

Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo do revestimento de duas ligas metálicas utilizadas na indústria, aplicadas por soldagem com arames tubulares.

Ricardo Leite¹

Rua Zezé Camargos 117 – Esab/Eutectic – Contagem/MG – ricardo.leite@eutectic.com.br

Paulo Villani Marques²

Av. Antonio Carlos 6627 – Escola de Engenharia - Belo Horizonte/MG - pvillani@ufmg.br

Resumo

As ligas metálicas aplicadas por soldagem em superfícies, objetivando a proteção contra o desgaste e o conseqüente aumento da vida útil de peças e equipamentos, têm sido utilizadas em larga escala nas indústrias de bens de consumo e nos setores de mineração e sucroalcooleiro. O desgaste abrasivo em peças e equipamentos representa, nestas industriais, um dos principais fatores de depreciação de capital e uma importante fonte de despesas com manutenção. Para a aplicação do revestimento por soldagem, os arames tubulares têm sido uma alternativa cada vez mais viável, devido à sua alta produtividade e qualidade de solda, substituindo, em parte, o uso do eletrodo revestido. O objetivo deste trabalho é fazer um estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo do revestimento aplicado por soldagem com arames tubulares autoprotetidos de duas ligas metálicas utilizadas na indústria, uma do tipo Fe-Cr-C e outra do tipo Fe-Cr-C com adição de nióbio e boro. Os revestimentos anti-desgaste, conhecidos como revestimento duro, foram aplicados em chapas de aço carbono, com os mesmos parâmetros e procedimentos de soldagem. Os corpos de prova foram obtidos por corte e retificação e foram submetidos a ensaios de desgaste abrasivo, em um abrasômetro Roda de Borracha, conforme procedimento estabelecido pela norma ASTM G65-91. Os resultados obtidos demonstraram que a liga Fe-Cr-C com adição de Nióbio e Boro apresentou desempenho superior em relação ao desgaste abrasivo.

Palavras-chave: arame tubular; liga Fe-Cr-C; revestimento duro; roda de borracha; desgaste abrasivo

- 1. Esab/Eutectic – Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento de Consumíveis.*
- 2. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Departamento de Engenharia Mecânica*

Comparative Study of the Wear Resistance of Two Metal Cored Wire Welded Coatings Used in Industry

Abstract

The metal alloys deposited by welding on the components surface, with the objective of protection against wear and the consequent increase in the lifetime of parts and equipments, have been used extensively in the consumer products industry and sectors of Mining and Sugar & alcohol. The abrasive wear on parts and equipments represents one of the main depreciation factors of capital and the major source of expenditure on maintenance in industries. For the application of the coating by welding, cored wire have been a viable alternative, because of its high productivity and high weld quality, replacing in part, the use of the stick electrode. The objective of this work is to make a comparative study of the abrasive wear resistant coating deposited by welding with selfshielded cored wires of two metal alloys used in industry, first the Fe-Cr-C alloy and the second the Fe-Cr-C alloy with niobium and boron addition. The wear resistant coatings, known as hardfacing were deposited on carbon steel plates, with the same parameters and procedures of welding. The samples were obtained by cutting and grinding and were subjected to abrasive wear tests, in a Rubber Wheel apparatus, according to procedure established by ASTM G65-91. The results showed that the Fe-Cr-C alloy with Niobium and Boron addition presented superiority in terms of wear resistance.

Key-words: Fe-Cr-C alloy; cored wire; hardfacing; abrasive wear; Rubber Wheel testing.

1. Introdução

Fricção e desgaste são fenômenos tão antigos quanto a humanidade. No paleolítico, fogo era gerado pela fricção de madeira em madeira ou pedra [1]. Na antiga mesopotâmia existiram alguns sofisticados equipamentos tribológicos. Os antigos egípcios também fizeram uso da fricção para transporte de pesadas cargas e existem muitas figuras que demonstram que a sociedade apreciava o uso da lubrificação para reduzir o desgaste em contatos de deslizamento e rolagem [2].

