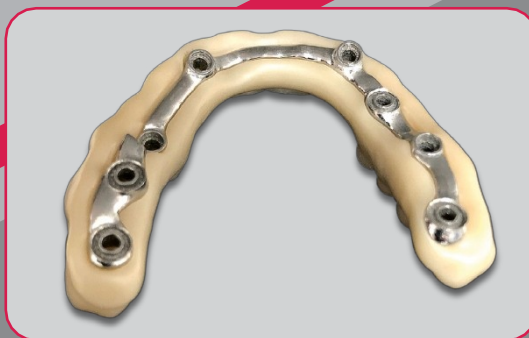


Mikrohullámú technológia a fogászati cirkónium szinterezésében

WAVESINTER II



A Kutatási és Fejlesztési Központ

A kerámiaanyagok elektromágneses hullámokkal történő hevítése az 1980-as évek eleje óta alkalmazott technika az iparban. Kezdetben anyagok szárítására használták (alapvetően víz eltávolítására), később pedig kerámiaelemek hevítésére/szinterezésére.

Ennyi idő elteltével a technológia optimális érettségi fokot ért el, és egyre több ipari alkalmazási területet találunk számára.

A fogászati szektorra összpontosítva a ZrO_2 szinterezése valószínűleg a legérdekesebb alkalmazási terület.

Jelenleg csak néhány vállalatrendelkezik a világon ezzel a technikával olyan szinten, hogy megbízható, hatékony és gazdaságos termékeket tudjon kínálni a piacnak.

Ez az írás azzal a szándékkal született, hogy tisztázza az elképzeléseket és megválaszolja a témában érdekelt, de szilárd tudományos alapokkal nem rendelkező felhasználók kérdéseit: jellege pusztán tájékoztató.

A mikrohullámú szinterezés technológiájának mélyreható vizsgálata arra kényszerítene minket, hogy olyan kérdésekkel foglalkozzunk, amelyek többek között a kvantummechanikában, a hullámmechanikában vagy az elektrokémia területén gyökereznek.

Ezért – az egyértelműség és a könnyebb érthetőség érdekében – úgy döntöttünk, hogy egyszerűsítjük a bemutatást.

A mikrohullám működése

A mikrohullámok világába való bevezetéshez talán a legjobb módszer egy olyan mikrohullámúsütő teljesítményének elemzése, amilyen mindannyiunknak van a konyhájában.

Ismert, hogy a vízmolekula két hidrogénatom és egy oxigénatomból áll. Hasonlóképpen, a hidrogénion pozitív, az oxigénion pedig negatív töltésű.

A molekula aszimmetriája miatt két különböző zóna jön létre a térben: az egyik pozitív, a másik negatív töltésű. Vagyis egy apró mágnes.

Másrészt tudjuk, hogy ha egy mágneset elektromágneses mezőbe helyezünk, akkor ugyanúgy fog orientálódni, ahogyan a iránytű mágneses tűje orientálódik a Föld elektromágneses mezőjének vonalai mentén.

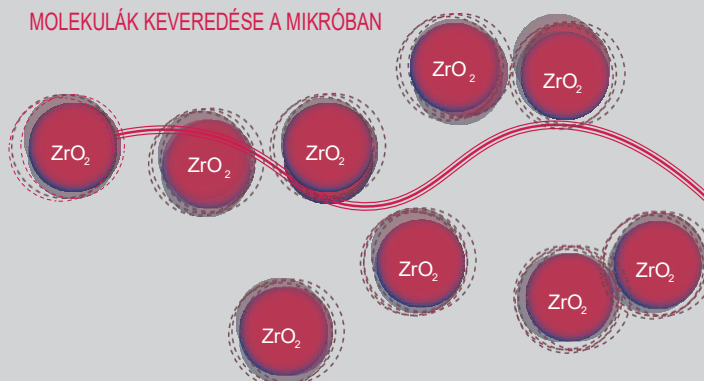
De mi történne, ha a mágnes a földihez hasonló statikus mező helyett egy elektromágneses mezőbe kerülne, amely az időjárás függvényében oszcillál?

Ebben az esetben ugyanolyan frekvenciával kezdene rezegni, és folyamatosan megpróbálná fenntartani az egyensúlyt a mezővel.

Az otthonainkban a mikrohullámú sütőbe tett ételek magas víztartalommal rendelkeznek. Már láttuk, hogy a vízmolekula egyfajta apró mágnesként értelmezhető.

