

# **III COBEF**

## **Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**

**O Fórum de Discussão da Engenharia de Fabricação no Brasil**  
**18 a 21 de maio de 2003**  
**Uberlândia - MG**

Promoção:



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E CIÊNCIAS MECÂNICAS

Organização:



Patrocínio:



UNIMINAS



Co-Patrocínio:



CREA-MG



BANCO DO BRASIL

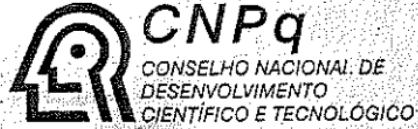
SOUZA CRUZ

Apoio Institucional:



Fundação de Amparo à Pesquisa do  
Estado de Minas Gerais

CAPES



CONSELHO NACIONAL DE  
DESENVOLVIMENTO  
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO



## AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO A BAIXA-TENSÃO DE REVESTIMENTOS SOLDADOS POR ARCO SUBMERSO

Ms. Márcia Fernanda Martins Dias

[marcia.mdias@terra.com.br](mailto:marcia.mdias@terra.com.br)

Prof. Associado Samuel Irati Novaes Gomes

[irati@sc.usp.br](mailto:irati@sc.usp.br)

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos

Avenida Trabalhador São-carlense, 400

Caixa postal 359, CEP 13560-970 - São Carlos -SP

Fone: (16) 2739591, Fax: (16) 2739590

D541~

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo o estudo da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos duros soldados por arco submerso. Foram analisadas duas condições de soldagem com quatro fluxos comerciais objetivando melhorar o desempenho dos revestimentos soldados com arco submerso quando submetidos a um desgaste abrasivo a baixa-tensão.

Com os dados recolhidos em uma indústria de recuperação de peças rodantes de tratores, foi feito um pré-estudo de como poderia ser melhorado o desempenho destas peças com modificações nos parâmetros de soldagem e no fluxo utilizado. Fez-se modificações na tensão do arco, na corrente de soldagem, na velocidade de soldagem e na extensão do eletrodo. Foram utilizados dois conjuntos de parâmetros (identificados como 01 e 02) de soldagem e quatro fluxos comerciais (identificados como E, M, L e R) formando assim oito condições de soldagem. Foram feitas duas camadas com três cordões de solda cada sobre uma chapa base de aço SAE 1020. A resistência ao desgaste abrasivo a baixa-tensão foi avaliada pelo ensaio de desgaste do tipo Roda de borracha/areia seca. A análise microestrutural foi feita por microscopia óptica e a análise da região desgastada por microscopia eletrônica de varredura.

Obteve-se um melhor desempenho dos cordões de soldado conjunto 01 independentemente do fluxo utilizado. A martensita de agulhas foi a microestrutura com a qual obteve-se os melhores resultados de desgaste abrasivo a baixa tensão em relação à martensita revenida. A dureza demonstrou não ser o fator determinante da resistência à abrasão a baixa tensão e sim a microestrutura.

**Palavras-chave:** revestimento duro, soldagem por arco submerso, desgaste abrasivo.

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por arco submerso é um dos mais utilizados na indústria de revestimentos devido a sua alta taxa de deposição e a automatização do processo que facilitam a deposição do recobrimento no metal de base com boa qualidade e praticamente sem defeitos. As variáveis mais importantes deste processo são: corrente de soldagem, tensão do arco, velocidade de soldagem, extensão e diâmetro do eletrodo<sup>[1,2,3]</sup>.

O desgaste abrasivo é o que ocorre com mais freqüência, também é o mais destrutivo e ele corresponde a 50% dos casos de falha por desgaste. No desgaste abrasivo ocorre o deslocamento de material causado pela presença de partículas duras que estão entre ou embutidas em uma ou ambas superfícies em movimento relativo. Um dos testes para se obter a resistência ao desgaste abrasivo

1312745

060603

SYSNO 1312745  
PROD 002405

ACERVO EESC

dos materiais comparativamente é o teste da roda de borracha/areia seca. O corpo de prova é pressionado contra uma roda de borracha em movimento rotativo e entre esta e a amostra passa um fluxo de areia que desgasta a amostra. O teste fornece a resistência ao desgaste pela medida da perda de volume sofrida pela amostra<sup>[4]</sup>

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Chapa base, arame e fluxos

Neste trabalho foi utilizada uma chapa laminada de aço SAE 1020 com dimensões de 310,0 x 120,0 x 25,4mm como metal de base para a deposição do revestimento.

