

ACUERDO DILATOMÉTRICO EN GRES PORCELÁNICO DE DOBLE COMPACTACIÓN

Claudemir Hoffmann¹; Elita Fontenele Urano de Carvalho²; Humberto Gracher Riella³; Adriano Michael Bernardin^{1,3}

¹Tecnologia em Cerâmica, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Tijucas, Santa Catarina, Brazil

²Centro de Combustíveis Nucleares, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, São Paulo, Brazil

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil

Resumen: Durante el calentamiento de un gres porcelánico de dupla compactación, el sustrato y la capa micronizada pueden sufrir dilataciones incompatibles, pues en esta etapa el micronizado presenta mayor cantidad de fase líquida debido a la mayor reactividad entre sus partículas, de acuerdo con las variaciones dimensionales que el sustrato presenta. Este estado permanece hasta una determinada etapa del enfriamiento en el horno, donde el micronizado vuelve a comportarse como un sólido y presenta su propia retracción. A partir de esto instante, si el sustrato y el micronizado presentaren retracciones incompatibles, serán generadas tensiones en la interfase de las capas y la curvatura se desenvuelve, visando aliviar las tensiones generadas. En este sentido, el control de la expansión térmica del sustrato y del micronizado asumen particular importancia para el control de la curvatura de las baldosas cerámicas. Para mantener estas características en límites determinados, es necesario conocer todas las causas posibles que generen tensiones en la interfase sustrato-micronizado. En este trabajo una tipología de gres porcelánico de doble compactación fue estudiada visando la identificación de las variables que causan curvatura durante su cocción. Para esto la espesura de capa del micronizado se alteró en proporciones de 15/85, 30/70 y 45/65 con relación a la espesura del sustrato, siendo las baldosas formadas compactadas a 430kgf/cm² y cocidas a 1205°C por 50min de ciclo en un horno a rodillos. Para cada formulación se determinó la resistencia a flexión en tres puntos, el módulo de elasticidad, la dilatación térmica, el punto de reblandecimiento y la curvatura. Los resultados sugieren que el espesor de la capa del micronizado, su módulo de elasticidad y su dilatación térmica son los factores que más influyen en las curvaturas resultantes en la doble compactación de baldosas de gres porcelánico.

Palabras-clave: doble compactación; acuerdo dilatométrico; gres porcelánico; curvaturas.

1. Introducción

La dilatación que la mayoría de los materiales sufren es debida a las vibraciones atómicas por la acción del calor, o que lleva a un mayor distanciamiento entre los átomos, y por consecuencia un aumento de su energía interna. Este aumento dimensional es característico de cada material y es expresado por un factor dependiente de la temperatura, denominado coeficiente de dilatación. Además, para determinarse el acoplamiento efectivo entre una capa y su sustrato es necesario conocer la temperatura de acoplamiento efectivo, mientras el punto de reblandecimiento y los puntos de transformaciones [1-3].

Los factores que influyen en la dilatación térmica de cerámicos sinterizados dependen de la naturaleza y cantidades de las fases vítreas y cristalinas formadas durante la cocción. Así, la expansión térmica del cerámico cocido será función de la composición de la pasta cerámica y de la temperatura de sinterización, y menos intensamente de la porosidad [1-6]. El gres porcelánico es un producto más denso debido a su mayor cantidad de fase vítrea, o que aumenta el valor intrínseco del coeficiente de dilatación, con valores próximos a $70 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Durante el enfriamiento de una baldosa en el horno, a la temperatura de acoplamiento efectivo la capa superficial (como ocurre con las capas micronizadas en el gres porcelánico de doble compactación) deja de comportarse como un material viscoso y pasa a ser un sólido, tan rápido que no es capaz de absorber cualquier sollicitación a que sea sometido. A partir de esta temperatura, si la capa superficial y el sustrato sufrieren contracciones diferentes, serán originadas tensiones entre los dos materiales y podrá ocurrir la curvatura de las piezas sinterizadas [3-6].