A start gomb megnyomásával egy magnetron nevű eszköz elektromágneses hullámokból álló nagy energiájú oszcillációt generál. Az apró „vízmágnesek” azonnal rezegni kezdenek, és megpróbálnak beilleszkedni a magnetron által létrehozott mezőbe. Ez a frenetikus molekuláris tánc sűrűsödést eredményez, és ennek következtében az étel felmelegszik.

MOLEKULÁK KEVEREDÉSE A MIKRÓBAN



Egy sor megjegyzést kell tennünk:

- ✓ A magnetron által generált hullám frekvenciája rendkívül magas. Másodpercenként körülbelül 2,4 milliárdszor (2 400 000 000). A molekuláris sűrűlódás nagyon nagy.
- ✓ Az elektromágneses hullám behatol az élelmiszerbe, eléri annak belsejét, és nemcsak a külső héj vízmolekuláit, hanem az élelmiszer belsejében találhatóakat is rezgésbe hozza.
- ✓ Mivel az élelmiszerben található összes vízmolekula egyszerre rezeg, a melegítés az élelmiszer teljes tömegében egyenletesen és egyszerre történik.

- ✓ Mivel a készülék burkolata fémből készült és zárt, az elektromágneses hullámok nem tudnak kijutni a belsejéből (Faraday-kalitka hatás), ezért nem veszik el az energia. Az energia szinte teljes egészében az ételek melegítésére fordítódik.

A folyamat végén a mikrohullámú sütő falai nem túl forróak.

- ✓ A klasszikus ellenállásos sütőben és a mikrohullámú sütőben történő melegítés között egyértelmű különbség van: a hagyományos sütőben a sugárzás az étel felületére hat, és onnan vezetéssel jut el az étel belsejébe. Ezért az étel felülete a sugárzás közvetlen hatásának következtében megpirul, mivel a sugárzás nem tud behatolni az étel belsejébe. A mikrohullámú sütő esetében azonban a melegítés során alkalmazott mechanizmus megakadályozza a pirulást.

- ✓ A gyakorlatban a kerámia anyagok (pl. ZrO_2) elektromágneses mezőben történő energizálási mechanizmusa nem dipólus típusú, mint a vízben (mágnes). Valójában a szabad elektron-lyuk pár mozgása által jön létre oszcillációs térrel és molekulák közötti ütközés nélkül. Az energizáláshoz egy molekula rezeghet, mozoghat, és ütközhet más molekulákkal, egyik atomja körül foroghat, vagy ami valószínűbb: az előző cselekvések kombinációja.

A magyarázat egyértelműsége és egyszerűsége érdekében továbbra is ugyanazt a kezdeti filozófiát követve fogjuk megközelíteni a témát.

KLASSZIKUS KEMENCE

MIKROSÜTŐ

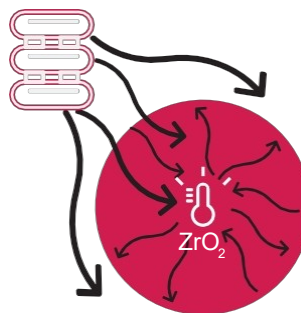
FŰTŐBETÉTEK

- ✓ A hagyományos sütőben a sugárzás a felületre hat, és onnan vezetéssel továbbítódik a belső térbe.
- ✓ Ezért a felület a közvetlen sugárzás hatására megsül, így az nem képes behatolni a belsejébe.



MAGNETRON

- ✓ Hullámhossza $< 2,4$ GHz.
- ✓ Az elektromágneses hullám behatol a belső térbe.
- ✓ Az összes vízmolekula egyszerre rezeg, így a melegítés egyenletesen és egyszerre történik.
- ✓ A készülék fém burkolata Faraday-kalitkaként működik, a hullámok és a hő nem jutnak ki.



Klasszikus szinterezési problémák



A REPEDÉSEK ÉS DEFORMÁCIÓK ELKERÜLHETŐK

Tegyük fel, hogy van egy üreges gömb, amelynek belsejében egy másik, azonos anyagú gömb található. Kezdetben a két gömb között nincs távolság. Ebből a helyzetből kiindulva tegyük fel, hogy csak a külső gömböt melegítjük, míg a belső gömb hideg marad. A külső gömb a hő hatására tágulni kezd, és fokozatosan távolság alakul ki a két gömb között, amely a hőmérséklet-különbség növekedésével egyre nagyobb lesz.

