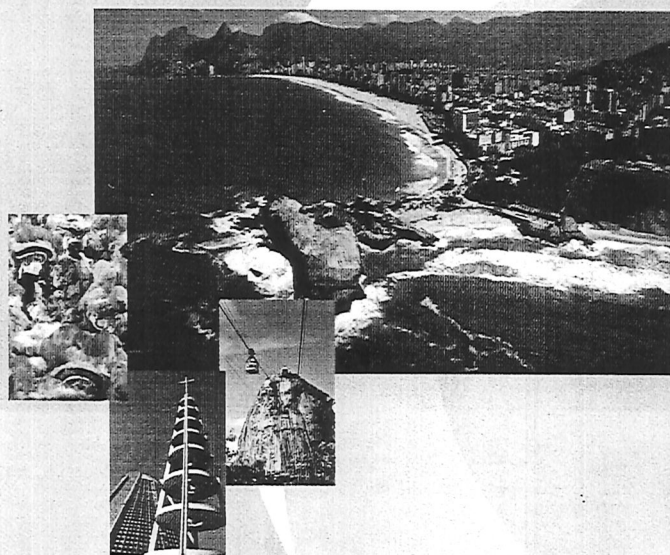




# CONGRESSO ANUAL DA ABM

21 a 24 de julho de 2003 - Rio de Janeiro - RJ



## Ficha Catalográfica / Cataloguing Card

Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais  
(58.º: 2003: Rio de Janeiro, RJ)

Anais do 58º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia  
e Materiais. [CDROM]. / Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais --  
São Paulo : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.

Publicado até o ano de 1996 [51ª] em forma impressa.  
ISSN1516-392X

1. Metalurgia - Congressos 2. Materiais - Congressos I. Título

CDD 669.06

## Índices para catálogo sistemático

1. Congressos : Metalurgia : Tecnologia 669.06
2. Metalurgia : Tecnologia : Congressos 669.06

SMM  
17  
09  
03

# A INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE TiC NO DESGASTE ABRASIVO DE LIGAS UTILIZADAS COMO REVESTIMENTO DURO<sup>1</sup>

Lauralice de Campos Franceschini Canale<sup>2</sup>

Alessandro Fraga Farah<sup>3</sup>

Ovídio Richard Crnkovic<sup>4</sup>

Fábio Henrique Bellan<sup>5</sup>

Francisco J. Araújo<sup>6</sup>

## Resumo

C 2121

Ligas para revestimento duro (hardfacing), com carbonetos de titânio (TiC) dispersos em uma matriz martensítica, foram depositadas por soldagem pelo processo MIG. Este tipo de liga possui alta resistência ao desgaste e tenacidade devido a ausência de fase eutética na matriz. Diferentes porcentagens de Ti (5%, 7% e 10%) foram adicionadas às ligas para revestimento duro. Aspectos micrográficos foram analisados. A quantidade e distribuição dos TiC foram analisadas e relacionadas com os resultados obtidos pelos ensaios de desgaste abrasivo.

## Palavras-chave

Revestimento duro, desgaste abrasivo, carbonetos de titânio.

<sup>1</sup> 58° CONGRESSO ANUAL DA ABM de 21 a 24 de julho de 2003, no Rio de Janeiro - RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> do Depto de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da EESC-USP, Av. Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos - SP, Brasil - CEP 13566-590. Email : [lfcanale@sc.usp.br](mailto:lfcanale@sc.usp.br)

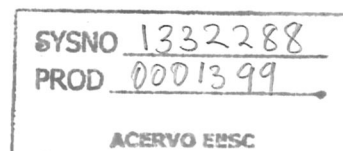
<sup>3</sup> Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, EESC-USP. [alfarah@sc.usp.br](mailto:alfarah@sc.usp.br)

<sup>4</sup> Prof. Dr. do Depto de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da EESC-USP.