Como consumíveis foram utilizados o arame com especificação da norma AWS EL-12 com diâmetro nominal de 3,175mm (1/8") e quatro fluxos ligados comerciais denominados neste trabalho como: E (mistura de dois fluxos utilizada na indústria), M, L e R.

### 2.2. Procedimento de Soldagem

Foram utilizados dois conjuntos de parâmetros de soldagem mostrados na Tabela 01. O conjunto 02 é utilizado na indústria e o conjunto 01 é uma condição melhorada através de dados da literatura. Corrente contínua com polaridade direta (CC-) foi utilizada em ambos conjuntos.

Tabela 01 - Dois conjuntos de parâmetros de soldagem dos cordões de solda.

Parâmetros de soldagem	Conjunto 01	Conjunto 02
Velocidade (cm/min)	55	50
Extensão do eletrodo (mm)	35,0	25,5
Tensão (V)	30	26
Corrente (A)	450	440
Aporte de calor (kJ/cm)	14,7	13,7

Com estes dois conjuntos de parâmetros utilizou-se o arame EL-12 e variou-se o fluxo para todos os cordões de solda. Então foram feitas oito condições distintas que estão mostradas na Tabela 02.

Tabela 02 - Condições dos oito cordões de solda

Condição	1E	2E	1M	2M	1L	2L	1R	2R
Conjunto de parâmetros	1	2	1	2	1	2	1	2
Fluxos comerciais	E	E	M	M	L	L	R	R

### 2.3. Ensaio de Dureza Vickers

O equipamento utilizado para as medidas de dureza foi um durômetro Leco RT-240. As normas utilizadas foram ASTM E 140-95<sup>[5]</sup>, ASTM E 19-94<sup>[6]</sup> e ASTM E 92-82<sup>[7]</sup>. Fez-se cinco medidas da região central do corpo de prova, calculou-se a média e o desvio padrão das cinco medidas.

### 2.4. Ensaio de Desgaste da Roda de Borracha / Areia Seca

O ensaio de desgaste foi feito em um abrasômetro do tipo Roda de borracha/areia seca do Laboratório de Tribologia do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística – USP - São Carlos conforme especificações da norma ASTM G65-94<sup>[4]</sup>.

O ensaio foi conduzido conforme a norma ASTM G65-94<sup>[4]</sup> Procedimento A para todos os corpos de prova. Os parâmetros do ensaio estão na Tabela 03. A média e o desvio padrão da perda de volume foram calculados para todas as amostras.

Tabela 03 - Parâmetros do ensaio de desgaste

Areia	50/70
Fluxo de areia	330g/min
Força contra cp	130N
Número de voltas	6000

## 2.5 - Análise Química dos Cordões de Solda

A análise química dos oito cordões foi feita por espectrometria de plasma com material excedente dos corpos de prova.

## 2.6. Análise Metalográfica e Análise Superficial

### 2.6.1.- Macrografia

A macrografia foi feita somente para os dois conjuntos de parâmetros de soldagem mostrando a diferença na aparência e na forma dos cordões com a mudança dos parâmetros. Fez-se o lixamento das amostras em lixas d'água de 80, 150, 320, 400 e 600. O polimento foi feito em óxido de cromo 10µm. Para o ataque usou-se Nital 2%.

