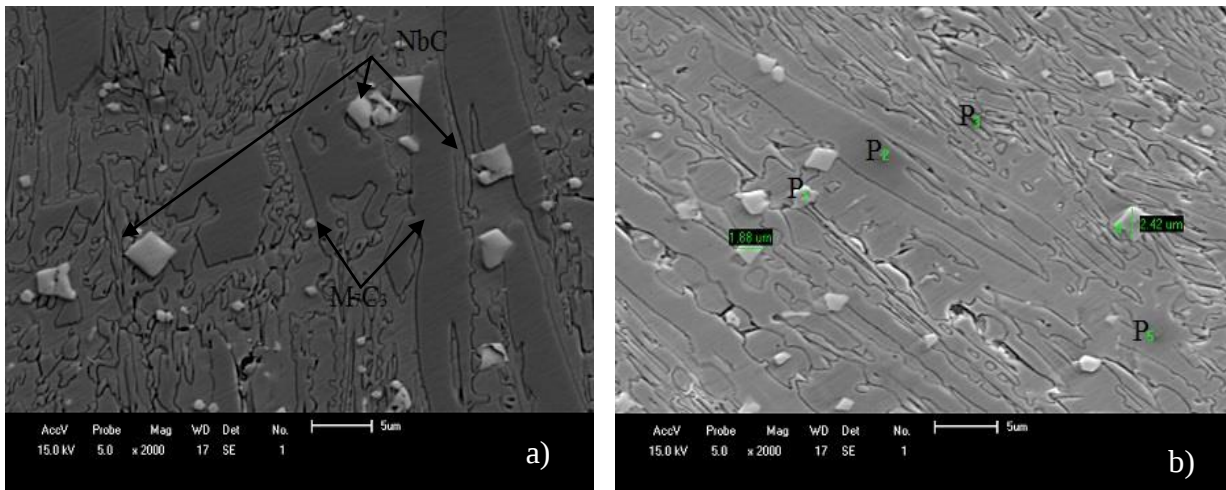
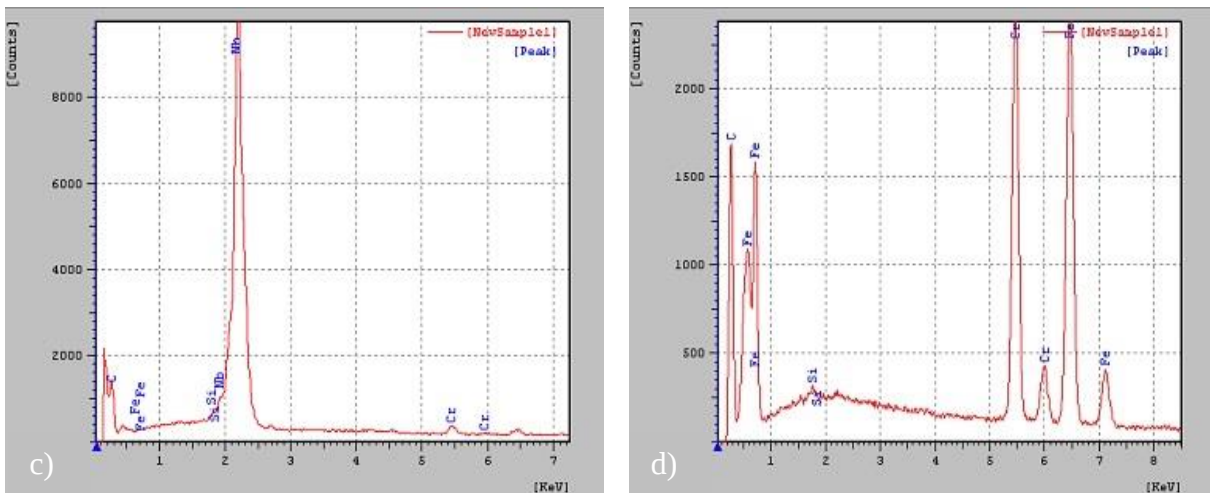


Figura 6. Micrografia via MEV do revestimento obtido por meio da combinação das liga FeCrC e FeCrC+Nb (HC CN), apresentando uma matriz dendrítica com eutético e os carbeto de M_7C_3 e NbC (a) e os pontos da microanálise por espectroscopia de energia dispersiva EDS (b).



(c) Microanálise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) do P1 e microanálise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) do P2 (d).

