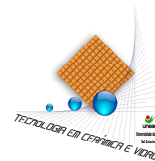




UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE

Curso de Tecnologia em Cerâmica e Vidro



Trabalho de Conclusão de Estágio

DESEMPENHO DE CARBONETO DE TUNGSTÊNIO NA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO VC131 TEMPERADO EM CAVIDADES DE CAIXA MATRIZ.

MATEUS MENDES MACHADO

GILSON BEZ FONTANA MENEGALI¹

Resumo

O desgaste abrasivo é responsável por um significativo aumento nos custos industriais de manutenção. Um dos setores diretamente atingidos por danos deste tipo é o setor de conformação das indústrias de revestimento cerâmico. As empresas cerâmicas da região sul do país utilizam o aço Vc131 temperado nas lastrinas que revestem os moldes comprometendo a vida útil destes. Com o objetivo de aumentar a vida útil de tais moldes, consequentemente diminuindo os custos das empresas, é que se ressalta a importância desse trabalho. O presente artigo discute a necessidade de uso de um material de maior resistência à abrasão para a fabricação desses moldes. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, que utilizou como ferramentas de pesquisa materiais aço VC131 temperado e metal duro, realizada no Iparque, Parque Científico e Tecnológico, Unesc. Os resultados mostraram que o metal duro é mais resistente a abrasão, isso devido à alta dureza. Com 43,66% mais resistente à abrasão, 24,87% mais duro e 44,52% mais denso que o aço Vc131 Temperado.

Palavras-chave: Metal duro, Resistência à abrasão, Dureza.

¹ Professor Orientador.

1 Introdução

O desgaste nas cavidades das caixas matrizes devido à abrasividade das massas cerâmicas é um problema que ocorre no setor de conformação das indústrias de revestimento cerâmico, ponto que influencia na produtividade das empresas do ramo.

As empresas cerâmicas da região sul do país utilizam o aço Vc131 temperado nas lastrinas que revestem os moldes. Essas lastrinas são tratadas termicamente a uma dureza de 58 a 60 HRC, que é a ideal para esse tipo de aço, pois abaixo de 58HRC ficam muito sensíveis à abrasão das massas cerâmicas, comprometendo a vida útil dos moldes, aumentando assim o número de paradas para recuperação desses moldes. Acima de 62 HRC o aço adquire uma alta dureza perdendo a tenacidade do material deixando-o frágil a impactos podendo causar trincas e até quebra da lastrina.

As cerâmicas cada vez mais estão em busca de reduzir custos em todos os pontos de sua produção, pois o número de setup para troca de formato é elevado e o tempo necessário para realizar a manutenção é entre 3 a 4 horas, tempo de produção perdido que pode influenciar no custo final ao consumidor. Por isso se dá a necessidade desse estudo sobre a resistência a abrasão de outro material, para que possa aumentar a performance do equipamento de conformação. Metal duro à base de carbetos de tungstênio um composto resistente ao calor e peso específico de 19,3 g/cm³ metal duro por ter uma alta dureza ainda possui uma boa tenacidade, característica necessária em equipamentos de conformação cerâmica.

2. Revisão Bibliográfica

Segundo Pinto (2008) *apud* TORRES (2009), o metal duro é um material obtido a partir de carbetos refratários, com o tungstênio, molibdênio, titânio, nióbio, tântalo e cromo. É um composto de matriz metálica composto por uma fase dura, os carbetos, e uma fase dúctil, o metal ligante, podendo ser cobalto, níquel ou ferro, que exerce o papel de ligante da fase dura, conferindo ao material a tenacidade adequada.

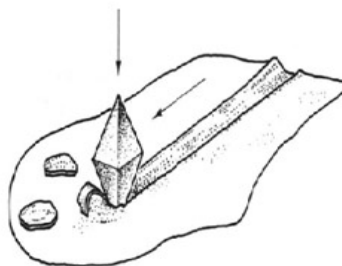


Figura1: Desgaste abrasivo.
Fonte: Rijeza Metalurgia, 2012.

