

DRESSAMENTO DE REBOLOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO MICROCRISTALINO COM DRESSADORES FIXOS

Oliver Odebrecht

Dr. Kaiser do Brasil Ltda., Rua Rep. Argentina, 365, sl. 301, Blumenau, SC, drkaiser@terra.com.br

Walter Lindolfo Weingaertner

Universidade Federal de Santa Catarina, cp 476, Florianópolis, SC, wlw@lmp.ufsc.br

Resumo. No processo de retificação ainda se percebe a maior atenção dada ao rebolo do que ao dressador. Em função disso, a falta de informações sobre o dressamento faz com que o rebolo não atinja seu máximo rendimento. O desenvolvimento de novos materiais, tanto para o rebolo como para o dressador, tornam maior o potencial do processo de retificação. Entretanto, os estudos e o conhecimento acerca do processo de dressamento são limitados, restringindo assim, o crescimento do potencial do processo como um todo. Este trabalho tem como objetivo acrescentar algumas informações a esse tema. Para tanto, tomou-se como objeto de estudo um rebolo com o grão convencional da geração mais recente: o óxido de alumínio micro-cristalino. Grão este conhecido pela difícil dressabilidade. No dressamento utilizaram-se três dressadores fixos. Cada um com um tipo diferente de diamante, cujos resultados, na indústria, foram os melhores para esse rebolo. São eles: o diamante natural, o diamante mono-cristalino sintético e o diamante CVD (diamante obtido por deposição química de vapor). Utilizando-se uma retificadora cilíndrica externa controlada por CNC e corpos de prova de ferro fundido nodular, verificou-se a variação do desempenho do rebolo de óxido de alumínio micro-cristalino com o tipo de diamante usado no dressamento. Além disso, verificou-se o desgaste sofrido pelos diamantes. Concluiu-se que os melhores resultados de acabamento e de manutenção do perfil do rebolo de óxido de alumínio micro-cristalino foram obtidos ao se dressar com diamante MCD (diamante mono-cristalino sintético), seguido do diamante CVD e do diamante natural. Também se constatou que o volume gasto do diamante segue essa mesma ordem, ou seja, o diamante MCD teve o menor volume gasto e o diamante natural o maior. Os ensaios foram repetidos com um rebolo de óxido de alumínio comum e com um de carboneto de silício verificando-se significativas diferenças nos resultados.

Palavras-chave. retificação, diamantes, dressamento

1. INTRODUÇÃO

A tendência da indústria metal-mecânica é de fabricação de lotes cada vez menores e com tempos de entrega cada vez mais reduzidos. Além disso, a competitividade do setor aumenta, assim como aumenta a exigência de peças com melhor acabamento e precisão. Nesse contexto, quem conseguir reduzir os custos de produção tem as melhores chances de se impor no mercado. Quando se trata da fabricação de peças endurecidas de grande precisão, parte dos custos e do tempo de fabricação recae sobre a operação de retificação.

Com o intuito de melhorar o acabamento da superfície usinada e operar com maiores velocidades de corte na retificação de peças endurecidas é necessário que haja o desenvolvimento das ferramentas existentes, além das variáveis do processo. Atenção especial deve ser dada ao abrasivo, ao ligante do rebolo e à ferramenta de dressamento.

O grão convencional de maior expressão na retificação de materiais ferrosos ainda é o óxido de alumínio, também conhecido por coríndon. Como alternativa nessas aplicações, o superabrasivo de CBN faz exigências extremas à máquina-ferramenta e às condições de trabalho. O emprego de rebolos de CBN exige altas taxas de remoção, obtido com pouco dressamento e baixos tempos improdutivos. Entretanto, o emprego de CBN exige retificadoras rígidas e que permitam grandes velocidades de corte. O processo é pouco flexível e as ferramentas são extremamente caras. Na fabricação de lotes pequenos a médios, onde se requerem processos flexíveis, o emprego de CBN é desvantajoso, levando a um impasse. Os fabricantes de rebolos reconheceram esse impasse e desenvolveram uma ferramenta cujo emprego é mais flexível que o rebolo de CBN e que ao mesmo tempo permite melhor performance que os rebolos de óxido de alumínio. Estes novos rebolos são constituídos de óxido de alumínio micro-cristalino, também conhecido por óxido de alumínio Sol-Gel e óxido de alumínio sinterizado.

