

Elaboração de uma bancada de ensaio de usinagem de cerâmica avançada

Development of an Advanced Ceramic Machining Test Bench

Gustavo Amaral Coracini¹, Marcos Gonçalves Júnior²

RESUMO

A usinagem de materiais cerâmicos avançados em estágios anteriores à sinterização (em verde e pré sinterizada) tem sido objeto de investigação como um método viável para a fabricação de peças com geometrias complexas, pois oferece uma alternativa interessante para a produção de materiais cerâmicos com dimensões próximas às finais, uma vez que a cerâmica nesta condição apresenta uma resistência mecânica relativamente baixa. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma bancada de ensaios para a usinagem de materiais cerâmicos nos estágios anteriores à sinterização. O setup abrange componentes essenciais, como a ferramenta de corte, a integração de uma célula de carga para monitorar a força de corte e a implementação de um sistema de monitoramento de temperatura. O projeto enfatiza a escolha criteriosa desses componentes, levando em consideração as demandas específicas da usinagem de cerâmicas e a necessidade de controle e monitoramento precisos durante o processo. Este projeto oferece uma abordagem abrangente para garantir a eficácia e a precisão da usinagem de materiais cerâmicos avançados antes da sinterização, contribuindo para a melhoria dos processos de fabricação e reduzindo os custos no desenvolvimento de componentes cerâmicos.

PALAVRAS-CHAVE: Bancada de ensaio, cerâmica avançada, monitoramento dos parâmetros, otimização do processo.

ABSTRACT

Machining advanced ceramic materials in stages prior to sintering (in the green and pre-sintered state) has been the subject of investigation as a viable method for manufacturing parts with complex geometries because it offers an interesting alternative for producing ceramic materials with dimensions close to the final ones, as ceramics in this condition exhibit relatively low mechanical strength. This work aims to develop a testing bench for the machining of ceramic materials in the stages prior to sintering. The setup encompasses essential components, such as the cutting tool, the integration of a load cell to monitor cutting force, and the implementation of a temperature monitoring system. The project emphasizes the careful selection of these components, considering the specific demands of ceramic machining and the need for precise control and monitoring during the process. This project provides a comprehensive approach to ensure the effectiveness and accuracy of machining advanced ceramic materials before sintering, contributing to the improvement of manufacturing processes and reducing costs in the development of ceramic components.

KEYWORDS: Test bench, advanced ceramics, parameter monitoring, process optimization.

INTRODUÇÃO

A usinagem de materiais duros e frágeis, como por exemplo as cerâmicas avançadas, tem sido um desafio constante para as indústrias devido às suas características, como alta dureza e baixa tenacidade à fratura, o que dificultam o processo de usinagem, pois são propensos a trincas e danos. Por esse motivo, é recomendado minimizar a usinagem de cerâmicas sinterizadas, principalmente devido à alta taxa de

¹ Voluntário do curso de engenharia mecânica da UTFPR câmpus Guarapuava. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil. E-mail: gustavocoracini@gmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1785397188218350>.

² Docente no curso de engenharia mecânica da UTFPR câmpus Guarapuava. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil. E-mail: mgjunior@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4818426113881562>.

desgaste das ferramentas de corte. (JÚNIOR et al. 2022; LIU et al. 2017). Isso ocorre devido à natureza intrínseca dos materiais cerâmicos, que requerem processos de fabricação especializados e cuidadosos. Portanto, o custo de fabricação é um fator relevante a ser considerado ao utilizar componentes cerâmicos avançados em aplicações específicas.

