



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO METALÚRGICO DOS REVESTIMENTOS DUROS PELO PROCESSO FCAW COM ARAMES FeCrC E FeCrC+Nb

Danielly Silva Martins, daniellymec@gmail.com¹
Jurandir Marcos Sá de Sousa, marcos.jurandir@yahoo.com.br¹
Jhovany do Nascimento Lopes, jhovany_jhow@hotmail.com¹
Matheus dos Santos Barbosa, eng.santos.matheus@gmail.com¹
Douglas Neves Garcia, dgarcia@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará

Resumo: A aplicação de revestimentos duro tem a finalidade de reduzir o desgaste e, consequentemente os custos de manutenção, além de buscar o incremento da vida em serviço dos componentes e na redução das paradas não programadas. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo metalúrgico dos depósitos de revestimento duro, depositados através do processo de soldagem FCAW, com arame tubular auto protegido. Foram utilizados dois tipos de consumíveis (FeCrC e FeCrC+Nb), de diâmetro 1,6 mm numa chapa de aço SAE 1020. Foi realizada a análise microestrutural (microscopia ótica e MEV), além da composição química, onde apresentaram carbonetos de NbC primário e secundário além de carbonetos do tipo M_7C_3 ambos numa matriz eutética faltou citar os resultados.

Palavras-chave: Desgaste, Revestimento Duro, FCAW, Microestrutura, Diluição.

1. INTRODUÇÃO

O desgaste de componentes e equipamentos industriais, agrícolas, bem como de inúmeros outros ramos de atividades, representa um grande fator de depreciação de capital e despesas com manutenção e reposição de componentes mecânicos. Aumentar o tempo de vida dos componentes mecânicos é de grande interesse na indústria, principalmente quando se fala em desgaste abrasivo, que tem como consequência a perda de massa, que provoca mudanças de dimensões e leva a falha dos componentes mecânicos (Colaço, 2014).

Uma alternativa a substituição da peça desgastada, é o emprego de revestimentos que prolongam sua vida útil, proporcionando uma redução de custo. É muito comum a aplicação de revestimentos duros, resistentes ao desgaste, em uma matriz dúctil de um metal menos nobre e consequentemente mais barato, obtendo assim, um componente com boa resistência ao desgaste por um menor custo. De acordo com Leite (2008), os processos de soldagem mais utilizados para a aplicação de revestimentos, são aqueles que aliam uma alta taxa de deposição de material.

Quanto à composição química dos consumíveis, diversos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de avaliar a resistência ao desgaste de diferentes ligas ferrosas com alto teor de cromo (FeCrC), utilizadas na soldagem dos revestimentos duros sujeitos ao desgaste, 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. Dependendo da composição desta liga e do tratamento térmico recebido, podem se 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 (Lima 2008).

1.1. Desgaste

Segundo Zum Gahr (1987), desgaste é a perda progressiva de substância das superfície de um corpo em decorrência do movimento relativo com a superfície”.

Sendo assim, de acordo com Leite (2008), o estudo dos fatores que favorecem o desgaste se faz necessário para prever a ocorrência dos mecanismos de desgaste. Os principais fatores desse fenômeno são: as variáveis metalúrgicas (composição química e microestrutura), variáveis do processo (pressão, velocidade, temperatura e acabamento superficial), além de outros fatores, como lubrificação e corrosão.

Para Leite (2008), os parâmetros mais importantes em aços sujeitos a desgaste abrasivo são os aspectos microestruturais, como tipo da matriz e fases dispersas, a dureza, a temperatura de trabalho e a quantidade de elementos intersticiais (% C e/ou % N presentes).

1.2. Soldagem de Revestimento

De acordo com Leite e Marques (2009), um método de combate ao desgaste, é a deposição de uma liga especial na superfície sujeita a esta deterioração formando um revestimento. Isto pode ser obtido pela aplicação de cordões de solda na superfície, ou pela aplicação de placas metálicas protetoras, revestidas com componentes resistentes ao desgaste, denominando-se revestimento duro. Seu controle e minimização dependem essencialmente da seleção de materiais e processos apropriados.

A soldagem de revestimento é o processo pelo qual uma camada de metal de adição é depositada sobre a superfície de outro material com o objetivo de obter propriedades ou dimensões desejadas (Gomes *et al.*, 2011). Os processos de soldagem mais utilizados para essa aplicação são aqueles que possuem como característica grande taxa de deposição e, se possível, menor diluição (Colaço, 2014).

