



La technologie micro-ondes dans la sintérisation de la Zircono dentaire

Réf. 080114



Par les ingénieurs du centre de recherche et développement de MESTRA

La chauffe des matériaux céramiques par ondes électromagnétiques est une technique utilisée par l'industrie depuis le début des années 1980. Initialement, il était utilisé pour le séchage des matériaux. (essentiellement l'élimination de l'eau) et plus tard dans la chauffe/frittage d'éléments céramiques. Après tout ce temps, la technologie a acquis un degré de maturité optimal et de plus en plus d'applications industrielles lui sont trouvées.

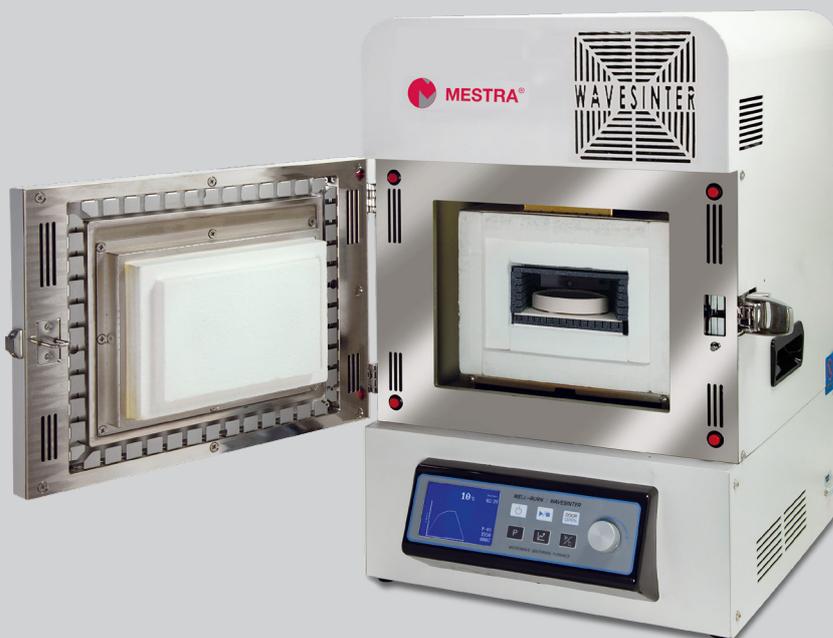
Se concentrant sur le secteur dentaire, la sinterisation du ZrO_2 est probablement l'utilité la plus intéressante.

A l'heure actuelle, seules quelques entreprises dans le monde maîtrisent cette technique au point d'être en mesure d'offrir au marché des produits fiables, efficaces et économiques.

Cependant, en raison de sa nouveauté et de son concept révolutionnaire, de nombreux doutes et incertitudes assaillent le technicien du laboratoire dentaire.

Cet écrit est né avec l'intention de clarifier des idées et résoudre des doutes pour un utilisateur intéressé par le sujet, mais qui n'a pas de bases scientifiques solides: son caractère est simplement informatif.

Un regard approfondi sur la technologie de la sinterisation par micro-ondes obligerait à aborder des problématiques qui trouvent leur origine, entre autres,



dans la mécanique quantique, la mécanique ondulatoire ou l'électrochimie. Pour cette raison - dans un souci de clarté et de facilité de compréhension - il a été décidé de simplifier l'exposé.

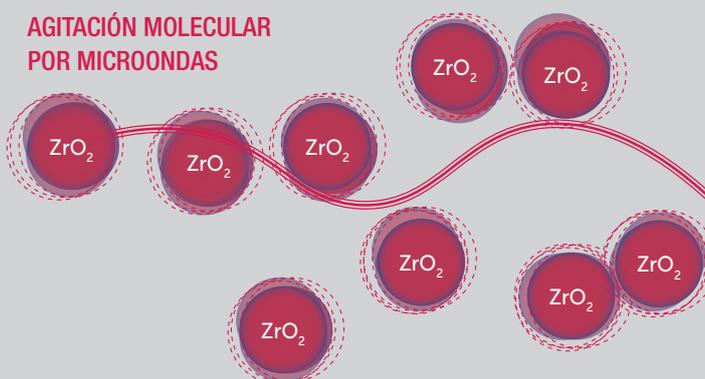
Fonctionnement du micro-ondes

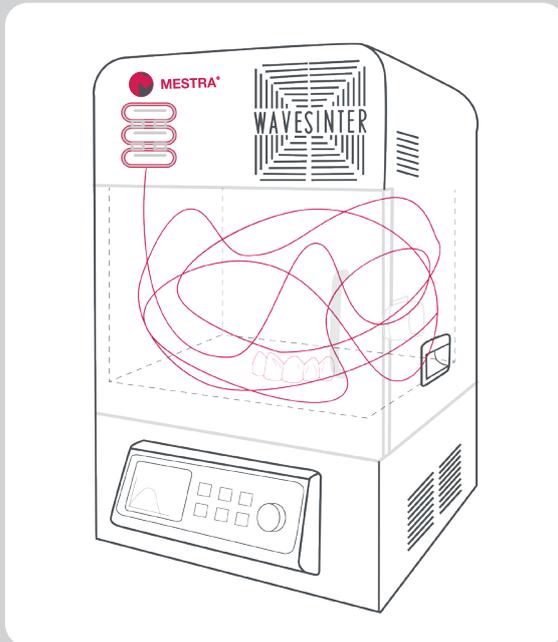
La meilleure façon pour se lancer dans le monde des micro-ondes est peut-être d'analyser les performances d'un four à micro-ondes comme celui que nous avons tous dans notre cuisine. On sait qu'une molécule d'eau est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. De même, l'ion d'hydrogène a une charge positive et l'oxygène a une charge négative. Du fait de cette asymétrie de la molécule, deux zones différenciées seront générées dans l'espace : l'une de charge positive et l'autre de charge négative. Ou ce qui revient au même: un petit aimant. D'autre part, nous savons que si l'on place un aimant dans un champ électromagnétique, il sera orienté d'une manière semblable à l'aiguille aimantée d'une boussole qui s'oriente suivant les lignes du champ électromagnétique terrestre.

