

# AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO DE REVESTIMENTOS SOLDADOS DO TIPO Fe-C-Cr UTILIZADOS NA INDÚSTRIA SUCRO ALCOOLEIRA <sup>(1)</sup>

*Rubens Ribeiro <sup>(2)</sup>  
Vicente Afonso Ventrella <sup>(3)</sup>  
Juno Gallego <sup>(3)</sup>*

## Resumo

O principal objetivo do trabalho foi estudar a influência do aporte térmico, na resistência ao desgaste abrasivo a baixa tensão, em soldas de revestimento duro do tipo Fe-C-Cr, realizadas pelo processo eletrodo revestido (SAER) manual em componentes utilizados na indústria sucroalcooleira. Para a obtenção dos corpos de prova utilizou-se como metal base o aço ASTM A-36 e como consumível de soldagem um eletrodo revestido do tipo Fe-5C-43Cr. Os corpos de prova foram obtidos com diferentes aportes térmicos, na condição de uma camada. Posteriormente foram realizados ensaios de dureza, ensaios de desgaste a baixa tensão (norma ASTM G-65-91) e cálculo das taxas de diluição. Dos resultados obtidos ficou evidenciada a influência do aporte térmico na resistência a abrasão a baixa tensão, assim como uma certa correlação entre dureza e resistência ao desgaste. A diluição mostrou-se influente na formação da microestrutura do revestimento, sendo que as amostras com maior fração volumétrica de carbonetos primários, do tipo  $M_7C_3$ , apresentaram a menor perda de volume, portanto maior resistência ao desgaste abrasivo a baixa tensão.

**Palavras-chave:** Soldagem; Revestimento duro; Desgaste abrasivo; ASTM G-65-91.

<sup>(1)</sup> Trabalho apresentado no 60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – 25 a 28 de julho de 2005 – Belo Horizonte-MG

<sup>(2)</sup> Professor da Escola Técnica Estadual Paula Souza – Ilha Solteira - SP

<sup>(3)</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP – Campus de Ilha Solteira  
ventrella@dem.feis.unesp.br

## 1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias sucroalcooleiras o processo de soldagem por eletrodo revestido é um dos mais utilizados na recuperação de martelos desfibradores, devido a sua facilidade e baixo custo de operação. Os parâmetros mais importantes deste processo são: corrente de soldagem, tensão do arco e velocidade de soldagem.

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 ].

A deposição do consumível pode ser executada em passes simples ou múltiplos, aplicando-se a tarugos, barras, tubulações, chapas e perfis, dentre outras formas de metal base. Neste sentido, alguns parâmetros devem ser especialmente controlados, além daqueles normalmente monitorados como tensão, corrente elétrica, velocidade de soldagem, etc... O problema crítico é conciliar as altas tensões do material para amplas faixas de temperaturas que resistam às acomodações de contração.

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 ].

Em relação ao tipo de abrasão, há vários mecanismos de desgaste por abrasão descritos na literatura, entre eles, abrasão por goivagem, abrasão a alta tensão (moagem) e abrasão a baixa tensão (riscamento), sendo este último, objeto do nosso estudo[ 4 ].

O equipamento para ensaio de desgaste abrasivo a baixa tensão é recomendado pela norma ASTM G 65-91 [ 5 ]. O princípio de funcionamento deste equipamento, consiste em esmerilhar um corpo de prova padronizado com areia de tamanho de grão e composição controladas. O abrasivo é introduzido entre o corpo de prova e um anel de borracha de dureza especificada, provocando riscamento. Neste ensaio o corpo de prova é pressionado contra a roda de borracha que está girando, por meio de um braço de alavanca com peso especificado, enquanto que o fluxo de areia esmerilhando a superfície do corpo de prova é controlado a uma vazão de 300 a 400 g/min. Os corpos de provas são pesados antes e após o ensaio e a perda de massa é determinada. Para possibilitar a comparação entre vários metais, torna-se necessário converter a perda de massa para perda de volume em milímetros cúbicos, devido à grande diferença nas densidades dos materiais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Metal Base e Metal de Adição

O metal base utilizado para a soldagem dos revestimentos foi o aço estrutural ASTM A-36, com as seguintes dimensões: 120 mm de comprimento, 25 mm de largura e 12,7 mm de espessura. A Tabela 1 apresenta a composição química nominal fornecida pelo fabricante.

