



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 296 456**

⑫ Número de solicitud: 200501656

⑬ Int. Cl.:
G01L 1/00 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **07.07.2005**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.04.2008**

Fecha de la concesión: **10.11.2008**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **01.03.2009**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
01.03.2009

⑲ Titular/es: **CERÁMICA SALONI, S.A.**
Ctra. de Alcora, Km. 17
12130 Sant Joan de Moró, Castellón, ES

⑳ Inventor/es: **Barberà Barberán, Javier;**
Moreno Berto, Arnaldo;
Cantavella Soler, Vicente y
Mezquita Martí, Ana

㉑ Agente: **Ungría López, Javier**

㉒ Título: **Método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas.**

㉓ Resumen:

Método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas.

Permite la cuantificación de tensiones residuales en baldosas esmaltadas y no esmaltadas. La referida tensión residual se cuantifica a partir de la medida del cambio de curvatura que va presentando la pieza o baldosa cerámica al ir eliminando sucesivas capas de la misma de manera progresiva.

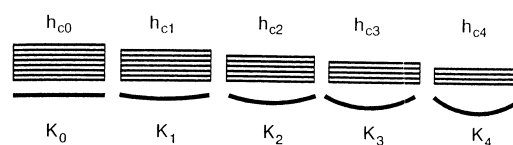


FIG. 1

ES 2 296 456 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas.

5 Objeto de la invención

La presente invención, tal y como se expresa en el enunciado de esta memoria descriptiva, se refiere a un método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas cuya finalidad esencial consiste en cuantificar las tensiones residuales en baldosas cerámicas tanto esmaltadas como sin esmaltar, para lo cual el método de la invención se basa en el cambio de curvatura que se produce en una pieza cuando se eliminan capas de forma progresiva.

El método de la invención permite distinguir entre tensiones producidas durante el enfriamiento industrial y tensiones generadas por acoplamiento entre el vidriado y el soporte, o incluso tener en cuenta el efecto del correspondiente engobe.

En el caso de piezas no esmaltadas, o simplemente soportes, el método de la invención permite establecer el perfil interno de tensiones como consecuencia de los gradientes térmicos durante el enfriamiento. Para piezas esmaltadas, el método de la invención cuantifica también las tensiones de acoplamiento vidriado-soporte.

La invención presenta su aplicación en el sector técnico de fabricación de piezas de pavimento y revestimiento cerámicos.

Antecedentes de la invención

Las baldosas cerámicas, a su salida del horno, presentan tensiones residuales similares a las que muestra el vidrio templado. Estas tensiones residuales tienen su origen en:

- Los elevados gradientes térmicos que se producen en el horno industrial durante el enfriamiento.
- El comportamiento visco-plástico de las composiciones de soporte cerámico a elevada temperatura.
- La diferencia en las curvas de dilatación térmica de soportes, engobes y vidriados, durante el enfriamiento.

Estas tensiones residuales pueden originar diversos problemas como son: curvaturas en diferido (cambios dimensionales de las piezas después de su salida del horno), cuarteo o desconchado en los vidriados y problemas de corte o perforación de baldosas.

En la actualidad, el único método que se utiliza para cuantificar las tensiones residuales es el método de Steger, que consiste en cortar una probeta alargada, a partir de una pieza industrial, y seguidamente introducirla en un horno tubular de forma que sus dos extremos sobresalgan del mismo. Se registra el cambio de curvatura de la probeta durante el calentamiento y el enfriamiento.

Los resultados del ensayo de Steger presentan inconvenientes relativos a que son de difícil interpretación, son de naturaleza cualitativa y sólo permiten distinguir entre baldosas en las que la única diferencia sea la magnitud de las tensiones.

Además, el método de Steger está pensado para piezas esmaltadas y, por tanto, no es aplicable para determinar las tensiones originadas en el soporte debido al enfriamiento rápido.

