

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE EM REVESTIMENTO DURO APLICADO POR SOLDAGEM ATRAVÉS DE ESFERA FIXA ROTATIVA

D. L. Oliveira, J. Gallego, V. A. Ventrella
*Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista – Unesp,
15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil.
e-mail: engmecca.daniel@gmail.com*

RESUMO

Este trabalho destina-se a análise do desgaste abrasivo em revestimentos duros aplicados por soldagem. Para isso foi construído um equipamento, seguindo a norma ISO 26424, denominado “máquina de desgaste micro-abrasivo” ou “micro abrasive wear testing machine” onde o contato entre uma esfera fixa (em movimento de rotação) e um corpo de prova gera crateras de desgaste. Através das análises dessas crateras, é possível prever, ou estimar o comportamento ao desgaste de um material. Foram confeccionados corpos de provas em chapas de aço ASTM A-36 revestida com eletrodo de Fe-Cr em diferentes camadas. Os resultados demonstraram a influência das diferentes camadas de solda na resistência à abrasão e dureza. A diluição influenciou na microestrutura do revestimento duro em todas as camadas de solda. Aqueles com maiores teores de carbonetos primários tiveram desempenho melhor do que aqueles com carbonetos secundários sob condições de baixa tensão de teste de abrasão.

Palavras-Chave: desgaste abrasivo, revestimento duro, soldagem, ISO26424-2008.

INTRODUÇÃO

A soldagem de revestimento ou de recobrimento consiste na deposição de um consumível de soldagem com características em geral mais nobres ao metal de base, visando aplicações específicas com maiores durezas, resistência ao desgaste e/ou à corrosão, as quais o metal base não teria uma performance tão boa quanto ao material do recobrimento, porém, revestimentos com maiores níveis de dureza implicam em menores níveis de ductilidade, podendo ocorrer trincas⁽¹⁾.

A taxa de deposição e diluição são os fatores que mais afetam as propriedades do revestimento. Estes fatores são dependentes das variáveis do processo que

controlam o potencial de soldagem, isto é, tensão, corrente elétrica, velocidade de soldagem, etc. Para alta produtividade, é importante que se tenha uma alta taxa de depósito com baixa diluição e penetração uniforme ⁽²⁾.

O desgaste por abrasão: é o fenômeno que ocorre quando partículas duras deslizam ou são forçadas contra uma superfície metálica em relação à qual estão em movimento, provocando por deslocamento ou amassamento a remoção do material. De todos os diferentes tipos de desgaste, o desgaste abrasivo é o que ocorre em mais de 50% dos casos, sendo considerado como o mais severo e o mais comumente encontrado na indústria ⁽³⁾.

Dentro do conceito de desgaste abrasivo está o desgaste micro-abrasivo, que pode ser estudado através de ensaios de desgaste por micro abrasão. O “ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa” é um teste que consiste no desgaste gerado em um corpo de prova, por uma esfera e por partículas abrasivas ^(4,5).

O equipamento para ensaio de desgaste micro abrasivo é recomendado pela norma ISO 26424-2008⁽⁶⁾. O princípio de funcionamento deste equipamento, consiste na aplicação da força normal através de um sistema de peso morto onde a amostra é fixa em uma haste que é livre para girar em torno do “pino-pivot”. Quando uma carga é aplicada pela inserção dos “pesos mortos”, a haste tende a rotacionar em torno do “pino-“pivot”, provocando o contato entre o corpo de prova e a esfera em movimento de rotação e a inserção de partículas abrasivas entre estes dois elementos, junto com a atuação da força normal, gera uma cratera no corpo de prova. A função do contra peso é equilibrar o sistema para a condição da carga $C = 0$ e força normal $N = 0$ ⁽⁴⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

O metal base utilizado para soldagem dos revestimentos duros foi o aço ASTM A-36 cuja composição é descrita na Tab. 1.

Tab. 1 – composição química de metal de base

C	Mn	P	S	Si	Cu
0,25	0,80 - 1,20	0,040	0,050	0,40	0,20

Como metal de adição foi utilizado o eletrodo revestido do tipo Fe-Cr-C, cuja composição química está mostrada na Tab. 2.

Tab. 2 – Composição química do eletrodo revestido.

C	Cr	Si	Mn
0,4	9,5	1,0	1,0

Para a soldagem do revestimento duro em uma, duas e três camadas o controle de corrente, tensão, velocidade de soldagem e temperatura foram feitos de forma manual com ajuda de um alicate amperímetro, um cronômetro e um termômetro digital.

