

[Resumen]

En el presente artículo se describen con más detalle los materiales IPS e.max Press e IPS e.max CAD sobre la base genérica de la cerámica vítre'a. Se prestará especial atención no solamente a las posibilidades de la cerámica vítre'a, sino también a sus limitaciones. Sólo si observamos las instrucciones de preparación podremos sacar el máximo partido de su potencial.

Palabras clave

Materiales. Cerámica vítre'a. Preparación. IPS e.max Press. IPS e.max CAD.

(Quintessenz Zahntech. 2006;32(11):1316-25)



Dos cerámicas vítreas de última generación

IPS e.max Press e IPS e.max CAD

Harald Bürke

Introducción

IPS e.max Press e IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) constituyen los dos materiales para armazones de resistencia media dentro del sistema IPS e.max. Gracias a su estética, las piezas brutas de IPS e.max Press son muy apropiadas como copias para la restauración de dientes individuales de la región frontal y lateral y para puentes de 3 piezas como máximo en la región frontal y hasta el primer premolar. La indicación actual para IPS e.max CAD incluye la fabricación de armazones para los dientes frontales y premolares. Los resultados de los estudios clínicos desvelarán próximamente si se pueden ampliar las indicaciones.

Ambos materiales proceden de la misma familia. Según el equipamiento del correspondiente laboratorio o en función de las preferencias del protésico dental se puede aplicar para la fabricación de restauraciones protésicas la conocida técnica de compresión IPS Empress o la técnica de rectificado asistido por ordenador. El resultado tras el recubrimiento es comparable desde cualquier punto de vista, de modo que incluso es posible combinar ambas tecnologías en un solo paciente.

PUESTA AL DÍA MATERIALES

En el presente artículo se describen con más detalle ambos materiales partiendo de unos fundamentos concretos. Se prestará especial atención no solamente a las posibilidades de la cerámica vítreo, sino también a sus limitaciones. Sólo si observamos las instrucciones de preparación podremos sacar el máximo partido de su potencial.

Por cerámica vítreo se entiende un sólido policristalino que ha sido fabricado mediante cristalización controlada³. Una característica esencial de la cerámica vítreo es que los cristales no crecen de forma esporádica, casual o espontánea, pues ello implicaría un crecimiento del tamaño no controlado y el resultado sería una estructura no homogénea con propiedades inadecuadas.

En primer lugar se funde un vidrio de composición apropiada y mediante los procedimientos de moldeado habituales para el vidrio se da forma a una pieza bruta aún de vidrio. A continuación se procede al tratamiento térmico de dos etapas en el que se seleccionan las temperaturas de tal modo que se suceden en primer lugar la zona de la velocidad máxima de formación de gérmenes cristalinos y después la zona de la velocidad máxima de cristalización.

El número y el tamaño de los cristales se pueden controlar mejor si se separan claramente los intervalos de temperatura para la máxima formación de gérmenes cristalinos y para el máximo crecimiento de los cristales (fig. 1). Así se obtiene un producto final cuyas propiedades vienen determinadas por el tipo, morfología, tamaño, proporción y grado de reticulado de las fases de cristalización separadas así como por la fase vítreo residual. El objetivo de esta cristalización es, por ejemplo, aumentar la resistencia mecánica, la resistencia a los cambios de temperatura o prever la dilatación térmica o las propiedades ópticas o eléctricas.

La estructura de una cerámica vítreo se diferencia de una cerámica convencional en que las fases cristalinas surgen completamente a partir de la fase vítreo por medio de la cristalización, con lo cual se puede obtener una estructura particularmente homogénea y de cristal fino. La cerámica vítreo se diferencia de los vidrios por su alta proporción cristalina.

La clasificación puede realizarse, por ejemplo, según la composición química básica o el uso previsto. Desde el punto de vista comercial, Beall propone para las cerámicas vítreas de silicato una clasificación en tres grupos en función principalmente de la fase mineral de cristalización¹²:

- Silicatos como metasilicato de litio, disilicato de litio, enstatita ($MgSiO_3$), diópsido ($CaMgSi_2O_6$) o volastonita ($CaSiO_3$).
- Aluminosilicato con las fases predominantes de cordierita, cuarzo, espodúmeno, eucriptita y anortita.
- Fluorosilicatos: aquí se cuentan las cerámicas vítreas de mica fluorosas a base de fluorflogopita ($K,NaMg_3AlSi_3O_{10}F_2$) y mica tetrasilicatosa ($KMg_{2,5}Si_4O_{10}F_2$) así como silicatos fluorosos en cadena como canasita y fluorrichterita.

