

## [Resumen]

Los vidrios de silicato y las cerámicas vítreas ocupan un amplio espacio entre los materiales odontológicos. Se emplean para el recubrimiento estético de titanio, aleaciones de titanio y aleaciones de metales preciosos y no preciosos. La segunda parte de este artículo está dedicada especialmente a la composición.

## Palabras clave

Vidrios de silicato. Cerámicas vítreas de silicato. Propiedades químicas. Propiedades físicas. Uso. Valoración.

(Quintessenz Zahntech. 2007;33(6):720-30)

## Cerámicas de silicato: composición, propiedades, aplicación, valoración: parte 2

**Ralf Janda**

Las cerámicas de recubrimiento para metales, también denominadas cerámicas metálicas, deben dividirse en tres grupos puesto que hay tres metales o aleaciones muy diferentes en cuanto a intervalo de dilatación térmica que no se pueden recubrir con una cerámica de recubrimiento (fig. 1). Se trata de cerámicas para el recubrimiento de

- Titanio ( $\alpha = 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ )
- Un gran número de aleaciones diferentes con un intervalo de dilatación térmica de  $\alpha = 13,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  hasta  $\alpha = 15,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (aleaciones: Au/Pd, Au/Pt, Pd/Cu, Ni/Cr, Co/Cr/Mo, Au/Pd/Ag, Pd/Ag)
- Aleaciones de color dorado o de alto contenido en oro con  $\alpha = 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Así mismo, sin embargo, hay que tener en cuenta que la temperatura de cocción de la cerámica de recubrimiento sea suficientemente baja para que no produzca deforma-

Cerámicas  
de recubrimiento  
para metales

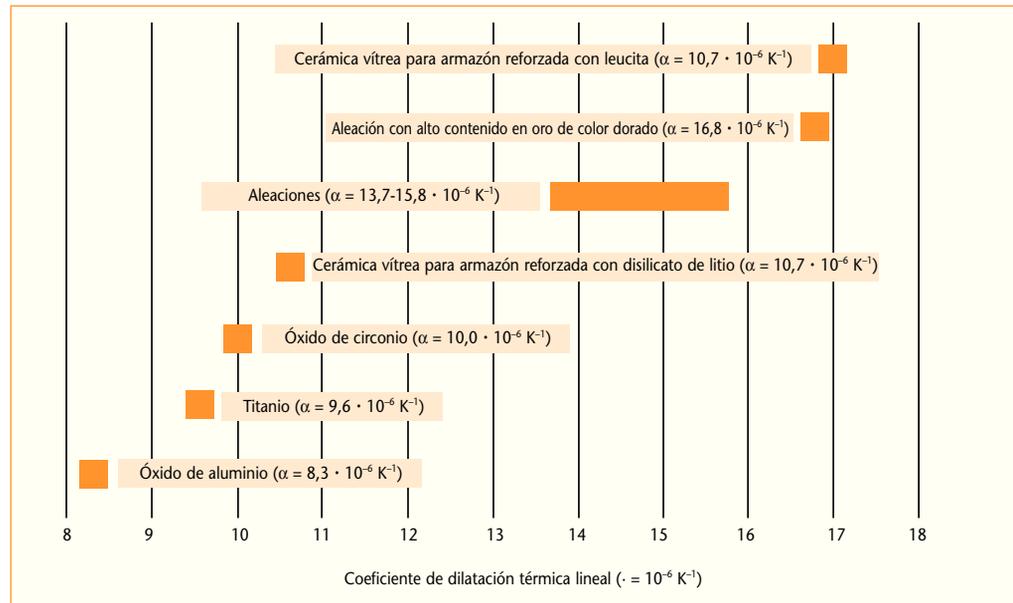


Fig. 1. Dilataciones térmicas de diferentes materiales.

**Tabla 1.** Composición oxídica básica (en porcentaje de masa) de las masas de cerámica para recubrimiento

Óxido	Masa opaca [%]	Masa de recubrimiento [%]
SiO <sub>2</sub>	53,64	60,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,18	19,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,05
TiO <sub>2</sub>	2,98	0,26
CaO	1,32	1,91
K <sub>2</sub> O	9,35	9,66
Na <sub>2</sub> O	6,35	7,34
F <sub>2</sub>	0,25	0,26
ZrO <sub>2</sub>	1,36	–
SnO <sub>2</sub>	4,76	–
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,34	–

ciones (p. ej., en las aleaciones con alto contenido en oro) o daños (p. ej., el titanio) en el material del armazón.

La tabla 1 muestra la composición principal de una masa opaca así como de las masas de recubrimiento claramente transparentes, como las masas dentinales o incisales. La diferencia esencial entre estas dos masas está en que la masa opaca contiene grandes porcentajes de enturbiantes, como el SnO<sub>2</sub> y el ZrO<sub>2</sub>, que no se encuentran en las masas de recubrimiento. Estos enturbiantes son responsables de la característica fuertemente opaca, para que el color metálico del armazón se recubra completamente. Además, tal y como ya se ha mencionado, la dilatación térmica de las cerámicas debe ajustarse a la del metal a recubrir.