Os rebolos de óxido de alumínio microcristalino apresentam resultados de retificação muito bons, mas constata-se a dificuldade de dressá-los. Esta dificuldade vem sendo verificada principalmente em empresas de pequeno a médio porte que utilizam na sua grande maioria dressadores fixos. Em muitos casos a dificuldade de dressamento é tal que o rebolo não atinge os resultados econômicos esperados. Muitas vezes não se tem conhecimento de que modificando os parâmetros no dressamento, ou mesmo mudando o tipo de dressador, é possível alterar os resultados de dressamento e, consequentemente, os resultados de retificação. Além dos dressadores fixos tradicionais que empregam diamantes naturais, estão chegando ao mercado nacional os dressadores com diamantes sintéticos, que abrem novas perspectivas para o dressamento de rebolos de óxido de alumínio microcristalino.

Este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento de dressadores fixos com diamantes sintéticos, em comparação aos diamantes naturais, no dressamento de rebolos de óxido de alumínio microcristalino (Al_2O_3 -MC). Também se objetivou a observação das formas de desgaste dos diamantes no dressamento desse tipo de rebolo.

2. DIAMANTES NATURAIS E SINTÉTICOS

2.1. Diamantes Naturais

A estrutura de um grão de diamante é composta apenas por ligações covalentes. Os átomos de carbono formam uma estrutura cfc (cúbica de face centrada), sendo que há quatro outros átomos por célula unitária, que preenchem os espaços restantes (Fig. 1). Cada átomo de carbono está distanciado 0,154 nm do seu vizinho.

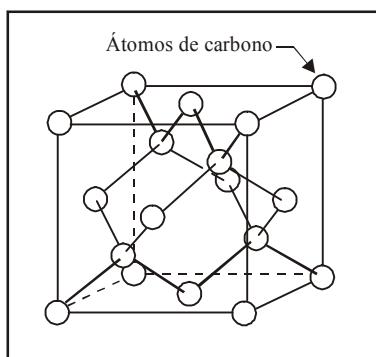


Figura 1 Célula unitária do diamante, conforme Bargel (1999).

Essa estrutura atômica é que resulta nas excelentes propriedades dos diamantes, como a dureza Knoop de 6.500 à 8.800 HK, ou seja, o dobro que o CBN (nitreto de boro cúbico), o segundo material mais duro conhecido, conforme Graf (1998).

A dureza de grãos de óxido de alumínio (Al_2O_3) e de carboneto de silício (SiC) praticamente independem da orientação dos cristais. Já nos diamantes percebe-se uma grande dependência. Em relação às faces do octaedro, no plano 111, por exemplo, a dureza no plano 110 é 123% maior, e no eixo principal 100 é 138% maior.

Conforme König (1996), o diamante também é o material de corte com a maior condutividade térmica, utilizado em ferramentas de geometria não definida. Dessa forma o calor resultante na zona de corte é então rapidamente conduzido para o ligante.

A Tab. 1 mostra valores de dureza Knoop, condutividade térmica, resistência ao desgaste e resistência à pressão do diamante comparativamente aos outros grãos empregados em rebolos.

Tabela 1: Comparação das propriedades do diamante com outros grãos abrasivos, por Graf (1998).

	Dureza Knoop	Resistência ao desgaste (Mohs Wooddell)
Al_2O_3	2.200	9
SiC	2.700	14
CBN	4.500	37
Diamante	8.800	43
Resistência à pressão (kg/mm^2)		Condutividade térmica ($\text{Gcal.s.cm}^2.\text{C}/\text{cm}$)
Al_2O_3	58	0.069
SiC	300	0.215
CBN	720	3.8
Diamante	1.065	5.9

A dureza do diamante diminui com o aumento da temperatura. À 900 °C o diamante grafitiza quando está sob baixas pressões e há oxigênio suficiente (Fig. 2). De acordo com Graf (1998) é possível aquecer o diamante acima de 900 °C sem que ocorra sua grafitização, mas em atmosferas com quantidade baixa de oxigênio. Razão pela qual se faz necessário uma boa refrigeração do dressador diamantado durante o dressamento.