- ✓ Ha most feltételezzük, hogy mindkét gömb erősen hegesztett, akkor a külső gömb meghúzza a belső gömböt, és ez anyagnyúlást eredményez. Rugalmassága megpróbálja felszívni a két gömb közötti rést. Nyilvánvaló, hogy amikor az anyag rugalmassági határát túllépi, és eléri a szakadási feszültséget, az anyag elszakad, és repedés keletkezik. Ha ahelyett, hogy azt képzeljük el, hogy a külső réteg melegszik fel, most azt feltételezzük, hogy lehül, ugyanarra a következtetésre jutunk: az anyagot alkotó különböző képzeletbeli rétegek közötti tágulási különbségeket annak rugalmasságának kell elnyelni. Ellenkező esetben repedések keletkeznek mind a melegítési, mind a hűtési fázisban.

- ✓ Fontos megjegyezni, hogy a darab geometriájától, az anyag homogenitásától és a hőmérséklet-különbségtől függően a repedés megjelenhet a külső oldalon (látható), vagy ami még súlyosabb: a darab belsejében maradhat, anélkül, hogy bárki is láthatná, és később, amikor az anyagra erőt gyakorolnak, törést okozhat.

- ✓ Előfordulhat az is, hogy a hőmérséklet-különbség által okozott húzó-/nyomóerő nem elég nagy ahhoz, hogy törést (repedést) okozzon, de elég nagy ahhoz, hogy az anyagban maradandó alakváltozást, úgynevezett alakváltozási plaszticitást okozzon. Ez akkor történik, amikor a rugalmassági határértéket túllépik, de a törési feszültséget nem éri el. Ebben az esetben a fűtési ciklus után az anyag deformálódik és használhatatlanná válik a deformációk miatt, amelyek azonban korrigálhatók.

A fentiek még hangsúlyosabbá válnak, ha figyelembe vesszük a fogászati cirkónium három sajátosságát:

- ✓ Kiváló hőszigetelő. Ezért az egyszerű hővezetéssel történő fűtési/hűtési folyamatok hosszú időt vesznek igénybe, ha el akarjuk kerülni a hőmérséklet-különbségeket. Az anyag magas hőreakciós ellenállása miatt nehéz a hőt a külső részéről a belső részére vezetni.
- ✓ Ez egy nagyon korlátozott rugalmasságú anyag. A hőmérséklet-különbség által okozott feszültség repedést okozhat.
- ✓ A zsugorított anyag rendkívül törekeny. A szinterezéshez kemencébe helyezett ZrO₂ nem homogén anyag, hanem „préselt por”. Ezek apró anyagrészek, amelyeket a nyomás nagyon gyengén tart össze.

A kemencében végzett kezelés során ezek a részecskék összeolvadnak, és így egy ellenállóbb termék jön létre. Nyilvánvaló, hogy a teljes zsugorítás elérése előtt ez egy nagyon törekeny anyag, mert a „porpréselés” szakító-/nyomószilárdsága nagyon korlátozott. A hőmérséklet-különbségből eredő bármilyen kis feszültség repedéseket okoz.

Amikor egy darab ZrO₂-t hagyományos kemencében melegítünk, az ellenállások által termelt hőszugárzás az anyag külső héjára hat, és onnan vezetéssel jut el a belső részbe. A cirkónium tűzálló tulajdonsága nem segít ebben a hőátadási folyamatban. Ha a folyamat időtartamának csökkentése érdekében növeljük a sugárzási teljesítményt, az egyetlen eredmény az lesz, hogy a darab külső héja „megpirul”, míg a belseje hideg marad. Vagy ami még rosszabb: olyan nagy hőmérséklet-különbség keletkezik a héj és a mag között, hogy repedés keletkezik. Röviden: a hagyományos szinterező kemencékkel a hevítési/hűtési időt magas szinten kell tartani.



Mivel azonban a mikrohullámok körülbelül 30–40 mm mélyen behatolnak a cirkóniumba, a molekuláris rezgés – és így az anyag melegítése – a darab **minden pontján** egyenletesen történik.

Így kiküszöbölhető a különböző területek közötti hőmérséklet különbség miatt fellépő repedésveszély.

A mikrohullámú szinterezés előnye



ENERGIA MEGTAKARÍTÁS

A hagyományos szinterező kemencékfűtőbetétekkel vannak felszerelve, amelyek minden irányba sugároznak energiát

Annak érdekében, hogy ne veszítsen hőt a kályha falain keresztül, vastag hőszigetelő rendszereket kell használni. Az ellenállások által kibocsátott energia csak egy része kerül felszívódásra a melegített fogpótlásban. A többi hő formájában veszik el a kamrában és a készülékben.