Las más extendidas son las cerámicas vítreas procedentes del sistema $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$, que debido a su mínima dilatación térmica poseen una alta resistencia a los choques térmicos y se emplean, por ejemplo, como placas de cocción, ventanas de hornos o para espejos de telescopio⁵.

Cerámica vítreo

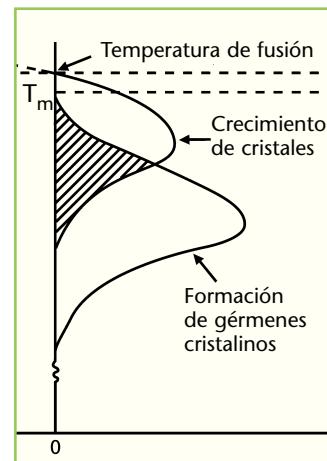


Fig. 1. Dependencia de la formación de gérmenes cristalinos y del crecimiento de cristales en función de la temperatura.

Clasificación de las cerámicas vítreas

Materiales del sistema IPS e.max

En el caso del sistema IPS e.max, el protésico dental obtiene con una sola cerámica de recubrimiento un resultado estético uniforme sobre distintos materiales para armazones. Éste puede elegir entre cerámica vítreo de disilicato de litio y cerámica de óxido de zirconio de alta resistencia. Mientras que el moldeado de la cerámica de óxido de zirconio como material dental solamente es posible por medio de procesos de fresado y rectificado, los armazones de cerámica vítreo pueden fabricarse tanto mediante el proceso de presión en caliente IPS Empress como mediante la técnica de rectificado.

Requisitos de los materiales para armazones

El perfil del producto se obtiene a partir de los requisitos de la ISO 6872 así como de las necesidades clínicas. Los puntos esenciales son la resistencia, la estabilidad química y los requisitos estéticos. Las propiedades requeridas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Requisitos de los materiales para armazones

Resistencia biaxial	> 360 MPa
Resistencia a la rotura	> 2,5 MPam ^{0,5}
Solubilidad química mínima según ISO 6872	< 100 µg/cm ²
Capacidad de compresión en EP 5000, 600 y hornos seleccionados de la copetencia	900 °C – 940 °C
Capacidad de elaboración en aparatos comunes de CAD/CAM	Estabilidad de cantos Desgaste de instrumentos Tiempo de retificado
Coeficiente de dilatación térmica: compatibilidad con la cerámica de capas IPS e.max, desarrollada también para ZrO ₂	10,0–10,8 × 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Coloración del producto final según requisitos estéticos	

IPS e.max Press

En la producción de piezas brutas IPS e.max Press se ha empleado una nueva tecnología de procesos para la fabricación de materiales. Las piezas brutas ya no se fabrican mediante el proceso con polvo –como en el caso de IPS Empress e IPS Empress 2– sino mediante colado masivo.

Coloración de iones y mecanismo de turbidez

En el nuevo proceso ya no se añaden pigmentos, puesto que éstos se fundirían a causa de la temperatura de fusión. Así pues, se presentan menos irregularidades en el producto, y al mismo tiempo se consigue una mayor resistencia y una mayor translucidez que con la tecnología de sinterización convencional.

La coloración de iones tiene lugar por medio de óxidos metálicos, que en el vidrio fundido del ionógeno entran en solución y colorean el vidrio de forma homogénea. En el caso de los óxidos metálicos colorantes se trata de los óxidos de los elementos de subgrupo que también se conocen como metales de transición. La separación de las órbitas d y f permite el arrastre de electrones que son excitados por los fotones. Durante el proceso se absorben las longitudes de onda específicas. El color resultante depende del propio elemento, de su grado de oxidación y del campo ligante, o sea, del tipo y disposición de las moléculas circundantes.

Si se añaden varios óxidos colorantes, los elementos cromáticos pueden además interaccionar los unos con los otros por medio de los procesos redox. Se producen los llan-

PUESTA AL DÍA MATERIALES

mados sistemas de transferencia de carga, los electrones pueden pasar de un ión a otro. Puesto que cada vez se necesita una energía específica para la excitación, se absorben determinadas longitudes de onda.

Así se logra la correcta combinación y concentración de los iones cromóforos. Aunque las condiciones de fusión también deben definirse de forma exacta, ya que por ellas se controla el estado de oxidación del vidrio. En otras palabras, el número total de electrones disponibles varía si, por ejemplo, se modifica la temperatura de fusión, y esto influye de nuevo en el color.