La temperatura de acoplamiento (T_a) de la capa superficial debe estar en el intervalo de temperaturas entre la temperatura de reblandecimiento (T_m) y la temperatura de transición vítrea (T_g) del material, pero su exacto valor es difícil de estimar. Métodos ópticos y el método Steger usados para determinar la evolución de las

tensiones entre la capa superficial y el sustrato en función de la temperatura resultaran en una estimativa para los valores de T_a [3-7].

Durante la cocción, las baldosas cerámicas están constantemente sometidas a variaciones de tamaño debido a su dilatación térmica. Si un cuerpo cerámico presenta retracciones de diferentes magnitudes en su extensión, el producto final puede presentar desviaciones, problemas de ortogonalidad, planaridad y paralelismo de sus lados. Existen dos causas principales para hacer con que una placa presente retracciones diferenciales entre las capas que las constituyen: gradientes de temperatura en los secaderos u hornos; y variaciones de densidad en la baldosa, debido a diferencias de homogeneidad [5-8].

Mismo con un horno (o secadero) perfectamente ajustado, las desviaciones dimensionales pueden manifestarse debido a heterogeneidades de compactación durante el prensado, o que resulta en variaciones de densidad en una misma baldosa. La intensidad de las deformaciones causadas por variaciones en la densidad aparente resulta de una etapa de prensado problemática o del grado de gresificación das baldosas durante la cocción [1-4].

El módulo elástico é otro parámetro a ser considerado en el acuerdo dilatométrico entre sustrato y su recubrimiento. El módulo elástico cambia en función de la porosidad presente en el material, y la porosidad formada é función de la temperatura de sinterización: cuanto mayor la temperatura de cocción, mayor formación de fase vítrea y menor la porosidad resultante. Así, la disminución de la porosidad resulta en aumento del módulo elástico. Otros factores como la disolución del cuarzo presente y el desarrollo de neofases cristalinas afectan considerablemente el módulo elástico [1-3].

Finalmente, con relación al acuerdo dilatométrico entre el sustrato y su recubrimiento, durante el calentamiento de la baldosa en el horno, el sustrato y la capa superficial de recubrimiento pueden sufrir dilataciones incompatibles, pues en esta etapa la capa superficial presenta mayor cantidad de fase líquida debido a mayor reactividad entre sus partículas, acompañando las variaciones dimensionales que el sustrato muestra. Este estado perdura hasta determinada etapa del enfriamiento del horno, donde la capa superficial vuelve a comportarse como un sólido y presenta su propia retracción. En este momento, si el sustrato y la capa superficial presentaren retracciones incompatibles, serán generadas tensiones en la interface entre las capas. Las curvaturas que surgen visan aliviar las tensiones desarrolladas [7,8].

Además del acuerdo o la compatibilidad entre recubrimiento y base poder ser evaluada por sus coeficientes de dilatación, este efecto no es tan directo, pues la interfaces formada entre la capa superficial y el sustrato afecta considerablemente las tensiones entre las capas debido a las variaciones de composición durante la cocción. La falta de compatibilidad entre las capas resulta en las curvaturas (cóncavas o convexas) que surgen en el producto final [1-4].

A partir del conocimiento das relaciones entre el comportamiento termomecánico del sustrato y de su capa superficial es posible identificar las causas más probables de las desviaciones dimensionales que presentan los productos cerámicos como el gres porcelánico de doble compactación.

2. Materiales y Métodos

En este trabajo fue utilizada una formulación básica de gres porcelánico atomizada, formando la pasta del sustrato, y la misma formulación micronizada, formando la capa superficial de recubrimiento. La composición química de la pasta base fue determinada por fluorescencia de rayos X (WDS). El atomizado y el micronizado fueran obtenidos industrialmente. En la doble compactación la espesura de capa del micronizado se alteró en proporciones de 15/85, 30/70 y 45/65 con relación a la espesura del sustrato, siendo las baldosas formadas compactadas a 430kgf/cm² y cocidas a 1205°C por 50min de ciclo en un horno industrial a rodillos. La isotérmica utilizada fue de 5min y la temperatura rápidamente reducida para 560°C.