### 2.6.2. Micrografia

Da extremidade de um corpo de prova de cada condição foi retirado um quadrado de aproximadamente 10,0mm de aresta, em corte transversal, para análise microestrutural. A região não apresentava desgaste nenhum. Estes quadrados foram embutidos a frio em resina de estireno. Fez-se o lixamento em lixas d'água de 80, 150, 320, 400 e 600. O polimento foi feito primeiramente em óxido de cromo 10µm e depois em pasta de diamante 6,0µm, 3,0µm, 1,0µm e 0,25µm seqüencialmente. Para revelar a microestrutura as amostras foram atacadas com Nital 2%.

### 2.6.3. Fotografia do Corpo de Prova Desgastado

Uma foto de um corpo de prova desgastado foi feita para mostrar a aparência da região desgastada e sua localização exata em todos os corpos de prova submetidos ao ensaio de desgaste.

### 2.6.4. Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

Para fazer a análise da superfície desgastada foram retirados da região central desgastada de um corpo de prova de cada condição um cubo de aproximadamente 10,0mm de aresta. O equipamento utilizado para as fotos foi um microscópio eletrônico de varredura DSM - 960. Foram feitas uma foto com aumento de 1000X para cada condição mostrando assim a aparência dos sulcos deixados pelo abrasivo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 - Análise Química dos Cordões de Solda

A Tabela 04 demonstra o resultado das análises químicas dos principais elementos químicos em porcentagem de peso dos oito cordões de solda.

Tabela 04 - Análise química dos oito cordões de solda.

% peso	Fe	C	Si	Mn	P	Cr	Ni
1E	96.091	0.2737	0.4340	1.0652	0.0237	1.7420	0.054
2E	96.926	0.2251	0.3714	0.9020	0.0218	1.2521	0.0508
1L	97.020	0.1824	0.3568	1.0996	0.0253	1.0037	0.0498
2L	97.368	0.1637	0.2859	0.9471	0.0219	0.9282	0.0486
1M	96.612	0.1823	0.4768	0.8233	0.0257	1.4787	0.0497
2M	97.315	0.1457	0.3950	0.7384	0.0240	1.0206	0.0489
1R	95.936	0.3819	0.3442	1.1389	0.0251	1.9258	0.0494
2R	96.295	0.2579	0.3397	1.0856	0.0239	1.7418	0.0497

Pode-se observar através da Tabela 04 que o conjunto de soldagem 01 foi responsável por uma maior absorção dos elementos de liga dos fluxos, pois o eletrodo e a chapa base são neutros, ou seja, não contribuem para adição de elementos de liga no cordão de solda. Ocorreu aumento dos teores de carbono, manganês e cromo principalmente, independentemente do fluxo utilizado. Esse aumento ocorreu devido o aumento da tensão do arco elétrico que provoca uma maior absorção dos elementos de liga do fluxo. Essa variação do teor dos elementos de liga foi responsável pela microestrutura final diferenciada das amostras.

O uso dos fluxos E e R resultou no aumento dos teores de C e Cr que foi responsável pela microestrutura diferenciada desse cordões de solda em relação aos demais. Os teores de cromo e carbono estão maiores nas amostras 1E, 1R e 2R que apresentaram uma microestrutura final de martensita de agulhas e são as amostras que apresentaram um melhor desempenho nos ensaios de desgaste abrasivo à baixa tensão em relação às demais amostras.

### 3.2.- Fotografia do Corpo de Prova

A Figura 01 mostra a aparência de um corpo de prova após o ensaio de desgaste. Podemos observar o alinhamento da roda de borracha em relação ao corpo de prova e a uniformidade dos riscos.

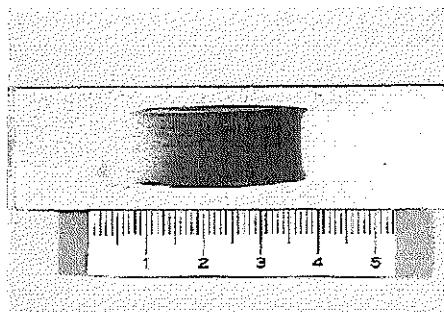


Figura 01 - Fotografia do corpo de prova após o ensaio de desgaste.