Segundo Ribeiro(2004), *apud* DIAS E GOMES (2003), o fenômeno do desgaste é de maneira geral, o deslocamento de material causado pela presença de partículas duras que estão entre ou embutidas em uma ou ambas as superfícies, o que pode ser observado na Figura 1.

Os principais fatores de desgaste são: variáveis da metalurgia: dureza, tenacidade, composição química, constituição e microestrutura. Variáveis do processo: Materiais em contato, pressão, velocidade, temperatura e acabamento superficial. Outros fatores: Lubrificação e corrosão. (GAHR, 1987)

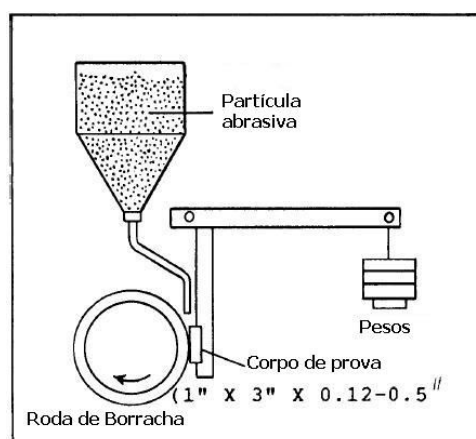


Figura 2: Princípio de funcionamento do ensaio roda de borracha (ASTM G65-04).
Fonte: Agudelo. Efeito da forma da partícula abrasiva no desgaste de ligas de alumínio e de aço usadas na fabricação de cavidades para moldes de injeção de termoplásticos, 2011.

O ensaio padronizado pela norma ASTM G-65-04 é utilizado para se definir o desempenho tribológico de materiais metálicos usando partículas abrasivas duras. Para

este tipo de ensaio utiliza um tribômetro, este equipamento é comumente chamado de abrasômetro tipo roda de borracha, consiste basicamente em um disco recoberto por uma camada de borracha que gira em contato com a superfície do corpo-de-prova, com abrasivo na interface. Podem ser realizados ensaios a seco ou lubrificados, é um ensaio tradicionalmente usado na indústria de mineração (VILLABÓN e SINATORA, 2006). A Figura 2 apresenta um desenho esquemático deste ensaio.

Dureza é uma característica mecânica relacionada à resistência que um material, quando pressionado por outro material ou por marcadores padronizados, apresenta ao risco ou a formação de uma marca permanente. A dureza depende diretamente das forças de ligações entre os átomos, íons e moléculas e do estado do material como processo de fabricação e tratamento térmico. (ROVANI, 2009)

Neste artigo foi utilizado o ensaio de dureza Rockwell que consiste em um método de medição direta da dureza, sendo um dos mais utilizado em indústrias por sua praticidade, não exigindo habilidade do operador. Esta metodologia utiliza escalas distintas por meio de possíveis combinações de penetradores e diferentes cargas aplicadas, permitindo o uso deste ensaio em praticamente todas as ligas metálicas.

3. Procedimento experimental

As amostras submetidas aos ensaios foram tiradas de uma lastrina já utilizada em um equipamento de conformação cerâmico. Lastrina é a parte metálica endurecida que reveste a cavidade da caixa matriz, a lastrina usada nas caixas matrizes são 100% de aço VC131 temperado, este artigo estuda a aplicação de uma pastilha de metal duro na região de maior abrasão, essa pastilha ocupará 5% do volume total da lastrina de aço VC131 temperado. A Figura 3 mostra a cavidade de uma caixa matriz revestida com uma lastrina constituída de sua maior parte aço VC131 temperado e uma pastilha de metal duro, fixada na região de maior contato abrasivo no processo de conformação.

