

# APLICAÇÃO DE FERRO-LIGAS EM PÓ PARA A FORMAÇÃO DE CARBONETOS EM REVESTIMENTOS RESISTENTES AO DESGASTE

## APPLICATION OF POWDER FERROALLOYS TO THE FORMATION OF CARBIDES IN HARDFACINGS

Bruno Pereira Navarro Macedo, Juno Gallego

UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, curso de Engenharia Mecânica

bruno71075@aluno.feis.unesp.br

Bolsa PIBITI/CNPq

### RESUMO

O setor sucroalcooleiro tem elevados gastos na compra de material para a recuperação de seus equipamentos desgastados, e dentre os vários mecanismos de desgaste que ocorrem, destaca-se o desgaste abrasivo, responsável por interrupções não programadas em moendas para manutenção. O presente trabalho visa investigar o recobrimento duro, depositado por soldagem, obtido pela fusão de misturas de ferro-ligas nos quais há elementos formadores de carbonetos, como o titânio, o nióbio e o cromo. Os eletrodos tradicionalmente usados na indústria sucroalcooleira são compostos por ferro-ligas adicionados na forma de pó à base de cromo, que quando aplicados promovem diminuição do desgaste provocado pelas impurezas minerais contidas na cana de açúcar. Verificou-se que a formação de carbonetos com elevada dureza aumentou a resistência ao desgaste abrasivo e que a morfologia desses carbonetos pode estar intimamente ligada com a perda de massa observada durante ensaios de desgaste abrasivo.

Palavras chaves: carbonetos, microestrutura, desgaste abrasivo.

### INTRODUÇÃO

O desgaste abrasivo é o principal mecanismo de remoção de material que os equipamentos do setor sucroalcooleiro sofrem atualmente e também responsável por 50% dos casos nos quais é verificado remoção de material por desgaste; é considerado o mais severo e o mais comumente encontrado nas indústrias [1]. Por mais que sejam aplicados os devidos cuidados durante a limpeza da cana-de-açúcar, grande quantidade de material abrasivo – inorgânicos, como a areia – permanece na cana e é levado ao sistema de máquinas de processamento da cana – facas, martelos desfibradores, moendas, etc. O movimento relativo entre abrasivo e as superfícies expostas de processamentos causa a perda de material o que exige elevados gastos em manutenção.

Para contornar este problema, a técnica normalmente empregada nas usinas de açúcar e álcool é do recobrimento duro. O processo consiste em produzir por soldagem, na superfície da peça sujeita ao desgaste, uma camada dura e resistente ao desgaste. O processo tem a vantagem de poder ser aplicado em áreas localizadas da peça que sejam mais sujeitas ao desgaste [2]. Os materiais para recobrimento mais utilizados são ligas que durante o resfriamento da poça de fusão, haja a precipitação de carbonetos, que tem por características serem partículas duras e resistentes ao desgaste abrasivo.

Nos carbonetos, as ligações químicas são preponderantemente covalentes, o que torna estes compostos muito resistentes mecanicamente. Eles podem ser encontrados em diversas estequiometrias, como  $M_3C$ ,  $M_7C_3$  e  $M_{23}C_6$  de acordo com o metal de adição e da quantidade de carbono presente na poça de fusão. Os elementos formadores de carbonetos nos aços são, por ordem de crescente, o cromo, o molibdênio, o tungstênio, o vanádio, o nióbio e o titânio. O manganês normalmente participa na composição química dos carbonetos na forma de elemento substitucional, especialmente na cementita (carboneto de ferro –  $Fe_3C$ ); todos os outros elementos citados possuem uma afinidade química maior pelo carbono do que o ferro, tornando possível a formação de carbonetos complexos a partir de determinados teores, abaixo dos quais se dissolvem na cementita. No entanto, a aplicação de ligas formadoras de carbonetos à base de cromo são as mais utilizadas para esta finalidade devido à disponibilidade, menor custo e melhoria na resistência à corrosão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se ferro-ligas à base de titânio, manganês, nióbio e cromo na forma granulada (classificação 325 mesh) como materiais para o revestimento duro. Numa peça de aço estrutural ASTM A36, com dimensões 300mm de comprimento, 30mm de largura e 25mm de espessura foram usinados com uma fresa 4 sulcos com 40mm de comprimento, 20mm de largura e 2mm de profundidade, de forma que cada um desses rebaixos pudessem ser preenchidos com uma camada de ferro-liga. A seguir foi realizada a fusão do material por meio do processo de soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*), onde argônio puro foi usado na proteção da poça de fusão com uma vazão média de 10 litros por minuto. Na tabela 1 estão indicadas a composição química nominal de cada ferro-liga usado no experimento.