# FUNDAMENTOS MATERIALES

La buena adaptación de la dilatación térmica del metal y la cerámica es de vital importancia para la adhesión del metal y la cerámica y la estabilidad del recubrimiento y evitar así la formación de grietas o descascarillamientos. Estos peligros existen especialmente cuando la diferencia de las dilataciones térmicas de ambos materiales es de  $\Delta\alpha > 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Puesto que la cerámica puede soportar mejor las tensiones de presión que las tensiones de tracción, su dilatación térmica debe coincidir idealmente con la del metal o, mejor aún, ser un poco menor. También debe haber una ligera gradación de las capas cerámicas consecutivas. Una gradación óptima sería:

$$\alpha_{\text{Metal}} > \alpha_{\text{Cerámica}_1} > \alpha_{\text{Cerámica}_2} > \alpha_{\text{Cerámica}_3}$$

La imagen 2 muestra de modo esquemático el efecto de la dilatación térmica sobre un recubrimiento cerámico. Si de forma ideal las dilataciones térmicas de la cerámica y el metal son idénticas, toda la pieza de trabajo está libre de tensiones. Si la dilatación térmica del metal es más pequeña, la cerámica sufre tensiones de tracción (al enfriarse, el metal es menos flexible que la cerámica, es decir, la cerámica «trabaja» contra el metal), que, cuando sobrepasan un valor crítico ( $\Delta\alpha > 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), provocan microfisuras en el recubrimiento. En el caso que la dilatación térmica del metal sea mayor (al enfriarse el metal es más flexible que la cerámica, es decir, el metal «trabaja» contra la cerámica), se originan tensiones de presión en la cerámica que pueden soportarse sin duda mejor que las tensiones de tracción, pero en este caso también hay que contar que al sobrepasar un valor crítico se producirá un fallo a causa de los descascarillamientos. El tipo de fallo también da información sobre hacia qué dirección se diferencian las dilataciones térmicas de ambos materiales.

El ajuste de la dilatación térmica se consigue con la composición de las fritas, cuando las dilataciones térmicas más altas se mezclan con otras más bajas. La masa sinterizada

## Dilatación térmica de las cerámicas metálicas

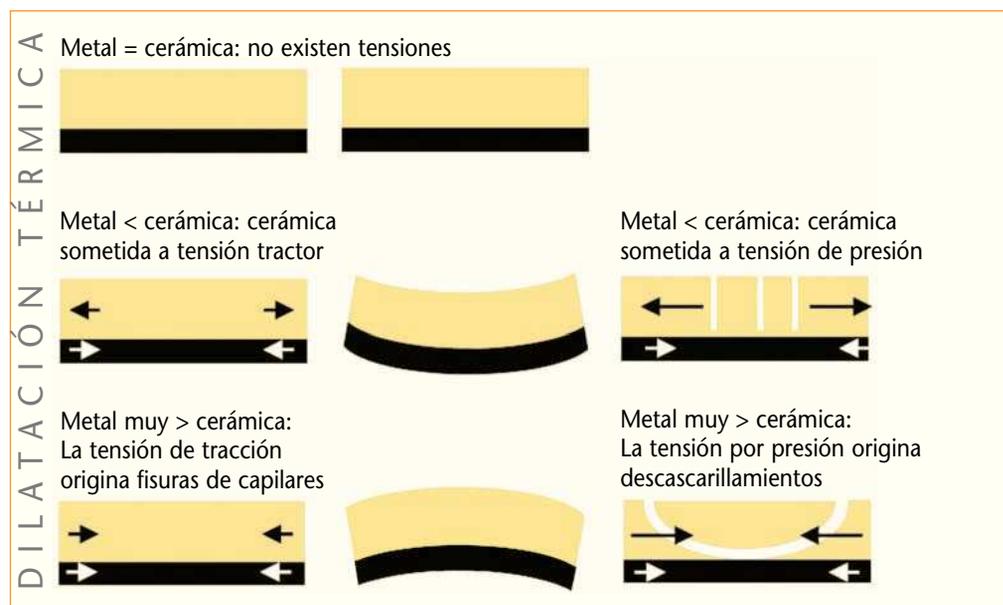


Fig. 2. Representación esquemática del efecto de la dilatación térmica en un recubrimiento cerámico.

tiene casi el valor medio, que se puede calcular a partir de las dilataciones térmicas de cada una de las fritas. Existen diferentes maneras de ajustar la dilatación térmica de cada una de las fritas. Una posibilidad consiste en utilizar creadores de puntos de separación, como  $\text{Na}_2\text{O}$  o  $\text{K}_2\text{O}$  (véanse para ello las partes 1 y 2 de los Fundamentos de esta serie<sup>9,11</sup>). Con esta medida es posible aumentar la dilatación térmica hasta  $\alpha = 9 - 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . En el caso de estas cerámicas se trata en realidad de cristales puros que no contienen ninguna fase cristalina. Se emplean especialmente para recubrir los armazones de titanio. El grupo más grande de cerámicas de recubrimiento está constituido por aquellas cerámicas que tienen un intervalo de dilatación térmica de  $\alpha = 13,5 - 15,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Para estas aleaciones no es posible aumentar de manera suficiente la dilatación térmica mediante la adición de creadores de puntos de separación. En estos casos los materiales deben ajustarse debidamente con una adición definida de fases cristalinas de gran dilatación térmica. En el caso de estas fases cristalinas se trata de leucita, que existe en las modificaciones de leucita en fase tetragonal ( $\alpha_{20-800 \text{ °C}} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) y leucita en fase cúbica ( $\alpha_{20-800 \text{ °C}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Los tipos de leucita se diferencian en su estructura cristalina, pero no en su composición química, que es  $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ . Para las cerámicas de recubrimiento es importante que se evite la formación de leucita en fase cúbica, puesto que, si no, puede producirse una disminución de la dilatación térmica. La leucita en fase tetragonal, importante para aumentar la dilatación térmica, se genera mientras se crean fusiones homogéneas de feldespato potásico puro, cuarzo y carbonato en proporciones de masas adecuadas. Si éstas se dejan enfriar y maleabilizar entre 870 y 1.000 °C, se forma la leucita cristalina en fase tetragonal al enfriarse. Naturalmente también es posible utilizar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y cuarzo con una relación estequiométrica adecuada (la denominada cerámica sintética) en vez del feldespato natural  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Si se alcanzan temperaturas superiores a los 1.000 °C en el proceso de maleabilización, el contenido de leucita en fase tetragonal disminuye de nuevo (véanse para ello las partes 1 y 2 de los Fundamentos de esta serie sobre la velocidad de crecimiento del cristal<sup>9,11</sup>). La cristalización más elevada de leucita en fase cúbica se alcanza con una temperatura de 800 °C, para lo cual es suficiente un tiempo de sólo pocos minutos.