Mientras que el color se genera, por así decirlo, en los átomos de forma homogénea en la matriz de vidrio, la turbidez sólo se puede crear mediante estructuras que como mínimo se ajusten a la magnitud de la longitud de onda de la luz. Los índices de refracción de la matriz de vidrio y las fases de cristalización deben ajustarse recíprocamente. La diferencia no puede ser ni demasiado pequeña ni demasiado grande.

Las piezas brutas IPS e.max MO (Medium Opacity) se emplean primero como armazones, éstas deben presentar una turbidez particularmente intensa para, por ejemplo, cubrir los muñones descolorados. La turbidez intensa se prepara por medio de un proceso de separación de fases que tiene lugar en la fase vítreo residual por la acción del enfriamiento lento en la mufla de presión.

El procesamiento se lleva a cabo por medio de la tecnología IPS Empress, cuyas piezas de trabajo se distinguen en los resultados por su alta ajustabilidad.

Procesamiento

Las nuevas piezas estampadas en bruto se presentan en los dos tamaños de 3 g y 6 g. Los diámetros de las piezas brutas se incrementan, en comparación con los sistemas IPS Empress e IPS Empress 2, de 11,8 a 12,8 mm. Por consiguiente se amplían también el sistema de compresión, la base de la mufla y el émbolo compresor a 13 mm.

Cabe observar que aumentando las secciones transversales se reduce en un 15% la fuerza de compresión. Esto puede alargar los tiempos de compresión especialmente si se emplean hornos ajenos. Se actuaría de forma incorrecta si se seleccionara una temperatura más alta que la prescrita en las instrucciones de procesamiento, puesto que esto podría provocar que se creara una fuerte capa de reacción en contacto con la masa de recubrimiento. En casos extremos podría dañarse la estructura de la cerámica vítreo a causa de una temperatura demasiado elevada, produciéndose una pérdida de resistencia. Si surgen problemas, se debe comprobar en primer lugar la calibración del horno de compresión. Así mismo debe tenerse en cuenta que la fuerza de compresión sea suficiente.

Las restauraciones finas deben afianzarse con vástagos gruesos y cortos, puesto que a través de un canal de compresión largo se pierde mucha fuerza de compresión. Las pérdidas son proporcionales a la longitud de los vástagos, mientras que el diámetro se eleva a la cuarta potencia. En determinados casos el canal de compresión en contacto directo con el objeto puede estrecharse ligeramente en forma de cono para minimizar el trabajo de rectificación. La tabla 2 muestra la relación entre la fijación y el comportamiento de la compresión.

Una vez eliminado con cuidado el revestimiento, se debe limpiar –como es habitual en el silicato de litio– con ácido Invex Liquid IPS e.max Press la masa de revestimiento que haya quedado adherida. Debería respetarse rigurosamente el tiempo prescrito para ello, ya que para obtener una resistencia química mejor en comparación con IPS Em-

Tabla 2. Cálculo de la influencia de la fijación sobre la velocidad de compresión. Fijación con un diámetro de 2,00 mm y una longitud de 8,0 mm conforme a la calibración de 1,00.

Corriente en tubos (Hagen Poiseuille)			
$dV/dt = \pi r^4 \Delta p / 8 \eta l$			
Fijación	Diámetro	Longitud	Velocidad de compresión
	2,0 mm	8,0 mm	1,00
	2,0 mm	6,0 mm	1,33
	2,5 mm	4,0 mm	4,88
	3,0 mm	6,0 mm	6,75

press 2 hay que atenerse al uso correcto de la solución Invex. Es muy recomendable cubrir siempre las restauraciones con solución fresca contenida en un recipiente pequeño y adecuado. A continuación se puede neutralizar y eliminar cabalmente y de forma inmediata la solución cáustica.

IPS e.max CAD

Cada vez se emplean en mayor medida los procesos CAD/CAM en la fabricación de restauraciones dentales. Los sistemas como CEREC 3, inLab, Kavo Everest y otros son tan avanzados que ya se pueden alcanzar unos resultados excelentes desde el punto de vista económico y cualitativo. Al igual que con la cerámica de compresión de alta resistencia IPS e.max Press debería disponerse de una cerámica vítrea de alta resistencia para su procesamiento a máquina.

Tarea pendiente

Al desarrollar una variante CAM para la cerámica vítrea debería resolverse un problema general. Cuanto más resistente es un material en la práctica, más duro resulta realizar los trabajos de procesado. La resistencia a la flexión de la nueva cerámica de compresión IPS e.max Press fabricada con tecnología masiva se sitúa por encima de los 400 MPa (medida como «resistencia a la flexión biaxial» según ISO 6872), la resistencia a la rotura se sitúa en 2,5 hasta 3,0 MPav/m. Las pruebas mostraron que este material no se podía procesar con la mayoría de máquinas de procesamiento. Por lo general, tras la primera restauración se desgasta ya todo un juego de instrumentos. Los tiempos de rectificado tampoco resultan rentables. El propósito es, por tanto, desarrollar un material que pueda procesarse a máquina de forma rápida, fácil y precisa. La alta resistencia que se exige del material debería conseguirse con un consiguiente proceso de recocido corto⁸⁻¹⁰.