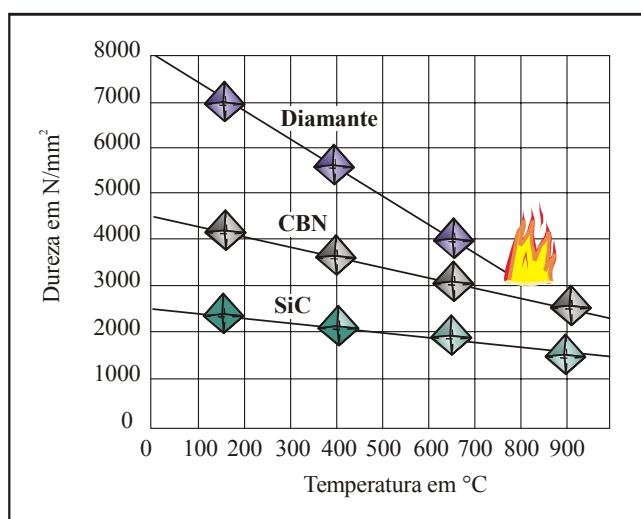


Figura 2. Dureza dos grãos abrasivos com o aumento da temperatura de acordo com Graf (1998).

2.2. Diamantes Sintéticos

Atualmente existem três tipos de diamantes sintéticos os quais já vem sendo empregados em dressadores fixos, sendo eles o diamante policristalino (PCD), o diamante monocristalino (MCD) e o diamante obtido por deposição química de vapor (diamante CVD). O resultado do processo de fabricação consiste em uma placa de diamante com espessura determinada pelos parâmetros do processo. Para a aplicação em dressadores fixos são cortados, a laser, bastões com comprimento que geralmente entre 4 e 5 mm e seção transversal quadrada que pode variar de 0,2 por 0,2 mm até 0,8 por 0,8 mm.

2.2.1. Diamante Policristalino sintético – PCD

O diamante policristalino conhecido por PCD (polycrystalline diamond) é formado pela sinterização de pó de diamante sintético com pó de cobalto e tungstênio (Fig. 3). Devido à disposição arbitrária dos diamantes, o diamante PCD é isotrópico e, por isso, não há plano preferencial de clivagem. Se um grão de diamante quebra ou é arrancado da matriz, as partículas adjacentes e subjacentes impedem a continuação da fissura. Mesmo que a isotropia confira ao diamante PCD uma elevada resistência ao desgaste, o diamante natural é mais duro. A dureza Knoop do diamante PCD é de 5.500 HK, enquanto que a do diamante natural está na faixa de 6.500 a 8.800 HK.

Existem praticamente três diferentes tamanhos comerciais de grão de diamante PCD (0,002; 0,001 e 0,025 mm). Em dressadores opta-se pelo grão maior de 0,025 mm. Os grãos menores são utilizados em ferramentas de geometria definida, como insertos para torneamento e fresamento.

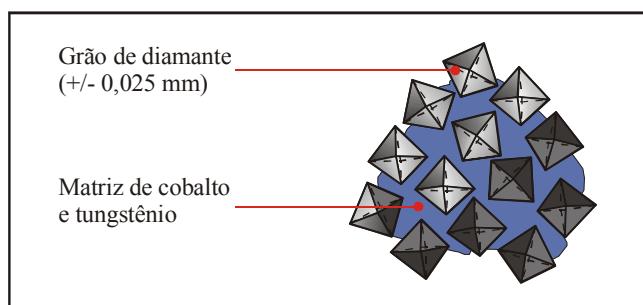


Figura 3. Estrutura do diamante policristalino (PCD), por Graf (1998).

2.2.2. Diamante Monocristalino Sintético – MCD

A síntese do MCD (monocrystalline diamond) ocorre a pressões da ordem de 7 GPa e em temperaturas acima de 1.300 °C. A Fig. 4 mostra, de forma esquemática, o equipamento empregado pela SUMITOMO ELECTRIC para a obtenção desse diamante (conforme Sumitomo (1991)).