Uma alternativa viável é realizar a usinagem da cerâmica no seu estado verde, é uma técnica amplamente utilizada na fabricação de componentes cerâmicos. Esse método oferece uma alternativa interessante para a produção de cerâmicas com dimensões próximas às finais, uma vez que a cerâmica verde tem uma resistência mecânica relativamente baixa (SU et al. 2008). Uma outra possibilidade é optar pela usinagem de cerâmica pré-sinterizada, condição que é empregada para aumentar a resistência do material e, por conseguinte, aprimorar a precisão na usinagem de componentes complexos. No entanto, é importante destacar que, em comparação com a usinagem no estado verde (LI et al. 2012), a usinagem de cerâmica pré-sinterizada tende a resultar em um maior desgaste das ferramentas de corte, o que pode aumentar os custos de fabricação

O estudo das forças de usinagem desempenha um papel fundamental no processo de planejamento da usinagem, pois auxilia na seleção das condições de corte apropriadas. Além disso, contribui para a redução do desgaste das ferramentas de corte e minimiza a probabilidade de quebra das ferramentas. É importante destacar que forças de corte elevadas podem ter um impacto significativo na qualidade final da peça usinada (SCHROETER, BASTOS e CRICHIGNO FILHO, 2007), Portanto, compreender e controlar essas forças é essencial para garantir a precisão e a integridade das peças fabricadas.

Em alguns trabalhos recentes na literatura, abordando o monitoramento de força de corte na usinagem de cerâmica, demonstram que é extremamente importante avaliar as forças de corte. Como exemplo no trabalho de (Sanchez et al. 2018) foram torneados compactos em verde de alumina prensados pelo método uniaxial por 120 MPa. Foi utilizado uma fresadora adaptada para o torneamento. Para monitorar a força de corte durante o processo, os autores empregaram uma Célula de carga fabricada pela R&S, modelo MB, com uma escala nominal de 20 N. O estudo revelou que a usinagem em estado verde foi benéfica para reduzir a distorção que normalmente ocorre no processo de sinterização. Como também, que as forças de corte são influenciadas fortemente pelos parâmetros de usinagem.

No estudo de (Gonçalves Júnior et al. 2019), também foram torneados compactos verdes de alumina, prensados pelo método isostático de 200 MPa. Para monitorar e registrar as forças durante o processo de usinagem, foi empregado um dinamômetro de três coordenadas da Kistler - 9257BA, sendo possível mensurar a força de corte (F_c), força de avanço (F_f) e a força de profundidade de corte (F_p). Os resultados indicaram que a profundidade de corte não teve um impacto significativo na textura da superfície usinada. Além disso, observou-se que a força gerada na direção de profundidade de corte foi relativamente menor. O que levou à conclusão de que a força de corte no processo de usinagem é a mais relevante para otimizar os parâmetros de usinagem em futuros projetos relacionados à fabricação de peças de alumina.

Deste modo, a correlação entre a força de corte e a taxa de remoção de material é de extrema importância no projeto de produtos cerâmicos. Parâmetros inadequados nesse contexto podem resultar em danos superficiais excessivos nas peças usinadas.

Portanto, compreender como esses fatores se relacionam e afetam o processo de usinagem é fundamental para assegurar a qualidade e a integridade das peças cerâmicas, bem como para evitar defeitos superficiais indesejados. O controle preciso desses parâmetros desempenha um papel crucial na obtenção de resultados satisfatórios na fabricação de componentes cerâmicos. Por fim, este trabalho visa o projeto de um setup de bancada de ensaio para a usinagem de cerâmica nos estágios anteriores à sinterização.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bancada de ensaio para a usinagem de cerâmica avançada será projetada para incorporar dois sistemas de controle e monitoramento. O primeiro sistema terá a função de realizar o monitoramento da força de corte durante o processo de usinagem. Isso permitirá uma análise detalhada das forças envolvidas, contribuindo para a otimização das condições de usinagem.

O segundo sistema será responsável por monitorar a temperatura da ferramenta de corte. Esse monitoramento térmico é importante, pois a temperatura da ferramenta pode afetar significativamente a vida útil da mesma e a qualidade da usinagem. A combinação desses dois sistemas de controle e monitoramento contribuirá para um processo de usinagem mais preciso e controlado, resultando em uma otimização do processo de usinagem de peças de cerâmica avançada.