Modo de proceder

Las propiedades mecánicas de una cerámica vítrea están en estrecha relación con su microestructura. Una mínima parte de los cristales, la mayoría en forma de plaquitas y distribuidos en la matriz de forma aislada, presenta puntos de rotura controlada en la matriz vítrea. Por este motivo el nivelado del material durante el proceso de rectificado se efectúa de forma tangencial a la fuerza de ataque. La propagación incontrolada de fisuras se detiene por medio de los cristales¹¹. Por el contrario, una mayor proporción de cristales sólidos «enmarañados» unos con otros y en forma de aguja hace que la propagación de las fisuras sea por lo general más difícil. Se deben obtener muchas nuevas superficies; un proceso que cuesta energía. La resistencia a la rotura de una estructura semejante es por tanto alta.

PUESTA AL DÍA MATERIALES

Mediante una formación de gérmenes cristalinos planificada por duplicado se ha conseguido, en el caso de una composición vítreo especial, separar en primer lugar los cristales de metasilicato de litio de la matriz vítreo en la subsiguiente cristalización de 2 etapas. La cerámica vítreo resultante es extraordinariamente procesable. En el segundo paso se desarrolla completamente la fase del metasilicato y cristaliza el disilicato de litio. Puesto que esta transformación tiene lugar casi sin contracción, se puede adaptar previamente la restauración sin problemas. Durante la transformación se consigue no sólo una alta resistencia de más de 300 MPa y una resistencia a la rotura de 2,0 hasta 2,5 MPa/m, sino que también desaparece el color azul de la cerámica vítreo de metasilicato y se forma el color deseado del diente. Este cambio de color debe atribuirse a un cambio de coordinación de los iones cromoforos (figs. 4a a 4h).

A continuación se describe con mayor detalle el proceso de la recristalización y de la solidificación que de ella se desprende.

El desarrollo se basa en una cerámica vítreo del sistema de silicato de litio. La tabla 3 muestra la composición. El SiO_2 y el Li_2O son los componentes esenciales para la formación de cristales. El P_2O_5 debe acelerar la formación de gérmenes cristalinos. El resto de óxidos controlan las propiedades de la fase vítreo residual y sirven para el ajuste del color y la translucidez. La figura 2 muestra el diagrama de fases binario $\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$. Dentro del sistema aparecen tres óxidos binarios estables, el ortosilicato de litio (Li_4SiO_4), el metasilicato de litio (Li_2SiO_3) y el disilicato de litio ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$). De ellos, los

Solución

La compleja cristalización de IPS e.max CAD

Tabla 3. Composición química de la cerámica vítreo IPS e.max CAD en % de masa

SiO_2	57-80
Li_2O	11-19
K_2O	0-13,5
ZnO	0-8
P_2O_5	0-11
ZrO_2	0-8
Otros componentes	
Óxidos de coloración	0 - 12

