

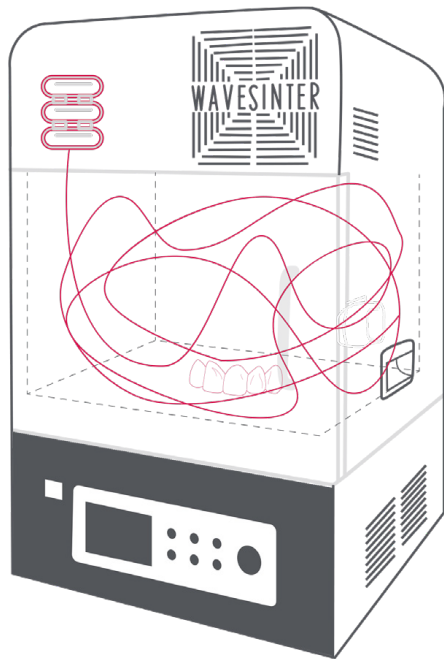


WAVESINTER

Tecnologia de micro-ondas na
sinterização de zircônia odontológica

Em caso de dúvidas, entre em contato conosco
pelos canais oficiais.

 (16) 3610.9636 |  sac@odontomega.com.br



Sinterização por micro-ondas

O aquecimento de materiais cerâmicos por ondas eletromagnéticas é uma tecnologia utilizada desde a década de 1980. Inicialmente aplicada à secagem, passou a ser empregada também no aquecimento e na sinterização de cerâmicas.

Na odontologia, a sinterização de ZrO_2 (zircônia) é uma das principais aplicações dessa tecnologia, oferecendo um processo eficiente para o tratamento de materiais cerâmicos.

O avanço dessa técnica tem ampliado suas aplicações em laboratórios odontológicos, embora ainda envolva aspectos técnicos específicos relacionados ao controle do processo de sinterização.



Funcionamento das micro-ondas

Talvez a melhor maneira de começar a entender o funcionamento das micro-ondas seja analisar o desempenho de um forno de micro-ondas, equipamento presente em muitos lares.

As micro-ondas funcionam por meio de um campo eletromagnético oscilante, que interage com moléculas presentes no material.

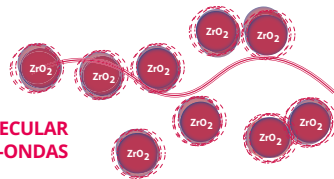
A molécula de água possui uma distribuição desigual de cargas: o hidrogênio apresenta carga positiva e o oxigênio, negativa. Por essa assimetria, ela se comporta como um pequeno ímã.

Quando submetidas a um campo eletromagnético oscilante, essas moléculas tentam acompanhar continuamente a direção do campo, gerando uma intensa movimentação molecular.

Nos fornos de micro-ondas, essa energia é produzida pelo magnetron. A movimentação das moléculas provoca atrito e, consequentemente, aquecimento do material.

Esse mesmo princípio de agitação molecular é utilizado no aquecimento e na sinterização de materiais cerâmicos, como a zircônia (ZrO_2).

**AGITAÇÃO MOLECULAR
MICRO-ONDAS**



Considerações

- ✓ A frequência da onda gerada pelo magnetron é extremamente alta, atingindo aproximadamente 2,4 bilhões de oscilações por segundo (2,4 GHz). Essa movimentação molecular gera calor.
- ✓ O campo eletromagnético penetra no alimento, fazendo vibrar não apenas as moléculas de água da superfície, mas também as que estão em seu interior. Como todas as moléculas são submetidas à oscilação simultaneamente, o aquecimento ocorre de maneira homogênea em toda a massa do material.
- ✓ Como o equipamento possui uma carcaça metálica fechada, as ondas eletromagnéticas ficam confinadas em seu interior (efeito gaiola de Faraday). Assim, praticamente toda a energia permanece dentro da câmara e é utilizada no aquecimento. Por isso, as paredes externas do equipamento não apresentam aquecimento significativo.

