

APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO DURO UTILIZANDO O PROCESSO FCAW COM ARAMES FeCrC E FeCrC+Nb

Primeiro Autor: Luis Gustavo Assunção Sousa

Segundo Autor: Felipe Souza da Silva

Instituição e endereço: Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí.

e-mails: xgustavo7x@gmail.com, felipe.camtuc@gmail.com.

Terceiro Autor: Danielly Silva Martins

Instituição e endereço: Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí.

e-mail: daniellymec@gmail.com

Quarto Autor: Douglas Neves Garcia

Instituição e endereço: Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí.

e-mail: dgarcia@ufpa.br

Resumo.

A aplicação de revestimentos com o objetivo de reduzir o desgaste e, consequentemente os custos de manutenção, busca o incremento da vida em serviço dos componentes e na redução das paradas programadas, além de colaborar para a recuperação de equipamentos inutilizável devido ao desgaste, aumentar a resistência e prover as superfícies susceptíveis ao desgaste de características e propriedades desejadas e, em geral, aumentar a eficiência do processo. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo metalúrgico sobre a soldagem com revestimento duro, depositados através do processo de soldagem FCAW, com arame tubular auto protegido. Utilizou-se dois tipos de consumíveis (FeCrC e FeCrC+Nb), de diâmetro 1,6 mm sobre chapa de aço SAE 1020. Foi realizada a análise microestrutural (microscopia ótica e MEV) para os depósitos da soldagem com diferentes valores de aporte térmico, além da composição química via EDS, e efeito da diluição na dureza do revestimento FeCrC+Nb. Os resultados revelaram que os metais que passam por um processo de soldagem dos revestimentos são formados por carbonetos M_7C_3 em uma matriz eutética, independente do arame eletrodo utilizado, porém o depósito FeCrC+Nb também apresenta os carbonetos NbC primário e secundário. O aumento da diluição levou a uma diminuição do tamanho dos carbonetos disperso na matriz eutética do depósito FeCrC+Nb, ocasionando a redução da dureza do revestimento.

Palavras chave: Microestrutura. EDS. Carbonetos.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno da abrasão está presente em vários setores industriais e ocorre sempre que há atrito entre dois materiais, causando desgastes nos mesmos, caracterizando-se pela perda de material. Colaço e Maranhão [1], afirmam que o desgaste abrasivo, gera como consequência a perda de massa, causando mudanças de dimensões e levando a falha dos componentes mecânicos. Para evitar ou recuperar peças afetadas por esse desgaste, a aplicação de revestimentos por meio da soldagem se torna fundamental. Isso está ligado ao custo de reposição das peças devido a onerosidade dos materiais e as paradas da produção [2-4].

Vários processos de soldagem são concorrentes para aplicação em revestimentos de superfícies, sendo que a utilização da soldagem com arame tubular (FCAW- flux cored arc welding) reúne vantagens metalúrgicas à alta produtividade, boa qualidade e baixo custo [3,5]. No entanto, este processo de soldagem apresenta uma gama considerável de fatores operacionais de influência sobre a qualidade e as propriedades do metal depositado na soldagem, dentre os quais destacam-se a corrente, a tensão e a velocidade de soldagem, fluxo e distância bico de contato peça.

Na soldagem de revestimento é importante controlar a geometria e a diluição dos cordões de solda depositados. Pois, cordões com alta convexidade poderão apresentar falta de fusão entre passes, e uma elevada penetração (maior diluição) irá influenciar na resistência ao desgaste, já que as ligas bifásicas são dependentes da fração volumétrica, tamanho, morfologia e dureza da segunda fase [2-5]. De acordo com Fratari et al. [6], o índice de convexidade (IC) tem valores aceitáveis de qualidade quando próximo de 30%. O IC é definido segundo a Equação 1.

$$IC = \frac{R}{L} * 100\% \quad (1)$$

Onde: R é o reforço e L é a largura do cordão solda.