Mais, que se passerait-il si au lieu d'un champ statique comme celui de la terre, l'aimant était immergé dans un champ électromagnétique qui ne cesse d'osciller?

Dans ce cas, il commencerait à vibrer au même rythme, essayant à tout moment de maintenir l'alignement avec le champ. Les aliments que nous mettons au micro-ondes dans nos maisons ont une forte teneur en eau. Nous avons déjà vu qu'une façon de comprendre molécule d'eau serait de le comparer à un petit aimant.

Lorsque vous appuyez sur le bouton de démarrage, un appareil appelé magnétron génère une onde électromagnétique oscillation à haute énergie. Immédiatement, les minuscules "aimants à eau" commencer à vibrer en essayant de s'orienter dans le champ créé par le magnétron. Cette danse moléculaire frénétique produit des frottements et par conséquent, l'échauffement des aliments.





Une petite mise au point s'impose:

- ✓ La fréquence de l'onde générée par le magnétron est extraordinairement élevée. Il oscille environ 2,4 milliards de fois par seconde (2.400.000.000). Le frottement moléculaire est très élevé.
- ✓ L'onde électromagnétique pénètre dans les aliments atteignant son intérieur et faisant vibrer non seulement la molécules d'eau de la croûte extérieure, mais aussi celles qui se trouvent à l'intérieur des aliments.
- ✓ Parce que toutes les molécules d'eau dans les aliments oscillent en même temps, la chauffe se produit de manière homogène et simultanée dans toute la masse de l'aliment.

- ✓ L'habitacle de l'appareil étant métallique et fermé, les ondes électromagnétiques ne peuvent pas s'échapper de l'intérieur (effet cage de Faraday), donc aucune énergie n'est gaspillée. La quasi-totalité de l'énergie est utilisée dans la chauffe des aliments.

Au terme du processus les parois du micro-ondes ne sont pas très chaudes.

- ✓ Il y a une nette différence entre chauffer dans un four à résistance classique et dans un four à micro-ondes: dans le four conventionnel, le rayonnement frappe la surface de l'aliment et de là, il est transmis vers l'intérieur de l'aliment par conduction thermique. Pour cette raison, la surface de la nourriture est rôtie en raison de l'incidence directe du rayonnement incapable de pénétrer à l'intérieur de l'aliment. Cependant, dans le cas du four à micro-ondes, la mécanique suivie dans la chauffe empêche que la surface de l'aliment soit grillée.

- ✓ En pratique, le mécanisme énergisant des matériaux céramiques (par exemple ZrO_2) dans le champ électromagnétique n'est pas du type dipôle comme dans l'eau (aimant). Il est en fait produit par agitation du binôme « électron-trou libre », avec un espace d'oscillation et sans choc intermoléculaire. Pour s'énergiser, une molécule peut vibrer ; bouger et entrer en collision avec les autres molécules, tourner autour d'un de ses atomes, ou ce qui est plus probable, une combinaison de toutes ces actions.

Pour des raisons de clarté et de simplicité dans l'exposé, nous continuerons à aborder le sujet en suivant la philosophie initiale.

FOUR CLASSIQUE

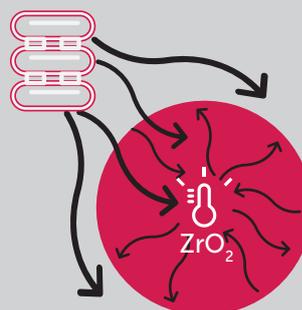
RESISTANCES

- ✓ Dans le four conventionnel, le rayonnement agit en surface et de là, il est transmis vers l'intérieur par conduction.
- ✓ Pour cette raison, la surface est grillée en raison de l'incidence directe du rayonnement qui est incapable de pénétrer à l'intérieur.

FOUR MICRO-ONDES

MAGNETRON

- ✓ Sa fréquence d'onde > 2.4 GHz
- ✓ L'onde électro magnétique pénètre à l'intérieur.
- ✓ Toutes les molécules d'Eau oscillent simultanément, la chauffe est alors homogène et simultanée.
- ✓ IL'habitacle métallique de l'appareil fonctionne comme une cage de Faraday, les ondes et la chaleur ne sortent pas vers l'extérieur.



Problèmes de sintérisation classique



ON EVITE DES FISSURES ET DES DEFORMATIONS

Imaginons une sphère creuse qui contient une autre sphère du même matériau à l'intérieur. Entre les deux sphères au départ il n'y a pas de séparation. Partant de cette condition, supposons maintenant que nous ne chauffons que la sphère extérieure tout en maintenant froide la sphère intérieure. La sphère extérieure commencera à se dilater sous l'effet de la chaleur et peu à peu une séparation apparaîtra entre les deux sphères qui sera de plus en plus grande à mesure que la différence de température augmentera.