FORNO CLÁSSICO

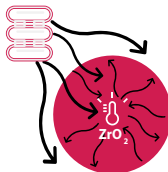


RESISTORES

No forno convencional, a radiação incide sobre a superfície e de lá é transmitida para o interior por condução.

Por esse motivo a superfície torrada devido a incidência direta da radiação que não consegue penetrar no interior.

FORNO DE MICRO-ONDAS



MAGNETRON

Sua frequência de onda $> 2,4$ GHz
A onda eletromagnética penetra no interior.

A onda eletromagnética penetra no interior
Todas as moléculas de água oscilam ao mesmo tempo, o aquecimento ocorre de forma homogênea e simultânea.

A carcaça metálica do aparelho funciona como uma gaiola de Faraday; as ondas e o calor não saem.

Problemas clássicos de sinterização

Considere uma esfera oca que contém outra esfera, do mesmo material, em seu interior. Inicialmente, não há nenhum espaço entre as duas esferas. A partir dessa condição, suponha que apenas a esfera externa seja aquecida, enquanto a esfera interna permanece fria. Com o aumento da temperatura, a esfera externa começa a se dilatar devido ao calor e, gradualmente, surge um espaço entre as duas esferas. Essa separação aumenta à medida que cresce a diferença de temperatura entre elas.

- ✓ Se considerarmos agora que as duas esferas estão fortemente unidas, por meio de uma solda, a esfera externa puxará a esfera interna, gerando uma deformação no material. Sua elasticidade tentará absorver a diferença de dilatação entre as duas esferas. Entretanto, quando o limite elástico do material for ultrapassado e a tensão de ruptura for atingida, o material se romperá, originando uma trinca.
- ✓ Se, em vez de considerarmos que a camada externa é a que aquece, imaginarmos que ela esfria, chegaremos à mesma conclusão: as diferenças de expansão entre as diferentes camadas que compõem um material precisam ser absorvidas por sua elasticidade. Caso contrário, ocorrerão trincas tanto durante o aquecimento quanto durante o resfriamento.
- ✓ É importante observar que, dependendo da geometria da peça, da homogeneidade do material e da diferença de temperatura à qual ela é submetida, a trinca pode surgir na superfície externa, tornando-se visível, ou, o que é mais grave, permanecer no interior da peça sem ser detectada. Nesse caso, a trinca pode provocar a fratura posteriormente, quando forças forem aplicadas ao material.
- ✓ Também pode ocorrer que a tensão de tração ou compressão provocada pela diferença de temperatura não seja suficiente para causar uma ruptura (trinca), mas seja elevada o bastante para provocar uma deformação permanente no material, denominada deformação plástica.

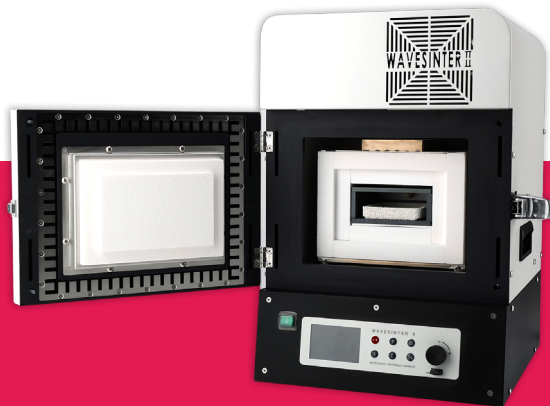
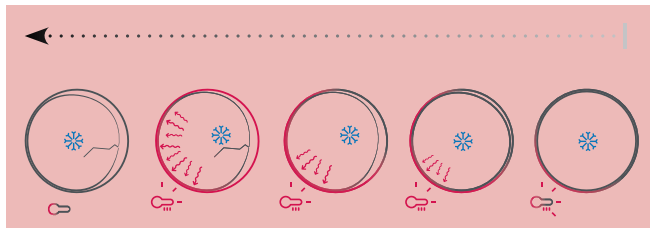
TRÊS CARACTERÍSTICAS DA ZIRCÔNIA ODONTOLÓGICA

- ✓ É um excelente isolante térmico.
Por esse motivo, os processos de aquecimento e resfriamento são relativamente lentos, pois a condução de calor no material é limitada. Isso é especialmente relevante devido à alta resistência térmica do interior da peça.
- ✓ Possui elasticidade muito limitada.
Qualquer tensão provocada por uma diferença de temperatura pode causar uma trinca.
- ✓ O material antes da sinterização é extremamente frágil.
A ZrO_2 colocada no forno para ser sinterizada é formada por partículas de material fracamente unidas. Durante o processo, essas partículas se unem progressivamente, tornando o material mais resistente.