Em relação a composição química dos consumíveis, realizaram-se diversos trabalhos com o intuito de avaliar a resistência ao desgaste de diferentes ligas de ferro com alto teor de cromo (FeCrC), utilizados na soldagem de revestimentos duros onde ocorre desgaste abrasivo, cuja composição pode ser ajustada de forma a produzir, na solidificação da poça de fusão, microestrutura rica em carbonetos de cromo em uma matriz austenítica ou eutética.

Para Lima *et. al.* (2014a) [3], o tipo de composição da liga, além do tratamento térmico recebido podem apresentar distintos tipos de carbonetos, como MC, M_6C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$ e Cr_2C_3 , onde M representa um ou mais tipos de átomos metálicos. Além disso, a adição de elementos metálicos formadores de carbonetos tais, como, Ti, Nb, V e W melhoram as propriedades de resistência ao desgaste devido a inserção na matriz de novos carbonetos do tipo MC (NbC, TiC, VC, ZrC e WC) com durezas superiores ou iguais à dureza dos carbonetos de cromo. Dessa maneira, esse trabalho teve como objetivo avaliar as características metalúrgicas dos depósitos com os fios de FeCrC e FeCrC+Nb, para diferentes valores de aporte térmico, e o efeito da diluição na dureza do revestimento FeCrC+Nb.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A soldagem pelo processo FCAW auto protegido foi automatizada e realizada com uma fonte eletrônica tensão constante, em simples deposição sobre chapas de aço carbono SAE 1020, medindo 150 x 50 x 10 mm. Os arames tubulares utilizados foram das ligas FeCrC+Nb e de FeCrC, diâmetro de 1,6 mm. As composições químicas dos metais de adição e os valores de dureza são apresentados na Tabela 1. As soldas foram depositadas na posição plana, empurrando com inclinação de 15°, e distância bico de contato peça (DBCP) de 35 mm para todas as condições experimentais estabelecidas. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de soldagem empregados.

Tabela 1. Composição química e dureza para os arames tubulares auto protegidos FeCrC e FeCrC+Nb, (Kestra 2012).

Consumíveis	Classificação DIN 8555	Porcentagem em peso (%)					Dureza após soldagem de três camadas
		C	Mn	Si	Cr	Nb	
FeCrC+Nb	DIN 8555 MF 10-GF-65-GRT	5,5	0,3	0,3	22	7,0	60 – 65 HCR
FeCrC	DIN 8555 MF 10-GF-65-GR	4,4	0,3	0,3	27	...	58 – 60 HCR

Tabela 2. Parâmetros de soldagem para os arames tubulares de FeCrC+Nb e FeCrC.

Corpos de Prova	Tensão (V)	Vel. Alimentação (m/min)	Vel. Soldagem (cm/min)	Im (A)	Aporte térmico (J/mm)	Diluição (%)
1	28,00	10,00	30,00	256	1146,9	19,6
2	28,00	10,00	50,00	287	771,5	29,9
3	32,00	14,00	30,00	332	1699,8	26,5
4	32,00	12,00	40,00	316	1213,4	36,1

Onde: A eficiência térmica usual do processo FCAW tem um valor de 0,8.

Após a soldagem os corpos de prova foram seccionados, em seguida essas superfícies foram lixadas até 1500 mesh e polidas utilizando alumina 1 μ m. Para revelar a microestrutura presente foi utilizado o reagente água régia (100 ml HCL + 3 ml de HNO₃).

As Figuras 1a e 1b ilustram os procedimentos utilizados para a medição das características geométricas dos depósitos de solda. Observa-se pela Figura 1.a que os cortes e medições foram realizadas em três pontos distintos ao longo do comprimento do cordão soldado, com a finalidade de se obter uma média das medições, e com o auxílio do software *ImageJ*. A Equação 2 foi utilizada para determinar os níveis de diluição.