Ao escolher uma liga para revestimento duro, deve-se considerar a sua soldabilidade, os custos e a compatibilidade metalúrgica. As ligas com alto FeCrC são particularmente atrativas, pois, estas podem formar uma grande variedade de microconstituintes, provendo uma aumento da resistência à abrasão (LIMA, 2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Cordões de Solda

Foi utilizada uma fonte de soldagem eletrônica multiprocesso modo de tensão constante. Os revestimentos foram fabricados utilizando dois tipos de arames eletrodos autoprotetidos: FeCrC+Nb e FeCrC, com 1,6 de diâmetro. A Tabela 1 apresenta a faixa de dureza a ser obtida pelo metal de solda na terceira camada, assim como, a composição típica dos arames.

Para avaliar o efeito da energia de soldagem e da diluição sobre os comportamentos metalúrgico e mecânico (dureza) do metal de solda para os diferentes tipos de eletrodos, os revestimentos foram depositados em camada única, com cordões de 100 mm de comprimento (quatro cordões para o revestimento) em chapas de aço SAE 1020 de 120 x 50,8 x 10 mm. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de soldagem utilizados.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem para os arames eletrodos FeCrC+Nb e FeCrC

Teste	Tensão (V)	Vel. Alimentação (m/min)	Vel. Soldagem (cm/min)	Im (A)	Energia Sold. (J/mm)	Diluição (%)
B. D.	28,00	10,00	30,00	256	1433,60	19,6
B. E.	28,00	10,00	50,00	287	964,32	29,9
A. E.	32,00	14,00	30,00	332	2124,80	26,5
A. D.	32,00	12,00	40,00	316	1516,80	36,1

Para a análise microestrutural dos depósitos foi necessário seccionar os corpos de prova por meio da cortadora metalográfica, em seguida, essas superfícies foram lixadas com lixas de 80 a 1500 mesh e polidas utilizando alumina de 1 μ m. Para revelar a microestrutura presente, foi utilizado o reagente água régia (100 ml HCL + 3 ml de HNO₃). Posteriormente, as amostras foram analisadas nos microscópios óptico e eletrônico de varredura.

O ensaio de dureza Rockwell C foi aplicado nos revestimento FeCrC+Nb, com pré-carga inicial de 10 kgf e, em seguida de 150 kgf, conforme a norma NBR NM 146-1. Foram realizados 5 indentações para cada amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Microestrutura do revestimento depositado com a Liga FeCrC+Nb

A Figura 1 apresenta os resultados da avaliação da microestrutura em função da diluição. A amostra com menor diluição apresentou uma microestrutura com crescimento dendrítico formada por dendritas de austenita em uma matriz eutética, Figura 1(a). A presença de carbonetos no centro do cordão é maior que na região de interface, houve também a presença de carbonetos precipitados, compostos principalmente por ferrita e carbonetos secundários do tipo M₇C₃. A amostra com alta diluição apresenta carbonetos de NbC abrigados em regiões pontuais, além de carbonetos do tipo M₇C₃ concentrados por toda a microestrutura dispersos em uma matriz eutética, Figura 1(b).