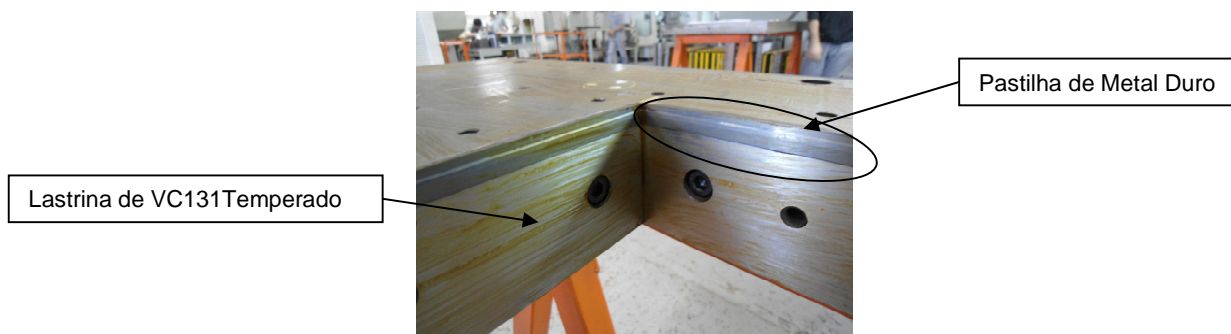


Figura 3: Lastrina fixada na cavidade da caixa matriz
Fonte: Autor 2012

Os ensaios de dureza foram realizados na empresa Icon S.A. Estampos e Moldes em um durometro, e a unidade aplicada foi a Rockwell C. Os ensaios de resistência à abrasão foram realizados no Iparq Parque Científico e Tecnológico da Unesc, o equipamento utilizado foi o abrasômetro por roda de borracha.

No ensaio de dureza foram utilizados os mesmos corpos de prova para medir a dureza dos materiais, que é determinada pela diferença na profundidade de penetração da aplicação de uma pré-carga seguida pela carga principal. Existem dois tipos de ensaios: O Rockwell superficial, no qual a pré-carga é de 3 kgf e a carga principal pode ser de 15, 30 ou 45 kgf.

No ensaio Rockwell normal, a pré-carga é de 10 kgf, e a carga principal de 60, 100 ou 150 kgf. O durometro utilizado foi preparado para o ensaio Rockwell normal que consiste em uma pré-carga de 10 kgf e a carga principal de 150 kgf. Nesse aparelho a pré-carga é aplicada manualmente, de forma que se apóie o corpo de prova em uma base que se movimenta manualmente através de uma rosca sem fim, aproximando lentamente do diamante aplicando a pré-carga até o ponteiro do relógio indicador chegar ao ponto estabelecido pelo fabricante do aparelho para a carga principal. Esse tipo de aparelho aplica eletronicamente 150 kgf acionando um botão na lateral, onde se deixa pressionado por cerca de 3 segundos, sendo liberado no momento que o aparelho começa aplicar a carga.

Iniciou-se o ensaio de dureza nos copos de prova de aço VC131 temperado, medindo três vezes cada peça. Após os ensaios com VC131 temperado, iniciou-se o ensaio com o metal duro, da mesma forma foi realizada a medição três vezes em cada peça, ao final foi feito a media de dureza dos materiais.

Para o ensaio de abrasão foi necessário preparar 5 corpos de provas para cada material a ser analisado. O formato dos corpos de prova foi de 3 mm de espessura, 25 mm de largura e 40 mm de comprimento. Essas medidas são estabelecidas pela norma ASTM G65-04, conforme Figura A e B.

