



CONFORMAÇÃO E USINAGEM DE ESFERAS DE CERÂMICA DE ALUMINA

Paulo Alberto S. Wrege e Benedito de M. Purquerio

Laboratório de Novos Materiais e Compósitos – LAMAFE - SEM – EESC - USP

São Carlos-SP, Brasil

e-mail: wrege@sc.usp.br, purquerio@sc.usp.br.

Resumo. *O presente trabalho apresenta uma metodologia para a usinagem de esferas de cerâmica de alumina, enfocando os aspectos relacionados à tecnologia de fabricação das esferas, desde a conformação dos pós, a usinagem à verde e a retificação, lapidação e polimento, após a sinterização. Em cada uma das fases de usinagem, foram investigados os danos superficiais ocasionados através de análises em microscópio eletrônico de varredura. Esta investigação iniciou em função da forte tendência atual para a produção de componentes cerâmicos de implantes com tolerâncias e acabamento superficial definidos, e que demandam necessidades específicas dos processos de conformação e usinagem para satisfazer a precisão necessária a essas aplicações.*

Palavras-chave: *Esferas de cerâmica, Conformação, Usinagem, Precisão, Implantes.*

1. INTRODUÇÃO

A falha de um implante de quadril está normalmente associada ao processo de desgaste existente no mancal composto pelo acetábulo e esfera, que libera partículas dos materiais envolvidos, ocasionando a infecção nos tecidos com a perda da fixação do implante ao osso, conforme Ambrosio *et al.* (1996). Na busca de pares tribológicos mais eficientes para esse tipo de aplicação, verifica-se que menores taxas de desgaste que ocorrem em implantes de quadril têm sido obtidas com a utilização de cerâmicas de alumina na fabricação das esferas (hiper-esferas) e polietileno de peso molecular ultra alto (UHMWPE), na confecção do acetábulo.

Com relação à fabricação de esferas de cerâmica, a literatura relata problemas inerentes à sua conformação, considerando que um dos métodos de conformação mais utilizados tem sido a prensagem isostática com posterior usinagem, sendo esta última complexa tanto antes como após a sinterização das cerâmicas. Antes da sinterização, a baixa resistência mecânica das cerâmicas, que segundo Song & Evans (1997), apresenta-se normalmente abaixo de 2,0 MPa, torna a usinagem extremamente delicada e a quantidade de material a ser removida deve ser mínima a fim de não danificar mecanicamente o componente. Segundo Tuan & Kuo (1998), após a sinterização, a dureza das cerâmicas associada à sua fragilidade, dificulta a remoção do material e, dependendo das condições de usinagem adotadas, poderá haver a introdução de sérios defeitos bem como a indução de tensão residual na superfície das peças com o comprometimento da resistência mecânica do componente usinado.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma investigação dos aspectos relacionados à tecnologia de conformação (prensagem isostática) e usinagem (retificação, lapidação e polimento) de esferas de cerâmicas de alumina para implantes de quadril, destacando a usinagem à verde e após a sinterização, bem como a análise dos danos superficiais ocasionados pela usinagem, através da microscopia eletrônica de varredura.

2. MÉTODOS E PROCESSOS

2.1 Matéria-prima empregada

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi utilizada uma composição de alumina 99,5% com a seguinte formulação: Alumina S-5G (Alcan) com 99,90% em peso e MgO (para análise) com 0,25% em peso. A otimização da distribuição granulométrica para esta aplicação resultou da mistura de pós, onde a maior densidade associada à menor retração foi obtida com o emprego de uma mistura, em peso, contendo 20% e 80% de pós oriundos dos moinhos de bolas e vibratório com 50% das partículas com diâmetro médio de 1,4 μ m e 0,8 μ m, respectivamente. Antes da prensagem, adicionou-se a mistura de pós, 2,0 % em peso de PVAL (Álcool Polivinílico) previamente dissolvido em água em moinho de bolas por 24 horas. Após a secagem da mistura, em *spray-drier*, efetuou-se a classificação dos grânulos que passaram em malha 80*mesh* e ficaram retidos em malha 200*mesh*.

2.2 Fabricação das esferas

A produção das esferas foi dividida em várias etapas: conformação, usinagem à verde e usinagem após a sinterização, envolvendo as fases de retificação, lapidação e polimento. Na realização deste trabalho, dez esferas de alumina foram produzidas e analisadas.