Si nous supposons maintenant que les deux sphères se trouvent fortement soudées, il arrivera que la sphère extérieure tirera sur la sphère intérieure et que cela provoquera un étirement de la matière. Cette élasticité va essayer d'absorber le décalage entre les deux sphères. Évidemment, lorsque la limite élastique du matériau est dépassée et que la contrainte de rupture est atteinte, le matériau se déchire, produisant une fissure. Si au lieu d'imaginer que la couche externe est celle qui se réchauffe, (supposons maintenant qu'elle se refroidit), nous parviendrons au même résultat : la différence de dilatation entre ces différentes couches imaginaires qui composent le matériau doit être absorbée par son élasticité. Dans le cas contraire, des fissures se produiront à la fois dans les phases de chauffe et de refroidissement.

Il est important de noter qu'en fonction de la géométrie de la pièce, de l'homogénéité du matériau et de la différence de température à laquelle ce matériau est soumis, la fissure peut apparaître à l'extérieur (visible) ou, ce qui est plus grave : elle peut se faire à l'intérieur de la pièce sans que personne ne puisse la voir provoquant ainsi une cassure postérieure lorsque le matériau sera mis à l'épreuve.

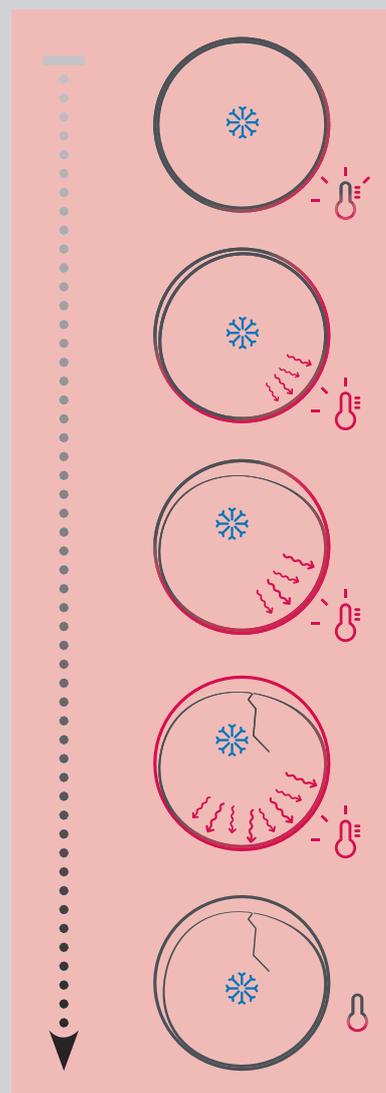
Il peut également arriver que la contrainte de traction/compression provoquée par la différence de température ne soit pas suffisamment élevée pour produire une cassure (fissure), mais suffisante pour produire une déformation permanente du matériau appelée déformation plastique. Cela arrivera chaque fois que la limite élastique sera dépassée sans atteindre la contrainte de rupture. Si c'est le cas, après le cycle de chauffe, le matériau serait tordu et inutilisable en raison des déformations qui ne peuvent être corrigées.

Ces phénomènes sont accentués si l'on tient compte de trois particularités du zirconium dentaire :

- ✓ **C'est un isolant thermique extraordinaire.** Pour cette raison, les processus de chauffage/refroidissement par simple conduction thermique prennent beaucoup de temps si nous voulons éviter les différences de température. Il est difficile de conduire la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur de la pièce en raison de la réactance thermique élevée du matériau.
- ✓ **C'est un matériau avec une élasticité très limitée.** n'importe quelle tension produite par une différence de température peut provoquer une fissure.
- ✓ **Le matériau fritté est extrêmement fragile.** Le ZrO_2 que l'on met dans le four de sintérisation n'est pas une substance homogène, mais une "poudre pressée". Ce sont de minuscules particules de matériau maintenues très faiblement par la pression.

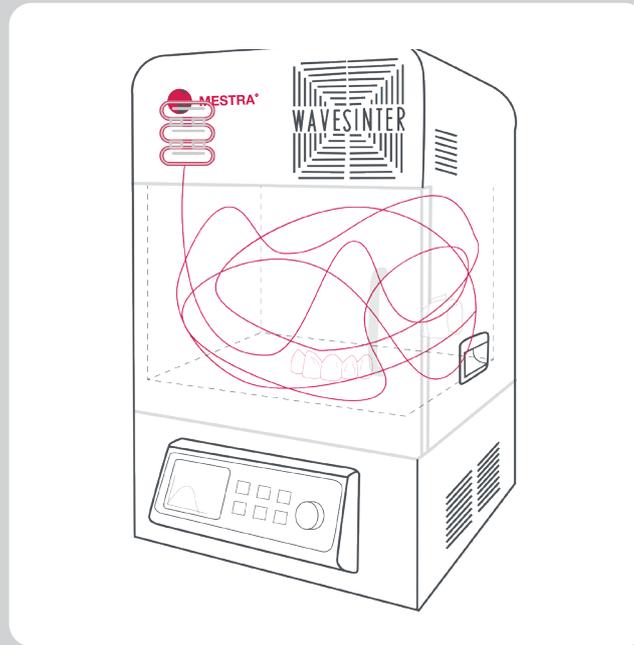
Pendant le traitement au four ces particules fusionnent en générant un produit plus résistant. Évidemment, avant que le frittage complet ne soit atteint, ce sera un matériau très fragile, car la résistance à la traction/compression de la "poudre est très limitée. Toute légère contrainte due à la différence de température peut provoquer des fissures.

