



20º POSMEC

SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Influência da Técnica de Soldagem e do Tipo de Metal de Adição na Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro

Autor

Dayana Beatriz CARMONA GARCÍA

Orientador:

Valtair Antonio FERRARESI

O objetivo deste trabalho é estudar e comparar a resistência ao desgaste de duas ligas de alto teor de cromo, uma com adição de Nb (FeCrC+Nb) e outra com adição de Ti (FeCrC+Ti), utilizadas na aplicação de revestimentos duros - com o processo de arame tubular auto-protegido - no reparo de ferramentas utilizadas na etapa de corte e moagem na indústria sucroalcooleira. Além disso, será também utilizado o processo arame tubular auto-protegido com adição de arame não energizado de forma a obter uma mistura de elementos de ligas dos dois arames tubulares estudados. O arame FeCrC+Ti é o energizado e o arame FeCrC+Nb não energizado.

Existem dentro do processo da transformação da cana-de-açúcar diversos fatores que afetam os custos de produção, fazendo com que os preços do produto variem. Um destes fatores é o grande investimento feito na manutenção dos equipamentos utilizados na extração e processamento da cana, manutenção que deve ser realizada fora das paradas programadas prejudicando, também, o ciclo regular da produção. Estes danos nos equipamentos são relacionados aos problemas de desgaste apresentados nos seus componentes. A etapa mais prejudicada é a etapa do preparo para a moagem da cana. As facas picadoras e os martelos desfibradores são os primeiros em entrarem em contato com a cana, sofrendo elevados impactos em virtude do atrito gerado pela velocidade, além de contato com areia, pedras, ferro, resíduos orgânicos, dentre outros, as quais são responsáveis pelo desgaste acentuado nestas ferramentas.

Para melhorar a resistência ao desgaste das facas e dos martelos, conseqüentemente os custos de manutenção, são aplicados revestimentos duros em suas superfícies com diferentes processos de soldagem, entre eles o Eletrodo Revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding), Arco Submerso (SAW - Submerged arc welding) e Arame tubular (FCAW - Fluxed Cored Arc Welding) que oferece alta produtividade, versatilidade, custo moderado e alta qualidade na solda tornando-se favorito na indústria dos revestimentos, Buchely et al. (2005).

Lima e Ferraresi (2009) afirmam que a microestrutura dos revestimentos tem papel preponderante no seu desempenho em termos de resistência ao desgaste. Ligas do tipo FeCrC são usadas onde ocorre desgaste abrasivo, sua composição pode ser ajustada de forma a produzir na solidificação da poça de fusão, microestrutura rica em carbonetos de cromo em uma matriz austenítica. A adição de elementos de liga tais

como o Nb, Ti, V, Zr, e W nas ligas hipereutéticas de alto teor de cromo melhora as propriedades de resistência ao desgaste, mantendo um volume relativamente elevado de carbonetos primários (tipo M_7C_3 e $M_{23}C_6$) com formatos mais refinados e melhor distribuídos na matriz. Com estas adições se consegue inserir também na matriz novos carbonetos do tipo MC (NbC, TiC, VC, ZrC e WC) com durezas superiores ou iguais à dureza do carbonetos de cromo, melhorando ainda mais a resistência ao desgaste abrasivo. O Nióbio e o Titânio vêm sendo usados mais regularmente por serem os mais efetivos elementos formadores de carbonitretos, produzindo uma precipitação de elevada dureza. As partículas duras formadas por eles se distribuem de uma forma regular na matriz além de possuir elevada dureza e ponto de fusão o que oferece ao revestimento as propriedades desejadas, Yang (2008).

Os testes foram realizados utilizando chapas de aço ao carbono ABNT 1020 com dimensões de 12,7 x 50,8 x 200 mm, os consumíveis utilizados na soldagem dos revestimentos foram arames tubulares de 1,6 mm de diâmetro. A Tabela 1. apresenta a composição química dos arames e dureza, fornecida pelo fabricante.