<sup>5</sup> Engenheiro da Usina São Carlos, Rod. Dep. Cunha Bueno (SP253) km 212 Jaboticabal, SP, CEP 14870-000 e Mestrando em Engenharia de Materiais da EESC-USP. [fabio@usinasaocarlos.com.br](mailto:fabio@usinasaocarlos.com.br)

<sup>6</sup> Engenheiro da Durum do Brasil, R. João de Almeida, 400, Diadema-SP, CEP 09920-140. [faraujo58@hotmail.com](mailto:faraujo58@hotmail.com)

1332288  
240903



## **Introdução**

Devido ao grande prejuízo causado pelo desgaste, torna-se necessário o seu estudo e a busca de aplicações tecnológicas que possam amenizar os danos causados por ele. Há algumas áreas principais onde a aplicação de princípios tribológicos leva à redução dos custos através do aumento da vida útil do componente e, portanto, a redução das paradas para troca dos componentes e deste modo, reduzindo conseqüentes perdas de produção nas indústrias [1].

Um dos principais problemas no estudo do desgaste é o grande número de variáveis que podem afetar os mecanismos e taxas de desgaste [2,3].

Usualmente, engenheiros e cientistas investigam o desempenho dos materiais utilizando ensaios laboratoriais, tentando assim estimar as condições reais. Mas dados obtidos nas condições de ensaios podem ser diferentes quando consideramos outras condições devido aos diversos mecanismos que podem ocorrer, causando pequenas mudanças nas variáveis.

A maioria destes estudos relatam o desgaste abrasivo devido a sua grande importância na operação de máquinas e processos, e também devido a 50% dos casos de desgaste serem identificados como desgaste abrasivo [4].

Uma das técnicas mais utilizadas para promover a proteção ao desgaste, principalmente de partículas abrasivas sob condições severas, é a soldagem de revestimento duro (hardfacing). A tecnologia de revestimento duro pode ser aplicada em todos os setores da indústria para reduzir e evitar o tempo de troca prematura de componentes e peças sujeitas ao desgaste. Uma grande variedade de processo térmicos e de soldagem são usados nos revestimentos duros, bem como diversos tipos de ligas [5-7].

Hoje em dia, principalmente pelo seu baixo custo, as ligas a base de ferro são mais utilizadas. A sua microestrutura consiste de carbonetos primários (MC) e carbonetos eutéticos ( $M_7C_3$ ) incrustados numa matriz [8]. Dentro dessas ligas temos também um grande número de combinações de microestruturas que fornecem vários graus de resistência à abrasão, entre elas ferrita, bainita, martensita e austenita [9]. Essas ligas possuem alto carbono (4 a 6%) e alto cromo (20 a 40%).

A estrutura resultante de um revestimento duro feito por soldagem é de grande importância na escolha de um material resistente ao desgaste por causa que o tipo de microestrutura formada é que será a responsável pelo comportamento do desgaste durante o seu uso.

Atualmente, ligas contendo carbonetos são utilizadas para resistir às partículas abrasivas reduzindo o desgaste [10]. Diferentes composições de depósitos de revestimento duro são avaliados e para baixa tensão, a resistência à abrasão é praticamente igual entre as ligas que contêm somente cromo e as que contêm outros elementos formadores de carbonetos primários, tais como Nb, W, Ti ou V, no mesmo nível de carbono.

Entretanto sobre condições de alta tensão, as ligas com carbonetos primários mostraram melhor resistência a abrasão. Na situação de baixa tensão, o melhor comportamento à abrasão é de carbonetos primários com eutético de austenita e carbonetos seguido de perto pelo eutético de austenita e carbonetos [9].

Em indústrias álcool açucareiras, o hardfacing é muito usado principalmente em revestimentos de martelos, que durante o trabalho está submetido à intensas solicitações de desgaste, como pode ser visto na Figura 1. Estes martelos trabalham também sob a ação de impactos, o que torna a escolha da liga de hardfacing bastante complexa.

