

Estudo dos efeitos da aplicação de revestimentos duros em aço baixo carbono através do processo de soldagem SMAW

Abel Eduardo Netto ¹
Almir Turazi ^{1*} 

Resumo

Uma das formas de aumentar a vida útil de aços baixo carbono é a aplicação, via soldagem, de revestimentos superficiais com composições químicas específicas na região desejada da peça. Por se tratar de um processo por fusão, alterações microestruturais ocorrem no material e devem ser consideradas. Este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da composição química do revestimento e do tipo de corrente elétrica nas propriedades mecânicas de aços baixo carbono após aplicação de revestimentos duros a base de cromo (DIN E10-UM-60GR e E6-UM-60G). Para a aplicação dos revestimentos foi utilizado o processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW), com confecção de cordões sobrepostos lateralmente. Ensaios de desgaste abrasivo, do tipo “disco de borracha” e de microdureza Vickers foram realizados e, após análise dos resultados, percebeu-se que o eletrodo E10-UM-60GR (com maiores teores de C e Cr) obteve desempenho superior, sofrendo menor desgaste abrasivo e obtendo uma dureza média maior. O uso do eletrodo E6-UM-60G gerou cordões com menor grau de diluição e maior influência nas propriedades da ZAC (zona afetada pelo calor).

Palavras-chave: Soldagem de revestimento; Eletrodo revestido; Desgaste abrasivo.

Study of the effects of hardfacing in low carbon steel with the SMAW process

Abstract

One way to increase the useful life of low carbon steels is the application, through welding, of surface coatings with specific chemical compositions in the desired region of the sample. As it is a fusion welding process, microstructural changes occur in the material and must be considered. This work aims to evaluate the effects of the chemical composition of the coating and the type of electrical current on the mechanical properties of low carbon steels after application of chrome-based coatings (DIN E10-UM-60GR and E6-UM-60G). For hardfacing, the SMAW process was used, with the making of overlapping strands laterally. Abrasive wear and Vickers hardness tests were performed and, after analyzing the results, it was observed that the E10-UM-60GR electrode (with higher C and Cr contents) obtained superior performance, suffering less abrasive wear and obtaining an average hardness bigger. The use of the E6-UM-60G electrode generated strands with a lower degree of dilution and greater influence on the properties of the HAZ (heat-affected zone).

Keywords: Hardfacing; Shielded metal arc welding; Abrasive wear.

1 Introdução

Dispositivos de controle de fluídos como bombas, rotores e válvulas industriais, principalmente do tipo esféricas, possuem partes diretamente expostas a ambientes corrosivos e ao desgaste de seus componentes devido aos fluídos carregados com detritos e impurezas. Outro exemplo em que há desgaste semelhante é o caso de equipamentos e maquinários do setor de mineração, devido a exposição direta dos componentes a partículas como areia, pedras e poeira de minérios [1].

O desgaste é tido como um fenômeno de essência superficial com remoção gradual e indesejada de material. Uma das formas de desgaste é o desgaste abrasivo, que é ocasionado pelo deslocamento de partículas abrasivas sob tensão em uma superfície sólida gerando remoção de material [1,2].

Nestas situações o uso de ligas especiais, com alta resistência mecânica, é desejado, porém aumenta consideravelmente o custo do equipamento. Uma das formas

¹Laboratório de Soldagem, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC, Campus Rau, Jaraguá do Sul, SC, Brasil.

*Autor correspondente: almir.turazi@ifsc.edu.br



2176-1523 © 2022. Netto et al. Publicado pela ABM. Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

de reduzir custos com materiais especiais é a aplicação de uma camada de revestimento em aços de baixo teor de carbono (ABNT 1020, por exemplo), possibilitando a obtenção de peças a um custo razoável e com alta durabilidade.

O revestimento superficial é definido como a aplicação de uma camada ou camadas de metal a uma superfície, por soldagem, brasagem ou pulverização térmica, para se obter propriedades ou dimensões desejadas. Um dos métodos de adesão do revestimento em peças metálicas é a utilização de soldagem com arco elétrico, que apresenta alta produtividade e facilidade de processamento [3,4].

Nas aplicações onde se utilizam depósitos de solda é comum a ocorrência de abrasão e impacto simultaneamente. Para resolver esta combinação, revestimentos com combinações variadas de elementos de liga são utilizados, onde cada tipo de microestrutura obtida define a aplicação do componente. O teor de carbono é o que mais afeta a sua dureza, por exemplo, já o teor de cromo tem maior efeito na resistência à abrasão. O ponto de fusão da liga diminui com o aumento nos teores de C e Cr [3,5-7].

