

Stoneware Glazes

por Frank Hamer

Parte 1. Una explicación con un ejemplo típico

Un vidriado es una capa de vidrio sobre un cuerpo de cerámica. Este vidrio se origina a partir de materiales constituyentes en forma de polvo. En el proceso de cocción, los materiales se fusionan y producen un vidrio líquido. Al enfriarse, este líquido se solidifica en un vidrio duro y no se separa en sus componentes originales. Para que los materiales constituyentes puedan producir un vidrio, debe estar presente uno o más óxidos formadores de vidrio en cantidad suficiente.

Las materias primas de las que se componen los vidriados son cristalinas, y los óxidos formadores de vidrio también. Parecen como cristales blancos o polvo blanco porque la luz se refleja en las facetas de los cristales. Si se someten a suficiente calor, los cristales del formador de vidrio se funden hasta convertirse en un líquido transparente. Si se deja enfriar durante un largo período de meses o años, el líquido se recristaliza cuando vuelve al estado sólido. Pero si el líquido se enfría rápidamente, durante un período de horas o, como máximo, unos días, entonces no hay tiempo suficiente para que los cristales se formen. El estado líquido pasa al estado sólido sin recristalización. El estado sólido posee entonces la propiedad transparente del estado líquido y es un vidrio. Por esta razón, los vidrios y vidriados se conocen técnicamente como líquidos super-enfriados. Son pocos los óxidos que tienen la propiedad descrita y se denominan formadores de vidrio. La mayoría de los óxidos se recristalizan.

El óxido formador de vidrio más importante es el dióxido de silicio, normalmente llamado sílice. En cualquier vidriado de gres, la cantidad de sílice es, con mucho, la mayor de todos los óxidos constituyentes. Los otros óxidos, que no son vítreos, se denominan óxidos modificadores porque modifican las propiedades de la sílice. Una propiedad que debe modificarse es el punto de fusión. La sílice sola se fundirá a 1710 ° C. Esto está muy por encima del rango habitual del gres entre 1200° y 1300 ° C, por lo que una función importante de los óxidos modificadores es hacer la sílice se funda dentro del rango del gres. Los óxidos que pueden hacer esto se conocen como fundentes y ejemplos notables son los óxidos de potasio, sodio, calcio y magnesio.

Un vidriado típico

Vamos a apoyarnos en un ejemplo de vidriado transparente para gres a 1250°C.

Pedral	15
Caolín	15
Pegmatita	50
Caliza	20

En este vidriado, el pedernal (95% de sílice) y el caolín (47% de sílice) suministran principalmente formador de vidrio al esmalte. La caliza es el fundente principal. La pegmatita (70% de sílice) es una combinación de fundente y formador de vidrio. Durante la cocción, el conjunto se convierte en una combinación activa de fundente y

formador de vidrio, lo que da como resultado un líquido que forma un vidrio transparente al enfriarse. Hay tanto formador de vidrio presente que envuelve los óxidos modificadores y evita que formen cristales al enfriarse.

Este esmalte requiere una atmósfera oxidante en las primeras etapas de la cocción, al menos hasta los 1100° C. Esto ayuda a la descomposición de la caliza y la pegmatita. Una corriente de aire limpio se lleva los gases de la descomposición rápidamente, de modo que cuando el esmalte se derrite, no hay gases no deseados que burbujeen en el vidriado.

Por encima de 1100° C, el vidriado puede oxidarse o reducirse. El color del resultado final vendrá del color del cuerpo bajo el esmalte. El vidriado se puede teñir añadiendo hasta un 2% de óxido de cobalto para el azul, hasta un 5% de óxido de cobre para el verde, hasta un 15% de óxido de hierro para un marrón cálido y hasta un 15% de óxido de manganeso para un marrón tirando al púrpura. Para la reducción son adecuados el hierro y el cobalto, pero el esmalte no es lo suficientemente fluido para dar buenos resultados con óxido de cobre reducido. Para la oxidación los óxidos de cobalto, cobre y manganeso dan buenos resultados y combinaciones. En la mayoría de los casos, el óxido de manganeso da resultados más interesantes que el óxido de hierro en los vidriados de gres en oxidación. El óxido de hierro consigue los resultados más emocionantes y fructíferos en reducción.

Cambiar el color sin variar la temperatura

Estos óxidos colorantes también actúan como fundentes. A medida que se agregan estos óxidos, en teoría, se debe eliminar parte del otro fundente (caliza) para mantener el vidriado en equilibrio. Para ser estrictamente exactos, las cantidades para sustituir una por otra deben calcularse utilizando la fórmula Seger del vidriado, pero empíricamente, una sustitución de peso por peso es válida en este caso. Este equilibrio del vidriado es posible si se trabaja a partir de una receta cada vez, pero si se agrega color a un vidriado ya mezclado, es imposible. Afortunadamente, esta receta es lo que se llama un *vidriado de naturaleza sencilla*. Es posible añadir óxidos colorantes como extra sin alterar demasiado el equilibrio. Cabe señalar que esta forma sencilla no es posible con todos los esmaltes. Un vidriado afable a menudo puede reconocerse por su receta. Si la receta porcentual está en cantidades bastante grandes de unos pocos minerales comunes, es probable que sea más fácil de agregar el colorante que un vidriado que en principio está equilibrado con una cantidad muy pequeña de uno de sus componentes.

Cambiar la temperatura de cocción

Al agregar óxidos colorantes, estamos aumentando la cantidad de fundente en el vidriado. Esto significa que probablemente estará completamente fundido a una temperatura inferior a 1250° C. En el momento en que el horno haya alcanzado los 1250° C, el esmalte estará más líquido de lo estrictamente necesario y si el esmalte se aplica demasiado espeso puede escurrirse por la pieza y pegarse a la placa del horno. La regla normal es que si el esmalte se funde a una temperatura más baja, será necesario más fundente. Si el esmalte se lleva a una temperatura más alta, entonces se necesita menos fundente.

