

DESENVOLVIMENTO DE UMA GERADORA DE ESFERAS DE CERÂMICA PARA PRÓTESES DE QUADRIL

Paulo A. S. Wrege

Universidade de São Paulo - LAMAFE-EESC-USP – São Carlos- SP, e-mail: purquerio@sc.usp.br

Benedito M. Purquerio

Universidade de São Paulo - LAMAFE-EESC-USP – São Carlos- SP, e-mail: purquerio@sc.usp.br

Resumo. *Diversas áreas da engenharia são hoje dependentes de componentes de cerâmicas avançadas, particularmente os obtidos a partir da compactação de pós, seguida de sinterização. Sob este enfoque, torna-se relevante a necessidade de se investigar e divulgar os processos de conformação e usinagem de cerâmicas avançadas visando o desenvolvimento de novos produtos. Particularmente, a área de engenharia de implantes é uma das mais carentes dessa tecnologia avançada. Assim sendo, procura-se com o presente trabalho, contribuir para a diminuição de algumas das lacunas tecnológicas existentes, em termos de projeto e fabricação, relacionadas com a fabricação de componentes cerâmicos esféricos, através do desenvolvimento de uma retificadora concebida para esse fim, envolvendo o projeto, a construção e o seu desempenho nas operações de usinagem à verde e após a sinterização, de esferas de cerâmicas para implantes de quadril. O trabalho apresenta o estudo para o projeto econômico de uma máquina de usinagem de esferas cerâmicas de até 41mm de diâmetro, para próteses totais de quadril, onde são apresentadas as alternativas construtivas e os materiais envolvidos.*

Palavras-chaves: Esferas cerâmicas, Próteses de quadril, Conformação de cerâmicas, Usinagem de cerâmicas.

1. INTRODUÇÃO

A falha de uma prótese de quadril está normalmente associada ao processo de desgaste existente no mancal composto pelo acetábulo e a esfera, que libera partículas dos materiais envolvidos, ocasionando a infecção nos tecidos com a perda da fixação da prótese ao osso [AMBROSIO *et al.* -1996]. Na busca de pares tribológicos mais eficientes para esse tipo de aplicação, verifica-se que menores taxas de desgaste para a prótese de quadril têm sido obtidas com a utilização de alumina na fabricação das esferas e UHMWPE na confecção do acetábulo [CHANDA -1997].

Com relação à fabricação de esferas de cerâmicas, a literatura relata problemas inerentes à

sua conformação, considerando que um dos métodos de conformação mais utilizado tem sido a prensagem isostática com posterior usinagem, sendo esta complexa antes e após a sinterização das cerâmicas. Antes da sinterização, a baixa resistência mecânica, 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 (1997), após a sinterização, a dureza associada à fragilidade da cerâmica, 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 usinadas com o consequente comprometimento da resistência mecânica do componente usinado.

De acordo com JUCHEM (1997), o projeto de uma máquina para usinagem de componentes cerâmicos tem fundamental importância na qualidade dos produtos obtidos, pois os efeitos da usinagem sobre o componente usinado são influenciados sobremaneira pelas características da máquina ferramenta utilizada. SUBRAMANIAN (1988) comenta que um projeto inadequado da máquina poderá induzir a geração de vibrações durante o processo de usinagem, dificultando a obtenção de componentes com boa qualidade superficial e dimensional.

Dentro deste contexto, o projeto e a construção de uma máquina capaz de realizar a usinagem de componentes cerâmicos esféricos, antes e após a sinterização, induz a necessária e intensa investigação de todas as fases do projeto, particularmente as relativas aos elementos estruturais da máquina, os materiais a serem utilizados, os mancais e os sistemas de acionamento dos eixos.

O presente trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento, com as respectivas alternativas construtivas para o projeto econômico, de uma máquina geradora de esferas cerâmicas com capacidade para usinar, antes e após a sinterização, peças de cerâmica de alumina de até 41,0 mm de diâmetro com erro de circularidade menores que 5,0 μm e rugosidade superficial R_a inferiores à 0,2 μm . Foram considerados como itens essenciais ao desenvolvimento do projeto e construção da máquina geradora de esferas cerâmicas, a simplicidade de construção, o emprego de novos materiais nos elementos estruturais, a utilização de componentes de fabricação nacional e acionamentos pneumáticos, hidropneumáticos e elétricos. Trata-se, portanto de uma máquina protótipo destinada à produção de pequenos lotes e para o desenvolvimento de produtos.