Tabela 1: Composição nominal dos ferro-ligas utilizados para revestimento duro (% massa).

Material	Ti	Mn	Nb	Cr	C	Si	P	Al	S
Ferro titânio	28,5	-	-	-	0,020	1,35	0,02	7,9	0,02
Ferro manganês	-	75,4	-	-	6,5	0,50	0,2	-	0,007
Ferro nióbio	-	-	64,7	-	0,09	2,7	0,2	1,3	0,006
Ferro cromo	-	-	-	55,2	7,7	3,50	0,03	-	0,03

O ferro-manganês e o ferro-cromo foram enriquecidos com alto carbono pelo próprio fornecedor, já o ferro-titânio e o ferro-nióbio, por não terem sido enriquecidos por carbono, foi adicionado grafite para o favorecimento da precipitação de carbonetos durante o resfriamento da poça de fusão. A adição de carbono nos ferro-ligas citados deu-se considerando a proporção estequiométrica mais comum da precipitação de carbonetos para esses elementos: o TiC e NbC. Considerando a quantidade de metal contido no Fe-Ti e Fe-Nb determinou-se a quantidade de carbono (grafite em pó) adicionado à mistura, sendo usada a proporção de 1g de grafite para 10g de ferro-titânio e o dobro para o ferro-nióbio.

Para a análise metalográfica foram cortadas quatro pequenas amostras com disco abrasivo sob refrigeração, que posteriormente seriam embutidas em resina de cura a frio (poliéster) com auxílio de moldes feitos com borracha e silicone. As superfícies para a análise macrográfica das amostras foram preparadas com um cuidadoso lixamento, nas quais foram utilizadas lixas com granas 120, 220, 320, 400 e 600 sob constante refrigeração à água. Para a análise microestrutural, as superfícies foram retrabalhadas até a lixa de grana 1200, seguindo-se o acabamento com polimento mecânico em alumina 0,3 $\mu$ m. Nesta análise foi empregada microscopia ótica em uma bancada metalográfica NEOPHOT – 21, equipado com uma câmara digital para documentar a microestrutura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observam-se nas micrografias da figura 1 partículas com formato arredondado que estão presentes nos revestimentos à base de ferro titânio e ferro nióbio ricos em carbono e que foram encontradas em grande número - como aquelas formadas no revestimento à base de cromo. Medidas de dureza indicam que as mesmas apresentem elevada dureza. Dessa forma, é provável que essas partículas sejam, respectivamente, carbonetos de titânio, de nióbio e de cromo. Por o manganês não ser um elemento formador de carboneto, a dureza elevada que o mesmo deve atingir é devido a carbonetos de ferro. Ensaios de dureza ainda serão realizados nas amostras para a verificação desses indícios.

Já no revestimento à base de cromo, os supostos carbonetos são numerosas partículas de morfologia poligonal com largura entre 20 a 70 $\mu$ m e comprimento até 500 $\mu$ m e dependendo da

orientação da amostra essas partículas encontravam-se normalmente agrupadas em feixes paralelos. Já os carbonetos formados pelos outros elementos normalmente não mostraram a mesma morfologia dos apresentados pelos carbonetos de cromo, como pode ser constatado pelas micrografias da Figura 1.