$$D (\%) = \frac{Af}{Ar + Af} * 100\% \quad (2)$$

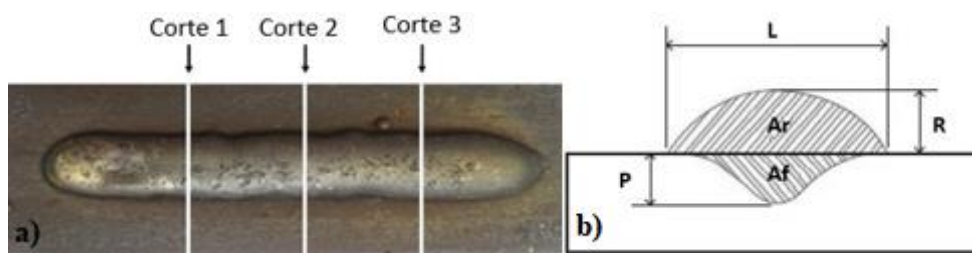


Figura 1. Cordão isolado, a) sequência dos cortes no corpo de prova e, b) representação esquemática da seção transversal do cordão.

Para a análise da dureza nos revestimentos FeCrC+Nb foi utilizado o método Rockwell C, com pré-carga inicial de 10 kgf e em seguida carga de 150 kgf, de acordo com a norma NBR NM 146-1 [8]. Para este ensaio, foram realizados 5 (cinco) medições, ao longo de cada cordão soldado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os resultados das características geométricas dos cordões soldados. Pode-se observar que a relação área do reforço/área fundida (Ar/Af) variou de 1,8 a 4,1, diluição entre 19,6% a 36,1%, enquanto a relação reforço/largura do cordão (R/L) variou de 25,7 a 37,1. O valor máximo da diluição deve ser controlado, a fim de garantir a resistência ao desgaste do depósito [2-5]. Já uma penetração (diluição) mínima precisa ser alcançada de modo a garantir uma desejada resistência ao arrancamento da camada de revestimento [9].

Os resultados apresentados na Tabela 3 revelam que não houve uma relação direta do aporte térmico com a diluição, já que o corpo de prova 3 com o maior aporte, 1699,8 J/mm, foi o que obteve a segunda menor diluição entre as amostras analisadas. Esse comportamento pode ser ocasionado pelo aumento do volume da poça de fusão com a elevação do aporte térmico, o que dificulta a conexão arco-peça levando ao sobreaquecimento da poça de fusão (menor rendimento de fusão).

Para Cavalcante *et. Al.* (2020) [10], devido ao grande número de fatores de influência do processo de soldagem sobre os cordões produzidos, uma alternativa é a aplicação das técnicas de otimização utilizando métodos estatísticos.

Tabela 3. Resultado das características geométricas.

Corpo de prova	Aporte térmico (J/m)	L	R	R/L	Ar	Af	Ar/Af	D
1	1146,9	11,6	4,30	37,1	45,8	11,1	4,1	19,6
2	771,5	10,1	3,4	33,6	28,3	12,1	2,3	29,9
3	1699,8	16,2	4,5	28,1	66,9	24,0	2,8	26,4
4	1213,4	15,3	3,9	25,7	43,7	24,7	1,8	36,1

Na Figura 2 pode se observar as microestruturas dos depósitos FeCrC+Nb para as condições com maior e menor diluição, Fig. 2a e 2b, respectivamente. As fotomicrografias revelam uma microestrutura com crescimento dendrítico, formada por dendritas de austenita em matriz eutética com carbonetos primários e secundários de NbC distribuídos uniformemente, além dos carbonetos do tipo M_7C_3 , como observado por Lima *et. Al.* (2014b) [3]. O aumento da diluição levou a uma redução da dispersão de precipitados na matriz eutética. A avaliação de composição química via EDS revelou que os precipitados são ricos em Nb, Fig. 3. Segundo Lima *et al.* (2014c) [3], o Nb tem maior afinidade pelo C, eles se combinam formando NbC e em seguida, o Nb remanescente no líquido serve de núcleo para a formação dos carbonetos M_7C_3 .