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FORÇA

O sistema de monitoramento de força será composto por: Um Arduino UNO, um Display LCD 16*2 + módulo I2c, uma célula de carga com capacidade máxima para 20kg com módulo conversor amplificador HX711, um suporte para a célula de carga, um suporte para pastilha, um notebook com o APP Arduino IDE, uma balança de precisão, uma fresadora vertical da marca Diplomat modelo FF 2500 e uma pastilha intercambiável de metal duro.

Para o processo de usinagem será empregado uma fresadora universal adaptada para o processo de torneamento. O corpo de prova será devidamente fixado no cabeçote vertical da máquina, proporcionando a rotação necessária para o processo de torneamento. Uma das razões para a escolha da fresadora adaptada para o torneamento, se deve ao fato de que a mesma proporcionou um amplo espaço em torno da peça, facilitando a fixação dos instrumentos necessários para o monitoramento das variáveis. Além disso, a máquina exibe uma notável rigidez estrutural, assegurando estabilidade e precisão durante todo o processo de usinagem.

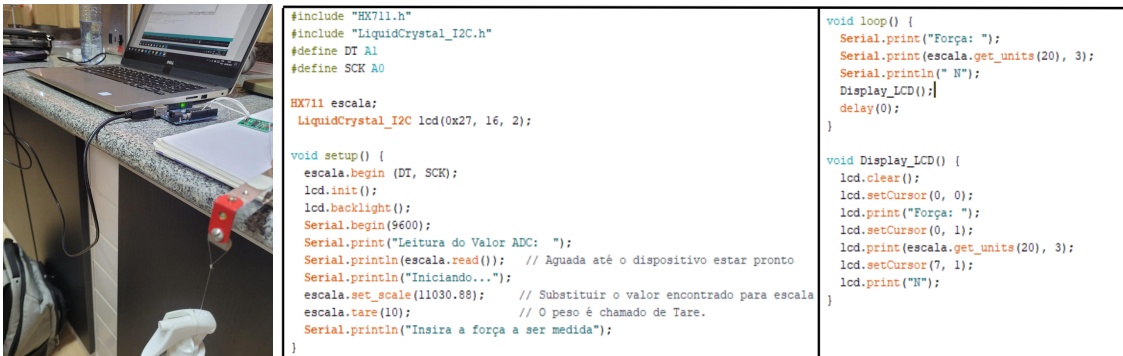
O inserto será cuidadosamente instalado no suporte que será fabricado sob medida para fixá-la na célula de carga, sendo a célula de carga, presa ao suporte que será fabricado para a mesma, esse suporte manterá todo o conjunto preso firmemente sobre a mesa da fresadora, dessa forma, irá possibilitar movimentos verticais para o avanço de usinagem, bem como movimentos horizontais para a determinação da profundidade de usinagem.

A célula de carga com o Módulo HX711, possibilitam ao arduino fazer a leitura da força de corte que estará agindo na pastilha. O arduino por sua vez, fará essa informação ser exibida no display LCD, caso um computador com o APP Arduino IDE esteja

conectado ao arduino, essa informação será enviada também ao APP que poderá além de exibir essa informação em tempo real, exibir um gráfico da força de corte pelo tempo.

Para validação da célula de carga, utilizando a balança de precisão, foi medido a massa de dois corpos de prova, e multiplicando pela aceleração gravitacional, foi obtida a força normal que atua sobre os corpos de prova, após isso, um desses objetos com a força de corte conhecida foi pendurado na célula de carga a fim de fazer a calibração, o segundo corpo de prova foi utilizado para conferir a precisão da célula de carga, sendo realizadas 10 medições com ele. Como demonstra na Figura 1.

Figura 1 - Validação da célula de carga e código utilizado no Arduino



Fonte: Autoria própria.

