

PARAMETRIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DURO POR SOLDAGEM COM DOIS ARAMES TUBULARES QUANTO A DILUIÇÃO NO METAL BASE.

Paulo Vinícius da Silva Resende, resendep.engmec@gmail.com

Instituto Federal de Goiás – Câmpus Goiânia. Rua 75, nº46. Centro. Goiânia/GO.

RESUMO: A produtividade dos equipamentos nas indústrias sucroalcooleiras é um fator determinante para competitividade. O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho do revestimento por soldagem com dois tipos de arames tubulares (classe autoprottegido), devido seu relevante uso nesse setor. Adotou-se como referência, dados de um trabalho científico sobre a aplicação de revestimento por soldagem em facas picadoras de cana, onde os melhores resultados laboratoriais foram obtidos com o consumível FeCrC+Nb com menor diluição (19,48%), e elevada resistência ao desgaste abrasivo, enquanto em campo, houve o pior desempenho (perda de massa por lascamento do revestimento). O segundo eletrodo, FeCrC+Ti, apresentou diluição superior ao primeiro (27,42%) seguido da menor resistência ao desgaste em laboratório, que no entanto, suportou o tribossistema em campo, ou seja, menor taxa de desgaste do componente mecânico na usina. No presente trabalho, realizaram-se seis testes com o arame +Nb variando a DBCP (distância bico de contato peça) entre 20 e 30 mm, onde foi determinada uma diluição equivalente ao arame +Ti, com a DBCP de 22 mm. Contudo, para certifiá-lo como parâmetro ótimo, demanda-se sua execução em campo e a análise de desgaste comparada aos resultados da literatura.

PALAVRAS-CHAVE: análise, diluição, parâmetros

ABSTRACT: *Machine productivity in sugarcane industries is a key factor for competitiveness. The objective of this study was to analyze the performance of the coating by welding two types of cored wires (self-protected class), because it's relevant use in this sector. It was adopted as reference data, a scientific paper on the application of coating welding choppers cane knives, where the best results were obtained with laboratory consumable FeCrC +Nb with lower dilution (19.48%), and high resistance abrasive wear while in the field, was the worst performance (mass loss by spalling of the coating). The second electrode, FeCrC +Ti, showed higher than the first (27.42%) followed by lower wear resistance in the laboratory, which, however, bore the tribological system field, in the other words, lower wear rate of the mechanical component in the plant dilution. In the present study, there were six tests with varying "+Nb" wire DBCP (distance nozzle contact number) between 20 and 30 mm, where a dilution equivalent to the wire "+Ti", with the DBCP 22 mm was determined. However, to certify it as a useful tool, demand is its implementation in the field and the analysis of wear compared to literature results.*

KEYWORDS: *analysis, dilution, parameters*

INTRODUÇÃO

A soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Tubular ou FCAW (Flux Cored Arc Welding), de acordo com Machado (1996), consiste na formação de um arco elétrico entre a peça e um tubo metálico, cujo interior é preenchido por fluxo fusível, alimentado continuamente desde a bobina na qual está enrolado.

Segundo AWS (1991), o processo oferece duas variações que diferem na proteção do arco e da poça de fusão da contaminação atmosférica. No tipo autoprottegido, a proteção do metal fundido é feita pela decomposição e vaporização do fluxo interior do eletrodo pelo calor do arco. No segundo tipo, com proteção gasosa, faz-se uso de um jato de gás protetor em adição à ação do fluxo do eletrodo. Em ambos os métodos, o material do fluxo pode atuar como desoxidante, acrescentar elementos de liga ao metal de solda, estabilizar o arco, além de fornecer um recobrimento substancial de escória para proteger a solidificação do metal de solda. Assemelha-se ao MIG/MAG (eletrodo maciço) por utilizar a mesma fonte de soldagem e alimentação, porém com eletrodo maciço.

Em um estudo de Svensson (1994), constatou-se que a densidade de corrente dos arames tubulares é maior que nos arames maciços, além da possibilidade de usar a distância bico de contato-peça (DBCP) superior nos primeiros, o que contribui para alta taxa de fusão e produtividade desse processo.

