



Fundamentos teóricos de la adhesión

Ralf Janda

En la odontología y la prótesis dental, las técnicas adhesivas revisten una importancia esencial para numerosas y diversas uniones, tales como:

- esmalte dental/dentina con resina
- metal con resina
- cerámica/vidrio con resina
- cerámica/vidrio con cerámica/vidrio
- resina con resina
- metal con metal

Por regla general, se denomina adhesión a la unión inseparable entre dos o más materiales del mismo tipo o distintos (véase arriba) mediante el uso de un agente adhesivo, el cual en general no altera la estructura de los materiales adheridos. La acción del adhesivo se basa por una parte en su adhesión superficial y por otra parte en su resistencia

[Resumen]

También en la odontología y la prótesis dental, las técnicas adhesivas revisten una importancia esencial para numerosas y diversas uniones. En consecuencia, este artículo presenta los fundamentos de los principios de unión esenciales para la prótesis dental y la odontología con el grado de detalle que se corresponde con su interés para la prótesis dental. En este contexto se pone claramente de manifiesto la estrecha imbricación entre los contenidos de trabajo protésicos y odontológicos. Existen básicamente tres tipos de unión que pueden conducir a la adhesión entre dos materiales: la unión mecánica, la química y la adhesiva. A fin de lograr una adhesión eficaz, desempeñan un papel muy importante la configuración geométrica correcta de las superficies de adhesión, así como el tratamiento previo óptimo de dichas superficies.

Palabras clave

Materiales. Técnicas adhesivas. Configuración de superficies de adhesión. Tratamiento previo de la superficie. Unión mecánica. Unión química. Unión adhesiva.

(Quintessenz Zahntech. 2009;35(1):66-76)

Introducción

propia. La adhesión presenta, en comparación con otros métodos de unión, tales como el atornillamiento, el remachado, la soldadura directa e indirecta, una serie de ventajas que pueden formularse como sigue¹:

- Los requisitos planteados a las propiedades físicas de los materiales a unir son a menudo menores que en los demás métodos de unión. Es posible unir materiales que sería imposible unir utilizando por ejemplo métodos térmicos (resina, vidrio, cerámica) o que serían difíciles de trabajar mecánicamente (metales endurecidos, metales sinterizados, vidrio, cerámica).
- Los medios auxiliares de trabajo necesarios suelen ser simples y poco costosos, lo cual es importante para la confección individual y números de unidades reducidos.
- A menudo, las propiedades físicas y químicas de los adhesivos revisten interés por otros motivos aparte de para la unión propiamente dicha. Por ejemplo, pueden aislar eléctricamente las piezas unidas para prevenir así la corrosión por formación de elementos galvánicos, o bien pueden modificarse de tal forma que establezcan una unión conductiva eléctricamente. Así mismo, se pueden amortiguar vibraciones mediante capas adhesivas. Los adhesivos también pueden servir como agentes sellantes, si se escoge su composición química de tal forma que sean estancos a los líquidos o incluso a los gases.
- No es necesario que el ajuste entre las piezas a unir sea muy preciso, dado que las imprecisiones son compensadas por el adhesivo, de manera que normalmente se puede prescindir de un laborioso acabado de las piezas a unir.
- En la adhesión, las piezas se ven sometidas a menores esfuerzos mecánicos o térmicos que en otros métodos de unión, dado que casi no es preciso ejercer presión de apriete. De ahí que apenas se produzca deformación o contracción.
- En las piezas adheridas, la transmisión de la fuerza tiene lugar a través de una superficie más grande, de modo que se evitan las tensiones localizadas en la superficie de unión.

Naturalmente, los adhesivos y las uniones adhesivas también presentan una serie de inconvenientes inherentes, los cuales se manifiestan en mayor o menor medida en función de la utilización prevista. Esto significa que antes de realizar una adhesión es preciso haber esclarecido con gran detalle los requisitos que ésta deberá satisfacer, a fin de evitar fracasos. Algunos de sus inconvenientes son¹:

- La resistencia de las adhesiones de metal, cerámica o vidrio, así como de las adhesiones de materiales compuestos de fibras altamente resistentes, se sitúa con frecuencia muy por debajo de la resistencia propia de los propios materiales adheridos. Por ejemplo, en metales, las resistencias adhesivas se sitúan entre 10 y 40 MPa, frente a una resistencia propia de 200 a 1.000 MPa, de manera que, especialmente en el caso de los metales, las uniones soldadas, remachadas o atornilladas son capaces de resistir cargas sensiblemente superiores a las que pueden soportar las uniones adhesivas.
- A menudo, el éxito de la adhesión requiere un laborioso tratamiento previo de las piezas a adherir. Tampoco se debe superar, ni por exceso ni por defecto, un grosor máximo y mínimo de la junta de adhesión.