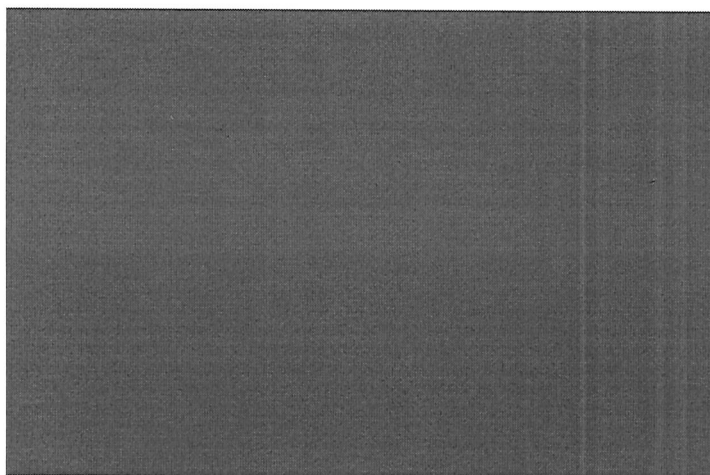


Figura 1 - Martelos desgastados (Usina São Carlos, Jaboticabal - SP, Brasil).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver ligas hardfacing com carbonetos de titânio (TiC) incrustados em uma matriz martensítica, aplicados por soldagem. Essas ligas são simultaneamente resistentes ao desgaste e de alta tenacidade por não possuírem fase eutética na matriz. Diferentes porcentagens de Ti foram adicionadas nestas ligas e uma análise detalhada foi feita para analisar o efeito da variação da quantidade de TiC no comportamento ao desgaste abrasivo sob alta tensão. A liga com melhor desempenho será sugerida para teste em campo.

### **Procedimento Experimental**

O revestimento duro com diferentes porcentagens de TiC foram obtidos usando arames comerciais (2,4mm de diâmetro) depositados em chapas de aço carbono em duas camadas pelo processo de soldagem MIG.

Os parâmetros de soldagem utilizados foram:

Amperagem: 280A

Voltagem: 30v

A composição química dos arames estão listadas na Tabela 1.

Liga	Composição Química (%)						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti	Fe
Ti 5%	1,85	0,14	2,55	6,21	1,22	5,34	bal.
Ti 7%	2,97	0,25	2,42	7,53	1,16	7,08	bal.
Ti 10%	3,06	0,30	2,37	7,70	1,11	10,15	bal.

Tabela 1 - Composição química nominal dos arames.

As chapas soldadas foram cortadas gerando corpos de prova para os ensaios de abrasão. Os corpos de prova são mostrados na Figura 2.

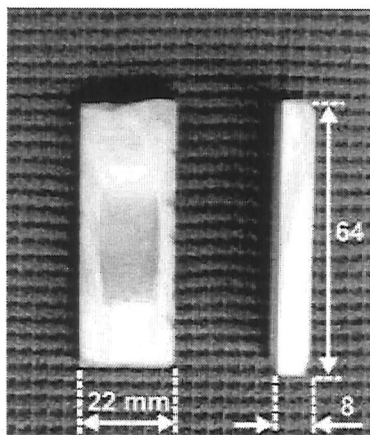


Figura 2 - Corpos de prova para ensaios de abrasão.

Para avaliação quantitativa da resistência à abrasão dos revestimentos, foi utilizado o ensaio de abrasão a três corpos segundo a norma ASTM G65 - procedimento A [11].

Este é um método padronizado que utiliza areia de quartzo seca, de tamanho de partícula controlado, fluindo entre a amostra de ensaio e uma roda de borracha dura. A força aplicada é de 130N e a perda de massa é determinada após 6000 revoluções da roda de borracha a 200rpm.

Medidas de dureza foram efetuadas nos diferentes revestimentos. Os resultados são a média de cinco medições por amostra.

Uma vez que a resistência à abrasão do revestimento é dependente da microestrutura, foi feita a caracterização microestrutural para ajudar na explicação do comportamento de desgaste.

### **Resultados e Discussão**

Os valores de dureza são mostrados na Tabela 2.

Liga	Dureza (HRC)	Desvio Padrão
Ti 5%	62	0,32
Ti 7%	52	0,47
Ti 10%	57	0,36

Nota-se que a dureza da liga Ti 5% foi maior apesar da menor quantidade de titânio na liga, seguida da liga Ti 10%, e que a menor dureza foi apresentada pela liga Ti 7%. Essa não linearidade de variação de dureza pode ser devido a solubilização e a combinação dos elementos de liga presentes, uma vez que a quantidade de todos eles foi modificada.