Existen numerosas patentes para la medida de las tensiones residuales, especialmente en el caso de metales; sin embargo, estos métodos o bien no son aplicables a materiales cerámicos, o bien utilizan un procedimiento de medida diferente del de la presente invención.

Entre los métodos empleados para medir tensiones residuales cabe indicar:

- Aquéllos que miden una propiedad eléctrica o magnética relacionada con las tensiones residuales (US5193395, US2003/0173958A1).
- Uso de la interferometría para medir deformaciones relacionadas con las tensiones residuales (US6765677).
- Uso de indentadores (US6568250, CN1375689).
- Métodos basados en el empleo de galgas extensiométricas (US4249423, US4248094, US3803905).
- Métodos basados en ultrasonidos (ES2044858).

Descripción de la invención

Para lograr los objetivos y evitar los inconvenientes indicados en anteriores apartados, la invención consiste en un método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas que permite la cuantificación de tensiones residuales en baldosas esmaltadas y no esmaltadas.

Novedosamente, según la invención, la referida tensión residual se cuantifica a partir de la medida del cambio de curvatura que va presentando la pieza o baldosa cerámica al ir eliminando sucesivas capas de la misma de manera progresiva.

Cuando la baldosa es no esmaltada comprende:

- Una primera etapa de preparación de una probeta rectangular a partir del corte de una pieza industrial, o bien a partir del conformado en condiciones industriales.

- Una segunda etapa de eliminación de la costilla mediante fresado.

- Una tercera etapa de medida de la curvatura de la pieza, determinada como flecha central (desplazamiento del punto medio de la probeta respecto a la línea recta que une los puntos extremos), calculándose a partir de la flecha (δ_c) la curvatura (K) con la ecuación

$$k = \frac{8\delta_c}{L^2}$$

donde L es la longitud de la probeta.

- Una cuarta etapa de eliminación de una capa uniforme de material, de unos 500 μm , mediante mecanizado de la superficie no medida, efectuándose a continuación una nueva medida de la curvatura, con lo que se obtiene una pareja de valores (espesor eliminado, curvatura): ($h_{c,K}$)

- Una quinta etapa en la que si el espesor restante de la pieza lo permite, se repite el ciclo mecanizado-medida indicado el punto anterior.

- y una sexta etapa de obtención de una serie de parejas de valores (espesor eliminado, curvatura), (h_{ci} k_i), para $i = 0, 1, \dots, n$; ajustándose a partir de estos datos la ecuación de variación de curvatura

$$k = k_0 + \frac{\sigma_{sm}}{E_s} \frac{6}{h_{s0}^2} h_c$$

donde:

k_0 : curvatura inicial (m^{-1})

σ_{sm} : tensión máxima en la pieza (Pa)

E_s : módulo de elasticidad (Pa)

h_{s0} : espesor inicial de la pieza (m)

h_c : espesor eliminado (m).

Obteniéndose la tensión σ_{sm} a partir de la pendiente de la representación de k en función de h_c cuando se conoce el módulo de elasticidad E_s ; mientras que si dicho módulo E_s es desconocido se utiliza directamente el cociente σ_{sm}/E_s como medida de tensión en el interior de la baldosa.

Cuando la baldosa es esmaltada y el espesor de la capa de engobe es despreciable por ser muy delgada o por ser asimilable al soporte, el método comprende:

- una primera etapa de preparación de una probeta rectangular a partir del corte de una pieza industrial, o bien a partir del conformado en condiciones industriales.

- una segunda etapa de eliminación de la costilla mediante fresado.

- una tercera etapa de medida de la curvatura inicial de la pieza (k_0).