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de las uniones adhesivas

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Menores exigencias a las propiedades físicas de los materiales a unir • Permite la unión de materiales que no pueden unirse mediante métodos térmicos o que son difícilmente trabajables mecánicamente • Requiere únicamente elementos auxiliares de trabajo simples • Ideal para números de unidades reducidos o confecciones individuales • Los adhesivos adquieren propiedades aislantes adicionales y evitan la corrosión o establecen una unión conductiva • Los adhesivos pueden servir como sellantes • Las vibraciones son amortiguadas por la capa adhesiva • El adhesivo compensa imprecisiones de ajuste de las piezas a unir • En la adhesión, las piezas se ven sometidas a menores esfuerzos mecánicos o térmicos, dado que apenas se requiere ejercer presión de apriete • Se evitan deformaciones o contracciones 	<ul style="list-style-type: none"> • La resistencia del punto de adhesión se sitúa con frecuencia muy por debajo de la resistencia propia de los materiales adheridos • Las uniones por soldadura directa o indirecta, remaches o tornillos soportan esfuerzos considerablemente mayores • A menudo, una adhesión óptima requiere laboriosos tratamientos previos de las superficies a adherir • No se debe superar, ni por exceso ni por defecto, un grosor máximo y mínimo de la junta de adhesión • Unas diferencias acusadas de los coeficientes de expansión térmica de los materiales adheridos pueden conducir a tensiones de cizallamiento elevadas en la capa de adhesión y por consiguiente a su fatiga e incluso a su fracaso • La resistencia de la adhesión no se mantiene constante a largo plazo, sino que disminuye • La resistencia de la adhesión se ve influida por factores externos (sustancias químicas, humedad, temperatura) • Es muy difícil hacer predicciones sobre el comportamiento a largo plazo de una adhesión

- Si los materiales adheridos poseen coeficientes de expansión térmica distintos, pueden aparecer en la capa adhesiva elevadas tensiones de cizallamiento que pueden provocar la fatiga y posteriormente el fracaso de la adhesión.
- Por regla general, la resistencia de las adhesiones no permanece constante a lo largo de un tiempo prolongado, sino que disminuye continuamente. La magnitud y la velocidad de esta disminución dependen tanto del tipo de esfuerzo como de influencias ambientales, tales como temperatura, acción de sustancias químicas o de la humedad, agresión bacteriana, carga UC, etc. Es difícil hacer predicciones sobre el comportamiento a largo plazo.

Las ventajas y los inconvenientes de las uniones adhesivas se recogen sinópticamente en la tabla 1. Por medio de constantes innovaciones, se está tratando de eliminar o cuando menos atenuar los mencionados inconvenientes, dado que las técnicas de unión tradicionales no pueden aplicarse o resultan insatisfactorias en muchos casos, de modo que a menudo la adhesión constituye la única alternativa.

Fundamentos teóricos de la adhesión

La unión entre un adhesivo y un sustrato puede basarse en mecanismos de enlace esencialmente distintos:

- mecánicamente: macrorretenciones, microrretenciones
- químicamente: enlace atómico, enlace iónico, enlace metálico, enlaces covalentes (van-der-Waals, puentes de hidrógeno)
- adhesivamente: combinación no específica de enlaces mecánico y químico

En sistemas adhesivos o de unión, las transiciones entre estos mecanismos de adhesión son fluidas, de tal manera que no es posible una diferenciación clara en cada caso concreto. No obstante, normalmente predomina uno de los tipos de enlace.

Para que los adhesivos alcancen una buena adhesión, deben poder entrar en estrecho contacto con las superficies a adherir. El proceso que conduce al establecimiento de este contacto molecular estrecho se denomina humectación. La predisposición de una superficie a dejarse humectar se denomina humectabilidad. Una medida de la humectabilidad de una superficie por un líquido o adhesivo es el denominado ángulo marginal o de contacto, el cual se forma entre ambas superficies (fig. 1). Cuanto menor sea el ángulo de contacto, esto es, cuanto menos pronunciada sea la forma de gota, tanto mejor humectará el adhesivo la superficie del sustrato. La humectación es óptima si el ángulo de contacto es de 0° ; en este caso, el adhesivo forma una capa uniforme cuasi monomolecular sobre la superficie del sustrato. La condición esencial para una buena humectación es que la denominada tensión superficial (también denominada a menudo energía superficial) del adhesivo sea menor o cuando menos igual a la de la superficie a humectar. De ahí que sea más fácil adherir sólidos

con energías superficiales elevadas o medias, como metales, cerámica, vidrio o madera, que resinas cuyas energías superficiales a menudo son incluso menores que las de los adhesivos. Esto es aplicable sobre todo al politetrafluoretileno (teflón), siendo éste el motivo de que este material sea prácticamente imposible de adherir. La tabla 2 muestra a modo de ejemplo las energías superficiales de algunos materiales y grupos de materiales.