Az áramfogyasztás magas. A mikrohullámok használatával azonban a magnetron által termelt energia szinte kizárólag a fűthető anyagban koncentrálódik. Azt mondtuk, hogy egy otthoni mikrohullámú sütőben végzett fűtési ciklus után a falak nem forróak.

Mikrohullámú sütőnk felhasználói megerősítik, hogy használatukkal az áramszámla jelentős csökken.



JELENTŐS CSÖKKENÉS A CIKLUSIDŐK BEN

A mikrohullámú technológia használatával a feldolgozási idő is jelentősen csökken:

✓ Mivel nincs szükség a lassú és fokozatos anyag melegítésre a törés és deformációk elkerülése érdekében, nem szükséges meghosszabbítani a fűtési időt, mert nincs jelentős hőmérséklet-különbség az anyag belső és külső része között

✓ A cirkónium tűzálló tulajdonsága nem gyakorol ilyen hatást a ciklusra, mert a melegítés az anyag minden pontján keletkezik. Ezért nincs szükség arra, hogy az anyag egyik területéről (kívülről) a másikra (belsőre) továbbítódjon.

✓ A kemence tömege kisebb, mint a hagyományos szinterező kemencéknél, és rövidebb ideig marad meleg. Ezért a mikrohullámú kemencében a hőtehetetlenség sokkal alacsonyabb. Ez a pont különösen fontos. A hűtési fázisban releváns: a szobahőmérséklet kevesebb idő alatt érhető el, mint egy hagyományos kályhában.

✓ Az elektromágneses hullámok energiaátviteli sebessége az anyagban nagyobb, mint a sugárzott energiaé. A kvantummechanika törvényei szerint a fotonabszorpciós mechanizmusok mindkét esetben eltérőek, és ennek következtében a hőmérsékletváltozás sebessége is.



EGYSZERŰ KARBANTARTÁS

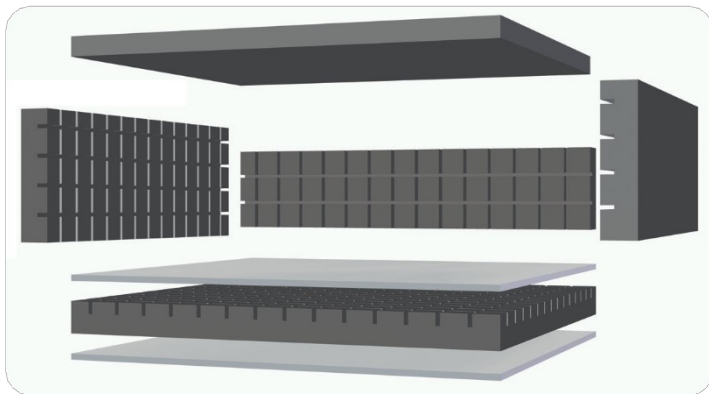
A hagyományos szinterezéshez használt cirkóniumkemencék ellenállása olyan hőmérsékletet kell elérjen, amely egyes esetekben meghaladja a 1800 °C-ot. Általában ezek az ellenállások MOSi₂-ből készülnek, amely egy drága, kényes anyag (nagyon törékeny és rideg), amelyet csak nagyon specifikus és korlátozott alkalmazásokhoz használnak, és érzékenyek a kamra belsejében lévő gőz általi szennyeződésére.

Ezenkívül magas elektromos vezetőképességgel rendelkeznek, ezért nagyon nagy áramok (akár 100 amper felett is) használata szükséges, csökkentett feszültség mellett. Ez a tulajdonság nagyon kifinomult elektronikus tápellátási és szabályozó rendszerek használatát teszi szükségessé. A problémát tovább súlyosbítja, hogy az ellenállások idővel romlanak, és cserélni kell őket. Költségük nagyon magas.

A magnetron egy kompakt elem, amely meghibásodás esetén könnyen cserélhető, nem okoz szennyeződést a kamrában, olcsó és ritkán romlik el.

A mikrohullámú sütő magnetronja egy kompakt elem, amely meghibásodás esetén könnyen cserélhető, nem okoz semmilyen szennyeződést a kamra belsejében, viszonylag olcsó, gyakorlatilag korlátlan élettartamú (a működési körülményektől függ, de minden esetben nagyon hosszú élettartamú), megbízható és minden típusú ipari rendszerben alaposan tesztelt

Mik azok a szuszceptorok?