Para cada formulación (doble compactación) se determinó la resistencia a flexión en tres puntos, el módulo de elasticidad, la dilatación térmica y el punto de reblandecimiento, comparándose los resultados con la propensión a curvatura del producto comercial. La resistencia a flexión y el módulo de elasticidad fueran determinados en una máquina universal de ensayos con velocidad de avance de 10mm/min utilizando tres puntos de apoyo. El coeficiente de dilatación térmica y las temperaturas características (T_m y T_g) se determinarían por dilatometría (10°C/min). La dilatación se determinó en el intervalo de temperaturas entre 25°C y 325°C, y las temperaturas características hasta el reblandecimiento de la muestra.

3. Resultados y Discusiones

En la tabla 1 se presenta el análisis químico de la pasta base, formada básicamente por feldspatos (albita y microclínio), arcillas (moscovita, caolinita y ilita) y accesorios como cuarzo y zircón, siendo contaminada por anatásio y goetita. Es una pasta utilizada comercialmente por una empresa de gres porcelánico.

Tabla 1. Análisis químico da pasta de gres porcelánico (% másico)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ZrO ₂	P.F.
65,3	20,2	0,3	0,6	0,3	1,7	3,6	3,2	4,8

Con relación al comportamiento térmico, en la figura 1 son mostradas las curvas dilatométricas del sustrato y de la capa micronizada. El soporte presenta una temperatura de transición vítrea de 888°C y de reblandecimiento de 1062°C, con temperatura de acoplamiento calculada de 972°C. Su coeficiente de dilatación térmica es de $70,5 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. La capa micronizada presenta Tg de 830°C, Tm de 1037°C y Ta calculada de 813°C, con una dilatación de $72,0 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

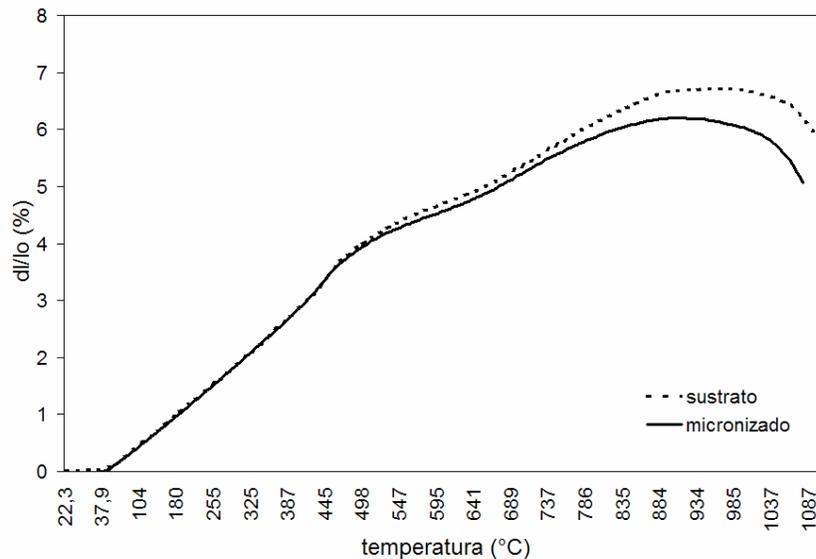


Figura 1. Curvas dilatométricas para el sustrato y la capa micronizada

Pelos resultados obtenidos hay una pequeña diferencia entre los coeficientes de expansión del soporte y de la capa micronizada, o que no causaría problemas de acuerdo dilatométrico. Además son grandes las diferencias entre las temperaturas de reblandecimiento y de transición vítrea del sustrato y de la capa micronizada, o que causa grande diferencia en la temperatura de acoplamiento calculada. Como la pasta es la misma para el sustrato y la capa micronizada, la diferencia es debida solamente al procesado de cada capa.