Para realização das camadas de revestimento fez-se um pré-aquecimento de 150°C no metal de base e, logo após, foram feitos os cordões. Antes de iniciar a soldagem de um novo cordão, fez-se a escovação do cordão anteriormente depositado para eliminação de pó óxido, fuligem, carepa, eliminação da escória. No final do processo as amostras foram embrulhadas em uma manta térmica de fibra cerâmica para resfriamento lento e em seguida foram cortadas.

Na sequência o lixamento foi realizado a partir da lixa 120, 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh, com posterior polimento com alumina de 1,0 µm e 0,3 µm e o ataque químico foi realizado com NITAL 2%. Foram realizadas medidas de microdureza Vickers com carga máxima de 1N (100,6 gf), mantida durante 5 segundos

Os ensaios de micro desgaste à pressão constante foi realizado com um equipamento de micro desgaste por esfera rotativa conforme ilustrado na Fig. 1. Para a elaboração deste equipamento seguiu-se a norma ISO 26424-2008 ⁽⁶⁾ e o guia de boas práticas “*Ball cratering or Micro-Abrasion Wear Testing of Coatings*” ⁽⁸⁾.



Fig. 1 – Equipamento de micro desgaste por esfera rotativa para os ensaios abrasivos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As macrografias foram feitas em um estereomicroscópio da marca ZEISS, modelo DISCOVERY V.8. Com estas imagens se fez a análise da geométrica do cordão de solda e o cálculo da taxa de diluição (δ) que define o percentual da massa do metal base que se une ao metal de adição onde são consideradas a área do reforço (A) e a área da penetração (B) ⁽⁷⁾ conforme a Fig. 2 e Eq. (A).

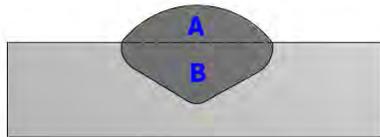


Fig. 2 – Diluição medida na seção transversal.

$$\delta = \frac{B}{A + B} \times 100 \quad (A)$$

Nas amostras com uma, duas e três camadas de revestimento, obtivemos as taxas de diluição esquematizada na Fig. 3 conforme a Eq. (A).

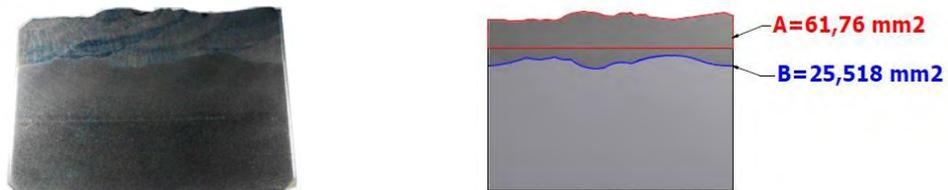


Fig. 3 - Determinação das áreas envolvidas no cálculo da diluição para 1 camada.

$$\delta = \frac{25,518}{61,76 + 25,518} \times 100 = 29,25\%$$

Seguindo este princípio, a taxa de diluição pra as amostras com uma, duas e três camadas são expressas na Tab. 3.

Tab. 3 – Taxa de diluição das amostras

Amostra	1 camada	2 camadas	3 camadas
Taxa de diluição δ (%)	29,25	14,8	10,28

Os gráficos da Fig. 4 apresentam os resultados dos ensaios de microdurezas realizados. Conforme esperado houve um aumento considerável na dureza superficial das amostras, especialmente para o revestimento com 3 camadas onde a quantidade de cromo é maior. A variação da dureza apresentada no revestimento foi resultado da região onde o indentador penetrou na amostra. Quando atingia regiões com grande concentração de carbonetos de cromo os valores foram superiores aqueles de regiões pobres (matriz). Regiões de alto volume de partículas grosseiras de carbonetos apresentam maior resistência à penetração e ao corte⁽⁹⁾.

A Fig. 4 mostra que as diferenças na taxa de diluição apresentada pelas amostras afetam diretamente a microdureza do revestimento. As curvas apresentaram valores diferentes para amostras com diluições diferentes. Cada curva foi obtida através do calculo da média do levantamento de três medições e por fim calculou-se a média geral de todas as curvas indicando a variação da dureza para o revestimento como um todo. Como cada amostra apresentou diferentes medidas de penetrações do revestimento, o declínio das ZTA indicada nos gráficos foi estimado através da profundidade média do cordão de solda.