Ügyfeleink gyakran feltett kérdése a mikrohullámú sütő kamra belsejét borító tűzálló szuszceptorok funkciójára vonatkozik. Megpróbáljuk ezt elmagyarázni.

Ehhez két alapvető fogalmat kell bemutatnunk: az üvegházhatás és az energia sugárzási mechanizmust.

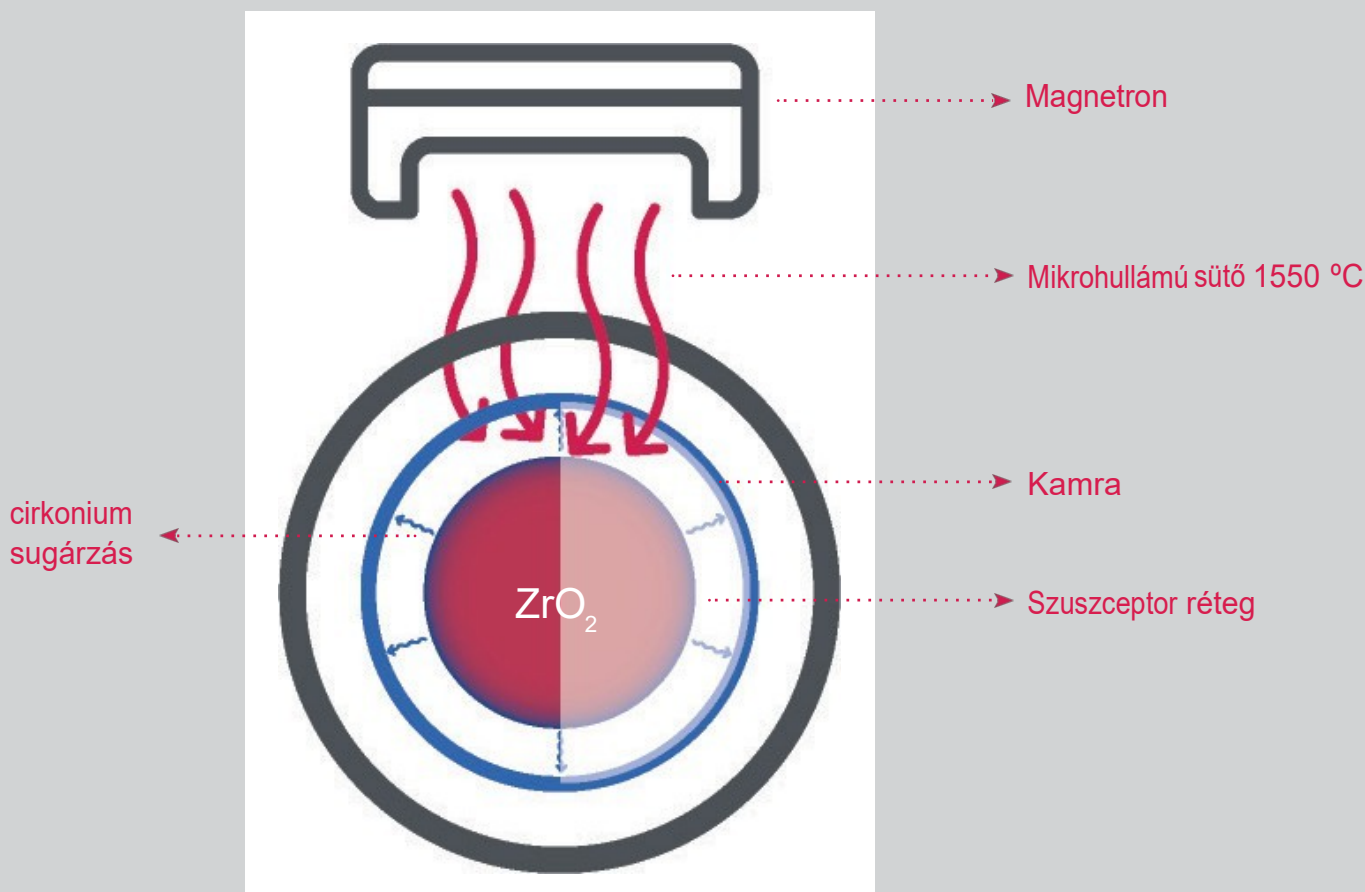
- ✓ Az első fogalommal kezdve elmondhatjuk, hogy az üvegház egy üvegburkolatú, napfénynek kitett építmény. A nap sugarai áthatolnak az üvegen, mert az átlátszó a nap sugárzási frekvenciáján. Miután bejutottak, a sugárzás felmelegíti a belső teret, emelve a hőmérsékletet. Ez a hőmérséklet-emelkedés azt eredményezi, hogy az üvegház belseje energiát bocsát ki a külső környezetbe.
- ✓ Most egy fontos részletet kell megemlítenünk: a nap sugárzása nagyon magas emissziós frekvenciájú, magasabb, mint az egy elem, a Nap hozza létre, amelynek hőmérséklete rendkívül magas. Ezzel szemben az üvegház belsejének felmelegedésekor kibocsátott sugárzás alacsony energiájú, mert a hőmérséklet is alacsony. A nap sugarai könnyen áthatolnak az üvegen, és felmelegítik az üvegház belsejét, de ugyanez az üveg megakadályozza, hogy a visszaverődő sugárzás elhagyja azt. Az energia bejut, de nem távozik, így emelve a belső hőmérsékletet.
- ✓ A második fogalmat az osztrák fizikus Ludwig Boltzmann vezette be, aki azt állította, hogy a forró test által kibocsátott energia arányos a hőmérsékletének a negyedik hatványával ($E = \sigma T^4$). A Nap hőmérséklete több millió fok. Ha ezt a negyedik hatványra emeljük, könnyen megérthetjük, hogy milyen hatalmas mennyiségű energia sugárzik az űrbe, és hogy miért éri el ez a bolygónkat, annak ellenére, hogy több millió kilométerre van tőlünk. Ezzel szemben egy alacsony hőmérsékletű test energia-kibocsátási képessége nagyon korlátozott.
- ✓ Mindkét fogalmat figyelembe véve, amikor ételt melegítünk háztartási mikrohullámú sütőben, a hőmérséklet általában nem haladja meg a 100 °C-ot, így a sugárzott energia nagyon gyenge. De ha fogászati cirkóniumról beszélünk, a szinterkezési hőmérséklet körülbelül 1550 °C, ami körülbelül 15-16-szor magasabb, mint a konyhai mikrohullámú sütőé. Ha ezt az értéket a negyedik hatványra emeljük, akkor a 1550 °C-os cirkóniumtömb által sugárzott energia mennyisége körülbelül 50 000-szerese lesz annak, amit a háztartási mikrohullámú sütőben általában melegített ételek sugároznak.
- ✓ Egy ilyen mennyiségű hő károsíthatja a sütő mechanizmusait és belső rendszereit, valamint energiapazarlásnak is minősül. Ezért mérnökeink úgy döntöttek, hogy létrehoznak egy „kis üvegházat”. Ne felejtsük el, hogy a napfény, a rádióhullámok, a mikrohullámok, a röntgensugarak stb. mind elektromágneses hullámok, amelyek ugyanazoknak az elveket követik.
- ✓ A hasonlatot folytatva, a kamra belseje maga az üvegház lenne. A szuszceptorok a kristály funkcióját látják el, amely átlátszó a magnetron által generált mikrohullámok számára, de nagyon átlátszatlan a cirkónium hevítésével kibocsátott sugárzás számára. Az energia a szuszceptorokon keresztül bejuthat a kemence kamrájába, de onnan nem tud kijutni, ami energiamegtakarítást eredményez.