Durante o tratamento no forno, essas partículas se fundem, gerando um produto mais resistente. Obviamente, antes de se atingir a sinterização completa, o material será muito frágil, pois a resistência à tração/compressão da peça prensada a partir do pó é muito limitada. Qualquer tensão, mesmo que leve, decorrente de diferenças de temperatura provocará trincas.

Ao aquecer uma peça de ZrO_2 em um forno convencional, a radiação térmica gerada pelas resistências incide sobre a superfície externa do material e, a partir daí, é transmitida por condução para o interior. A natureza refratária do zircônio não favorece esse processo de transferência de calor. Se aumentarmos a potência da radiação para reduzir o tempo de processamento, o único resultado será "tostar" a camada externa da peça, mantendo o interior frio. Ou, pior ainda: gerar uma diferença de temperatura tão elevada entre a superfície e o núcleo que acabe provocando uma trinca. Em suma, os tempos de aquecimento e resfriamento em fornos de sinterização convencionais precisam ser mantidos elevados.

No entanto, como as micro-ondas são capazes de penetrar cerca de 30 a 40 mm no zircônio, a oscilação molecular — e, consequentemente, o aquecimento do material — ocorre de maneira uniforme em todos os pontos da peça. Dessa forma, elimina-se o risco de fissuração decorrente da diferença de temperatura entre diferentes áreas.



LEIA TAMBÉM
[Manual do Usuário](#)



ECONOMIA DE ENERGIA

Os fornos convencionais para zircônia utilizam resistências que irradiam energia em todas as direções. Para evitar que essa energia seja perdida pelas paredes do forno, é necessário utilizar sistemas de isolamento térmico espessos.

De toda a energia emitida pelas resistências, apenas uma parte é absorvida pela peça que está sendo aquecida. O restante é dissipado na mufla e nos demais componentes do equipamento, resultando em um alto consumo de energia elétrica.

Já no aquecimento por micro-ondas, a energia produzida pelo magnetron é concentrada quase exclusivamente no material que será aquecido. Como exemplo, após um ciclo de aquecimento em um micro-ondas doméstico, as paredes internas do equipamento não ficam quentes.

Usuários dos nossos fornos de micro-ondas relatam uma redução significativa no consumo de energia elétrica e, consequentemente, na conta de luz.



REDUÇÃO SIGNIFICATIVA DOS TEMPOS DE CICLO

Elimina-se a necessidade de um aquecimento lento e gradual do material para evitar rupturas e deformações. Como não há diferenças significativas de temperatura entre o interior e o exterior da peça, não é necessário prolongar o tempo de aquecimento.

A natureza refratária da zircônia tem menor impacto no ciclo de sinterização, pois o aquecimento ocorre em todos os pontos do material simultaneamente. Dessa forma, não é necessário transferir o calor de uma região da peça (externa) para outra (interna).

O forno possui menor massa e permanece aquecido por menos tempo do que um forno convencional de sinterização. Por isso, sua inércia térmica é muito menor. Essa característica é especialmente relevante durante a fase de resfriamento: a temperatura ambiente é atingida em menos tempo do que em um forno convencional.

A velocidade de transmissão da energia de uma onda eletromagnética através da matéria é maior do que a da energia transmitida por radiação. De acordo com os princípios da mecânica quântica, os mecanismos de absorção dos fótons são diferentes em cada caso e, consequentemente, também é diferente a velocidade de variação da temperatura.