Atualmente nota-se um interesse cada vez maior na otimização econômica dos processos de produção, sendo que a cada dia é dada uma maior atenção a todos os fatores que interferem nos custos, na qualidade final do produto e no meio ambiente. Dentre os segmentos industriais nesta situação estão os de produção de bens de consumo, e os prestadores de serviço, que se utilizam de processos de soldagem, destacando-se as indústrias de mineração, sucroalcooleira e de produção de aços. Nessas indústrias, o desgaste é um fenômeno que pode causar danos consideráveis em seus componentes e equipamentos. O desgaste representa um dos principais fatores de depreciação de capital e de fontes de despesas com manutenção. Segundo Gregolin [3], ele influi nos custos diretos de produção devido às necessidades de reposição ou recuperação de peças desgastadas, e também nos custos indiretos de produção pela necessidade de superdimensionamento de componentes e pelas limitações na produção devido a equipamentos deteriorados, além de interrupções muitas vezes imprevistas nas linhas de produção.

Enumeram-se quatro mecanismos pelos quais os componentes e equipamentos industriais podem perder sua utilidade: obsolescência, quebra, corrosão e desgaste. Este último, já mencionado, assume papel relevante devido à sua complexidade e também à dificuldade de sua investigação [4]. Segundo Eyre [5], o desgaste pode ser definido como a degradação da superfície do componente ou do equipamento, geralmente envolvendo remoção progressiva do material, como resultados de processos tribológicos. Eyre observou que o desgaste do tipo abrasivo é a mais freqüente forma de ocorrência em inúmeros segmentos industriais, contribuindo com cerca de 50% dos problemas industriais envolvendo desgaste.

Um método de combate a este fenômeno, tecnicamente chamada de revestimento, é a deposição de uma liga especial na superfície sujeita a esta deterioração. 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. Como o desgaste abrasivo é um resultado geralmente intrínseco das operações e dos processos onde ocorrem, seu controle e minimização dependem essencialmente da seleção de materiais e processos apropriados [4,5]

A característica que distingue o processo de soldagem por Arame Tubular de outros processos de soldagem a arco consiste no fluxo encerrados dentro de um arame que é alimentado continuamente. O processo oferece duas variações que diferem no método de proteção do arco (aramé autoprottegido e com proteção gasosa). No tipo autoprottegido a proteção do metal fundido é feita pela decomposição e vaporização de componentes do fluxo do eletrodo pelo calor do arco. No outro tipo, com proteção gasosa, faz-se uso de uma nuvem de gás protetor em adição à ação do fluxo do eletrodo [6].

O processo Arame Tubular agrega as principais vantagens do MIG/MAG, como elevados valores de taxa de deposição, rendimento e fator de trabalho do soldador, possibilitando a obtenção de alta produtividade e alta qualidade de solda. Além disso, apresenta características da soldagem manual com eletrodos revestidos, como a possibilidade de ajustes da composição química do cordão de solda, a facilidade de aplicação em campo e a alta versatilidade [6]. Segundo Conde [7], na aplicação de revestimentos duros, os arames tubulares têm sido preferidos por apresentarem maior produtividade que com eletrodos revestidos e maior flexibilidade que com arco submerso e, além disso, apresentarem menor aporte térmico, menos distorções e zona termicamente afetada (ZTA).

As ligas com alto Fe-Cr-C são particularmente atrativas para a aplicação de revestimentos duros porque podem formar uma grande variedade de micro-constituintes (carbonetos), provendo um aumento da resistência à abrasão [8].