Mik azok a szuszceptorok?

Valójában a szuszceptorok nem 100%-ban átlátszóak a magnetron által termelt energia számára, ezért egy részét elnyelik, ami felmelegíti őket. Ez a hő két pozitív hatást eredményez:

- ✓ Felmelegíti a cirkóniát körülvevő levegőt, csökkentve ezzel a cirkónia és a levegő hőmérséklet-különbségét. Ne felejtjük el, hogy a cirkónia égetése levegő jelenlétében történik, és hogy a levegő átlátszó a mikrohullámok számára, ezért felmelegszik. Ha a levegő és a cirkónia között nagy a hőmérséklet-különbség, repedés keletkezhet.
- ✓ A fűtés kezdeti szakaszában, amikor a cirkónium szabad elektronjai alacsonyabb energiaszintű állapotban vannak, a szuszceptorok sugárzása elősegíti a szabad/üreges elektronpárok rezgését. Ahogy a cirkónium energiát nyer, ez a hatás csillapodik.
- ✓ A szuszceptorok másik funkciója az elektromos és mechanikus rendszerek védelme a cirkónium által magas hőmérsékleten (kb. 1550 °C) kibocsátott sugárzástól. A rövid távolságon kibocsátott nagy mennyiségű energia károsíthatná a kemence elemeit.
- ✓ Mivel a szuszceptorok kopásnak nem kitett elemek, elvileg élettartamuk korlátlan. Azonban a szinterzendő anyag behelyezésekor a véletlenül keletkező ütések és sűrűdások, valamint a magas hőmérséklet hatására bekövetkező kémiai szennyeződés és az anyag romlása miatt ajánlott ezeket az elemeket rendszeresen cserélni a kemence hatékonyságának fenntartása érdekében.

