

Defectos de prensado*

SALVADOR DE AZA PENDAS.
Licenciado en Ciencias Químicas.
Departamento de Silicatos.
Patronato "Juan de la Cierva".

RESUMEN

Se revisan brevemente los procesos de prensado en seco, en semi-seco y en húmedo, señalando las diferencias esenciales entre estos tres procesos y describiendo sus ventajas y desventajas.

En este artículo se revisan también los defectos que se originan más frecuentemente en las operaciones de prensado en seco, como son: 1) Grietas, 2) Alabeado, 3) Laminaciones, 4) Acuñaado, 5) Rebabas; y 6) Desconchados. Se ha intentado descubrir las causas de estos defectos y se han seleccionado las curas más apropiadas.

SUMMARY

The processes of dry, semi-dry and plastic pressing are briefly reviewed. The essential differences between these three processes are pointed out and a description is made of their advantages and disadvantages.

The article also includes a review of the faults which originate most frequently in the dry-pressing operations, such as: 1) Cracks, 2) Warpage, 3) Laminations, 4) Wedging (or «out of squareness»), 5) Fins, and 6) Die sticking. An attempt has been made to trace the causes of the above defects and to select the most appropriate cures.

I.—Introducción.

Entre los diferentes métodos de trabajo empleados por la industria cerámica, el que hace uso de la presión es quizá el más extendido, puesto que con él se consiguen dos objetivos primordiales en toda fabricación, es decir: gran rendimiento de la producción, por la facilidad de automatizar dicho proceso y buenas características en los productos acabados. Una prueba de su gran aceptación como proceso de formación, nos la da el hecho de que tanto en el campo

* Conferencia pronunciada en Valencia durante la VI Semana de Estudios Cerámicos, organizada por la Sociedad Española de Cerámica (11-14 de mayo de 1964).

cerámico como en el no cerámico, cuando se presenta un problema de fabricación, es el primer método a considerar como posible solución

Los ceramistas dividimos este proceso, según el contenido de humedad presente en la materia a pensar, en pensado en húmedo, semi-seco y seco, dentro de unos límites no muy precisos. El último término indicado. "pensado en seco", es aplicado impropiaamente, puesto que el material a pensar en contadas y raras ocasiones está exento de humedad, variando en este caso su contenido generalmente entre el 1 y el 7 %, aunque en la cerámica técnica, donde su aplicación está muy extendida, raramente se pasa del 4 %. Sin embargo, esta expresión es usada con el único fin de diferenciar este método de formación del semi-seco y húmedo, donde los contenidos de humedad varían generalmente desde el 7 al 20 %. La principal diferencia entre estos procesos, está en el hecho de que a más altos contenidos de humedad tiene lugar el flujo plástico durante el pensado y, por tanto, hace posible la obtención de piezas de forma más complicada, requiriendo presiones menos elevadas.

El flujo plástico no se produce en el pensado en seco, y, sin embargo, a pesar de este inconveniente, la industria prefiere este tipo de pensado, principalmente porque elimina la necesidad de secado de las piezas, eliminándose al mismo tiempo la contracción de secado, por lo que se pueden obtener piezas con una gran exactitud dimensional.

Es a este tipo de pensado, muy extendido, tanto en la fabricación de refractarios como en la de aisladores eléctricos, cerámica técnica no arcillosa, ferritos, productos de arcilla, tales como azulejos, baldosines, etc., al que nos vamos a referir en este artículo.

Los principales objetivos de la operación de pensado son: la distribución uniforme de la mezcla de material en el molde y el uso de una presión suficientemente alta, para compactar la mezcla en una unidad de dimensiones definidas, la cual pueda manejarse sin romperse.

Muchos son los factores que influyen en la operación de pensado, pero todos ellos podríamos reunirlos en dos grupos bien diferenciados: *a)* Aquellos que teniendo un efecto marcado sobre las características del producto acabado, provienen de operaciones anteriores al propio pensado, como son por ejemplo, la granulometría empleada, el contenido de humedad, la preparación de la pasta, etc., y *b)* Los derivados directamente de la propia ejecución de la operación de pensado, como son por ejemplo, la forma de llenado de los moldes, la velocidad de aplicación de la presión, la dirección de pensado, etc. El no controlar cualquiera de ellos, trae consigo defectos en la pieza acabada, algunos de los cuales son característicos de un determinado factor y otros,

por el contrario, aparecen como resultado de la acción conjunta de varios de ellos.

Al estudiar, pues, los defectos de prensado, podríamos tomar dos caminos: uno, el analizar todos los factores que influyen en el prensado y ver los defectos derivados del impropio control de ellos, y otro, el de analizar los defectos aparecidos en las piezas y tratar de indagar su origen y el modo de corregirlos. Esta segunda manera de enfocar el problema, y que podríamos llamar "a posteriori", es la que hemos escogido para este estudio.

Por desgracia, el proceso de prensado puede dar lugar a muchos defectos, y el tratar de todos ellos se sale fuera de nuestro propósito. En esta exposición nos limitaremos a señalar aquellos que a nuestro juicio son más comunes, analizándolos en su origen, tratando de explicar los factores que pueden tener un efecto marcado sobre ellos y, por último, tratando de señalar los controles a seguir en cada caso para poderlos evitar.

Los principales defectos son: (II) Grietas. (III) Alabeado. (IV) Laminaciones. (V) Acuñaado. (VI) Rebabas, y (VII) Desconchados.

II.—Grietas.

En una pieza cerámica prensada pueden presentarse grietas en su estado en verde, o bien manifestarse o producirse posteriormente durante la cocción. El origen de ellas es muy variado y su aparición puede deberse a la asociación de dos o más factores. Las grietas más características y frecuentes son: (1) Grietas de presión, (2) Grietas producidas por desgaste de las platinas del molde, (3) Grietas producidas durante la cocción y debidas a imperfecto llenado del molde, y (4) Grietas producidas durante la cocción y debidas a la variación de la presión de formación en el interior de la pieza.

A continuación vamos a ver cada una de ellas por separado:

I.—GRIETAS DE PRESIÓN.

Si aumentamos paulatinamente la presión de formación de una pieza, alcanzaremos un valor, a partir del cual empiezan a aparecer grietas. Las grietas así producidas reciben el nombre de "grietas de presión", y este hecho, por tanto, nos limita la posibilidad de aplicar presiones demasiado altas.

Como hemos indicado anteriormente, en el prensado en seco y bajo presiones normales, no se produce el flujo plástico, es decir, el material "no corre", y si deseamos que éste tenga lugar, por necesidades de formación de la pieza, tendremos que emplear presiones muy grandes. Esta elevación de la

presión de formación dará lugar a presiones extremadamente altas sobre las paredes laterales del molde pudiendo ocasionar su flexión o deformación elástica. En la figura 1 se representan cuatro momentos del prensado de una pieza. Al aumentar la presión de formación (presión axial) con objeto de poder obtener una pieza más densa, si las platinas laterales no son suficientemente rígidas, la presión radial transmitida por el polvo compactado, puede ser suficiente para dar lugar a que cedan y se comben hacia fuera, produciéndose al mismo tiempo un flujo de material en ese sentido. Al quitar la presión, las paredes del molde tenderán a volver a su posición primitiva, sometándose a la pieza a fuerte compresión y dando lugar al combado y posteriormente a la rotura de ésta.