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

O sistema de monitoramento de temperatura será feito por um termômetro infravermelho digital da marca KLX, na qual permitirá a medição da temperatura da ferramenta de corte durante o processo de usinagem e exibindo-a em seu display em tempo real. Será elaborado um suporte para fixação do termômetro na bancada, esse suporte garantirá que o termômetro esteja posicionado de maneira estável e alinhada com a ferramenta de corte. Para a validação do monitoramento de temperatura, foi aquecida a pastilha utilizando uma pequena resistência e uma fonte, enquanto isso o termômetro infravermelho foi acionado e apontado para a pastilha, a uma distância de aproximadamente 10 centímetros, para verificar se o mesmo iria conseguir registrar o aquecimento da pastilha. Conforme a Figura 2.

Figura 2 - Validação do termômetro infravermelho



Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

VALIDAÇÃO DOS SISTEMAS DE MONITORAMENTO

Após a calibração, foram realizadas 10 medições do segundo corpo de prova utilizando a célula de carga, foi constatado um desvio padrão igual a 0,00137, e erro de medição máximo de 0,007 newtons, isso significa que a célula de carga é capaz de fornecer dados precisos e confiáveis da força que está sendo aplicada a mesma. O termômetro infravermelho, por sua vez, obteve leituras da temperatura subindo rapidamente enquanto o inserto era aquecido, isso significa um baixo atraso na medição, portanto se mostra eficaz a sua utilização na bancada de ensaio.

PROTÓTIPO DA BANCADA DE ENSAIO

Para avaliar a montagem, dimensões dos elementos e espaço físico da fresadora adaptada para o torneamento, foi elaborado um protótipo do suporte da célula de carga e do suporte para fixação da pastilha. O protótipo foi montado conforme a Figura 3.

Figura 3 - Protótipo preliminar da bancada de ensaio



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

A elaboração do setup da bancada de ensaio, com o objetivo de medir as forças de corte e monitorar a temperatura, é um passo crucial para futuras pesquisas científicas. Esse sistema permitirá correlacionar as forças de corte com a qualidade do acabamento superficial das cerâmicas usinadas, bem como avaliar a temperatura e o desgaste da ferramenta de corte. O desenvolvimento está em fase de testes do protótipo para avaliação, posteriormente, a fabricação da versão final do setup proporcionará uma ferramenta valiosa para conduzir pesquisas avançadas na área de usinagem de cerâmicas avançadas. Vale ressaltar que o início do desenvolvimento do sistema ocorreu em agosto de 2023. Esse projeto promete contribuir significativamente para o avanço do conhecimento e aprimoramento das técnicas de usinagem neste campo.

Agradecimentos

Agradeço a UTFPR-Guarapuava pela disponibilização dos laboratórios.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

Gonçalves Júnior M, de Angelo Sanchez LE, França TV et al (2019) Analysis of the tool nose radius influence in the machining of a green ceramic material. *Int J Adv Manuf Technol* 105:3117– 3125.

JÚNIOR, M. G. et al. Green ceramic machining benefits through ultrasonic-assisted turning: an experimental investigation. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 118, n. 9–10, p. 3091–3104, 2022.

Júnior, Sérgio Luiz, S. e Rodrigo Adamshuk Silva. *Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos*. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Saraiva, 2015.

LI, J. Z. et al. Micro machining of pre-sintered ceramic green body. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 212, n. 3, p. 571–579, 2012.

LIU, Y. et al. Wear resistance of carbide tools with textured flank-face in dry cutting of green alumina ceramics. **Wear**, v. 372–373, p. 91–103, 2017.

Sanchez LEA, Bukvic G, Fiocchi AA, Fortulan CA (2018) Allowance removal from green pieces as a method for improvement surface quality of advanced ceramics. *J Clean Prod* 186:10–21.

SCHROETER, R. B.; BASTOS, C. M.; CRICHIGNO FILHO, J. M. **Simulation of the main cutting force in Crankshaft turn broaching**. *International Journal of Machine Tools e Manufacture*, v. 47 1884-1892, 2007.

SU, B.; DHARA, S.; WANG, L. Green ceramic machining: A top-down approach for the rapid fabrication of complex-shaped ceramics. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 28, n. 11, p. 2109–2115, 2008.