

Avaliação do Desempenho de Revestimentos Depositados por Solda em Rolos de Moagem de Carvão

Ângela Beatriz Coelho Arnt¹, Marcio Roberto da Rocha²,
Luis Augusto de Mello Torres³, Bruno Jose Leandro⁴

Resumo

Neste trabalho foi avaliado o desempenho de revestimentos resistentes ao desgaste, depositados por solda, em rolos de moagem de carvão. Os rolos de moagem são partes integrantes de moinhos de carvão, que são equipamentos utilizados em termelétricas com sistema de queima direta. São fabricados em ferro fundido branco alto cromo (ASTM A532-II-E), com dureza superior a 600HB. Devido ao atrito existente durante a operação dos moinhos, ocorre desgaste nas regiões expostas (aro dos rolos e pista de moagem), o que ocasiona queda de desempenho associada a paradas para manutenção e trocas. Para a realização deste estudo, foram confeccionados corpos de prova de aço ABNT 1020 e ferro fundido branco alto cromo (ASTM A532II-E), revestidos por deposição por solda, com a utilização de dois arames tubulares revestidos de ligas com alta resistência ao desgaste. Após a deposição, estas amostras foram submetidas a ensaios de desgaste (de acordo com a norma (ASTM G 65-94) e análises microestruturais via microscopia óptica e eletrônica de varredura. A partir da análise dos resultados obtidos com os corpos de prova revestidos, foi observado um desempenho 40% superior, ao compararmos com as amostras de ferro fundido branco alto cromo, sem revestimento.

Palavras-chave: Rolos de Moagem. Revestimentos. Solda.

Abstract

This work deals with performance evaluation of coatings deposited by welding over grinding rolls; the main feature analysis was the wear resistance. Grinding rolls are part of coal mills used in direct burn

¹Professora doutora da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. E-mail: anb@unesc.net.

²Professor doutor da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. E-mail: mdr@unesc.net.

³Engenheiro da Tractebel Energia S.A., em Capivari de Baixo/SC.

⁴Engenheiro na Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

thermoelectric systems. They are made of high chromium white casting iron (ASTM A532-IIIE), presenting over 600HB hardness. The friction that occurs during the mill operation results in wear of the exposed parts of the mills, specifically roll hoops and grinding track, causing performance decreasing and stops for maintenance and changing. In this work the samples of steel 1020 and high chromium white casting iron, were coated by welding technique using tubular wires made by high resistance alloys. After deposition the samples were submitted to wear tests (ASTM G65-94) and optical microscope and SEM analysis. After de performance analysis of deposition coatings, it was noted that it had an increase over 40%, regarding to of high chromium white casting iron.

Keywords: Grinding Roll. Coating. Welding.

Introdução

Rolos de moagem de carvão são partes constituintes de moinhos de carvão, equipamentos que recebem o carvão em estado bruto através de alimentadores, e o reduzem a uma determinada granulometria. Alguns aspectos destes equipamentos, como capacidade de moagem, recirculação, moagem, classificação e transporte são variáveis características de cada projeto de fabricação e necessidade de produção. Sua utilização em termelétricas, em sistema de queima direta, inicia com a chegada do carvão a um cone de distribuição, pela ação da gravidade, e pela ação de uma força centrífuga chega à pista de moagem, onde sofre redução granulométrica.

Cada moinho de carvão é composto de três rolos de moagem, estacionários, que giram em torno de um eixo sobre a pista de moagem. A pista de moagem, acionada por um conjunto de molas, gira em torno de 26 RPM. Tanto os rolos como a pista de moagem são fabricados com ferro fundido branco alto cromo (ASTM A532–IIIE). Os rolos de moagem apresentam espessura do aro de 100 mm, espessura externa de 1750 mm e largura de 595 mm; a pista possui espessura de 115 mm e é composta de 12 segmentos.

Durante a moagem do carvão, as partes de contato (rolos e pista) com o carvão são submetidas a desgaste, portanto devem ser periodicamente monitoradas e substituídas, pois afetam diretamente a alimentação das caldeiras e, conseqüentemente, a geração de energia. A vida útil destes rolos de moagem é de 6000 horas trabalhadas. Após este período, o rolo pode ser invertido para trabalhar por mais 6000 horas; após este tempo, os rolos e a pista de moagem são substituídos.