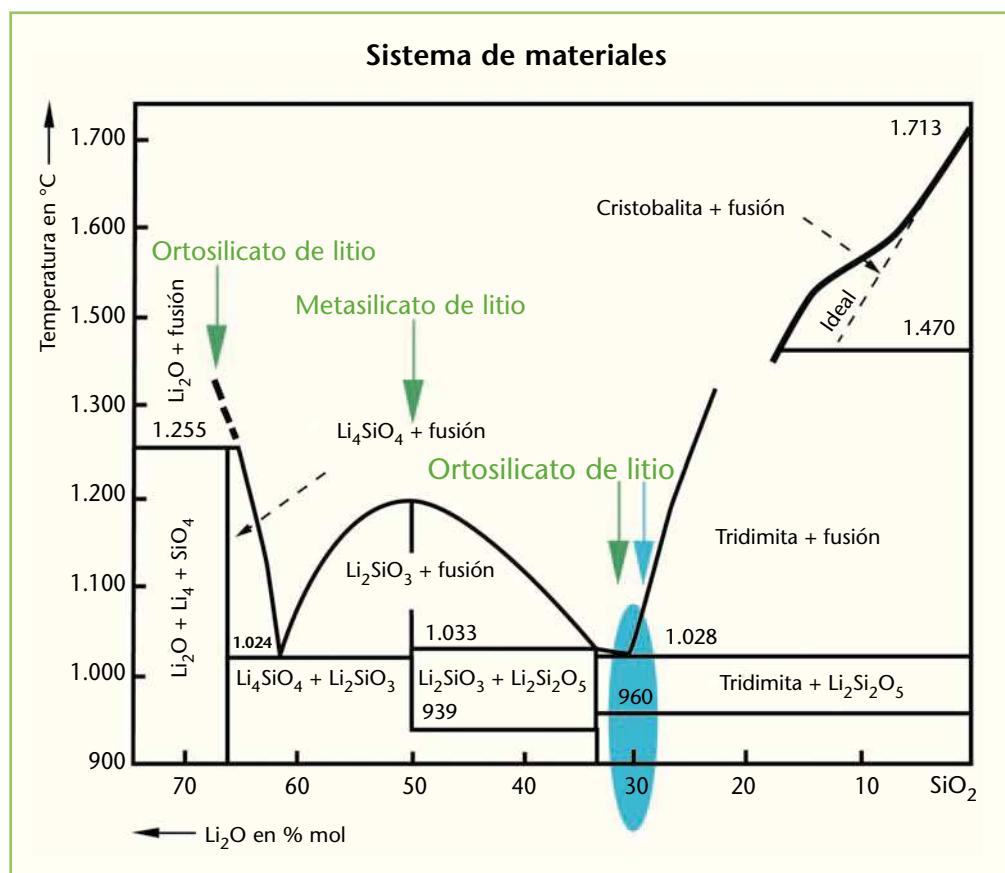


Fig. 2. Diagrama de fases¹³ $\text{Li}_2\text{O}\text{-SiO}_2$.

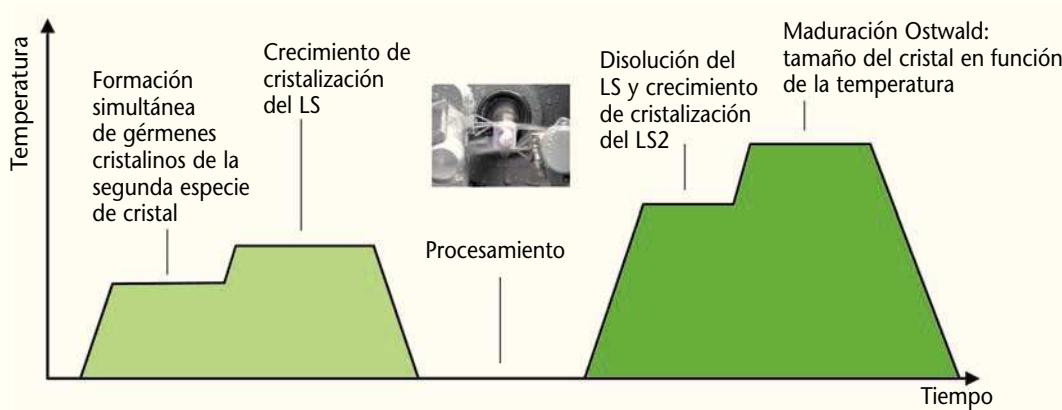
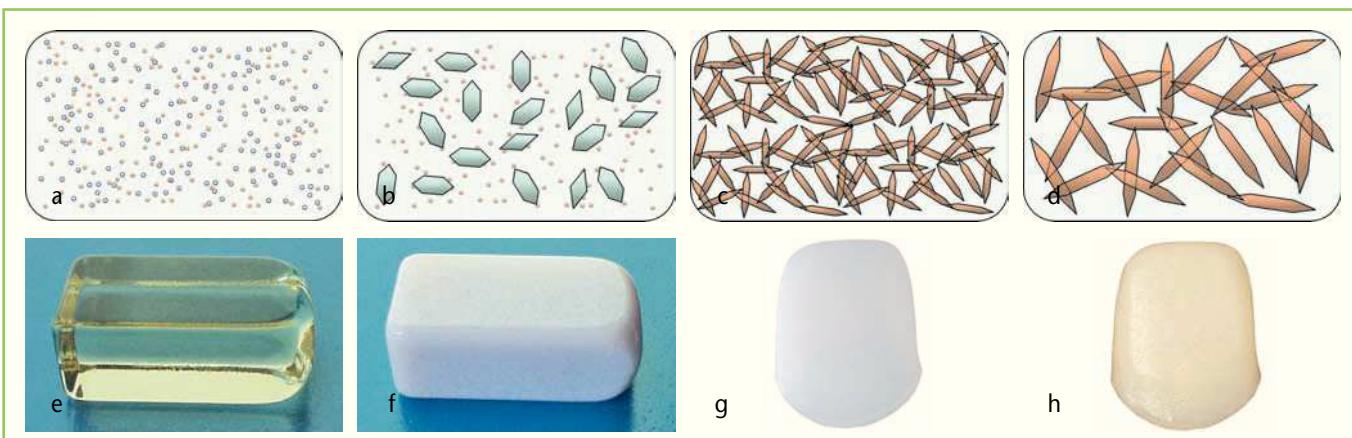


Fig. 3. Esquema de cristalización de IPS e.max CAD; el primer tratamiento de temperatura es industrial y la cristalización final tiene lugar en el laboratorio (LS: metasilicato de litio; LS2: disilicato de litio).