Como consumível de soldagem foi utilizado eletrodo revestido, com 4,0 mm de diâmetro, do tipo Fe-Cr-C. Esse consumível se enquadra na classificação das ligas de revestimento, de acordo com a composição química, como do grupo 2, mais precisamente na classe dos ferros fundidos austeníticos. A composição química fornecida pelo fabricante é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 1.** Composição química do metal base.

Composição Química (% em peso)					
C	Mn	P	S	Si	Cu
0,25	0,80 – 1,20	0,040	0,050	0,40	0,20

**Tabela 2.** Composição química e dureza do metal de adição.

Composição Química (% em peso)					Depósito de solda (Dureza – HRC)
C	Si	Mn	Cr	Fe	
5,300	1,250	0,850	42,000	Restante	62,00

### 2.2 Areia Seca

Como material abrasivo, foi utilizado areia de sílica AFS (American Foundry Society) 50/70, denominada comercialmente por Areia Quartzosa Industrial, fornecida pela Empresa Apalan Stones – Comércio de Areia e Pedregulhos, da cidade de Panorama-SP. Esta areia foi submetida a um peneiramento de modo a adequar a sua granulometria às dimensões especificadas pela norma ASTM G 65-91, que estabelece uma porcentagem de 5% max. de retenção na peneira 50 e 95% min. na peneira 70.

### 2.3 Procedimento de Soldagem

Os parâmetros de soldagem utilizados nesse trabalho estão mostrados na Tabela 3. Os corpos de prova foram obtidos através da soldagem manual de uma camada com cordões longitudinais ao seu comprimento, mantendo uma temperatura entrepasse de 150°C.

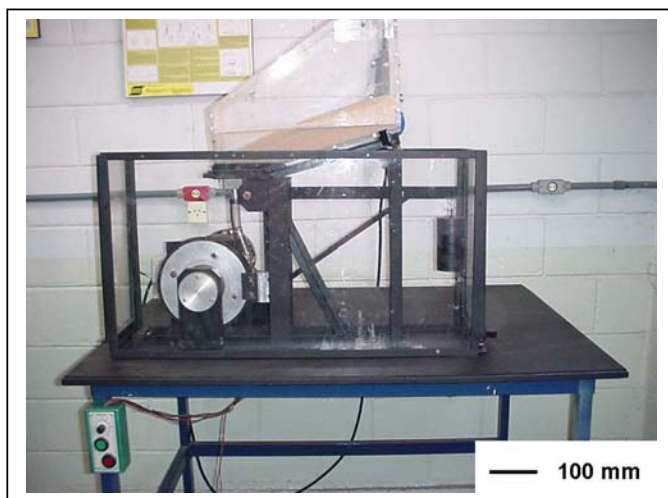
**Tabela 3.** Parâmetros de soldagem.

CDP	Corrente de soldagem (A)	Aporte térmico (kJ/mm)
ER10	100	0,58
ER12	120	0,70
ER14	140	0,81
ER16	160	0,93
ER18	180	1,04

## 2.4 Ensaio de Desgaste com Roda de Borracha

Para os ensaios de desgaste à baixa tensão, foi utilizado o equipamento de roda de borracha do Labsol Laboratório de Soldagem, do Departamento de Engenharia Mecânica, construído segundo a norma ASTM G 65-91 e mostrado na Figura 1.

