



IV Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica

IV EnICT

ISSN: 2526-6772

IFSP – Câmpus Araraquara

24 e 25 de outubro de 2019



INVESTIGAÇÃO ACERCA DA VIABILIDADE E DESENVOLVIMENTO DE FORNO MICRO-ONDAS PARA SINTERIZAÇÃO DE ESTRUTURAS CERÂMICAS

MATHEUS DA NÓBREGA¹, HUYRA ESTEVÃO DE ARAÚJO²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, IFSP, Câmpus Piracicaba, matheus.nobrega@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor Doutor, IFSP, Câmpus Piracicaba, huyraestevao@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Cerâmicos – 3.03.05.02-0

RESUMO: A utilização de processos por micro-ondas na sinterização de estruturas cerâmicas tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. Nesse contexto, dispositivos projetados especialmente para esse fim têm se mostrado de grande interesse tanto para a comunidade científica quanto para a indústria, devido a uma série de vantagens que esses modelos oferecem em relação aos processos convencionais de sinterização de peças cerâmicas, como aumento da precisão, acessibilidade e baixo custo de aplicação. Sendo assim, o presente estudo tem por principal objetivo promover a viabilização e desenvolvimento de um método capaz de realizar a sinterização de estruturas cerâmicas através de ondas eletromagnéticas em um forno micro-ondas. O uso de micro-ondas na sinterização de cerâmicas permite redução do tempo de processamento, economia de energia e melhora na uniformidade microestruturas das estruturas cerâmicas. Configurando-se como um estudo descritivo exploratório, essa pesquisa formula-se com base na problemática acerca dos processos convencionais, como a metalurgia do pó, na sinterização de cerâmicas avançadas, os quais apresentam imperfeições e imprecisões nos modelos fabricados. Nessa perspectiva a sinterização de modelos cerâmicos através de micro-ondas surge como método viável na substituição dos processos convencionais, tornando a análise acerca da aplicabilidade desse método, meta funcional deste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: cerâmica; dispositivos; estruturas; processamento; sinterização.

INTRODUÇÃO

As cerâmicas são peças formadas de acordo com a necessidade do produtor e os componentes cerâmicos geralmente são formados a partir de uma mistura de pó com ou sem ligantes e outros aditivos. Por possuírem excelentes características, as cerâmicas são utilizadas por uma variedade de segmentos como a indústria química, maquinarias, eletrônica, engenharia aeroespacial até biomedicina. As propriedades que fazem esses materiais serem versáteis incluem a alta rigidez e dureza mecânica, estabilidade química e sua natureza térmica, óptica, elétrica e magnéticas com índices consideráveis.

Para promover maior desempenho científico e industrial, é necessário que os processos sobre os materiais que são utilizados nessas áreas, promovam um resultado com maior grau de precisão e qualidade. Processos tradicionais na sinterização de estruturas cerâmicas, regularmente apresentam imprecisões estruturais, além disso, exibem limitações em sua utilização, devido ao fato de que essas técnicas de formação cerâmicas possuem um longo tempo de processamento e custo elevado. Deste modo, estruturas com geometrias altamente complexas são impossíveis de produzir e esses processos podem dar origem a defeitos nas peças cerâmicas, como trincos e rachaduras, o que inviabiliza a produção de estruturas com boa qualidade superficial e precisão dimensional. Nesse cenário, a sinterização de estruturas cerâmicas através de micro-ondas pode proporcionar um resultado mais preciso e com custo consideravelmente reduzido, além de possibilitar a sinterização de estruturas cerâmicas com alta complexidade geométrica.