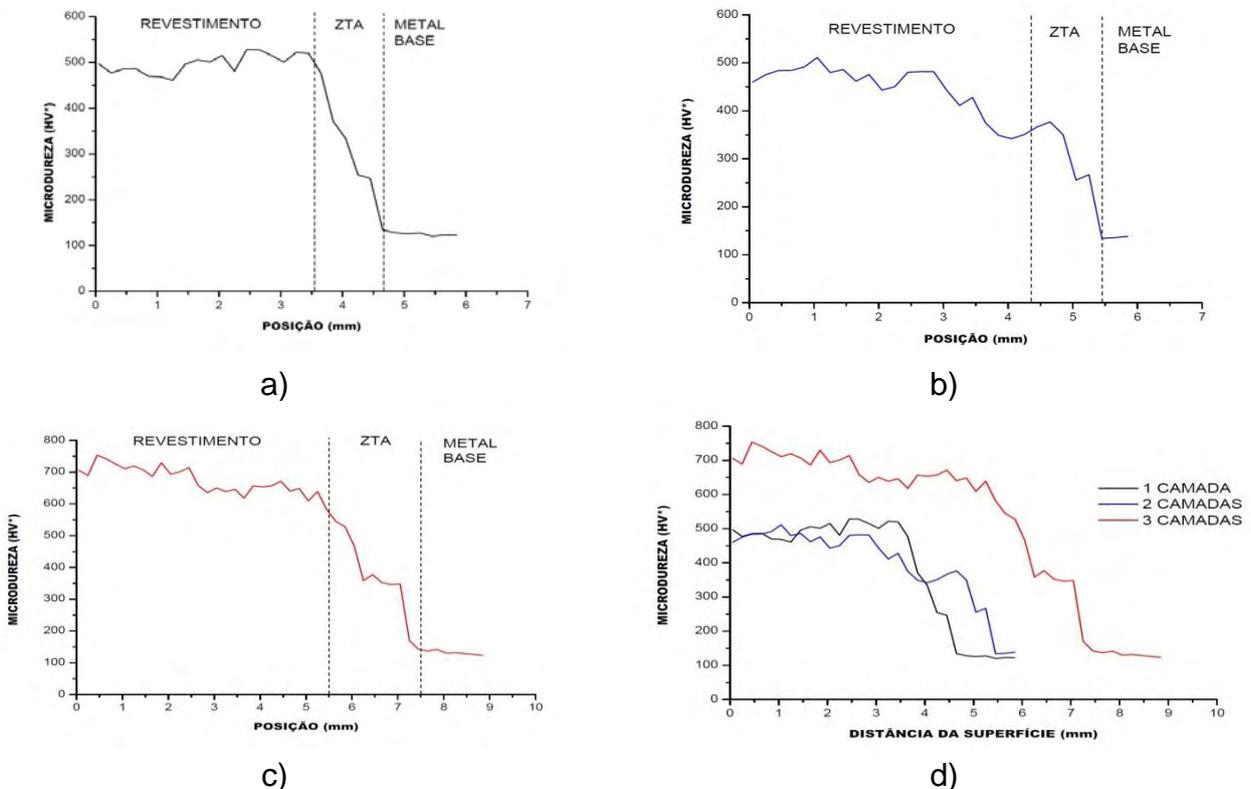


Fig. 4 – Medidas da microdureza. a) 1 camada de revestimento. b) 2 camadas de revestimento. c) 3 camadas de revestimento. d) Comparativo da microdureza das 3 amostras.

As amostras foram submetidas ao ensaio de micro desgaste com carboneto de silício (1 μm) e água destilada na concentração de 0,2 g/cm³. A esfera utilizada foi a AISI 52100 na condição “temperada e revenido” com diâmetro de 25,4 mm. Foram estabelecidos três ensaios para cada amostra nas mesmas condições, ver Tab. 4.

Tab. 4 – Valores dos parâmetros estabelecidos para os ensaios

Amostra	1 camada	2 camadas	3 camadas
Força normal [N]	4,9	4,9	4,9
Rotação da esfera [rpm]	300	300	300
Distancia de deslizamento [m]	359	359	359
Gotejamento do abrasivo	1 gota / 5 s	1 gota / 5 s	1 gota / 5 s
Número de repetições	3	3	3

Os resultados dos ensaios de micro desgaste estão na Fig. 5, onde podemos verificar o diâmetro das crateras.