No estudo de (Wainer, Brandiand De Mello, 1992), afirma-se que na soldagem de revestimento basta que haja uma boa ligação entre o metal de solda e o metal de base e como a composição química e as propriedades do metal de solda são usualmente diferentes do metal base, a baixa diluição é desejada, obtida pela soldagem a baixos níveis de corrente. A diluição é definida como a mudança na composição química de um metal de adição para soldagem causada pela sua mistura com o metal base ou metal de solda anterior

Em um estudo de Lima (2008a), sobre a aplicação de revestimento duro por soldagem com arame tubular na indústria sucroalcooleira, foi avaliado o desempenho de três arames tubulares (tipo autoprottegido) quanto aos parâmetros operacionais, morfologia e as propriedades mecânicas do revestimento. Neste, selecionaram-se um conjunto de parâmetros dentro da região de transferência metálica por curto-circuito para

efetuar a soldagem no mesmo patamar de corrente com ambos consumíveis. Em condição operacional, o revestimento de FeCrC +Nb teve a maior perda de massa (alto desgaste) e a menor diluição no metal base, enquanto o de FeCrC +Ti teve o menor desgaste com diluição superior quando comparada ao primeiro. Nos testes de laboratório, os resultados foram inversos, enquanto o desgaste foi avaliado somente pelo ensaio de abrasão.

Noble (1984) e Wainer *et al.* (1991), afirmam que a dureza e a forma do abrasivo são fatores importantes no processo de desgaste, bem como as características operacionais e de projeto. Além da composição química, propriedades mecânicas como o módulo de elasticidade, escoamento e tenacidade são igualmente importantes.

Portanto, este estudo objetiva a avaliação do revestimento duro com dois arames tubulares (autoprotégido), visando à identificação de parâmetros de soldagem ótimos com o consumível +Nb, para equipará-lo a diluição e dureza do revestimento +Ti aplicado na indústria sucroalcooleira, visto que com o segundo, houve maior resistência ao desgaste em campo, do qual também será investigado.

METODOLOGIA

Materiais

- Barra Chata ¼" x 2" de Aço ABNT 1020;
- Lixas de grão 180, 240 e 280;
- Suspensão de Alumina n° 04 (1 µm).

Equipamentos

- Sistema de Aquisição de Sinais (SAP-4.28);
- Fonte Multi Processos IMC DIGITEC 600;
- Alimentador de arame;
- Sistema de Deslocamento Automático da Tocha IMC;
- Máquina de Corte Metalográfica CF-III;
- Câmera Fotográfica Digital W710;
- Régua Graduada de Aço com resolução de 0,5 mm;
- Durômetro Wolpert Testor HT-1.

Procedimento experimental

Os ensaios foram elaborados para soldagem na posição plana em ambos consumíveis, sendo o cordão de solda, com 130 mm de comprimento, efetuado no centro da chapa de 200 mm.

A fonte de soldagem foi configurada com os seguintes valores: Velocidade de alimentação do arame (V_{alim}) de 10 m/min, Velocidade de soldagem (V_{sold}) de 50 cm/min, Tensão de referência (U_r) de 28 V. Com isso, a constante de deposição (C_d), quociente entre " V_{alim} " e " V_{sold} ", foi mantida constante ao longo de cada um dos testes para evitar qualquer diferença de deposição de material entre os ensaios. A escolha destes parâmetros foi feita com base no mapa de transferência metálica obtido por (Lima, 2008b) pelo fato de obter-se a transferência metálica por curto-circuito, citada por diversos autores como a mais indicada para a aplicação de revestimentos duros devido à baixa energia de soldagem envolvida e à possibilidade de soldagem fora

da posição plana (como é o caso da aplicação em manutenção), além da combinação ótima entre baixa diluição e elevado rendimento de deposição.

Primeiramente foram feitos 6 testes com o consumível +Nb (com adição de nióbio). No primeiro teste, ajustou-se a DBCP em 20 mm, sendo acrescidos 2 mm a cada um dos testes posteriores, sendo que o último foi de 30mm.

Com o segundo consumível, +Ti (adição de titânio), foram feitos 3 testes com a DBCP fixa em 32 mm e os parâmetros da fonte idênticos à primeira série, devido ao melhor desempenho em campo justificado na literatura.