Ezenkívül a 800 °C feletti hőmérsékleten a szuszceptorok anyagában bizonyos kémiai reakciókat okozhatnak, amelyek deformálják őket. Ez nem jelent problémát, mivel cseréjük egyszerű és annak költségei elfogadhatóak.



MIKROSÜTŐVEL SZINTEREZVE



A TÖRÉSEK
ELKERÜLHETŐEK



IDŐMEGTAKARÍTÁS



ENERGIA MEGTAKARÍTÁS



KARBANTARTÁSI
KÖLTSÉGMETAKARÍTÁS



HELYMEGTAKARÍTÁS



HELY MEGTAKARÍTÁS



NÖVELT
TERMELÉSI
KAPACITÁS



MINŐSÉG
JAVULÁS

A mikrohullámú szinterező kemence különleges előnyei nem korlátozódnak a fent felsoroltakra. További előnyök:

✓ **Kompakt modell, amely kis helyet foglal el.**

A berendezés méretei gyakorlatilag megegyeznek a hagyományos fogászati előmelegítő kemencéjének méreteivel

✓ **Egyszerű és intuitív kezelés.**

Nincs szükség tanulásra.

A berendezéshez egy sor előre programozott program tartozik, így egy gombnyomással elindítható a folyamat.

✓ **Megnövekedett termelési kapacitás.**

A hagyományos technológiával a szinterezési ciklus hosszú időt vesz igénybe, ezért nehéz egy nap alatt többet elvégezni. Mivel a mikrohullámú technológia sokkal gyorsabb, ugyanazon a napon két, vagy jól megtervezve akár három ciklust is el lehet indítani.

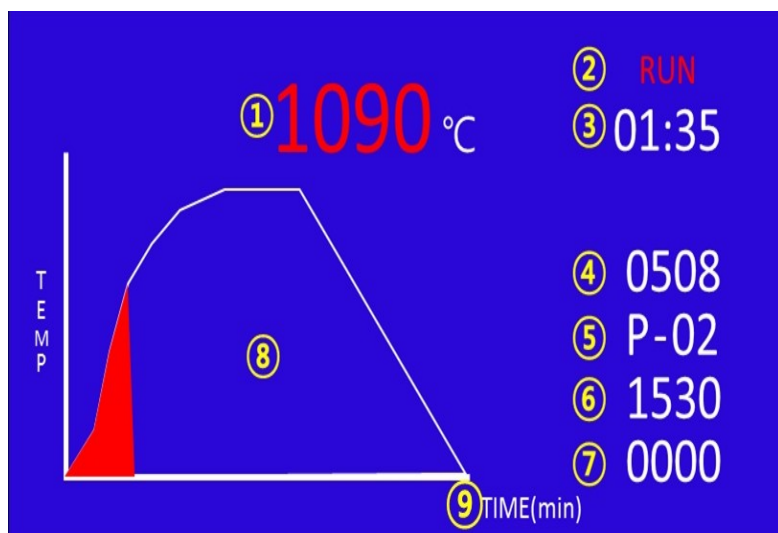
✓ **Jelentős minőségi javulás.**

Néha előfordul, hogy a szinterezett fogászati anyag repedései és deformációi nem látszanak az anyag külső felületén, hanem belül maradnak, és így nem lehet őket észlelni.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy nincs potenciális törésveszély. Előfordulhat, hogy a pótlás napi használata során végül eltörik egy olyan belső hiba miatt, amelyet a szinterezés utáni vizuális ellenőrzés során nem észleltek.

Ez a kockázat jelentősen csökken a mikrohullámú fűtési technológia alkalmazásával.