La solución parece obvia, habrá que dotar a las platinas laterales de una resistencia adecuada, para que esta flexión no tenga lugar a la presión de prensado. Ahora bien, para un perfecto diseño del molde sería necesario conocer el valor de la presión radial, y esto, aparte de requerir aparatos especiales, no es fácil. En realidad su conocimiento ha sido un problema muy estudiado y debatido desde hace tiempo. Generalmente y para, como vulgarmente se dice, curarse en salud, se considera que la presión radial es igual a la presión axial o presión de formación, es decir, se diseña el molde como si el polvo fuera un fluido.

Sin embargo, medidas de la presión radial, han indicado que ésta es normalmente considerablemente más baja que la presión axial. El diseño del molde, pues, basándose en la consideración antes apuntada, nos pondría a salvo de la aparición de "grietas de presión" en la pieza por flexión de las paredes. Sin embargo, esto trae consigo el aumento innecesario del costo de un troquel, que si bien en los casos donde la presión aplicada o la pieza a fabricar son pequeñas, no entraña un encarecimiento excesivo, sí que puede ser importante en aquellas ocasiones en que la pieza a prensar sea grande o la presión de formación sea elevada.

Trabajos llevados a cabo por W. M. Long (1) sobre la naturaleza, origen y variación de la presión radial durante la operación de compactación y sobre la relación entre ésta y la densidad del compacto, indican que la presión radial máxima puede calcularse a partir de la densidad final y de la presión de compactación o presión axial. A partir de las observaciones realizadas construye este autor una tabla de valores (tabla I) donde se relaciona la razón de presiones (cociente entre la presión radial y la presión axial) y el tanto por ciento de densidad deseada en el compacto.

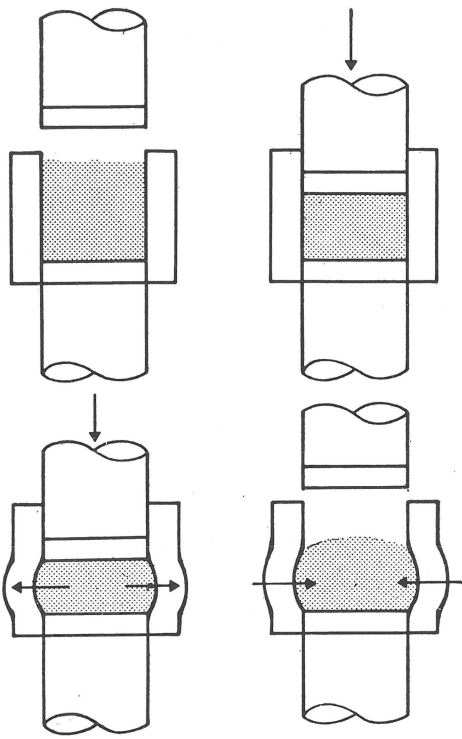


FIG. 1.

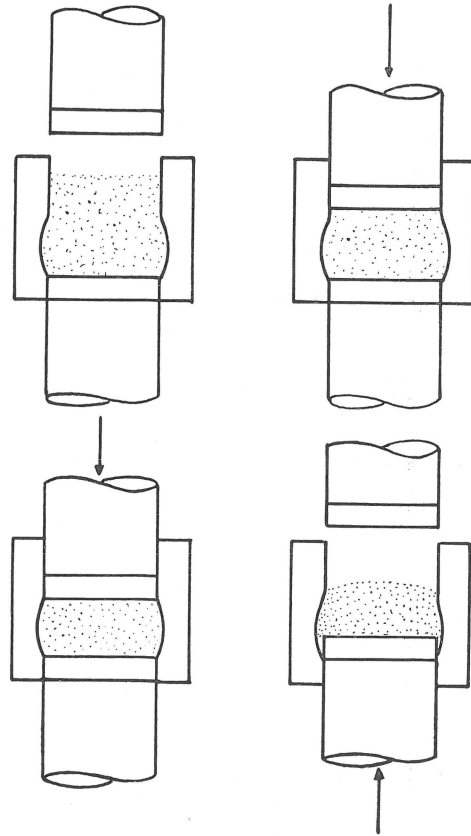


FIG. 2.

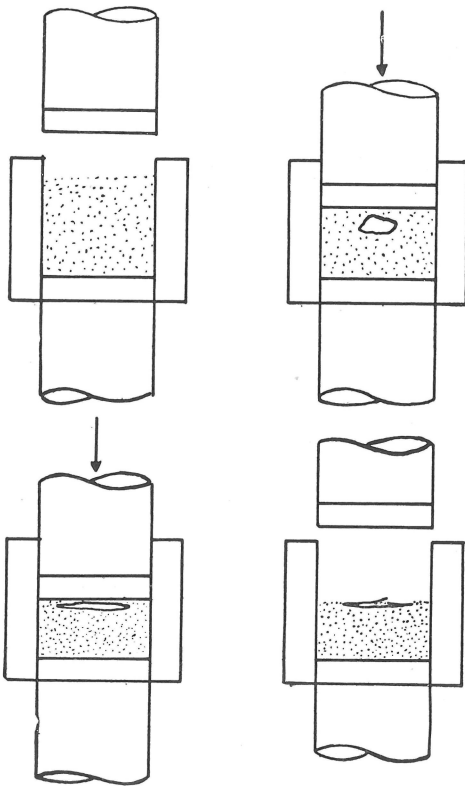


FIG. 3.

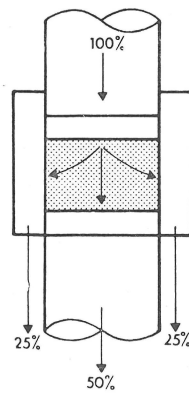


FIG. 4.—Variación de la presión de formación por frotamiento del material contra las paredes del molde. (Ludovici, J. M. (ref. 4.)

TABLA I

Porcentaje de densidad	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Razones de presiones	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,55	0,65	0,85	1,0

Es decir, una vez establecido el porcentaje de densidad deseado y la presión de prensado, se puede obtener el valor de la presión radial a partir de los valores correspondientes de la tabla.

La observación de esta tabla demuestra una vez más que la consideración de tomar la presión radial como igual a la presión axial para el diseño de moldes es excesivamente conservadora y aún más a bajos porcentajes de densidad.

2.—GRIETAS PRODUCIDAS POR DESGASTE DE LAS PLATINAS DEL MOLDE.

Al desmoldear una pieza prensada pueden producirse grietas debido al desgaste de las platinas. En la figura 2 podemos apreciar cuatro fases del prensado de una pieza en un molde con las platinas desgastadas. Este desgaste está más acentuado, como es natural, en la zona de máxima compactación de la pieza, puesto que aquí es donde la abrasión del material sobre las platinas es más acentuada, al estar sometido a la máxima presión. Al prensar la pieza, ésta adquirirá las dimensiones de la cavidad y al tratar de desmoldearla una vez quitada la presión, debido a ser más estrecha la parte superior del molde, sufre en la expulsión un combado que da lugar a la rotura de la pieza.