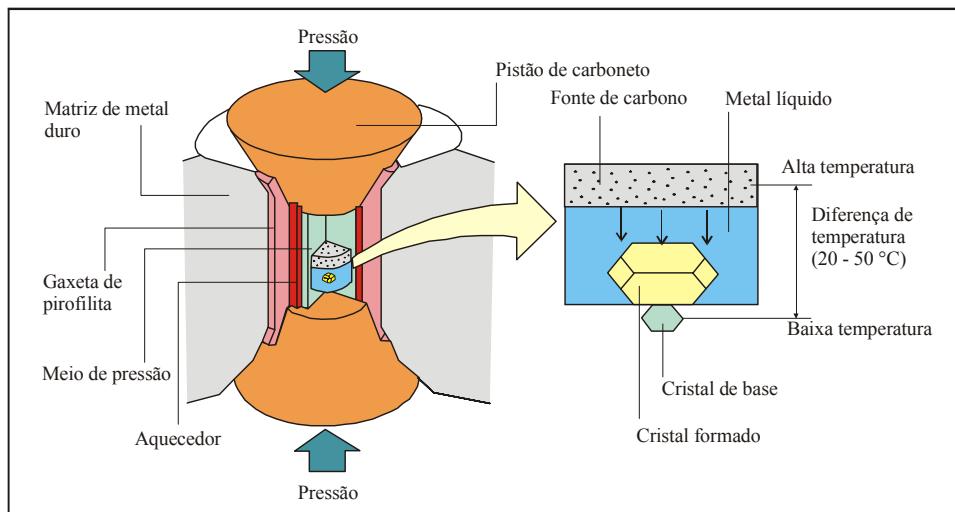


Figura. 4. Processo para a síntese do diamante MCD, conforme Sumitomo (1991).

Um gradiente de temperatura é criado no interior do aquecedor que faz com que o carbono se desloque da parte superior e mais quente para a parte inferior e mais fria, através do metal liquefeito. Esse processo permite que um diamante se forme (nucleie) e cresça sobre um cristal de diamante de base (ver Fig. 4, à direita). A pureza do diamante formado depende das matérias primas e do banho de metal, ambos de alta pureza. Além disso, o processo deve ser controlado a fim de manter as condições de síntese constantes durante um longo período de tempo.

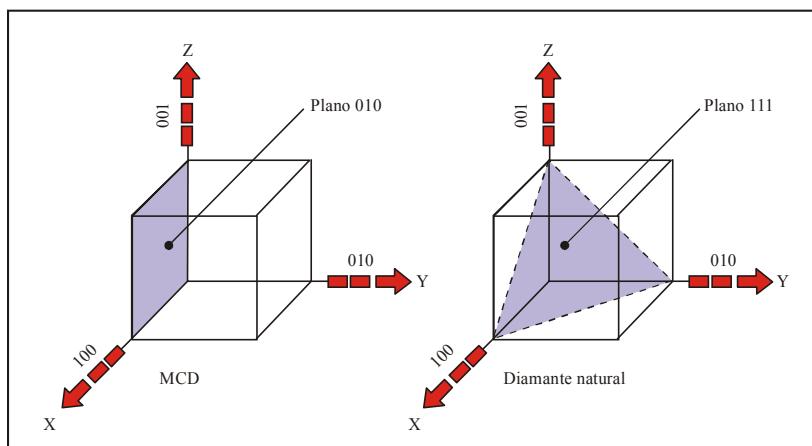


Figura 5: Planos preferenciais de deslizamento dos diamantes naturais e sintéticos, por Graf (1998).

Enquanto o plano preferencial de clivagem do diamante natural é 111 no sistema cúbico, no diamante MCD esse plano é 101, como pode ser visto na Fig. 5. Essa característica faz com que o diamante MCD seja praticamente livre de tensões internas, o que aumenta o tempo de vida no dressamento. Além disso, a resistência contra lascamentos é grande pelo fato de não haver uma superfície de clivagem preferencial aparente e a condutividade térmica do diamante MCD ser maior que a do diamante natural.

2.2.3. Diamante Obtido por Deposição Química de Vapor – Diamante CVD

O diamante obtido pelo processo CVD (chemical vapor deposition), é formado pela ativação de gases contendo carbono à alta temperatura e baixa pressão. Nessa condição o carbono precipita na forma de microgrãos de diamante sobre um substrato, geralmente uma placa de silício (Fig. 6). Assim, esses grãos precipitam e se fixam sobre os grãos já formados, criando um filme de diamante. Esse é, portanto, um diamante policristalino sendo sua condutividade térmica menor em relação ao diamante MCD. O tempo e as condições do processo determinam o tamanho do grão formado e, consequentemente, as características do filme de diamante. Pode-se obter desde filmes de diamante CVD para aplicação em ferramentas, cuja coloração é preta, até filmes transparentes. Conforme Vários trabalhos (Jiang; Norton, 1997 e Uhlmann, 2002), o tempo gasto para a criação de filmes transparentes de diamante CVD é muito longo e utilizado somente para aplicações especiais como em janelas para ambientes de temperatura elevada como fornos, por exemplo.