2. O EQUIPAMENTO

A máquina geradora de esferas de cerâmicas é basicamente constituída por uma estrutura de granito sintético montada em uma base de aço. A estrutura de granito sintético incorpora uma mesa rotativa com mancais aerostáticos onde pode ser montada a peça obra; aloja também, um braço com movimento alternado contendo um cabeçote porta-ferramenta acionado pneumáticamente e um sistema de lubrificação de fluido de corte. A Fig. 1 ilustra os principais componentes da máquina desenvolvida.

O princípio de funcionamento da máquina geradora de esferas cerâmicas fundamenta-se na composição simultânea dos movimentos de três eixos: a rotação da peça (esfera), a rotação da ferramenta e o movimento alternado do braço do cabeçote porta-ferramenta. O giro da peça obra é obtido através da mesa com mancais aerostáticos, a qual é acionada por um motor de corrente contínua com ajuste de rotação no intervalo de 150 a 750 rpm, nos sentidos horário e anti-horário. A ferramenta é acionada pneumáticamente com rotação constante de 20.000 rpm e o movimento alternado do braço porta-ferramenta é efetuado por uma sistema hidro-

pneumático. A Fig. 2 ilustra os possíveis movimentos da máquina geradora de esferas de cerâmicas deste trabalho.

2.1. Estrutura em granito sintético

A utilização de materiais convencionais tais como o ferro fundido ou aço na fabricação de estruturas de precisão torna necessária a utilização de um variado número de processos de usinagem após a fundição ou a soldagem da estrutura para que as dimensões e a forma final possam ser obtidas. Estes processos normalmente apresentam-se dispendiosos e muitas vezes difíceis de serem realizados em função da precisão desejada e das grandes dimensões do equipamento envolvidas.

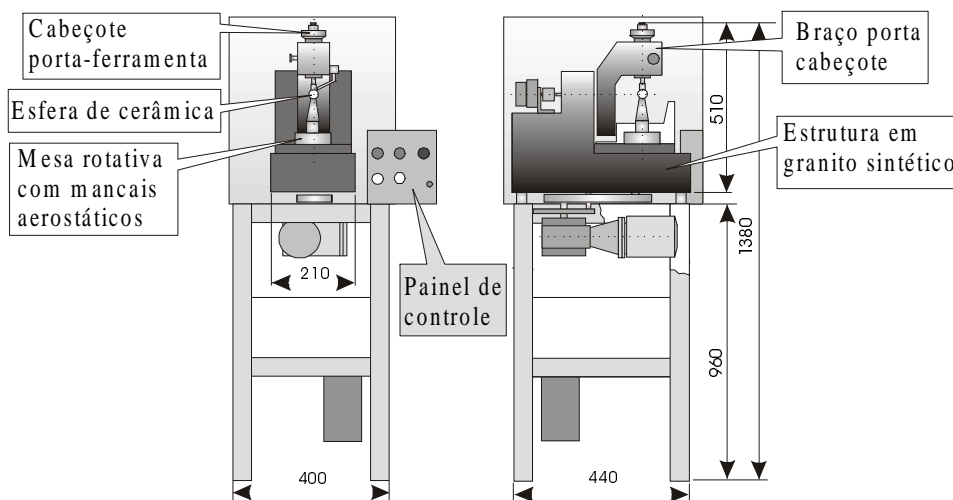


Figura 1- Principais componentes da máquina geradora de esferas de cerâmicas.