La fabricación de la cerámica con metal deseada sólo puede efectuarse según dos procedimientos diferentes (fig. 3). Con uno de ellos es posible mezclar una frita sin leucita altamente fundente con  $\alpha = 7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  con una frita menos fundente con leucita con  $\alpha = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  con una proporción 1:1. La mezcla originada tiene entonces una  $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Puesto que la frita menos fundente es adecuada para la formación de leucita, se puede estimular la posterior formación de leucita en la siguiente maleabilización a aproximadamente 800 °C, por ejemplo con la temperatura correspondiente, tras la cocción en el horno, de forma que sea posible un aumento hasta  $\alpha = 14,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . El riesgo de este tipo de cerámica con metal está en que se utiliza una formación de leucita no deseada y un aumento de la dilatación térmica en un recubrimiento tras un procedimiento de soldadura sobre una aleación de  $\alpha = 13,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (p. ej., Au/Pd) y la tensión de tracción resultará tan grande que se formarán grietas. El otro tipo de cerámica con metal es una mezcla de 1/3 de frita con leucita altamente fundente de  $\alpha = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  con 2/3 de una frita sin leucita poco fundente de  $\alpha = 7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . La dilatación térmica resultante contendrá también  $\alpha = 14,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . No es posible un aumento de la dilatación térmica en este tipo de