Torna-se, portanto, meta funcional desse estudo, a análise da viabilidade de desenvolvimento de um forno micro-ondas para sinterização de estruturas cerâmicas avançadas, bem como uma investigação acerca da efetividade desse método e grau de aplicabilidade tanto no cenário científico como industrial, com base em estudos que apresentam a utilização de micro-ondas nesse contexto.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas limitadas a uma faixa espectral que se estende de 0,3 a 300 GHz, com o correspondente intervalo de comprimento de onda de 1m a 1mm. Dada extensa faixa, confere-se a esses formatos de onda, grande potencial de versatilidade em suas aplicações. A energia de micro-ondas é usada a mais de cinco décadas no processamento de materiais, entretanto, no campo das ciências, sua aplicação se deu somente a partir da década de 70 para preparação de amostras e atividades laboratoriais (KEYSON et al., 2006; MENEZES; SOUTO; KIMINAMI, 2007).

Nesse cenário, o processamento de cerâmicas através de micro-ondas ocupa lugar de destaque, podendo ser usado para síntese, secagem, sinterização e eliminação de orgânicos. A sinterização pode ser definida como um tratamento térmico para unir partículas em uma determinada estrutura. Isso ocorre em virtude de uma série de benefícios do uso dessa energia na fabricação de amostras cerâmicas, como redução do consumo de energia e tempo de processamento, tempo de irradiação muito curto, distribuição invertida do perfil de temperatura e aquecimento seletivo. Em comparação com os processamentos térmicos convencionais, que aquecem inicialmente a superfície do material, a energia de micro-ondas é transformada em calor diretamente dentro do material, por meio da interação entre as moléculas e átomos do material com o campo eletromagnético produzido. Logo, a utilização de ondas eletromagnéticas através de um forno de micro-ondas mostra-se como um método preciso, viável e não implexo para sinterização de estruturas cerâmicas. (MENEZES; SOUTO; KIMINAMI, 2007; LERICHE et al., 2015)

METODOLOGIA

No decorrer deste estudo, foram realizadas diversas análises acerca da viabilidade do uso de um forno micro-ondas no contexto de sinterização de peças cerâmicas. Destaca-se que LERICHE et al. (2015) realizaram um estudo exploratório comparando a sinterização de biocerâmicas nos métodos convencionais com a sinterização através de micro-ondas, para estruturas de hidroxiapatita (HA), com o objetivo de melhorar das suas propriedades mecânicas. Nesse contexto, as micro-ondas, apresentaram-se como método promissor devido a curta duração do tratamento térmico. Segundo THUAULT et al. (2014), os cristais de HA são formados por fosfato de cálcio cristalino e representam mais de 80% do fósforo e quase toda a porcentagem de cálcio no corpo humano, desde modo, a HA possui uma vasta aplicação em processos cirúrgicos e para reparar partes danificadas do corpo humano. Em contrapartida, devido suas fracas propriedades mecânicas, sua aplicação é limitada. Sendo assim, há diversos estudos na comunidade científica com o intuito de utilizar com maior viabilidade e aplicabilidade da HA, nesse cenário a utilização de um forno micro-ondas surge como método significativo para limitar o crescimento de grãos durante o processo de sinterização.

Com base nos estudos de MENEZES; SOUTO; KIMINAMI (2007) e LERICHE et al. (2015), reitera-se que no processamento térmico convencional, ocorre, inicialmente, o aquecimento superficial do material e só em seguida a energia térmica é transferida para o interior da estrutura cerâmica, por meio de processos de convecção e condução, ou seja, a densidade aumenta lentamente com a temperatura para atingir cerca de 97,9% de compactação a 1250°C. Em contrapartida, a energia de micro-ondas é transformada em calor diretamente no interior do material através da interação dos átomos do material cerâmico com o campo eletromagnético gerado dentro do forno micro-ondas, fazendo com que a densidade aumente com a temperatura de sinterização até 1230°C e diminui acima dessa temperatura, o que possibilita o aquecimento interno e volumétrico do material, promovendo desse modo a formação de gradientes de temperaturas e fluxos de calor invertidos, promovendo níveis de densidade próximos a 99,6%. As cerâmicas são em geral, transparentes às ondas eletromagnéticas geradas pelo forno micro-ondas, entretanto, quando aquecidas acima de sua temperatura crítica, passam a absorver mais eficientemente a radiação de micro-ondas, devido a isso é necessário o efetivo controle do nível térmico no dispositivo desenvolvido. As características apresentadas pelo uso do forno micro-ondas possibilitam o aquecimento de peças grandes de maneira rápida e uniforme, sem que haja a geração de elevadas tensões térmicas que podem causar imperfeições nas peças desenvolvidas, como trincas e rachaduras.