O granito sintético apresenta-se como um material alternativo na construção de estruturas de máquinas ferramentas. Trata-se de um composto originado da mistura de resina epoxi e britas de granito natural de tamanhos pré-selecionados. Esse material quando comparado aos

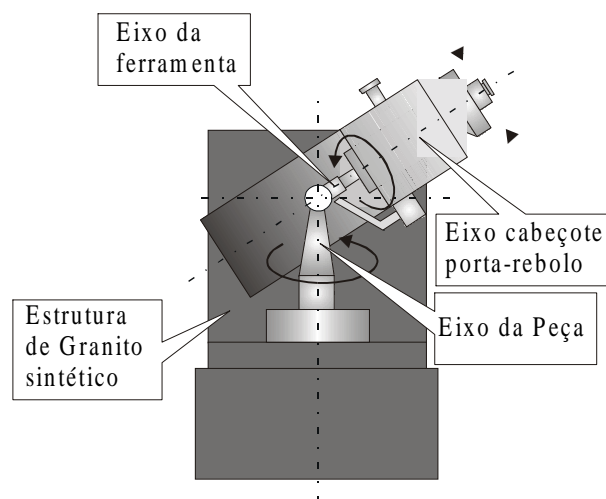


Figura 2 – Movimentos da máquina geradora de esferas de cerâmicas.

tradicionais tem uma vantagem que reside na sua grande capacidade ao amortecimento aos choques e as vibrações externas e principalmente as internas. Segundo WREGE *et al.* (1999), quando comparado ao ferro fundido, o granito sintético apresenta um fator de amortecimento de até 8 vezes maior do que o do ferro fundido, o que o torna particularmente atraente para aplicações em máquinas ferramentas.

As estruturas confeccionadas em granito sintético não necessitam de serem usinadas após sua moldagem. Elementos tais como buchas, guias, sistemas de fixação de componentes à estrutura, confeccionados em materiais metálicos, são previamente usinados e montados no molde na forma de insertos, antes da moldagem.

Os moldes para a confecção de estruturas de granito sintético reproduzem o formato final da peça e possibilitam a fixação de todos os insertos previamente usinados. Preferencialmente devem ser fabricados com materiais que apresentem compatibilidade adesiva com a resina utilizada na fabricação do granito sintético. A Fig. 3 ilustra um esquema do molde utilizado para a fabricação da estrutura da máquina geradora de esferas de cerâmicas e a Fig. 4 ilustra o preenchimento desse molde.

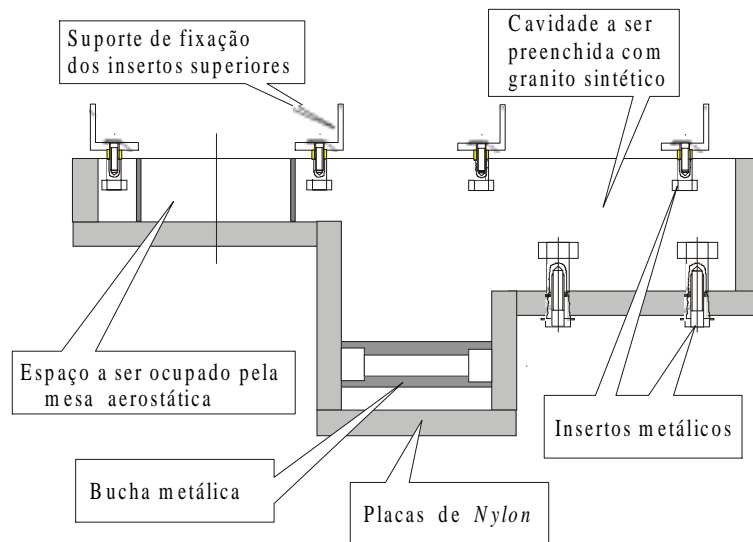


Figura 3 – Esquema do molde, em *Nylon*, para a confecção da estrutura da máquina

2.2. Mesa porta-peça com mancais aerostáticos

A seleção do tipo de mancal para máquinas ferramentas especiais e de precisão depende fundamentalmente do tipo de aplicação e fatores operacionais desejados para o desempenho da máquina. De acordo com BALESTRERO (1997), os mancais aerostáticos são indicados quando se deseja obter altas rotações, baixo atrito e repetibilidade de movimento. Esses mancais além de proporcionar alta rigidez e precisão de movimento, são indiferentes à variação de temperatura. Além disso possuem um nível elevado de amortecimento interno, desgaste nulo e capacidade para suportar cargas radiais, axiais e combinadas. Devido a estas vantagens, os mancais aerostáticos são normalmente utilizados em máquinas ferramentas de precisão e máquinas especiais. Para a máquina geradora de esferas deste trabalho foram projetados mancais aerostáticos com capacidades de carga radial e axial de 350,0 N e 570,0 N, respectivamente. A Fig. 5 ilustra a mesa equipada com mancais aerostáticos utilizada na

máquina geradora de esferas de cerâmicas.