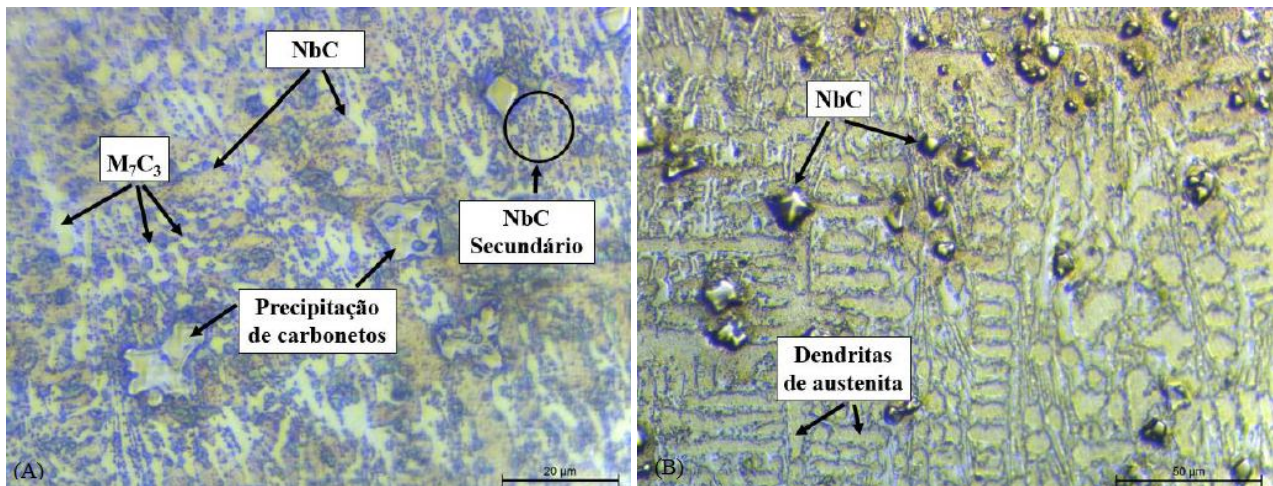


Figura 1. Microestrutura dos cordões de solda com arame FeCrC+Nb: (A) – baixa diluição; (B) – alta diluição

Para a amostra de baixa energia (964,32 J/mm) a microestrutura presente na Figura 2(A) exibe carbonetos primários e secundários de NbC distribuídos uniformemente, além de carbonetos do tipo M₇C₃. É possível perceber também que, esses carbonetos não possuem uma única direção, além da morfologia. Enquanto a Figura 2(B) ilustra a microestrutura para o depósito alta energia (2124,8 J/mm), nesta, é possível perceber os carbonetos de NbC localizados em regiões pontuais e, os carbonetos do tipo M₇C₃ dispersos de modo uniforme por toda a microestrutura. Tanto os carbonetos de NbC como os do tipo M₇C₃ não apresentam uma geometria específica.

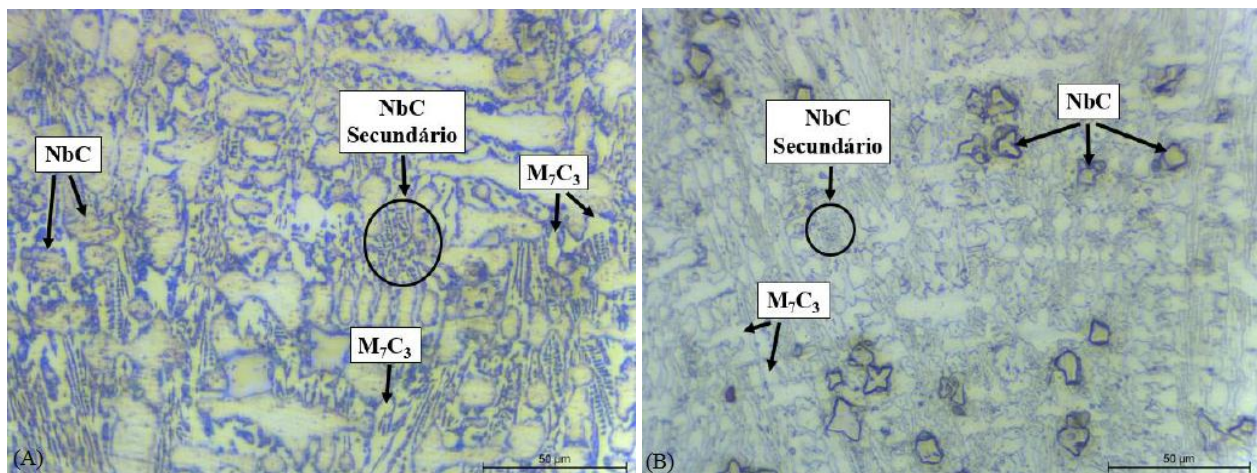


Figura 2. Microestrutura dos cordões de solda com arame FeCrC+Nb: (A) – baixa energia (964,32 J/mm); (B) – alta energia (2124,8 J/mm)

3.2. Microestrutura do revestimento depositado com a Liga FeCrC

Na micrografia para o cordão com baixa diluição (19,6%) da liga FeCrC, apresentada na Figura 3(A), a presença de carbonetos M₇C₃ se dispõem nas formas prismática e lamelar, com baixa diluição próximo a região do metal de base. Já no centro do cordão, houve pouca variação na presença dos carbonetos. Para o REVESTIMENTO com alta diluição (36,1%), mostrado na Figura 3(B), estão expostos os carbonetos do tipo M₇C₃ com simetria hexagonal e lamelar, tanto no centro do cordão, como também na região próxima ao metal de base, distribuídos uniformemente em uma matriz eutética. Além disso, é visível a presença de dendritas no centro do cordão.