Prensagem isostática *wet-bag*. A conformação das esferas foi realizada através da prensagem isostática *wet-bag*, utilizando-se molde flexível, cuja cavidade foi preenchida com pós cerâmicos. Essa técnica permite a introdução de um núcleo metálico no interior do molde para gerar cavidades necessárias para a fixação das esferas. O molde projetado e construído para a obtenção da pré-forma das esferas é ilustrado na Fig. 1, juntamente com várias peças prensadas, dispostas na abertura do vaso de pressão da prensa isostática utilizada.

A pressão utilizada na prensagem isostática foi de 200,0 MPa. O diâmetro do elastômero foi determinado levando-se em consideração a retração nos processos de prensagem, de sinterização e dos sobremateriais para a retificação à verde e retificação após a sinterização. O diâmetro do núcleo do molde foi determinado levando-se somente em consideração a retração no processo de sinterização. As peças obtidas nesta fase de conformação apresentaram o formato de “sino”.

Como o projeto de esferas para implantes de quadril exige superfícies externas com elevada qualidade dimensional relativamente à forma e textura superficial, tornou-se

necessária a usinagem do componente.

Usinagem. A usinagem foi realizada em uma máquina construída no Laboratório de Novos Materiais e Compósitos – LAMAFE – USP, conforme procedimento descritos por Wrege & Purquerio (1999), com capacidade para realizar a usinagem à verde e a usinagem após a sinterização de esferas cerâmicas de até 41,0 mm de diâmetro, incluindo a lapidação e o polimento. O princípio de funcionamento da máquina geradora de esferas está fundamentado na composição simultânea dos movimentos de três eixos: rotação da peça

(esfera), rotação da ferramenta e movimento alternado da ferramenta. O giro da peça obra é efetuado através de uma mesa com mancais aerostáticos.



Figura 1- Prensagem isostática de esferas de cerâmica.

Usinagem à verde. A usinagem à verde foi efetuada utilizando-se um rebolo cilíndrico de estrutura média de alumina tipo PA 60 N5 V10W - Carborundum. Os parâmetros de usinagem utilizados foram: rotação do rebolo de 20.000,0 rpm; rotação da peça obra de 350,0 rpm no sentido discordante; velocidade de deslocamento da ferramenta de 0,5 rad/s e profundidade de corte de 0,01mm, no raio.

Usinagem após a sinterização. A usinagem após a sinterização foi subdividida em três fases: retificação; lapidação e polimento. A sinterização das esferas foi realizada a 1600° C por um período de 2 horas.

A retificação das esferas torna-se necessária para a correção da forma esférica, pois desvios de forma de até 40,0 μm após a sinterização normalmente são encontrados. A obtenção da forma final das esferas foi realizada utilizando-se três rebolos diamantados tipo copo de liga resinóide, com as seguintes condições de usinagem: rotação do rebolo de 20.000,0 rpm; rotação da peça obra de 300,0 rpm no sentido discordante; velocidade de deslocamento da ferramenta de 0,5 rad/s e profundidades de corte de 0,01 mm e 5,0 μm respectivamente, no desbaste e no acabamento. A retificação das esferas foi efetuada na presença abundante de fluido de corte.

A lapidação das esferas foi efetuada em três fases e objetivou a diminuição da rugosidade superficial gerada na retificação. Utilizaram-se rebolos tipo copo confeccionados com pós de diamante sintético e resina epoxi com concentração em peso de 0,60 g/cm³. O acionamento do rebolo foi desligado, para que rolasse livremente sobre a peça. Na primeira fase do processo de lapidação foram utilizados rebolos confeccionados com pós de diamante com tamanhos variando entre 20,0 e 40,0 μm ; na segunda, rebolos com pós de diamante entre 10,0 e 20,0 μm e na última, rebolos com pós de diamante entre 4,0 e 8,0 μm . Os parâmetros de usinagem utilizados no processo de lapidação foram: tempo de lapidação em cada etapa de 30,0 minutos; rotação da peça obra de 150,0 rpm no sentido horário; velocidade de deslocamento da ferramenta de 0,5 rad/s e pressão de lapidação de 0,1 MPa. O processo de

lapidação das esferas de cerâmica foi efetuado na presença abundante de fluido de corte.