Os corpos de prova foram preparados e ensaiados segundo os procedimentos da norma ASTM G 65-91, no equipamento denominado Roda de Borracha mostrado na figura 2.1. A força exercida pelo corpo de prova sobre a roda de borracha, de acordo com a norma foi de 130 N. A rotação da roda de borracha foi fixada em 200 rpm, para um ensaio de 6000 ciclos, portanto 30 minutos para cada ensaio. O fluxo de areia durante os ensaios foi mantido em 350 gramas/minuto, vazão estabelecida pela norma ASTM G 65-91.



**Figura 1.** Equipamento de Roda de Borracha e areia seca (ASTM G65-91).

Após a soldagem de revestimento dos corpos de prova, os mesmos foram retificados em todas as faces. Posteriormente foram realizados ensaios de dureza Vickers segundo a norma ASTM E 92-82 [ 6 ].

As análises metalográficas foram realizadas através de microscopia ótica em amostras cortadas transversalmente ao sentido de soldagem. As mesmas foram lixadas e polidas com alumina 1,0 e 0,3  $\mu\text{m}$ , sendo as microestruturas reveladas através de solução de nital 2%.

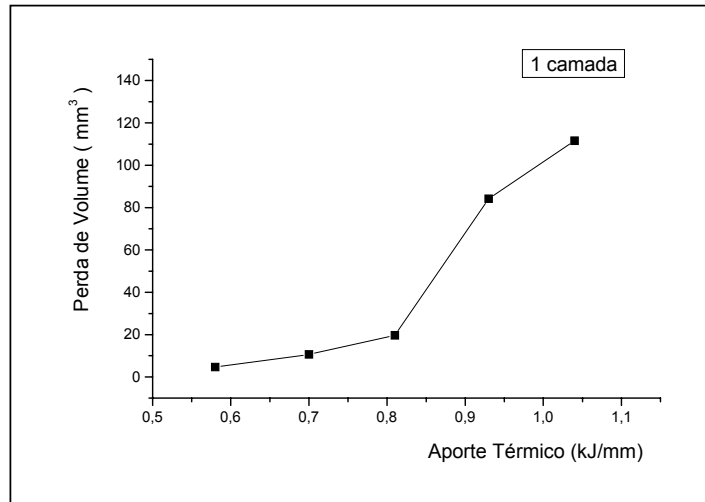
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho para resistência ao desgaste por abrasão à baixa tensão (perda de volume em  $\text{mm}^3$ ), para depósitos com uma camada e, soldados com correntes de 100 A, 120 A, 140 A, 160 A e 180 A, com os respectivos aportes térmicos são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Perda de volume ( $\text{mm}^3$ ) em função da corrente de soldagem (A).

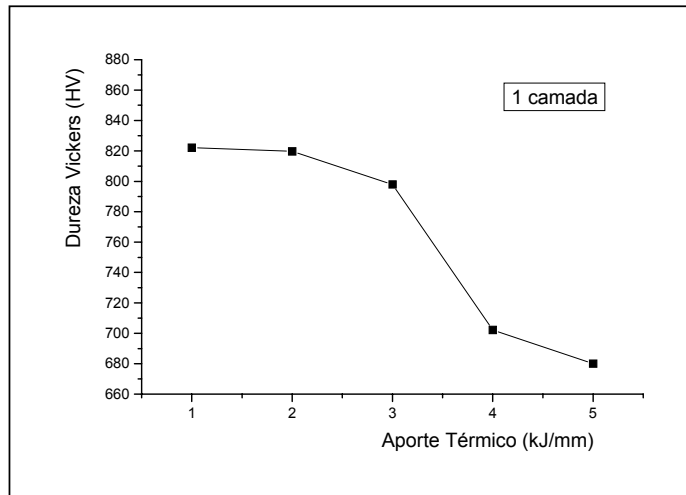
CORRENTE (A)	100 A	120 A	140 A	160 A	180 A
APORTE TÉRMICO (kJ/mm)	0,58	0,70	0,81	0,93	1,04
PERDA DE MASSA (g)	0,0369	0,0831	0,1511	0,6569	0,8707
PERDA DE VOLUME ( $\text{mm}^3$ )	4,73	10,65	19,73	84,22	111,63