Para a realização das soldas utilizou uma fonte de soldagem eletrônica, multi-processo ajustada no modo de tensão constante. Para a adição de arame não energizado foi utilizado o modelo SWM 20 da White Martins. A mesa de soldagem utilizada possui um sistema automático de deslocamento e de tecimento, a velocidade mínima de soldagem no eixo “X” é de 5 mm/s e a máxima de 60 mm/s, a resolução da mesa é de 0,0001 mm/s para a velocidade, 0,0001 mm na distância e 0,0001° no ângulo do tecimento. A Fig.1a. mostra o esquema do sistema de tecimento da tocha.

Tabela 1. Composição química dos arames tubulares auto-protégidos.

Arame Tubular	%								Dureza [HRC]
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Nb	Ti	V	
FeCrC+Nb - HARDFACE CN-O	5,0	0,5	1,0	22,0	-	7,0	-	-	63
FeCrC+Ti - HARDFACE TiC-O	1,8	1,2	0,7	6,5	0,8	-	5,0	0,2	57

A soldagem foi efetuada em camada única na posição plana com a tocha na vertical formando um ângulo de 90° com a superfície da chapa. Nos testes com adição de arame não energizado, o suporte do arame adicional foi acoplado à tocha em disposição longitudinal “Tandem Wire” - ao longo do cordão de solda - na direção da velocidade de soldagem onde os dois arames atuam juntos um frente ao outro. O arame adicionado forma um ângulo de 32° com a horizontal permitindo a entrada do arame adicionado diretamente na poça em formação.

A Tabela 2. apresenta os parâmetros de soldagem utilizados. Esses parâmetros foram obtidos a partir de vários ensaios preliminares. Para o processo arame tubular a indutância de subida e descida, a velocidade de alimentação do arame [V_{alim}] e velocidade de soldagem [V_{sold}] e a tensão de referência [V] foram mantidas constantes, em condições que proporcionaram a transferência metálica no modo de curto-circuito. A distância bico de contato-peça (DBCP) foi variada com vistas à obtenção de mesma corrente de soldagem para taxa de fusão constante (mesma V_{alim}), já que arames tem composição química diferentes. Esse procedimento foi importante para se avaliar a resistência ao desgaste dos depósitos de solda quando realizados com mesma corrente de soldagem e mesmo volume de metal depositado por comprimento de solda (V_{alim} e V_{sold} constantes). Este procedimento foi utilizado para os dois arames FeCrC+Ti e FeCrC+Nb energizados.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem utilizados no processo de soldagem dos revestimentos com os processos de arame tubular e arame tubular com adição de arame não energizado.

Arame	V_{sold} [mm/min]	V_{alim} [mm/min]	$V_{alim\ 2}$ [mm/min]	Tensão [V]	DBCP [mm]	k_s	k_d	A_m [°]	f [Hz]	P [mm]
FeCrC+Nb	200	8	-	28	30	7	1	3	1,6	12
FeCrC+Ti	200	8	-	28	28	7	1	3	1,6	12
FeCrC+Ti com adição não energizada do arame FeCrC + Nb	200	8	1,05	28	28	7	1	3	1,6	12

Onde: V_{sold} : Velocidade de soldagem; V_{alim} : Velocidade de alimentação; $V_{alim\ 2}$: Velocidade de alimentação do arame não energizado; A_m : Amplitude em graus do tecimento; f: frequência da oscilação do tecimento; k_s : Indutância de subida; k_d : Indutância de descida; DBCP: Distancia bico-contato-peça; P: Passo da solda entre cordões.

Os corpos de prova para a execução do ensaio de desgaste por roda de borracha foram retirados do meio das chapas revestidas, como ilustrado na Fig.(1b). As dimensões dos corpos de prova são 12,7x25x75mm e correspondem às exigidas pela norma ASTM 65-00. A superfície do corpo de prova a ser submetida ao desgaste foi retificada após o corte para obter uma superfície plana, conforme determina a norma.