Lorsque nous chauffons un morceau de ZrO_2 avec un four conventionnel, le rayonnement thermique produit par les résistances frappe la croûte extérieure du matériau et de là, la chaleur est transmise par conduction à la partie intérieure. Le caractère réfractaire du zirconium n'aide pas dans ce processus de transfert de chaleur. Si nous augmentons la puissance de rayonnement pour réduire les temps de traitement, la seule chose que nous obtiendrons est de "brûler" la croûte extérieure de la pièce en gardant le froid à l'intérieur. Ou ce qui est pire : générer un différentiel de température entre la surface et noyau si important qu'il peut provoquer une fissure. En bref, les temps de chauffage/refroidissement avec les fours de frittage conventionnels se doivent d'être élevés.



Par contre, parce que les micro-ondes sont capables de pénétrer environ 30/40 mm dans le zirconium, l'oscillation moléculaire - et donc l'échauffement du matériau - est exécuté uniformément à tous les points de la pièce. De cette manière, le risque de fissuration dû à la différence de température entre les différentes zones est éliminé.

Avantages pour la sinterisation par micro-ondes



ECONOMIE D'ENERGIE

Les fours de sinterisation conventionnels sont construits avec des résistances qui rayonnent de l'énergie dans toutes les directions.

Pour éviter que la chaleur ne se perde à travers les parois du four, il est nécessaire d'utiliser des systèmes d'isolation thermique conséquents. **De toute l'énergie émise par les résistances, seule une fraction est absorbée par la pièce à chauffer.** Le reste est perdu sous forme de chaleur dans le moufle.

La consommation électrique est élevée.

Cependant, en **utilisant les micro-ondes, l'énergie produite** par le magnétron est concentrée presque **exclusivement dans le matériau à chauffer.** Nous avons dit qu'après un cycle de chauffage dans un micro-ondes domestique, les murs ne sont pas chauds.

Les utilisateurs de notre four à micro-ondes confirment que la **réduction des coûts de la facture d'électricité est important.**



REDUCTION SIGNIFICATIVE DES TEMPS DE SINTERISATION

En utilisant la technologie de sinterisation par micro-ondes les délais de traitement sont **considérablement réduits :**

- ✓ En éliminant le besoin de chauffe lente et progressive du matériau pour éviter les fissures et les déformations, **il n'est pas nécessaire de prolonger le temps de chauffe**, car il n'y a pas de différences significatives de température entre l'intérieur et l'extérieur de la pièce.
- ✓ La nature réfractaire du zirconium a peu d'impact sur le cycle, **car la chauffe se répand en tous points du matériau.** Il n'est donc pas nécessaire de transmettre la température de l'extérieur vers l'intérieur de la pièce.
- ✓ Le four a une masse plus faible et il reste également chaud moins longtemps qu'un four conventionnel. Par conséquent, **l'inertie thermique est beaucoup plus faible dans le four à micro-ondes.** Ce point est particulièrement important lors du refroidissement : la température ambiante sera atteinte en moins de temps qu'avec un four classique.
- ✓ La vitesse de transmission de l'énergie d'une onde électromagnétique dans la matière est supérieure à celle de l'énergie rayonnante. Selon les lois de la mécanique quantique, les mécanismes d'absorption des photons sont différents dans les deux cas et par conséquent aussi la vitesse de changement température.



ENTRETIEN FACILE

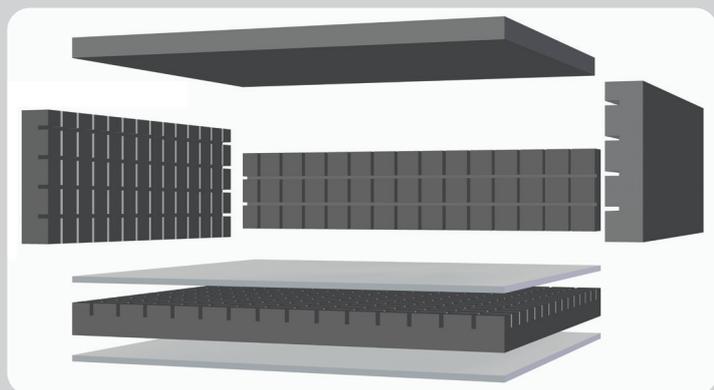
Les résistances d'un four à zirconium pour le frittage conventionnel doivent atteindre des températures qui, dans certains cas, dépassent 1800 °C. Généralement, ces résistances sont en MoSi₂, un matériau coûteux, délicat (il est très fragile et cassant), utilisé uniquement pour des applications très spécifiques et limitées, et susceptible d'être contaminé par la vapeur à l'intérieur du moufle.

De plus, elles ont une conductivité électrique élevée, c'est pourquoi l'utilisation de courants très élevés est nécessaire (ils peuvent dépasser 100 Ampères), avec des tensions réduites. Cette caractéristique nécessite l'utilisation de systèmes électroniques de puissance et de régulation très sophistiqués. Pour aggraver encore le problème, avec le temps, les résistances vont se dégradant et doivent être remplacées. Son coût est très élevé.