El corolario de esto es, obviamente, que cualquier equilibrio del esmalte también podría realizarse con el contenido de sílice. Si el esmalte funde demasiado a una temperatura determinada, la adición de más sílice detendrá esta fusión excesiva.

Por último, muchos principiantes no se dan cuenta de lo crítica que puede ser la temperatura para algunos esmaltes. Todos los hornos tienen alguna variación de temperatura dentro de la cámara, lo que puede causar diferentes resultados de sobre o infracocción. La mayoría de los ceramistas son conscientes de esta variación y colocan sus vasijas y vidriados en consecuencia. El vidriado ejemplo tiene un rango de temperatura razonablemente amplio sobre el que da resultados satisfactorios. A 1240° C ha fundido lo suficiente para ser aceptable, pero puede disminuir en brillo y transparencia. A 1280° C se ha fundido demasiado y parece demasiado brillante. Por encima de 1280° C, da un brillo enfermizo como una manzana toffee líquida con resultados igualmente pegajosos.

Parte 2. Una definición y sugerencias para desarrollar el vidriado

Una definición para vidriado de gres es, aquel que cubre y madura con un cuerpo de cerámica denso. El énfasis en esta definición no está en la temperatura o en los materiales del vidriado, sino en el cuerpo cerámico. Por lo tanto, primero explicaré más sobre el cuerpo: la definición debe quedar clara.

Un cuerpo cerámico está compuesto por sustancias químicas similares a las del esmalte pero en diferentes proporciones. Aun así, más de la mitad del cuerpo es sílice: el óxido formador de vidrio. Durante la cocción, parte de esta sílice del cuerpo se funde y llena los poros, dejándolo impermeable, es decir, denso. La fusión de la sílice en el cuerpo comienza antes en la cocción que la fusión de la sílice en el vidriado. Esto se debe a que los fundentes del cuerpo cerámico actúan a una temperatura más baja que la caliza contenida en el vidriado de ejemplo que estamos considerando.

En consecuencia, la fusión del cuerpo en las proximidades del esmalte inicia la fusión del vidriado. Más tarde, este ya completamente fundido vuelve a empaparse en el cuerpo, lo que provoca una fusión adicional del cuerpo en esta zona. Tiene lugar un intercambio en el que el cuerpo le da algo al vidriado y el vidriado le da algo al cuerpo. Ese algo que le da el cuerpo al vidriado es una parte inseparable de su calidad, que podría ser un efecto de escarcha por cristalizaciones, un brillo característico, una textura entre ambas y, por lo general, un color de aspecto heterogéneo. El color permanece parcialmente disuelto en el esmalte y parcialmente rodeando los cristales que crecen desde el cuerpo cerámico. ¡Un vidriado que da idénticos resultados sobre cualquier pasta que cubra no es un verdadero esmalte de gres!

Con el gres es imposible decir exactamente dónde termina el vidriado y comienza la pasta porque uno se fusiona con el otro. Esta capa de cuerpo y vidriado, que llamaremos *interfase*, solo puede desarrollarse completamente cuando el cuerpo y el esmalte maduran juntos. Esto suele ocurrir por encima de 1150° C, pero la temperatura no es

realmente un factor en la definición. La capa se puede ver en una sección rota de una pieza de gres a través de una buena lupa.

La ilustración muestra, en forma de diagrama, las etapas del desarrollo de una interfase entre el cuerpo y el vidriado.

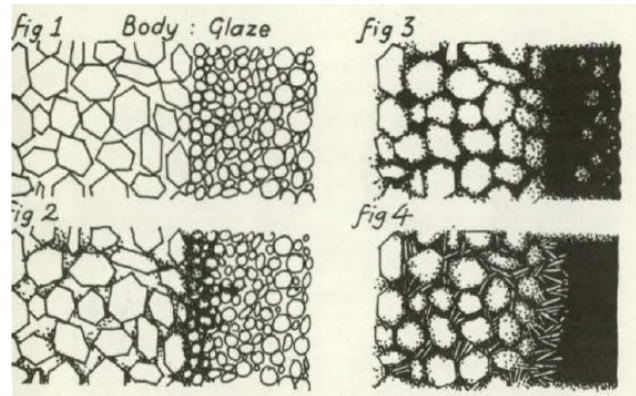


Fig. 1 Antes de la cocción. El cuerpo es poroso y el vidriado es una masa de polvo no adherido.

Fig. 2 Durante las primeras etapas de la cocción. La fusión comienza en el cuerpo y se extiende al esmalte.

Fig. 3 Durante las últimas etapas de la cocción. El cuerpo se encoge y los poros se llenan de vidrio: el vidriado se funde a un líquido y se fusiona con parte del cuerpo.

Fig. 4 Durante el enfriamiento. Los cristales crecen dentro del cuerpo y en la interfase cuerpo-vidriado.

Este vidriado que tenemos como ejemplo es transparente a 1250° C.

Pedernal	15
Caolín	15
Pegmatita	50
Caliza	20

El pedernal proporciona sílice, el óxido que forma el vidrio pero tiene un alto punto de fusión. Por tanto, un aumento en la cantidad de pedernal elevaría la temperatura de fusión de todo el esmalte. Una disminución reduciría la temperatura de fusión y también reduciría la proporción total de sílice en el esmalte. Esto se notará como una pérdida de vidriosidad o brillo. El esmalte también sería menos duro físicamente y se rayaría más fácilmente.