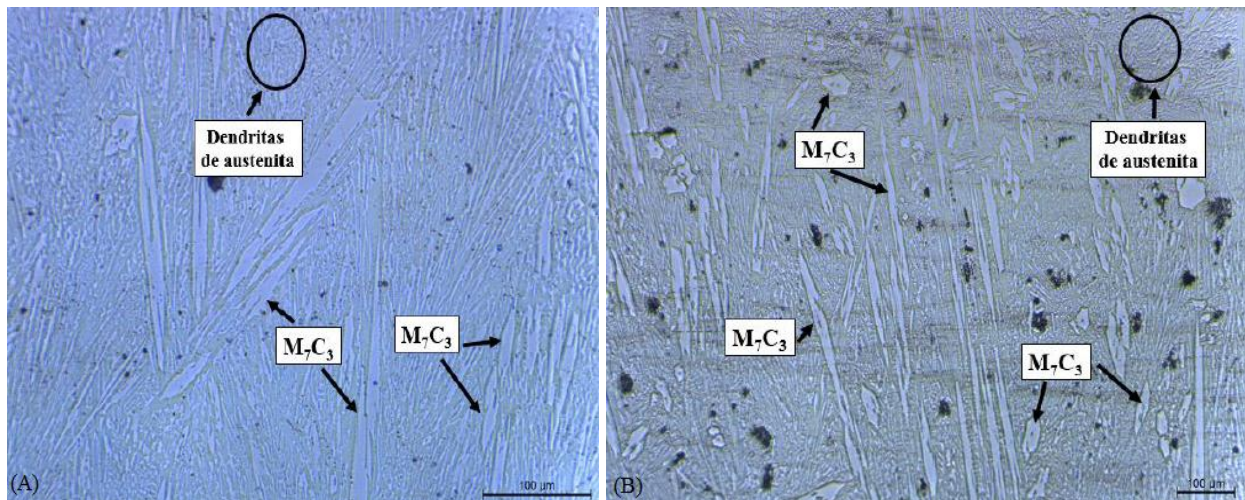


Figura 3. Microestruturas dos cordões de solda: (A) - B. D. (19,6%); (B) - A.D. (36,1%)

A Figura 4(A) ilustra a microestrutura para o cordão com baixa energia (964,32 J/mm), na qual é possível perceber a presença de carbonetos do tipo M_7C_3 , em forma de feixes finos, com a mesma orientação. Já para amostra com alta energia (2124,8 J/mm), apresentado na Figura 4(B), os carbonetos do tipo M_7C_3 se mostram na forma de lamelas e prismas, em grande concentração, dispersos na matriz eutética, além de algumas dendritas de austenita.