Nas Figuras 3 a 5, são mostradas as microestruturas das ligas em estudo. As ligas depositadas apresentaram microestruturas semelhantes com carbonetos primários de Ti, dispersos em uma matriz martensítica.

Nota-se nas figuras seguintes que a quantidade, o tamanho e a forma dos carbonetos de titânio das ligas depositadas foram diferentes quando se variou a porcentagem de Ti nas ligas.

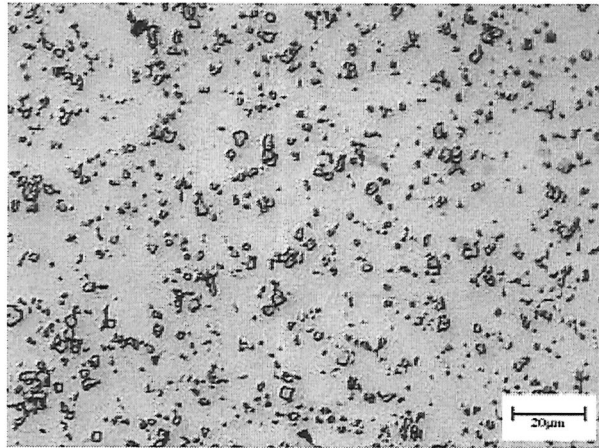


Figura 3 - Microestrutura do revestimento da liga Ti 5%. Sem ataque.

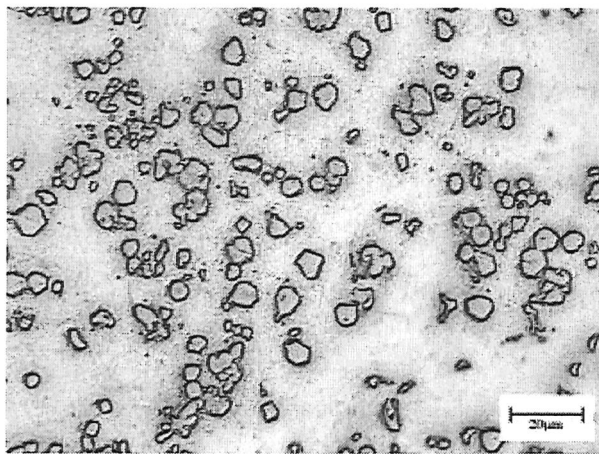


Figura 4 - Microestrutura do revestimento da liga Ti 7%. Sem ataque.

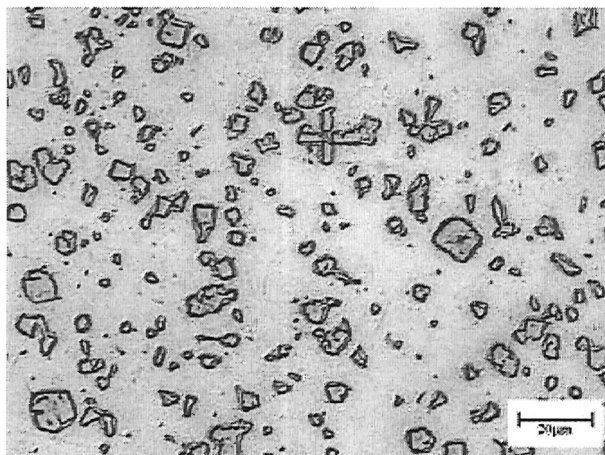


Figura 5 - Microestrutura do revestimento da liga Ti 10%. Sem ataque.



As porcentagens de TiC obtidas estão listadas na Tabela 3.

Liga	Partículas Detectadas (%)	Desvio Padrão
Ti 5%	16,50	0,25
Ti 7%	12,62	0,48
Ti 10%	13,47	0,61

Tabela 3 - Porcentagem de TiC das ligas estudadas.

Pode-se ver que para a liga Ti 5% as partículas de TiC são menores e melhor distribuídas. Entre as outras duas ligas a diferença de tamanho e distribuição é bem menor quando se compara com a liga Ti 5%.

Para estas condições microestruturais, os resultados dos ensaios de desgaste são mostrados na Figura 6.