Tabla 2. Energías superficiales de algunos materiales

Material	Energía superficial [dyn cm ⁻¹]
Materiales sintéticos	18-50
Metales	600-2.000
Materiales naturales (celulosa)	200
Superficies dentales	60-80

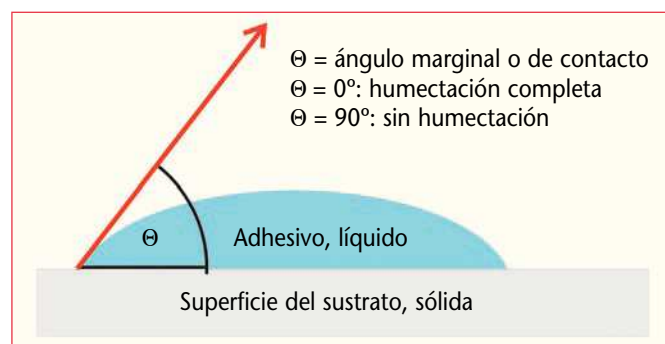


Fig. 1. Ángulo marginal o de contacto.

Las circunstancias aquí expuestas explican por qué cabe atribuir tanta importancia al tratamiento previo de las superficies a adherir. Mediante un proceso de tratamiento previo adecuado se exponen las superficies del sustrato a nivel molecular, siendo éste un paso necesario para posibilitar el contacto íntimo con el adhesivo. Una buena humectación es un requisito importante para el éxito de todos los tipos de unión mencionados. Seguramente esto resulta inmediatamente evidente para las uniones química y adhesiva, pero no necesariamente para la mecánica. Pero también ésta sólo puede funcionar de forma óptima si el adhesivo y la superficie del sustrato presentan un estrecho contacto y las inclusiones de aire o los componentes sueltos no pueden ejercer influencias debilitantes. Esto debe tenerse en cuenta especialmente en la unión micromecánica.

El tratamiento previo de las superficies de adhesión reviste una importancia especial¹. En primer lugar es preciso procurar que las superficies de adhesión discurren lo más paralelas posible entre sí, a fin de garantizar una junta de adhesión de grosor uniforme. El principal cometido del tratamiento previo de las superficies a adherir consiste en «activarlas», a fin de posibilitar una adhesión óptima del adhesivo. Esta activación sirve para lograr la mejor humectación posible de las superficies de adhesión por parte del adhesivo^{1,3}, para que puedan generarse fuerzas adhesivas. Es un requisito para una buena humectación eliminar exhaustivamente en primer lugar los agentes separadores adheridos al sustrato, tales como aceites, grasas o siliconas, así como impurezas sueltas que pudieran estar presentes. Para el desengrasado y la limpieza pueden utilizarse disolventes orgánicos (acetona, alcohol) o bien vapor caliente (chorro de vapor). También pueden emplearse métodos mecánicos, tales como el arenado o la rugosificación mediante fresas abrasivas.

Además del desengrasado y la limpieza, con frecuencia se utilizan métodos de tratamiento previo químicos y físicos adicionales. Los métodos químicos suelen consistir en el grabado ácido o el decapado con ácidos o lejías. El efecto de estos tratamientos previos químicos consiste en una combinación de rugosificación submicroscópica (aumento de la superficie efectiva), eliminación o creación de capas de óxido en metales o creación de imperfecciones reticulares. Los tratamientos superficiales físicos (aplicación de llama de mezclas de gases especiales, tratamientos con plasma, descargas de corona, arenado con abrasivos especiales) crean capas superficiales especiales o alteraciones superficiales. Tampoco debe quedar una humedad residual excesiva sobre las superficies tratadas, dado que esto puede conducir a una mala humectabilidad, así que también es necesario un buen secado. Especialmente en el tratamiento superficial de metales no nobles, es preciso procurar que no se formen capas de óxido sueltas, demasiado densas o demasiado gruesas, las cuales podrían estorbar la adhesión.

La adhesión de resinas es inherentemente más problemática que la de otros materiales, motivo por el cual a menudo requieren también tratamientos superficiales previos (véase arriba). Sin embargo, muchas resinas pueden adherirse sin problemas tras la limpieza de la superficie, sin mayores tratamientos previos. Otras son atacadas (disueltas) por los disolventes o por el propio adhesivo. Esto no es necesariamente desfavorable, dado que de este modo puede alcanzarse una activación que en deter-

Tratamiento previo
de las superficies
de adhesión

minadas circunstancias conduce a la reticulación física entre el adhesivo y la resina. Así, en términos generales puede decirse que los materiales sintéticos que poseen una buena solubilidad, como el poliisobutileno, el poliestireno, el polivinilcloruro o el polimetilmetacrilato, son fácilmente adheribles, mientras que aquellos que poseen una mala solubilidad, tales como el polietileno, el polipropileno, la poliamida o el politetrafluoretileno, son difícilmente o incluso muy difícilmente adheribles. Por ejemplo, si se tratan superficies de poliacetal con metilmetacrilato, se incrementa la resistencia adhesiva desde aproximadamente 2 MPa hasta 6 a 10 MPa. No obstante, en el caso de materiales sintéticos con buena solubilidad debe procurarse que ni disolventes ni adhesivo entren en contacto con superficies que no se desee adherir, dado que de lo contrario éstas sufrirían daños.