Preparação do corpo de prova

Para analisar o revestimento, delimitou-se uma linha de corte a 60 mm da extremidade da chapa, como apresenta a Fig. 1(a). Para a análise, optou-se pelas duas superfícies indicadas com as setas "A-A" que corresponde ao início cordão e o corte "B-B" ao final do cordão (percurso da tocha).

Realizou-se a preparação dos corpos de prova com o lixamento da superfície e polimento com adição de Alumina. O ataque químico, feito por 7 segundos com Nital 4% permitiu a visualização no contorno do revestimento soldado, *vide* Fig. 1(b).

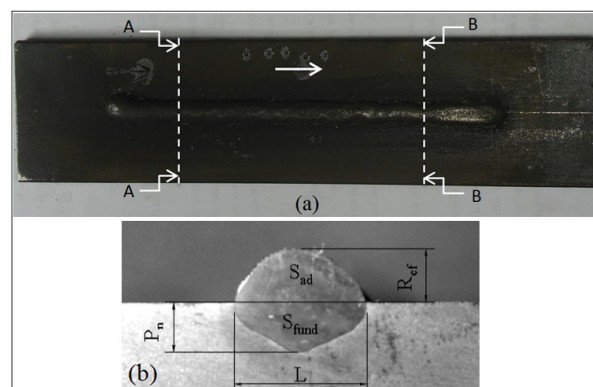


Figura 1: Corpo de prova: (a) Linha de corte; (b) Superfície do corte "A-A" (início do cordão) preparada

Avaliação da diluição e morfologia do cordão de solda a partir da imagem fotográfica

Executou-se um procedimento no *software Draft Sight* para determinar a área adicionada "A" e da área fundida "B" do cordão de solda, *vide* Fig. 1(b). A câmera teve a resolução ajustada em 5 Mp (megapixel), montada no dispositivo ilustrado na Fig. 2, construído especialmente para essa finalidade.

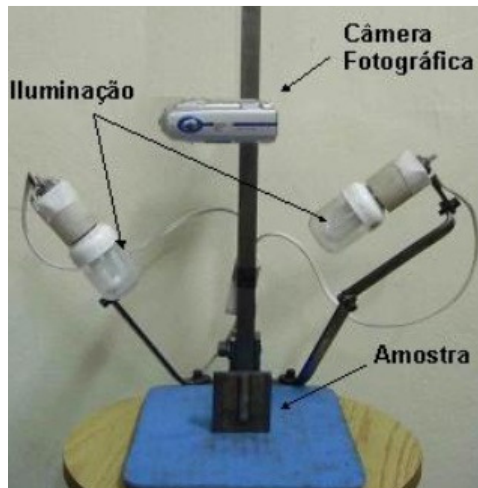


Figura 2: Montagem do dispositivo fotográfico (OLIVEIRA, 2005a)

No ambiente de interação do *software CAD*, ajustou-se a escala de modo que a medida real se equiparasse a obtida virtual do programa. Tomou-se como referência a fotografia de uma régua graduada de aço com resolução de 0,5 mm como a medida real (M_r), que posteriormente foi medido no *software CAD*. Através da Eq. 1, o valor de “X” correspondeu ao fator de correção na escala do software.

De acordo com os procedimentos descritos por Oliveira (2005b), determinou-se o valor da área sobreposta no metal (S_{ad}) e a área da seção fundida no metal base (S_{fund}), ambas pelas fotografias da seção. A relação apresentada na Eq. 2 definiu a diluição do revestimento em cada uma das amostras.

Ensaio de Dureza

Foram feitas três medidas de dureza Rockell C (HRC) na superfície seccionada e polida, tanto no início como no final do cordão, totalizando seis medidas por amostra.

Equações governantes

$$X = M_r / M_c \quad (1)$$

$$Dil\% = [S_{fund} / (S_{ad} + S_{fund})] * 100 \quad (2)$$

$$E = (U_r * I_m) / V_{sold} \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 3 esboça a diluição no início e final do revestimento. Nota-se que o teste Nb-1 a diluição no início do cordão atingiu o maior valor (34,92%) e no final atingiu o menor valor (24,60%). Nos demais testes com o mesmo consumível, o comportamento foi inverso. Vale ressaltar que a energia de soldagem gerada no arco, apresentada na Eq. 3, quociente do produto da tensão (U_r) e corrente média (I_m) pela velocidade de soldagem (V_{sold}), variou em função da corrente média, inversamente proporcional ao aumento da DBCP, pois as configurações da tensão na fonte, velocidade de soldagem e alimentação foram mantidas

constantes. Além disso, essa energia influencia a quantidade de calor transferida para a poça de fusão proporcionalmente, que tem efeitos na diluição da solda.