Variando-se estes dois elementos (C e Cr) podem-se obter revestimentos variando entre microestrutura ferrítica (quando o teor de C é limitado a 0,3% e o de Cr a 5%), martensítica (quando o teor de C está entre 0,35% e 0,8% e o de Cr abaixo de 5%), ou ainda com a formação de carbonetos dispersos em matriz austenítica (teores de C superiores a 4% e Cr entre 10 e 35%) [3,5,8,9].

Deve-se ressaltar que a composição final do revestimento depende da diluição entre este e o metal base. Este fator fica muito evidente em processos de deposição via soldagem, em que a fusão (e, portanto, a diluição entre revestimento e metal base) é alta. Além disso uma área relativamente grande do metal base tem sua microestrutura modificada (formando uma zona afetada pelo calor – ZAC). O cálculo desta taxa de diluição (Equação 1) é realizado baseando-se na ilustração da Figura 1, em que o perfil típico de um cordão de solda (dividido em A e B) está representado.

Este fato é de extrema importância já que a maior parte dos processos de soldagem por fusão se caracteriza pela utilização de uma fonte de calor intensa e localizada [9]. Isto porque o aporte térmico está relacionado com a quantidade de fusão gerada, e o seu controle e manipulação pode definir o nível de diluição durante a aplicação de revestimentos via soldagem. Na soldagem a arco elétrico o aporte térmico é definido como o calor cedido à junta soldada por unidade de comprimento e é calculado conforme Equação 2 [10].

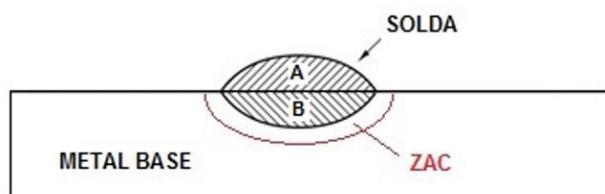


Figura 1. Perfil típico de cordão de solda. Adaptado de Singh et al. [8].

$$\%DILUIÇÃO = \frac{B}{A+B} \cdot 100 \quad (1)$$

$$E = \frac{U \cdot I}{v} \cdot \eta \quad (2)$$

Onde “E” corresponde ao aporte térmico (J/mm), “U” é a tensão média do arco (V), “I” é a corrente utilizada no processo (A), “v” é a velocidade média de soldagem (mm/s) e “η” representa a eficiência térmica (%).

A eficiência térmica (η) varia de acordo com as características de cada processo de soldagem. Valores entre 0,65 e 0,85 são típicos do processo SMAW (eletrodo revestido) e entre 0,50 e 0,80 do processo TIG, por exemplo [11].

Além da tensão (U), corrente (I) e velocidade de soldagem (v), o tipo de corrente elétrica utilizada também tem influência no perfil do cordão de solda. No processo SMAW por exemplo, a corrente contínua direta (CC⁻), onde a polaridade negativa da fonte fica no eletrodo, resulta em menor penetração e, portanto, menor diluição que a corrente contínua inversa (CC⁺ – positivo no eletrodo). Já a corrente alternada (CA) produz uma diluição intermediária [3,9,12].

Com base nestes conceitos, o presente estudo tem como objetivo avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de dois revestimentos duros distintos (DIN E6-UM-60G e E10-UM-60GR) aplicados em um substrato de aço ABNT 1020 através do processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding), avaliando-se também, o efeito do tipo de corrente (CA e CC⁺) na diluição do revestimento e nas propriedades mecânicas da ZAC.

2 Metodologia

Para a deposição dos revestimentos duros utilizou-se como metal base o aço ABNT 1020. Na Tabela 1 encontra-se a composição química do material utilizado.

O depósito dos revestimentos foi realizado com dois tipos diferentes de eletrodos revestidos (com 2,5 mm de diâmetro) designados para desgaste abrasivo. O eletrodo E6-UM-60G é indicado para situações com mais impacto e o E10-UM-60GR para situações de maior exposição a corrosão [13]. A Tabela 2 mostra a identificação e características de cada eletrodo baseadas na norma DIN8555.

Tabela 1. Composição química nominal das placas de aço ABNT 1020 (% em peso)

C	Mn	P (máx)	S (máx)
0,23	0,45	0,03	0,05

Tabela 2. Características dos eletrodos revestidos utilizados. Adaptado de Deutsches Institut Für Normung [13]

Eletrodo	DIN E6-UM-60G	DIN E10-UM-60GR
Dureza (estimada)	613 a 653 HV	633 a 746 HV
%C	0,55	4,5
%Si	0,7	4,5
%Mn	0,2	0,75
%Cr	5,5	24

Foi utilizado o processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW). A máquina utilizada (Transformador-Retificador) para o procedimento de soldagem foi do tipo corrente constante com sua intensidade fixada em 95 A. Considerou-se um rendimento térmico (η) de 0,75 (valor médio típico para o processo) [11].