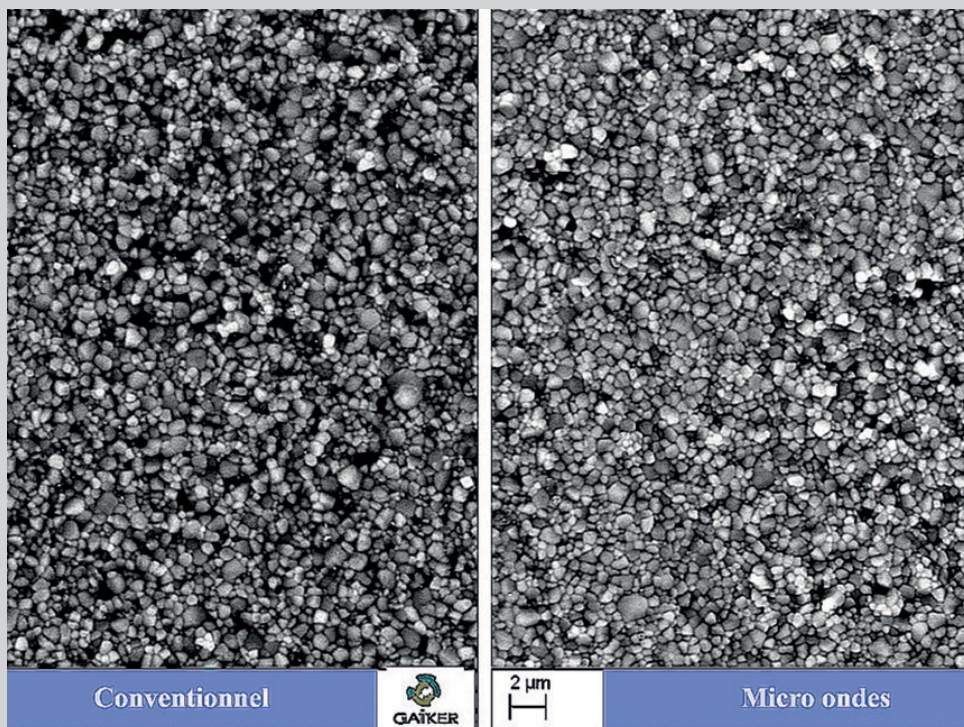
KEZELŐFELÜLET



1. Aktuális belső hőmérséklet.
2. Állapot – (futás – befejezés – készenlét)
3. A ciklus hátralévő ideje.
4. Magnetron algoritmus.
5. Kiválasztott program
6. Beállított végső hőmérséklet.
7. A sütő ciklusainak számlálója.
8. Program grafikon.
9. Idő.

A gyakorlatban

A mikrohullámú szinterezés technológiájáról szóló elméleti ismeretek után az alábbiakban néhány illusztráció bemutatja a fogtechnikusok számára kínált lehetőségeket és előnyöket, amelyeket ez a kemence biztosít.



Két szinterezett cirkónium korong, az egyik hagyományos kemencében, a másik mikrohullámú kemencében készült. Elektronmikroszkóp alatt a mikrohullámú technológiával készült korong szemcséi kissé finomabbak.



Teljes híd megvalósítása stabilizátorok nélkül.

A mikrohullámú szinterezés homogenitása megakadályozza a deformációkat, amelyek gyakran a légáramlatok miatt keletkező hőmérséklet-különbségek miatt keletkeznek a hagyományos színerkályhák használatakor.



Szinterezett váz

A gyakorlatban



Tökéletes beállítás!



A cirkónium színe és az áttetszősége figyelemre méltó



Pontos illeszkedés és esztétika a glazúrozás után. Monolitikus darab.



Esztétika, pontosság és a mikrorepedések 0 kockázata, Mikrorepedések szinte nem léteznek.

A glazúrozást követően ideális esztétikai eredményt kapunk a kiváló illeszkedés mellett, miközben a szinterezés ideje felére csökken.

Egyértelmű tehát, hogy a mikrohullámú technológia jelenti a cirkónium szinterezésének a jövőjét a fogászatban.

Zirkonium mikrohullámú kemence



Műszaki adatok:

Magasság 547 cm * Szélesség 440 cm * Mélység 385 cm

Súly 31 kg * Feszültség AC 230 V, 50 Hz

Teljesítmény 2000 W * Max. hőmérséklet 1550 °C

Fogyóeszközök és kiegészítők



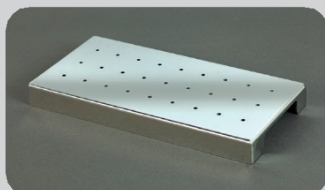
Tálca



Gyöngyök (100 g)



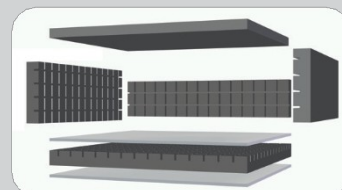
Tálca fogó



Tálca állvány



Hőmérséklet-érzékelő



Szuszeptorok + lemez szett