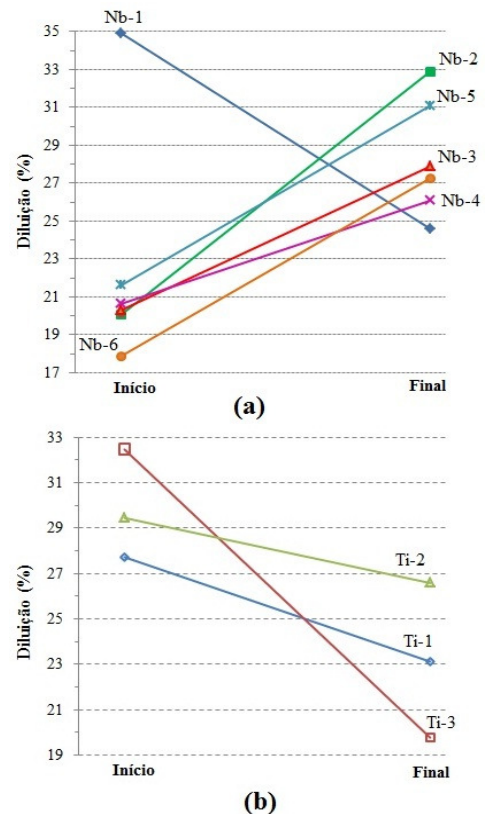


Figura 3. Diluição no início e final da amostra: (a) Arame +Nb; Arame +Ti (b)

A Fig. 4 esboça o comportamento da corrente média em função da DBCP, obtida durante a soldagem pelo sistema de aquisição de sinais. Nos seis testes com o consumível +Nb, nota-se que o aumento da DBCP foi inversamente proporcional à corrente média. Já nos testes com o consumível +Ti, o valor da corrente média entre os testes foi de 255 A, uma vez que em todos os testes da série utilizou-se a DBCP de 32 mm.

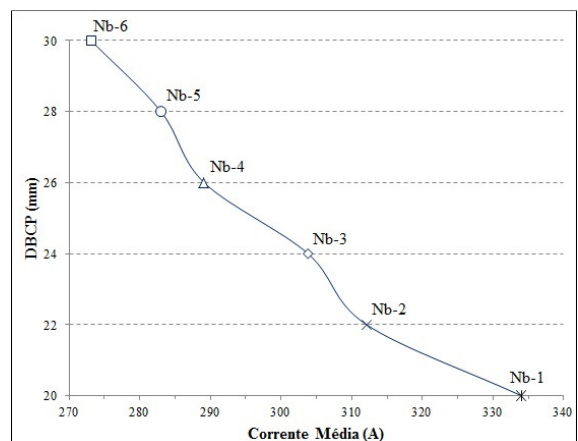


Figura 4. Diluição no início e final da amostra: (a) Arame +Nb; Arame +Ti (b)

A Fig. 5 compara as duas séries de testes quanto à diluição média e dureza média do revestimento. Verifica-se a maior dureza no teste Ti-1 (59,6 HRC), combinada com o menor percentual de diluição entre os três testes da série (25,42 %).

Comparado aos testes com o consumível +Nb, o Nb-6 (DBCP= 30 mm) apresentou a maior dureza (58,3 HRC), combinado à diluição de 21,73%, ou seja, 4,79% menor que o valor médio do entre os testes com o arame +Ti, cuja DBCP foi superior em 2 mm.

Inicialmente esta comparação contraria as citações da literatura, segundo as quais, a maior diluição da solda leva a mudança de propriedades desse, resultando na redução da dureza do revestimento. Segundo Lima (2008c), o consenso dos autores refere-se à avaliação de um mesmo consumível em diferentes níveis de diluição.