Como o processo SMAW é de execução manual e o equipamento utilizado foi do tipo corrente constante, sabe-se que a tensão durante soldagem é variável em função da distância do eletrodo à poça de fusão [12]. Sendo assim, a tensão foi verificada durante o processo com alicate amperímetro, assim como foi cronometrado o tempo de execução de cada passe a fim de se obter a velocidade média de soldagem. Estes dados permitiram estimar o aporte térmico em cada amostra.

As variáveis analisadas foram: i) o material depositado e, ii) o tipo de corrente. Foram feitas três amostras para cada condição de deposição gerando assim um total de doze amostras, conforme demonstrado na Tabela 3.

As amostras possuíam dimensões de 110x76x16mm e tiveram suas superfícies lixadas para remoção de impurezas. Em seguida foi realizada a deposição dos cordões utilizando-se a técnica de oscilação pendular com auxílio de gabarito.

Em cada amostra (conforme mostrado na Figura 2) foi depositado um cordão único, para os ensaios macrográficos e de dureza na ZAC, além da camada de revestimento (constituída por 6 cordões depositados com sobreposição lateral de aproximadamente 50%) destinada a ensaios de desgaste abrasivo e dureza.

Para analisar a taxa de diluição do cordão soldado ensaios macrográficos foram realizados com execução de procedimento metalográfico padrão (lixamento e polimento) e obtenção de imagens do perfil dos cordões via estereoscópio binocular. Foram então medidas, com auxílio de software específico, as áreas de penetração e reforço do cordão de solda permitindo o cálculo segundo Equação 1.

O ensaio de microdureza Vickers foi realizado com carga de 500 gf durante 15 segundos. Para análise do revestimento foram realizadas 4 medições aleatoriamente posicionadas na superfície dos revestimentos e calculadas as

médias. Já para a análise da zona afetada pelo calor (ZAC), foi feito o perfil de dureza (nos cordões únicos) através de 5 medições distanciadas em 0,5 mm (conforme Figura 3).

A resistência ao desgaste por abrasão dos revestimentos aplicados foi avaliada através de ensaio com disco de borracha, conforme norma ASTM G65 (Figura 4).

Baseando-se na norma, foi determinado o ensaio tipo “B”, com tempo de duração de 10 min. Os corpos de prova foram pesados em balança de precisão (resolução de 0,1 mg) antes e após o ensaio a fim de se determinar a massa perdida.

3 Resultados e discussão

3.1 Aporte térmico e taxa de diluição

Afim de verificar a repetibilidade de condições de soldagem para cada condição, já que o processo SMAW é manual e a variação da quantidade de calor pode causar efeito na fusão do material, os valores de aporte térmico calculados (baseados na Equação 2), juntamente com os valores medidos de tensão e velocidade de soldagem, estão mostrados na Tabela 4 e no gráfico da Figura 5.

Na Figura 6 estão apresentadas imagens utilizadas para cálculo da diluição (um perfil para cada condição) e a Tabela 5 e a Figura 7 apresentam os valores médios do percentual de diluição calculados.

Embora os procedimentos tenham sido executados com gabaritos para manter o controle no dimensionamento dos cordões, a velocidade de soldagem foi controlada

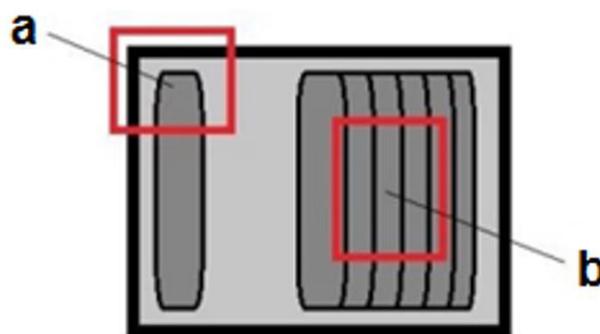


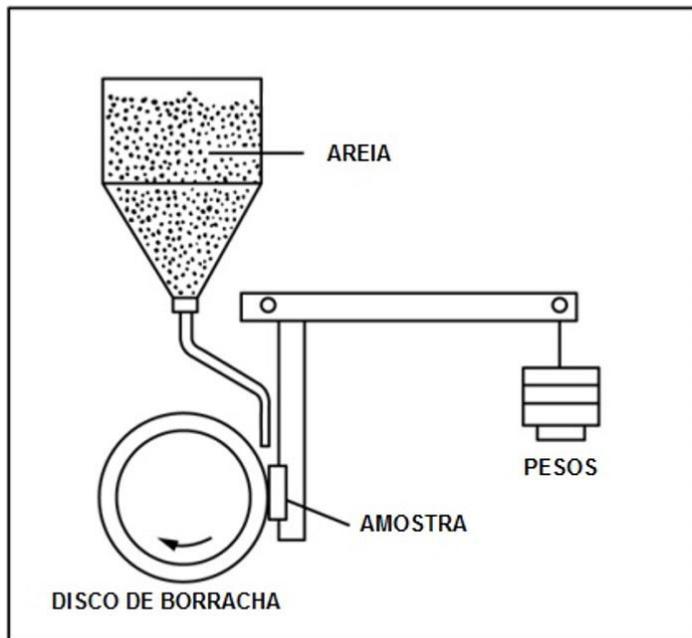
Figura 2. Esquema da deposição dos cordões e locais de extração das amostras: a- amostra para análises de macrografia e dureza da ZAC e b- amostra para ensaios de desgaste abrasivo e dureza dos revestimentos.