- y una cuarta etapa de eliminación de la capa de vidriado y de medida de la curvatura final de la probeta (k_1), pudiéndose calcular la tensión en el vidriado (σ_v) mediante la expresión:

$$\frac{\sigma_v}{E_v} = \frac{-(1+h'_v)^3 E'_v \Delta k'}{6 E'_v h'_v (h'_v - 2(1-z'_0))}$$

donde:

$\Delta k'$ = diferencia de curvatura adimensional, calculable como:

$$\Delta k' = h_s(k_1 - k_0)$$

h_s = espesor de la capa de soporte (m)

E'_v = módulo de elasticidad adimensional del vidriado (cociente entre el módulo de elasticidad del vidriado y el del soporte)

H'_v = espesor adimensional del vidriado (cociente entre el espesor del vidriado y el del soporte)

Z'_0 = posición adimensional de la fibra neutra, calculable como:

$$z'_0 = 1 + \frac{E'_v h_v'^2 - 1}{2(E'_v h'_v + 1)}$$

E'_{ef} = módulo de elasticidad efectivo adimensional, calculado con la expresión:

$$E'_{ef} = \frac{4}{(1+h'_v)^3} \left[(1-E'_v)(1-z'_0)^3 + E'_v(1+h'_v - z'_0)^3 + z_0'^3 \right]$$

Con el método que se ha descrito, la invención presenta las principales ventajas de que ofrece resultados cuantitativos y de que es aplicable también en baldosas no esmaltadas.

A continuación, para facilitar una mejor comprensión de esta memoria descriptiva y formando parte integrante de la misma, se acompañan unas figuras en las que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado el objeto de la invención.

Breve descripción de las figuras

Figura 1.- Representa al método de la invención como un procedimiento de eliminación progresiva de capas de soporte (parte superior) y medida del cambio de curvatura (parte inferior). En la parte superior de la figura se ha exagerado la dimensión del espesor, mientras que en la parte inferior se ha representado la misma probeta pero con un espesor constante, mostrando únicamente el cambio de curvatura.

Figura 2.- Representa un ejemplo de la evolución de la curvatura en función del espesor de capa eliminado mediante mecanizado, según el método de la invención.

Descripción de un ejemplo de realización de la invención

Seguidamente se describe un ejemplo de la invención empleando las figuras del anterior apartado con sus referencias.

Piezas no esmaltadas

El procedimiento de medida de las tensiones residuales es diferente, dependiendo de si se aplica a una pieza esmaltada o no esmaltada.

Para piezas no esmaltadas (o soportes cerámicos) el procedimiento consta de los siguientes pasos:

1. Preparación de una probeta rectangular a partir del corte de una pieza industrial, o bien a partir del conformado en condiciones industriales.

ES 2 296 456 B1

2. Eliminación de la costilla mediante fresado.

3. Medida de la curvatura de la pieza, determinada como flecha central (desplazamiento del punto medio de la probeta respecto a la línea recta que une los puntos extremos). A partir de la flecha (δ_c) se calcula la curvatura (κ) empleando la ecuación:

$$\kappa = \frac{8\delta_c}{L^2}$$

donde L es la longitud de la probeta.

4. Eliminación de una capa uniforme de material, de unos 500 μm , mediante mecanizado de la superficie no medida. Nueva medida de la curvatura, con lo que se obtiene una pareja de valores (espesor eliminado, curvatura): (h_c, κ)

5. Si el espesor restante de la pieza lo permite, se repite el ciclo mecanizado - medida indicado en el punto anterior (ver figura 1).

6. Al final se obtiene una serie de parejas de valores (h_{ci}, κ_i), para $i = 0, 1, \dots, n$. A partir de estos datos se ajusta la ecuación.

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{\sigma_{sm}}{E_s} \frac{6}{h_{s0}^2} h_c$$

Donde

κ_0 : curvatura inicial (m^{-1})

σ_{sm} : tensión máxima en la pieza (Pa)

E_s : módulo de elasticidad

h_{s0} : espesor inicial de la pieza (m)

h_c : espesor eliminado (m).

En la figura 2 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos, constatándose la aplicabilidad de la relación lineal (ec. 1).