4. CONCLUSÕES

A caracterização microestrutural dos revestimentos duros FeCrC, FeCrC+Nb, FeCrC+Ti sem amanteigamento e com adição de amanteigamento produzidos pelo processo de soldagem por MIG/MAG duplo arame energizado proporcionaram as seguintes conclusões:

- Os ferro-ligas utilizadas formaram partículas de elevada dureza que se precipitaram na matriz eutética, essas partículas são denominadas de carbeto complexos confirmados pela análise química;

- A presença dos carbeto promoveu aumento na dureza média do metal de solda dos revestimentos analisados, o revestimento que obteve maior dureza foi a liga FeCrC+Nb (59 HRC) tendo sua microestrutura formada por carbeto de Cromo dos tipos M_7C_3 e de Níbio NbC em uma matriz eutética;
- A liga FeCrC (HC HC) apresentou carbeto complexos de Cromo do tipo M_7C_3 com formatos prismáticos hexagonais, possuindo uma dureza média de (55,72 HRC) em toda a sua matriz;
- O revestimento FeCrC +Ti com amantegamento (TIC TIC AM) apresentou carbeto TiC distribuído aleatoriamente em sua matriz eutética, tendo sua dureza média de (45 HRC) a menor de todos os revestimentos analisados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFPI pelos fomentos do ProAgrupar e bolsa PIBIC, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais pela disponibilidade dos equipamentos obtidos pela FINEP e ao CNPq pelo fomento de apoio a pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Buchely, M.F.; Gutierrez, J.C.; León, L.M., Toro, A., 2005. "The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys". Tribology International. Vol. 259, p.52-61.
- Garcia, D.B.C.; Souza, D.D.B.G.; Ferraresi, R. N.; Fernandes, D. B.; Vilarinho L. O, 2015. "Aplicação de revestimento duro com os processos FCAW e FCAW duplo arame". Disponível em: <http://www.cobef.com.br/anais/PDFS/COF-2015-0176.PDF>. Acesso em 16 fev 2016.
- Lima, A.C., Ferraresi, V.A. 2009, "Análise da Microestrutura e da Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro Utilizado pela Indústria Sucroalcooleira". Soldagem e Inspeção, São Paulo, v. 14, n. 2, pp. 140-150.
- Pessoa, E.F, 2014. "Soldagem de revestimento com ligas de níquel empregando o processo MIG/MAG com duplo arame para aplicações em componentes do setor de petróleo e gás natural". 214f. Tese de doutorado Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.
- Silva, H.R., 2014. "Aspectos Operacionais de Revestimentos Soldados: Desgaste Erosivo e Cavitação". 355f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil.
- Yang, K., Yu, S., Li, Y. and Li, C., 2008, "Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy", Applied Surface Science, 254, pp 5023-5027.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF WELDED HARD COATINGS USING THE ENERGIZED DOUBLE WIRE GMAW PROCESS

Iara Maria Barros de Deus, iaragim@hotmail.com¹

Rafaela Patrícia Mendes de Araújo, engrafaelaifpi@outlook.com¹

Ayrton de Sá Brandim, brandim@ifpi.edu.br¹

Valtair Antonio Ferraresi, valtairf@mecanica.ufu.br²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, Praça da Liberdade no 1957, Centro, Teresina-PI, Brasil, CEP 64000-040.

² Universidade Federal de Uberlândia, UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Caixa Postal 593, CEP 38400-902, Uberlândia, MG.

Abstract: The application of hard coatings through welded deposits has been used on large scale in the steel industry, in the mining, sugar and alcohol, shipbuilding industry sectors etc., aiming to increase the durability and performance of machinery and equipment components, which are subject to corrosion, the metal loss by wear mechanism and / or corrosion. Currently, for the optimization of the deposition process and costs mitigation the deposition with energized multiple wires is used. Thus, for the selection of these consumables the parameters that influence the weldability are: the composition of coatings alloys, the diameter of these electrodes and the angle of incidence in the weld pool, in addition to conventional parameters, current, voltage, welding speed which are significant in obtaining the final microstructure of the coating and consequently its resistance to abrasion and the determination of the protection process efficiency and recovery of mechanical components, but on the analyzed papers little importance has been given to the study of the final microstructure. Therefore, the objective of this study is to analyze the microstructure of the hard coating, obtained by the double wire GMAW welding process. Three types of consumables are used (FeCrC, FeCrC + Nb and Ti), and a massive wire of stainless steel type ER308L. The coatings were deposited on a

carbon steel plate. Microstructural characterization of coatings was performed by scanning electron microscopy (S.E.M). Were confirmed by S.E.M. that the carbides are chromium complexes, niobium and titanium. The results show that alloys of FeCrC with addition of niobium and FeCrC had higher hardness than the alloys of FeCrC added titanium due to the final composition of the coating microstructure.

Keywords: *GMAW welding; Hard coating; Microstructure; Carbides.*