En la figura 2 se presenta la retracción linear con la variación de espesor de la capa micronizada. Hay una nítida reducción de la contracción linear con el aumento del espesor da capa superficial debida a mayor densidad de esta capa. Polvos granulados presentan mayor densidad a verde cuando prensados y por consecuencia menor contracción durante cocción.

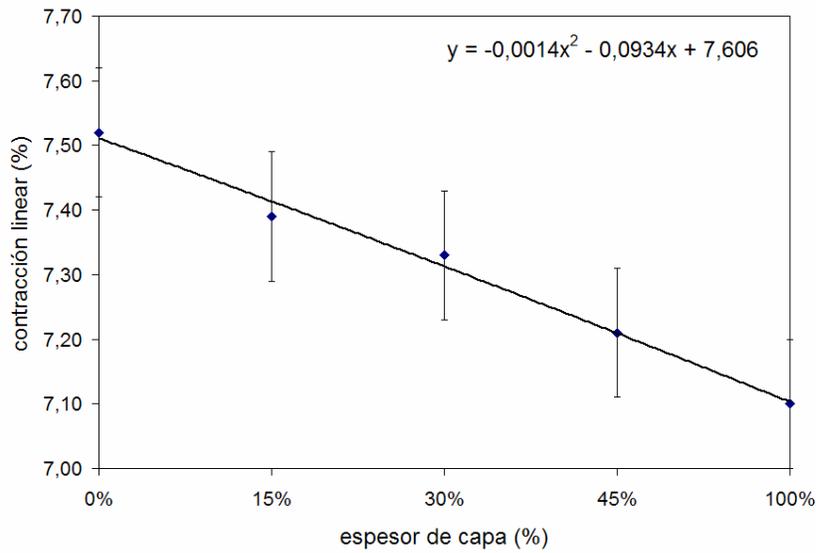


Figura 2. Contracción lineal en función de la variación de espesor de la capa superficial

El módulo de ruptura (figura 3) es óptimo con la relación 30/70 para el espesor de capa micronizada. Tanto el módulo de la base cuanto del micronizado tiene valores más bajos, o que indica la eficiencia de la doble compactación para el gres porcelánico. Así, con 30% de espesor de capa superficial probablemente ocurre la mayor interacción entre las capas. El módulo de elasticidad presenta el mismo comportamiento que el módulo de ruptura, como se podría esperar.

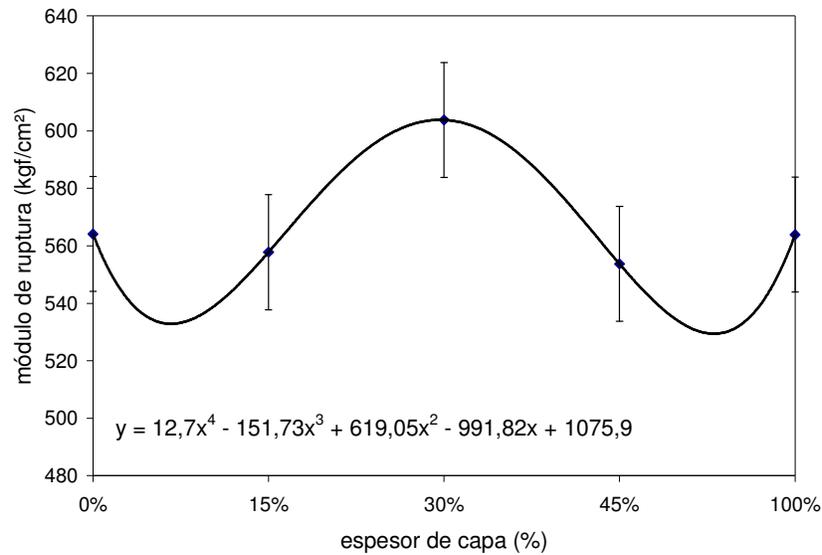


Figura 3. Módulo de ruptura en función de la variación de espesor de la capa superficial