El caolín proporciona sílice y alúmina en una proporción de 2: 1. Tanto la sílice como la alúmina tienen altos puntos de fusión. De hecho, el caolín tiene un punto de fusión más alto (es más refractario) que el pedernal. Su acción en el esmalte es, por tanto, similar a la del pedernal en que un aumento en la cantidad eleva la temperatura de fusión y viceversa, pero el efecto visual sobre el esmalte es diferente. Una disminución del caolín generalmente aumenta el brillo. Esto se debe a la disminución en la cantidad de alúmina. Una proporción media de sílice a alúmina en un esmalte de gres es de 8: 1. Por lo tanto, la arcilla china (2: 1) introduce cuatro veces más alúmina respecto a la sílice de lo necesario. Por tanto, podemos considerar el caolín desde el punto de vista de la alúmina y asumir que la sílice que introduce se puede acomodar y equilibrar, según sea necesario, con el pedernal.

La alúmina es esencial en la mayoría de los esmaltes prácticos. Proporciona un vínculo entre los fundentes y la sílice, que permite componer un vidrio estable. Parte de este trabajo consiste en endurecer el esmalte. Los esmaltes con alto contenido de alúmina no se escurren, ni se vuelven muy fluidos, sino que permanecen rígidos durante toda su maduración. En algunos casos esto es deseable; en otros no lo es. Por ejemplo, es útil en una cocción prolongada en la que podría producirse una sobrecocción; pero en cocciones cortas la rigidez inhibe el escape de los gases. Los esmaltes rígidos suelen ser turbios con una opacidad de burbujas diminutas. La superficie del esmalte a menudo presenta picaduras y, por lo general, no es muy brillante.

Los vidriados que funden totalmente y tienen alto contenido de alúmina, a menudo recristalizan al enfriarse. La alúmina no es un formador de vidrio y, por lo tanto, se separa como cristales en el vidrio dando un efecto mate. El efecto puede ser agradable pero, si no, puede mejorarse y fomentarse mediante el uso de fundentes adecuados como caliza y dolomita; una pequeña cantidad de óxido de estaño; un cuerpo adecuado como la arcilla de bola aluminosa; y un ciclo de enfriamiento suficientemente lento para permitir el crecimiento de los cristales. Los mates de calcio y dolomita son, en parte, mates de alúmina.

El caolín también se utiliza en los vidriados para actuar como aglutinante antes de la cocción. Los demás ingredientes del vidriado son polvos que no se mantienen unidos, pero las partículas de arcilla actúan de manera diferente y aglutinan el esmalte sin cocer. Demasiada arcilla haría que se encogiera al secarse, lo que provocaría grietas que se ensancharían a medida que avanza la fusión. Una cantidad típica de caolín en la receta es del 10%, lo que proporciona cualidades de aglutinamiento efectivas y se puede equilibrar con pedernal. El caolín se usa cuando se requiere un esmalte transparente incoloro, pero se puede usar cualquier otra arcilla.

En resumen, la sílice aporta dureza y brillo. Se introduce fácilmente con pedernal. El caolín le da dureza y rigidez. La mayoría de los vidriados, ya sean para gres u otros, pueden admitir el 10% de caolín, pero más cantidad resulta en pérdida de brillo. En el esmalte de ejemplo, los aumentos en la cantidad de pedernal y caolín elevarían el punto de fusión del vidriado. Si el pedernal se incrementa a expensas del caolín, el vidriado mejoraría en brillo y se volvería más líquido. Si se aumentara el caolín a expensas del pedernal, el esmalte se volvería opaco, perdería su brillo y podría ser mate. Podríamos probar las siguientes variaciones:

Pedernal	30 a 0	desde transparente brillante
Caolín	0 a 30	hacia opaco y mate
Pegmatita	50 50	
Caliza	20 20	

Parte 3. Vidriados para gres en oxidación. Feldespatos

El gres se describe a menudo como "reducido" u "oxidado". Esta descripción se refiere a los estados moleculares de los materiales en el cuerpo y el vidriado que resultan del tipo de método de acabado utilizado. El

gres cocido con madera, fuel, carbón o gas es "reducido" por las llamas que privan de oxígeno la cámara del horno. Esta práctica sigue las fuertes tradiciones iniciadas en el Lejano Oriente y da colores emocionantes que no se pueden obtener por otros medios. Sin embargo, paralelas a estas tradiciones están las de oxidación en las que hay suficiente oxígeno presente en el horno. Esta técnica tiene amplias posibilidades hoy en día con el uso del horno eléctrico. Las primeras cerámicas chinas, como Chien, T'zu-chou y algunas de las cerámicas de gres Ming y, en Inglaterra, las cerámicas de gres de Bristol, sientan buenos precedentes para decorar con calidad. Pero estas decoraciones coloridas semipictóricas no están tan de moda hoy en día; los efectos más difusos de la reducción son más populares. El gres en oxidación ha sido desarrollado principalmente por ceramistas cuasi industriales a través de refinamientos de las técnicas de cocción, aunque el ceramista individual ha tendido a evitar estos estilos. Aún no se ha aprovechado todo el potencial del gres en oxidación.

La oxidación completa del vidriado se logra introduciendo deliberadamente mucho aire en el horno durante el ciclo de cocción y enfriamiento. La mayoría de los hornos eléctricos dan resultados oxidados porque sus puertas y ventilaciones no son herméticas. Muchos ceramistas dejan deliberadamente abiertas las mirillas para asegurar una atmósfera oxidante. Una pista de aire limpio atraviesa el horno y rodea la cerámica, suministrándole un exceso de oxígeno durante toda la cocción.

Por lo tanto, un vidriado de gres oxidado es aquel en el que todos los elementos químicos constituyentes han tenido la oportunidad de combinarse con oxígeno para formar óxidos. Algunos óxidos habrán dejado el esmalte como gases, p. ej. dióxido de carbono, otros se habrán unido con la sílice (dióxido de silicio) del vidriado, pero todos los ellos estarán en su estado más oxidado.