Figura 3. Esquema da obtenção do perfil de dureza da ZAC.

Tabela 3. Condições de deposição das amostras

Condição	Eletrodo	Tipo de Corrente	Amostra
A	DIN E6-UM-60G (0,55%C e 5,5%Cr)	CA	1
			2
			3
B		CC ⁺	4
			5
			6
C	DIN E10-UM-60GR (4,5%C e 24%Cr)	CA	7
			8
			9
D		CC ⁺	10
			11
			12



a



b

Figura 4. Aparato para ensaio de resistência à abrasão: a) esquema de funcionamento e b) equipamento utilizado nos ensaios. Adaptado de American Society for Testing and Materials [14].

Tabela 4. Valores de aportes térmicos calculados

Condição	Amostra	Velocidade (mm/s)		Tensão (V)		Aporte (J/mm)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
A	1	3,35	0,22	28,0	2,3	570,20	42,55
	2	3,59	0,35	27,8	0,7		
	3	3,54	0,21	27,7	1,4		
B	4	3,69	0,28	29,1	1,9	557,21	38,53
	5	3,61	0,23	28,8	1,6		
	6	3,72	0,33	28,0	1,3		
C	7	3,34	0,41	25,1	0,7	541,77	39,37
	8	3,33	0,25	25,1	0,5		
	9	3,25	0,20	24,8	1,0		
D	10	3,40	0,49	26,4	2,3	534,90	82,55
	11	3,57	0,31	25,8	0,9		
	12	3,55	0,23	25,8	1,6		

Tabela 5. Taxas de diluição para cada condição

Condição	Diluição (%)	Desvio Padrão
A	53,90	5,02
B	51,91	4,69
C	60,43	2,45
D	59,82	4,10

manualmente e é afetada pelo tipo de eletrodo, já que cada um apresenta uma característica distinta durante fusão [5]. Os valores de desvio padrão altos são característicos desta execução manual. Sendo assim, a determinação do nível de energia gerado em cada condição (Figura 5) garante

uma melhor visualização das condições durante deposição, propiciando confiabilidade nas análises subsequentes.

Mesmo com desvio padrão elevado pode-se considerar, baseando-se na análise da diluição, que o aporte térmico gerado com o uso de corrente alternada (CA) foi um pouco superior ao gerado com corrente contínua inversa (CC⁻), já que a diluição apresentou o mesmo efeito (pequeno aumento com o uso de CA).

Se levar em conta que o esperado seria maior nível de diluição no uso de CC⁺ [12], conclui-se que o aporte térmico teve maior efeito na diluição do que o tipo de corrente. Parâmetros como tensão ou velocidade de soldagem, que também apresentam forte influência nos resultados de

diluição [8], apresentaram maior efeito do que a polaridade do eletrodo, levando em consideração que o processo utilizado foi manual e estas variáveis não são fixas (como mostrado na Tabela 4).

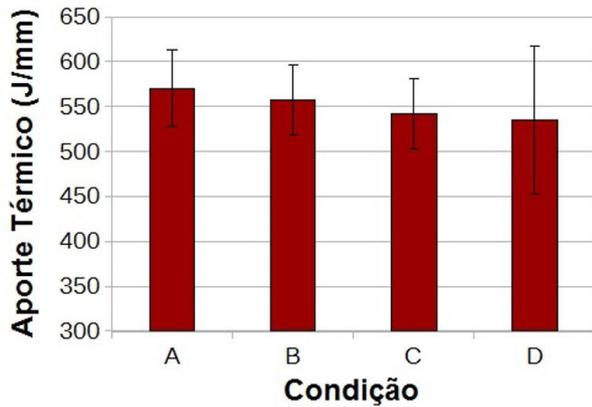


Figura 5. Energia térmica gerada em cada condição de soldagem.

Nota-se que houve um aumento significativo na diluição de um tipo de eletrodo para o outro. Com corrente alternada, o eletrodo E10-UM-60GR (condição “C”) teve uma diluição 6,43% maior que o eletrodo E6-UM-60G (condição “A”). E com corrente contínua inversa, esta taxa foi 7,91% maior. Mesmo com os valores de aporte térmico levemente inferiores calculados para as condições C e D, a diluição nestas condições foram superiores. Ou seja, a composição química do eletrodo teve maior efeito nas taxas de diluição que a quantidade de energia gerada durante o processo. Este resultado se deve ao fato de o teor de carbono no revestimento E10-UM-60GR ser maior, tornando o ponto de fusão inferior ao do revestimento E6-UM-60G [5].