Figs. 4a a 4h. La compleja cristalización de IPS e.max CAD (LS: metasilicato de litio; LS2: disilicato de litio). a. Se desarrollan independientemente las distintas especies de cristales según los gérmenes cristalinos. b. Los cristales LS aislados después de la primera etapa de cristalización permiten un procesamiento a máquina fácil y preciso. c. Los cristales LS2 reticulados generan una alta resistencia a la rotura. d. En la fase de la maduración Ostwald, un nuevo aumento de la temperatura provoca el crecimiento de los cristales. e. Bloque vítreo transparente tras la formación de gérmenes cristalinos del LS y LS2. f. Bloque de cerámica vítrea después de la primera etapa de cristalización. g. Restauración realizada a máquina a partir de cerámica vítrea LS. h. Restauración después de la transformación a cerámica vítrea LS2 a 850 °C.

dos últimos intervienen en la cristalización de IPS e.max CAD. En cuanto al sistema binario $\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$, la composición es similar a la del disilicato.

No obstante, se sabe que en las composiciones entre 5 y 30% mol Li_2O aparece una pieza de mezcla⁶⁻⁷. Esto significa que durante el enfriamiento de la fusión se forman áreas ricas en Li_2O y en SiO_2 . Esta segregación es el requisito para la formación simultánea de gérmenes cristalinos del metasilicato de litio y disilicato de litio. En determinadas composiciones es posible elegir el tiempo y la temperatura de la formación de gérmenes cristalinos de tal modo que se generan una determinada densidad de gérmenes cristalinos y una determinada relación entre estos gérmenes. La subsiguiente cristalización se desarrolla en dos etapas. En la primera etapa cristaliza casi exclusivamente el metasilicato de litio, permaneciendo como siempre los gérmenes cristalinos del disilicato de litio en estado latente en la matriz vítrea (figs. 3 y 4).

PUESTA AL DÍA MATERIALES

En una segunda etapa de cristalización a una temperatura más alta crecen finalmente los gérmenes del disilicato de litio hasta convertirse en cristales. Puesto que la composición del vidrio de base se corresponde con la del disilicato de litio, durante este proceso se consumen los cristales del metasilicato. Se forma la cerámica vítreo deseada de disilicato de litio. El metasilicato de litio y el SiO₂ de la fase vítreo reaccionan al disilicato de litio: Li₂SiO₃ + SiO₂ → Li₂Si₂O₅.

De este modo, a partir de una cerámica vítreo con un 30 a un 40% de volumen de la fase de cristalización de metasilicato y un 60 a 70% de volumen de la fase vítreo surge una cerámica vítreo con 60 a 70% de volumen de la fase de cristalización de disilicato y un 30 a 40% de volumen de la fase vítreo.

Con la formación de gérmenes cristalinos y la primera cristalización se establece la base para obtener el producto final, la cerámica vítreo de disilicato de litio. Para ello deben preservarse de forma exacta la temperatura y los regímenes de la cristalización final. En el caso de temperaturas demasiado elevadas se corre el riesgo de producir una deformación plástica de la restauración. Para contrarrestar este efecto nos servimos de pasta estabilizante. Los cantos redondeados y la fuerte vitrificación de la superficie son un signo de temperatura de cocción demasiado elevada. En caso de tiempos de cocción demasiado cortos o de temperaturas muy bajas se corre el riesgo de no dar con el color exacto. Por otra parte, la influencia de la temperatura de cocción sobre la resistencia es mínima.

El sistema cuenta con un soporte de cocción de cerámica SiN que gracias a su buena termoconductibilidad y a su masa térmica relativamente grande procura una compensación del perfil de temperaturas independientemente de la carga del horno de cocción. El empleo de este soporte de cocción así como un horno calibrado son absolutamente necesarios para lograr una correcta cristalización final de IPS e.max CAD.

Este tema debería tratarse en un apartado propio, ya que en parte existen numerosas y distintas concepciones. Muchos técnicos protésicos están acostumbrados a tratar todas las superficies con chorro de óxido de aluminio para lograr en los pasos siguientes una superficie limpia y rugosa.