Na Figura 1 é apresentado o desgaste em rolos de moagem dos moinhos após 6000 horas de operação, antes da inversão do rolo.



Figura 1: Rolos - desgaste após 6000horas/trabalhadas.

A redução do minério é obtida através do atrito entre a superfície externa dos rolos (aro) e a pista. Um sistema de fluxo de ar quente, que entra na câmara de moagem, através de anéis de palhetas, arrasta e seca o carvão pulverizado, que é direcionado ao classificador num movimento em espiral e separado por gravidade.

O carvão utilizado apresenta teor médio de cinzas de 41%, com 75% da granulometria passante em peneira de 200 *mesh*.

O atrito entre o carvão, rolos e pista gera um desgaste abrasivo, que pode ser caracterizado pela retirada de material das superfícies em contato. Com isso, a área de contato carvão-rolo-pista é diminuída, proporcionando diferença de granulometria, que afeta o processo produtivo. Verifica-se também o aparecimento de um pequeno desgaste erosivo, promovido pelo fluxo de partículas de carvão previamente moído, através do sistema de moagem⁽¹⁾.

Uma alternativa para minimizar e/ou recuperar os rolos e pistas desgastadas consiste na aplicação de revestimentos duros por processo de soldagem⁽²⁾.

O processo de soldagem por revestimento utiliza a deposição de materiais previamente selecionados e com características específicas para as necessárias condições de trabalho. Suas propriedades podem ser direcionadas para a reconstrução de partes de equipamentos danificados por situações severas de abrasão, pela formação e construção das camadas depositadas, com diferentes percentuais de composição química e dureza⁽¹⁾.

Neste trabalho, os materiais de deposição são ligas metálicas, com características de resistência às condições de desgaste severo, às quais os rolos de moagem são submetidos. As ligas utilizadas apresentam percentuais de alto cromo associados a outros elementos de composição à base de vanádio (V) e nióbio (Nb)

A deposição de materiais resistentes ao desgaste, por solda, em substratos de metais ferrosos é objeto de estudo desde meados do século passado. Todo o estudo salienta a necessidade de acompanhamento da temperatura do material de deposição e do substrato e da análise da microestrutura resultante, responsável pelas propriedades mecânicas⁽³⁾.

É importante salientar que distorções no processo de deposição por solda podem aparecer, devido à falta de uniformidade nas características de expansão e contração dos metais base e de deposição durante o ciclo de aquecimento e resfriamento⁽⁴⁾.

Análises por microscopia óptica podem fornecer informações importantes quanto ao mecanismo de remoção de material (*pites*, aberturas de ranhuras), deformação (cratera, material acumulado), mudanças no material (dureza, transformação de fase) e fusão incipiente, localizadas na superfície e regiões de sub-superfície⁽¹⁾.

Alguns pesquisadores^(5,6) salientam a importância da construção de depósitos por solda, à preparação da interface substrato-camada depositada. Características como o nivelamento e o faceamento da superfície são necessárias para manter e promover a uniformidade da deposição e o aporte de calor durante a realização do procedimento. É importante acrescentar que o processo de deposição por solda envolve basicamente dois aspectos: a precisão dimensional, que envolve precisão geométrica e qualidade da superfície, e as propriedades metalúrgicas necessárias⁽⁵⁾.

Com o intuito de reduzir o desgaste na superfície dos rolos e pistas de moagem e, desta forma, aumentar a expectativa de utilização dos moinhos, este trabalho propôs um estudo do comportamento de desgaste dos revestimentos aplicados sobre amostras de aço 1020 e FoFo branco de alto cromo, de modo a fornecer uma referência de seleção da liga com maior eficiência neste quesito.

Materiais e Métodos

Materiais e Equipamentos

Foram utilizados dois equipamentos e materiais de deposição de diferentes fabricantes, codificados por X e Y. Algumas informações técnicas e de suas características não foram repassadas pelos fabricantes.

◆ Equipamentos

Fabricante X, marca *Wamsb-trak*. Apresenta as seguintes especificações: tensão: 32 a 32,5 V, corrente: 420 a 490 A e velocidade de deposição de 0,610 m/min. Foram realizados três passes de solda com a utilização de arame tubular de 2,8 mm de diâmetro.