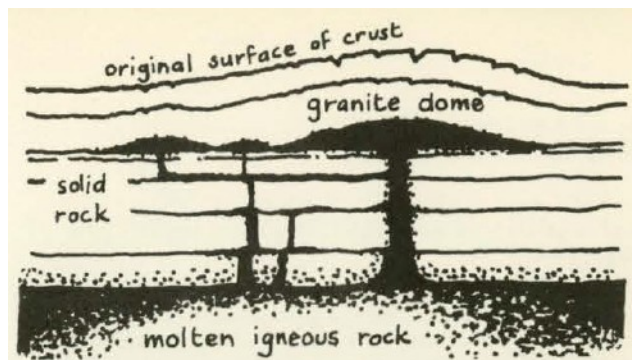
Para mí, esto representa un estado de equilibrio definitivo y creo que las cualidades del gres oxidado deben basarse en este estado de equilibrio. Los colores fuertes y los tonos limpios y atrevidos son posibles, pero se pueden usar en exceso con facilidad. Se deben considerar cuidadosamente las áreas de color contrastantes. La interacción entre el cuerpo y el vidriado de gres, que se explicó en la parte 2 de este artículo, no implica necesariamente el color. En oxidación, las diferentes partes de una pieza pueden permanecer independientes en apariencia. En cambio, en el gres reducido, la interacción resultante unifica el esquema de color de la pieza y, casi invariablemente, involucra óxido de hierro.

Uso de feldespatos

En los apartados anteriores expliqué acerca de una receta estándar para 1250° C y consideré lo que sucedería si se modificaran las cantidades de pedernal y caolín.

La mitad de la receta es piedra de Cornualles (pegmatita) que es, como su nombre indica, una piedra triturada de Cornualles. El tipo de piedra es de origen ígneo, es decir, una vez estuvo en estado fundido y fue empujada hacia arriba desde las profundidades de la Tierra. No fluyó como lava sino que permaneció dentro de la corteza como cúpulas (dome) de magma que se enfriaba lentamente y que involucraba la roca circundante. Ahora, completa-

mente fríos, forman las zonas graníticas del suroeste de Inglaterra en Lands End, Bodmin Moor y Dartmoor.



La roca original tiene muchos nombres especializados cubiertos por el nombre de granito. Dentro del granito, de enfriamiento lento, los diferentes feldespatos y otros minerales se separaron, a veces en masas lo suficientemente grandes como para estar disponibles para la minería. En otras áreas, el granito quedó expuesto a la intemperie y fue atacado por gases desde el interior que provocaron su descomposición. Los productos finales residuales de la descomposición son el caolín y el cuarzo, pero muchos otros productos se eliminan en solución. Una parte de la descomposición se llama piedra de Cornualles y, para fines del vidriado, se puede llamar feldespato. Contiene impurezas, algunas de las cuales pueden ser perjudiciales para la salud, la estructura del horno y el esmalte, pero se dispone de fuentes relativamente limpias que son satisfactorias en los hornos eléctricos.

El tipo de piedra de Cornualles que es más difícil de triturar generalmente se derrite a temperatura más baja. Las piedras de Cornualles físicamente blandas tienden a tener puntos de fusión más altos. Por lo tanto, al comprar piedra de Cornualles, vale la pena señalar que las descripciones del catálogo de 'duro' y 'blando' se refieren a las materias primas y no a las temperaturas 'duras' y 'blandas', es decir, 'altas' y 'bajas'. Descripciones de 'púrpura' y 'blanco' también pertenecen al mineral bruto, no tienen propiedades colorantes en el esmalte. Sin embargo, algunos feldespatos 'rosados' tienen un rastro de color debido al óxido de hierro.

Los feldespatos contienen sílice, alúmina y fundente aproximadamente al 70%, 20% y 10%. Funden en la región entre 1200° a 1250° C y, por lo tanto, proporcionan vidriados naturales para gres. Sin embargo, rara vez se pueden usar solos porque contienen una proporción demasiado alta de alúmina, aproximadamente un 20%, mientras que la mayoría de los esmaltes de gres contienen solo del 10% al 15%. La alta proporción de alúmina hace muy rígido el feldespato fundido y evita que alcance la madurez antes de 1350°C. Por lo tanto, un feldespato requiere sílice y fundente adicionales, que no contengan alúmina, para convertirlo en un vidriado. En el ejemplo se han añadido pedernal y caliza.

Los vidriados de gres se pueden llamar esmaltes feldespáticos si contienen al menos el 50% de un feldespato o un feldespatoide como la pegmatita. El promedio es de alrededor del 50% y la mayoría de los esmaltes se encuentran en el rango entre el 40% y el 60%.

No se puede dejar de insistir en la importancia y utilidad del feldespato para el ceramista de gres. Está presente tanto en la arcilla como en el vidriado. Es el material que permite a cada uno madurar progresivamente y así integrarse con equilibrio.

Un exceso de feldespato en el vidriado da como resultado la fusión rígida que caracteriza al feldespato puro. El esmalte es tan rígido que no puede liberar los gases resultantes de su fusión: es probable que su superficie esté perforada y el esmalte esté lleno de burbujas que, si son pequeñas, dan una opacidad fría pero, si son grandes, tienen un aspecto muy desagradable.

El esmalte también carecerá de la capacidad de mojar el cuerpo. En las primeras etapas de la cocción, muchos esmaltes se agrietan ligeramente y se desprenden del cuerpo. Al fundirse se vuelven a adherir al cuerpo por su acción humectante. Un esmalte rígido no puede hacer esto, pero tiene una alta tensión superficial que hace que tire hacia sí mismo. Esto se conoce como *crawling*. El esmalte no se puede volver a adherir y deja parches de calvicie.