O polimento das esferas cerâmicas objetivou a diminuição da rugosidade superficial e a retirada da camada danificada gerada durante os processos de retificação e lapidação. Este processo foi subdividido em cinco fases, utilizando-se rebolos confeccionados em poliuretano com dureza 35 *Shore A*, tecidos para polimento e abrasivos na forma de pasta. O acionamento da ferramenta não foi utilizado durante o polimento. As pastas empregadas continham grãos de tamanho médio de 15,0 μm , 9,0 μm , 4,0 μm , 1,0 μm e 0,25 μm , respectivamente. Os parâmetros de usinagem utilizados para o polimento das esferas de cerâmica foram: tempo de polimento em cada etapa de 30 minutos; rotação da peça obra de 150,0 rpm no sentido horário; velocidade de deslocamento da ferramenta de 0,5 rad/s e pressão de polimento de 0,1 MPa. O Processo foi realizado sem a presença de fluido de corte. A Fig. 2 ilustra as fases de usinagem das esferas de cerâmica.



Figura 2- Usinagem das esferas de cerâmica nas várias etapas de fabricação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média dos valores de rugosidade superficial e do erro de circularidade obtidos durante as etapas de conformação das esferas são apresentadas na Fig. 3. As micrografias dos processos de usinagem são apresentadas na Fig. 4.

A análise da Fig. 3 demonstra uma diminuição progressiva da rugosidade superficial das esferas com a evolução do processo, com exceção da etapa de sinterização, em função das deformações geométricas geralmente encontradas neste processo. Devido às mesmas razões, nota-se, como esperado, um aumento expressivo no erro de circularidade na fase de sinterização. Nas três fases de retificação posteriores ao processo de sinterização observa-se um declínio constante do erro de forma e da rugosidade superficial. Nos processos subsequentes, ou sejam, na lapidação e no polimento, nota-se ainda um declínio na rugosidade superficial e praticamente uma constância no erro de circularidade.

As micrografias ilustradas na Fig. 4 ilustram os mecanismos de remoção de material na usinagem dos componentes cerâmicos.

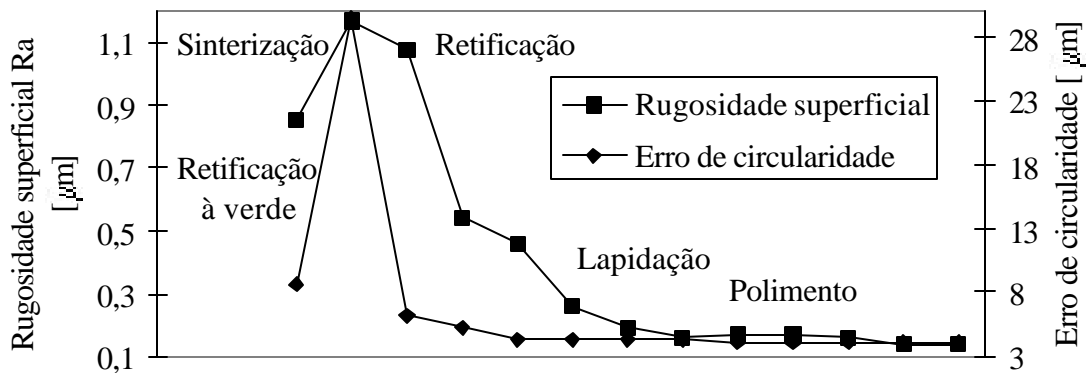


Figura 3 Erros de circularidade e rugosidade superficial médias obtidas nas diversas etapas de fabricação das esferas de cerâmica.

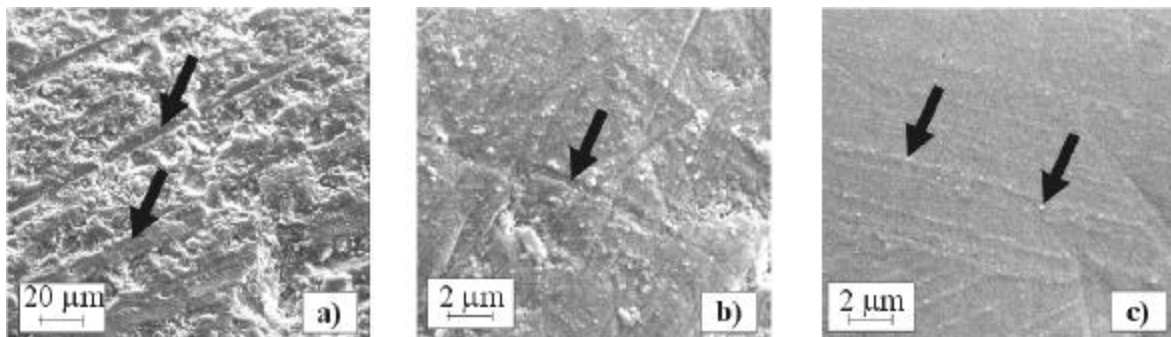


Figura 4- Superfícies obtidas após a: a) retificação, b) lapidação e o c) polimento.