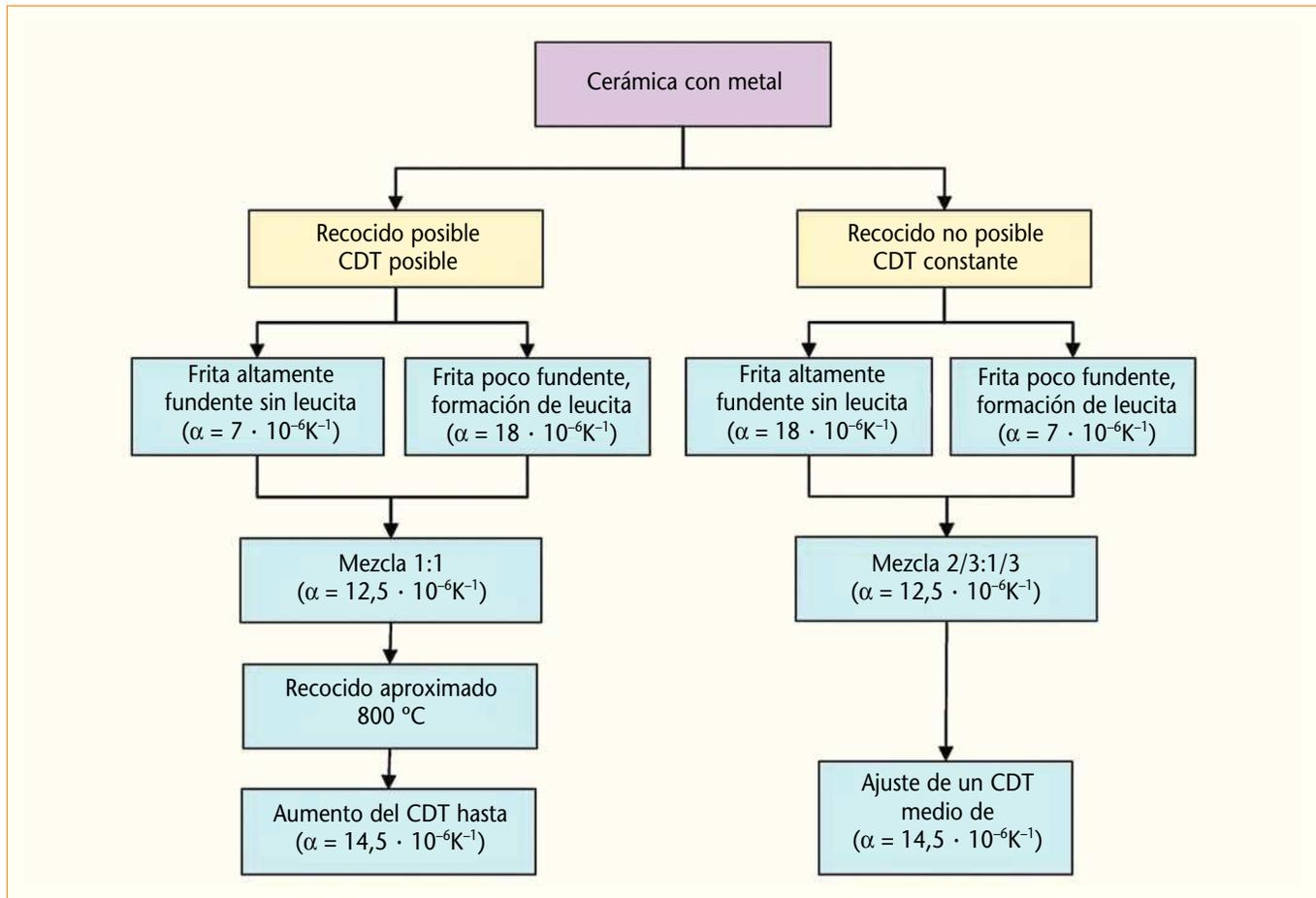


Fig. 3. Composición de las cerámicas con metal para aleaciones con  $\alpha = 13,5-15,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . CDT: coeficiente de dilatación térmica.

cerámica. El objetivo de la frita poco fundente es hacer posible el proceso de sinterización.

Con los dos tipos de cerámicas con metal anteriormente mencionados, sin embargo, no es posible recubrir un tipo especial de aleación, las aleaciones de color dorado y alto contenido en oro, puesto que éstas tienen un  $\alpha = 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  extremadamente alto. Para este tipo de aleación existen cerámicas de recubrimiento especiales con  $\alpha = 15 - 16 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Estas elevadas dilataciones térmicas se fundamentan en las concentraciones de leucita claramente más elevadas.

Aparte de la dilatación térmica, la temperatura de cocción de la cerámica también juega un papel fundamental, puesto que metales o aleaciones diferentes sólo permiten determinadas temperaturas de cocción (fig. 4) para que no surjan deformaciones, especialmente en trabajos de gran envergadura. El titanio necesita una cerámica de cocción que, además de coeficientes de dilatación térmicos lineales óptimos, tenga una temperatura de cocción de 800 °C como máximo, puesto que su velocidad de reacción con el oxígeno, también con trazas, aumenta drásticamente por encima de esta tempera-

Temperatura de cocción  
de la cerámica

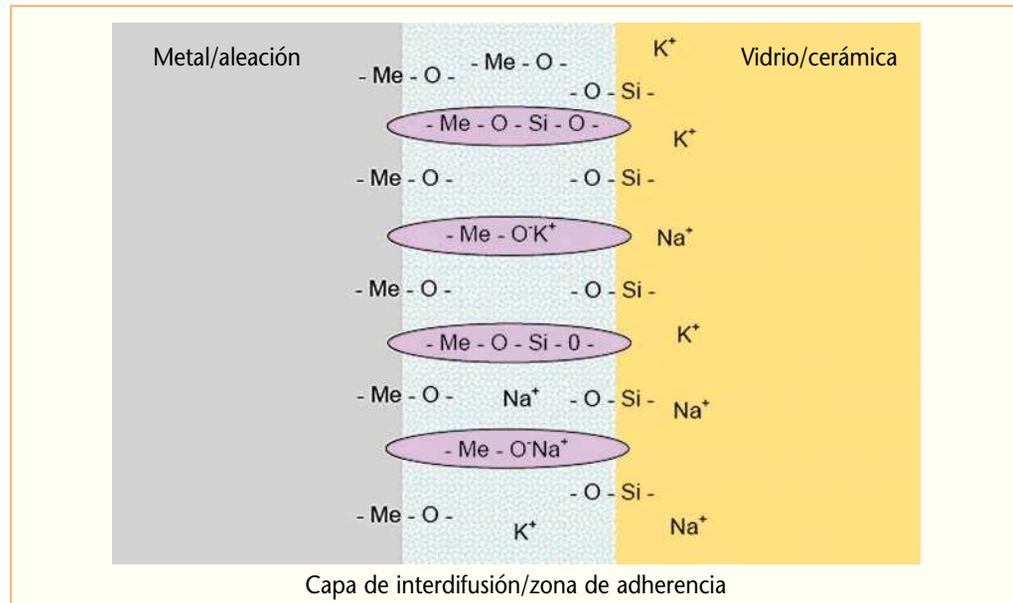


Fig. 4. Representación esquemática de la formación de la adherencia entre la cerámica y el metal.

tura. En este sentido, se forman capas sueltas de óxido que no permiten ninguna unión fija a la cerámica. Por este motivo, las cerámicas deflagradas para titanio tienen frecuentemente un adhesivo especial que debe eliminar la reacción de oxidación. La temperatura de cocción también debe estar por debajo de los 882 °C, puesto que el titanio experimenta una conversión de  $\alpha$  a  $\beta$  menos estable con esta temperatura. Las aleaciones de color dorado y alto contenido en oro tienen temperaturas en estado sólido muy bajas, por debajo de los 1.000 °C. Estas aleaciones requieren cerámicas que, aparte de la elevada dilatación térmica, no superen la temperatura de cocción máxima de 850 a 900 °C, mejor 850 °C (las cocciones con el opáquer se hacen entre 880 y 900 °C para estas cerámicas). También existen cerámicas con temperaturas de cocción mucho más bajas (cocción con opáquer aproximadamente a 770 °C, dentina a aproximadamente 750 °C). Para las aleaciones convencionales en el intervalo de dilatación térmica con  $\alpha = 13,7 - 15,8 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , pueden utilizarse cerámicas con temperaturas de cocción para el opáquer de hasta aproximadamente 980 °C. La literatura ofrece una visión general de diferentes cerámicas con metal<sup>2</sup>. Básicamente, como norma general, se puede decir que la temperatura de cocción de la cerámica debe ser de 50 °C como mínimo para las pequeñas reconstrucciones (coronas, puentes de tres piezas) y 100 °C como mínimo por debajo de la temperatura en estado sólido de la aleación para trabajos de mayor envergadura. Las temperaturas de cocción de las cerámicas pueden controlarse igual que las dilataciones térmicas mediante su composición. Esto ocurre gracias a la adición correspondiente de fundentes (véanse para ello las partes 1 y 2 de los Fundamentos<sup>9,11</sup>).