3.2 Análise dos revestimentos

A avaliação dos efeitos do tipo de eletrodo e do tipo de corrente nas propriedades mecânicas dos revestimentos depositados se baseou nos resultados dos ensaios de

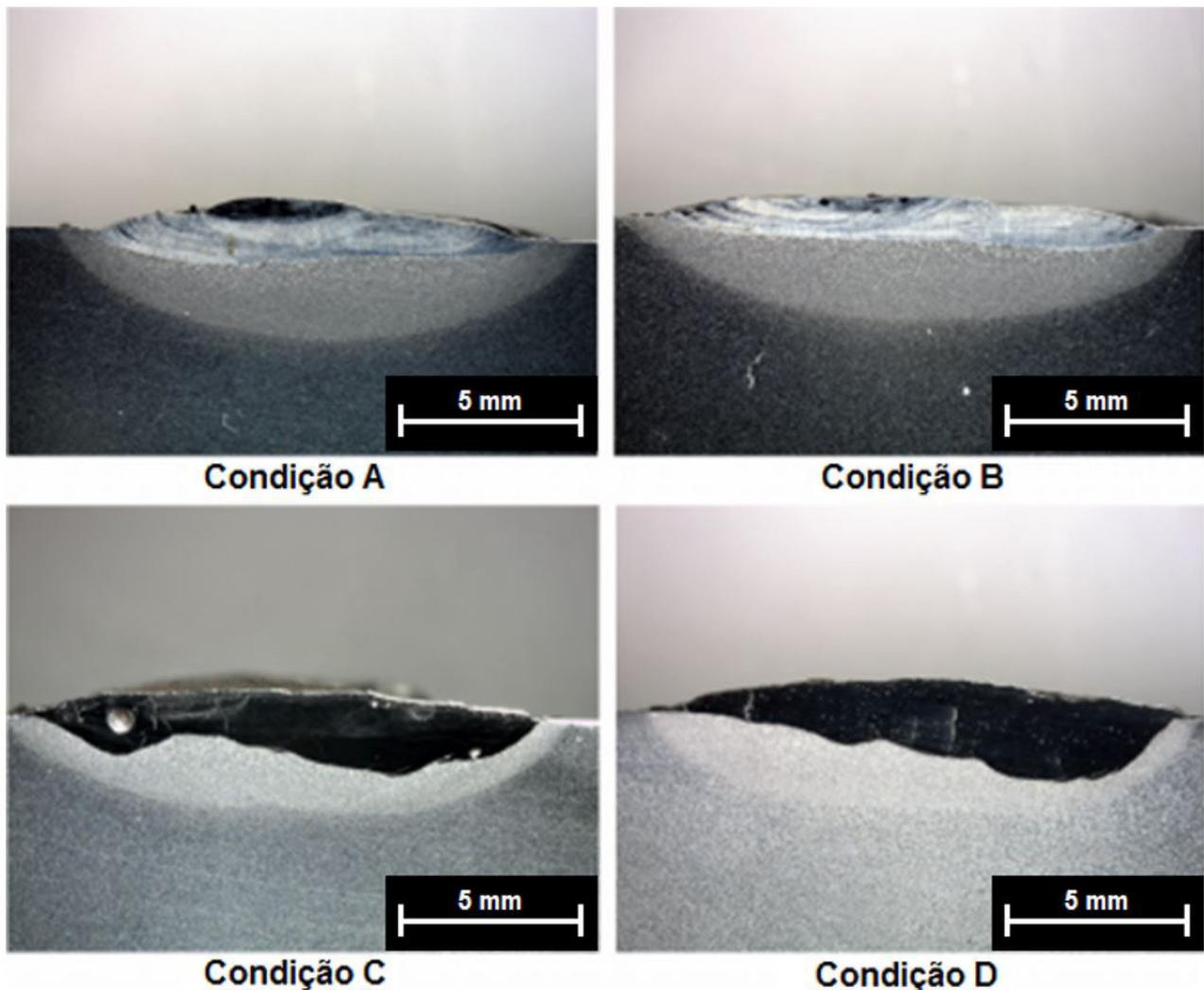


Figura 6. Amostras de perfil de cordão depositado para cada condição.