A Fig. 4a, referente ao processo de retificação, mostra uma superfície fraturada devido à remoção efetuada através do trincamento da superfície cerâmica e arrancamento de grãos. Os riscos observados, indicados pelas setas, mostram que alguns cortes foram efetuados no regime plástico. Porém, de acordo com Xu & Jahanmir (1996), estes cortes seriam parte do processo de remoção predominante, ou seja, o de fratura frágil e o arrancamento dos grãos. A participação desses cortes é explicada como sendo a primeira etapa desse processo.

A Fig. 4b, referente à lapidação, ilustra a remoção de material de forma aleatória. Os mecanismos são semelhantes aos encontrados na retificação descritos por Mackensen (1997), com a presença dos regimes dúctil e frágil gerando trincas e riscamento, conforme mostradas pela seta.

Na Fig. 4c, referente ao polimento, observa-se o mecanismo dúctil de remoção de material através da presença de riscamento múltiplo ocasionado pela penetração estática (cravamento) e rolamento dos grãos abrasivos sobre a superfície da peça. Verifica-se pela micrografia do processo de polimento, a completa remoção da camada danificada gerada durante os processos de retificação e de lapidação. A variação nos resultados obtidos ao longo do processo de polimento estão relacionados à porosidade, de 2,70%, das esferas fabricadas.

4. CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste trabalho possibilitou a produção de esferas de alumina para aplicações ortopédicas com rugosidade superficial Ra de 0,14 μ m e erro de circularidade menor do que 5,0 μ m. O decréscimo contínuo da rugosidade superficial demonstra a eficiência do processo adotado, tendo por base o movimento simultâneo de três eixos. Os resultados obtidos na usinagem mostraram ser promissores, pois estão bastante próximos da faixa aceitável para implantes de quadril. Todavia, a textura e forma das esferas poderão ser otimizadas através da atualização do projeto da retificadora e da otimização da conformação do material cerâmico utilizado na confecção das esferas. As micrografias efetuadas ao longo das etapas demonstraram, como esperado, que os mecanismos de remoção de material variam sobremaneira em função do processo utilizado.

REFERÊNCIAS

- Ambrosio, G. L. et al., 1996, Wear effects in retrieved acetabular UHMW-PE cups. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*: 7, 723-729.
- Mackensen, V. et al., 1997, Fine grinding with diamond and CBN. *Industrial Diamond Review*, n.2, p.40-43.
- Song, J. H.; Evans, J. R. G. 1997, On the machinability of ceramic compacts. *Journal of the European Ceramic Society*: 17, 1665-1673.
- Tuan, W. H.; Kuo, J. C., 1998, Effect of abrasive grinding on strength and reliability of alumina. *Journal of European Ceramic Society*, v.18, p.799-806.
- Wrege, P.A.S.; Purquerio, B. M., 1999, Desenvolvimento de geradora de esferas de cerâmica para próteses de quadril. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia - SP*.
- Xu, H. K.; Jahanmir, S., 1996, Transitions in the mechanism of material removal in abrasive wear of alumina. *Wear*, v. 192, p.228-232.

FORMING AND MACHINING OF ALUMINA CERAMIC SPHERES

Abstract. *This paper presents a methodology related to ceramic sphere machining, and is focused into the aspects concerned to the sphere production from the powder forming, up to the green machining before sintering and the grinding, lapping and polishing, after the sintering. For each of the machining steps performed, the surface damages were analysed using scanning electron microscopy. This investigation was started due to the actual tendency for the production of ceramic components for hip implants with great precision and well defined surface finishing that demand for specific forming and machining processes to fulfil these application needs.*

Keywords: *Ceramic spheres, Ceramic forming, Ceramic machining, Precision, Hip Implants.*