### Adherencia de la cerámica y el metal

Otro aspecto esencial relacionado con las cerámicas de recubrimiento para metales es la fuerza de adherencia entre ambos materiales. Los requisitos fundamentales para una buena adherencia entre el metal y la cerámica son:

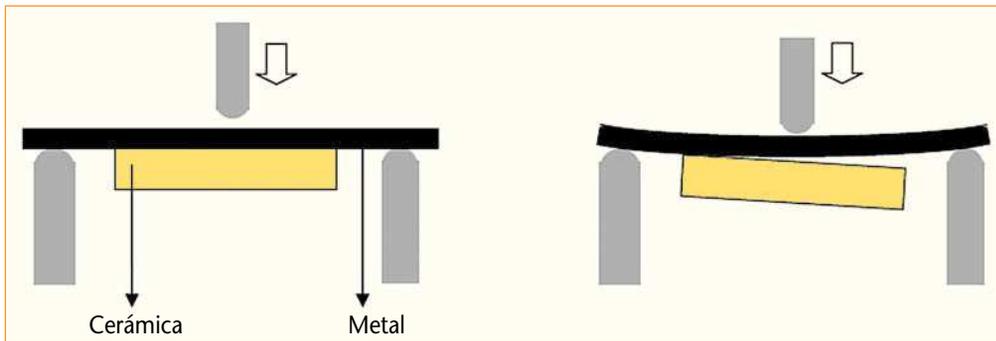


Fig. 5. Determinación de la fuerza de adherencia entre la cerámica y el metal según EN ISO 9693.

- Una superficie metálica rugosa (tratada con un chorro de arena) y limpia
- La formación de una capa de óxido para facilitar la adherencia en la cocción de oxidación
- Una humectación muy buena del metal con la cerámica durante el proceso de cocción
- La formación de enlaces de iones (también llamados fases de Zintl)
- La difusión de porcentajes de (aleaciones) de metal en la cerámica y viceversa
- Una dilatación térmica adecuada de la cerámica y el metal

La adherencia de la cerámica y el metal también es una combinación de un anclaje micromecánico y un enlace químico. El requisito para un efecto óptimo de ambos mecanismos de adherencia es una muy buena humectación de la superficie metálica con la frita cerámica. Para ello, una condición básica es conseguir temperaturas de cocción suficientemente altas y un buen vacío. En las aleaciones de metales preciosos debe existir la posibilidad de crear una capa de óxido en su superficie para facilitar la adherencia mediante adiciones mínimas de determinados metales no preciosos (p. ej., Ir, In, Fe, Sn, Ti, Pd). Estos elementos van del colado a la superficie de aleación y crean allí los óxidos necesarios para facilitar la adherencia en la cocción de oxidación. El oro puro (p. ej., oro galvánico) tiene una adherencia muy baja a la cerámica. Pero también aquí las fuerzas de adherencia son, en general, totalmente suficientes desde el punto de vista clínico, puesto que en la cocción de la cerámica se crean capas de interdifusión que a continuación contribuyen a la adherencia. En las aleaciones de metales no preciosos y en el caso del titanio, el material contiene los elementos que forman el óxido. En las aleaciones se trata del Ni y el Cr; a veces se admite también el Si en pequeñas cantidades. En el titanio, el elemento forma por sí mismo el óxido. La formación de la zona de adherencia se representa en la figura 5.

Generalmente, la adherencia entre la cerámica y el metal no supone ningún problema. Para todas las cerámicas con metal disponibles es muy buena y duradera y supera siempre de largo el valor establecido por la norma EN ISO 9693 de 25 MPa<sup>17</sup>. La figura 5 muestra de forma esquemática la realización de la prueba de adherencia según la norma EN ISO 9693. Como punto de fallo se define la fuerza con la que tiene lugar el primer desprendimiento de la cerámica respecto al metal. La tabla 2 muestra a modo de ejemplo las fuerzas de adherencia de algunos tipos de aleaciones (según Schnettger<sup>17</sup> y Nergiz<sup>14</sup>).

## Cerámicas de recubrimiento para armazones de cerámica sin metal

En el caso de las cerámicas de recubrimiento para armazones de cerámica sin metal también es válido que la dilatación térmica de la cerámica de recubrimiento debe ajustarse de forma óptima a la cerámica correspondiente del armazón, para evitar grietas y descascarillamientos y asegurar una buena adherencia. Por este motivo existen cerámicas de recubrimiento especiales para armazones de cerámica sin metal