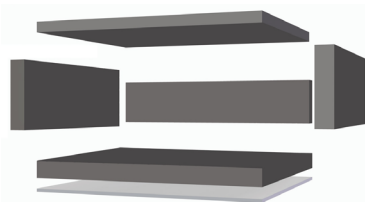
MANUTENÇÃO SIMPLES

As resistências de um forno convencional para sinterização de zircônia precisam atingir temperaturas que, em alguns casos, ultrapassam 1.800 °C. Geralmente, essas resistências são fabricadas em MoSi_2 (dissiliceto de molibdênio), um material caro e delicado, extremamente frágil e quebradiço, utilizado em aplicações específicas e limitadas. Além disso, é suscetível à contaminação por vapores presentes no interior da mufla.

O MoSi_2 também apresenta alta condutividade elétrica, o que exige a utilização de correntes muito elevadas, que podem ultrapassar 100 A, com tensões reduzidas. Essa característica exige sistemas eletrônicos sofisticados para alimentação e controle de potência.

Com o tempo, as resistências sofrem desgaste e precisam ser substituídas, o que representa um custo elevado.

O magnetron, por sua vez, é um componente compacto e de fácil substituição em caso de falha. Não gera nenhum tipo de contaminação no interior da câmara, possui custo relativamente baixo e apresenta alta confiabilidade. Sua vida útil é muito longa e depende principalmente das condições de operação, sendo um componente amplamente utilizado e testado em diferentes sistemas industriais.



Quais são os receptores?

Uma pergunta frequente de nossos clientes e amigos diz respeito à função dos suscetores refratários que revestem o interior da mufla do forno de micro-ondas. Vamos explicar isso como uma curiosidade.

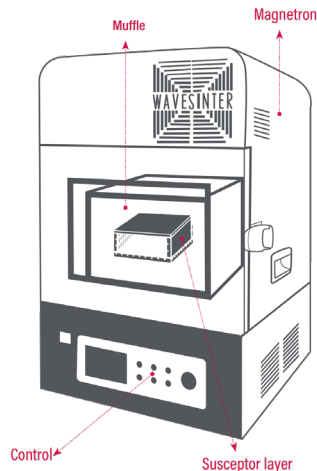
Para tanto, precisamos apresentar dois conceitos básicos: o **efeito estufa** e o **mecanismo de radiação de energia**.

- ✓ Começando pelo primeiro conceito, diremos que uma estufa é um recinto de vidro exposto à ação solar. Os raios solares atravessam o vidro porque este é transparente à frequência de emissão solar. Uma vez no interior, a radiação aquece o ambiente, elevando a temperatura. Esse aumento de temperatura faz com que o interior da estufa, por sua vez, emita energia para o exterior.
- ✓ Devemos mencionar agora um detalhe importante: a radiação solar possui uma frequência de emissão muito elevada, pois é produzida por um elemento — o Sol — que se encontra a uma temperatura enorme. Por outro lado, a radiação emitida quando o interior da estufa é aquecido é de baixa energia, visto que a temperatura também é baixa. Os raios solares atravessam o vidro facilmente e aquecem o interior da estufa, mas esse mesmo vidro impede que a radiação refletida escape. A energia entra, mas não sai, elevando a temperatura em seu interior.

- ✓ O segundo conceito foi introduzido pelo físico austríaco **Ludwig Boltzmann**, que propôs que a energia emitida por um corpo aquecido é proporcional à sua temperatura elevada à quarta potência ($E = \sigma T^4$).

O Sol apresenta uma temperatura de vários milhões de graus. Ao elevar esse valor à quarta potência, é possível compreender a enorme quantidade de energia que ele irradia para o espaço e por que nosso planeta recebe essa energia mesmo estando a milhões de quilômetros de distância.

Por outro lado, um corpo a baixa temperatura apresenta uma capacidade de emissão de energia muito limitada.



Ao considerar esses dois conceitos, quando aquecemos alimentos em um micro-ondas doméstico, a temperatura normalmente não ultrapassa 100 °C, portanto, a energia irradiada é muito baixa.

No entanto, quando se trata de zircônia odontológica, a temperatura de sinterização é de aproximadamente 1.550 °C, cerca de 15 a 16 vezes superior à temperatura atingida no micro-ondas doméstico.