A Figura 2 mostra a relação entre perda de volume e o aporte térmico para os depósitos com uma camada, onde pode-se observar que o aumento da corrente de soldagem resulta num aumento da perda de volume, sendo esta relação devido ao aumento da diluição, ou seja, a medida em que se aumenta a corrente aumenta-se a taxa de diluição, e portanto alta taxa de diluição, propicia a formação de microestruturas com baixa fração volumétrica de carbonetos de cromo primário.



**Figura 2.** Perda de Volume ( $\text{mm}^3$ ) em função do aporte térmico.

Através das medidas de dureza verificou-se que não ocorreram grandes variações de dureza para uma mesma amostra, tanto na face de revestimento quanto na seção transversal da amostra. Todavia, analisando o conjunto de amostras, observou-se que houve uma discreta diminuição da dureza à medida em que se aumentava a corrente de soldagem., ou seja, houve uma diferença de 142,17 HV entre a maior e a menor dureza. A Figura 3 mostra a relação entre a dureza do revestimento e o aporte térmico.

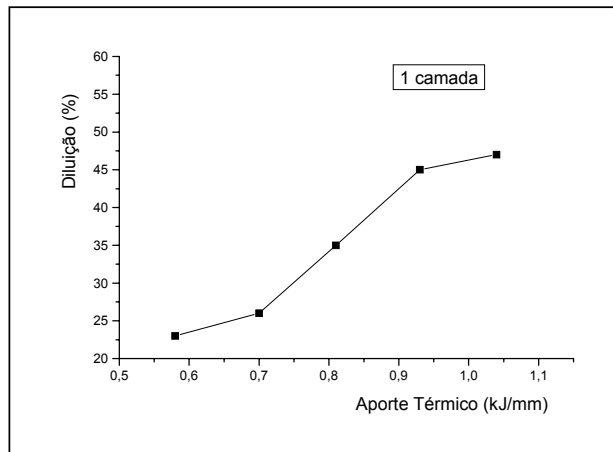


**Figura 3.** Relação entre o aporte térmico e a dureza do revestimento.

Os resultados de dureza encontrados neste trabalho estão de acordo com os encontrados por Kotecki e Ogborn [ 2 ], que concluíram que a dureza não é o melhor indicador da resistência ao desgaste, e sim a microestrutura. Um aumento de dureza nem sempre significa um aumento da resistência ao desgaste abrasivo, pois a partir de um certo valor de dureza a taxa de desgaste não aumenta necessariamente com o valor da dureza Vickers. Portanto, é difícil avaliar a resistência ao desgaste somente pela dureza, deve-se analisar também a microestrutura do material do revestimento. Deve evitar relacionar diretamente dureza com a resistência a abrasão, já que os ensaios de dureza convencionais são quase-estáticos, e diferentes das condições onde a superfície metálica é atingida por partículas abrasivas em velocidades relativamente elevadas.

Normalmente, devido ao problema da diluição, os trabalhos realizados para estudo de resistência ao desgaste em revestimentos soldados por processo a arco elétrico utilizam mais de uma camada. As composições químicas dos metais de solda para revestimentos anti desgaste começam a se estabilizar a partir da terceira camada. No presente trabalho, fez-se um estudo em amostras revestidas com uma camada, variando principalmente o parâmetro corrente de soldagem no sentido de estabelecer qual a melhor condição em termos de resistência abrasiva em função do aporte térmico.

Através da Figura 4 pode-se observar que existe uma relação entre o aporte térmico e a diluição, ou seja, à medida em que se aumenta a corrente de soldagem, aumenta-se também a taxa de diluição. De forma geral uma maior diluição tem influência negativa na resistência ao desgaste por abrasão. Pode-se verificar através da Figura 4 que para as amostras com uma camada, há uma tendência bem acentuada de aumento de perda de volume com o aumento da diluição onde verifica-se uma maior perda de volume nos pontos que registraram maior diluição. Este resultado, é explicado pela relação que existe entre a diluição e a composição química do metal depositado e conseqüentemente com a microestrutura final do revestimento.