### 3.3. Macrografias

Na Figura 02 estão as macrografias da secção transversal da solda de múltiplos passos mostrando os dois conjuntos de parâmetros de soldagem. O conjunto 01, representado pela fotografia (a) mostra cordões um pouco mais largos em relação ao conjunto 02, representado pela fotografia (b) com cordões mais estreitos e mais altos.

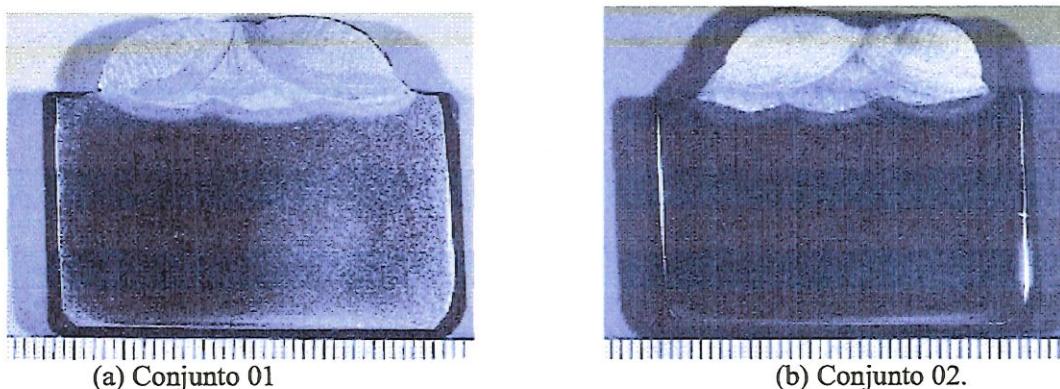


Figura 02 - Macrografias dos dois conjuntos de parâmetros de soldagem.

### 3.4 - Resultados do Ensaio de Dureza

A Tabela 05 mostra os resultados do ensaio de dureza Vickers para os oito cordões de solda na região central do corpo de prova. Pode-se observar que os cordões da condição 01 apresentaram uma dureza superior em relação aos respectivos cordões da condição 02.

Tabela 05 - Medidas de dureza Vickers na região central dos oito cordões de solda

Cordão	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média $\pm \sigma_{x(n-1)}$
1E	364.8	350.4	356.7	358.5	352.2	356.5 $\pm$ 5.7
2E	327.9	327.0	316.4	317.2	329.7	323.6 $\pm$ 6.3
1M	273.4	261.2	274.8	278.3	286.2	274.8 $\pm$ 9.1
2M	224.4	225.6	226.2	226.8	220.8	224.8 $\pm$ 2.4
1L	264.2	264.8	270.8	270.8	272.0	268.5 $\pm$ 3.7
2L	225.6	227.4	229.2	223.8	227.4	226.7 $\pm$ 2.1
1R	337.8	336.0	349.5	336.0	347.7	341.4 $\pm$ 6.6
2R	266.6	274.1	274.8	271.4	279.0	273.2 $\pm$ 4.6

### 3.5. Micrografias

A Figura 03 mostra as microestruturas das regiões centrais dos cordões de solda. Pode-se observar as modificações das microestruturas com a mudança dos parâmetros de soldagem e com a variação dos consumíveis.

Através da Figura 03 pode-se observar que a microestrutura na amostra 1E é predominante de martensita de agulhas enquanto que a amostra 2E apresenta predominantemente martensita revenida. As amostras 1M e 1L apresentam martensita revenida mais refinada em relação às amostras 2M e 2L respectivamente e também regiões de ferrita (regiões brancas da foto). As amostras 1R e 2R apresentam uma matriz martensítica de agulhas sendo que 1R está mais refinada. Essas microestruturas são resultantes da composição química dos cordões e dos ciclos térmicos que ocorreram durante o processo de soldagem dos cordões.