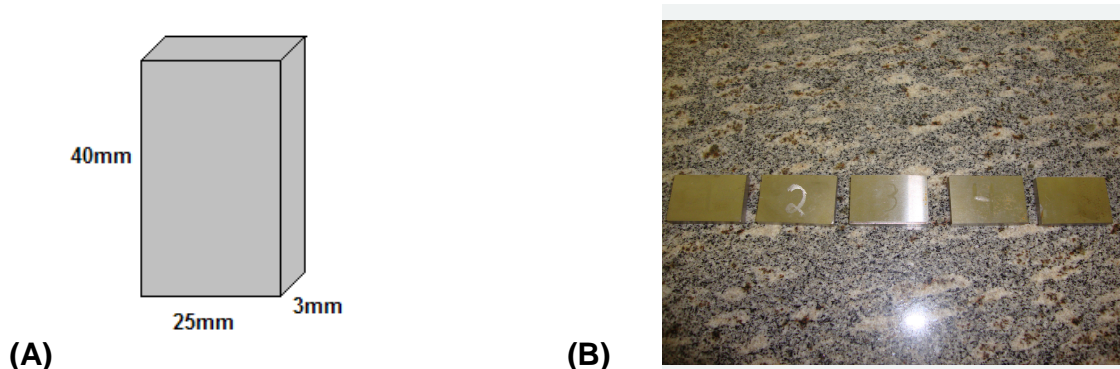


Figura A e B: Corpo de prova para ensaio à abrasão (ASTM G65-04).
Fonte: Autor, 2012

Com os dados de dureza já determinados deu-se início aos ensaios de abrasão por roda de borracha.

Antes de iniciar os ensaios foi necessário primeiramente peneirar a areia para que não tivesse influência de partículas maiores decorrentes de sujeira ou da própria roda de borracha, podendo alterar os resultados ou entupir o bocal onde ocorre o fluxo de areia.

Após o peneiramento do material abrasivo, esse foi colocado no reservatório superior da máquina. Para diminuir a chances de erros, foi necessário fazer a limpeza dos corpos de prova através de uma limpeza ultra sônica em um aparelho da marca Ultra Sônico modelo USC 750, que primeiramente transforma a energia elétrica em energia mecânica, provocando dentro de uma solução líquida um fenômeno chamado de cavitação que permite a limpeza homogênea de espaço onde o acesso é impossível. O processo de limpeza no aparelho é feito com álcool etílico hidratado, por um tempo de 15 a 20 minutos e secado com um secador de ar quente. Com a limpeza realizada, iniciou-se a medição da massa dos corpos de prova em uma balança marca Denver

Instrumento modelo APX200 com capacidade máxima de 200g e escala mínima de 0,0001g antes do ensaio.

Neste ensaio o corpo de prova foi colocado em um suporte e preso por duas pinças, sendo pressionado contra a roda de borracha que está girando a 100rpm. Enquanto que o fluxo de partículas abrasivas (areia) sobre a superfície do corpo de prova é determinado pelo bocal e pelo tamanho das partículas. Segundo a norma ASTM G-65-04 foi utilizado o procedimento específico C, força aplicada de 130N, rotação da roda de 100rpm e um tempo de 30 minutos para cada amostra.

Para o ensaio de abrasão os corpos de prova têm que ter sua superfície a ser avaliada extremamente lisa para que o contato seja uniforme. Os testes foram realizados no laboratório localizado no Iparq (Instituto Tecnológico). Com os mesmos corpos de prova utilizados no ensaio de dureza foi aplicado o ensaio de abrasão.

É importante que o operador da máquina acompanhe o ensaio, pois existe a possibilidade de entupimento do bocal de fluxo do material abrasivo. Ao final do tempo do ensaio é necessário realizar novamente a limpeza ultra sônica, para retirada das impurezas, e novamente se faz à medição da massa dos corpos de prova, para então medir a perda de massa. Para o cálculo, é aplicada a fórmula de variação de massa conforme é equação 1.

$$\Delta m = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \times 100$$

Onde:

Δm = Variação de massa

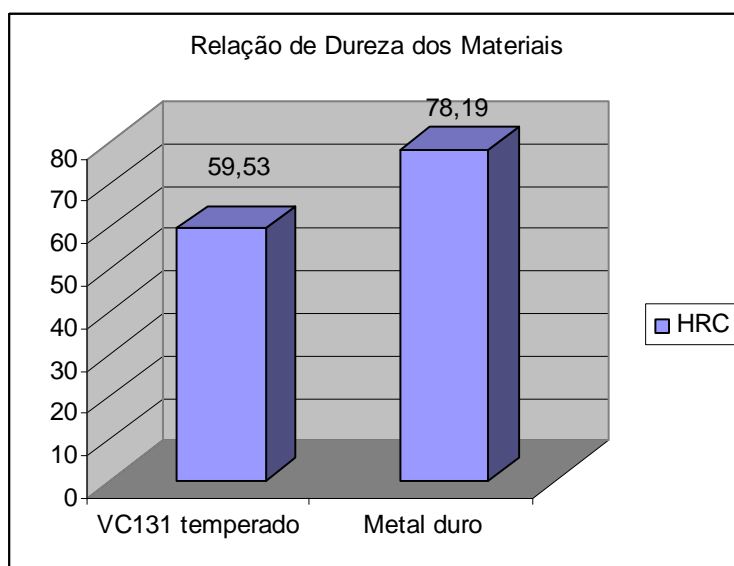
P_{inicial} = peso inicial

P_{final} = peso final

4. Resultados e discussões.

Os dados apresentados mostram resultados para os cálculos de % de relação de dureza dos materiais, % de variação de massa, % de resistência à abrasão dos dois materiais.

O gráfico abaixo representa a relação de dureza entre os materiais.



Fonte Autor, 2012

Os resultados representados no gráfico mostram a relação de dureza dos materiais. Essa diferença é de 23,86%, isso define que o metal duro terá maior resistência ao desgaste do que o VC131 temperado. O metal duro tem um grande % de tungstênio, material cerâmico com dureza próxima ao diamante, para resistir à abrasão das massas cerâmicas. Essa característica é de extrema importância para eficiência do equipamento, evitando a remoção de material da lastrina, deformando o ângulo de saída, área onde sofre pressão e arraste das partículas abrasivas.

A característica densidade entre os materiais conforme a literatura o metal duro tem o dobro do valor do aço VC131 temperado, então foram utilizados os corpos de provas de maior massa para o procedimento. Os valores comprovam a literatura. Para o metal duro a densidade é de 16,26 g/cm³ e para o aço Vc131 temperado é de 7,24 g/cm³.

Os dados apresentados nas tabelas 1 e 2 foram utilizados para os cálculos de variação de massa, % de resistência abrasão e densidade dos dois metais.

Os dados apresentados na tabela 1 mostram resultado do ensaio de abrasão do aço Vc131 temperado.

Tabela1: Aço Vc131 temperado

Corpo de prova	P inicial (g)	P final (g)	Δm (%)
1	43,4450	43,4392	0,0133
2	43,4681	43,4633	0,0110
3	43,4428	43,4350	0,0179
4	43,4844	43,4782	0,0142
5	43,4078	43,4013	0,0149
Média	43,4496	43,4434	0,0142

Fonte Autor, 2012

Tabela 2. Metal Duro.

Corpo de prova	P inicial (g)	P final (g)	Δm (%)
1	48,5318	48,5270	0,0098
2	48,6218	48,6180	0,0078
3	48,7764	44,7734	0,0061
4	48,7506	48,7470	0,0073
5	48,7916	48,7875	0,0084
Média	48,6944	48.6905	0,0080

Fonte Autor, 2012

Todo procedimento de ensaio foi realizado novamente com metal duro, e foi utilizado o mesmo equipamento e tempo de ensaio para cada amostra. A tabela 2 apresenta resultados para o metal duro.

No ensaio de resistência a abrasão o metal duro apresentou 43,66% mais resistente ao desgaste do que o VC131 temperado, essa resistência se da devido a composição do

metal duro com 81% W, 6% C e 13% Cr, é um compósito com uma base metálica e sua maior parte cerâmica.