Nos revestimentos em multicamadas estudados por Buchely et al [9] observou-se uma tendência de maior resistência ao desgaste abrasivo para os revestimentos de maior dureza. Entretanto, diversos autores, dentre os quais Kotecki e Ogborn [10] afirmam que, embora o aumento da dureza possa resultar em aumento da resistência ao desgaste, particularmente quando se compara revestimento duro aplicado sobre substrato de aço médio carbono, diferentes revestimentos com durezas similares podem ter diferentes resistências ao desgaste. Por outro lado, Buchanan et al [8] destacam que, apesar da maior dureza do revestimento

hipereutético (710 HV300) sobre o hipoeutético (450 HV300) em liga FeCrC, não se observou clara superioridade deste sobre o menos duro. Isso reforça que, apesar da importância da dureza, não é esta que governa as propriedades de resistência ao desgaste, especialmente o abrasivo de baixa tensão, mas sim, a microestrutura.

Com o objetivo de dar continuidade à linha de pesquisa descrita anteriormente, este trabalho tem como objetivo fazer um estudo comparativo, em termos de resistência ao desgaste abrasivo, de duas ligas metálicas comerciais aplicadas por arames tubulares.

2. Materiais e métodos

2.1 Soldagem dos corpos de prova

Para obtenção dos corpos de prova, foram produzidas duas placas de desgaste, através do processo de soldagem com arames tubulares autoprotetidos (FCAW) de 2,8mm de diâmetro, de duas ligas metálicas.

A primeira, denominada de liga A, é constituída de Fe-Cr-Nb-B-C, e a segunda liga, denominada de liga B, constituída de Fe-Cr-C.

As placas revestidas de aço A36 com dimensões 6,0 x 1220 x 2740 mm foram fabricadas com a deposição de uma camada única de 4mm de solda em uma chapa de aço A36 de 6 mm de espessura, obtendo-se então uma peça com de 10mm de espessura total. A soldagem foi feita com cordões de 1200 mm de comprimento e com os mesmos parâmetros de soldagem mostrados na Tabela 1. Durante a soldagem, as chapas foram postas sobre uma mesa resfriadora, para controle das propriedades do metal depositado, particularmente a microestrutura.

De cada placa fabricada foram retiradas 5 amostras (corpos de prova) da região central, nas dimensões de 10 x 25 x 75 mm e usinadas para obter-se uma superfície uniforme, conforme norma ASTM G65-91 [11], para avaliação do desgaste através do teste da “roda de borracha”. A Figura 1 ilustra parte dos corpos de prova obtidos, após corte e usinagem.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem para produção das placas revestidas

PLACA	Diâmetro (mm)	Veloc. Alimentação (cm/min)	Veloc. Soldagem (cm/min)	Corrente (A)
LIGA A (FeCrNbB)	2,8	470	20	290
LIGA B (FeCrC)				



Figura 1. Parte dos corpos de prova obtidos para testes de abrasão

2.2 Testes de desgaste abrasivo

Nos testes de abrasão utilizou-se um abrasômetro tipo Roda de Borracha, ilustrado na Figura 2, que é recomendado para simulação de desgaste abrasivo a baixas tensões, utilizando-se de areia seca como partícula abrasiva, conforme norma ASTM G65-91 [11]. Os parâmetros de teste utilizados são apresentados na Tabela 2.