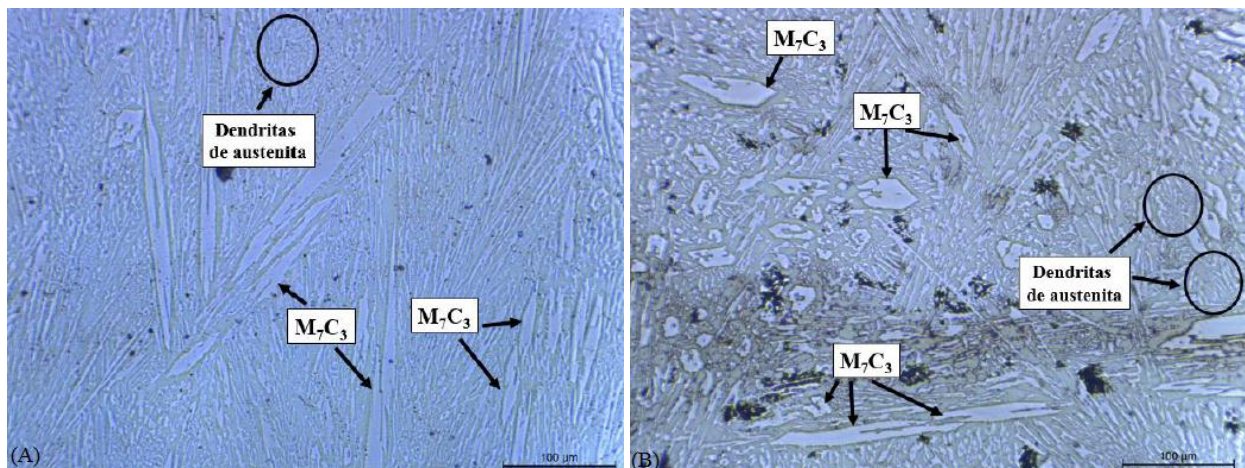


Figura 4. Microestrutura dos cordões de solda: (A) - B. E. (964,32 J/mm); (B) - A. E. (2124,8 J/mm)

Em suma, as microestruturas resultantes da soldagem com as ligas FeCrC+Nb e FeCrC, são similares as estudadas por Lima (2008) e Garcia (2011), que encontraram carbonetos primários e secundários de NbC na forma hexagonal e do tipo M_7C_3 sem geometria específica. Polido e Gallego (2006), observaram que esses carbonetos são os primeiros a precipitar na matriz eutética. Como afirmado por Bálsamo *et al.* (1995, apud Lima 2008), a energia de soldagem modificou consideravelmente a morfologia da microestrutura para os cordões de alta e baixa energia de soldagem, onde os carbonetos presentes nos revestimentos fabricados com alta energia, apresentaram-se em tamanhos menores, quando comparados com os de baixa energia, que possuem uma maior taxa de resfriamento, influenciando assim, a solidificação dos carbonetos.

3.3. Composição Química dos Revestimento

Para a realização da avaliação química presente na microestrutura foram analisados 7 pontos, sendo 5 desses nos carbonetos e 2 na matriz eutética como exposto na Figura 5. Pode-se dar destaque especial a 3 desses pontos.

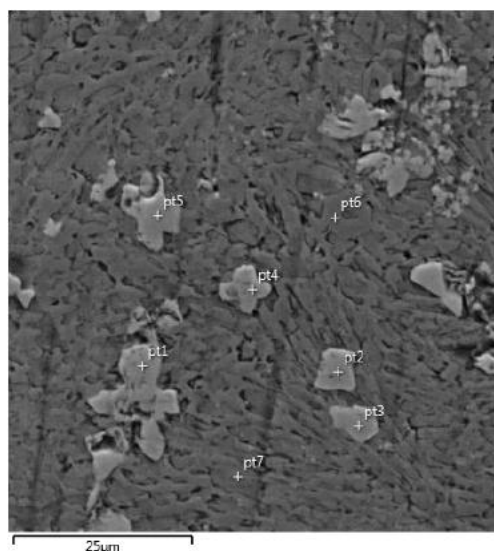


Figura 5. Pontos de análise química dos carbonetos de NbC e do tipo M_7C_3 do revestimento FeCrC+Nb

A Tabela 2 apresenta os elementos componentes dos pontos em destaque.

Tabela 2. Composição química dos pontos em destaque

Pontos	Composição Química			
	Cr	Fe	Nb	Ti
1	Cr	Fe	Nb	Ti
2	Cr	Fe	-	-
3	Cr	Fe	C	-

Como essa análise química foi realizada em um carboneto do tipo M_7C_3 da matriz eutética, a porcentagem de concentração dos elementos Cr e Fe foram bem mais elevadas do que a dos demais constituintes, com valores na ordem de 40 e 50 % respectivamente.

A composição química obtida nesta análise é similar a encontrada por Lima (2008) em seus estudos. O mesmo autor analisou a composição apenas para os carbonetos de NbC, diferente deste trabalho, que buscou também avaliar a composição da matriz eutética da microestrutura.

3.4. Composição Química da Liga de Revestimento FeCrC

A avaliação química para a liga FeCrC está ilustrada na Figura 6. Foram analisados 5 pontos, sendo 4 nos carbonetos e 1 na matriz eutética. Para não tornar a análise muito repetitiva, serão analisados apenas 2 pontos.