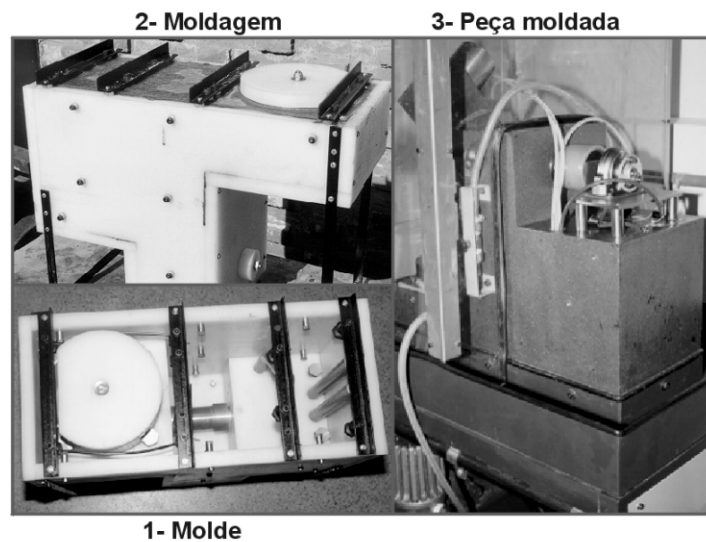


Figura 4 – Molde e moldagem da estrutura da máquina geradora de esferas em granito sintético.

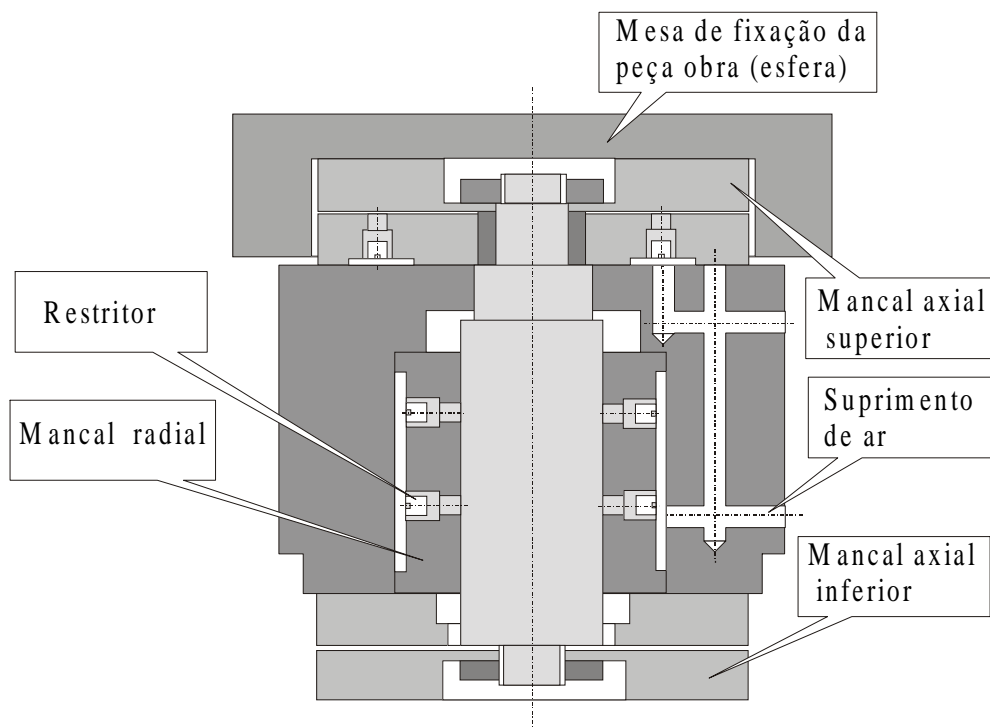


Figura 5- Esquema da mesa aerostática utilizada na máquina geradora de esferas

2.3. Sistema de acionamento do braço do cabeçote porta-ferramenta

A definição do sistema de acionamento do braço gerador do movimento alternado do cabeçote porta-ferramenta envolve características que determinam o tamanho do equipamento, custo, nível de ruído e suavidade do movimento. No desenvolvimento deste trabalho quatro

tipos de acionamento foram analisados.