El chorro de óxido de aluminio en las superficies del vidrio y cerámica vítreo genera, sin embargo, las llamadas fisuras medianas. Estas fisuras aparecen perpendicularmente a la superficie y debilitan la restauración por el efecto de muesca. En el caso del vidrio, la pérdida de resistencia resulta fatal, pero la cerámica vítreo también puede debilitarse aunque se neutralicen las eventuales fisuras en los cristales depositados. Así pues, el chorro de óxido de aluminio en la cerámica vítreo debería aplicarse solamente cuando sea necesario. En el caso de IPS e.max CAD, no debe aplicarse antes del procesamiento posterior, de la estratificación o de la cocción de vidriado. Es suficiente si se limpia la superficie con, por ejemplo, el inyector de vapor. En el caso de IPS e.max Press debe retirarse por completo la capa de reacción que se forma en la solución Invex. En este caso debe utilizarse perla de vidrio abrillantadora con una presión máxima de 2 bar. Resulta beneficioso aplicar el chorro sobre la superficie de forma oblicua y en la medida de lo posible nunca verticalmente para minimizar la energía de impacto. Tras aplicar el chorro de óxido de aluminio debe limpiarse de nuevo la superficie con vapor o mediante baño ultrasónico.

Procesamiento

Chorro de arena

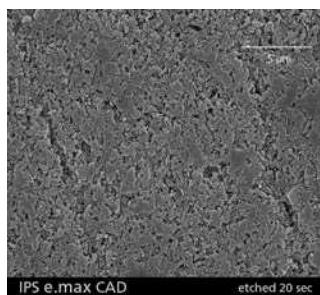


Fig. 5. La superficie bañada de IPS e.max CAD; se genera un modelo retentivo mediante el baño con ácido fluorhídrico (IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

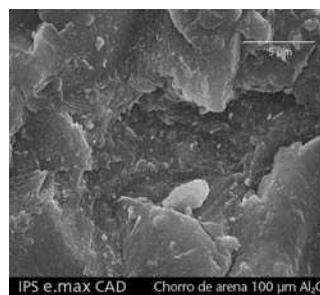


Fig. 6. La superficie de IPS e.max CAD tras aplicar el chorro de arena; pueden verse los profundos daños causados en la cerámica vítrea.

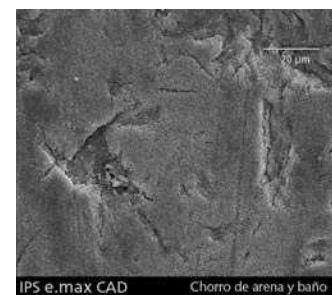


Fig. 7. La superficie de IPS e.max CAD tras el chorro de arena y el baño; la zona dañada no puede subsanarse por el proceso del baño; esto se refleja en los valores de la resistencia biaxial (véase tabla 4).

Tabla 4. Resistencia biaxial de IPS e.max CAD con distintos tratamientos de la superficie

Superficie rectificada finamente con SiC	Superficie tratada con baño ácido	Superficie tratada con chorro de arena	Superficie tratada con chorro de arena y baño ácido
554 ± 78 MPa	520 ± 98 MPa	232 ± 18 MPa	235 ± 25 MPa

Una vez finalizada la restauración ya no debería aplicarse más el chorro de óxido; la retención necesaria para la fijación adhesiva se consigue por medio de un baño de ácido fluorhídrico (figs. 5 a 7). Las investigaciones han demostrado que la cerámica vítrea apenas pierde resistencia tras el baño de HF (tabla 4). Resulta interesante también comprobar que el rectificado (cuidadoso) con un fino diamante de alta calidad es menos crítico que la aplicación del chorro de óxido de aluminio. No obstante, en el caso del rectificado debe evitarse por todos los medios la generación de calor.

Microestructura

Las figuras 8 a 10 muestran imágenes tomadas al microscopio electrónico de barrido de la cerámica vítrea después de las distintas etapas del proceso.

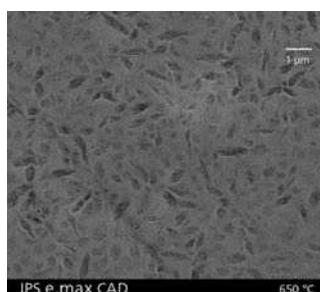


Fig. 8. Una imagen REM de la cerámica vítrea después de la primera etapa de cristalización a 650 °C; aproximadamente un 30% de cristales LS en fase vítreo residual (cristales bañados con HF).