Para impedir que esto ocurra hay que evitar el usar platinas desgastadas y emplear aceros muy resistentes a la abrasión que permitan ciclos de prensado muy grandes con el mínimo desgaste. El empleo de moldes de carburo de tungsteno, a pesar de su alto costo inicial, están económicamente justificados, ya que tienen una larga vida cuando se prensan cuerpos abrasivos. Hay que procurar en su utilización, no poner en contacto piezas de carburo entre sí en el montaje, debido a la frágil naturaleza del material.

3.—GRIETAS POR AIRE OCLUIDO.

Cualquier máquina que fabrique una pieza en una operación de prensado rápida y única, atraparé una cantidad de aire entre la masa debido a que éste no encontrará modo de salir en tiempos tan cortos de prensado. Al prensar la masa, el aire será comprimido (fig. 3) y concentrado a lo largo de líneas de debilitamiento (causadas por desigualdad de textura debido a mala alimenta-

ción o pobre distribución del tamaño de grano, en el mezclado). Cuando se quita la presión, el aire tenderá a expandirse de nuevo y si está en suficiente cantidad, cerca de la superficie y a presión suficientemente elevada, la rápida expansión dará lugar a roturas.

El uso reciente de equipos de vacío en conexión con las prensas, ha reducido considerablemente las roturas debidas a aire ocluido, pero de esto hablaremos al tratar más adelante de las laminaciones.

4.—GRIETAS PRODUCIDAS DURANTE LA COCCIÓN Y DEBIDAS AL IMPERFECTO LLENADO DEL MOLDE.

La manifestación de grietas durante la operación de cocción, puede tener su origen en un imperfecto llenado del molde. Debido a esto, las diferencias de densidad dentro de la pieza pueden ser grandes, que den lugar a la creación de tensiones muy acusadas, que se manifestarán en la aparición de grietas o bien en la rotura de la pieza. Este defecto, se presenta en especial en el prensado de piezas de forma complicada, donde la falta de flujo plástico bajo presiones normales da lugar a diferencias de densidad muy acusadas en el interior de la pieza. Para vencer esta dificultad, es práctica común, el compactar la masa, bien a mano o bien por medio de piezas de madera de forma apropiada, en aquellas secciones donde la falta de suficiente material dé lugar a bajas presiones. En otras palabras, el objetivo es mantener la razón de compresión tan constante como sea posible en la dirección de la aplicación de la presión, aun a través de piezas con diferente grosor.

5.—GRIETAS PRODUCIDAS DURANTE LA COCCIÓN Y DEBIDAS A LA VARIACIÓN DE PRESIÓN DE FORMACIÓN EN EL INTERIOR DE LA PIEZA.

En el prensado de una pieza cerámica dentro de un molde por medio de una prensa de simple efecto, es decir, que hace uso de una sola dirección de prensado, se produce un gradiente de presión que aumenta desde la parte superior al extremo opuesto. Esta variación de presión tiene su origen principalmente en el frotamiento del material contra las paredes del molde, puesto que por medio de este frotamiento se transmite sobre las paredes laterales una parte importante de la presión aplicada (fig. 4), llegando en ciertos casos a ser del orden del 50 % del valor de la presión inicial de formación. En el caso de un cilindro, las variaciones de presión se incrementan, en general, a medida que aumenta la razón entre la altura y el diámetro. En la figura 5 se presentan como ejemplo tres cilindros del mismo diámetro y de alturas diferentes.

P. Draignaud (2) ha puesto de manifiesto en un estudio sobre el reparto

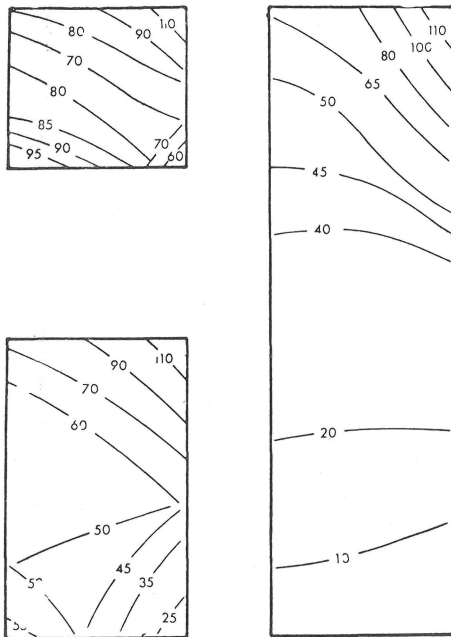


FIG. 5.—Distribución de presión en un polvo compactado. (Duwez y Zuel (ref. 6.)

de presiones de formación, que éstas pueden variar de sencillo a doble entre dos puntos de una misma pieza, aunque la granulometría, humedad del polvo, alimentación del molde, aplicación de la presión y desmoldeo sean tan constantes como correctamente empleados.

Otro estudio de la Sociedad Francesa de Cerámica (3) ha demostrado, igualmente, que la contracción de cocción puede pasar del 8 al 6 %, cuando la presión de formación varía de 100 a 600 Kg/cm². La contracción varía aproximadamente un 1 % en valor absoluto cuando la presión va de 200 a 400 Kg/cm². Variaciones de presión de este orden pueden encontrarse fácilmente en un molde industrial.

Este gradiente de presión da lugar, pues, a variaciones de densidad importantes, que durante la cocción se manifestarán como diferencias de dilatación o contracción, dando lugar al agrietamiento o rotura de la pieza.

Para evitar en lo posible estas variaciones de presión, es necesario cuidar la lubricación de las paredes del molde. Kamm Steinberg y Wulf (5), han mostrado que lubricando las paredes de un molde por pulverización de dos capas de ácido esteárico, se eliminaban completamente las variaciones de presión debidas al frotamiento. Como lubricantes se pueden usar con gran éxito soluciones de grafito, mezclas de grafito y silicona, etc., no existiendo ninguna re-