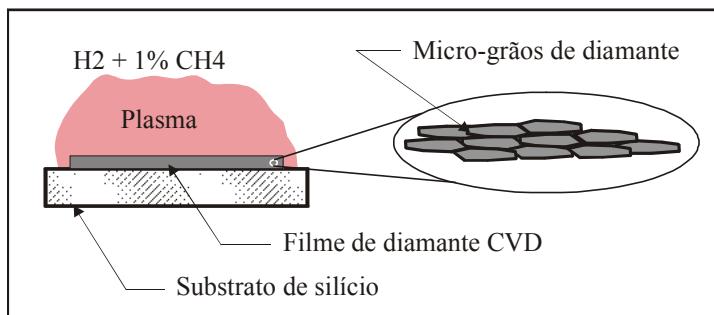


Figura 6: O diamante CVD, de acordo com Norton (1997).

A ativação do gás, que consiste na dissociação de suas moléculas em íons e elétrons, pode ser realizada de várias maneiras. Entre elas estão os processos de filamento quente (temperatura entre 500 – 950 °C e pressão de 10 hPa e 200 hPa), plasma por micro-ondas, tocha de oxi-acetileno e jato de plasma por corrente contínua onde a temperatura está entre 800 e 1.200 °C, conforme Norton, (1997).

3. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

O objetivo dos ensaios foi a determinação do desgaste dos diamantes dos dressadores além da relação de desgaste (fator G) do rebolo e da variação da rugosidade com o volume usinado por esse rebolo, após o dressamento com cada um dos diamantes avaliados. Para tanto utilizou-se três tipos de diamantes com comprimento de 4 mm e seção transversal quadrada de 0,8 por 0,8 mm, sendo um diamante natural, um diamante monocristalino sintético (MCD) e um diamante obtido por deposição química de vapor (diamante CVD), fornecidos pela empresa alemã Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge. O rebolo de óxido de alumínio microcristalino empregado, com especificação 93A60H8V, medidas Ø304,7 x 12,7 x Ø127 mm, do fabricante suíço Winterthur Schleiftechnik continha em sua mistura 30% de grãos de óxido de alumínio microcristalino e 70% de grãos de óxido de alumínio nobre. Os corpos de prova, com medidas de Ø60 mm e 160 mm de comprimento, eram de ferro fundido dútil GGG70 fornecido pela fundição Tupy.

Para a determinação do desgaste dos diamantes, cada um dressou um mesmo volume de material abrasivo do rebolo, sendo o volume desgastado medido através de um microscópio eletrônico de varredura.

A determinação do desgaste do rebolo foi realizada através de um método indireto, ou seja, retificou-se apenas com a metade da largura do rebolo de modo que a outra metade não estivesse em contato com a peça. Após a retificação de um volume pré-estabelecido com a parte ativa do rebolo, retificou-se uma região da peça utilizando-se a largura inteira do rebolo. O volume

retificado nesta região é muito pequeno em relação ao volume retificado durante o ensaio de desgaste, de forma que o desgaste que o rebolo sofre em sua largura total pode ser desprezado nesta etapa. Dessa forma o perfil do rebolo é transferido para a peça, podendo ser medido no rugosímetro. A diferença entre o diâmetro gerado pela largura do rebolo, que foi empregada na retificação do volume V_w , e o diâmetro gerado pela largura do rebolo, que apenas foi utilizado no final, explicita o desgaste radial do rebolo (Δr_s). A figura 7 mostra o método utilizado.