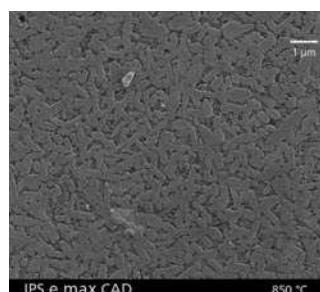


Fig. 9. Una imagen REM de la cerámica vítrea después de la segunda etapa de cristalización a 850 °C; aproximadamente 70% de cristales LS2 en fase vítreo residual (fase vítreo con baño HF).

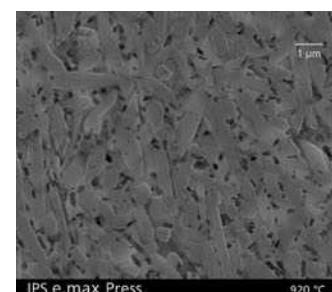


Fig. 10. Una imagen REM de una cerámica vítrea comprimida después del proceso IPS Empress a 920 °C; aproximadamente 70% de cristales LS2 en fase vítreo residual (fase vítreo con baño HF).

PUESTA AL DÍA MATERIALES

	IPS e.max CAD procesable	IPS e.max CAD cristalizado final	IPS e.max Press
Resistencia biaxial [MPa]	100-160	300-420	400-480
Resistencia a la rotura [MPam ^{0,5}]	0,9-1,1	2,0-2,5	2,5-3,0
Módulo E [GPa]	–	90-10	90-100
Dureza Vickers [MPa]	5.300-5.500	5.700-5.900	5.700-5.900
Solubilidad según ISO 6872 [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	–	30-50	30-50
Temperatura de cristalización/ compresión	–	850 °C	920-925 °C
Procesabilidad manual de diamante rotatorios	Con instrumentos	Con instrumentos de diamante rotatorios	Con instrumentos de diamante rotatorios
WAK 100-400 °C [10^{-6}K^{-1}]		9,75-10,55	9,75-10,55
WAK 100-500 °C [10^{-6}K^{-1}]		10,20-10,70	10,20-10,90
Prueba de choque térmico		> 160 °C	> 160 °C
Coloración del producto final según requisitos estéticos	Coloración azul-violeta en variantes de color	Colores A-D y Chromascop en distintos grados de translucidez	Colores A-D y Chromascop en distintos grados de translucidez

Tabla 5. Propiedades de los materiales para armazones

Las propiedades obtenidas de IPS e.max CAS e IPS e.max Press se enumeran en la tabla 5. Se han podido cumplir las exigencias conforme a la ISO 6872 y el perfil del producto. El presente artículo es un extracto del informe F&E n.º 17 de Ivoclar Vivadent.

Propiedades de los materiales para armazones

1. Hennicke HW. Zum Begriff Keramik und zur Einteilung keramischer Werkstoffe. Ber Dtsch Keram Ges 1967;44:209-201.
2. Scholze H. Glas. Berlin: Springer Verlag, 1988.
3. McMillan PW. Glass-Ceramics. London: Academic Press Inc., 1979.
4. Vogel W. Glaschemie. Berlin: Springer Verlag, 1992.
5. Bach H. Low Thermal Expansion Glass Ceramics. Scott Series on Glass and Glass Ceramics. Berlin: Springer Verlag, 1995.
6. Höland W, Beall G. Glass-Ceramic Technology. Ohio: J Am Ceram Soc, 2002.
7. Strnad Z. Glass-Ceramic Materials. Glass Science and Technology 8. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo: Elsevier, 1986.
8. Unuma H, Miura K, Kodaira K. Improvement of Mechanical Properties of Machinable Glass-Ceramics through Postmachining Heat treatments. J Am Ceram Soc 1992;75[8]:2300-2301.
9. Reise M. Untersuchungen zur Verfestigung und Aushärtung maschinell bearbeitbarer Glaskeramiken. Dissertation. Darmstadt: Technische Universität, 1999.
10. Bürke H. TEM-Grundlagenuntersuchungen zur Gefügeentwicklung in aushärtbaren Glimmerglaskeramiken. Dissertation. Universität Würzburg, 2004.
11. Grossmann DG. The Formation of Chips in a Machineable Glass Ceramic. Glass Techn 1983;24[1]:11-13.
12. Beall GH. Design and Properties of Glass-Ceramics. Annu Rev Mater Sci 1992;22:91-119.
13. Kracec F. The binary system Li₂O-SiO₂; J Phys Chem 1930;34:2641-2650.

Bibliografía

Dr. Harald Bürke, Bardella 5a, 6820 Frastanz, Austria.

Correspondencia