de óxido de zirconio, óxido de aluminio, reforzados con leucita y disilicato de litio. La figura 1 muestra ejemplos de intervalos de dilatación térmica de algunos materiales para armazones. En este punto hay que mencionar que las cerámicas de óxido de aluminio de infiltración vítrea (InCeram-Alumina) o las cerámicas de óxido de aluminio de infiltración vítrea reforzadas con óxido de zirconio tienen dilataciones térmicas menores que el óxido de aluminio puro. El coeficiente de dilatación térmica lineal está en  $\alpha_{25-500\text{ }^{\circ}\text{C}} = 7,2 - 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , de modo que para ello se necesitan cerámicas de recubrimiento de  $\alpha_{25-500\text{ }^{\circ}\text{C}} = 7,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Con frecuencia es posible emplear una sola cerámica de recubrimiento para diferentes materiales para armazones, como el titanio, el óxido de zirconio, la cerámica reforzada con leucita y la cerámica de disilicato de litio. La adherencia entre la cerámica de recubrimiento y el armazón de cerámica sin metal tiene un anclaje micromecánico, por lo que los armazones de cerámica sin metal no deben ser totalmente lisos sino ligeramente rugosos. En el caso de otros, la cerámica de recubrimiento debe ser apta para irrigar bien la cerámica del armazón, de modo que puedan originarse también enlaces químicos. Sin embargo, hay que mencionar que la adherencia sobre óxido de zirconio puro y no modificado por el cristal no es óptima puesto que siempre se produce un fallo de las restauraciones en la cerámica de recubrimiento (véase para ello el artículo sobre cerámicas sin metal<sup>10</sup>).

## Procesamiento de las cerámicas de recubrimiento

En el marco de este artículo no podemos ni vamos a entrar en detalles sobre el procesamiento, puesto que este tema es muy complejo y específico. En la literatura especializada hay amplios datos e instrucciones que también facilitan especialmente los fabricantes<sup>1,4-7,13,22,23</sup>. Aquí sólo se explicarán algunos aspectos generales básicos. El procesamiento de las cerámicas de recubrimiento sigue realizándose con la técnica de barbotina, que permite una estratificación individual libre de diferentes masas. Los polvos de cerámica suministrados por los fabricantes se emplean para generar una barbotina, donde se mezclan adiciones, como la metilcelulosa o las sales inorgánicas con agua destilada o líquidos acuosos de modelado especiales. Las masas opacas están disponibles frecuentemente en forma de opáqueres en pasta, donde la base de la pasta está hecha

**Tabla 2.** Adherencia entre la cerámica y el metal en MPa para algunos tipos de aleación (según Schmetzger<sup>17</sup> y Nergiz<sup>14</sup>).

Tipo de aleación/ metal	Fuerza de adherencia [MPa]
Aleación con alto contenido en oro	47 a 65
Aleación con reducción de oro	47 a 60
Aleación con base de paladio	49 a 70
Aleación de Ni o Co	41 a 44
Titanio	30 a 35
Valor límite EN ISO 9693	25

de líquidos con un elevado punto de ebullición, como la glicerina. Para el opáquer en pasta, la cocción cuidadosa y lenta de las partes orgánicas juega un papel importante para evitar burbujas o protusiones. La cocción de la parte orgánica debe realizarse naturalmente sin vacío para que se pueda efectuar la transformación de la parte orgánica en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Pero también en el caso de polvos mezclados con agua procesados con barbotina pueden surgir burbujas en caso de compactación insuficiente o calentamiento demasiado rápido. Utilizar una temperatura de cocción adecuada es importante también por otros motivos: si la temperatura de cocción es demasiado baja, las zonas de los bordes de los granos de cerámica se funden sólo en una capa muy fina, de modo que no se sinterizan uno con otro suficientemente y no se obtiene ninguna estructura óptima en cuanto a firmeza. El resultado es una firmeza demasiado débil y una opacidad demasiado fuerte del recubrimiento. Además, existe igualmente el peligro de una adherencia insatisfactoria entre el metal y la cerámica a causa de la falta de flujo de cerámica. Sin embargo, las temperaturas de cocción demasiado altas también tienen un efecto negativo en cuanto al resultado. Los granos de cerámica se funden tan acusadamente que se pierden las modelaciones finas y se obtiene un «redondeado» y una «vitrificación» demasiado marcados en el trabajo. En general se debe seguir el programa de cocción del fabricante. Con los modernos hornos de cocción al vacío programables es fácil conseguirlo.

En la modelación también se debe tener en cuenta que las capas no sean demasiado finas (como mínimo 0,3-0,4 mm). Se deben evitar las puntas y cantos afilados en el armazón. Si no se siguen estas indicaciones pueden aparecer fisuras en la cerámica.

Un problema raro pero que sin embargo surge algunas veces es la denominada «coloración verde», que puede aparecer en cocciones de aleaciones de plata con un contenido de Ag superior al 5%. En la mayoría de los casos, la causa de ello radica en una cámara de cocción contaminada con óxido de plata en el horno de cocción de cerámica. Estas acumulaciones de óxido de plata tienen lugar cuando se cuecen de forma frecuente aleaciones que contienen plata. Una medida preventiva es calentar el horno para cerámica durante 20 min a aproximadamente 100 °C por debajo de su temperatura máxima.