Os ensaios de metalografia realizados neste artigo foi utilizado um corpo de prova para cada material, inicia-se com o lixamento na politriz e uma sequência de lixas iniciando com grau abrasivo de 80, 120, 240, 320, 400, 500, 600, 800 e 1200, a mudança de uma lixa para outra era realizada após a lixa de maior grau tirar os riscos de menor grau. Ao chegar ao final do lixamento é feito o polimento da face a ser analisada em disco de polimento com uma solução de alumina. Antes de ser levado ao microscópio é feito o ataque químico no material para revelar sua estrutura. Figuras 4 e 5 mostram imagens da estrutura dos materiais.



Figura 4: Amostra de metal duro aumento de 200x
Fonte, Autor 2012

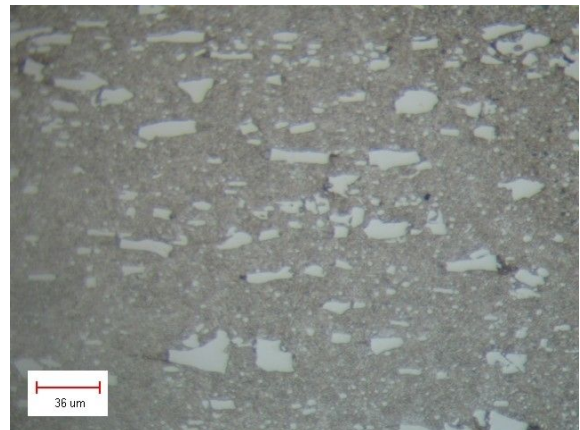


Figura 5: Amostra de VC131 temperado aumento de 500x

As análises metalográficas dos materiais foram feitas através de microscopia óptica e são apresentadas nas figuras 4 e 5 respectivamente, com aumento de 200 e 500 vezes e o reagente utiliza em todas elas foi o nital a 3% e o reativo vilela. As regiões mais escuras são os carbetos, elemento que proporciona alta dureza ao metal duro. Na figura 5 pode-se observar os pontos escuros, pode-se observa martensitas formadas quando liga de ferro – carbonos austenitizados são resfriados rapidamente como no caso do aço VC131 no processo de tempera.

7. Considerações finais

Com essa pesquisa e com os resultados obtidos pode-se concluir que o metal duro é 43,66% mais resistente à abrasão, 24,87% mais duro e 44,52% mais denso que o aço Vc131 Temperado. Assim sendo, pode-se concluir que a aplicação do metal duro trará maior produtividade, menor números de setup, maior qualidade do produto e maior eficiência de produção.

Esse tipo de equipamento já esta atuando em fase de teste em uma cerâmica da região de Santa Catarina. Seu desempenho já surpreende, pois até o momento da entrega deste artigo o equipamento em teste está com 1.500,000 ciclos e não foi recuperado até o momento, enquanto uma caixa revestida somente com lastrina de aço VC131 temperado já teria sido trocada com 800,000 ciclos e enviada para a recuperação.

Referências Bibliográficas:

RIBEIRO, Rubens. Avaliação da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Soldados do Tipo Fe-C-Cr Utilizados na Indústria Sucroalcooleira. Ilha Solteira, São Paulo. 2004. 104 p.. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista Faculdade De Engenharia De Ilha Solteira – UNESP, 2004.

ROVANI, Pablo Roberto. Estruturas Tipo Granada Sob Alta Pressão e Temperatura. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2010. 93 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2009.

TORRES, Camila dos Santos. Estudo da Moagem de Alta Energia e Sinterização do Metal Duro WC-Ni. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2009. 81 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2009.

VILLABON, L; SINATORA, A. Construção e instrumentação de abrasômetro do tipo roda-de-borracha para o estudo do comportamento tribológico de aços. Mecânica Experimental, 2006, Vol. 13, Pag. 1-11.

GAHR, KARL-HEINZ ZUM. Microestrutura e desgaste de materiais. Tribologia série, v10. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.560.

PEREIRA, A; HENRIQUE, S. Efeito da forma da partícula abrasiva no desgaste de ligas de alumínio e de aço usadas na fabricação de cavidades para moldes de injeção de termoplásticos. Curitiba, Paraná. 2011. 112 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2009.