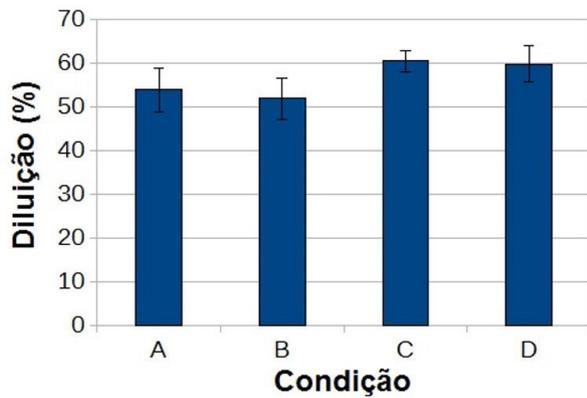


Figura 7. Resultado do cálculo da taxa de diluição.

resistência ao desgaste por abrasão e microdureza Vickers, apresentados a seguir.

3.2.1 Resistência ao desgaste por abrasão

Os resultados do ensaio de desgaste abrasivo foram obtidos através da medição da perda de volume das amostras (segundo norma ASTM G65). Também foi realizado o ensaio diretamente no metal base (aço ABNT 1020) para comparação. A Tabela 6 e a Figura 8 apresentam estes resultados.

É possível verificar um significativo aumento na resistência ao desgaste por abrasão após aplicação dos revestimentos, visto que o aço ABNT 1020 obteve perda de 118,17 mm³ de material e os revestimentos apresentaram perdas inferiores a 70 mm³ de material nas superfícies ensaiadas.

Como esperado, já que a presença de maiores teores de C e Cr geram microestruturas com maior resistência mecânica [8,15] o revestimento E10-UM-60GR (amostras C e D) apresentou maior resistência ao desgaste abrasivo. Sua composição com maior teor de carbono e de elementos de liga gerou os resultados com menor perda de volume, mesmo com níveis de diluição superiores.

Quanto a mudança de polaridade, não houve influência significativa nos resultados de resistência ao desgaste, se considerados os valores de desvio padrão. Como mencionado anteriormente, o efeito do tipo de corrente pode afetar o nível de diluição na soldagem [12] e como consequência as propriedades mecânicas do revestimento. Como a diluição dos eletrodos sofreu pouca influência do tipo de corrente utilizada (como mostrado na Tabela 5) também não gerou efeito significativo na resistência ao desgaste. O fato do tipo de corrente não gerar o efeito previsto (baseado na literatura), se deve ao fato de o depósito ter sido realizado manualmente, acarretando variações na velocidade e comprimento do arco durante execução, demonstrando que estes parâmetros geram maior efeito nas propriedades mecânicas do que a mudança de polaridade do eletrodo no processo SMAW.

3.2.2 Microdureza dos revestimentos

A Tabela 7 e a Figura 9 mostram os valores de dureza média encontradas na superfície dos revestimentos.

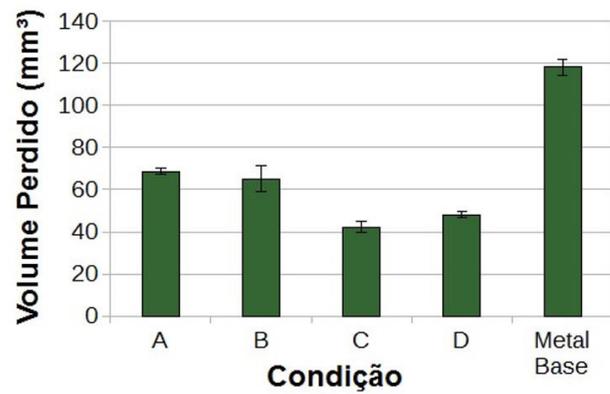


Figura 8. Resultado do desgaste abrasivo das amostras.

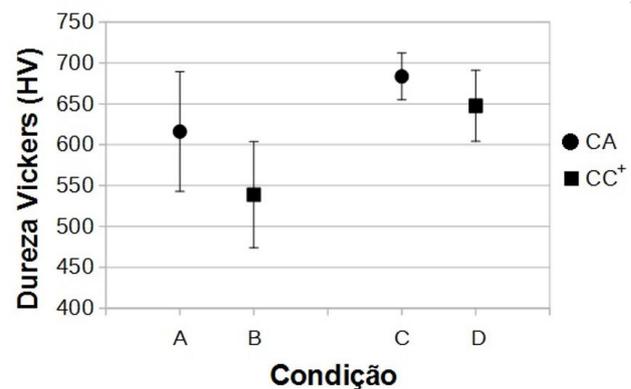


Figura 9. Resultado de microdureza Vickers nos revestimentos.