Las cerámicas sin metal de silicato deben tener, naturalmente, más resistencia que las cerámicas de recubrimiento (para obtener más detalles, véase el artículo de cerámicas sin metal<sup>10</sup>). Las posibilidades para aumentar la resistencia del tipo de adherencia radican sobre todo en la formación de estructuras de cristal especiales altamente dispersas. Dicor fue la primera cerámica vítrea con una resistencia más elevada que consiguió el éxito clínico<sup>12</sup> (resistencia a la flexión de aproximadamente 240 MPa, resistencia a la rotura de  $K_{Ic} = 2,1 \text{ Mpam}^{1/2}$ ). Su porcentaje cristalino era de aproximadamente un 65%, donde la fase cristalina tenía fluorflogopita ( $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$ ). En el caso de una cerámica de recubrimiento común, el tamaño de los cristales de fluorflogopita, de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$ , era claramente menor que el de los cristales de leucita, que tenían aproximadamente un tamaño de 20 a 40  $\mu\text{m}$ . El porcentaje de cristal en la cerámica de recubrimiento sólo es de un 25 a un 30% aproximadamente. Sin embargo, Dicor sólo tiene importancia histórica.

Otro camino es el de la cerámica reforzada con leucita, que fue elegida por Optec HSP, Optec OPC e IPS Empress 1<sup>3,12,15,19</sup>. Sobre la leucita, su formación y propiedades ya se

Cerámicas sin metal  
de silicato

ha hablado detalladamente en las cerámicas de recubrimiento<sup>8</sup>. En el caso del refuerzo con leucita también es importante tener un porcentaje de cristal lo más alto posible (aproximadamente del 40 al 55%). Los cristales deben estar distribuidos de manera fina y homogénea en la matriz vítrea y el tamaño de la corona no debe ser superior a 2-3  $\mu\text{m}$ . Cabe mencionar que sólo la leucita con estructura de cristal tetragonal tiene un efecto de refuerzo. Sin embargo, las cerámicas sin metal reforzadas con leucita ofrecen resistencias a la flexión de sólo hasta 240 MPa y resistencias a la rotura de hasta  $K_{Ic} = 1,32 \text{ MPam}^{1/2}$ . Otra manera de conseguir resistencias elevadas y una buena estética es con InCeram-Spinell, una cerámica de espinela infiltrada con vidrio ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) que tiene resistencias a la flexión de aproximadamente 320 MPa. Esta cerámica de espinela, que primero se trabaja con barbotina y tras una primera cocción forma un armazón poroso, se infiltra con vidrio y está indicada para coronas de dientes laterales e inlays. Las espinelas son cristales que tienen una ordenación especial de la estructura reticular para crear una envoltura muy densa. El lector puede consultar la literatura para obtener más detalles<sup>16,20,21</sup>.

En otro frente se imponen, sin embargo, las cerámicas de silicato reforzadas con cristales de disilicato de litio ( $\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ ) (Empress 2). Las piezas moldeadas prefabricadas de esta cerámica tienen un tamaño de 0,5 a 4  $\mu\text{m}$ , cristales de disilicato de litio alargados que, en el proceso de compresión, se transforman en cristales de ortofosfato de litio con un tamaño de 0,5 a 5  $\mu\text{m}$  y disilicato de litio de 0,1 a 0,3  $\mu\text{m}$  ( $\text{Li}_3\text{PO}_4$ ). El disilicato de litio tiene una red cristalina monoclinica y pertenece a los silicatos estratificados mecánicamente muy estables<sup>3</sup>. La tabla 3 muestra la composición principal de Empress 2, que alcanza resistencias a la flexión de hasta 300 MPa. Para obtener más detalles, se puede consultar el artículo del autor sobre cerámicas sin metal<sup>10</sup>.

**Reparación** A causa de los elevados costes que tiene una prótesis recubierta con cerámica, la posibilidad de una reparación intraoral, especialmente cuando se trata de daños más pequeños, juega un papel nada despreciable. Para medidas como éstas existe una gran cantidad de materiales de reparación hechos de composite de relleno plástico fotopolimerizable, donde para la fabricación de la unión entre el metal y el composite o la cerámica y el composite se utilizan diferentes tecnologías de unión. Puesto que estas tecnologías de unión también se aplican mucho en otras indicaciones, se tratarán con más detalle en otro capítulo. Aquí sólo mencionaremos que hay una serie suficiente de procedimientos efectivos (tabla 4) para la reparación cerámica<sup>18</sup>.

**Valoración** Las cerámicas de silicato han demostrado su eficacia como materiales altamente estéticos y resistentes tanto para aleaciones de metales preciosos como para las de no preciosos desde el año 1960 aproximadamente. Desde 1990 se han empleado también para recubrir titanio y aleaciones de titanio con gran éxito. Han cobrado más importancia con la introducción de las cerámicas sin metal modernas con base de óxido de aluminio y óxido de zirconio, puesto que estos materiales necesitan un recubrimiento estético individual. Su durabilidad, procesabilidad, posibilidades estéticas, estabilidad estética y biocompatibilidad satisfacen casi todos los deseos.

Las cerámicas sin metal con base de silicato han alcanzado el punto máximo provisional y probablemente definitivo con las cerámicas de disilicato de litio. Ofrecen resis-

# FUNDAMENTOS MATERIALES

**Tabla 3.** Composición principal de la masa de cerámica comprimida con disilicato de litio Empress 2 (según Brauner<sup>3</sup>)

Óxido	% de masa
SiO <sub>2</sub>	57 a 80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0 a 5
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1 a 6
MgO	0 a 5
ZnO	0 a 8
K <sub>2</sub> O	0 a 13
Li <sub>2</sub> O	11 a 19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0 a 11
Otras adiciones (pigmentos, enturbiantes)	0 a 8

**Tabla 4.** Ejemplos de sistemas de reparación intraoral para cerámicas de recubrimiento (sí = proporcionados o recomendados por el sistema; no = no proporcionados o recomendados por el sistema)