Le MAGNETRON est un élément compact facile à remplacer en cas de panne ou de fin de vie il ne produit aucune contamination à l'intérieur de la chambre de chauffe. Son prix est réduit. C'est un élément très fiable.

De son côté, le magnétron d'un four à micro-ondes est un élément compact, facile à remplacer en cas de panne, qui ne peut produire aucun type de contamination à l'intérieur du moufle, relativement bon marché, avec une longue durée de vie. Il est fiable et hautement testée dans tous les types de systèmes industriels .

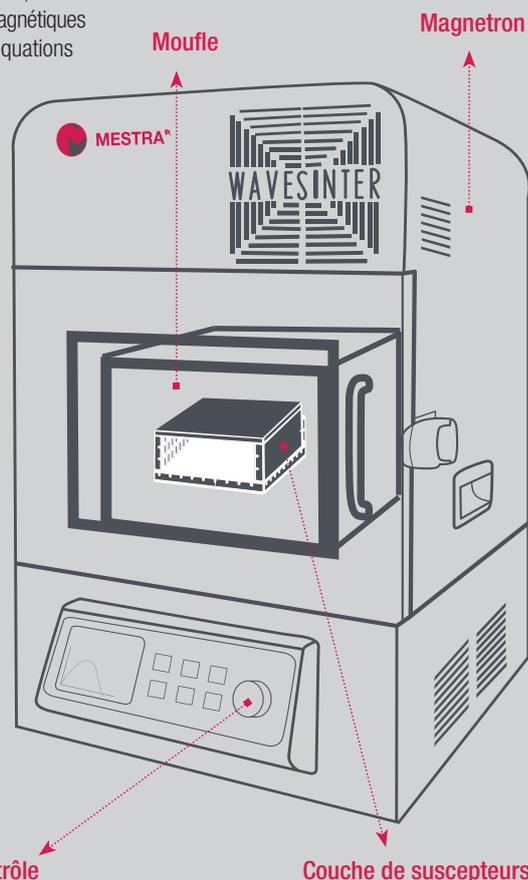
Les suscepteurs... C'est quoi?



Une question récurrente que posent souvent nos clients et amis est la fonction des suscepteurs réfractaires tapissant l'intérieur du moufle du four à micro-ondes. On va essayer de l'expliquer comme une curiosité.

Pour cela, nous devons introduire deux concepts de base: l'effet de serre et le mécanisme de rayonnement de l'énergie.

- ✓ En commençant par le premier des concepts, nous dirons qu'une serre est une enceinte de verre exposée à l'action solaire. Les rayons du soleil traversent le verre car il est transparent à la fréquence d'émission solaire. Une fois à l'intérieur, le rayonnement chauffe l'intérieur, élevant la température. Cette augmentation de température amène l'intérieur de la serre à émettre à son tour de l'énergie vers l'extérieur.
- ✓ Il nous faut maintenant mentionner un détail important: le rayonnement solaire a une fréquence d'émission très élevée parce qu'il a été produit par un élément, le soleil, qui est à une température énorme. Au contraire, le rayonnement émis lorsque l'intérieur de la serre est chauffé est de faible énergie, car la température est également basse. Les rayons du soleil traversent facilement le verre et ils chauffent l'intérieur de la serre, mais ce même verre empêche le rayonnement réfléchi de sortir. L'énergie entre, mais ne sort pas, augmentant la température à l'intérieur.
- ✓ Le second des concepts a été introduit par le physicien autrichien Ludwig Boltzman, qui a proposé que l'énergie émise par un corps chaud était proportionnelle à sa température élevée à la puissance quatre ($E = \sigma T^4$). Le soleil est à une température de plusieurs millions de degrés. Si nous l'élevons à la quatrième puissance, il est facile de deviner l'énorme quantité d'énergie qui rayonne dans l'espace et la raison pour laquelle notre planète la reçoit malgré la distance de plusieurs millions de kilomètres. Au contraire, un corps à basse température aura une capacité d'émission d'énergie très limitée.
- ✓ Après avoir vu les deux concepts, lors du chauffage des aliments dans un micro-ondes domestique, la température ne dépasse généralement pas 100 °C, de sorte que l'énergie rayonnée est très faible. Mais si on parle de zirconium dentaire, la température de sinterisation est d'environ 1530 °C, environ 15 ou 16 fois supérieure à celle du micro-ondes de la cuisine. En élevant cette valeur à la puissance quatre, on obtient une quantité d'énergie irradiée par un bloc de zirconium à 1530 °C environ 50 000 fois supérieure à celui irradié par les aliments que nous chauffons habituellement dans nos fours à micro-ondes de cuisine.
- ✓ Une telle quantité de chaleur pourrait endommager mécanismes et systèmes internes du four ainsi que créer un gaspillage d'énergie. Pour cette raison, nos ingénieurs ont choisi de créer une « petite serre ». N'oublions pas que la lumière du soleil, les ondes radio, les micro-ondes, les rayons X, etc. sont tous des créateurs d'ondes électromagnétiques qui obéissent aux mêmes principes et équations
- ✓ En poursuivant la comparaison, l'intérieur du moufle serait la serre elle-même. Les suscepteurs rempliraient la fonction du verre, transparent aux micro-ondes générées par le magnétron, mais très opaque au rayonnement émis par l'échauffement du zirconium. L'énergie peut pénétrer dans la chambre du four par les suscepteurs, mais elle ne peut pas s'en échapper, ce qui entraîne des économies d'énergie.