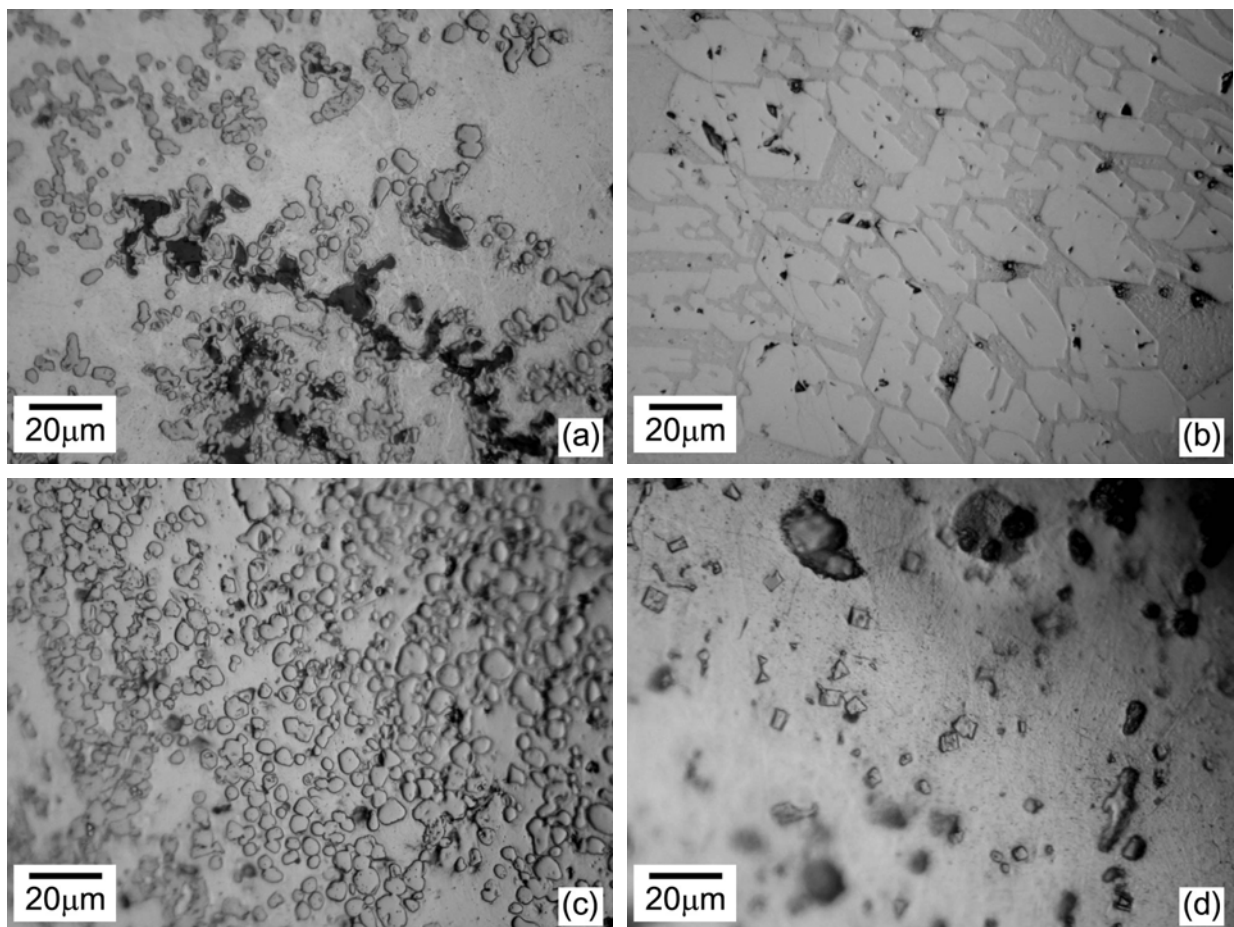


Figura 1: Microestruturas dos revestimentos observados por microscopia ótica; (a) ferro-titânio, (b) ferro-manganês (c) ferro-nióbio (d) ferro-cromo. Superfície polida, sem ataque químico. Ampliação padronizada em 485 vezes.