Si se dispone del dato del módulo de elasticidad del material (E_s), a partir de la pendiente de la representación de κ en función de h_c se puede obtener σ_{sm} . En el caso de que se desconozca E_s , es más sencillo utilizar directamente el cociente (σ_{sm}/E_s) como medida de las tensiones en el interior de la pieza.

Piezas esmaltadas

Para determinar las tensiones en probetas esmaltadas, el método es aplicable en el caso de que sólo se disponga de piezas esmaltadas y el espesor de la capa de engobe sea despreciable (por ser muy delgada o por ser asimilable al soporte).

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

1. Preparación de una probeta rectangular a partir del corte de una pieza industrial, o bien a partir del conformado en condiciones industriales.

2. Eliminación de la costilla mediante fresado.

3. Medida de la curvatura “inicial” de la pieza (κ_0).

4. Eliminación de la capa de vidriado. Medida de la curvatura final de la probeta (κ_1).

ES 2 296 456 B1

La tensión en el vidriado (σ_v) se puede calcular mediante la expresión:

$$\frac{\sigma_v}{E_v} = \frac{-(1+h'_v)^3 E'_{ef} \Delta \kappa'}{6 E'_v h'_v (h'_v - 2(1-z'_0))}$$

donde

$\Delta \kappa'$: diferencia de curvatura adimensional, calculable como:

$$\Delta \kappa' = h_s (\kappa_1 - \kappa_0)$$

h_s : espesor de la capa de soporte (m)

E'_v : módulo de elasticidad adimensional del vidriado (cociente entre el módulo de elasticidad del vidriado y el del soporte).

h'_v : espesor adimensional del vidriado (cociente entre el espesor del vidriado y el del soporte).

Z'_0 : posición adimensional de la fibra neutra, calculable como:

$$z'_0 = 1 + \frac{E'_v h'^2_v - 1}{2(E'_v h'_v + 1)}$$

E'_{ef} : módulo de elasticidad efectivo adimensional, calculado con la expresión:

$$E'_{ef} = \frac{4}{(1+h'_v)^3} \left[(1-E'_v)(1-z'_0)^3 + E'_v(1+h'_v-z'_0)^3 + z'^3_0 \right]$$

REIVINDICACIONES

1. Método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas, que permite la cuantificación de tensiones residuales en baldosas esmaltadas y no esmaltadas; **caracterizado** porque la referida tensión residual se cuantifica en función de que el conjunto de baldosas a medir sea de baldosas esmaltadas o no esmaltadas, de manera que cuando las baldosas son todas esmaltadas o todas no esmaltadas se emplea una medida de cambio de curvatura que va presentando la pieza o baldosa cerámica al ir eliminando sucesivas capas de la misma de manera progresiva, incluyéndose al menos:

- una primera etapa de preparación de una probeta a partir del corte de una pieza;
- una segunda etapa de eliminación de costilla mediante fresado;
- una tercera etapa de medida de curvatura;
- una cuarta etapa de eliminación de material y nueva medida de curvatura.

2. Método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque cuando la baldosa es no esmaltada comprende:

- una primera etapa de preparación de una probeta rectangular a partir del corte de una pieza industrial, o bien a partir del conformado en condiciones industriales;
- una segunda etapa de eliminación de la costilla mediante fresado;
- una tercera etapa de medida de la curvatura de la pieza, determinada como flecha central (desplazamiento del punto medio de la probeta respecto a la línea recta que une los puntos extremos), calculándose a partir de la flecha (en m.) (δ_c) la curvatura (κ) (en m^{-1}) con la ecuación

$$\kappa = \frac{8\delta_c}{L^2}$$

donde L es la longitud de la probeta en metros;