Tabela 6. Volume perdido após ensaio de desgaste por abrasão

Condição	Volume Perdido (mm ³)	Desvio Padrão
A	68,59	1,41
B	65,08	6,22
C	42,29	2,87
D	48,08	1,50
Metal Base	118,19	3,70

Tabela 7. Valores de dureza média na superfície dos revestimentos

Condição	Dureza (HV)	Desvio Padrão
A	616,8	73,3
B	538,8	65,1
C	683,5	28,6
D	647,6	43,5

Como o previsto, devido a maior quantidade de carbono e de elementos de liga, o eletrodo E10-UM-60GR apresentou dureza superior ao eletrodo E6-UM-60G. Com base nos dados da Tabela 2, estes valores apresentaram-se dentro do esperado para os materiais (nota-se que a condição B apresentou valor inferior ao esperado, porém com grande desvio padrão).

Sabe-se que variando o tipo de corrente a taxa de diluição pode ser alterada e, como consequência, pode-se afetar a velocidade de resfriamento acarretando em mudança

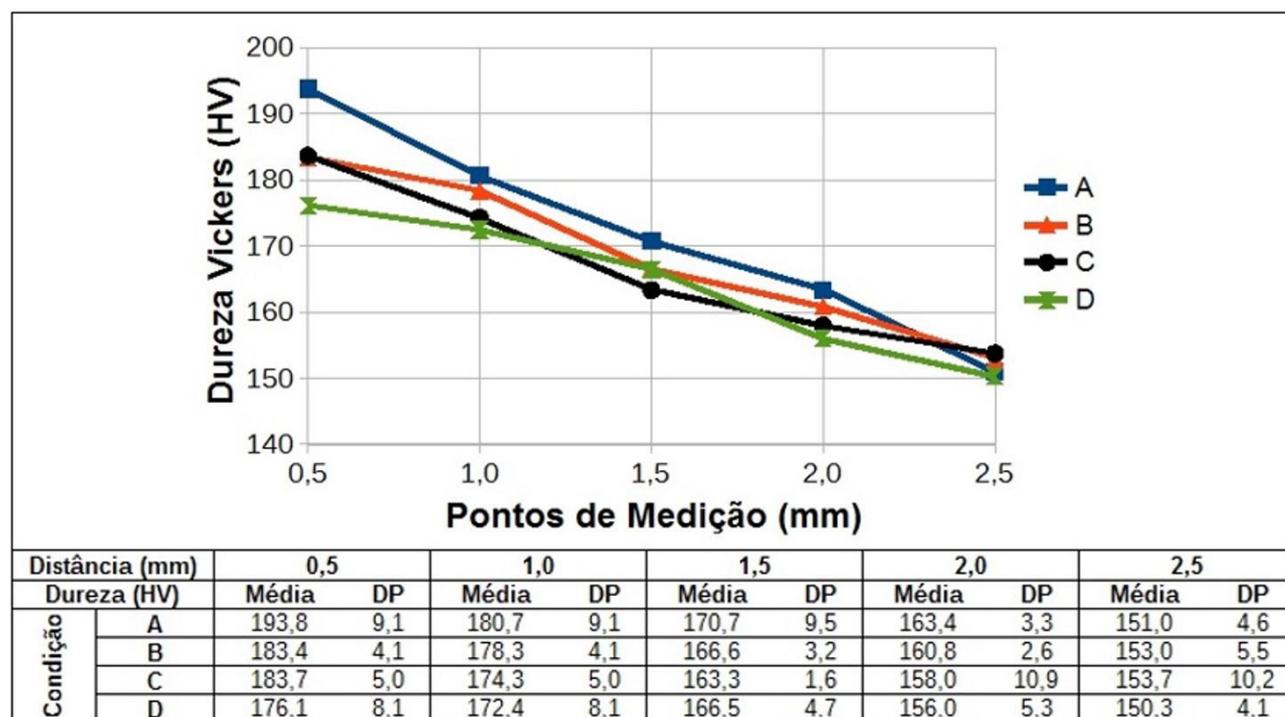


Figura 10. Resultados dos perfis de microdureza na ZAC com valores de desvio padrão.

de morfologia e dureza do material. Velocidades maiores de resfriamento, por exemplo, podem acarretar em refino de grão com aumento de dureza, ou podem gerar mudanças nas fases presentes que reduzam a dureza do material [5,16]. No entanto, considerando o desvio padrão da Figura 9, não é possível afirmar que o tipo de corrente teve influência no valor de dureza após aplicação de cada revestimento, ou seja, novamente devido ao fato de a diluição não ser afetada pela polaridade do eletrodo a dureza do revestimento também não apresentou variação considerável.

3.3 Análise da Zona Afetada pelo Calor (ZAC)

A zona termicamente afetada se mostrou similar em todos os grupos de amostras. O perfil de microdureza realizado na seção transversal do metal base serviu para identificar a região da ZAC, o qual ocorreu a aproximadamente 2,5mm de distância do cordão de solda para todos os casos. Na Figura 10 é possível observar que no ponto de medição 5, para todos os grupos de amostras, a dureza é próxima de 150 HV, que corresponde a dureza do metal base.