Todas las medidas mencionadas conducen a la exposición de puntos de adhesión ricos en energía. El tratamiento superficial adecuado para un problema de adhesión concreto depende del tipo de los sustratos a unir adhesivamente. También para la odontología y la prótesis dental se han desarrollado tales métodos especiales, los cuales se mostrarán más adelante. Sin embargo, por regla general debería tenerse siempre en cuenta que, hasta el proceso de adhesión, las superficies pretratadas deben ser protegidas de forma extremadamente cuidadosa contra la contaminación (polvo, grasa, humedad, etc.). La adhesión debería tener lugar siempre inmediatamente después del tratamiento de la superficie.

Unión mecánica (macrorretenciones, microrretenciones)

La unión mecánica reviste una importancia esencial para todos los problemas de unión, y naturalmente en las aplicaciones odontológicas. Se basa principalmente en un anclaje o reticulación físicos entre el adhesivo y el sustrato, cuyo fundamento lo constituyen puntos de microanclaje que llegan hasta anclajes a nivel molecular. Los macroanclajes (macrorretenciones), apreciables a simple vista, pueden aparecer como formas positivas, tales como perlas, redes o barras; como formas negativas, tales como entalladuras y concavidades retentivas, o bien como perforaciones continuas (fig. 2).

También pueden aparecer combinaciones de formas positivas y negativas. Tales combinaciones se encuentran con frecuencia en trabajos protésicos cuando se recubren con resina estructuras metálicas; aquí se utilizan, además de perlas, entalladuras obtenidas mediante arenado. Los microanclajes (microrretenciones) sólo son visibles al microscopio o incluso al microscopio electrónico de barrido (p. ej. el patrón de grabado del esmalte creado mediante grabado con ácido fosfórico o bien rugosidades en superficies metálicas debido al arenado). Estas microrretenciones se obtienen mediante arenado, rugosificación, grabado ácido o decapado (ácidos, bases) o bien mediante procesos electroquímicos. Algunos materiales, como madera, papel o cartón, poseen en virtud de su estructura porosa microanclajes naturales en los que puede penetrar el adhesivo. Naturalmente, tanto la forma como el diámetro de los poros creados son importantes para la magnitud de la resistencia de la unión obtenida mediante microanclajes. La figura 3 muestra esquemáticamente las tres formas de poro posibles, siendo posible apreciar claramente que con la forma c se alcanzan las mejores resistencias adhesivas.

La unión mecánica a nivel molecular constituye un caso especial. Algunos materiales sintéticos, como ya se ha explicado en apartados anteriores, son fácilmente solubles

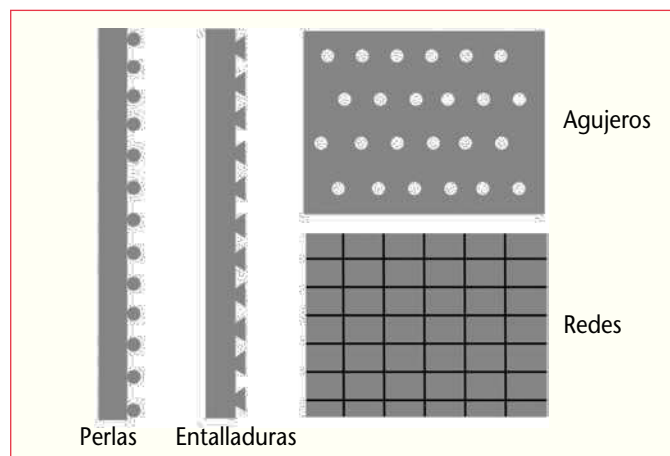


Fig. 2. Ejemplos de macroanclajes.

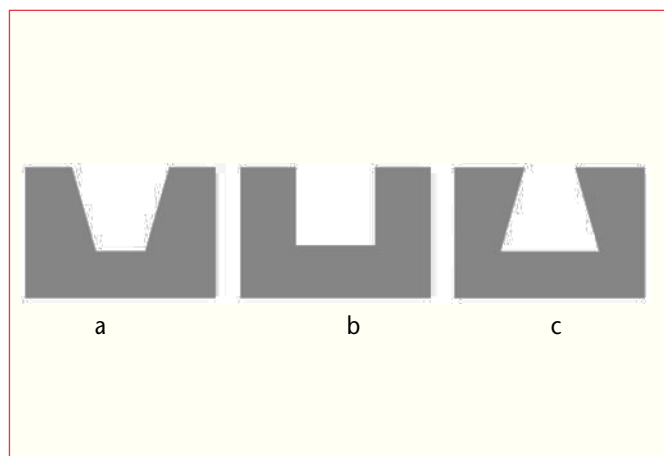


Fig. 3. Las formas de los poros.

mediante disolventes (p. ej. el polimetilmetacrilato con acetona), lo cual conduce a un ablandamiento de la superficie y por ende a un aflojamiento de las moléculas filiformes polímeras. Si se presionan uno contra otro dos de estos materiales sintéticos con sus superficies disueltas, las cadenas polímeras de las piezas a unir se aovillan firmemente entre sí tras la evaporación del disolvente. De este modo se produce una intensa reticulación física, y por consiguiente una unión muy firme de ambas piezas (fig. 4).