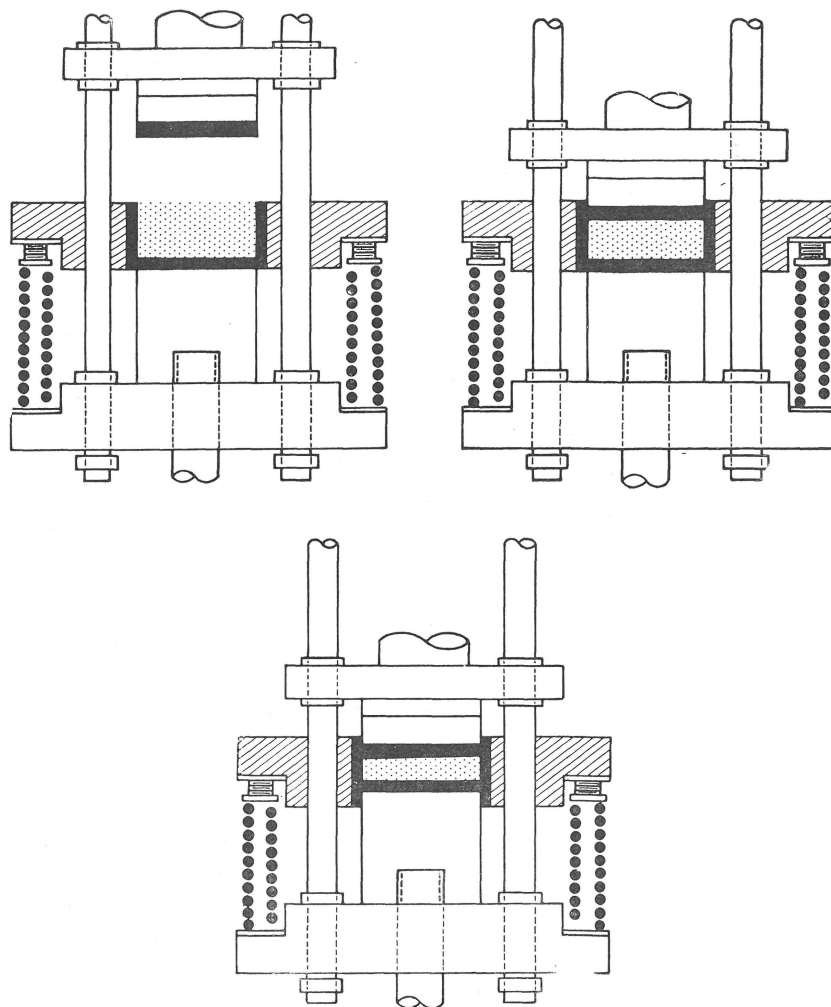


FIG. 6.

gla general en sus usos para tipos específicos de materiales, sino que éstos varían de unas fábricas a otras.

Otras de las medidas a tomar para eliminar esta variación de presión, es utilizar una prensa con doble efecto de prensado, es decir, prensando en ambos sentidos. Esta medida reduce la variación de densidad a un mínimo. Sin embargo, no es totalmente necesario adoptar una prensa de este tipo, ya que se pueden obtener resultados igualmente buenos empleando una prensa de efec-

to simple, pero permitiendo al molde deslizarse, montándolo sobre muelles. En la figura 6 se presenta el esquema de una prensa de este tipo, donde la caja del molde está suspendida por muelles, pudiéndose regular la tensión de éstos a conveniencia, por medio de los tornillos superiores. Durante el primer período del prensado, tiene lugar la compactación del material, sin que los muelles cedan, puesto que aún el frotamiento de la masa sobre las paredes del molde no es muy grande. A medida que aumentamos la presión para compactar más la masa, se incrementará la fricción entre la pasta y las paredes, dando lugar a que los muelles cedan y ocasionando el deslizamiento del molde hacia abajo. Este movimiento del molde actúa como si nosotros hubiésemos prensado con el émbolo inferior, es decir, que obtendremos un efecto de doble prensado. Cuando la prensa sea de plato fijo y no permita la instalación de este dispositivo, se pueden diseñar los troqueles basándonos en lo anteriormente expuesto. En la figura 7 se representa un troquel donde la matriz del molde se ve suspendida por los muelles inferiores y puede deslizarse sobre las columnas guías. La diferencia cualitativa entre un prensado de doble efecto y uno de efecto simple, podemos apreciarla en la figura 8 donde se representan esquemáticamente dos piezas en sección, sometidas respectivamente a los dos tipos citados de prensado. Como podemos apreciar en la figura de la izquierda, las partículas que se encuentran en la parte inferior del molde, es decir, las más alejadas del lugar de aplicación de la presión, no presentan prácticamente deformación y están poco compactadas. Ello dará lugar durante la cocción a variaciones muy acusadas de dimensiones con lo cual quedará la pieza sometida a tensión y será posible su rotura. En la figura de la derecha, al prensar por los dos extremos, la zona de menor compactación queda en el centro de la pieza, equilibrándose las posibles tensiones. Además, estas tensiones se producen en mucho menor grado. En la figura 9 se pone de manifiesto cuantitativamente la caída de presión por medio de isolíneas obtenidas con ayuda de un juego dinámico de bolas, pudiéndose apreciar la marcada diferencia existente entre el prensado en una sola dirección y el verificado en dos direcciones.

Las grietas presentes en una pieza cerámica no son siempre detectables antes de la cocción, y aún después de ésta son difíciles de determinar algunas veces. Se ha desarrollado un gran número de métodos para poderlas localizar. Uno muy simple para detectarlas en los productos en verde, es mojarlos con petróleo o alcohol o cualquier otro líquido de baja tensión superficial, aprovechando que las grietas absorben el líquido más rápidamente que el resto de la pieza. Las piezas cocidas pueden introducirse dentro de un colorante fluorescente y observarse posteriormente con luz negra. El mejor método, sin embargo,

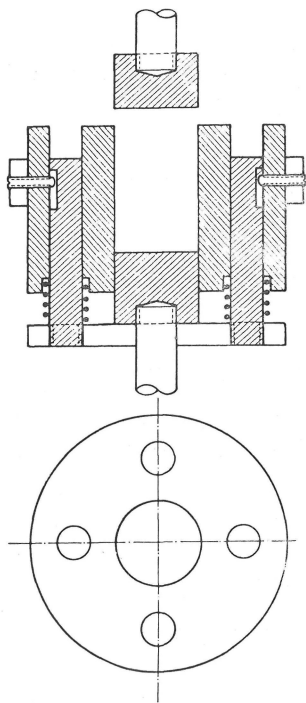


FIG. 7.

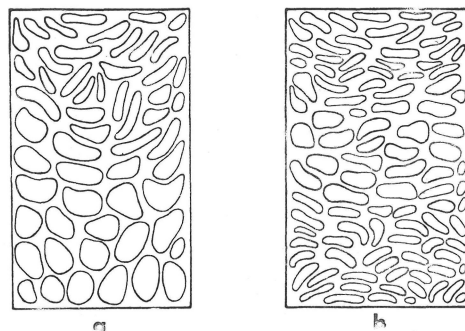


FIG. 8.—a) Prensado de efecto simple.
b) Prensado de doble efecto.

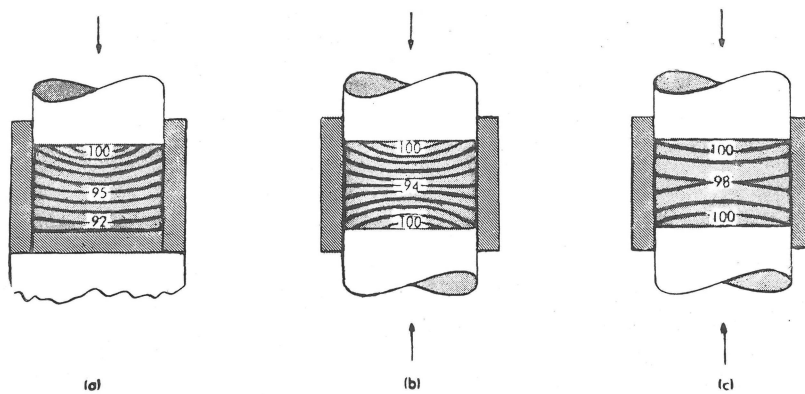


FIG. 9.—Distribución de la densidad en un molde bajo varias condiciones de presión: a) Prensado de efecto simple. b) Prensado de doble efecto. c) Prensado de doble efecto con lubricación. (Norton, F. H. (ref. 20).)

es sumergir la pieza en una solución de alcohol-colorante bajo presión y observar la penetración del colorante. Este ensayo también puede ser útil para la observación cualitativa de la absorción de humedad.