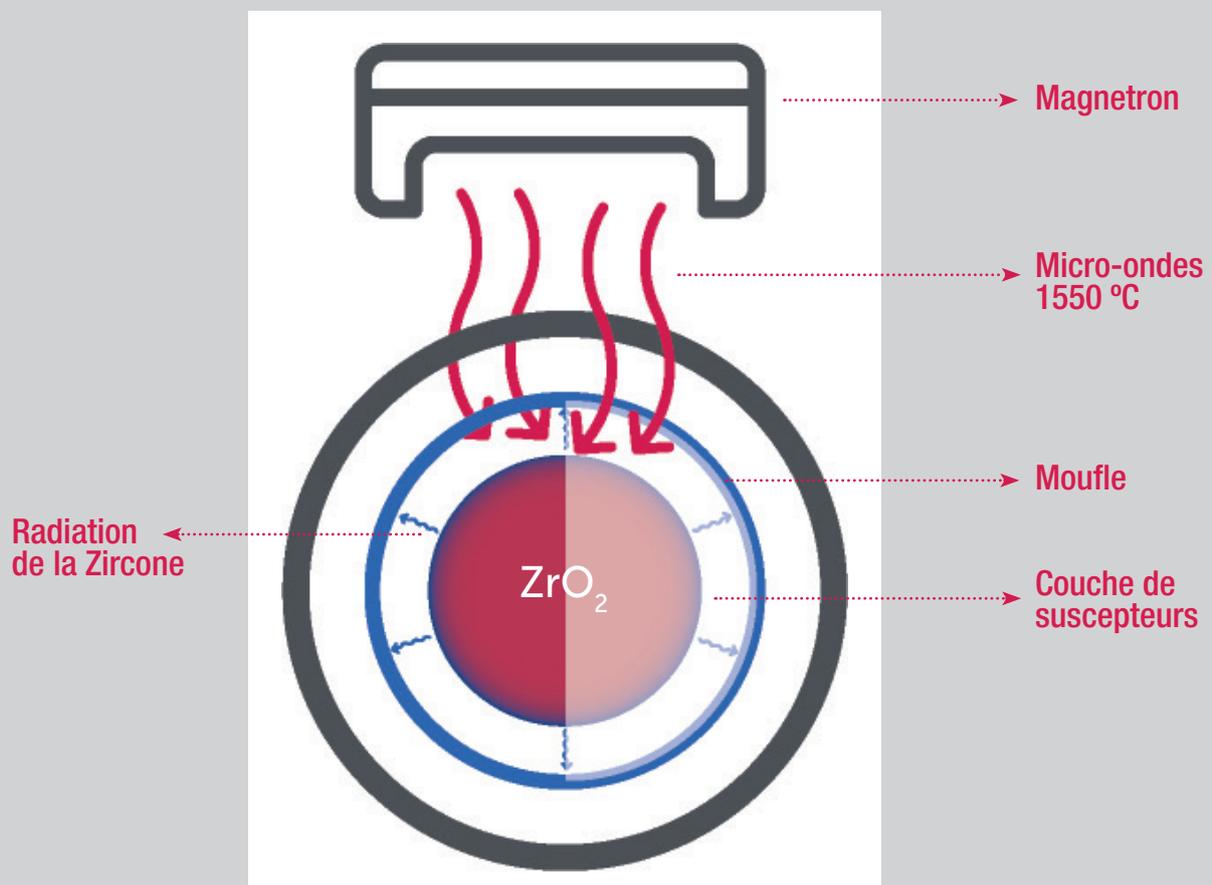


R-080114

Les suscepteurs... C'est quoi?

En réalité, les suscepteurs ne sont pas à 100% transparents à l'énergie produite par le magnétron, donc une partie de celle-ci est absorbée par eux, et les fait chauffer. Cette chaleur produit deux effets positifs:

- ✓ Elle chauffe l'air entourant la pièce en zircone en cours de frittage, réduisant ainsi la différence de température zircone/air. N'oublions pas que le frittage s'effectue en présence d'air et que l'air est transparent pour les micro-ondes, donc ça chauffe. S'il y a beaucoup de différence de température entre l'air et le zirconium cela pourrait provoquer une fissure.
- ✓ Dans les premiers instants de chauffe, lorsque les électrons libres du zirconium sont dans leur état énergétique bas, le rayonnement des suscepteurs aide à la vibration du binome "électrons libres/creux". A mesure que le zirconium gagne en énergie, cet effet est atténué.
- ✓ Une autre fonction des suscepteurs est de protéger les systèmes électriques et mécaniques des radiations émises par le zirconium lorsqu'il est à haute température (environ 1530 °C). Une telle énergie rayonnée à courte distance pourrait endommager les éléments du four.
- ✓ Les suscepteurs sont conçus pour durer. Toutefois, ils sont soumis à une température importante à chaque cycle de sinterisation. Dans le temps ils arrivent à se déformer. Aussi il est conseillé de les remplacer après 300 à 500 cycles. Le remplacement est facile et peut être réalisé par l'opérateur lui-même en quelques secondes. Leur prix est raisonnable.