También es posible conseguir la unión mediante enlaces químicos. Existen diversos tipos de enlaces químicos que pueden contribuir a una unión. La tabla 3 muestra las energías de enlace de algunos tipos de enlace químicos. Una unión mediante enlaces atómicos (enlaces covalentes) sería ideal, dado que es enormemente firme, puesto que los enlaces atómicos poseen energías de enlace hasta diez veces superiores a los enlaces covalentes (enlaces van-der-Waals [dipolo-dipolo] y enlaces por puentes de hidrógeno). Sin embargo, sólo pueden establecerse enlaces covalentes entre el adhesivo y

Unión química

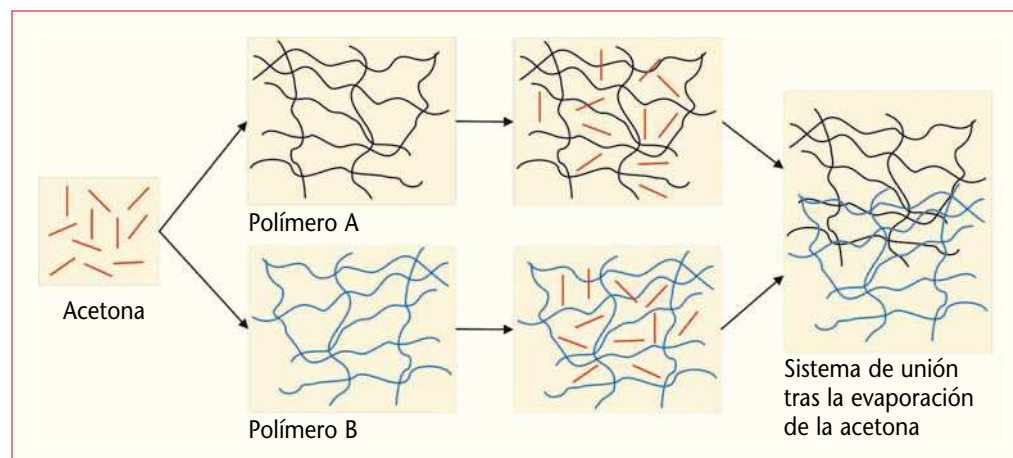


Fig. 4. Representación esquemática de la unión a resina con acetona.

Tabla 3. Energías de enlace de algunos enlaces atómicos, iónicos y covalentes

Tipo de enlace	Energía de enlace [kJ mol ⁻¹]
Enlace atómico	
C-C	347
C-S	237
C=O	754
C-N	325
Enlace covalente	
van-der-Waals	8,5-17
Puentes de hidrógeno	17-50

mucho más potentes todavía. Así, por ejemplo, el cristal de sal común posee una energía reticular de aproximadamente 766 kJ mol⁻¹ y la del Al₂O₃ alcanza incluso aproximadamente 15.100 kJ mol⁻¹. Sin embargo, sólo pueden aparecer enlaces covalentes si se da un orden molecular a corta distancia favorecido energéticamente entre el adhesivo y la superficie del sustrato. Llegados a este punto se pone de manifiesto lo importantes que son la humectación y la humectabilidad, así como el tratamiento adecuado de la superficie, para que puedan formarse tales órdenes moleculares de corto alcance.

la superficie del sustrato si ambas partes poseen grupos reactivos. Un ejemplo de ello es la silanización de materiales de relleno inorgánicos con metacril-silanos, los cuales son capaces de polimerización. Esta situación se describe en un apartado posterior. Las energías reticulares de los cristales de sal constituyen energías de enlace

Unión adhesiva

Sin duda, la forma de unión que se encuentra con más frecuencia es la unión adhesiva. Este concepto engloba una combinación, es decir, una interacción de distintos tipos de unión que actúan uniendo materia a superficies interfaciales. Se trata sobre todo de los ya mencionados enlaces covalentes, así como de anclajes micromecánicos. Teniendo en cuenta que no existe ninguna superficie idealmente plana y carente de estructura, es inmediatamente deducible que también la unión por microanclajes forma parte de la unión adhesiva. Naturalmente, también es posible la aparición de porciones de enlace covalentes o iónicas.

Un requisito esencial para que puedan generarse fuerzas adhesivas es que exista un orden a corta distancia favorecido energéticamente entre el adhesivo y la superficie del sustrato, es decir, el adhesivo debe humectar bien el sustrato. Por lo general, en las uniones establecidas mediante un adhesivo pueden diferenciarse cinco zonas (fig. 5):

- Los sólidos a unir (sustratos) propiamente dichos, cuyas estructuras y composición química deben ser conocidas.
- Las zonas de los sólidos a unir próximas a la superficie interfacial. Para estas zonas es importante la estructura de las superficies de los sólidos en función del tipo y la duración de su tratamiento previo, así como del tiempo transcurrido entre el tratamiento previo y la humectación con el adhesivo.
- Para las superficies interfaciales con los sustratos deben tenerse en cuenta sus energías superficiales, las cuales deben ser menores que la tensión superficial del adhesivo.