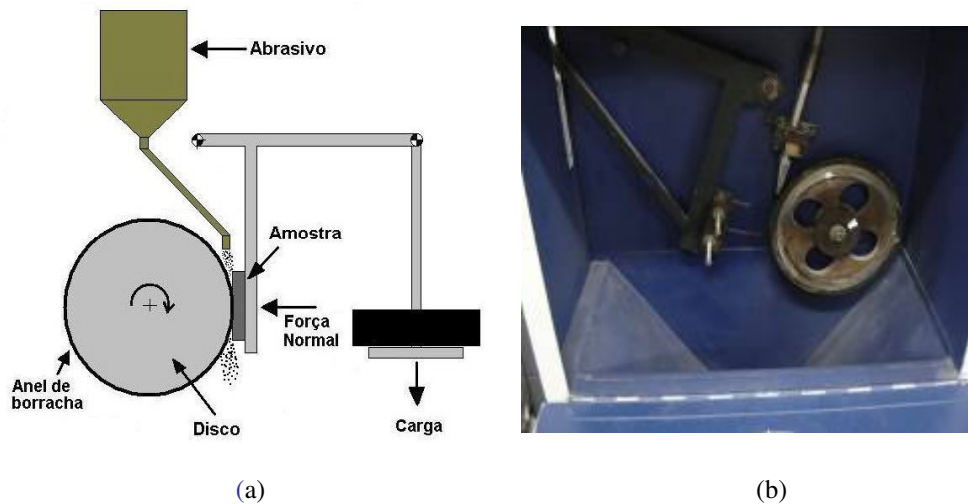


Figura 2. Esquema do abrasômetro Roda de Borracha (a) e equipamento utilizado nos ensaios (b).

Tabela 2. Parâmetros de teste utilizados no equipamento “roda de borracha”

Duração (min)	Carga (N)	Veloc. Roda Abrasiva (rpm)	Granulometria Areia (mesh)	Dureza Borracha (shore)	Diâmetro Roda Abrasiva (mm)
28	130	215	32	13,4	221,3

3. Resultados e discussão

Além dos resultados de desgaste abrasivo dos revestimentos, serão apresentados resultados de análise química, e dos ensaios de dureza e micrografia das ligas estudadas.

3.1 Dureza e composição química

Foram feitas 5 medições de dureza Rockwell C em cada corpo de prova, totalizando 25 medições em cada liga estudada. As médias dos valores obtidos para dureza, com os respectivos desvios padrões são apresentadas na tabela 3. A liga metálica que apresentou a maior dureza foi a liga A, Fe-Cr-Nb-B-C.

Tabela 3. Resultados de dureza dos corpos de prova A e B.

Corpo de prova	Dureza média (HRC)	Desvio padrão
A	61	0,3
B	58	0,4

As análises químicas das superfícies dos revestimentos testados foram obtidas pelo método de emissão óptica. O resultado é mostrado na tabela 4.

Tabela 4. Valores de composição química das placas revestidas

Tipo de liga	Corpo de Prova	Composição química (%)					
		C	Cr	Si	Nb	B	Mn
Fe-Cr-Nb-B-C	A	3,80	16,00	1,20	7,00	0,60	0,10
Fe-Cr-C	B	3,70	18,00	1,00	–	–	0,20

3.2 Análise metalográfica

A análise metalográfica, foi feita por microscopia óptica (MO) e a Figura 3 ilustra as seções polidas das duas amostras examinadas.

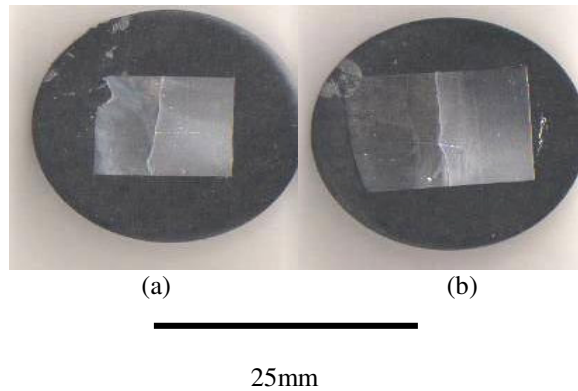


Figura 3. Superfície das amostras A e B. A parte mais escura da seção polida é o revestimento e a parte clara é a chapa base. Diâmetro do embutimento: 25mm.

As micrografias das ligas A e B são mostradas nas figuras 4 e 5 respectivamente, com aumentos de 200 e 1000 vezes e o reagente utilizado em ambas foi o nital 2%. Pode-se observar na Figura 4 que a microestrutura da liga A (Fe-Cr-Nb-B-C) é formada por carbonetos poligonais e prismáticos de ferro e cromo (áreas claras), constituinte eutético formado por carbonetos de Fe-Cr, austenita e martensita (áreas escuras). Nota-se ainda a presença de carbonetos de nióbio na forma de polígonos de tonalidade rosa. A estrutura na superfície se mostra do tipo hipereutética.