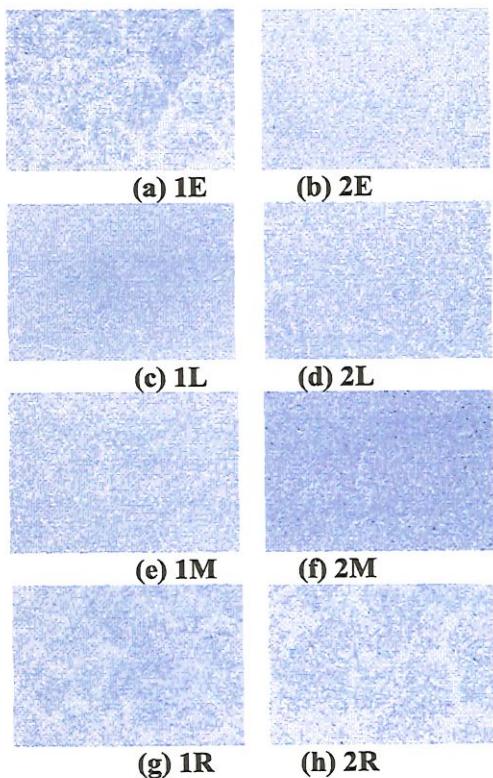


Figura 03- Fotografias das microestruturas dos cordões.

### 3.6. Resultados do Ensaio de Abrasão

A Tabela 06 mostra o resultado da média com o desvio padrão das medidas do ensaio de desgaste a baixa-tensão e o coeficiente de variação como requer a norma.

Tabela 06 - Resultados do ensaio de abrasão mostrando o coeficiente

Cordões	Coeficiente de Variação ( $v$ )	Média $\pm \sigma_{x(n-1)}$ ( $\text{mm}^3$ )
1E	3.59	$33.7 \pm 1.35$
2E	1.35	$45.2 \pm 0.75$
1M	7.03	$44.5 \pm 2.79$
2M	3.06	$52.3 \pm 1.62$
1L	2.01	$45.1 \pm 0.82$
2L	6.55	$57.2 \pm 4.03$
1R	6.40	$33.2 \pm 2.03$
2R	4.22	$35.5 \pm 1.40$

A Tabela 06 mostra a perda de volume de cada amostra através e podemos observar que as amostras do conjunto 01 apresentaram um melhor resultado comparando-se com as respectivas amostras do conjunto 02. Os melhores resultados são das amostras 1R, 1E e 2R respectivamente. Essas amostras apresentaram as microestruturas de martensita de agulha enquanto que as demais

apresentaram martensita revenida como microestrutura predominante. Entre as amostras de martensita revenida, as amostras com microestrutura mais refinada mostraram um desempenho melhor como pudemos observar nas amostras 1M e 1L em relação às amostras 2M e 2L, respectivamente.

### 3.7. Microscopia Eletrônica de Varredura das Regiões Desgastadas

A Figura 04 mostram as fotografias da microscopia eletrônica de varredura das regiões desgastadas de um corpo de prova de cada uma das oito condições de soldagem. Pode-se observar que ocorreu microssulcamento como principal micromecanismo de remoção de material.

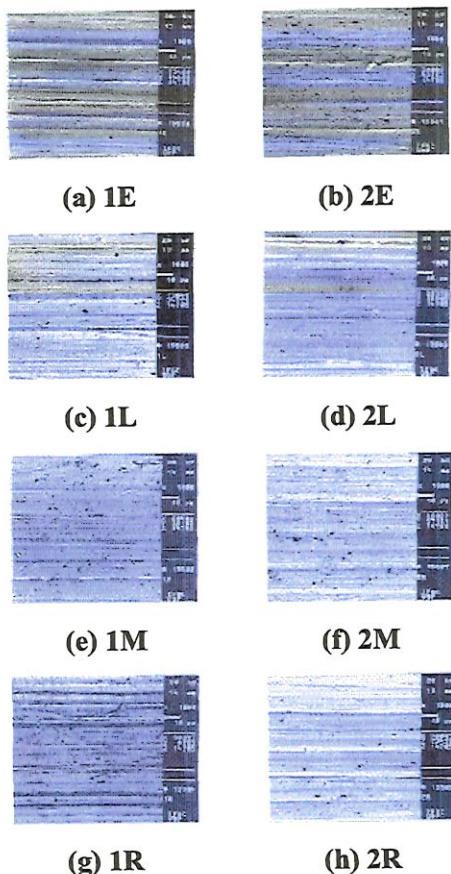


Figura 04- MEV das regiões desgastadas dos cordões.