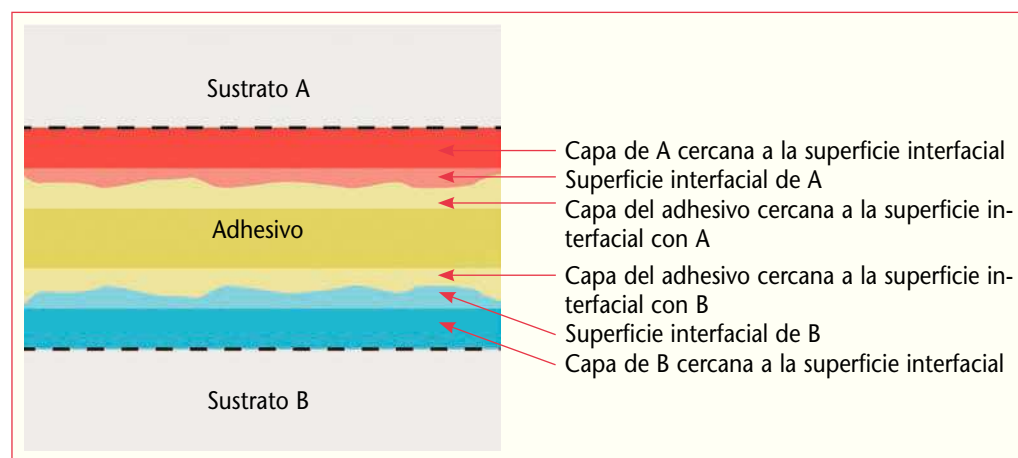


Fig. 5. Las zonas de superficie interfacial.

- Las capas del adhesivo cercanas a la superficie interfacial con los sustratos son responsables de una buena humectación de las superficies de los sustratos. Su tensión superficial debe ser inferior a las energías superficiales de los sustratos.
- La capa adhesiva propiamente dicha debe poseer una resistencia propia lo suficientemente elevada como para conferir a la unión la estabilidad deseada.

Esta descripción, la cual se refiere únicamente al comportamiento estático de una unión adhesiva sometida a un esfuerzo normal, pone de manifiesto la complejidad de un sistema de unión. Sin embargo, en este artículo no se consideran esfuerzos dinámicos, térmicos o de otro tipo (p. ej. influencia de sustancias químicas), los cuales añaden aún mayor complejidad a la situación global.

La silanización es un proceso esencial para unir químicamente sólidos inorgánicos a materiales sintéticos^{1-3,8}. En principio, es posible silanizar todos aquellos sólidos inorgánicos, independientemente de la forma en que aparezcan (macizos, fragmentos, bolas, plaquetas, polvo, etc.), que presenten en su superficie grupos hidroxilos. He aquí algunos ejemplos de materiales inorgánicos silanizables:

Silanos, silanización

- vidrios de todo tipo
- ácidos silícicos naturales y sintéticos, tales como: arena, cuarzo, tierra de diatomeas, nanopartículas de SiO_2 , etc.
- cerámicas
- óxidos metálicos
- minerales como: caolín, mica, feldespato, volastonita, etc.

Se entiende por silanización el tratamiento de la superficie de los materiales inorgánicos mediante silanos especiales. Dichos silanos poseen carácter híbrido, es decir, contienen porciones moleculares tanto orgánicas como inorgánicas, de tal modo que la porción molecular inorgánica, un grupo de Si-OH , reacciona con la superficie del material inorgánico y con las porciones polimerizables de la resina o del composite. Existen numerosos silanos

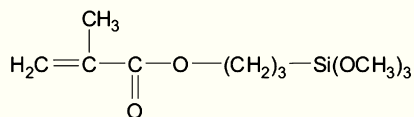
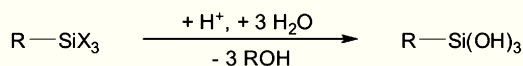


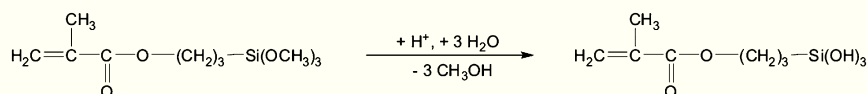
Fig. 6. 3-metacrililoiloxipropiltrimetoxisilano.

Fig. 7. La hidrólisis del silano para transformarse en silanol.