- una cuarta etapa de eliminación de una capa uniforme de material, de espesor entre 400 y 600 μm , mediante mecanizado de la superficie no medida, efectuándose a continuación una nueva medida de la curvatura, con lo que se obtiene una pareja de valores (espesor eliminado, curvatura): (h_c κ);
- una quinta etapa en la que si el espesor restante de la pieza lo permite, se repite el ciclo mecanizado-medida indicado en el punto anterior;
- y una sexta etapa de obtención de una serie de parejas de valores (espesor eliminado, curvatura), (h_{ci} , κ_i), para $i = 0, 1, \dots, n$; ajustándose a partir de estos datos la ecuación de variación de curvatura

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{\sigma_{sm}}{E_s} \frac{6}{h_{s0}^2} h_c$$

donde

κ_0 = curvatura inicial (m^{-1})

σ_{sm} = tensión máxima en la pieza (Pa)

E_s = módulo de elasticidad (Pa)

h_{s0} = espesor inicial de la pieza (m)

h_c = espesor eliminado (m).

Obteniéndose la tensión σ_{sm} a partir de la pendiente de la representación de κ en función de h_c cuando se conoce el módulo de elasticidad E_s ; mientras que si dicho módulo E_s es desconocido se utiliza directamente el cociente σ_{sm}/E_s como medida de tensión en el interior de la baldosa.

ES 2 296 456 B1

3. Método para la medida de tensiones residuales en baldosas cerámicas, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque cuando la baldosa es esmaltada, comprende:

- una primera etapa de preparación de una probeta rectangular a partir del corte de una pieza industrial, o bien a partir del conformado en condiciones industriales;

- una segunda etapa de eliminación de la costilla mediante fresado;

- una tercera etapa de medida de la curvatura inicial: de la pieza (k_0);

- y una cuarta etapa de eliminación de una capa de vidriado del esmalte y de medida de la curvatura final de la probeta (k_1), pudiéndose calcular la tensión en el vidriado restante (σ_v) mediante la expresión:

$$\frac{\sigma_v}{E_v} = \frac{-(1+h'_v)^3 E'_v \Delta k'}{6 E'_v h'_v (h'_v - 2(1-z'_0))}$$

donde

$\Delta k'$ = diferencia de curvatura adimensional, calculable como:

$$\Delta k' = h_s (k_1 - k_0)$$

h_s = espesor de la capa de soporte (m)

E'_v = módulo de elasticidad adimensional del vidriado (cociente entre el módulo de elasticidad del vidriado y el del soporte).

h'_v = espesor adimensional del vidriado (cociente entre el espesor del vidriado y el del soporte).

Z'_0 = posición adimensional de la fibra neutra, calculable como:

$$z'_0 = 1 + \frac{E'_v h_v'^2 - 1}{2(E'_v h'_v + 1)}$$

E'_{ef} = módulo de elasticidad efectivo adimensional, calculado con la expresión:

$$E'_{ef} = \frac{4}{(1+h'_v)^3} [(1-E'_v)(1-z'_0)^3 + E'_v(1+h'_v - z'_0)^3 + z_0'^3]$$