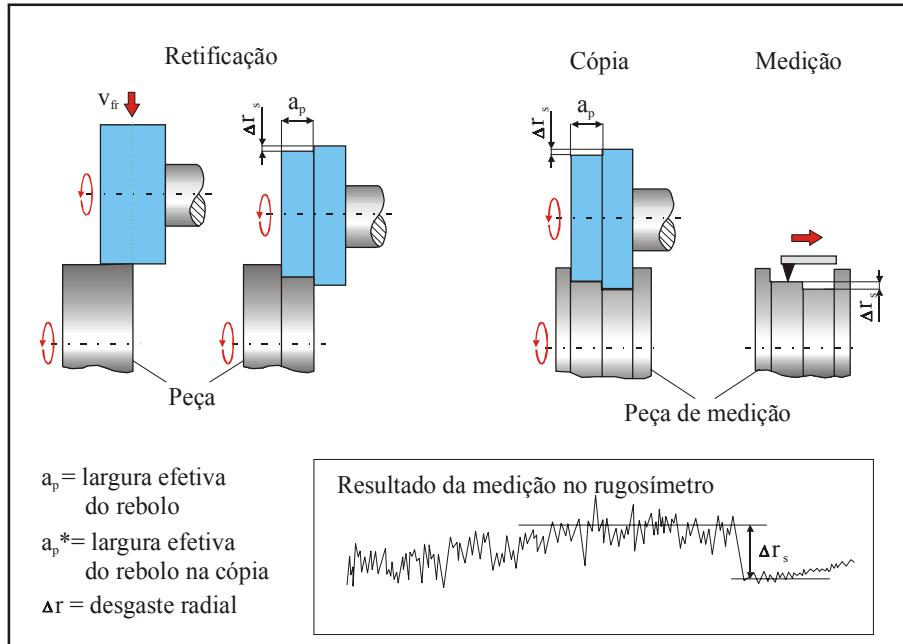


Figura 7: Método para a medição da rugosidade e do desgaste radial do rebolo.

Através do desgaste radial do rebolo (Δr_s) pode-se calcular a relação de remoção (o fator G), como mostrado pela equação abaixo (Eq. 1):

$$G = \frac{V_w}{V_s} = \frac{V'_w}{\pi \cdot d_s \cdot \Delta r_s}$$

Onde:

V_w : volume usinado em mm^3 ;

V_s : volume de desgaste do rebolo em mm^3 ;

V'_w : volume específico de usinagem em mm^3/mm ;

d_s : diâmetro do rebolo em mm;

Δr_s : desgaste radial do rebolo em mm.

A relação de remoção quantifica o volume gasto do rebolo, na usinagem de um determinado volume de material da peça. Quanto maior o fator G, menor é o gasto de rebolo na usinagem, quer dizer, o perfil do rebolo se mantém por mais tempo. Baixo fator G indica alto desgaste do rebolo na retificação e, dessa maneira, o perfil se perde mais rápido e cai a repetibilidade do processo. Assim, o fator G serve para analisar a variação do perfil do rebolo com o volume usinado.

Através da medição da rugosidade nos degraus gerados na peça pelo rebolo, pôde-se determinar a variação da rugosidade com o volume usinado.

4. RESULTADOS

4.1. Análise do Desgaste do Diamante

Os parâmetros dos ensaios foram mantidos constantes e o volume dressado pelos três diamantes foi o mesmo. Com base nisso, obtiveram-se os seguintes resultados de desgaste dos diamantes nos ensaios com o rebolo de óxido de alumínio microcristalino:

- Diamante natural = $0,0077 \text{ mm}^3$;
- Diamante CVD = $0,0041 \text{ mm}^3$;
- Diamante MCD = $0,0031 \text{ mm}^3$.

O diamante natural sofreu o dobro de desgaste em relação ao diamante MCD. Já o diamante CVD desgastou cerca de 30% a mais que o diamante MCD.

4.2. Análise da Rugosidade e do Fator G

A análise da rugosidade, em função do volume específico de usinagem (V'_w) e do fator G, foi feita comparando os resultados dos três tipos de diamantes.

A fim de verificar se os pontos do gráfico da rugosidade pelo volume específico de usinagem apresentam diferenças significativas ou não, foi realizada a análise estatística onde ficou constatado que os pontos apresentavam diferenças significativas, salvo poucas exceções. Dessa maneira, garantiu-se a real existência de diferenças entre as curvas de rugosidade geradas por cada diamante.

A Fig. 8 mostra a evolução da rugosidade da peça com o volume usinado. Esses resultados foram obtidos com o rebolo de óxido de alumínio microcristalino (Al_2O_3 -MC) e os dressadores com diamante natural, diamante CVD e diamante MCD. A rugosidade inicial obtida com o rebolo de Al_2O_3 -MC é igual quando dressado com cada um dos três diamantes. Nota-se que a rugosidade gerada com o rebolo de Al_2O_3 -MC é menor quando dressado com diamante MCD, seguido pelo rebolo dressado com o diamante CVD. O rebolo de Al_2O_3 -MC, dressado com o diamante natural, gerou os piores resultados.