Segundo Yaer e equipe [3] quando carbonetos precipitam no formato esférico não há uma grande concentração de tensões na região da interface com a matriz, ao contrário do que normalmente ocorre com os carbonetos com morfologia prismática, resultando no aumento da resistência ao desgaste abrasivo. Os carbonetos de cromo formados têm grande tendência de concentração de tensões devido a sua morfologia prismática poligonal, que muitas vezes acham-se em hexágonos, o que limita sua resistência ao desgaste por ter pontas que facilitam a concentração de tensão. Sugere-se que as partículas visíveis em grande quantidade na microestrutura das amostras do ferro-nióbio e do ferro-titânio sejam carbonetos de nióbio e de titânio do tipo MC, devido à grande semelhança aos carbonetos de vanádio identificados por Yaer e colaboradores [3]. Análises mais específicas estão sendo realizadas com o intuito de confirmar esta hipótese.

Os resultados da análise feita sobre revestimentos duros com diferentes camadas, constituídos de carbonetos de cromo a partir de ferro-cromo, são mostrados na Tabela 2. Verificou-se que houve um aumento da dureza com a deposição de um número maior de camadas e que a perda de volume associado ao desgaste abrasivo foi também reduzida com o aumento da dureza [4]. Este comportamento foi observado devido ao enriquecimento de cromo nos carbonetos observado

com a deposição de um maior número de camadas, de modo que os efeitos da diluição química sobre o metal de solda fossem minimizados na camada mais externa do revestimento.

Tabela 2: Resultados de ensaios de dureza e de desgaste sobre revestimento duro à base de cromo.

Amostra	Camadas	HV [kgf/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta V$ [mm <sup>3</sup> ]
A1	1	780	30,35
A2	2	791	11,56
A3	3	873	9,17
C1	1	768	21,81
C2	2	780	12,66
C3	3	861	9,47

A literatura mostra que o comportamento dos carbonetos com relação ao desgaste pode ser considerado complexo. Os carbonetos são partículas duras mas frágeis e isso pode implicar que um alto valor de dureza pode resultar numa perda de massa maior do que em outra amostra com dureza menor durante o desgaste abrasivo, pois o surgimento de pequenos fragmentos dessas partículas se comportariam como um abrasivo mais severo que a própria areia classificada usada durante os ensaios realizados conforme a norma ASTM G65.

## CONCLUSÕES

Os estudos realizados permitiram inferir que os ferros ligas utilizados, quando soldados, fornecem microestruturas com características de elevada dureza, potencialmente interessantes para o uso em revestimentos resistentes ao desgaste. As morfologias dos carbonetos podem influir decisivamente na perda de massa nos ensaios e que a fração volumétrica dos carbonetos é também importante para o aumento da resistência ao desgaste abrasivo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) e à COFEL FERRO LIGAS pelo fornecimento dos materiais usados neste estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de uma bolsa de estudos PIBITI/UNESP (BPNM).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ribeiro, R., Avaliação da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Soldados do tipo Fe-C-Cr Utilizados na Indústria Sucroalcooleira, Dissertação de Mestrado, UNESP, 2004.
- [2] Baptista, A. L. B.; Nascimento, I. A. Revestimentos Duros Resistentes ao Desgaste Depositados por Soldagem Utilizados na Recuperação de Elementos de Máquinas, [www.spectru.com.br](http://www.spectru.com.br). Acesso em julho de 2008.
- [3] Yaer, X. et al. Erosive Wear Characteristics of Spheroidal Carbides Cast Iron. *Wear*, v. 264, pp. 947 – 957, 2008.
- [4] Polido, R. et al. Microestrutura de Revestimentos Duros Resistentes ao Desgaste Abrasivo empregados na Indústria Sucroalcooleira. In: CONSOLDA 2008, São Paulo. Anais do Second Latin American Welding Congress / XXXIV CONSOLDA - Congresso Nacional de Soldagem, 2008. v. CD-ROM. p. 1-9.