Fabricante Y, marca FCAW – flux cored arc welding/Inner. Apresenta as seguintes especificações: tensão: 31 a 33 V, corrente: 420 a 455 A, polaridade invertida e velocidade de deposição de 0,610 m/min. Foram realizados três passes de solda com a utilização de arame tubular de 2,8 mm de diâmetro.

◆ Materiais utilizados

A primeira liga utilizada, a base de 22Cr10V, identificada por X, é recomendada para aplicações onde se necessita resistência à abrasão e corrosão e onde a resistência do ferro branco alto cromo não é suficiente. Esta aplicação é otimizada devido aos carbonetos de vanádio estarem distribuídos em uma matriz austenítica com boa tenacidade e alta resistência mecânica. Dureza variando de 62-65 HRC. Na Tabela 1, é apresentada a composição química da liga.

Tabela 1: Composição química da liga à base de 22Cr10V.

Elementos	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	V (%)	Fe (%)
Material X	5,00	0,50	1,20	22,00	10,00	Bal

A segunda liga utilizada, à base de 19Cr7Nb, identificada por Y, é recomendada para aplicações em rolos e mesas de moagem. Apresenta depósitos altamente resistentes ao desgaste, em situações com alta abrasão/impacto/pressão, ideal para a soldagem em multicamadas, dureza média de 60HRC. Na Tabela 2, é apresentada a composição química da liga.

Tabela 2: Composição química da liga à base de 19Cr6NbB.

Elementos	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Cr(%)	B(%)	Nb(%)	Fe
Material Y	4,80	0,93	0,16	18,90	0,40	6,82	Bal.

Métodos

Chapas de aço ABNT1020 e ferro fundido branco alto cromo, nas dimensões 300X300X25,4mm, serviram de substrato para as deposições por solda. Estas chapas foram limpas por meio mecânico e químico. As deposições foram realizadas de acordo com os parâmetros previamente citados.

Na deposição com o material 22Cr10V-(X), a construção do revestimento, na chapa ASTM A532-IIIE, foi realizada de maneira não continuada, a cada deposição do cordão de solda, houve um intervalo para que a peça adquirisse uma temperatura inferior a 70°C. Com o objetivo de minimizar o efeito da alta

temperatura sofrida pela peça e aumentar a eficiência de transferência de calor, a chapa metálica foi colocada em uma chapa de apoio num tanque de resfriamento, com água corrente e fluxo de ar. Com aplicação do segundo cordão de solda, a temperatura do substrato ficou em torno de 100° C e a temperatura da água de resfriamento entre 23 e 25C. A distância de deposição (*Stick-out*) foi de 25 mm. Após a deposição do terceiro cordão de solda, foi realizada uma escovação mecânica superficial na área da deposição. As dimensões dos depósitos foram de 200X100mm.

Os mesmos parâmetros foram utilizados para as chapas de ABNT 1020, com variação apenas no sistema de resfriamento, que foi realizado sem fluxo de água corrente no tanque de resfriamento, com temperatura média de 45C, e ausência de fluxo de ar. As dimensões dos depósitos foram 100x214mm.

Na deposição com o material 19Cr7Nb(Y), a construção do revestimento, tanto para substrato ABNT 1020 e ASTM A532II-E, foi realizada automaticamente, sem pré-aquecimento do substrato e nem resfriamento entre passes, a temperatura máxima interpasses foi de 80°C. As dimensões dos depósitos foram de 60x300mm.

Para a quantificação dos depósitos realizados, os corpos de prova revestidos, com base ABNT 1020, foram submetidos ao ensaio de desgaste, de acordo com a norma ASTM G 65-94 procedure A. As amostras foram limpas em álcool etílico, utilizando ultrassom, secas e pesadas, em balança semi-analítica com quatro casas de sensibilidade. A resposta frente ao desgaste foi obtida a partir de cálculos estabelecidos pela norma, com os respectivos desvios e erros. Na Tabela 3, estão relacionados os parâmetros do ensaio de desgaste.

Tabela 3: Parâmetros do ensaio de desgaste.