**Figura 4.** Relação entre aporte térmico e diluição.

A diluição também tem influência sobre a fração volumétrica de carbonetos formado no revestimento. Resultados obtidos por Edwards et al [ 1 ], mostraram que a diluição do metal de base reduz o teor de C e Cr nos revestimentos de ligas de ferro austenítico de alto cromo, diminuindo a fração volumétrica dos carbonetos. No caso de uma diluição baixa, Edwards et al [ 1 ] encontraram uma grande fração volumétrica de carbonetos do tipo  $M_7C_3$ , em ligas a base de carboneto de titânio, carbonetos estes não encontrados para altos valores de diluição.

A geometria dos cordões para os corpos de prova de uma camada comportou-se de forma regular, variando em faixas muito próximas. Todas as dimensões do cordão variaram de acordo com a variação dos parâmetros de soldagem, efeito já esperado. A maior variação da geometria verificada, é a largura do cordão, que está relacionada diretamente com a variação da corrente de soldagem utilizada. A Figura 5 mostra uma macrografia das camadas depositadas (corte transversal).

Segundo Kotecki [ 2 ] no caso de materiais muito duros, tais como carbonetos de cromo, não devem ser aplicados mais que duas camadas para prevenir excessivo trincamento. Devido a isto, os carbonetos de cromo estão projetados para trincar como uma forma de alívio de tensões, e recomenda-se que a primeira camada seja aplicada com uma velocidade de soldagem alta para conseguir uma grande quantidade de trincas pequenas ao invés de poucas mas de tamanho maior.

No presente trabalho as trincas superficiais que apareceram nas amostras ensaiadas são típicas de resfriamento que surgem para reduzir as tensões residuais devido a contração durante o resfriamento, sendo que essas são afetadas pela composição química do revestimento, nesse caso, revestimentos da classe Fe-C-Cr. As trincas surgidas no revestimento não mostraram influência sobre a perda de volume das amostras ensaiadas já que os melhores resultados de resistência ao desgaste de abrasão a baixa tensão foram verificados nas amostras que apresentaram trincas superficiais. A Figura 6 mostra o corpo de prova soldado com 100 A, onde pode-se observar trincas superficiais.