Una cantidad insuficiente de feldespato en un esmalte puede significar falta de alúmina y, por lo tanto, una falta de rigidez. Esto también se aplica a los esmaltes con bajo contenido de arcilla, como vimos en la parte 2. Los esmaltes con bajo contenido de alúmina a menudo son líquidos y maduran demasiado rápido. Si están un poco sobrecocidos, tienden a escurrirse y pegarse al estante del horno. Esta propiedad de maduración rápida se puede intensificar con una variedad insuficiente de fundentes. Todos los feldespatos introducen al menos un tipo de fundente, la piedra de Cornualles introduce al menos dos: potasio y sodio. Los diferentes fundentes tienen períodos de acción diferentes y superpuestos. Por lo tanto, varios fundentes dan un rango de maduración más suave que un solo fundente. El vidriado resultante también es más estable si está involucrado mayor número de fundentes. Es probable que sea más duro y resistente a la abrasión; más fuerte y elástico y, por lo tanto resistente al agrietamiento.

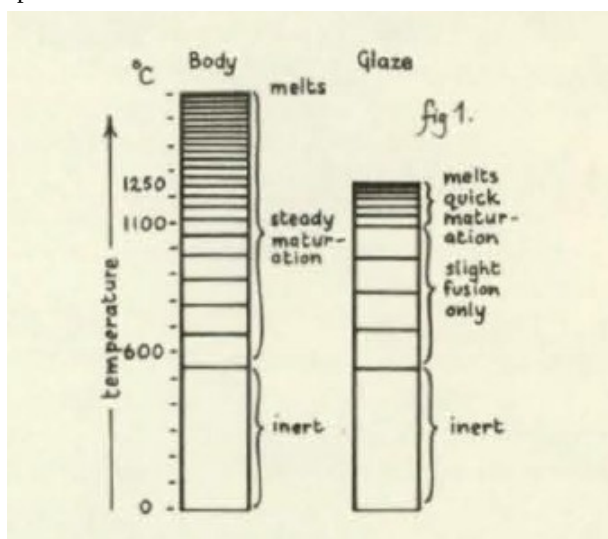
En resumen: la cerámica de gres en oxidación tiene un carácter propio y los hornos eléctricos son adecuados para su producción. De hecho, existe una ventaja en el uso de un horno eléctrico porque se pueden lograr más fácilmente aquellos colores que requieren una atmósfera oxidante. Sin embargo, los contrastes no deben exagerarse. Los feldespatos son indispensables para los vidriados de gres y proporcionan minerales limpios con poca formación de gases y sin color. La piedra de Cornualles es un feldespatoide útil, de uso general, que se adapta a muchas situaciones.

Parte 4. La función de la caliza

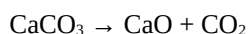
La caliza (denominación química: carbonato cálcico) es el principal fundente del vidriado típico de gres que se ha utilizado como ejemplo. Los fundentes subsidiarios en este esmalte son sodio y potasio que están contenidos en la piedra de Cornualles y se describieron en la parte 3.

El vidriado es transparente cocido a 1250° C con la receta ya conocida: pedernal 15, caolín 15, pegmatita 50, caliza 20. El pedernal y el caolín suministran principalmente formador de vidrio (sílice) al esmalte. La pegmatita tiene

un 70% de sílice y un 10% de fundentes. Durante la cocción, estos fundentes comienzan a actuar sobre la sílice para producir la fusión, acción que comienza a, aproximadamente, 600° C. A la misma temperatura, los fundentes en el cuerpo de gres también comienzan a actuar dando como resultado un flujo de fundente y sílice. Este fluido llena los poros del cuerpo y también pasa al vidriado para comenzar a disolver pedernal y caolín. A los 1100° C el cuerpo está avanzando en una maduración constante que progresará hasta el final de la cocción y dará como resultado, a 1250° C, un cuerpo cuyos poros están rellenos de vidrio. Ya a 1100° C está más vitrificado que el esmalte que aún no ha comenzado su principal ciclo de maduración. La figura 1 muestra esto de forma esquemática. El sombreado cada vez más intenso representa el avance hacia la fusión total.



La aparente resistencia del vidriado al aumento de temperatura se debe a la caliza. Entra en la receta como carbonato de calcio, un compuesto químico estable que se encuentra naturalmente en forma de piedra caliza, mármol, creta y conchas marinas. A 800° C, la estabilidad del carbonato de calcio se degrada y se divide en dos compuestos: cal (óxido de calcio) y dióxido de carbono. La ecuación química para esto es:



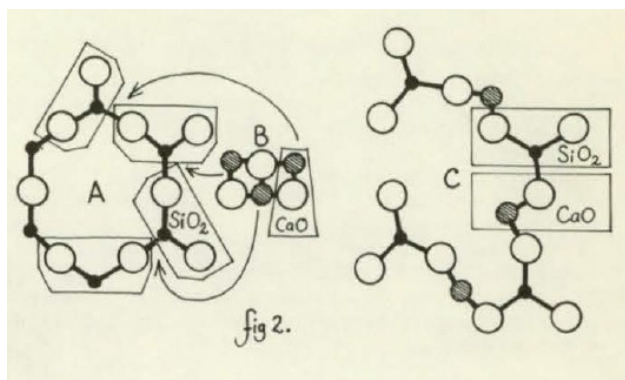
El dióxido de carbono se escapa sin dificultad y la cal se mezcla con las partes fundidas del vidriado. En esta etapa, no toma parte activa sino que simplemente se adhiere de forma neutra a los fundidos existentes de fundente y sílice. Aparentemente, no participa para romper la cadena de la sílice: su propia unión no está suficientemente excitada. Al adherirse solo donde ocurre otra acción, inhibe el flujo libre de la masa fundida y por lo tanto su reacción en esta etapa puede describirse como la de un antifundente.

En las primeras etapas de la cocción, es una ventaja tener un vidriado que se retrasa con respecto al cuerpo en su desarrollo. El uso de bizcocho blandos, o sin bizcochar, es decir, productos crudos, significa que los elementos químicos no deseados como el carbono y el azufre están presentes en el cuerpo cuando comienza la cocción del vidriado. La mayoría de estos materiales no deseados se queman entre 750° C y 1100° C y pueden escapar más eficazmente a través de un vidriado que todavía es poroso. Los gases que no pueden escapar se acumulan para formar

ampollas en el cuerpo detrás de la interfase cuerpo vidriado.