Como a temperatura é elevada à quarta potência, a quantidade de energia irradiada por um bloco de zircônia a 1.550 °C é aproximadamente 50.000 vezes maior do que a energia irradiada pelos alimentos que normalmente aquecemos em um micro-ondas doméstico.

Uma quantidade tão elevada de calor poderia danificar os mecanismos e os sistemas internos do forno, além de representar um desperdício de energia. Por esse motivo, nossos engenheiros optaram por criar uma espécie de “pequena estufa”.

Vale lembrar que a luz solar, as ondas de rádio, as micro-ondas, os raios X etc. são todos tipos de ondas eletromagnéticas que obedecem aos mesmos princípios e às mesmas equações.

O interior da mufla funciona como uma ***estufa***, enquanto os susceptores atuam como um vidro: permitem a entrada das micro-ondas, mas retêm a radiação térmica emitida pela zircônia aquecida. Assim, a energia fica concentrada na câmara, reduzindo as perdas e o consumo de energia.

O que são os receptores?

Na verdade, os susceptores não são 100% transparentes à energia produzida pelo magnetron; portanto, uma parte dela é absorvida por eles, fazendo com que se aqueçam. Esse calor gera dois efeitos positivos:

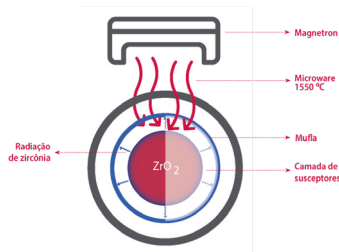
Isso aquece o ar ao redor da peça de zircônia que está sendo sinterizada, reduzindo a diferença de temperatura entre a zircônia e o ar. Não nos esqueçamos de que a sinterização ocorre na presença de ar e que o ar é transparente às micro-ondas, aquecendo-se, portanto. Se houver uma grande diferença de temperatura entre o ar e a zircônia, podem surgir trincas.

Nos momentos iniciais do aquecimento, quando os elétrons livres do zircônio estão em seu estado de menor energização, a radiação dos susceptores auxilia na vibração do par de elétrons livre/oco. À medida que o zircônio ganha energia, esse efeito é atenuado.

Outra função dos susceptores é proteger os sistemas elétricos e mecânicos da radiação emitida pelo zircônio quando este se encontra em alta temperatura (cerca de 1550 °C). Uma quantidade tão grande de energia irradiada a curta distância poderia danificar os elementos do forno.

Como os susceptores são elementos que não sofrem desgaste, sua vida útil é, em princípio, ilimitada. No entanto, choques e atritos ocorridos acidentalmente durante a inserção do material a ser sinterizado — somados à contaminação química e à degradação do material em altas temperaturas — recomendam a substituição periódica desses itens para manter a eficiência do forno.

Além disso, acima de 800 °C, o material do susceptor pode sofrer certas reações químicas que provocam sua deformação. Isso não chega a ser um problema, dada a facilidade de substituição e o custo razoável do forno.





EVITE TRINCAS



ECONOMIA
DE TEMPO



ECONOMIA
DE ENERGIA



ECONOMIA DE
MANUTENÇÃO



ECONOMIA
DE ESPAÇO



REDUÇÃO
DE ESPAÇO



CAPACIDADE
DE PRODUÇÃO



MELHORIA DA
QUALIDADE

As vantagens específicas do forno de sinterização por micro-ondas não se limitam às apresentadas acima. A elas, também se somam:

- ✓ Modelo compacto que ocupa pouco espaço no laboratório.
As dimensões do equipamento são praticamente semelhantes às de um forno convencional de pré-aquecimento de cilindros.

- ✓ Operação simples e intuitiva.
Não é necessário passar por uma longa curva de aprendizado. O equipamento conta com uma série de programas pré-configurados. Basta pressionar um botão para iniciar e finalizar o ciclo. O resultado ideal é garantido.

- ✓ Grande capacidade de produção.
Com a tecnologia convencional, o ciclo de sinterização é demorado, dificultando a realização de mais de um ciclo por dia. Com a tecnologia de micro-ondas, é possível realizar dois e, com um bom planejamento, até três ciclos no mesmo dia.