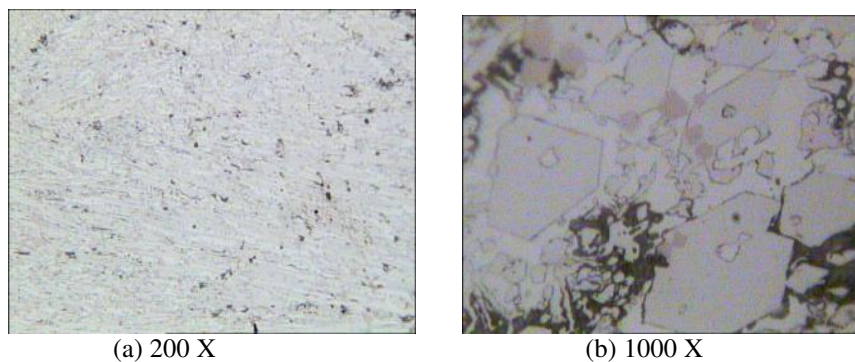
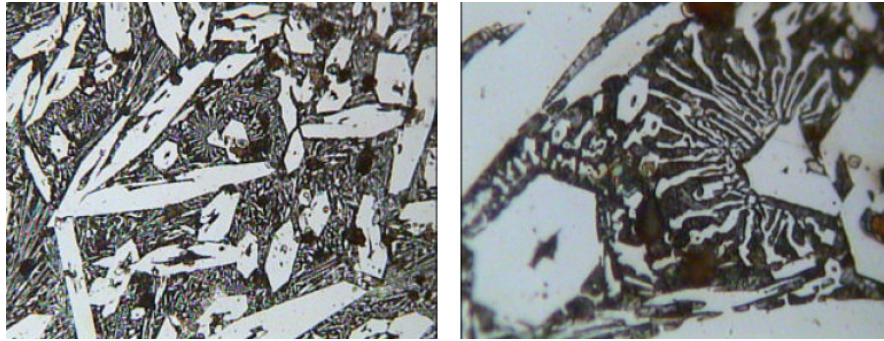


Figura 4. Microestrutura do revestimento com a liga A. Aumento: (a) 200X e (b) 1000X. Ataque: Nital 2%. (MO)

Na Figura 5 observa-se a microestrutura do revestimento com a liga B (Fe-Cr-C), constituída de carbonetos poligonais e prismáticos de ferro e cromo (áreas claras) e constituinte eutético formado por

carbonetos de Fe-Cr, austenita e martensita (áreas escuras). A estrutura na superfície se mostra do tipo hipereutética.



(a) 200 x

(b) 1000 x

Figura 5. Microestrutura do revestimento com a liga B. Aumento: (a) 200X e (b) 1000X. Ataque: Nital 2%. (MO).

Os resultados dos ensaios de desgaste abrasivo a baixas tensões são mostrados na Tabela 5 e de forma gráfica na Figura 6. Pode se observar que os valores de desvio padrão e de coeficiente de variação obtidos para ambas as amostras estão dentro dos limites estabelecidos pela norma ASTM G65-91 [11], e indicam que o procedimento e o equipamento (abrasômero) estão corretamente calibrados e foram capazes de fornecer resultados sem interferências. Observa-se também que a liga A apresentou, em todas as amostras, valores inferiores de perda de volume, quando comparada com a liga B, indicando uma maior resistência ao desgaste abrasivo da liga A, nas condições de teste apresentadas neste trabalho.

Tabela 5. Resultados do teste de desgaste abrasivo das amostras das ligas A e B.