Sin embargo, a 1100° C, la cal comienza a hacer el papel de fundente para el que se introdujo. Su acción es inmediata, de modo que a 1200° C se ha producido una transformación completa: el esmalte ahora es un vidrio mientras que el cuerpo todavía está madurando lentamente. (fig.1) Aún queda la maduración del vidriado mediante la cual todas las partículas de pedernal y caolín se disuelven completamente; el esmalte fluye para formar una capa lisa de vidrio y se involucra con la fusión del cuerpo para formar una interfase satisfactoria con el cuerpo cerámico.

En la Figura 2, A, B y C son representaciones esquemáticas de la acción fundente de la cal sobre la sílice. La cadena de sílice A es una estructura hexagonal fuerte con un alto punto de fusión. La cal, B, la rompe efectivamente sólo cuando la propia cal es capaz de romperse en unidades más pequeñas. Esta excitación se produce a 1100° C. La cadena resultante de sílice y cal es obviamente menos fuerte que la sílice pura. Toda la estructura es mucho más blanda y, por tanto, más fluida como material vítreo.



Parte 5. Ajuste del vidriado al soporte

Con el ajuste del vidriado se trata de lograr la compatibilidad de este y el cuerpo cerámico con respecto a la expansión y contracción térmica. Todas las sustancias, ya sean sólidas, líquidas o gaseosas, se expanden y contraen con las variaciones diarias de temperatura. Los cacharros utilizadas como recipientes para alimentos y utensilios para horno están sujetas a cambios considerables. El cuerpo y el esmalte deben poder expandirse y contraerse con una armonía razonable. Afortunadamente, no es necesaria una coincidencia exacta porque hay cierto grado de elasticidad en los cuerpos y esmaltes, por extraño que parezca.

El ajuste del vidriado implica adaptarlo al cuerpo cerámico, lo que se analiza en este artículo, pero debe recordarse que el cuerpo se puede ajustar para adaptarse al esmalte, un método que es recomendable, ya que los cuerpos maduran en un rango más amplio que los esmaltes (ver parte 4) y, por lo tanto, son menos sensibles a cambios menores en la composición.

Los efectos de un ajuste deficiente del esmalte se manifiestan como un agrietamiento del esmalte llamado *cuarteado* o *craquelado*, un agrietamiento del cuerpo llamado *dunting* o una separación de los dos como

escamas, descamación o descascarillado. El cuarteado es el efecto más común y, si bien es inaceptable en la loza funcional donde el esmalte es una cubierta impermeable sobre un cuerpo poroso, es mucho menos desastroso en el gres donde el cuerpo no es poroso. De hecho, en el gres, a veces se busca deliberadamente por un efecto estético. También es menos probable que el gres tenga defectos de ajuste del esmalte porque la capa de interfase, que es mitad cuerpo y mitad esmalte, y se mezcla gradualmente entre sí, actúa como un amortiguador donde se puede absorber la tensión entre el cuerpo y el esmalte.

No se puede dejar de insistir en la importancia de la interfase en gres. Puede representar más de la mitad del espesor del esmalte y debe tenerse en cuenta en cualquier alteración que se realice para lograr un buen ajuste del esmalte.

Todas las sustancias se expanden con el calor y se contraen reversiblemente al enfriarse. Esto no debe confundirse con el encogimiento de los cuerpos de cerámica debido a la densificación. La densificación es un proceso unidireccional. La contracción es reversible al invertir la temperatura. Cada sustancia se expande y contrae a un ritmo diferente, pero cada una es predecible en el sentido de que se mantiene en su propio ritmo. Por lo tanto, el esmalte se expande y contrae a un ritmo diferente al del cuerpo. Los diferentes coeficientes de dilatación de cuerpo y esmalte son resultados directos de sus diferentes composiciones. Cada óxido de composición da su propia tasa de expansión/contracción en proporción a la cantidad presente. Por ejemplo, si tomamos un vidriado hipotético que contiene 50% de óxido A que se expande en gran cantidad, y 50% de óxido B que se expande solo un poco, la tasa de expansión resultante está teóricamente a medio camino entre estas dos tasas. En la práctica, otros factores, como la interacción, afectan el resultado exacto, pero la teoría es válida en el sentido de que los ajustes en la composición del esmalte entre A y B afectarán la tasa de expansión en la dirección esperada. Alternativamente, se puede realizar la sustitución de un óxido por otro de comportamiento similar (químico) en el vidriado pero con diferente tasa de expansión (física) y esto alterará la velocidad de expansión del esmalte final.

Aplicación de la teoría sobre el ajuste del vidriado

Desde 1850 se han realizado muchas investigaciones en este campo. La tabla es una simplificación de este trabajo, pero sirve para mostrar los óxidos del vidriado más comunes ordenados según su coeficiente de dilatación, el más bajo en la parte superior y los mayores en la parte inferior. Podemos ver cómo esta tabla se puede utilizar en la típica receta de vidriado cocida a 1250° C utilizada en estos artículos: pedernal 15, caolín 15, pegmatita 50, caliza 20.

Supongamos que le está dando algunos problemas al ceramista porque se cuarteo con demasiada facilidad. Aproximadamente a 500° C, cuando el esmalte se solidifica durante el enfriamiento, es todavía una cubierta sin fisuras.

Un enfriamiento adicional da como resultado una mayor contracción que la contracción del cuerpo. En esta etapa, por lo tanto, existe una tensión entre el cuerpo y el esmalte porque el esmalte es más pequeño que el cuerpo y está

tratando de comprimirlo. El cuerpo también está tratando de estirar el esmalte y el esmalte pierde la pugna y se rompe para aliviar el estrés. El resultado es el cuarteado. Si podemos hacer que el vidriado se contraiga menos, entonces podemos solucionar el problema. Tenga en cuenta que, en la práctica, cuando hablamos de vidriados, hablamos principalmente en términos de contracción. Cuando hablamos de manera abstracta, nos referimos a la tasa de expansión del esmalte. La expansión y la contracción son idénticas pero invertidas.