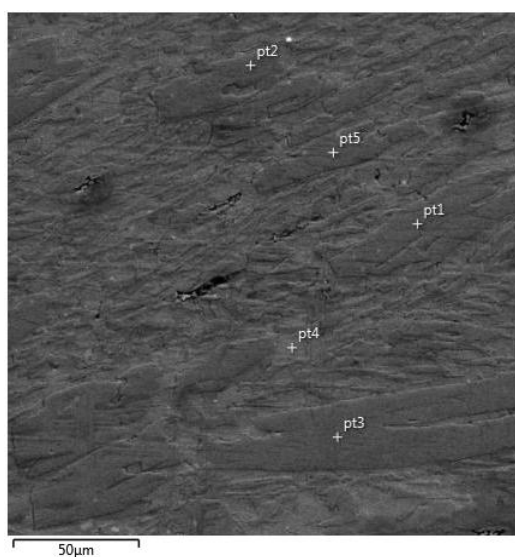


Figura 6. Pontos de análise química dos carbonetos do tipo M_7C_3 do revestimento FeCrC

A Tabela 3 apresenta os elementos componentes dos pontos em destaque.

Tabela 3. Composição química dos pontos em destaque

Pontos	Composição					
1	Cr	Fe	C	-	-	-
4	Cr	Fe	C	Al	Mn	Si

Nos pontos 1 e 4, os elementos Cr e Fe também se destacaram em maior porcentagem de concentração, sendo que este segundo ponto em destaque apresentou uma maior quantidade de elementos químicos em sua microestrutura.

Assim como para a liga FeCrC+Nb, a composição química dos carbonetos do revestimento FeCrC apresentaram semelhança com a encontrada por Lima (2008). Além disso, nesse estudo, foi analisado também a composição da matriz eutética.

3.5. Valores de Dureza

Os valores de dureza Rockwell C, encontrados durante o ensaio para os cordões de solda fabricados com a liga FeCrC+Nb, estão contidos na Tabela 4. Percebe-se que os valores de dureza para os revestimentos analisados, apresentam diferenças. Isso está diretamente ligado à microestrutura presente para esses dois depósitos, já que a presença dos carbonetos do tipo M_7C_3 , elevam a dureza do material. Para Lima (2008), o tamanho e a distribuição dos carbonetos na matriz resultam em uma maior resistência ao desgaste.

Tabela 4. Valores de dureza para os cordões de solda da liga FeCrC+Nb

Valores de dureza [HR] - Carga 150 kgf							
Teste	Testes					Média [HR]	Desvio padrão
	1	2	3	4	5		
B. D.	57	57,3	59	57,9	58,1	57,9	0,8
B. E.	41,9	51,7	53,4	53,2	52,8	52,8	4,9
A. E.	58	57,8	57,6	58,6	59	58	0,6
A. D.	53,7	55,1	50	52,8	47,9	52,8	2,9

Os resultados de dureza encontrados neste trabalho, diferem dos valores fornecidos pelo fabricante do arame eletrodo. A justificativa para isso, é o fato de ter sido realizado apenas um passe, formando uma camada de solda nas chapas estudadas, enquanto o valor de dureza informado pelo fabricante é para três camadas.

4. CONCLUSÃO

A realização deste trabalho permitiu chegar a algumas conclusões. Quanto a análise de composição química do metal de solda, os carbonetos de NbC da liga FeCrC+Nb apresentaram os elementos C, Cr, Ti e Fe, já a matriz eutética para esta liga, obteve C, Cr, Si e Fe. Para a liga FeCrC, os elementos químicos presentes nos carbonetos do tipo M_7C_3 foram o C, Cr, Fe e Mn. Já a matriz eutética desse revestimento é composta por C, Al, Si, Cr, Mn e Fe.

Quanto a avaliação da estrutura de solidificação do metal de solda, as composições formadas para a liga FeCrC+Nb apresentaram carbonetos de NbC primário e secundário, além de carbonetos do tipo M_7C_3 juntamente com dendritas de austenita. Para liga FeCrC, destaca-se a presença de carbonetos M_7C_3 (forma hexagonal e feixes finos), e dendritas de austenita numa matriz eutética.