III.—Alabeado.

El alabeado o combado es considerado normalmente como un defecto de cocción, sin embargo, en la mayoría de los casos este defecto tiene su origen en el proceso de prensado.

Si recordamos algunos de los casos citados en el apartado anterior, antes de producirse el agrietamiento de la pieza tenía lugar un combado de ésta. Por tanto, en aquellos casos en que no se llegue a la rotura, la pieza presentará el defecto de alabeado. Igualmente, las diferencias de densidad presentes darán lugar al combado de la pieza cuando no se llegue a la rotura. En general, este defecto es la etapa inmediatamente anterior a muchos de los defectos de rotura. En particular, el alabeado que se suele producir en los bordes de las piezas, por ejemplo en azulejos, es causado generalmente por un impropio llenado del molde. Es decir, si en la alimentación del molde suministramos menos arcilla, por ejemplo, en el centro de la cavidad, esta zona estará menos prensada y dará lugar a diferencias de densidad que se traducirán en un alabeado cóncavo, y viceversa, si se suministra más arcilla en el centro de la pieza, se producirá un alabeado convexo en los bordes.

El alabeado antes de la cocción puede no tener relación alguna con el llenado de los moldes ni con las diferencias de densidad en la pieza prensada. Es bien conocido el hecho de que una pieza expande a medida que se quita la presión. El valor de esta expansión depende sobre todo de la presión y del contenido de humedad empleados. Si una vez acabado el ciclo de prensado se quita el macho de la prensa, quedando la pieza aún confinada en el molde, la expansión sólo podrá tener lugar en una dirección, es decir, hacia arriba, y podrá dar lugar a una pieza convexa. Con objeto de evitar este tipo de alabeado, es conveniente que sea el molde el que pueda bajar antes de quitar la presión ejercida por el macho. Esto permitirá la libre expansión de la pieza en todas las direcciones cuando se quite la presión.

IV.—Laminaciones.

Se conoce por este término el defecto producido por la oclusión de aire en la pieza durante el prensado. En casos severos, puede dar lugar al hinchamiento o combado de la pieza, algunas veces no visibles hasta después de la

operación de cocción. Sin embargo, es de resaltar que si bien es frecuente observar laminaciones después del proceso de secado o cocción de una pieza, raramente éstos son causas primarias de laminaciones, aunque puedan contribuir a revelar defectos preexistentes, que han pasado desapercibidos hasta entonces. En los casos más comunes, las piezas no muestran ningún signo exterior de este defecto aún después de cocidas, pero presentan a la percusión un sonido vacío y las laminaciones son visibles si la pieza se rompe.

Las causas potenciales de este fenómeno de laminación son muy numerosas pero las principales parecen ser: (1) Forma de las partículas, (2) Tamaño y distribución de las partículas, (3) Métodos de mezclado, y (4) Moldeo.

1.—FORMA DE LAS PARTÍCULAS.

Es más difícil definir que encontrar un material con buenas cualidades de moldeo. No es extraño oír a un fabricante elogiar las características de un material, por ejemplo de una arcilla, por sus excelentes cualidades de prensado, mientras que a otro puede no serle útil para su uso la misma arcilla porque tiene tendencia a causar laminaciones. Es de sobra conocido, que ciertos materiales tales como el talco, particularmente el tipo laminar, pueden dar lugar a laminaciones cuando se usan en grandes cantidades, mientras que, por ejemplo, la wollastonita en cantidades similares prensa satisfactoriamente. También es conocido que adiciones de esta última a un cuerpo alto en talco, da una masa que puede ser prensada sin dificultades.

No es nuevo el hecho de que las partículas no equidimensionales pueden orientarse en los procesos de formación, pero sólo recientemente este fenómeno se ha estudiado detenidamente, empleando técnicas ópticas (principalmente el microscopio polarizante) y de rayos X.

El talco, así como el grafito o la mica son minerales con estructura laminar, y cuando se mezclan con un material plástico como una arcilla y se somete la mezcla a moldeo bajo presión, las partículas se orientan bajo las fuerzas de compresión. Cuando se disminuye la proporción de material plástico con respecto al constituyente laminar, este fenómeno se hace menos pronunciado. No es de extrañar que esto ocurra, puesto que la facilidad de orientación se ve aumentada por la presencia de un material que fluye fácilmente bajo presión, puesto que las partículas laminares se verán arrastradas por el flujo del material y se dispondrán en la dirección de menor resistencia a dicho flujo, es decir, con la sección transversal mayor paralela a él. Si finalmente se elimina la totalidad del constituyente plástico, la formación de laminaciones se hace más difícil al faltar el vehículo fluido. En un caso de este tipo, si las partículas

laminares son deformables bajo la presión aplicada, se puede obtener un cuerpo de apreciable resistencia en virtud del entramado formado entre las partículas. De todos modos, un cuerpo de esta naturaleza muestra alguna tendencia a laminarse a lo largo de ciertas direcciones, que si bien son irregulares, estarán situadas aproximadamente en ángulo recto con respecto a la presión aplicada. Este fenómeno, de orientación en ángulo recto con respecto a la presión aplicada, es bien conocido de los geólogos, y los gneis y esquistos son buenos ejemplos de ello. Esta tendencia es tanto menos pronunciada, cuanto mayor facilidad tenga el material a deformarse bajo presión.

En el caso de materiales refractarios, éstos raramente son deformables bajo la presión a la que son moldeados y las partículas de forma laminar incrementarán la tendencia a la laminación.

De lo expuesto se podrá deducir que las partículas de forma redondeada serán más ventajosas. Sin embargo, esto no es así en la práctica, puesto que los granos redondeados, debido a su incapacidad para entrelazarse, darán en ausencia de cantidades apreciables de plastificantes, cuerpos de baja resistencia mecánica. La forma ideal de los granos es generalmente la de listones acuñaos (forma trapezoidal), los cuales son capaces de formar estructuras entrelazadas mostrando menos tendencia a la laminación que las partículas laminares.

2.—TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PARTÍCULAS.

La distribución del tamaño de las partículas ha sido estudiada matemáticamente considerándolas de forma esférica y admitiendo que durante el mezclado su distribución es perfecta, es decir, que los poros entre las partículas más gruesas son ocupados por las partículas de tamaño inmediatamente inferior, y los poros entre éstas por las partículas también de tamaño inmediatamente inferior, y así sucesivamente. En un caso ideal de gradación y mezclado no se producirá ningún plano de preferencia a lo largo del cual se facilite la laminación.