## 4. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos neste trabalho estabeleceu-se as seguintes conclusões:

- 1) A condição 01 de soldagem resultou na melhora do desempenho em relação ao desgaste abrasivo a baixa tensão comparativamente à condição 02 para todos os fluxos utilizados.
- 2) Os revestimentos feitos com os fluxos E e R (1E, 1R e 2R) foram os que apresentaram as menores perdas de volume em comparação com os revestimentos feitos com os fluxos M e L.
- 3) A martensita de agulhas presente nas amostras 1E, 1R e 2R foi a microestrutura com a qual obteve-se os melhores resultados de desgaste abrasivo a baixa tensão.

4) A dureza não afetou a resistência a abrasão a baixa tensão das amostras quanto a microestrutura mostrou ser um fator determinante nesses resultados de desgaste abrasivo.

5) As modificações nos parâmetros de soldagem por arco submerso (aumento da velocidade de soldagem, aumento da extensão do eletrodo, aumento da tensão e da corrente) mostraram ser eficazes em melhorar o desempenho desses revestimentos sob desgaste abrasivo a baixa tensão.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à CAPES pela bolsa concedida.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN WELDING SOCIETY (1998) *Materials and applications- Part 2*, 8 ed., v.4, p.392-435.
- [2] Majetich J.C.; (1985) Optimization of Conventional SAW for Severe Abrasion-Wear Hardfacing Application. *Welding Journal*, p.314s-321s, november.
- [3] Paranhos, R.P.R., Mello, R.S.T., Filho, J.C.P. (1997) Soldagem a arco submerso de revestimentos de ligas Fe-C-Cr resistentes ao desgaste abrasivo. *Soldagem & Inspeção*, Suplemento Técnico, ano 3, n.7.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1994) *Standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus*. G 65-94.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1995) *Standard hardness conversion tables for metals*. E 140-95. In: CD ROM of ASTM.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1994) *Standard test method for rockwell hardness and rockwell superficial hardness of metallic materials*. E18-94. In: CD ROM of ASTM.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1982) *Standard test method for Vickers hardness of metallic materials*. E 92-82 (reapproved 1987). In: Annual Book of ASTM Standard, p.260-268.

## Evaluation of the Abrasion Resistance of Hardfacings Welded by Submerged Arc

Ms. Márcia Fernanda Martins Dias

[marcia.mdias@terra.com.br](mailto:marcia.mdias@terra.com.br)

Prof. Associado Samuel Irati Novaes Gomes

[irati@sc.usp.br](mailto:irati@sc.usp.br)

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos

Avenida Trabalhador São-carlense, 400

Caixa postal 359, CEP 13560-970 - São Carlos -SP

Fone: (16) 2739591, Fax: (16) 2739590

### Abstract

This work presents an analysis of the welding conditions and its effects in the abrasive wear of hardfacings. The hardfacings were obtained by submerged arc surfacing. The welding variables were changed and the commercials fluxes were used. Two groups of welding variables were used (group 01 and group 02) and four commercials fluxes (E, M, L e R designated) establishing eight

welding conditions. Double-layered of three beads were deposited on a SAE 1020 base metal plate. The low stress abrasion resistance evaluation was carried out by dry sand/rubber wheel apparatus according to the ASTM G65-94. The microstructural analysis were done by optical microscopy and the worn surface analysis were done by scanning electronic microscopy. The abrasion resistance of the group 01 was superior as compared to the group 02, independent of the fluxe was used. The fluxes E and R presented the best results and the better abrasion resistant microstructure was lath martensite.

**Keywords:** hardfacing, submerged arc welding, abrasive wear.