SINTERISATION AU MICRO-ONDES



ON EVITE DES
FRACTURES



GAIN DE TEMPS



ECONOMIE
D'ENERGIE



ENTRETIEN FACILE



GAIN D'ESPACE



UTILISATION
INTUITIVE



PLUS DE CAPACITE
DE PRODUCTION



QUALITE SUPERIEURE

Les avantages spécifiques four de sinterisation à micro-ondes MESTRA ne sont pas limités à ceux énumérés ci-dessus. Il faut aussi ajouter:

✓ **Modèle compact qui occupe un petit espace dans le laboratoire.**

Les dimensions de l'équipement sont pratiquement similaires à celles d'un four de préchauffage de cylindre dentaire classique.

✓ **Fonctionnement simple et intuitif.**

Il n'y a pas de courbe d'apprentissage. L'équipement est fourni avec une série de programmes préenregistrés, il suffit donc d'appuyer sur un bouton pour démarrer et terminer un cycle. Le résultat optimal est garanti.

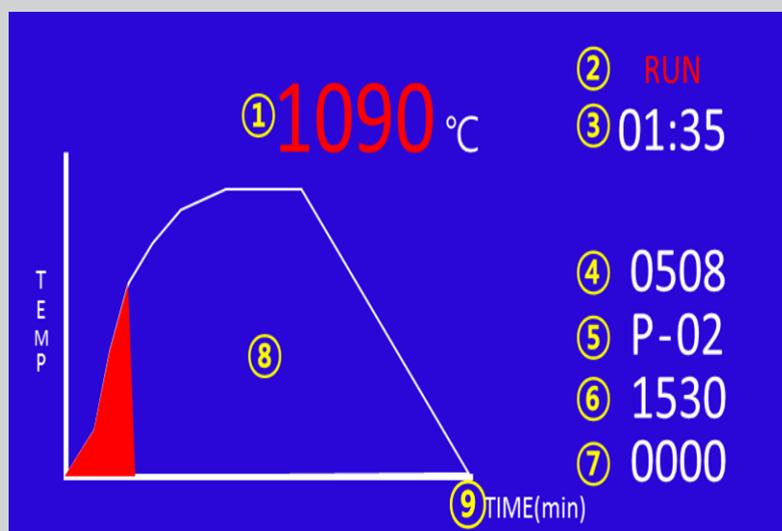
✓ **Capacité de production énorme.**

Avec la technologie conventionnelle, un cycle de frittage prend beaucoup de temps, il est donc difficile d'en faire plus d'un en une seule journée. La technologie des micro-ondes étant beaucoup plus rapide, il est possible de lancer le même jour deux -et même bien planifié - jusqu'à trois cycles.

✓ **Amélioration significative de la qualité.**

Parfois, les fissures et les déformations d'un matériau dentaire fritté n'apparaissent pas à l'extérieur de la pièce, mais restent à l'intérieur, étant impossibles à détecter. Cependant, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de risque potentiel de casse. Il peut arriver qu'en soumettant la prothèse à un usage quotidien, elle finisse par se casser en raison d'une défaillance interne qui n'a pas été détecté lors de l'inspection visuelle après frittage. Ce risque est considérablement réduit en utilisant la technologie de sinterisation par micro-ondes.

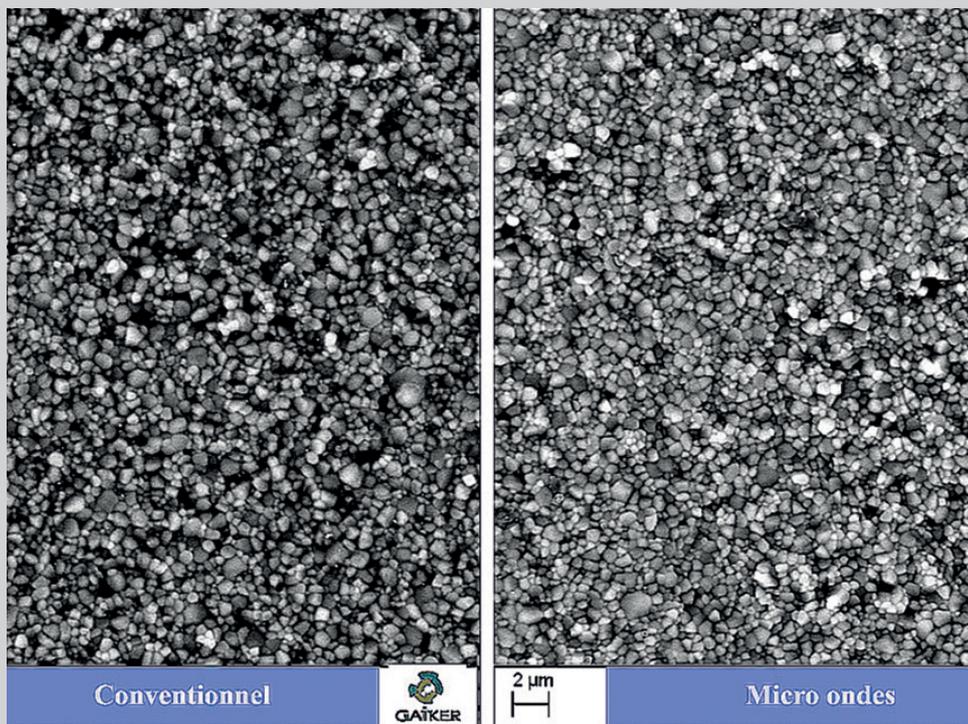
PANNEAU DE CONTROLE



1. Temperature actuelle interieure.
2. Etat – (run –end –stand by).
3. Temps restant du cycle.
4. Algorithme magnetron.
5. Programme selectionne.
6. Temperature finale programme.
7. Compteur de cycles du four.
8. Graphique du programme.
9. Temps.