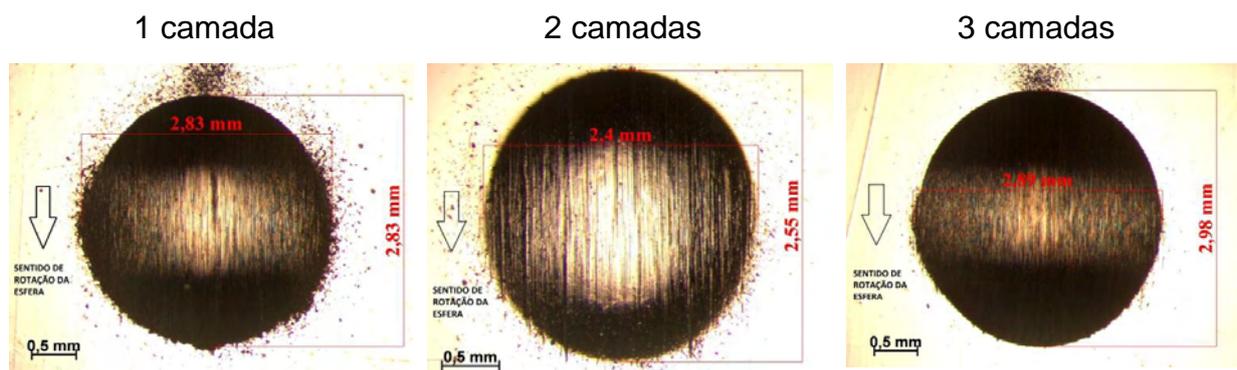


Fig. 5 – Crateras de desgaste

A Tab. 5 mostra a média geral dos três ensaios abrasivos e a taxa de desgaste.

Tab.5 – Media do volume e taxa de desgaste.

	1 camada	2 camadas	3 camadas
Volume (mm ³)	0,221	0,113	0,345
Taxa de desgaste (mm ³ /m)	616,52⁻⁶	315,32⁻⁶	962,72⁻⁶

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados, a amostra com três camadas de revestimento apresentou a maior dureza e teve desempenho mais baixo ao

desgaste abrasivo. Já a amostra com duas camadas teve uma dureza intermediária apresentando o melhor desempenho ao desgaste seguido da amostra com uma camada. Isso mostra que a diluição tem uma relação direta entre a dureza e a resistência a abrasão influenciando a fração volumétrica de carbonetos no revestimento, onde, no caso de materiais muito duros como carbonetos de cromo, não deve ser aplicado mais que duas camadas de revestimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EDWARDS, G. R. & FROST, R.H. & LIRA, J. C. & RENSE, C .E.C. – The Influence of Welding Process Variables on the Microstructure an Abrasion Resistance of Chromium Carbide and Titanium Carbide Contaiming Harfacing Deposits. Presented at: “Welding”.
2. KOTECKI, D.J. & OGBORN, J.S. – Abrasion Resistance of Iron-Based Harfacing Alloys. **Welding Journal**, EUA, 74(8): 269-s-278-s. Aug. 1995.
3. D.M. KENNEDY & M.S.J. HASHMI – Test rig design and experimental results of coated systems under impact abrasion conditions – **Surface and Coatings Technology**, 86-87 (1996) 493-497.
4. Cozza, R.C. **Estudo de comportamento de coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste micro abrasivo**. Disponível em: <http://www.teses.usp.br>. Acesso em 25 fev. 2014.
5. Cozza, R.C. **Estudo do desgaste e atrito em ensaios micro-abrasivos por esfera rotativa fixa em condições de força normal constante e pressão constante**. Disponível em: <http://www.teses.usp.br>. Acesso em 25 fev. 2014.
6. ISO 26424 -2008 “Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Determination of the abrasion resistance of coatings by a micro-scale abrasion test.”

7. Marques, P.V.; Modenesi, P.J.; Bracarense, A.Q. **Soldagem Fundamentos de Tecnologia**. Belo Horizonte – MG: Ed. UFMG, 2005, 363 p.
8. Gee, M G; Gant, A; Hutchings, I.; Bethke, R.; Schiffmann, K., Van Acker, K.; Poulat, S.; Gachon, Y.; Von Stebut, J. **Ball Cratering or Micro-Abrasion Wear Testing of Coatings** – Measurement Good Practice Guide, n. 57, 2002.
9. BUCHELY, M. F.; GUTIERREZ, J. C.; LEÓN, L. M.; TORO, A. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*, Medellin, Colômbia, v. 259, p. 52-61, 2005.

ANALYSIS OF WEAR RESISTANCE OF HARDFACING APPLIED BY WELDING THROUGH ROTATIVE FIXED BALL

ABSTRACT

In this work was done an analysis of the abrasive wear in hard coatings applied by welding. For this propose a machine was built by following the ISO 26424 standard, named “micro abrasive wear machine” or “micro abrasive wear testing machine” where the contact between a fixed sphere (rotational motion) and the specimen generates wear craters. By analyzing these craters, it is possible to predict, or estimate, the material behavior due to the wear. Test samples were prepared with ASTM A-36 steel plates material coated with FeCr sticks in different layers. The results show the influence of the different layers on the abrasion and hardness resistance. Was observed that the dilution influenced the hard coating microstructure on all wear layers. The sample tests with higher levels of primary carbides performed better than those with secondary carbides under low voltage test abrasion.

Keywords: abrasive wear, hardfacing, welding, ISO 26424-2008.