Os ensaios de desgaste foram realizados através da utilização de um abrasômetro Roda de Borracha a seco construído de acordo com o sugerido pela norma ASTM 65-00. Durante o ensaio se mantiveram as seguintes condições fixas: Dimensões do disco de 12,7 x 228 mm; anel de borracha com dureza de 60 Shore A (espessura de 12,7 mm); a areia Normal Brasileira No. 100 (0,15 mm); rotação do disco de 200 RPM; tempo de ensaio de 15 min; 5 min de pré-desgaste e 10 min de desgaste; carga de 120 N; distância do ensaio de 1436 m. O desgaste foi avaliado em função da perda de peso dos corpos de prova pela comparação entre o peso antes e após o ensaio, através da pesagem em balança eletrônica com resolução de 10-4g. Antes da pesagem, as amostras foram cuidadosamente limpas e imersas em acetona, em equipamento de limpeza por ultra-som e em seguida, secas com ar quente.

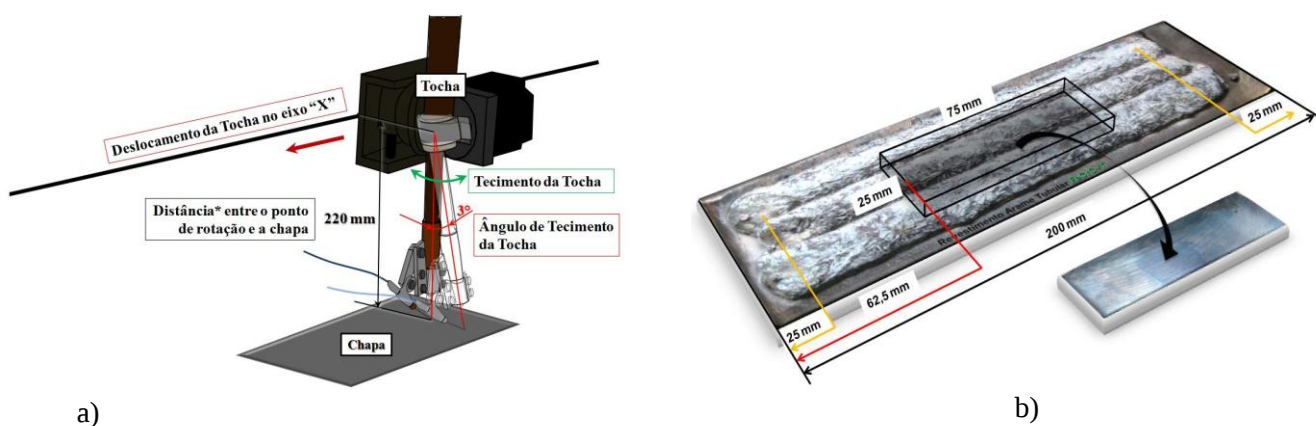


Figura 1. a) Esquema do sistema de deslocamento e tecimento da tocha de soldagem. *A distância tomada com DBCP igual a 30 mm. b) Figura 1. Extração dos corpos de prova para o ensaio de desgaste

Para a avaliação da microestrutura, foram extraídas amostras do meio do revestimento as quais foram embutidas, desbastadas com lixa #320 seguida da #220 e pasta de diamante de 6 μ m e 3 μ m e polidas com pasta de diamante de 1 μ m. Posteriormente foram atacadas com reagente Nital 2% por 10s e levadas ao microscópio ótico para revelar os micro-constituintes. Para a revelação de carbonetos foram utilizados os mesmos procedimentos de preparação e o ataque químico com o reagente Kalling por 10 segundos e Murakami 60° por 10 seg.