Corpo de prova	Perda de volume (mm ³)	Desvio Padrão	Coef. De Variação
A1	5,94	0,32	5,64
A2	5,98		
A3	5,64		
A4	5,24		
A5	5,29		
B1	7,09	0,36	5,30
B2	7,07		
B3	6,93		
B4	7,15		
B5	6,30		

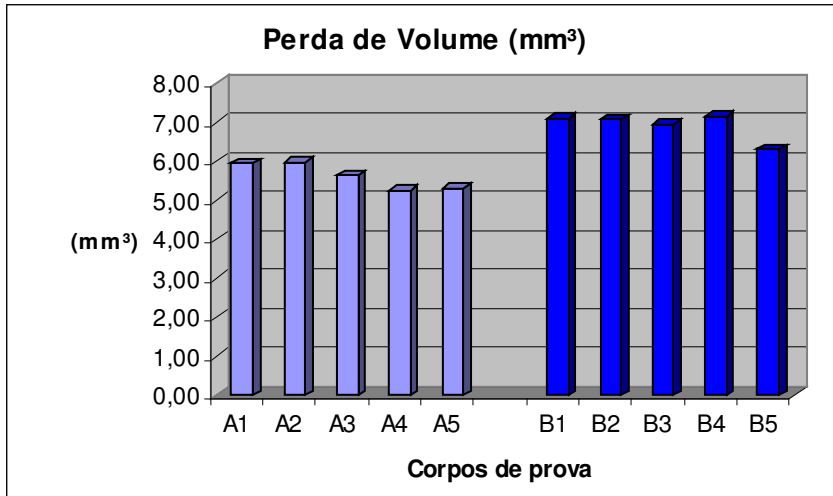


Figura 6. Avaliação comparativa de desgaste abrasivo dos corpos de prova das ligas A e B.

4. Conclusão

A partir dos dados obtidos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- A liga A (FeCrNbBC) apresentou uma maior resistência ao desgaste abrasivo, comparada á liga B (FeCrC), nas condições de testes descritas neste trabalho.
- A presença de nióbio e boro na liga A contribuiu significativamente para uma maior resistência ao desgaste, uma vez que os outros elementos químicos das duas ligas são bem parecidos, em tipo e quantidade (Fe, Cr e C)
- A liga A, que apresentou maior resistência ao desgaste abrasivo, também mostrou maiores valores de dureza.

5. Referências bibliográficas

- [1] GAHR, Karl-Heinz Zum. Microestruttre and wear of materials Tribology series, v10. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.560.
- [2]. WILLIANS, J. A. Engineering tribology. Oxford: oxford publications, 1994. p.488).
- [3]. GREGOLIN, J. A. R. – Desenvolvimento de ligas Fe-C-Cr-(Nb) Resistentes ao Desgaste. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas (1990).
- [4]. NOBLE, D. N. – The Effect of flux-cored Arc Welding Conditions on Microstructure and abrasive Wear Resistance of Two Iron-Based hardfacing Alloys.
- [5] EYRE, 1978. EYRE T. S. – Wear Characteristic of Metals, Source Book on Wear Control Tecnology, ASM, Metals Park, Ohio – Usa, (1978).
- [6] AWS - American Welding Society, Welding Handbook - Welding Processes, vol.2; 8ª edição, USA, 955p, 1991.
- [7] CONDE, R.H. Recubrimentos Resistentes al Desgaste, Boletim Técnico Conarco, Buenos Aires, Argentina, Año 12, nº 85, 40 pp., 1986.
- [8] BUCHANAN, V. E., SHIPWAY P. H. e Mc CARTNEY, D. G. Microstructure and Abrasive Wear Behaviour of Shielded Metal Arc Welding Hardfacings Used in the Sugarcane Industry. Wear.12.053; 2006, p. 1-12, 2006.
- [9] BUCHELY, M. F. GUTIERREZ, J. C. LEÓN, L. M. e TORO, A. The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys. Tribology International. Vol. 259, p. 52-61, 2005.

- [10] KOTECKI D. J. e OGBORN, J. S. Abrasion Resistance of Iron Based Hardfacing Alloy. *Welding Journal*. p. 269s – 278s. (8) aug. 1995.
- [11] ASTM, Standard Test Method for Measuring Abrasion Using The Dry Sand/Rubber Wheel Aparatus, ASTM G65-91, p. 231-243, 1991.