Referências Complementares.

CAMARGO, Antônio Carlos de. Comparação das Características de Corpos de Alumina, a Verde e Após Sinterização Obtidos Pelos Processos de Prensagem Uniaxial, Prensagem Isostática e Prensagem Uniaxial e Isostática. São Paulo, 1993, 118 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. 1993.

CATAI, Rodrigo Eduardo; BIANCHI, Eduardo Carlos; AGUIAR, Paulo Roberto de e SILVA, Leonardo Roberto da. Influência do Tipo de Rebolo na Análise Microestrutural do Aço VC131 Retificado Mediante a Variação da Velocidade de Aplicação do Fluido de Corte. *Rem: Rev. Esc. Minas.* 2009, vol.62, n.1, p. 65-71.

FILHO, Jamil Duailibi. Uma Forma Muito Fácil de Economizar Energia: Utilize Materiais de Alta Resistência ao Desgaste nas Boquilhas. Estudo Realizado pelo Instituto Nacional de Tecnologia – INT, apresentado durante o 45º Congresso da Associação Brasileira de Cerâmica – ABC. Florianópolis, Maio, 2001.

PIERRI, J. J.; MAESTRELLI, S. C.; PALLONE, E. M. J. A. e TOMASI, R.. Dispersão de Nanopartículas de ZrO₂ Visando Produção de Nanocompósitos de ZrO₂ em Mmatriz de Al₂O₃. *Cerâmica.* 2005, vol.51, n.317

RIJEZA, Indústria Metalúrgica Ltda. Hastes Polidas com Carboneto de Tungstênio. Disponível em: <<http://www.rijeza.com.br/sites/default/files/hastes-polidas-carboneto-tungstenio.pdf>>. São Lopoldo, Rio Grande do Sul. Brasil. Acesso em 23 de Novembro de 2011.

_____. Indústria Metalúrgica Ltda. Mecanismos de Desgaste. Disponível em: <<http://www.rijeza.com.br/pesquisas/artigos-tecnicos/mecanismos-de-desgaste>>. São Lopoldo, Rio Grande do Sul. Brasil. Acesso em 23 de Novembro de 2011.

_____. Indústria Metalúrgica Ltda. Resistência à Erosão de um Revestimento de Carboneto de Tungstênio (WC 12Co) e do Aço Carbono 1020 Carbonitretado. Disponível em: <<http://www.rijeza.com.br/pesquisas/artigos-tecnicos/resistencia-a-erosao-de-um-revestimento-de-carboneto-de-tungstenio-wc-12c>>. São Lopoaldo, Rio Grande do Sul. Brasil. Acesso em 25 de Novembro de 2011.

SOUZA,R.C., M.P., NASCIMENTO, H.J.C. VOORWALD e PIGATIN, W.L.. Carbetto de Tungstênio – Uma Alternativa ao Cromo Duro Eletrodepositado. Jornadas SAM 2000 - IV Colóquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, Agosto de 2000, p. 575-582.

SOUZA, R.o C., NASCIMENTO, M.P. do, VOORWALD, H..J.. C., PIGATIN, W. L.. Análise de Fadiga, Corrosão e Desgaste Abrasivo do Cromo Eletrodepositado e Revestimento de Carboneto de Tungstênio por HVOF no Aço ABNT 4340. Rijeza Indústria Metalúrgica Ltda. Disponível em:<<http://www.rijeza.com.br/pesquisas/artigos-tecnicos/analise-de-fadiga-corrosao-e-desgaste-abrasivo-do-cromo-eletrodepositado->>>. São Lopoaldo, Rio Grande do Sul. Brasil. Acesso em 25 de Novembro de 2011.

VILLARES, Metals. Aços Para Trabalho a Frio. Disponível em: < http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT_13_VC131.pdf>. Sumaré. São Paulo. Brasil. Abril de 2009. Acesso em 27 de Novembro de 2011.