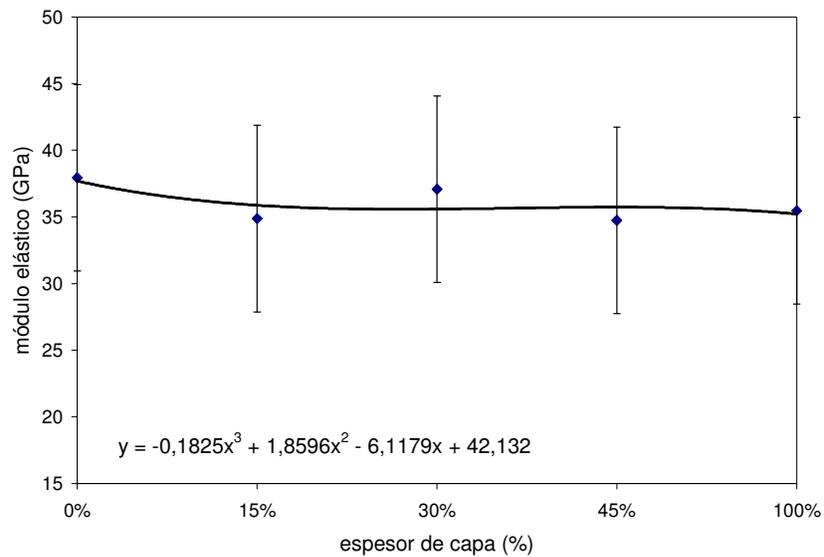


Figura 4. Módulo de elasticidad en función de la variación de espesor de la capa superficial

La doble compactación permite la obtención de una capa base consistente con circa de 75% de espesor del sustrato, donde la capa superficial no comprometería las características estructurales del producto final. Los resultados de módulo de ruptura y módulo elástico se realizaron tomándose las medidas de deformación de la máquina, y no de las pruebas, siendo necesarias algunas correcciones para un cálculo más preciso de estas propiedades.

4. Conclusión

La doble compactación es una práctica industrial utilizada para obtención de efectos técnicos o estéticos especiales para el gres porcelánico. Todavía, la falta de control del acuerdo entre el sustrato e su capa superficial resulta en problemas dimensionales como curvaturas y pérdida de planaridad, o que se torna muy crítico en el pulido. En esta investigación se han comprobado algunos aspectos de proceso que deben ser mejor controlados para evitar problemas de acoplamiento.

Con relación a la expansión térmica se comprobó el efecto de la densidad de compactación de cada componente (sustrato y capa micronizada) sobre sus coeficientes de expansión térmica y sobre sus temperaturas características (transición vítrea y de reblandecimiento). Con una misma composición química y de fases que la del sustrato, la capa micronizada, más densa, resultó con un coeficiente de dilatación térmica ligeramente mayor. Su temperatura de transición vítrea, al contrario, resultó menor.

5. Referencias

- [1] Amorós, J.L.; Negre, F.; Belda, A.; Sánchez. Técnica Cerámica 178 (1989) 582-592.
- [2] Amorós, J.L.; Blasco, A.; Carceller, J.V.; Sanz, V. Técnica Cerámica 179 (1989) 644-657.
- [3] Amorós, J.L.; Orts, M.J.; Gozalbo, A.; Montiel, E. Técnica Cerámica 180 (1990) 34-45.
- [4] Amorós, J.L.; Moreno, A.; Negre, F.; Orts, M.J. Técnica Cerámica 181 (1990) 138-145.
- [5] Amorós, J.L.; Blasco, A.; Negre, F.; Ibáñez, M.J. Técnica Cerámica 182 (1990) 228-233.
- [6] Enrique, J.; Beltrán, V.; Negre, F.; Felú, C. Técnica Cerámica 183 (1990) 282-297.
- [7] Belda, A.; Blasco, A.; Montiel, E.; Orts, M.J. Tile Brick Int. 7 (1) (1991) 15-22.
- [8] Amorós, J.L.; Belda, A.; Orts, M.J.; Escardino, A. Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr. 31 (2) (1992) 109-114.