Comparative Table of Thermal Expansion of Glaze Oxides.

LOW EXPANSION	
Boric oxide	
Silica	
Alumina	
Tin oxide	
Zirconium oxide	
Magnesia	
Zinc oxide	
Lithia	
Antimony oxide	
Lead oxide	
Titania	
Ceria	
Baria	
Calcia	
Potash	
Soda	
HIGH EXPANSION	

Increasing rate of expansion
↓

Los óxidos involucrados en el vidriado ejemplo son sílice, alúmina, cal, y óxidos de sodio y potasio. Si la tabla fuera visualmente proporcional en acción y no solo una lista, se encontraría que los tres óxidos con la tasa de expansión más alta, calcio, potasio y sodio, se distribuyen en un rango mayor que el resto de la tabla. En otras palabras, los principales culpables del agrietamiento son el sodio y el potasio contenidos en la pegmatita. Si parte de estos óxidos pueden ser reemplazados por óxidos fundentes que aparecen más arriba en la tabla, se producirá una menor contracción. Todo esto es fácil de decir en teoría, pero en la práctica una solución satisfactoria puede estar lejos de ser fácil de obtener. Las cantidades, aunque calculables por métodos industriales, siguen siendo empíricos en la práctica porque intervienen otros factores. Una serie de pruebas que utilizan combinaciones lineales para lograr una sustitución gradual es la única forma. Por ejemplo, el feldespató de litio podría sustituir a la pegmatita.

En la parte superior de la tabla se encuentra el óxido bórico, que tiene una gran reputación para evitar el cuarteado siempre que se incluya en cantidades moderadas. Su introducción a menudo se justifica solo por motivos de ajuste del vidriado, pero también puede aportar otros beneficios como la estabilidad del color. Desafortunadamente, no se puede introducir como un solo óxido separado porque es soluble en agua y se disolvería al hacer la mezcla. Sin embargo, está disponible en colemánita donde se combina con la cal en una forma casi insoluble, y también en la ulexita, aunque en este caso junto a cierta cantidad de óxido de sodio. También está disponible en una serie de fritas patentadas que pueden sustituirse empíricamente por un fundente en la receta.

En el caso que nos ocupa, el efecto de una frita de óxido bórico y el efecto de la caliza son muy diferentes. La mayoría de las fritas comienzan su acción fundente en el rango de 750 ° C, mientras que la caliza no comienza hasta los 1100° C (ver parte 4). Obviamente, tales sustituciones deben realizarse teniendo en cuenta las diferentes propiedades de los óxidos y en relación con su equilibrio dentro de la fórmula molecular del esmalte. Sin embargo, pocos ceramistas trabajan de esta manera y conozco alfareros que muestran una buena intuición al realizar el ajuste del esmalte a partir de la tabla de expansiones. En lugar de comenzar una serie de pruebas de sustitución, simplemente agregan cierta cantidad al esmalte existente. La suposición aquí sería que al agregar un poco de frita de óxido bórico y una cantidad igual de cuarzo o caolín, se mantiene un equilibrio general razonable con el esmalte con referencia a su temperatura de fusión. Al mismo tiempo, se está moviendo el equilibrio de todo el vidriado en dirección contraria al punto donde contrae demasiado y provoca agrietamiento. Este razonamiento tiene fallas pero es lo suficientemente sólido como para ser práctico si el agrietamiento no es extremo. Las fritas con una alta proporción de óxido bórico son Podmore P2249 o Wengers 1457W.

Si el vidriado se desprende del cuerpo, es decir, escamas de esmalte de bordes afilados saltan de la pieza a lo largo de los bordes, los mangos y las zonas en relieve, entonces el esmalte es demasiado grande para el cuerpo. Estas escamaciones a menudo desgarran parte del cuerpo con ellos, lo que al menos muestra que había una capa de interfase bien formada, pero que simplemente no podía soportar el estrés. En tal caso, lo contrario de todos los métodos anteriores es lo correcto. Se debe reemplazar con óxidos de mayor tasa de expansión. En nuestro ejemplo, los tres fundentes principales calcio, potasio y sodio, ya son óxidos de alta tasa de expansión, por lo que hay que ajustar sus proporciones para incluir más sodio. El uso de feldespatos de sodio en lugar de pegmatita es el primer paso obvio. Un segundo paso es una reducción en la cantidad de caolín, reduciendo así el contenido de sílice y alúmina y permitiendo que el esmalte se funda con más libertad y cree una interfase más fuerte.

Parte 6. Uso de otros materiales para el vidriado

El esmalte típico para 1250° C que hemos estado considerando tiene solo cuatro materiales constituyentes: cuarzo, caolín, caliza y pegmatita.

Sin embargo, en el catálogo de un proveedor hay entre 20 y 30 materiales que podrían utilizarse en los esmaltes de gres. ¿Cuáles son estos materiales y cómo se pueden utilizar en esta receta de ejemplo?

Los materiales se pueden clasificar en siete categorías. Cuatro de estas categorías están representadas en el esmalte de ejemplo y sus nombres se incluyen con la receta anterior. La lista completa es: sílices, arcillas, rocas, fritas, fundentes, opacificantes y colorantes. Al considerar una receta a partir de categorías en lugar de materiales con nombre, se pueden incluir tanto materiales locales como comprados. Las categorías se describen a continuación con comentarios sobre posibles usos en la receta anterior.