- a) Acionamento pneumático. Obtido através de circuito e cilindro rotativo pneumático. Esta opção apresentou, em baixas velocidades, tendência a movimentos descontínuos.
- b) Acionamento hidráulico. Obtido através de circuito e cilindro rotativo hidráulico. Esta solução mostrou um alto custo, elevado ruído e grandes dimensões.
- c) Acionamento através de servo motor. Esta alternativa, além de alto custo, apresentou aquecimento demasiado do servo motor.
- d) Acionamento hidro-pneumático. Obtido através de circuito hidráulico conjugado a um circuito pneumático. Esta opção apresentou o menor custo e um bom controle de velocidade, em baixas velocidades, além de tornar-se extremamente compacta com uma geração de ruído mínima.

2.4. Sistema pneumático

Na máquina geradora de esferas cerâmicas, este sistema tem como função alimentar com ar comprimido a mesa aerostática rotativa que suporta a peça obra, o cabeçote porta rebolo e o sistema hidro-pneumático que aciona o movimento alternado do braço porta-ferramenta. A Fig. 6 apresenta o diagrama do sistema pneumático utilizado.

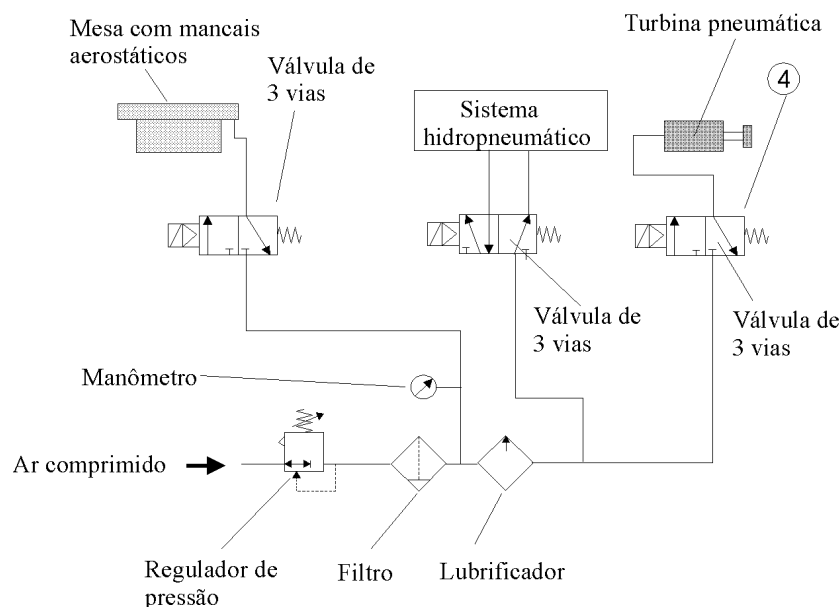


Figura 6 – Sistema pneumático da máquina geradora de esferas cerâmicas.

2.5. Sistema hidro-pneumático

O sistema hidro-pneumático tem como função proporcionar o movimento alternado do braço do cabeçote porta-ferramenta. Este sistema de acionamento híbrido apresenta grande vantagem sobre o sistema pneumático ou hidráulico, quando as forças envolvidas são pequenas e os deslocamentos necessitam de serem efetuados a baixas velocidades. Quando comparado aos sistemas hidráulicos convencionais, apresenta-se compacto e com a ausência de fontes de vibrações ou ruídos, além de apresentar baixo custo e de gerar movimentos suaves nos

deslocamentos. O sistema utilizado é ilustrado esquematicamente pela Fig. 7.