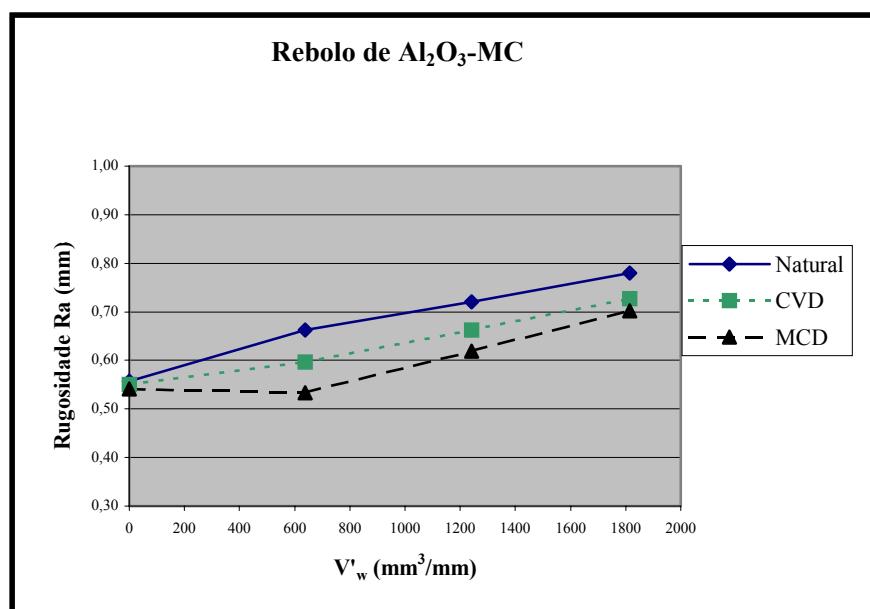


Figura 8. Evolução de Ra x V'_w no ensaio com o rebolo de Al_2O_3 -MC.

Em termos de fator G, os melhores resultados foram obtidos com o rebolo de Al_2O_3 -MC dressado com o diamante MCD, conforme mencionado na Fig. 9. Com um fator G=195, o rebolo de Al_2O_3 -MC dressado com o diamante MCD se mostrou superior ao rebolo dressador com o diamante CVD, com um fator G=186, e ao rebolo dressado com o diamante natural, com um fator G=173.

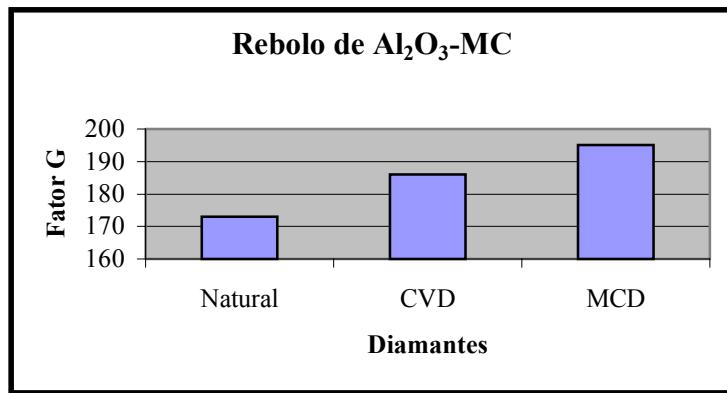


Figura 9. Fator G do rebolo de Al_2O_3 -MC dressado por cada diamante.

5. CONCLUSÕES

De acordo com a experiência do fabricante de dressadores DR. KAISER DIAMANTWERKZEUGE, os melhores resultados no dressamento de rebolos de Al_2O_3 -MC foram obtidos com o diamante MCD, o que foi comprovado neste trabalho. Tanto os resultados de rugosidade, fator G e desgaste do diamante foram sensivelmente melhores aos resultados obtidos com o diamante natural e com o diamante CVD. A menor rugosidade refletirá em peças com melhor acabamento; o maior valor do fator G determinará a manutenção do perfil por mais tempo; o menor desgaste do diamante diminui a necessidade de correção de posicionamento do dressador. Juntos esses três resultados mostram que o acabamento e a repetibilidade do processo de retificação com rebolo de Al_2O_3 -MC e dressamento com dressador fixo é melhor se o diamante do dressador for um diamante MCD. Como segunda opção, empregar-se-ia o diamante CVD, cujo acabamento gerado, os resultados de fator G e de volume gasto dos diamantes são piores quando comparados ao diamante MCD, mas melhores quando comparados ao diamante natural.

Em se tratando de um mesmo rebolo, os resultados de baixa rugosidade e alto fator G são características de estrutura fechada. Pode-se afirmar, portanto, que o diamante MCD gera uma estrutura menos aberta que o diamante CVD e o diamante natural. Conseqüentemente as taxas de remoção são menores já que o rebolo é menos agressivo.