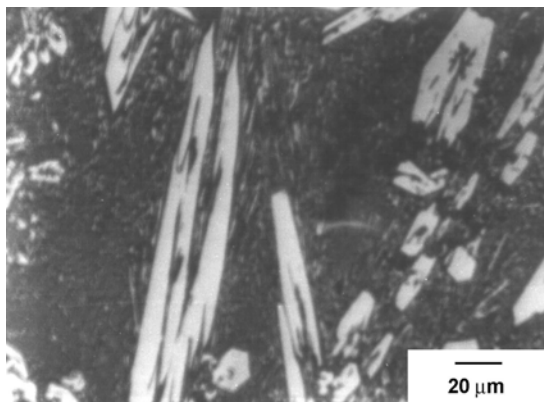


**Figura 5.** Macrografia das camadas depositadas. ER10. Ataque nital 2%.

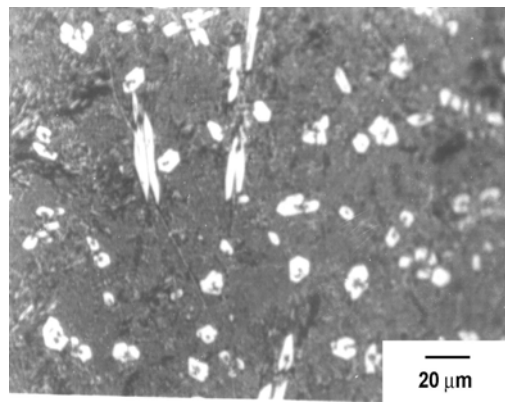


**Figura 6.** Trincas superficiais. ER12. Ataque nital 2%.

Através das análises micrográficas foi possível observar que as amostras soldadas com 100 e 120 amperes, isto é, com elevados taxas de resfriamento, apresentaram uma microestrutura com alta fração volumétrica de carbonetos primários grosseiro, enquanto que as amostras soldadas com correntes de soldagem elevadas, isto é, baixa taxa de resfriamento, apresentaram uma microestrutura com baixa fração volumétrica de carbonetos primários finos. As Figuras 7 e 8 mostram microestruturas representativas das amostras ER10 e ER18.



**Figura 7.** Microestrutura do metal depositado da amostra ER10. Aumento 250 X. Ataque nital 2%.



**Figura 8.** Microestrutura do metal depositado da amostra ER18. Aumento 250 X. Ataque nital 2%.

Através dos resultados apresentados pode-se dizer que as amostras soldadas com baixo aporte térmico apresentaram uma microestrutura grosseira de carbonetos primários, elevada dureza e baixa perda de volume, enquanto que as amostras soldadas com elevado aporte térmico apresentaram uma microestrutura fina de carbonetos primários, baixa dureza e elevada perda de volume.



## 4 CONCLUSÃO

- O aporte térmico tem uma significativa influência na resistência à abrasão a baixa tensão na liga estudada.
- Os melhores resultados experimentais de resistência ao desgaste à abrasão a baixa tensão para revestimentos com uma camada foram obtidos na condição de alta taxa de resfriamento.
- A dureza do revestimento não apresenta uma relação direta com a resistência à abrasão a baixa tensão, não sendo o melhor indicador de perda de volume.
- A diluição do metal de base provocou diferenças significativas nas microestruturas dos revestimentos obtidos.
- Das microestruturas obtidas, a de maior resistência à abrasão foi aquela composta de carbonetos primários grosseiros.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Usina de Açúcar e Álcool Pioneiros, à FAPESP e à FUNDUNESP pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## 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 EUTECTIC&CASTOLIN – Aplicações & Sistemas – Catálogo Geral de Produtos – Eutectic do Brasil Ltda, 2003.
- 5 ASTM – Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. **ASTM G 65-91** – p. 231-243, 1991.
- 6 ASTM – Standard Test Method for Vickers hardness of mettalic materials, **ASTM. E 92-82**– p. 260-298, 1982.

# ANALYSIS OF FE-C-CR ALLOY AS ABRASIVE WEAR RESISTANT COATING DEPOSITED BY WELDING IN SUGAR AND ALCOHOL INDUSTRIES

*Rubens Ribeiro*<sup>(2)</sup>  
*Vicente Afonso Ventrella*<sup>(3)</sup>  
*Juno Gallego*<sup>(3)</sup>

## **Abstract**

The application of shielded metal arc welding process for hardfacing aiming the enhance of wear resistance, applied in sugar and alcohol industries, is presented in this work. The consumable was Fe-Cr-C, and the base plate is a structural steel ASTM A-36. The influence of the welding process variables such as: current, voltage and travel speed were evaluated and related to its influence on the characteristics of the hardness dilution, bead dimension and microstructure of hardfacing. The aim was to maximize the low stress abrasion resistance obtained by the standard test ASTM G-65-91. To optimize the welding conditions, an experimental design was applied to obtain a wide range of weld deposits with different characteristics and wear resistances. There was evidence of the influence of the welding process variables in the abrasion resistance and some relation between the hardness and wear resistance. The dilution influenced the microstructure of the hardfacing for all weld deposits; those with higher primary carbides contents had performance better than those with secondary carbides under low stress abrasion test conditions.

**Key-words:** Welding; Hardfacing; Abrasive wear; ASTM G 65-91.