Os resultados da perda massa e da resistência ao desgaste obtidos das cinco amostras revestidas com cada liga e mistura são apresentados na Fig. 2. Observa-se que a resistência ao desgaste das três ligas apresentou valores muito próximos obtendo-se o melhor resultado na liga FeCrC+Ti com adição de arame não energizado de FeCrC+Nb, seguido pela liga FeCrC+Ti e a liga FeCrC+Nb.

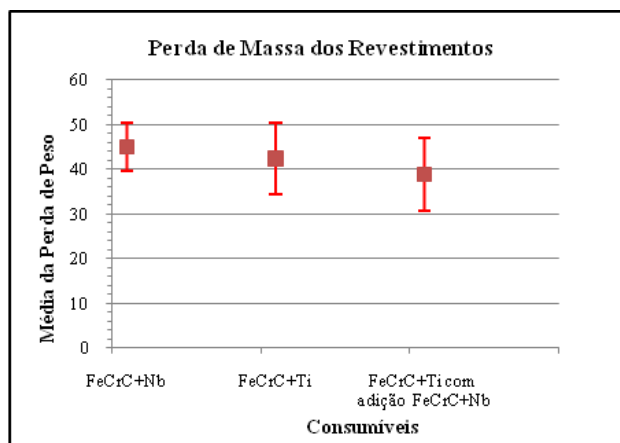


Figura 2. Resultados da perda de massa e da resistência ao desgaste abrasivo de cada revestimento.

Comparando os resultados desse trabalho com o obtido por Lima e Ferraresi (2009), que avaliaram a resistência ao desgaste abrasivo em uma camada das ligas FeCrC+Nb e FeCrC+Ti, obteve para a liga com Nb uma perda de massa de 42,2 mg e para a liga com Ti a perda foi de 129,5 mg. Isto demonstra que os resultados deste trabalho estão semelhantes com relação a liga com Nb, que ficou com uma perda de massa de 44,96 mg. Entretanto para a liga com Ti o resultado desse trabalho foi bem menor, ficando em 42,36 mg. Essa diferença pode estar relacionada à composição química ou o nível de diluição obtida nesse trabalho com a oscilação da tocha de soldagem. Os resultados dessa pesquisa estão também semelhantes aos obtidos por Scandella e Scandella (2004) para materiais de adição de composição química semelhante ao utilizado neste trabalho.

As comparações feitas anteriormente mostram que apesar de serem consumíveis diferentes e soldados com condições distintas, resguardadas as devidas proporções, os resultados apresentados neste trabalho estão em acordo com a literatura.

A Fig. 3 ilustra as superfícies de desgaste dos corpos de prova ensaiados, permitindo observar diferentes comportamentos por consumível. A seta na Fig. 3. indica o sentido de entrada das partículas abrasivas durante o ensaio. Observa-se que o arame FeCrC+Nb (Fig. 3a) proporcionaram revestimentos com trincas perpendiculares ao cordão, além de porosidade, e que o revestimento FeCrC+Ti (Fig. 3b) não apresentou trincas visíveis, mas com pequenas quantidade de porosidade. Já no caso dos revestimentos de FeCrC+Ti (Fig. 3c) com adição de arame não energizado de FeCrC+Nb observou-se a presença de algumas porosidades. Visualmente observa-se maior uniformidade do desgaste do revestimento FeCrC+Nb, o qual apresentou superfície de desgaste com riscamento mais fino, enquanto os outros corpos de prova revestidos com o FeCrC+Ti apresentaram desgaste seletivo (regiões marcantes com diferentes resistências ao desgaste).

A diminuição da resistência ao desgaste nas amostras revestidas com FeCrC+Nb pode ser atribuída à elevada presença de trincas transversais na direção de desgaste e porosidades onde as partículas abrasivas podem-se adentrar e, somadas com a compressão imposta pelo disco de borracha provocam um desgaste mais acentuado na extremidade de saída. Este fenômeno pode ser observado na Fig. 3a, revestimento de FeCrC+Nb, onde a trilha deixada pelas partículas abrasivas no sentido de deslocamento na extremidade de cada descontinuidade, indicado pela seta amarela na figura.