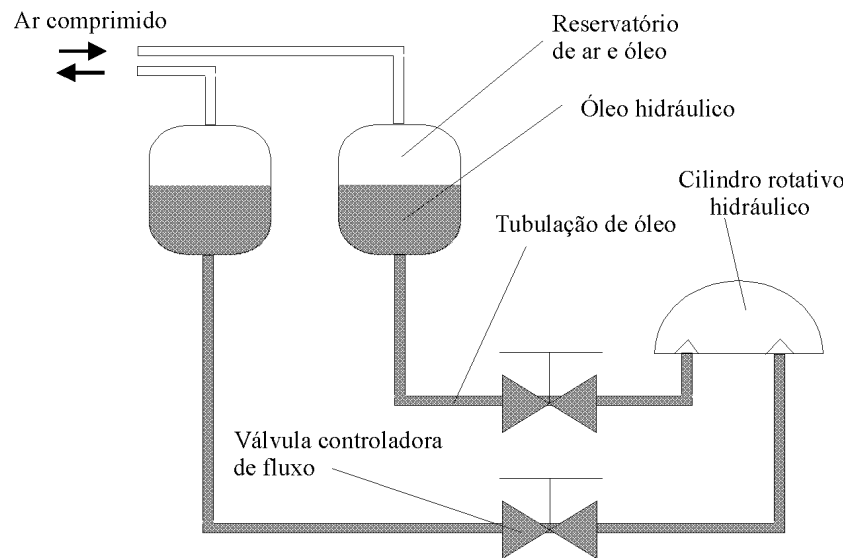


Figura 7 – Esquema do sistema hidro-pneumático da máquina construída.

2.6. Sistema elétrico

O controle lógico da máquina geradora de esferas de cerâmica é efetuado por um sistema elétrico convencional composto por chaves contadoras, *microswitches*, sinalizadores e botoeira.

2.7. Unidade de fluido de corte

O sistema de fluido de corte, indispensável para a usinagem de cerâmicas sinterizadas, é composto por um reservatório, bomba e válvula de agulha para controle do fluxo de fluido de corte desejado sobre a peça obra durante a usinagem. O fluido de corte utilizado para essa aplicação normalmente é composto por uma mistura de água e óleo solúvel com concentração de 5,0 %.

3. RESULTADOS

O desempenho da máquina geradora de esferas cerâmicas foi verificado na usinagem de esferas de alumina de diâmetro final de 26,0 mm. As esferas cerâmicas obtidas, como as ilustradas na Fig. 8, apresentaram erro de circularidade médio de 4,0 μm e rugosidade superficial R_a de 0,14 μm para um material cerâmico (alumina) com microdureza Vickers média de 14,7 GPa e porosidade média de 2,7 %.

O sistema hidro-pneumático adotado para o acionamento do braço porta-ferramenta, conforme previsto, apresentou resultados satisfatórios relativamente à suavidade do movimento em todas as velocidades utilizadas.

O material da estrutura, em granito sintético, mostrou ser o ideal para a confecção desta classe de máquinas ferramentas em termos de custo da máquina e da precisão das esferas obtidas, não sendo atacado quimicamente pelo fluido de corte durante os seis meses de ensaios

de usinagem realizados.

O *Nylon*, aplicado na fabricação do molde, garantiu um excelente acabamento superficial da estrutura sem a necessidade da aplicação de desmoldantes. A aplicação deste material na confecção dos moldes demonstrou eficiência superior aos moldes fabricados em madeira, podendo ser utilizado inúmeras vezes sem a necessidade de reconstrução.

Os mancais aerostáticos utilizados da mesa porta-peça apresentaram, como esperado, excelente desempenho. Não foi observado vestígio de qualquer corpo estranho no interior dos mancais, eventualmente gerado durante o processo de usinagem, em todas as fases do processo de fabricação das esferas. Todos os componentes utilizados foram adquiridos de empresas nacionais.