Dados do Ensaio	Valores
Diâmetro do disco de borracha	225 mm
Tempo de desgaste	30 min
Rotação do disco	200 RPM (utilizado tacógrafo digital)
Areia	IPT Areia normal brasileira - 50
Vazão de areia	310 g/min

Os corpos de prova revestidos com base ASTM A352II-E nas dimensões 1x1x1mm foram submetidos à análise microestrutural, diluição e composição em um microscópio eletrônico de varredura, dotado de microsonda (Phillips – EDAX XL30) e Microscópio óptico (Olympus –mod. DX60 - Aumento de 50x a 1000x). Foram realizadas medidas de microdureza em HV (microdurômetro Shimadzu – mod. HVM2) e em HRC (durômetro TRB EXP). As espessuras dos depósitos foram medidas através de um paquímetro (Mitutoyo - 150 mm / 20 divisões).

Resultados e Discussão

Na Tabela 4, são apresentados os resultados obtidos no ensaio de desgaste para as amostras revestidas e sem revestimento. Os valores observados são resultado da média de 06 amostras ensaiadas.

Tabela 4: Valores do ensaio de acordo com a norma ASTM G65-94.

Materiais	Média do Desgaste (G)	Desvio Padrão (G)	Dureza (Hrc)	Desvio Padrão (Hrc)
22Cr10V (X)	0,1484	0,0203	63,12	1,44
19Cr7Nb (Y)	0,2060	0,0390	61,66	1,29
<i>FoFo alto cromo*</i>	<i>0,2850</i>	<i>0,0230</i>	<i>59,50</i>	<i>1,57</i>

* Material-base dos rolos, ASTM A532II-E.

Dos resultados apresentados, observa-se que a liga 19Cr7Nb (Y) apresentou perda de massa 30% superior à amostra 22Cr10V (X). A dureza obtida para a amostra 19Cr7Nb (Y) também apresentou um valor inferior, mas não pode-se dizer que esta diferença de 61 para 63 HRC seja um parâmetro determinante do comportamento da liga perante o mecanismo de desgaste sofrido.

A dureza pode ser utilizada na seleção dos revestimentos como um indicativo de uma possível maior ou menor resistência ao desgaste. Porém, para a correta seleção dos materiais a serem depositados, outros parâmetros devem ser levados em consideração, como, por exemplo, microestrutura resultante e os mecanismos de desgaste atuantes⁽⁷⁾.

Na Figura 2, estão representadas as fotos de amostras revestidas e submetidas a testes de desgaste de acordo com a norma ASTM G65-94.

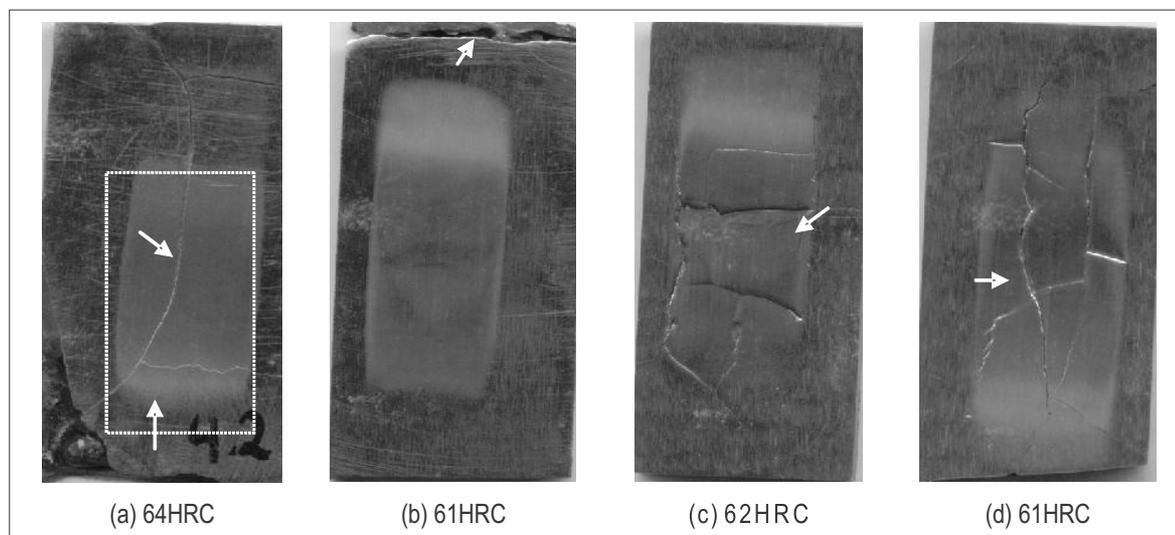


Figura 2: Amostras desgastadas no ensaio ASTM G-65 para (a) e (b) a liga 22Cr10V (X) e (c) e (d) para a liga 19Cr6NbB (Y). As setas indicam as trincas formadas no processo de deposição. As durezas verificadas foram equivalentes.