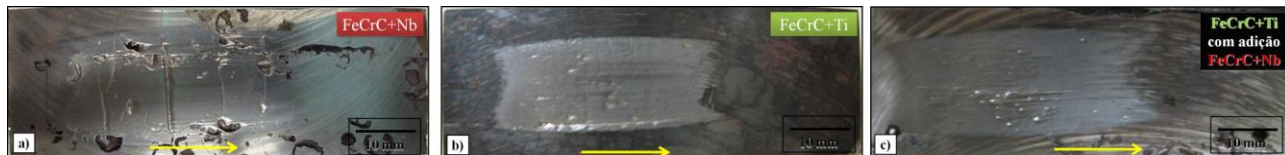


Figura 3. Imagens de uma amostra de cada revestimento feitas após o ensaio de desgaste com abrasômetro de Roda de Borracha. a) FeCrC+Nb, b) FeCrC+Ti e c) FeCrC+Ti com adição de arame não energizado de FeCrC+Nb.

Os revestimentos realizados com a liga FeCrC+Ti com adição de arame não energizado de FeCrC+Nb tiveram a finalidade avaliar a resistência ao desgaste com misturas de elementos como o Ti, Nb, V e Mo, conforme apresentado na Tabela 1. e verificar se essa mistura de elementos de liga pudesse diminuir os desgaste, fato que realmente ocorreu, apesar de uma diminuição em média de 42.36 [mg] do FeCrC+Ti para 38.82 [mg] da mistura dos dois arames. É bom frisar que a quantidade de metais (liga FeCrC+Nb) adicionado a poça de fusão da liga FeCrC+Ti foi aproximadamente de 10%.

As microestruturas dos três revestimentos são apresentadas na Fig.4. A Fig.4a. corresponde à microestrutura resultante do revestimento da liga FeCrC+Nb, pode-se observar a presença de carbonetos do tipo M_7C_3 e de carbonetos de nióbio (NbC de 2 a 10 μm) distribuídos aleatoriamente na matriz. Hernandez (1997); Zhi (2008) e Lima e Ferraresi (2009) citam que as ligas do sistema FeCrC+Nb apresentam essencialmente o mesmo tipo de microestrutura das ligas contendo apenas FeCrC, ou seja, dendritas de austenita com carbonetos M_7C_3 massivos, além da presença de carbonetos NbC na forma primária e secundária. Fato este também observado neste trabalho. Os carbonetos (NbC), apresentam formatos semelhantes a geometrias quadradas ou hexagonais, Fig.4a.

Segundo Polido e Gallego (2006), os carbonetos massivos $(Fe,Cr)_7C_3$ ou M_7C_3 são os primeiros a se formarem na solidificação da poça de fusão rica em ferro, cromo e carbono. A região onde estão precipitados os carbonetos (matriz) é uma mistura de várias fases, composta principalmente de ferrita, carbonetos secundários do tipo M_7C_3 e carbonetos $M_{23}C_6$.

A microestrutura resultante do revestimento construído com a liga de FeCrC+Ti é apresentada na Fig.4b, onde observa-se uma matriz homogênea com uma distribuição uniforme de carbonetos de titânio de formatos irregulares e de tamanhos variando entre 1 a 8 μm . Verifica-se a ausência de carbonetos do tipo M_7C_3 devido ao baixo teor de cromo presente na liga (6,4%Cr em peso), pois a formação dos carbonetos de titânio a alta temperatura e antes da precipitação dos carbonetos primários do tipo M_7C_3 . Este fato foi também observado no trabalho de Zhi et al. (2007).