La pratique

Après cet apport théorique sur la technologie de sinterisation par micro-ondes. Ci-dessous, quelques illustrations montrant les possibilités et les avantages offerts au prothésiste grâce à ce four.



Deux disques de zirconium frittés, l'un avec un four conventionnel et l'autre avec un micro-ondes **MESTRA**: Au microscope électronique, une taille grain légèrement plus fine avec la technologie de micro-ondes



Réalisation d'un bridge complet sans stabilisateurs.
Sortie du disque de la fraiseuse: Travail effectué sans stabilisateurs. L'homogénéité du frittage micro-ondes évite les déformations souvent dues aux différences température pendant le frittage dans un four à résistances.



Pièce sinterisée.

La pratique



¡Ajustage parfait!



A peine sortie du four:
respect de la teinte et de la translucidité



Precision d'ajustage et esthétique
après glaçage. Full Zircon.



Esthétique, précision et risque de fissures quasi inexistant.

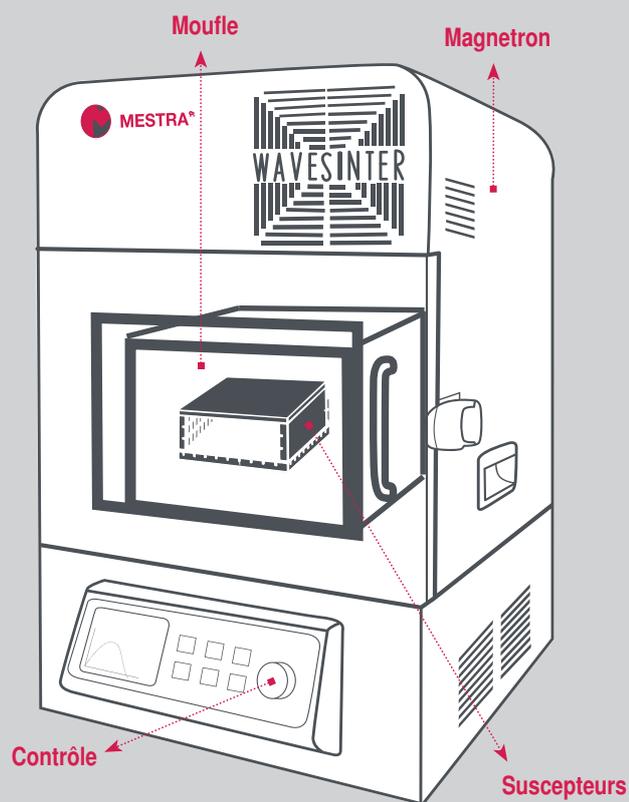


Après les opérations de glaçage, on obtient un résultat esthétique idéal, avec un excellent ajustage et un temps de sinterisation réduit de moitié.

Il ne fait aucun doute que la technologie des micro-ondes représente l'avenir de la sinterisation de la zirconie dentaire.

Four de sintérisation à micro-ondes

Réf. 080114



Especificaciones:

Alto 547 cm • Ancho 440 cm • Fondo 385 cm

Peso 31 kg • Alimentación AC 230 V, 50Hz

Potencia 2000 W • Temperatura máx. 1550 °C

Consommable et accessoires



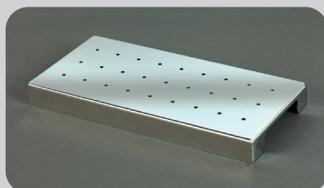
080114-07
Coupelle



080114-09
Micro-billes (100 g.)



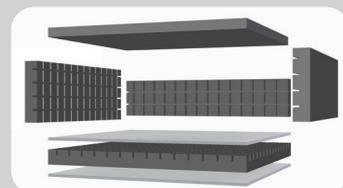
080114-10
Pince coupelle



080114-11
Support coupelle



080114-12
Sonde température



080114-13
Ensemble suscepteurs plaques



MESTRA est une entreprise basée dans le pays basque espagnol spécialisée dans la fabrication et la distribution de machines et d'appareils dentaires. Nous exportons actuellement vers des clients dans plus de cinquante pays sur cinq continents et nous avons plus de mille références dans notre catalogue.

Nous avons maintenu une ligne d'expansion constante depuis notre fondation en 1945. Forte du suivi et de la qualité de nos produits, l'entreprise est certifiée ISO 9001:2015 par le TÜV Rheinland. Nous entretenons une relation étroite et attentive avec nos clients et nous nous caractérisons par une innovation technique constante dans la conception de nos produits.

Notre philosophie de conception repose sur trois piliers fondamentaux: les besoins de nos clients, l'observation des techniques utilisées dans les laboratoires dentaires et nos 77 années d'expérience dans l'apport de solutions créatives et contemporaines aux problèmes quotidiens des professionnels du secteur.

**Vous souhaitez faire une
visite virtuelle de notre
centre de formation et
d'exposition?**

**Contactez-nous et nous
vous montrerons!**



Talleres Mestraitua SL
(+34) 944 530 388
info@mestra.es - www.mestra.es
48150 SONDIKA (Spain)



Système de
management
ISO 9001:2015

www.tuv.com
ID 1100018003