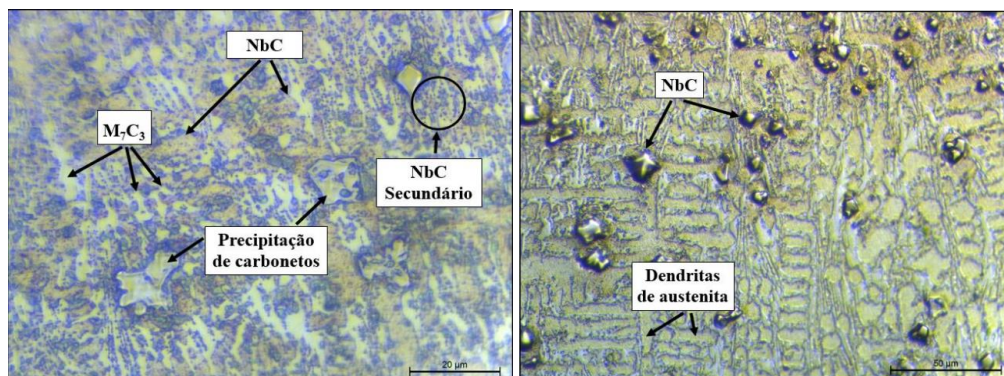


Figura 2. Microestrutura dos cordões depositados com o fio FeCrC+Nb, a) corpo de prova 1 com baixa diluição e, b) corpo de prova 4 com alta diluição.

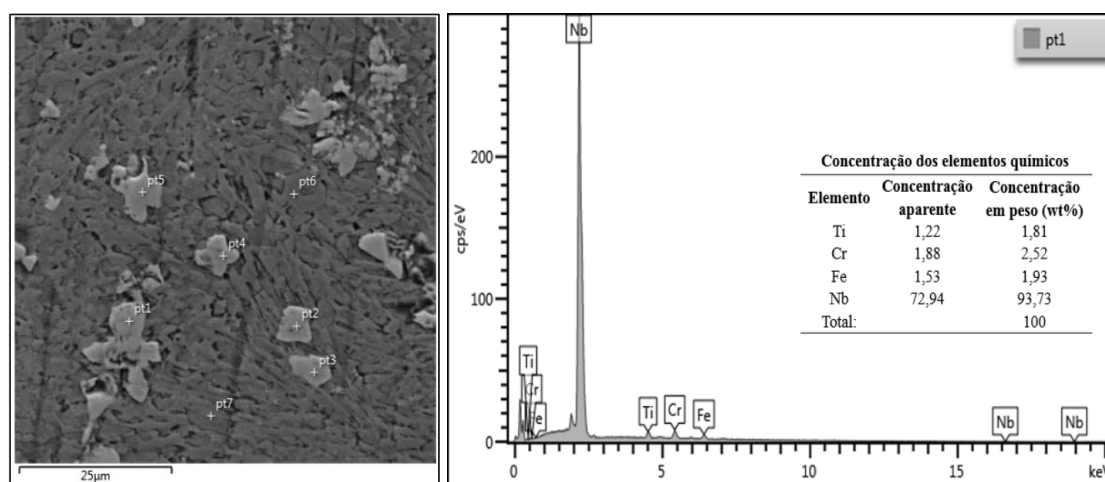


Figura 3. Microestrutura dos cordões depositados com o fio FeCrC+Nb, amostra 1, a) MEV e, b) Espectro de EDS do precipitado no ponto 1.

A microestrutura do revestimento FeCrC revelou também uma matriz eutética com precipitados dispersos. Entretanto, a presença de carbonetos M_7C_3 se dispôs nas formas prismáticas e lamelar para o depósito com baixa diluição, Fig. 4a, já o metal depositado na soldagem com alta diluição apresentou os carbonetos do tipo M_7C_3 com simetria hexagonal e lamelar na matriz eutética, Fig. 4b.