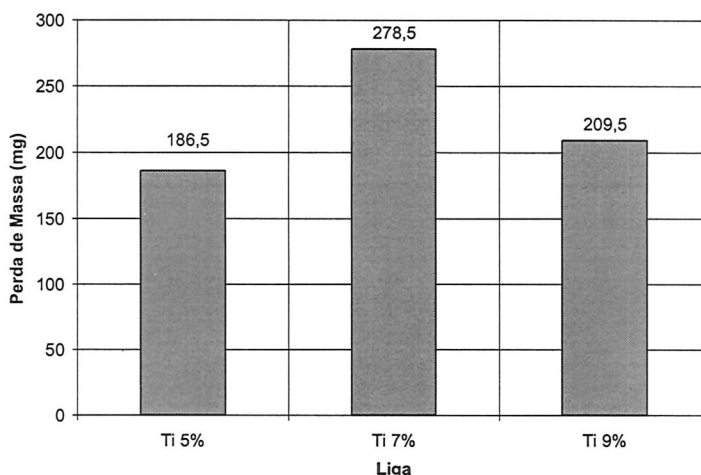


Figura 6 - Perda de massa do ensaio de desgaste a três corpos.

Como se pode observar, o melhor desempenho em resistência ao desgaste, nas condições de ensaio, foi obtida pela liga Ti 5% que mostrou uma distribuição mais homogênea de pequenas partículas de TiC. Esse melhor desempenho deve-se à maior proteção da matriz pelos carbonetos mais distribuídos.

Alguns testes foram efetuados com variações nos parâmetros de soldagem. Foi verificado que o tamanho e a distribuição das partículas de TiC (para as ligas Ti 7% e Ti 10%) foram modificados. Aumentando a amperagem, os carbonetos ficaram maiores e a distribuição na matriz foi pior, aumentando a distância entre as partículas de TiC. Quando a distância é menor, a proteção da matriz é mais eficiente e com isso a resistência ao desgaste é maior.

### **Conclusão**

Os parâmetros de soldagem utilizados promoveram à liga Ti 5% a melhor resistência ao desgaste.

Nas outras composições a dureza diminuiu e também o aumento do tamanho e a distribuição das partículas de TiC não promoveram uma boa resistência ao desgaste.

É esperado que as mudanças nas condições de soldagem modifiquem o comportamento tribológico do desgaste.

## **Referências**

1. H. P. Jost. Tribology-Origin and Future. Wear, 136: 1-17, 1990.
2. R. Dasgupta, R. Thakur, M. S. Yadav, A. K. Jha. High stress abrasive wear behaviour of a hardfacing alloy: effects of some experimental factors. Wear, 236: 368-374, 1999.
3. R. Dasgupta, B. K. Prasad, O P. Modi, A K. A Comparison of Material Removal Mechanism under Low Stress Abrasive Condition of Steel and Hardfacing Alloys. Journal of Materials Engineering and Performance, 8 (4): 437-442, 1999.
4. Standard Terminology Relating to Erosion and Wear – ASTM G40-77. In Annual Book of ASM Standard, part 10, ASTM 1981, p 981-987.
5. R. J. Dawson, C. B. Thompson. A Guide to Weld and Thermal Spray Hardfacing in the Pulp and Paper Industry. Part I: Process and Consumable Selection. Materials Performance, 30 (10): 55-58, 1991.
6. R. J. Dawson, C. B. Thompson. A Guide to Weld and Thermal Spray Hardfacing in the Pulp and Paper Industry. Part II: Applications. Materials Performance, 31 (10): 70-74, 1991.
7. J. C. Cassina, I. G. Machado. Low-Stress Sliding Abrasion Resistance of Cobalto-based Surface deposits Welded with Different Processes. Welding Research Supplement, 133-137, 1992.
8. H. Berns, A. Fischer. Microstructure of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys with Additions of Nb, Ti and B. Materials Characterization, 39: 499-527, 1997.
9. D. J. Kotecki. Hardfacing Benefits Maintenance and Repair Welding. Welding Journal, 71 (11): 51-53, 1992.
10. D. Arthur. Does Moly Improve Hardfacing Filler Metals? Welding Journal, 29-33, 1995.