Las sílices

Estos son los formadores de vidrio: pedernal, cuarzo y arena. El cuarzo es el más puro y tiene el punto de fusión más alto. El pedernal está cerca. Se funden por encima de 1650° C. Las areniscas y las arenas de los ríos se erosionaron a partir de los anteriores, y la mayoría de las arenas de las playas y el interior funden entre 1250° C y 1400° C. También añaden color. Deben estar finamente molidas. Cualquier partícula más gruesa que las que pasan por una malla de 120 se disuelve muy lentamente en el esmalte y requiere de 3 a 4 horas a la temperatura máxima para hacerlo. Las partículas no disueltas dan al esmalte una superficie rugosa como el papel de lija. La función de la sílice en el esmalte se explicó en la parte 2 de esta serie.

Las arcillas

Estas son aluminosilicatos que se funden como vidriado a diversas temperaturas: caolín, arcilla de bolas, arcilla refractaria, lutitas, margas y todas las arcillas para alfarería. La más pura es el caolín con un punto de fusión superior a los 1700° C. La arcilla de bola y la arcilla refractaria son más fáciles de fundir pero requieren unos 1400° C. Estas tres tienden a dar esmaltes rígidos porque introducen una gran proporción de alúmina. Consulte las partes 2 y 3 de esta serie. Rara vez representan más del 30% de un esmalte. Por otro lado, las lutitas, las margas y las arcillas para alfarería contienen fundentes adicionales y sílice libre. Por lo tanto, se funden a temperaturas en el rango de 1200° C a 1350° C y algunas son vidriados naturales, mientras que otras pueden ajustarse para convertirse en esmaltes mediante la adición de feldespatos, pedernal o un fundente adicional. Por ejemplo, el lodo del estuario del río Severn funde en un vidrio negro a 1250° C. Hace una barbotina para vidriados decente con feldespatos que es similar a la barbotina American Albany del río Hudson. Las arcillas son valiosas en los vidriados porque mantienen la mezcla cruda en suspensión y proporcionan una buena unión a la pieza antes de la cocción. Los productos químicos (óxidos) que introducen podrían introducirse mediante el uso de rocas.

Las rocas

Estos son aluminosilicatos fundidos y se superponen con las arcillas en su acción aunque no tienen la plasticidad de esta: piedra de Cornualles, feldespatos potásico, feldespatos sódico, lepidolita, nefelina sienita, petalita, rocas ígneas como el granito. Todas son de origen ígneo (volcánico) y se funden en el intervalo de 1200° C a 1300° C, pero rara vez dan esmaltes satisfactorios solos porque tienen un alto contenido de alúmina. Por lo general, representan el 50% de una receta de vidriado: el otro 50% son sílice y otros fundentes adicionales.

Los fundentes

Estos materiales son óxidos o se descomponen en óxidos simples al calentarlos: caliza, carbonato de bario, creta, colemánita, dolomita, espato flúor, mármol, carbonato de litio, carbonato de magnesio, yeso, carbonato de estroncio, óxido de zinc. (Los fundentes de baja basados en plomo se han ignorado aquí en favor de los de gres).

Los fundentes se introducen en los esmaltes de gres en cantidades de hasta el 40%. Su presencia tiene resultados directos hasta un punto óptimo después del cual se observa un efecto contrario. Por lo tanto, la regla general

es que más fundente hará que el esmalte se funda más rápidamente, pero se encuentra un límite después del cual más fundente inhibe la fusión y crea un vidriado cristalino al enfriarse. Esto se explicó en relación con la caliza en la parte 4. Los diferentes fundentes actúan a diferentes temperaturas. Su acción inicial en un vidriado como la receta de ejemplo anterior se puede resumir como:

Menos de 1000°C: colemanita y carbonato de Li

Entre 1000° y 1100°C: criolita, carbonato de Sr y ZnO

Entre 1100° y 1150°C: caliza, espatoflúor y yeso

Más de 1150°C: carbonatos de Ba y Mg y dolomita

Las fritas

Estos materiales son esencialmente silicatos fundentes: fritas comerciales, ceniza de madera, ceniza de hueso, talco, wollastonita, rocas ígneas como el basalto. Su finalidad en los esmaltes de gres es introducir fundentes. Algunas fritas son demasiado fluidas al fundir y requieren aluminosilicatos como arcillas y rocas para convertirlos en esmaltes controlables más rígidos. Otros contienen demasiado fundente para formar vidrios solos y requieren las arcillas, rocas y sílices para hacer vidriados. En la receta típica anterior, se sustituirían empíricamente por una combinación de fundente y sílice.

Los opacificantes

Se trata de partículas finas que permanecen sin disolver o son núcleos cristalinos que favorecen el crecimiento de cristales: carbonato de bario, óxido de cromo, ilmenita, óxido de hierro, carbonato de magnesio, rutilo, talco, óxido de estaño, dióxido de titanio, óxido de zinc, silicato de circonio. Por lo general, se sustituyen por algo de sílice en un esmalte o se agregan como extra. Cabe señalar que algunos también son fundentes.

Los colorantes

Estos son óxidos metálicos: óxido de cromo, óxido de cobalto, óxido de cobre, óxido de hierro, dióxido de manganeso, óxido de níquel. Podrían añadirse al esmalte de ejemplo como extra o sustituirse por una cantidad equivalente de caliza.

Por tanto, ¿qué se debe hacer para desarrollar un esmalte con un material comprado o excavado localmente? Primero decida a cuál de las siete categorías pertenece e intente una sustitución directa. Un diagnóstico de resultados no debería ser difícil si solo se sustituye un material cada vez. El cambio más importante será demasiada o muy poca fusión y, a la luz de los conocimientos previos, se puede encontrar un equilibrio. La mayoría de los materiales producirán vidriados con esta receta. ¡Con frecuencia producen esmaltes muy líquidos! Se necesita algo de conocimiento, pero se obtiene rápidamente del análisis de la experiencia. Algunos materiales pueden causar problemas de formación de ampollas, etc., que nunca se suavizarán. Por lo general, se enumeran en catálogos con límites porcentuales sugeridos para cantidades seguras. Se podría considerar una cocción un poco más lenta cuando los materiales locales provocan estos problemas.