A Fig.4c. e a Fig.4d. apresentam a microestrutura obtida da mistura das ligas FeCrC+Ti e FeCrC+Nb, sendo a ultima não energizada. Observa-se novamente a presença de carbonetos de titânio finamente distribuídos pela matriz, e quando atacada por Murakami pode-se observar a presença de alguns carbonetos de nióbio com o formato pequeno e alongado. Este formato nos carbonetos de nióbio também foi observado por Scandella e Scandella (2004) em ligas com teores de Nb de até 3 wt-%.

O desempenho semelhante das ligas estudadas neste trabalho com relação a resistência ao desgaste se justifica pela presença de pequenos carbonetos distribuído na matriz, independente do tipo de liga utilizado. No trabalho de Lima e Ferraresi (2009), o desempenho em laboratório (roda de borracha) apresentou uma superioridade da liga FeCrC+Nb sobre a liga FeCrC+Ti, entretanto os autores observaram carbonetos de titânio muito maiores que os carbonetos de nióbio.

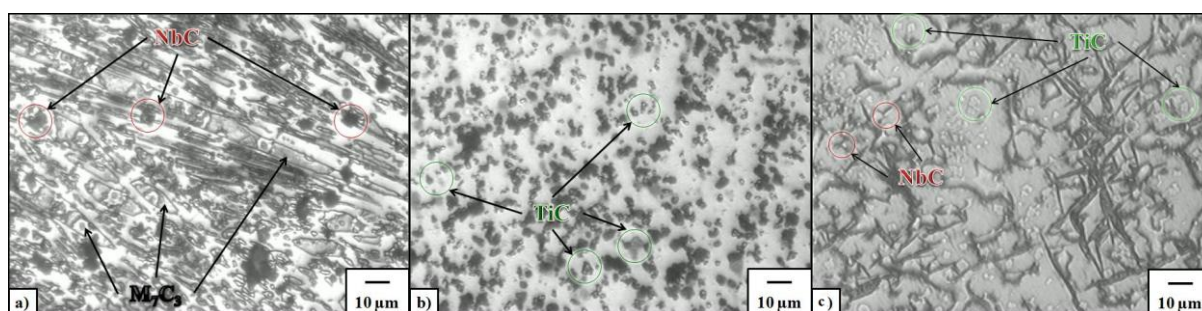


Figura 5. Microestruturas dos revestimentos, a) FeCrC+Ti, b) FeCrC+Nb, c) FeCrC+Ti com adição de arame não energizado de FeCrC+Nb – Ataque com Murakami 60° por 10 seg.

Referências

- BUCHELY. M.F.; GUTIERREZ. J.C.; TORO. A. **The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys.** *Wear.* 259. pp 52-61. 2005.
- HERNANDEZ. O. J. S. **Otimização do Consumível na Solda de Revestimento Aplicada na Indústria Sucroalcooleira.** Universidade Federal de São Carlos. Dissertação de Mestrado. 102 p. 1997.
- LIMA. A.; FERRARESI. V. **Análise da microestrutura e da Resistência ao Desgaste de Revestimento duro Utilizado pela Indústria sucroalcooleira.** *Soldagem & Inspeção.* SP. Vol. 14. pp 140-150. 2009.
- POLIDO. R. S.; E GALLEGU. J. **Estudo da Microestrutura de Revestimento Duro Aplicado nos Equipamentos da Indústria Sucroalcooleira Sujeito ao Desgaste Abrasivo.** UESP/FEI. 2006.
- SCANDELLA. F; SCANDELLA. R. **Development of hardfacing material in Fe-Cr-Nb-C system for use under highly abrasive conditions.** *Materials Science and Technology.* UK. v. 20. pp 93 – 104. 2004.
- YANG. K.; YU. S.; LI. Y. and LI. C. **Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy.** *Applied Surface Science.* 254. pp 5023-5027. 2008.
- ZHI. X.; XING. J.; FU. H.; XIAO. B. **Effect of niobium of the as-cast microstructure on hypereutectic high chromium cast iron.** *Materials Letters.* Vol 62. pp 857 – 860. 2007.