O esquema funcional do forno micro-ondas para sinterização de estrutura cerâmica, objetivo do estudo, pode ser visto na Figura 1. Onde MW representa as ondas eletromagnéticas oriundas no micro-ondas

e R_n representa a resistência para as linhas da onda eletromagnética, r denota a resistência às perdas de modelagem na amostra. A frequência inicial é determinada pela fonte de tensão (V) utilizada, uma vez que para o funcionamento ideal do dispositivo, é necessário abaixar a tensão com o transformador abaixador. O capacitor (C) em série com o indutor (L) operará como cavidade ressonante para o circuito elétrico desenvolvido, operando para impedir que haja oscilações na temperatura juntamente com o termômetro (ir) junto do circuito, para controle de temperatura, bem como promover o melhor ajuste da operação.

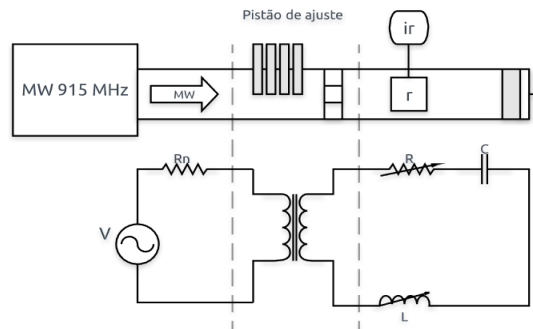


FIGURA 1. Esquema elétrico do funcionamento do micro-ondas.
FONTE: Elaborado pelo autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado, por meio da revisão bibliográfica, que a sinterização rápida, apesar de conduzir a elevadas densificações em um curto período de tempo, se depara com obstáculos que limitam a sua utilização, como o desenvolvimento de tensões térmicas no modelo, resultantes de gradientes de temperatura presentes no processo de sinterização, o que pode produzir a formação de trincas, rachaduras e deterioração das propriedades mecânicas do material, bem como o crescimento irregular dos grãos ao longo da peça, gerando heterogeneidade microestrutural. Sendo assim o processamento de peças cerâmicas através de micro-ondas é uma forma de processamento que possibilita ultrapassar as limitações oriundas dos métodos convencionais de sinterização, promovendo também um ciclo de queima rápida da amostra. Isso ocorre devido ao fato de que os mecanismos de geração de calor envolvidos no processo através de micro-ondas, permite um aquecimento volumétrico da peça de forma rápida e mais uniforme que no caso da sinterização tradicional. Além disso, a sinterização por micro-ondas promove a intensificação das taxas de densificação, também chamado de “*microwave effect*” provocado pelo campo eletromagnético gerado, diferenciando-se ainda mais dos meios convencionais que não promovem nenhum tipo de aceleração no processo e como característica do processamento cerâmico por micro-ondas, é notável observar que menores tempos de processamento e temperaturas submetidas, refletem na redução dos custos energéticos do processo (Tabela 1) contribuindo de modo consequente a uma considerável economia.

TABELA 1. Comparativo do gasto energético entre o método convencional e o aquecimento por micro-ondas.