En la práctica, si bien es imposible producir una distribución ideal de tamaños y un mezclado de tal manera que cada partícula ocupe aquel lugar al cual ha sido destinada de antemano, se ha podido encontrar que por molienda del material, de tal manera que la razón de volumen del grano grueso a la fracción fina inmediatamente inferior sea de 2:1, se pueden obtener piezas densas con menor tendencia a laminarse que en el caso de una molienda al azar, considerando que todas las otras condiciones son similares en ambos casos.

De particular importancia en el acoplamiento de los granos, parece ser la razón del tamaño de la fracción más gruesa de la mezcla al volumen total de

la pieza. Así pues, cuanto mayor sea el tamaño de la pieza a prensar, mayor ha de ser el tamaño del grano grueso a emplear. Por ejemplo, para una pieza de 25×25 mm., se puede obtener ésta libre de laminaciones, considerando que las otras condiciones son correctas, introduciendo dos partes de partículas con tamaño de grano comprendido entre los tamices DIN n.º 16 y 80 y una parte menor que el de 80. Sin embargo, para obtener el mismo efecto para una pieza de dimensiones $230 \times 115 \times 65$ mm, se hace necesario incorporar una cantidad apropiada de grano grueso, por ejemplo, entre los tamices números 6 y 16.

El grano grueso tiene generalmente una acción de entrelazamiento y otra de formación del esqueleto de la pieza. Ambas acciones son a menudo lo suficientemente fuertes para prevenir la laminación, incluso aunque por otras razones existan planos potenciales de debilidad en el cuerpo.

3.—MEZCLADO.

Cuanto mejor mezclado esté un material menor será su tendencia a laminarse. Por otra parte, con una buena distribución de las partículas serán muy pocas las superficies de especial debilidad en el cuerpo y por tanto menor la tendencia a la laminación. Un mal mezclado puede producir aglomeraciones entre las partículas de tamaño similar, creando como consecuencia, superficies de debilidad a lo largo de las cuales pueden tener lugar las laminaciones.

La mezcla final es algunas veces mejorada por un mezclado previo de los granos en seco antes de añadir los constituyentes plásticos. Se puede realizar un mezclado íntimo pasando los materiales a través de una máquina tamizadora, o mejor aún utilizando un mezclador de tipo V.

Para el mezclado en húmedo, se recomiendan mezcladoras de palas, las cuales giran a velocidad diferente y están distintamente orientadas, al mismo tiempo que poseen dos muelas verticales a una determinada altura del fondo del mezclador, las cuales favorecen el que los granos gruesos queden rodeados perfectamente de las partículas finas y del material plástico.

Conviene echar primero al mezclador los materiales húmedos y después, en forma gradual, los constituyentes secos, mientras el mezclador está girando.

Un mezclado malo o insuficiente es la causa más frecuente de laminaciones, sobre todo en refractarios. Ello es debido probablemente a la pequeña diferencia que a simple vista existe entre una mezcla bien realizada y otra más pobre.

4.—MOLDEO.

Hasta aquí hemos señalado algunas de las causas de laminación que tienen su origen en operaciones anteriores al prensado. Sin embargo, durante la eje-

cución de éste, y pese a controlar cuidadosamente las otras variables, pueden manifestarse laminaciones, debido a la presencia de aire ocluido en la mezcla y a la negligencia de procurar su evacuación. No cabe duda, de que si se descuidan al mismo tiempo algunos de los otros factores ya citados las laminaciones serán aún más ostensibles.

En el diseño de los moldes hay que procurar dejar una cierta holgura entre las platinas superior e inferior y las platinas laterales que forman la caja de la pieza. Si estas holguras no son suficientes para permitir escapar el aire cuando la pieza se prensa, el aire quedará ocluido y dará lugar a laminaciones. Hay que procurar que estas holguras sean uniformes, ya que en caso contrario tenderán a producirse laminaciones preferentemente en el lado en que dichas holguras sean insuficientes.

Ya dijimos antes, al tratar de las roturas causadas por aire ocluido, que cualquier máquina que realice una pieza en una sola operación de prensado rápido, dará lugar a la oclusión de aire al no tener éste tiempo suficiente para poder escapar. Para favorecer su expulsión se podría reducir el contenido de humedad de la mezcla, o aumentar el tamaño de grano empleado, pero esto podría dar lugar a otros problemas, dándonos piezas con características que no son las deseadas. Se han desarrollado toda suerte de esquemas para poder realizar el vacío en el molde, alrededor de su periferia o a través de la masa. El uso de vacío es particularmente eficaz en pastas con alto contenido en constituyentes plásticos. Este método tiene, sin embargo, el inconveniente de necesitar intervalos de tiempo relativamente largos, disminuyendo el rendimiento de una prensa, así como la necesidad de limpiar con cierta frecuencia las salidas de aire. Igualmente se puede llenar el molde bajo vacío, quitar éste y prensar, proceso que se realiza muy bien cuando se emplean polvos finamente divididos. Tanto el uno como el otro son procesos caros y se ha de recurrir a ellos solamente en casos en que no haya más remedio.

Una solución que ha dado excelentes resultados, es compactar la pasta mediante dos o más golpes. Ahora bien, al prensar hay que dejar asentar el macho por gravedad antes de dar el primer golpe y procurar que éste no sea muy intenso para así permitir que el aire salga. Si el primer golpe fuera muy fuerte, la superficie de la pieza se formaría muy bien y no dejaría salir el aire con facilidad a través de ella. Durante los posteriores golpes de prensado hay que cuidar también el que la platina superior no se separe de la superficie de la pieza parcialmente prensada, ya que daría lugar de nuevo a la oclusión de aire. Mientras que los golpes adicionales sirven para aumentar la compacidad de la pieza, es obvio que todo o casi todo el efecto de desaireación se logra en el primer golpe. A este respecto es ventajosa la acción lenta de una prensa hidráulica.

V.—Acuñado.

En la figura 10 se presentan dos tipos posibles de acuñado en una pieza cerámica. La figura de la izquierda es una vista en planta y la de la derecha en alzado, y las dos se caracterizan porque una de las aristas forma con las otras dos adyacentes ángulos distintos de 90°.

El acuñado se puede expresar según la Norma ASTM C-502-62 T, como la diferencia entre dos espacios medidos a lo largo o a lo ancho de una pieza, expresado como un porcentaje de la distancia entre los puntos de medida.

Este defecto es tan poco acusado en algunas ocasiones, que a simple vista es difícil de detectar y la manera más rápida y segura de controlarlo es apilar alrededor de 10 a 15 piezas, de tal forma que estén dispuestas siempre en el mismo sentido. Esto multiplica cualquier diferencia que exista, por pequeña que sea, en una pieza individual y hace el defecto plenamente visible.

Su origen puede tener lugar, bien en que las platinas superior e inferior no estén paralelas, bien en que sean las platinas laterales las que estén fuera de escuadra, o bien en un imperfecto llenado del molde. En los dos primeros casos, su solución es simple y no tiene complicación, puesto que se trata de un ajuste mecánico; sin embargo, es el tercer caso citado la causa más común de este defecto y la más difícil de controlar.