Na Figura 2, observa-se grande quantidade de trincas. Tal ocorrência é de certo modo comum nos revestimentos contendo altos teores de C (as ligas utilizadas apresentam em média 5% de carbono) e de elementos de liga, já que a formação de tais trincas decorre de um alívio de tensões gerado devido a contração da liga depositada durante o seu resfriamento.

Mas é importante salientar que este trincamento não necessariamente implica a diminuição da vida útil dos rolos e da pista revestidos, mas sim é uma vantagem na redução do nível de tensões residuais inerentes ao processo de deposição⁽²⁾.

Na Figura 3, é apresentada a microestrutura das ligas revestidas e do fofo branco (metal-base), que apresenta estrutura de carbonetos de cromo eutéticos e precipitados na matriz.

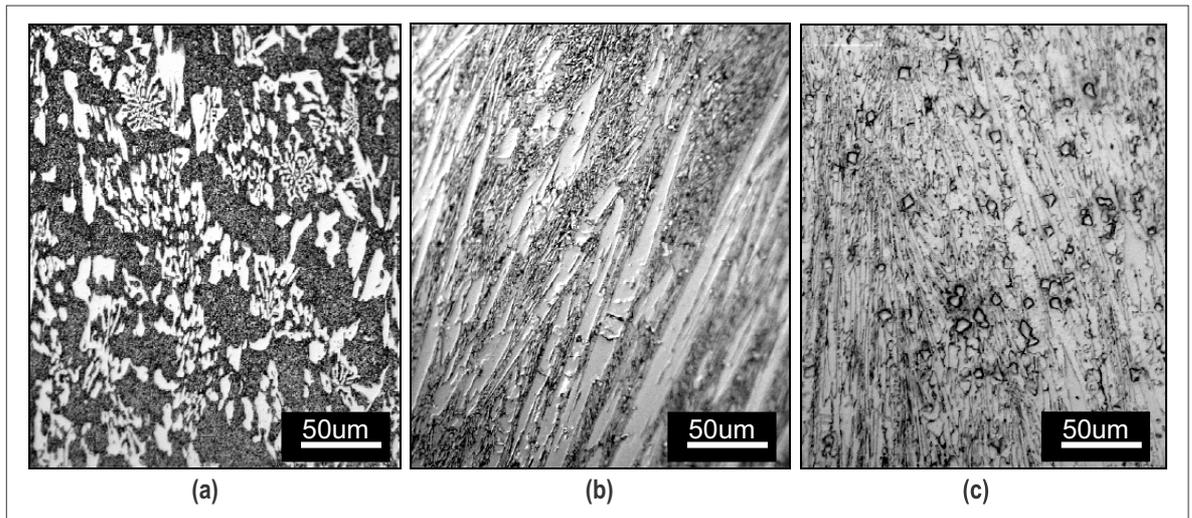


Figura 3: Microscopia óptica do (a) metal de base fofo branco ASTM A532II-E, (b) liga 22Cr10V (X) e da (c) liga 19Cr7Nb(Y).

Na Figura 4, é apresentada a microestrutura da liga 22Cr10V (X). Pode-se observar a predominância de carbonetos de cromo grosseiros, distribuídos em maior ampliação pela matriz, além de uma fina dispersão de precipitados de carboneto de vanádio.

O efeito endurecedor, promovido pela maior quantidade de carbonetos de vanádio finamente dispersos na matriz, além da homogênea distribuição de carbonetos de cromo em grande quantidade podem ser os principais responsáveis pelo melhor desempenho da liga 22Cr10V (X) frente ao desgaste abrasivo.

De modo a quantificar o desempenho frente ao desgaste das ligas aplicadas como revestimento, foram utilizados os dados de desgaste do metal-base dos rolos para referência relativa.