A prática industrial mostra que o desempenho entre os diferentes tipos de diamantes no dressamento de rebolos de Al_2O_3 fundidos e de SiC, pode variar consideravelmente em relação à especificação do rebolo. Nesse sentido, os principais fatores que determinam a performance dos diamantes são o tipo e o tamanho de grão abrasivo dos rebolos. Os melhores resultados obtidos no dressamento de rebolos com esses tipos de abrasivo e diamantes sintéticos ocorrem com grãos abrasivos de tamanho igual ou inferior ao 60. A especificação correta de diamante, especialmente para o tamanho 60 de grão abrasivo, é complicada pelo fato dos resultados não seguirem um padrão. Existem casos em que uma leve variação na estrutura do rebolo, decorrente da falta de repetibilidade do processo de fabricação, poder levar a inviabilizar o diamante do dressador aprovado para o rebolo em questão. Em ensaios realizados paralelamente com o rebolo de óxido de alumínio microcristalino, foram testados um rebolo de óxido de alumínio comum e um de carboneto de silício com as mesmas dimensões e tamanho de grão mas estrutura ligeiramente diferente do rebolo de Al_2O_3 -MC. Verificou-se que os resultados não seguiam a mesma tendência vista no rebolo de Al_2O_3 -MC. Além disso, percebeu-se que não necessariamente o diamante que, por

exemplo, levava aos melhores resultados de rugosidade também levava aos melhores resultados dos outros quesitos verificados neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Bargel, H-J., Schulze, G., 1999, “Werkstoffkunde”, 6. ed., Berlim, Springer-Verlag, pp. 308-310.
- Graf, W., 1998, “Diamant-Abrichtwerkzeuge”, Informativo da WST, pp. 2-32.
- König, W., Klocke, F., 1996, “Fertigungsverfahren Band 2: Schleifen, Honen, Läppen”, 3. ed., Düsseldorf, VDI-Verlag, pp. 3-275.
- Jiang, X. Diamanttechnologie. Informativo sobre processos de deposição de filmes de diamante CVD da Fraunhofer Institut Schicht- und Oberflächentechnik – IST.
- Norton Diamond Film, 1997, “CVD Diamond Coatings for Tungsten Carbide Cutting Tools”, Catálogo, pp. 1-2.
- Sumitomo Electric Industries Ltd, 1991, “Catálogo de diamantes monocristalinos sintéticos”, pp. 2-4.
- Uhlmann, E., Brücher, M., 2002, “Marktanalyse zu CVD-Diamantwerkzeugen”, Revista IDR 36, n. 1, pp. 77 e 80.

DRESSING OF MICRO-CRYSTALLINE ALUMINIUM OXIDE GRINDING WHEELS WITH FIXED DRESSERS

Oliver Odebrecht

Dr. Kaiser do Brasil Ltda., Rua Rep. Argentina, 365, sl. 301, Blumenau, SC, drkaiser@terra.com.br

Walter Lindolfo Weingaertner

Universidade Federal de Santa Catarina, cp 476, Florianópolis, SC, wlw@lmp.ufsc.br

Abstract. *In the grinding process it is still given more attention to the grinding wheel than to the dressing tools. Consequently, the lack of information about dressing makes it difficult to reach the maximum productivity of the grinding process. The development of new materials for the grinding wheel and for the dressing tool increase the potential of the grinding. This potential can only be reached if there is sufficient knowledge about the grinding and the dressing processes. This work deals about the dressing of conventional grinding wheels, specially the micro crystalline aluminium oxide (seeded gel) one. This grain is known as being difficult to dress. The work's test was made with three fixed dressing tool, each containing a different diamond with good results in the industry: the natural diamond, the synthetic single crystal diamond (MCD) and the chemically vapor-deposited diamond (CVD). It was used a cylindrical CNC controlled grinding machine and nodular iron cast pieces to verified the grinding differences by dressing the micro crystalline aluminium oxide grinding wheel with the three diamonds. It was analyzed the wearing of the diamonds too. The best results of piece roughness and maintenance of the seeded gel grinding wheel profile was obtained with the MCD diamond. The natural diamond had the worst results. It was also verified that the diamond wearing attend the following crescent sequence: MCD, CVD and natural diamond. Comparing the results obtained with the common Al_2O_3 and with the SiC grinding wheel to the seeded gel grinding wheel, there are differences specially in the diamond wearing and in the maintenance of the grinding wheel profile.*

Keywords. grinding, diamonds, dressing