Percebe-se que em todos os casos houve aumento da dureza do metal base, possivelmente devido ao refinamento dos grãos na região da ZAC. Nas condições de soldagem A e B (uso do eletrodo E6-UM-60G) os valores de dureza na ZAC foram superiores que nas condições C e D. O fato de apresentar taxas de diluição diferentes do cordão também gerou efeito distinto na ZAC. Com menor diluição (A e B), menor a região afetada pelo calor e, portanto, maior a velocidade de resfriamento do metal base. Um resfriamento

mais rápido permite a obtenção de grãos de ferrita (e/ou perlita) mais refinados e, como consequência, maiores valores de dureza [16].

Assim como na análise realizada sobre os revestimentos, na ZAC também não é possível afirmar que o tipo de corrente teve influência no perfil de dureza, devido à semelhança, principalmente, entre as condições C e D.

4 Conclusão

O uso de gabaritos para dimensionamento durante confecção do cordões aliados ao monitoramento da tensão e velocidade de soldagem, permitiu a repetibilidade de condições durante aplicação de revestimentos duros através do processo de soldagem SMAW, que é manual.

A composição química do revestimento tem maior impacto nas propriedades mecânicas do que o aporte térmico ou o nível de diluição gerados durante o processo. Mesmo com diluições maiores, devido a sua capacidade de fusão, o eletrodo DIN E10-UM-60GR, com 4,5% C e 24% Cr, apresentou resultados mais consistentes de dureza e maior resistência ao desgaste abrasivo sob baixa tensão, se comparado ao eletrodo DIN E6-UM-60G (0,55% C e 5,5% Cr).

O tipo de corrente utilizada durante soldagem de revestimento tem influência pequena na diluição dos mesmos. Concluiu-se que para controle da taxa de diluição a variação do aporte térmico, através do controle de variáveis como tensão, corrente e velocidade de soldagem, tendem a gerar maior efeito.

Na ZAC, uma diluição menor do cordão de solda gerou maiores valores de dureza. Como nestes casos a área afetada é menor, aumenta-se a velocidade de resfriamento

e, como consequência, gera-se microestrutura com tamanho médio de grãos menores, acarretando em maior alteração nas propriedades mecânicas da ZAC.

Referências

- 1 Gregolin JAR. Desenvolvimento de ligas Fe-C-Cr-(Nb) resistentes ao desgaste [tese de doutorado]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 1990.
- 2 Ribeiro R. Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-C-Cr utilizados na indústria sucroalcooleira [dissertação de mestrado]. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista; 2004.
- 3 American Welding Society. Welding handbook: materials and applications - part 1. 9. ed. Miami: Annette O'brien; 2011. (Vol. 4).
- 4 Buchely MF, Gutierrez JC, Le'on LM, Toro A. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*. 2005;259:52-61.
- 5 Srikarun B, Oo HZ, Petchsang S, Muangjunburee P. The effects of dilution and choice of added powder on hardfacing deposited by submerged arc welding. *Wear*. 2019;424-425:246-254.
- 6 Pawar S, Jha AK, Mukhopadhyay G. Effect of different carbides on the wear resistance of Fe-based hardfacing alloys. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2019;78:288-295.
- 7 Leite RVM, Marques PV. Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo do revestimento de três ligas metálicas utilizadas na indústria, aplicadas por soldagem com arames tubulares. *Soldagem e Inspeção*. 2009;14(4):329-335.
- 8 Singh M, Majid M, Akhtar MA, Arora H, Chawla K. Wear behaviour of SMAW hardfaced mild steel and influence of dilution upon hardfacing properties. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2017;8:1652-1661.
- 9 Mellor BG. Surface coatings for protection against wear. Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2006.
- 10 Haelsig A, Mayr P. Energy balance study of gas-shielded arc welding processes. *Welding in the World*. 2013;57(5):727-734.
- 11 Kou S. Welding metallurgy. 2nd ed. New York: John Willey & Sons; 2003.
- 12 Marques PV, Modenesi PJ, Bracarense AQ. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG; 2011.
- 13 Deutsches Institut Für Normung. DIN 8555-1: filler metals used in surfacing - solid wires, filler rods, wire electrodes, designation, technical delivery conditions. Berlin: DIN; 1983.
- 14 American Society for Testing and Materials. ASTM G65-16: standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus. USA: ASTM International; 2017.
- 15 Buchanan VE, McCartney DG, Shipway PH. A comparison of the abrasive wear behaviour of iron-chromium based hardfaced coatings deposited by SMAW and electric arc spraying. *Wear*. 2008;264:542-549.
- 16 Lehto P, Romanoff J, Remes H, Sarikka T. Characterisation of local grain size variation of welded structural steel. *Welding in the World*. 2016;60:673-688.

Recebido em: 17 Jun. 2020

Aceito em: 02 Dez. 2020