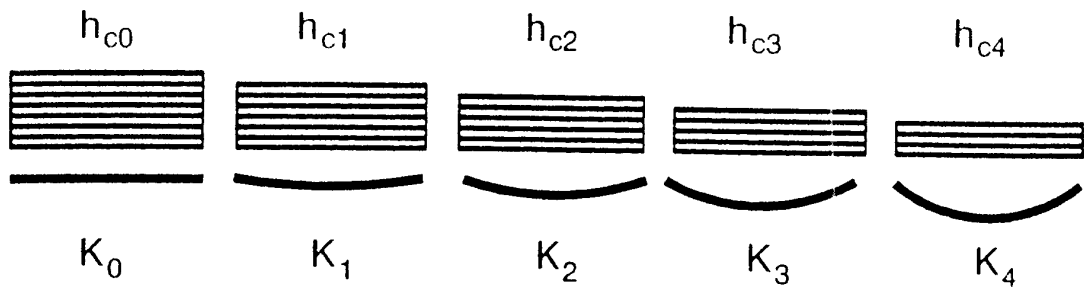


FIG. 1

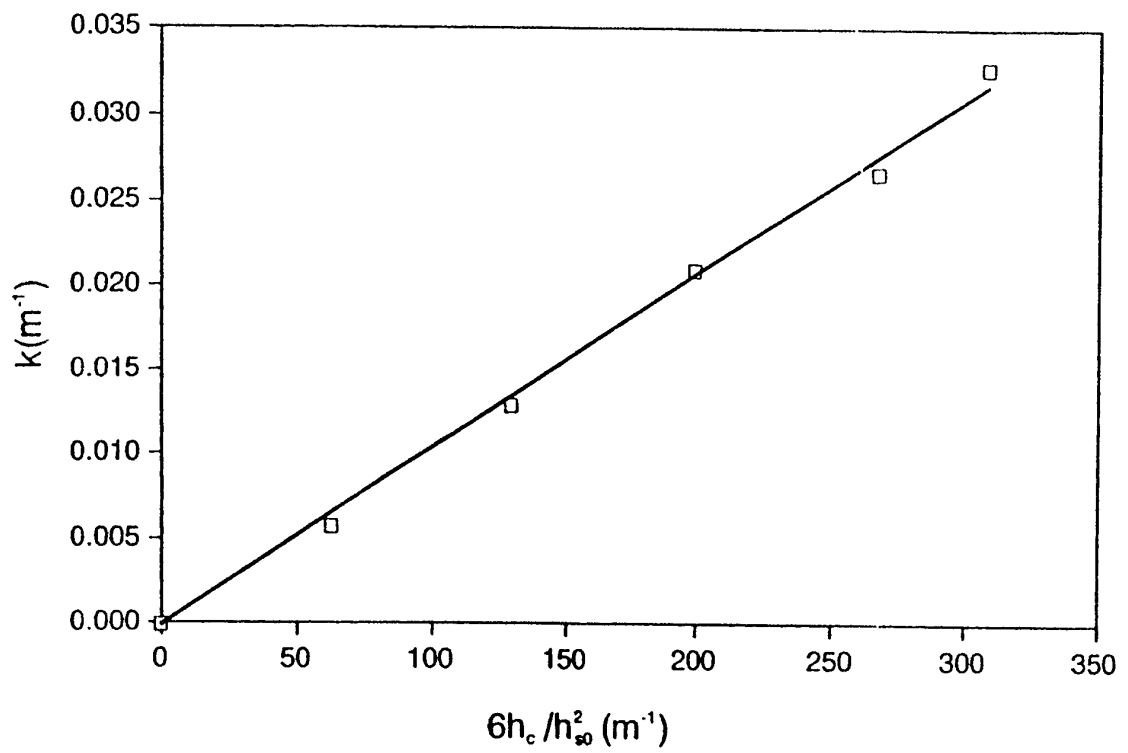


FIG. 2



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 296 456

⑫ Nº de solicitud: 200501656

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **07.07.2005**

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **G01L 1/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	CANTAVELLA V. et al. "Grinding work simulation in industrial porcelain tile polishing". Key Engineering Materials, Vols. 264-268 (2004) páginas 1467-1470.	1-3
A	E. SANCHEZ et al. "Tensiones residuales en piezas de gres porcelánico elaboradas por prensado en doble carga". Tile & Brick Int. Volumen 17. No. 1, 2001.	1-3
A	JP 9048014 A (SEKISUI CHEMICAL CO LTD) 18.02.1997, resumen.	1
A	US 6478875 B1 (SAMPATH et al.) 12.11.2002, resumen; párrafos [0006],[0008]-[0011],[0013]-[0016]; reivindicaciones 1,4,5-8.	1
A	SU 603872 A1 (INST NADEZHNOTI DOLGOVECHNOST) 25.04.1978, resumen.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

28.03.2008

Examinador

B. Tejedor Miralles

Página

1/1