Al llenar un molde, el lado de la cavidad más cercano al sitio desde donde se alimenta, recibirá más carga que el lado opuesto, debido a producirse una segregación de tamaños durante el llenado, que hace que la masa resulte más compactada en el lado de la alimentación. En la figura 11 se representan dos formas de alimentación, una lateral y la otra central. En ambos casos se produce al amontonarse la carga, una segregación de los gránulos que la constituyen. Es lógico que los granos gruesos rodarán por la pendiente del montón formado con mucha mayor rapidez que los pequeños, almacenándose a mayor distancia de la cúspide y produciéndose así la segregación. También resulta aparente, que el volumen de poros en la zona donde se han acumulado los gruesos es mayor que en las proximidades de la cúspide en donde predominan las partículas más finas. Esta distribución irregular de materia dentro del molde, hace que durante el prensado no se logre la deseada homogeneidad de compactación en toda la masa, resultando diferencias, a veces notables, de la densidad en crudo obtenida en distintos lugares de la pieza. Esto se ve agravado, además, por el hecho de que durante la cocción, las zonas más densas contraen menos, dando lugar a diferencias de longitud en los lados de la pieza que se traducen en desviaciones con respecto al ángulo recto.

El llenado perfecto de un molde es una operación difícil en la que inter-

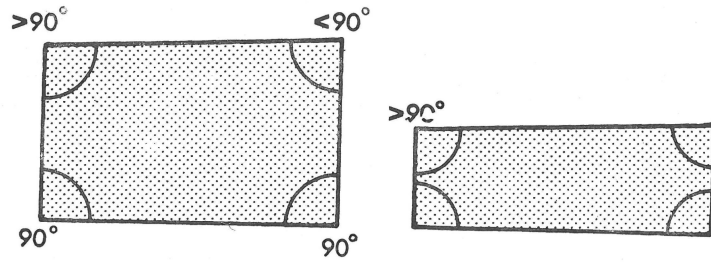


FIG. 10.

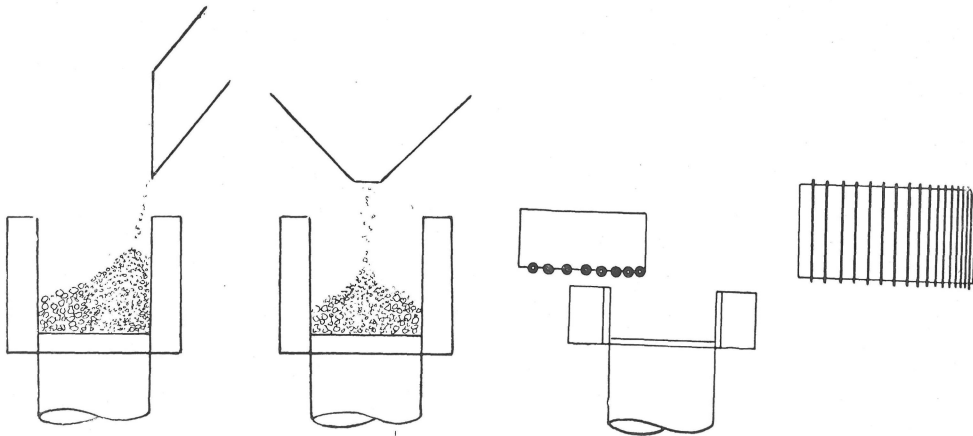


FIG. 11.

FIG. 12.

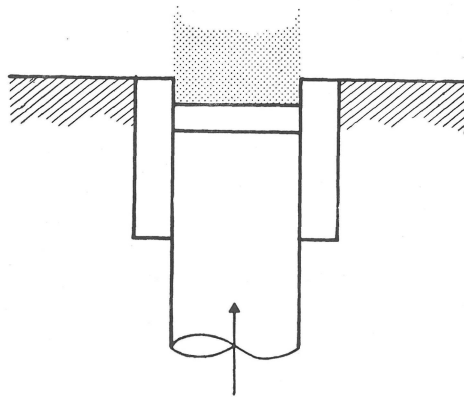


FIG. 13.

viene muchos y diversos factores. Se une a esto la dificultad en la construcción de los alimentadores, debido a que los materiales empleados por la industria cerámica son de muy diversa naturaleza, y por lo tanto varían grandemente en cuanto a su facilidad de fluir sin aglomerarse. Incluso en el caso de que un mismo material sea empleado en diferentes fábricas, se encuentran comportamientos tan distintos, que no es posible fijar un tipo de alimentador que sea igualmente adecuado en todas ellas. En cada caso habrá que adoptar, después de los necesarios ensayos, aquél que mejor se ajuste a las necesidades específicas de la fabricación. Sin embargo, hay ciertos hechos fundamentales que son de importancia para obtener un llenado del molde lo más uniforme posible, como es, por ejemplo, el que la boca del alimentador debe ser algo mayor que el área de la cavidad a llenar, y que además éste se haga vibrar, a medida que avanza para situarse en línea con el molde. Al mismo tiempo y para lograr una mejor distribución de la carga, se suelen poner en la parte inferior de la tolva (fig. 12) unas barras cilíndricas en sentido transversal y perpendicular al de su avance y separadas entre sí de tal manera, que estén más próximas en la zona que está más tiempo sobre la cavidad, durante la operación de carga. La separación apropiada entre las barras se ha de encontrar por medio de ensayos, bien determinando la densidad en diferentes zonas de la pieza, o bien por medio de un penetrómetro. Tanto por un método como por el otro, se deducen las zonas de mayor empaquetamiento y se obra en consecuencia en la colocación de las barras.

El contenido de humedad de la carga, tiene igualmente una influencia decisiva sobre el llenado del molde, puesto que a más altos contenidos de humedad, más fácilmente se podrán formar en la carga aglomerados que pueden dar lugar a segregaciones. La condición ideal de un material para ser prensado en seco es que éste sea granular y fluya libremente, es decir, que no se empaquete o se adhiera durante la operación de llenado y engrase del molde, en otras palabras, un material que se comporte más como el azúcar que como la harina.

El engrase del molde debe ser tan perfecto como sea posible, puesto que como hemos dicho anteriormente, en un proceso de prensado en seco y bajo presiones normales de prensado el flujo plástico no tiene lugar y, por lo tanto, cualquier desnivel en el engrase se traducirá en una zona de máxima compactación que corresponderá al lugar donde más alto llegó el nivel de la carga.

Como consecuencia de un imperfecto llenado de la cavidad y creación de zonas más densas, la parte del molde correspondiente a éstas sufrirá un mayor desgaste, puesto que la abrasión está en razón directa de la presión de compactación. Este desgaste no uniforme de las platinas laterales, dará lugar a que queden fuera de escuadra. Para compensar este defecto en lo posible, se suele

recurrir a invertir el molde, para que entonces el lado más desgastado ocupe la zona donde la compactación es menor y se compense el exceso de longitud obtenido en esa zona de la pieza en verde, con la mayor contracción que sufrirá en la cocción debido a estar menos compactada. Esta medida se suele tomar, cuando el molde ha llegado a la mitad de su vida útil.