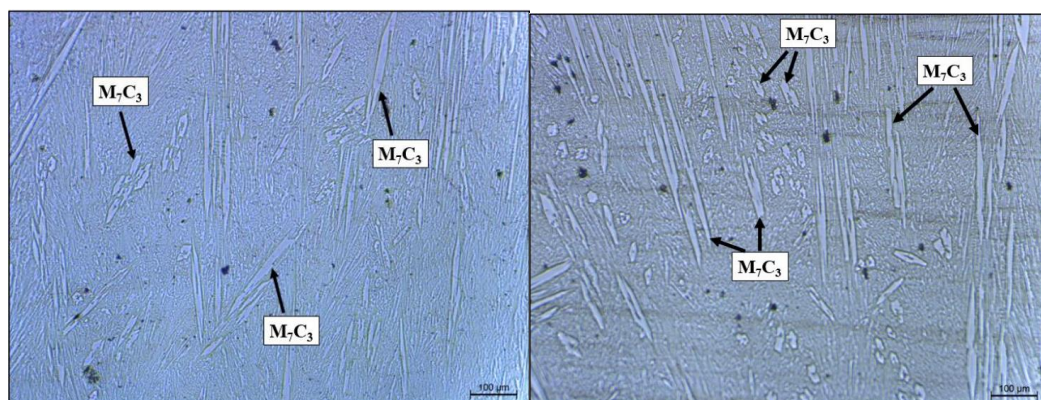


Figura 4. Microestrutura dos cordões depositados com o arame FeCrC, a) corpo de prova com baixa diluição e, b) corpo de prova com alta diluição.

Na Figura 5 pode se observar que o aporte térmico modificou consideravelmente a morfologia da microestrutura para os depósitos FeCrC, os carbonetos do metal soldado que foram depositados com alta energia apresentaram tamanhos menores quando comparados com os de baixa energia. Esse comportamento, está relacionado a uma maior taxa de

resfriamento para a condição com menor aporte térmico, influenciando na solidificação e crescimento dos carbonetos. A avaliação química dos depósitos do fio de FeCrC revelou que os carbonetos presentes na matriz eutética são ricos nos elementos Cr e Fe, Fig. 6.

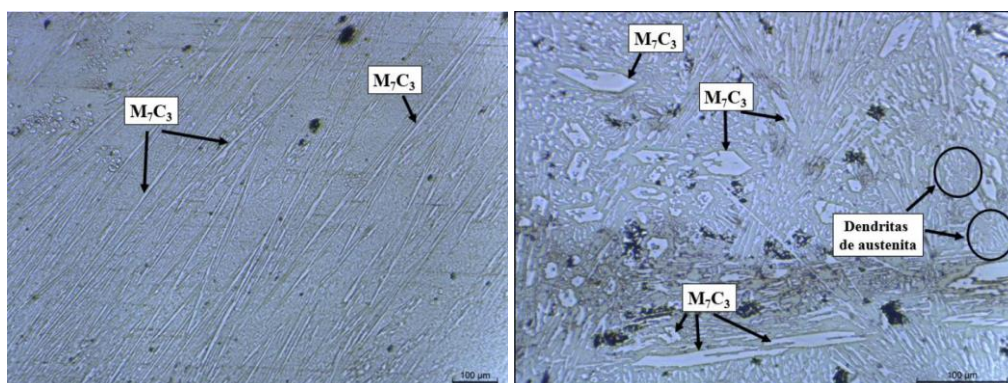


Figura 5. Microestrutura dos cordões depositados com o arame FeCrC, a) com menor aporte térmico e, b) com maior aporte térmico.