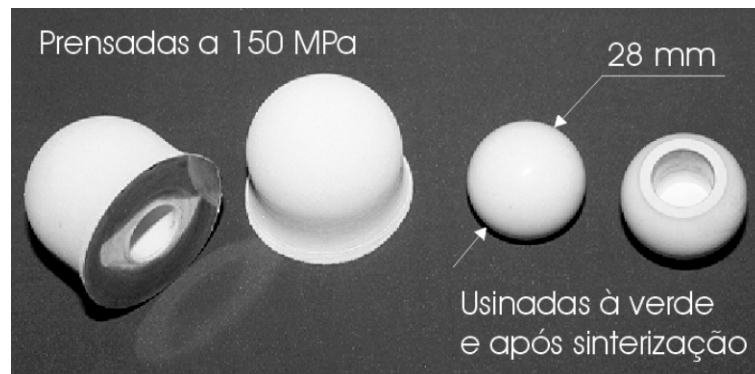


Figura 8 – Esferas cerâmicas usinadas na máquina construída.

4. CONCLUSÕES

A melhoria da precisão das esferas cerâmicas usinadas relativamente à rugosidade superficial e ao erro de circularidade, poderá ser obtida através da otimização do projeto da máquina envolvendo a análise detalhada da estrutura em granito sintético através de recursos computacionais.

O *Nylon* demonstrou ser, neste projeto, o provável sucessor da madeira na confecção dos moldes para estruturas individuais de granito sintético, devido a todas as facilidades de confecção e montagem e custo a ele devidas.

Os mancais fluídicos (aerostáticos, hidrostáticos) demonstram ser os mais indicados para aplicação em máquinas de produção de componentes cerâmicos em função da eficiência que apresentam e sem o risco de serem submetidos a contaminações de corpos estranhos gerados durante o processo de usinagem.

Este trabalho demonstrou ser viável o projeto e a construção desta classe de máquinas com componentes inteiramente nacionais.

A utilização de um sistema de acionamento híbrido ou hidro-pneumático demonstrou que em alguns casos o sistema hidráulico pode ser substituído com sucesso, com diminuição da geração de ruído, economia de espaço, além das vantagens econômicas envolvidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o auxílio recebido do CNPq.

REFERÊNCIAS

- AMBROSIO, G. L. et al. Wear effects in retrieved acetabular UHMW-PE cups. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, v.7, p. 723-729, 1996.
- BALESTRERO, L. A. P. ; PURQUERIO, B. de M. Mancais aerostáticos para eixos de máquinas ferramentas. In *Anais do COBEM – XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, Bauru, 1997.
- CHANDA, A. et al. Wear and friction behavior of UHMWPE-alumina combination for total hip replacement. *Ceramics International*, v.23, p.437-447, 1997.
- JUCHEM, H. O. Diamond abrasives in the machining of ceramics. *Industrial Diamond Review*, n.4, p.114-118, 1997.
- SONG, J. H.; EVANS, J. R. G. On the machinability of ceramic compacts. *Journal of the European Ceramic Society*, n.17, p.1665-1673, 1997.
- SUBRAMANIAN, K. Precision finishing of ceramic components with diamond abrasives. *Ceramic Bulletin*, v.67, n.6, p.1026-1029, 1988.
- TUAN, W. H.; KUO, J.C. Effect of abrasive grinding on the strength and reliability of alumina. *Journal of European Ceramic Society*, n.18, p.799-806, 1998.
- WREGE, P. A. S. et al. Opção inteligente para estrutura de máquinas de precisão. *Máquinas e Metais*, n.397, p.60-69, 1999.

DEVELOPMENT OF A CERAMIC SPHERE GRINDING MACHINE FOR HIP PROSTHESES

Abstract: *Several areas of the engineering are nowadays dependent on advanced ceramic components specially obtained from powder forming, followed by sintering. Under this focus, it becomes relevant the investigation to add new informations to the ceramic forming and machining processes aiming the development of new products in such materials. In particular, the orthopaedic prostheses engineering area it is one of the most lacking of that advanced technology. So, it is sought with present work, to contribute for the decrease of some of the existent technological lacks, in terms of design and manufacturing, related with the production of spherical ceramic components, through the development of a grinding machine conceived for that end, involving the design, the construction and its performance in machining operations to green, grinding, lapping and polishing of ceramic spheres. The work presents the study for the economic design of a grinding machine for ceramic spheres of up to 41.0 mm in diameter, for total hip prostheses, where the constructive alternatives and the involved materials are presented.*

Key words: Ceramic spheres, hip prostheses, ceramic forming, ceramic machining.