- ✓ Melhoria significativa da qualidade.
Em alguns casos, trincas e deformações em materiais odontológicos sinterizados não aparecem na parte externa da peça, permanecendo no interior e tornando-se impossíveis de detectar. Isso não significa que não exista risco de fratura. A peça pode parecer adequada para o uso diário e, posteriormente, quebrar devido a uma falha interna que não foi identificada durante a inspeção visual após a sinterização. Esse risco é significativamente reduzido com o uso da tecnologia de aquecimento por micro-ondas.



PAINEL DE CONTROLE

- Status da seleção
- Memória
- Frequência do produto
- Aviso
- Tempo de aquecimento
- Status operação
- Temperatura na câmara
- Tempo total de operação
- Temporizador
- Contagem: número de ciclos
- Gráfico

Na prática

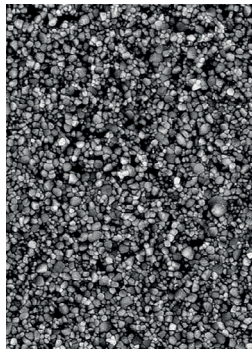
Após essa contribuição teórica para a tecnologia de sinterização por micro-ondas, apresentam-se a seguir algumas ilustrações que mostram as possibilidades e os benefícios oferecidos ao protesista graças a este forno.



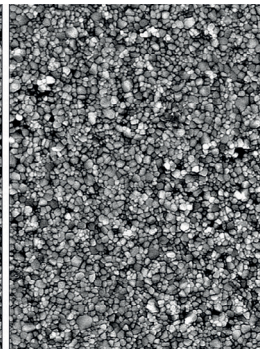
Peça sinterizada

Confecção de uma ponte completa sem estabilizadores.

Peça fresada: trabalho realizado sem estabilizadores. A homogeneidade da sinterização por micro-ondas evita deformações frequentemente causadas por correntes de ar resultantes de diferenças de temperatura durante a sinterização em forno de resistência.



Convencional



Micro-ondas

Dois discos de zircônia sinterizados, um em forno convencional e o outro em forno de micro-ondas: sob o microscópio eletrônico, observa-se uma granulação ligeiramente mais fina com a tecnologia de micro-ondas.



Adaptação perfeita



Respeito à zircônia recém saída do forno:
fidelidade de cores e translucidez



Precisão de ajuste e estética após a glaseagem.
Peça monolítica.

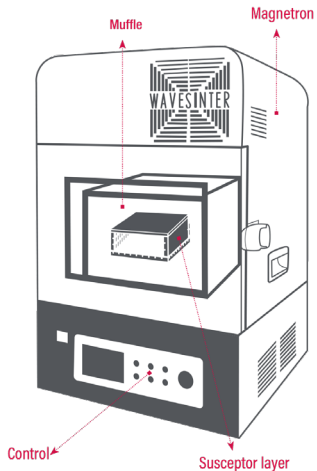


Estética, precisão e risco de microfissuras
praticamente inexistente.

Após as operações de vitrificação, obtém-se um resultado estético ideal, aliado a um excelente ajuste e a um tempo de sinterização reduzido pela metade. Não há dúvida de que a tecnologia de microondas representa o futuro da sinterização de zircônia odontológica.



Forno de Micro-ondas para Zircônia



Especificações

Altura: 528 mm
Largura: 350 mm
Profundidade: 396 mm
Peso: 33 kg
Tensão: 230 V AC, 50 Hz
Potência: 2.000 W
Temperatura máxima: 1.550 °C
Temperatura ambiente: 5 a 40 °C
Fusível: 10 A
Umidade: 50 a 80%

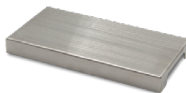
Acessórios do Equipamento



Cadinho



Pellets (100 g)



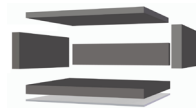
Suporte para cadinho



Sensor de temperatura



Pegador para cadinho



Conjunto de susceptores
+ placas