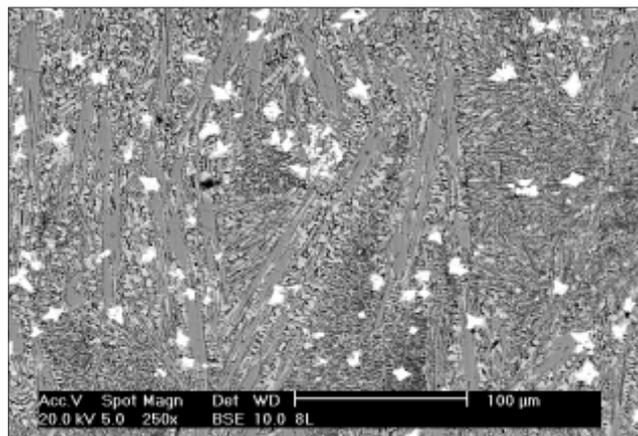


Figura 4: Micrografia de topo da amostra 19Cr7Nb (Y).

A partir deste cálculo as ligas 22Cr10V (X) e 19Cr7Nb (Y) apresentaram valores de 47,9% e 27,7%, respectivamente. Com a liga 22Cr10V (X), obteve-se um ganho de aproximadamente 48%, na resistência ao desgaste, em comparação ao material-base dos rolos de moagem ASTMA532II-E.

Conclusões

O trabalho envolveu basicamente a comparação e avaliação de duas ligas de diferentes composições (22%Cr10%V (X) e 19%Cr7%Nb (Y)). Teve como foco a verificação de seu desempenho frente ao desgaste com base principalmente em sua microestrutura e composição. Destaca-se, ainda, que os parâmetros de soldagem utilizados pelos fornecedores (identificados pelas letras X e Y) para a preparação das amostras são os comumente utilizados na recuperação de peças desgastadas em campo.

De acordo com os resultados apresentados, a liga processada 22%Cr10%V (X) apresentou um melhor desempenho frente ao desgaste abrasivo, principalmente quando comparado ao fofo branco ASTM A532II-E, obtendo-se um desempenho próximo a 50%. Isto demonstra efetivamente um ganho com a aplicação do revestimento.

Mesmo a amostra 19%Cr7%Nb (Y), que apresentou uma menor dureza e desempenho quando comparada à liga com 22%Cr10%V (Y), teve uma resistência aproximadamente 30% maior que aquela oferecida pelo metal de base frente ao desgaste abrasivo.

Esta maior resistência apresentada pela liga 22%Cr10%V(X) é decorrente principalmente da grande quantidade de carbonetos de cromo grosseiros e da presença de grande quantidade de carbonetos de vanádio dispersos finamente na matriz. Estes carbonetos contribuem de modo positivo para o aumento da resistência ao desgaste abrasivo da matriz.

Agradecimentos

A Tractebel Energia S/A, Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, Capivari de Baixo, SC. À Eutectic do Brasil Ltda, São Paulo, SP. À Welding Alloys Brasil Ltda; Taubaté, SP. À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Laboratório de Materiais. À Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Departamento de Engenharia de Materiais.

Referências

- ARNT, A .B.C. e ROCHA, M.R da. **Recuperação de superfície metálicas desgastadas, por deposição com solda**. CBECIMAT 2004. Porto Alegre-RS.
- CHATTERJEE, S.T.K. Pal. **Wear behaviour of hardfacing deposits on cast iron**. Metallurgical Engineering Department, Jadavpur University, Kolkata 700032, India. Science Direct. Wear 255. 2003. p.417-425.
- MENDEZ, J. **Weldability of austenitic manganese steel**. **Journal of Materials processing Technology** 153-154. Department of Materials and Metallurgical Engineering, Queens's University at Kingston, Kingston, Ont., Canada K7L 3N6. 2004. p.596-602.
- ANDERSON, T. Thermal distorcion in aluminum welded structures. **Welding Journal** – American Welding Society. . 2004.4p.
- YUMING, Z. Weld deposition-based rapid prototyping: a preliminary study. **Journal of Materials processing Technology** 135. Center for Robotics and Manufacturing Systems, College of Engineering, University of Kentucky, Lexington, Ky 40506-0108, USA. 2003. p.347-357.
- GATES, J.D; GORE, G.J. **Wear of metals: philosophies and practicalities**. Department of mining and metallurgical Engineering, University of Queensland, St. Lucia, Qld, 4072. 1995. p.53-89.
- BULLOCH, J.H.; HENDERSON, J.L. **Some Considerations of Wear and Hardfacing Materials**. Int. J. Pres. Ves. & Piping. 46. 1991. p.251-267.