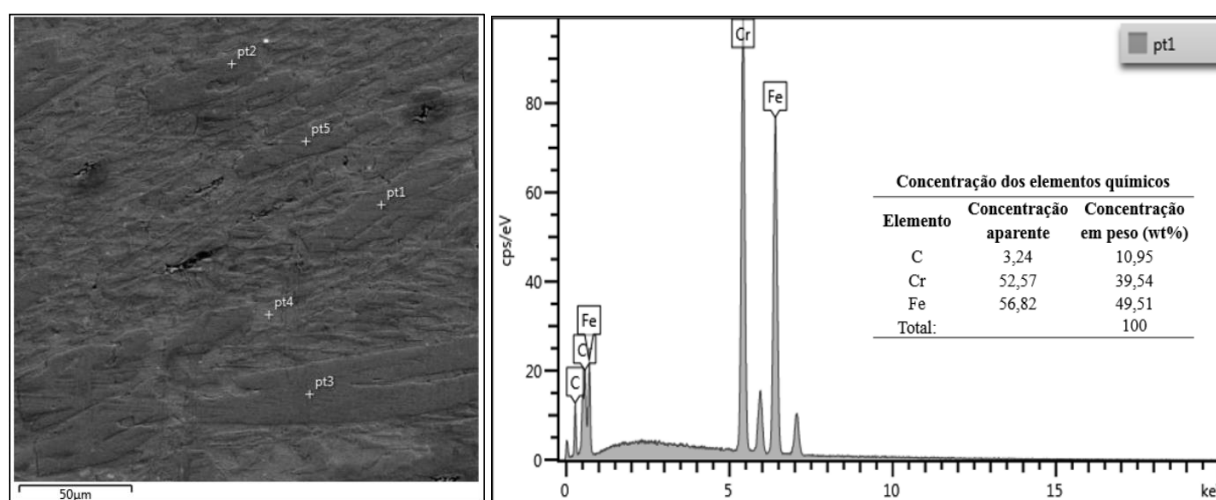


Figura 6. Microestrutura dos cordões soldados com o arame FeCrC, a) MEV e, b) Espectro de EDS do precipitado no ponto 1.

Os valores de dureza do metal soldado com a liga FeCrC+Nb são apresentados na Tabela 4. Essa propriedade mecânica foi afetada de forma mais significativa pela diluição, amostra 4, de maneira que o aumento da diluição levou a redução da dureza do metal de solda. Os resultados também revelam que a redução do tamanho dos carbonetos ocasionados pelo aumento da taxa de resfriamento, menor aporte térmico, amostra 2, levou a uma redução da dureza do revestimento. Segundo Souza e Ferraresi, (2017) [4], a presença dos carbonetos do tipo MC e M_7C_3 eleva a dureza do material, já Lima e Ferraresi [5], afirmam que o tamanho e a distribuição dos carbonetos na matriz podem afetar diretamente na resistência ao desgaste do depósito de revestimento.

Tabela 4. Valores da dureza para os cordões depositados com o fio FeCrC+Nb.

Valores de dureza [HRC] – Carga 150 kgf (indentador de diamante)							
Corpo de Prova	Testes					Média [HRC]	Desvio padrão
	1	2	3	4	5		
1	57	57,3	59	57,9	58,1	57,9	0,8
2	41,9	51,7	53,4	53,2	52,8	52,8	4,9
3	58	57,8	57,6	58,6	59	58	0,6
4	53,7	55,1	50	52,8	47,9	52,8	2,9

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais obtidos neste trabalho foi possível chegar as seguintes conclusões:

Os revestimentos realizados com as ligas FeCrC e FeCrC+Nb apresentaram uma microestrutura composta por carbonetos do tipo M_7C_3 distribuídos em uma matriz eutética austenítica, independentemente do valor de aporte térmico. Entretanto, o metal de solda da liga FeCrC+Nb também apresentou carbonetos de nióbio (NbC).

O aumento da diluição pode reduzir a dimensão e mudar a forma dos carbonetos dispersos na matriz eutética.

Comportamento similar é ocasionado pelo aumento da taxa de resfriamento, redução do aporte térmico.

A alteração microestrutural do revestimento ocasionada pelo aumento da diluição ou alteração do aporte térmico, pode ocasionar uma redução da dureza do revestimento, comprometendo a resistência ao desgaste.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Soldagem (GEPS) da Faculdade de Engenharia Mecânica, Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, pela infraestrutura laboratorial e suporte técnico.

6. REFERÊNCIAS

[1] Colaço, F. H. G.; Maranhão, O. Avaliação da perda de massa de revestimento duro depositado por soldagem com arame tubular de liga FeCrC-Ti. Soldag. Insp. São Paulo, Vol. 19, Nº 01, p. 10, Jan/Mar 2014.

[2] Scotti, A.; Rosa, L.A.A. Influence of oscillation parameters on crack formation in automatic Fe-B hardfacing. Journal of Materials Processing Technology. 1997;65(1-3):272-280.