Hidrólisis del silano
a general



b especial



distintos para diferentes fines y resinas de matriz¹. La silanización asume básicamente tres cometidos importantes:

- unión entre el material inorgánico y la resina/el composite
- hidrofobización de la superficie inorgánica
- humectación óptima de la superficie inorgánica con la resina/el composite (debido a la hidrofobización)

En el caso del silano utilizado, que es un integrante esencial de la práctica totalidad de los sistemas adhesivos para la unión metal-resina, cerámica-resina o resina-resina^{1-3,7-9}, se trata casi siempre de 3-metacrililoiloxipropiltrimetoxisilano (fig. 6).

En un primer paso se transforma el silano en silanol (fig. 7); esta reacción puede tener lugar directamente en la superficie del material a silanizar o en una solución ácida de un disolvente orgánico. En la práctica, estos preparados de silano se ofrecen como materiales monocomponente o bicomponente. El silanol forma sobre la superficie inorgánica un recubrimiento uniforme de aproximadamente 5 a 20 nm de grosor. Mediante influencias catalíticas o mediante tratamiento térmico se disocia agua y se forman puentes de oxígeno covalentes, así como enlaces por puente de hidrógeno entre el silanol y la superficie inorgánica. De esta manera, el silano está unido químicamente al material de relleno y a la superficie del material. La superficie ha adquirido un carácter hidrófobo orgánico y los grupos de metacrilato libres pueden polimerizar entonces con los monómeros de la resina de matriz. Por medio de este proceso, el material inorgánico está unido químicamente a la matriz de resina por un puente de silano (fig. 8). El efecto de hidrofobización queda perfectamente ilustrado por la figura 9, la cual muestra el denominado ensayo de flotación. El material inorgánico bien silanizado flota sobre la superficie del agua, esto es, la superficie ya no puede ser humectada con agua.

El proceso de silanización constituye la base de casi todas las técnicas adhesivas odontológicas en las que se utilizan resinas o composites, de ahí que se haya descrito con tanto detalle en este artículo.

Configuración geométrica de las superficies de adhesión

La configuración y la medición correctas de las superficies de adhesión, adecuadas a la aplicación concreta, revisten una considerable importancia para la durabilidad de la adhesión. Por regla general, los fracasos son atribuibles a errores cometidos ya

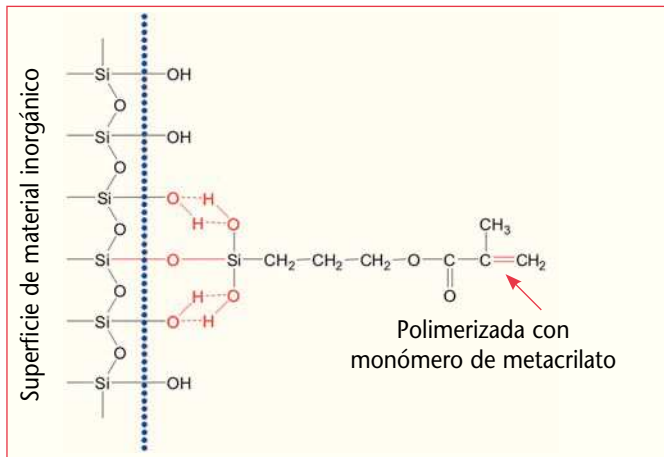


Fig. 8. La unión química del silano a una superficie inorgánica mediante enlaces covalentes y enlaces por puentes de hidrógeno.

Fig. 9. Material inorgánico silanizado (en este caso un material de relleno vítreo) en el ensayo de flotación.

durante esta fase, y no a una calidad deficiente del adhesivo. Mediante la geometría correcta se satisfacen diversos requisitos a la unión adhesiva¹. Dichos requisitos son:

- a) una superficie lo suficientemente grande que pueda ser cubierta por una capa de adhesivo ininterrumpida de grosor uniforme y que sea capaz de transmitir sin fracasar las fuerzas que incidan;
- b) una transmisión de fuerza que tenga lugar de tal manera que sólo aparezcan en la capa de adhesión tensiones de tracción y de compresión, pero no tensiones de compresión puras;
- c) una configuración de los puntos de adhesión de las piezas a unir que proporcione además un arrastre de forma que apoye la adhesión.

Especialmente los requisitos del punto b sólo pueden satisfacerse parcialmente, dado que por lo general las partes adheridas se deforman al ser sometidas a esfuerzo, pudiendo aparecer también esfuerzos de otro tipo.

La figura 10 muestra una serie de disposiciones geométricas distintas para la configuración de superficies de adhesión. La adhesión roma (fig. 10a) es muy desfavorable. Es demasiado pequeña e inadecuada, dado que está sometida a esfuerzo de tracción y, al doblarse, de peladura. Sólo puede considerarse si la superficie es lo suficientemente grande y en caso de esfuerzo puramente de tracción. La adhesión de solapamiento sencillo (fig. 10b) es la más frecuente, ya que también es muy fácil de implementar. En este tipo de adhesión, las piezas a unir deberían tener la misma forma. Sin embargo, bajo carga aparecen también esfuerzos de peladura en los márgenes del adhesivo, lo cual es desfavorable. Si bien las demás formas mostradas en la figura 10 son claramente mejores, también son mucho más laboriosas. De ahí que sólo deban considerarse para adhesiones de muy alta calidad.