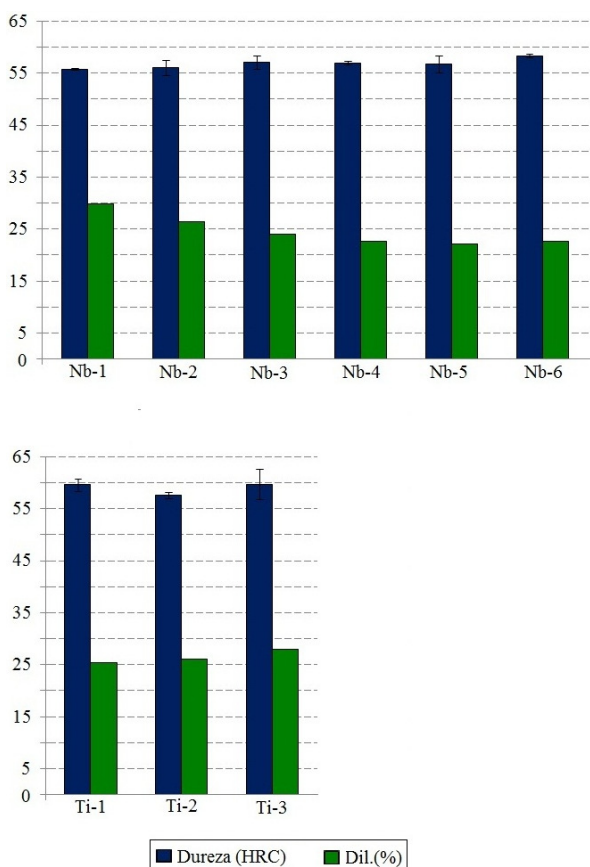


Figura 5. Análise comparativa Diluição-Dureza dos testes

Portanto, a dureza do revestimento foi inversamente proporcional a sua diluição isoladamente, pois depende dos elementos de liga do consumível.

CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que a diluição do revestimento está associada, em cada consumível, tanto ao ajuste da DBCP quanto a sua composição química. No teste Nb-2, cuja DBCP= 22 mm, resultou em uma diluição de 26,48%, equivalente aos valores médios da série de testes com o arame +Ti (26,52%).

Apesar de não terem sido feitos ensaios de desgaste em laboratório, estima-se que o teste Nb-2 com a média de dureza (56,1 HRC) e diluição (26,48%), apresente menor resistência ao desgaste por abrasão que a obtida em um estudo anterior cuja diluição média de 19,48% e 61,9 HRC de dureza.

Entretanto, se faz necessário aplicar os parâmetros do teste Nb-2 no revestimento de facas picadoras da indústria sucroalcooleira e avaliar o comportamento e desgaste em tais condições de trabalho, podendo assim validá-lo como ponto ótimo do consumível.

AGRADECIMENTOS

Ao fomento do CNPq por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, oferecido na instituição de ensino.

REFERÊNCIAS

- AWS, Welding Handbook, “Welding Processes, Part 1”, 9th ed., Miami-USA. American Welding Society, v.2, 2004.
- MACHADO, I.G. **Soldagem & técnicas conexas**. Porto Alegre: Ed. Do autor, 1996.
- NOBLE, D. N. Factors Which affect Abrasive Wear Resistance of Hardfacing Weld Deposits. A Review of the Literature. The Welding Institute, 26 p. out. 1984.
- OLIVEIRA, H. F.; MEIRELES, R. O. e LIMA, S. G. Utilização do Auto CAD para a determinação dos parâmetros geométricos e da diluição do cordão de solda a partir de imagens fotográficas. 5º Encontro Interno de Iniciação Científica. Universidade Federal de Uberlândia-Uberlândia, 2005.
- SVENSSON, L. E. **Control of Microstructures and Properties in Steel Arc Welds**. The ESAB Group, Gothenburg, Sweden. 240 p. 1994
- WAINER, E.; BRANDI, S. D.; DE MELLO, F. D. H. **Soldagem – Processos e Metalurgia**. Editora Egard Blucher Ltda. 494 p. 1992.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável por este artigo. Portanto, para maiores informações ou dirimir dúvidas, sugerimos a consulta às referências citadas.