[3] Lima, A.C.; Ferraresi, V.A. Reis RP. Performance analysis of weld hardfacings used in the sugar/alcohol industry. Journal of Materials Engineering and Performance. 2014;23(5):1823-1833.

[4] Souza, D.D.B.G.; Ferraresi, V.A. Aplicação de revestimento duro utilizando o processo FCAW duplo arame para diferentes tipos de consumíveis utilizados na indústria sucroalcooleira. Matéria. 2017;22(1).

[5] Lima, A.C.; Ferraresi, V.A. Análise da resistência ao desgaste de revestimento duro aplicado por soldagem em facas picadoras de cana-de-açúcar. Soldagem e Inspeção. 2010;25(02):94-102.

[6] Fratari, R.Q.; Schvartzman, M.M.A.M.; Scotti A. Otimização dos parâmetros de tecimento para confecção de amanteigamento em chapas de aço ao carbono pelo processo TIG com arame AWS ER309L. Soldagem e Inspeção. 2010;15(3):209-217.

[7] Kestra. Arames tubulares. São Paulo: Kestra Universal Soldas 2012. 16 p.

[8] Materiais Metálicos - Dureza Rockwell - Parte 1: Medição da dureza Rockwell (escalas A, B, C, D, E, F, G, H e K) e Rockwell superficial (escalas 15N, 30N, 45N, 15T, 30 T e 45 T). NORMA BRASILEIRA ABNT NBR NM 146-1:1998, [s. l.], 15 dez. 2018.

[9] Mota, C.A.M.; Nascimento, A.S.; Garcia, D.N.; Silva, D.A.S.; Teixeira, F.R.; Ferraresi, V.A. Revestimento de níquel depositado pela soldagem MIG e MIG com arame frio. Soldagem e Inspeção. 2017;21(4):483-496

[10] Cavalcante, H.S.; Neto, F.M.A.B.; Mota, C.A.M.; Garcia, D.N. Otimização de Parâmetros Operacionais do Processo de Soldagem FCAW para Aplicação em Revestimento Duro. Soldagem e Inspeção. 2020;25:1-10.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

HARD COATING APPLICATION USING THE FCAW PROCESS WITH FeCrC AND FeCrC + Nb WIRES

First Author's Name: Luis Gustavo Assunção Sousa

Second Author's Name: Felipe Souza da Silva

Institution and address: Federal University of Pará, Tucuruí Campus
e-mails: xgustavo7x@gmail.com, felipe.camtuc@gmail.com

Third Author's Name: Danielly Silva Martins

Institution and address: Federal University of Pará, Tucuruí Campus
e-mail: daniellymec@gmail.com

Fourth Author's Name: Douglas Neves Garcia

Institution and address: Federal University of Pará, Tucuruí Campus
e-mail: dgarcia@ufpa.br

Abstract. *The application of coatings with the objective of reducing wear and, consequently, maintenance costs, seeks to increase the service life of the components and to reduce programmed shutdowns, in addition to contributing to the recovery of unusable equipment due to wear, increasing the resistance and provide the surfaces susceptible to wear with desired characteristics and properties and, in general, increase the efficiency of the process. Thus, the objective of this work is to conduct a metallurgical study of hard coated deposits, deposited through the FCAW welding process, with self-protected tubular wire. Two types of consumables (FeCrC and FeCrC + Nb) were used, with a diameter of 1.6 mm on SAE 1020 steel plate. A microstructural analysis (optical microscopy and SEM) was performed for the weld deposits with different values of thermal input, in addition to the chemical composition via EDS, and the effect of dilution on the hardness of the FeCrC + Nb coating. The results revealed that the weld metals in the coatings are formed by M₇C₃ carbides in a eutectic matrix, independent of the electrode wire used, however the FeCrC + Nb deposit also has primary and secondary NbC carbides. The increase in dilution led to a decrease in the size of the carbides dispersed in the eutectic matrix of the FeCrC + Nb deposit, causing a reduction in the hardness of the coating.*

Keywords: Microstructure. EDS. Carbides.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.