1. Janda R. Kunststoffverbundsysteme. Grundlagen, Anwendung, Verarbeitung, Prüfung. Monographie mit 316 Seiten. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, 1990.
2. Janda R. Vollkeramiken: Klassifikation, Eigenschaften, Anwendung, Wertung. Der Freie Zahnarzt (DFZ) 2006;50:36-42.

Bibliografía

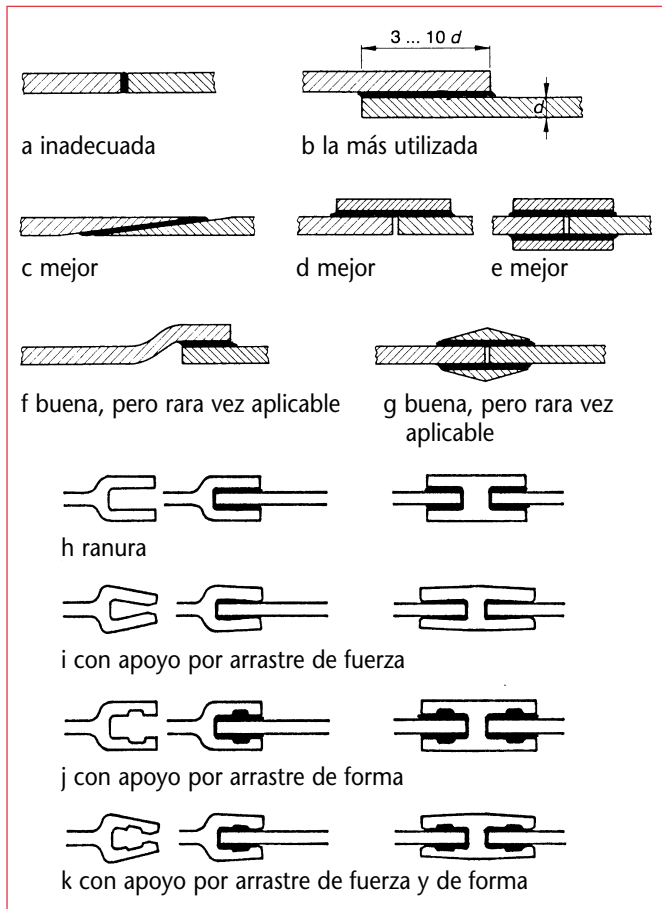
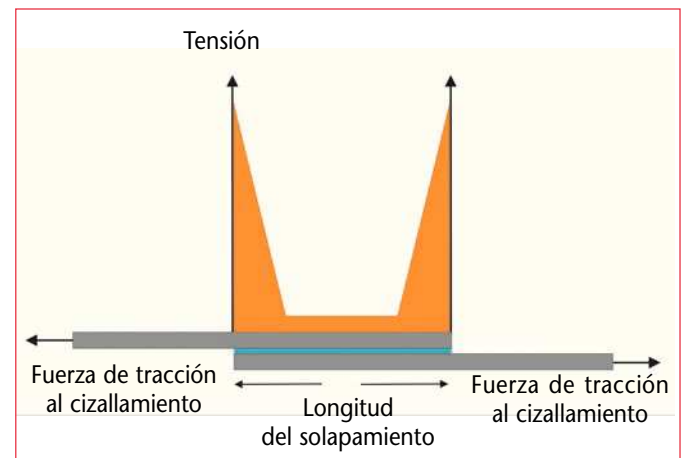


Fig. 10. Posibilidades de configuración geométrica de las superficies de adhesión.

Fig. 11. La distribución de la tensión en una adhesión de solapamiento sencillo.



- Janda R. Vollkeramiken: Zusammensetzung, Eigenschaften, Anwendung, Wertung. Quintessenz Zahntech 2007;33:46-60.
- Janda R. Organische Polymere: Chemie und Physik, Teil 1. Quintessenz Zahntech 2008;34:190-204.
- Janda R. Organische Polymere: Chemie und Physik, Teil 2. Quintessenz Zahntech 2008;34:460-473.
- Janda R. Organische Polymere: Chemie und Physik, Teil 3. Quintessenz Zahntech 2008;34:584-594.
- Janda R, Roulet JF, Wulf M, Tiller HJ. A new adhesive technology for all-ceramics. Dent Mater 2003;19:567-73.
- Roulet JF, Janda R. Keramiksysteme der Zukunft. Quintessenz Zahntech 2004;30:986-1006.
- Rüttermann S, Fries L, Raab WHM, Janda R. The effect of different bonding technologies on ceramic / resin shear bond strength. J Adhes Dent 2008;10:197-203.

Correspondencia

Prof. Dr. Ralf Janda.

Heinrich-Heine-Universität, Westdeutsche Kieferklinik, Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde.

Moorenstrasse 5, 40225 Düsseldorf, Alemania.

Correo electrónico: ralf.janda@uni-duesseldorf.de