Em relação a microestrutura do metal de solda em detrimento a variação da diluição, observou-se que, para os cordões de alta e baixa diluição para a liga FeCrC+Nb, houve uma variação em suas microestruturas. Para o revestimento com baixa diluição, os carbonetos de NbC e do tipo M_7C_3 tiveram variação de tamanhos nas regiões próximas ao metal de base e no centro do cordão, já para o de maior diluição houve uma diluição maior do metal de solda no metal de base, com uma grande concentração de carbonetos de NbC próximos a região de base e carbonetos do tipo M_7C_3 localizados de uma maneira mais uniforme no centro do cordão.

Em relação a alta e baixa energia, percebe-se que houve influência em relação aos tamanhos e concentração dos carbonetos, onde no de maior energia de soldagem, os carbonetos de NbC estão localizados em regiões pontuais e com tamanhos menores, quando comparados aos do tipo M_7C_3 . Sobre a energia de soldagem, o cordão com menor energia, apresentou menor quantidade de carbonetos em relação ao de maior energia, que apresenta carbonetos em dimensões maiores e com de geometria aleatória.

Quanto ao ensaio de dureza Rockwell C no revestimento da liga FeCrC+Nb, observou-se que, a dureza, para o cordões de baixa diluição, foi elevada em relação ao de alta diluição, devido ao fato dessa característica mecânica ser influenciada pela diluição do metal de solda no metal de base.

5. REFERÊNCIAS

- Cavalcante, H.S., “Levantamento dos parâmetros operacionais de soldagem para aplicação de revestimento duro pelo processo de soldagem FCAW”. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil, 2015. 69 pp.
- 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, Brasil, 2014. Vol. 19, Nº 01, pp. 10.
- Garcia, D.B.C., “Aplicação de revestimento duro utilizando o processo arame tubular com e sem adição de arame não energizado para diferentes tipos de consumíveis”. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2011. 120 pp.
- Gomes, J.H.F.; Costa, S.C.; Paiva, A.P.; Balestrassi, P.P., “Otimização de múltiplos objetivos na soldagem de revestimento de chapas de aço carbono ABNT 1020 utilizando arame tubular inoxidável austenítico”. Soldag. insp. São Paulo, Brasil, 2011. Vol.16, Nº. 3. pp. 232-242
- Leite, R.V., “Estudo comparativo entre ligas resistentes ao desgaste abrasivo, aplicadas por soldagem, em chapas metálicas para fabricação de placas anti desgaste”. Dissertação (Mestre em Engenharia), Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil, 2008. 95 pp.
- Leite, R.V.M.; Marques, P.V., “Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo do revestimento de três ligas metálicas utilizadas na indústria, aplicadas por soldagem com arames tubulares”. Soldagem Insp. São Paulo, Brasil, 2009. Vol. 14, Nº. 4. pp. 329-335.
- Lima, A.C., “Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana-de-açúcar”. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, Brasil, 2008. 262 pp.
- Polido, R.S.; Gallego, J., “Estudo da microestrutura de revestimento duro aplicado nos equipamentos da indústria sucroalcooleira”. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, Brasil, 2006. 110 pp.
- ZUM GAHR, K.Z., “Microstructure and wear of materials”. Tribology series. Amsterdam, Elsevier, 1987. Vol. 10.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

METALLURGIC STUDY OF HARDFACING BY THE FCAW PROCESS WITH FeCrC AND FeCrC+Nb WIRES

Danielly Silva Martins, daniellymec@gmail.com¹
Jurandir Marcos Sá de Sousa, marcos.jurandir@yahoo.com.br¹
Jhovany do Nascimento Lopes, jhovany_jhow@hotmail.com¹
Matheus dos Santos Barbosa, eng.santos.matheus@gmail.com¹
Douglas Neves Garcia, dgarcia@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará

Abstract. The application of hard coatings is intended to reduce wear and consequently maintenance costs, in addition to seeking the increase of life in service of components and reducing unscheduled downtime. The objective of this work is to perform a metallurgical study hardfacing deposits, deposited by FCAW welding process with cored wire self protected. two types of consumables are used (FeCrC and FeCrC + Nb), diameter 1.6 mm in SAE 1020 steel plate microstructural analysis was carried out (optical and SEM microscopy) and chemical composition, which showed carbides primary NbC and secondary plus carbides of type M_7C_3 both a eutectic matrix lacked mention the results.

Keywords: Wear, Hard coating, FCAW, Microstructure, Dilution.