FONTE: Menezes; Souto; Kiminami, 2007

| Processo | Gasto Energético ($\text{kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$) | Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) |
|-----------------------------|--|------------------------------------|
| Alumina | | |
| Sinterização Rápida | 59 | 1600 |
| Convencional | | |
| Aquecimento por Micro-ondas | 4 | 1600 |
| Nitreto de Silício | | |
| Processo Convencional | 20 | N/A |
| Aquecimento por Micro-ondas | 3 | N/A |

Os resultados dos estudos de LERICHE et al., (2015) denotam a viabilidade do processamento de cerâmicas através de micro-ondas, uma vez que a densificação estrutura cerâmica da peça conformada, apresentou considerável desempenho e qualidade, no que pode ser visto na Figura 2. As estruturas avaliadas nesse estudo através da utilização de um forno micro-ondas realizando a sinterização direta, apresentaram que 99% das amostras densas com microestruturas subatômicas foram obtidas em menos de 15 minutos de irradiação e apresentaram propriedades mecânicas consideráveis como o módulo de *Young* mais alto (>140 GPa) e dureza mais alta (> 9 GPa) em relação a peças conformadas com outros métodos de sinterização.

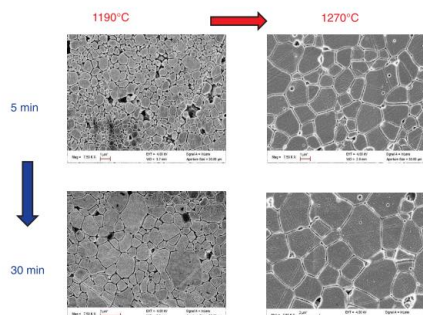


FIGURA 2. Exemplos da sinterização de HA por micro-ondas.
FONTE: Leriche et al., 2015.

CONCLUSÕES

A base bibliográfica utilizada, mostrou-se de substancial valor para o estudo da viabilidade e desenvolvimento de um forno micro-ondas para sinterização de estruturas cerâmicas avançadas. No contexto funcional a aplicabilidade do forno micro-ondas pode ser vista sob a ótica da comparação realizada pelos estudos apresentados, onde evidenciou-se maior precisão e qualidade nos modelos conformados através do processamento por micro-ondas. De igual forma, o conjunto de novos resultados obtidos promovem o desenvolvimento de um novo modelo de sinterização de estruturas cerâmicas com o intuito de substituição dos tratamentos convencionais que por vezes apresentam imperfeições e imprecisões, como trincos e rachaduras, nas peças cerâmicas fabricadas. Sob a ótica do uso de micro-ondas, a sinterização por meio de ondas eletromagnéticas mostra-se de relevante importância tanto no cenário científico como industrial, uma vez que novos métodos de tratamento de peças cerâmicas podem ser desenvolvidos com base no presente estudo, possibilitando um maior desenvolvimento científico na área de materiais. Destaca-se também que o processamento por micro-ondas, oferece considerável economia energética, o que possibilita uma maior economia por parte da indústria durante os procedimentos fabris. Sendo assim, os resultados obtidos denotam a importância do processo de sinterização por micro-ondas, uma vez que a interação micro-ondas/material, faz com que seja viável a aplicação nesse contexto. Ressalta-se que estudo servirá de subsídio para que um modelo de forno micro-ondas para sinterização de estruturas cerâmicas seja desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- KEYSON, D. et al. **Síntese e processamento de cerâmicas em forno de microondas doméstico**. Cerâmica, v. 52, p. 50-56, 2006
- LERICHE A. et al. **Comparison of Conventional and Microwave Sintering of Bioceramics**. Adv. Process, Manuf. Technol. Nanostructured Multifunct Mater, p. 23-32, 2005
- MENEZES, R.R.; SOUTO P.M.; KIMINAMI, R.H.G.A. **Microwave sintering of ceramics. Part I: Fundamental aspects**. Cerâmica, v. 53, n. 325, p. 1-10, 2007.
- THUAULT, A. et al. **Improvement of the hydroxyapatite mechanical properties by direct microwave sintering in single mode cavity**. Journal of the European Ceramic Society, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2013.12.035>> Acesso em: 10 set. 2019.