Los moldes generalmente se construyen teniendo ángulos de 90°, sin embargo, por la experiencia, y a través de numerosas medidas sobre el producto cocido y determinaciones con el penetrómetro en verde, se pueden construir de tal manera que teniendo ángulos diferentes de 90°, den lugar a piezas con sus ángulos perfectamente a escuadra. Sin embargo, una solución de este tipo requiere un profundo conocimiento de todo el proceso.

Igualmente y para subsanar la existencia de zonas más densamente compactadas que puedan dar lugar al defecto de acuñado, es posible situar la sección más prensada más cerca de la fuente de calor durante la cocción, haciendo uso favorable de la diferencia de contracción por desigual cocción de la pieza.

El mejor remedio, sin embargo, es el poder usar materiales con muy baja contracción de cocción.

VI.—Rebabas.

Las holguras entre las platinas laterales y la platina superior e inferior de un molde, son el origen de las rebabas (fig. 13) que presentan la mayoría de las piezas prensadas en seco en sus aristas en el momento del desmoldeo.

Al hablar de las laminaciones, indicábamos que era necesario que existiese una cierta holgura entre el macho de la prensa y el molde, para permitir y facilitar la salida del aire durante el prensado. Ahora bien, es obvio señalar que ésta ha de ser suficiente para este fin, pero no excesiva, ya que si así fuese daría ocasión también a la salida de material, produciéndose las rebabas. En este caso existe asimismo el peligro de que al intentar desmoldear se “gripe” el molde.

Este defecto se va acentuando, dando lugar a rebabas cada vez más gruesas, a medida que transcurre la vida útil de un molde, pues se incrementa el desgaste de las platinas.

Las rebabas han de quitarse, una vez prensada la pieza, por medio de un cepillado o pulido, para dejar los bordes limpios. Este se lleva a cabo generalmente, mediante cepillos de acero endurecido o bien por discos abrasivos de composición variada.

En refractarios, así como en ladrillería, no tiene este defecto mayor inconveniente que el impedir el perfecto asiento de unas piezas con otras, y por

medio del cepillado éste desaparece. Ahora bien, mayor problema presenta en la cerámica que posteriormente ha de vidriarse, como por ejemplo, en azulejos.

Generalmente el tratamiento de cepillado se realiza a medida que las piezas que salen de la prensa avanzan por la banda transportadora. Los cepillos se sitúan en posición estacionaria y actúan al mismo tiempo sobre dos caras opuestas de la pieza. Al continuar avanzando el azulejo, éste recibe un giro de 90° para exponer así los otros dos lados a la acción de los cepillos o muelas.

Es de señalar que ha de regularse perfectamente la tensión de los muelles que soportan los cepillos o muelas para que se limiten a quitar las barbas sin destrozarse los bordes, ya que este defecto se acusaría aún más durante el vidriado. En general, cuando una pieza va a ser vidriada posteriormente, una vez quitadas las barbas, se somete a la acción suave de pulido bajo piezas de fieltro.

VII.—Desconchado.

Se conoce por este término la adhesión de pequeñas partículas de material a una de las platinas, dando lugar a áreas de desprendimiento en la pieza prensada. Este defecto es causado por platinas sucias. Es necesario, pues, un periódico lavado de las superficies de las platinas seguido del secado de éstas. La frecuencia de este tratamiento varía de unos casos a otros, dependiendo de la condición del material a prensar, pero generalmente está comprendida entre veinte minutos y media hora.

Parece dar resultados muy satisfactorios, y es práctica que se va generalizando, el calentar tanto la platina superior como la inferior para evitar la adherencia del material. Sin embargo, se ha observado que este calentamiento ha de ser muy bien controlado, pues tanto un exceso como un defecto en el calentamiento puede dar lugar a pegaduras y requerir por tanto un limpiado más frecuente. Igualmente se encuentra a menudo que un contenido de humedad elevado puede dar tendencia al pegado a los moldes.

BIBLIOGRAFIA

1. LONG, W. M.: "Diseño de moldes y cuestiones relacionadas en la compactación de polvos", *Special Ceramic*, págs. 327-339. Edit. por Powder, 1962. Academic Press. London.
2. DRAIGNAUD, P.: "Estudio de la distribución de presiones en tejas durante el prensado", *Bol. Soc. Franç. Céram.*, núm. 42, enero-marzo, págs. 55-81 (1959).
3. Soc. Franç. Céram.: "Prensado de azulejos". Servicio Técnico. *Ind. Céram.*, núm. 480 [11], 257-263 (1956).

4. LUDOVICI, J. W.: "Prensado en seco y la prensa en seco", *Bull. Soc. Franç. Céram.*, 53, págs. 49-53 (1961) (Congr. Tec. Soc. Franç. Céram., 51, pág. 3 (1961).
5. KAMM, R., STEMBERG, M. A. y WULF, J.: *Trans. Aime*, 180, 694 (1949).
6. DUWEZ, P. y ZWELL, L.: *Aime Tech. Pub.*, 2515, *Metals Trans.*, 1, 137 (1949).
7. KINGERY, W. D.: "Formación por presión en cerámica", *Ceramic Fabrication Processes*, págs. 55-61. W. D. Kingery. Edit., 1958.
8. THURNAUER, H.: "Controles requeridos y problemas encontrados en la producción por prensado en seco", *Ceramic Fabrication Processes*, págs. 62-70. W. D. Kingery. Edit., 1958.
9. ILLING, A. M.: "Defectos de prensado en azulejos", *Amer. Ceram. Soc. Bull.* [8], 435-437 (1963).
10. DAY, L.: "Cómo evitar los defectos en el prensado de refractarios", *Brick and Clay Record.*, 123 [7], 63-64 (1953).
11. BIRCH, R. E.: "Eliminación de las grietas de presión", *Brick and Clay Record.*, 76 [7], 438-442 (1930).
12. ANÓN.: "Prensado de refractarios en seco. Causas de rotura", *Refract. J.*, 5 [3], 84 (1950).
13. HILLIARD, A.: "Laminaciones en refractarios", *Refract. J.*, 23 [11], 386 (1947).
14. BIRD, E.: "Presión de formación de los refractarios prensados en seco. Parte I", *J. Amer. Ceram. Soc.*, 13 [4], 242 (1930).
15. BIRD, E.: "Presión de formación de los refractarios prensados en seco. Parte II", *J. Amer. Ceram. Soc.*, 13 [11], 831 (1930).
16. RUECKEL, W. C.: "Investigación sobre refractarios prensados en seco. Parte III", *J. Amer. Ceram. Soc.*, 14, 764 (1931).
17. GREGORY, J.: "Algunos comentarios y problemas relativos al proceso de prensado en seco", *Refract. J.*, 23, 313 (1947).
18. FRECBURY, L. S.: "Prensas para la producción de refractarios", *Refract. J.* [7], 254-263 (1963).
19. BAUDRAN, A.: "Detección de defectos estructurales en el prensado en seco de azulejos, antes de cocer", *Bull. Soc. Franç. Céram.*, núm. 45., pág. 27 (1959).
20. NORTON, F. H.: "Elements of Ceramics". Addison.—Wesley-Press, Inc. 1952.