Sistema	Metal-primer	Opáquer	Pretratamiento cerámico	Silano	Adhesivo	Composite
Z 100 Kit	No	Sí	Disco adiamantado al 35% y ácido fosfórico	Sí	Sí	Sí
Command Ultrafine	No	Sí	Ácido fosfórico al 35%	Sí	Sí	Sí
Silistor	No	Sí	Disco adiamantado y disco de corindón	Sí	Sí	Sí
Porcelain Etch	Sí	No	Disco adiamantado y ácido fluorhídrico al 9%	Sí	Sí	Sí
Monobond S Tetric	No	Sí	Disco adiamantado y ácido fosfórico al 32%	Sí	Sí	Sí
All Bond 2 HF	Sí	No	Ácido fluorhídrico al 8%	Sí	Sí	Sí
All Bond 2 PH	Sí	No	Ácido fosfórico al 32%	No	Sí	Sí
Clearfil Porcelain Bonding	Sí	Sí	No	No	No, preparado combinado	Sí
Cojet	No	No	Sí, chorro de arena especial	Sí	No	No

tencia suficiente para las coronas frontales y laterales hasta puentes de tres piezas con muy buenas posibilidades estéticas. En la región lateral, sin embargo, son suplantadas probablemente por el óxido de zirconio, especialmente cuando se requiere una resistencia más elevada (véase para ello el artículo de cerámicas sin metal<sup>10</sup>).

1. Akai J. Formen und Oberflächenstruktur natürlicher Frontzähne. Quintessenz Zahntech 2006;32:996-1009.
2. Bouman P. Moderne Metallkeramikmassen im Überblick. Quintessenz Zahntech 2006;32:964-969.
3. Brauner J. Dissertationsschrift: Klinische Bewertung von Kronen und Brücken aus Lithium-Disilikat-Glaskeramik. Aachen: Medizinische Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2003.
4. Creutzfeld H, Dürr T. Morphologisches Schichten mit der Creutzfeld-Kegeltechnik. Quintessenz Zahntech 2006;32:1064-1068.
5. Gnan C. Weniger ist mehr. Teil 1: Die Gerüstgestaltung. Quintessenz Zahntech 2006;32:1024-1034.
6. Hopp M, Biffar, R. Besonderheiten der keramischen Verblendung von Galvanostrukturen. Quintessenz Zahntech 2006;32:1036-1050.
7. Hopp M, Fischer C, Trilck E, Biffar R. Keramische Verblendung von Titan und Titanlegierungen. Quintessenz Zahntech 2006;32:1070-1084.
8. Janda R. Composite für Verblendungen und Kronen sowie für Kronen und Brückengerüste. Eine Produktübersicht. Quintessenz Zahntech 31;2:120-124.

## Bibliografía

9. Janda R. Gläser, Glaskeramiken und Keramiken. Teil 1: Grundlagen. Quintessenz Zahntech 2006;32:1264-1273.
10. Janda R. Vollkeramiken: Zusammensetzung, Eigenschaften, Anwendung, Wertung. Quintessenz Zahntech 2007;33:46-60.
11. Janda R. Gläser, Glaskeramiken und Keramiken. Teil 2: Grundlagen. Quintessenz Zahntech 2007;33:186-194.
12. Kappert HF. Vollkeramik – Werkstoffkunde – Zahntechnik – klinische Erfahrung. Berlin: Quintessenz, 1998.
13. Kuga M. Verarbeitungsfehler und deren Lösungen in der Metallkeramik. Quintessenz Zahntech 2006;32:972-981.
14. Nergiz I. Meine HC, Niedermeier W. Untersuchung zur Scherverbundfestigkeit von titankeramischen Systemen. Dtsch Zahnärztl Z 1999;54:688-691.
15. Preston J. Perspektiven der Dentalkeramik – Berichte vom Vierten Internationalen Keramik-Symposium. Berlin: Quintessenz, 1989.
16. Salmang H, Scholze H. Keramik. Teil 1: Allgemeine Grundlagen und wichtige Eigenschaften. 6. Auflage. Heidelberg: Springer, 1982.
17. Schnettger A, Zylla IM, Kappert HF. Prüfung der Verbundfestigkeit metall-keramischer Systeme. Quintessenz Zahntech 2006;32:732-738.
18. Schulze-Icking B. Dissertationsschrift: Reparatur abgeplatzter Verblendungen durch intraorale Silikatisierung – eine in-vivo Studie. Aachen: Medizinische Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2001.
19. Shirvandeh NS. Dissertationsschrift: Unterkritisches Risswachstum von Dentalkeramik am Beispiel von Optec OPC. Aachen: Medizinische Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2000.
20. Sieber C, Thiel N. Eine lichteptische Möglichkeit – Spinell/Luminaries. Quintessenz Zahntech 1994;20:1041-1051.
21. Stephan M, Corten A. Der Spinell. Quintessenz Zahntech 2001;27:888-892.
22. Tauber M. Gerüstgestaltung für metallkeramische Restaurationen. Quintessenz Zahntech 2006;32:1052-1061.
23. Yishizawa K. Oberflächenbearbeitung von Gerüsten in der Metallkeramik. Quintessenz Zahntech 2006;32:984-991.

**Correspondencia** Prof. Dr. Ralf Janda, Heinrich-Heine-Universität, Westdeutsche Keiferklinik, Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, Moonenstr. 5, 40225 Düsseldorf, Alemania.  
Correo electrónico: Ralf.Janda@uni-duesseldorf.de