

Porosidad, compacidad y densidad aparente

Esta ficha es copia de textos y figuras del libro "PRENSAS, MOLDES Y PRENSADO". 2ª Ed. de Rafael Galindo Renau. Ed. Macer. Castellón. 2018.

Porosidad y compacidad

La **porosidad** (ε) de una pieza conformada se define como la relación entre el volumen ocupado por sus poros (V_p) y su volumen aparente (V_a). Es decir:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_a}$$

Los valores de la porosidad oscilan entre 0 y 1 e informan sobre el grado de compactación alcanzado por el polvo tras la operación de conformado.

La **compacidad** (ϕ), por su parte, se define como la relación entre el volumen real ocupado por el sólido (V_s) y el volumen aparente, de forma que

$$\phi = \frac{V_s}{V_a}$$

y sus valores oscilan también entre 0 y 1

De ambas expresiones se deduce fácilmente que:

$$\varepsilon + \phi = 1$$

Densidad aparente

Dada la complejidad que supone el control industrial de la porosidad o de la compacidad, es habitual determinar experimentalmente otro parámetro relacionado directamente con ambos y de más fácil medida, como la "**densidad aparente en seco**" (ρ_a) que se define como el cociente entre el peso de una pieza seca (w_s) y el volumen que ocupa, o volumen aparente (V_a).

$$\rho_a = \frac{w_s}{V_a}$$

Por tanto:

$$\phi = \frac{\rho_a}{\rho_s} = 1 - \varepsilon$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}$$

siendo ρ_s el peso específico del sólido (g/cc), que puede **determinarse** mediante picnómetro de sólidos o con picnómetro de helio.

La densidad aparente de la pieza conformada puede medirse para la pieza seca, y también para la pieza a la salida de la prensa, es decir a la humedad de prensado, denominándose entonces "**densidad aparente en verde**" (ρ_{ah}). Se expresa entonces como:

$$\rho_{ah} = \frac{w_h}{V_{ah}}$$

Siendo:

w_h : Peso de la pieza a la humedad de prensado (g).

V_{ah} : Volumen aparente de la pieza a la humedad de prensado (cc).

La humedad de prensado raramente es superior al 7 %. A humedades tan bajas las pastas cerámicas empleadas para el prensado de baldosas cerámicas se encuentran por debajo de su límite de retracción y por lo tanto no experimentan una contracción relevante durante el secado, por lo que puede suponerse que el volumen de la pieza a la humedad de prensado y el volumen de la pieza seca son prácticamente iguales. Esto no es posible suponerlo si la técnica de conformado es la extrusión o el colado.

$$V_a = V_{ah}$$

Por tanto:

$$\frac{\rho_{ah}}{\rho_a} = \frac{w_h}{w_s}$$

Y teniendo en cuenta que:

$$w_h = w_s \cdot \left[1 + \frac{X_s}{100} \right]$$

Se deduce la relación entre densidad aparente en verde y en seco es:

$$\rho_{ah} = \rho_a \cdot \left[1 + \frac{X_s}{100} \right]$$

Siendo X_s la humedad de prensado considerada en base seca y expresada en %. Puede [medirse](#) mediante secado hasta peso constante a 110 °C en estufa o en termobalanza.

En la práctica industrial es necesario matizar esta relación. Cuando la baldosa sale del secadero, es decir cuando la consideramos "seca", su humedad no es exactamente cero, sino que contiene una pequeña cantidad de agua que se denomina "humedad residual" (X_r). El error relativo (ξ) cometido al no considerarla, es igual a:

$$\xi = \frac{\rho_{ah} - \rho_a}{\rho_a} \cdot 100$$

Y por lo tanto:

$$\xi = \frac{\rho_a \cdot \left(1 + \frac{X_r}{100} \right) - \rho_a}{\rho_a} \cdot 100$$

$$\xi = X_r$$

Es decir, el error relativo, expresado en %, que se comete al no considerar la humedad residual de la pieza es igual al valor numérico de esta.

Influencia de la compacidad (y por tanto de la densidad aparente)

La compacidad es una de las propiedades más importantes de las baldosas conformadas, ya que determina tanto las propiedades de la pieza cruda como su comportamiento en las diferentes etapas del proceso de fabricación; e influye de manera decisiva en las características de la pieza cocida. En la siguiente tabla se muestra, de forma resumida, la influencia de la compacidad en las propiedades de la pieza cruda, en el desarrollo de las operaciones de fabricación y en las características de calidad de las baldosas cocidas.

Etapa del proceso		La compacidad influye en...
Propiedades de la pieza cruda.	Propiedades mecánicas.	Resistencia mecánica (resistencia a la flexión).
		Módulo de elasticidad.
	Tenacidad.	
Comportamiento durante la extracción.	Fuerza necesaria para la extracción.	
	Expansión postprensado.	
Desarrollo de las operaciones de ...	Secado.	Difusión del agua a través del sólido poroso.
	Esmaltado – Decoración.	Absorción de agua en la aplicación de esmaltes por vía húmeda.
		Resistencia mecánica en las operaciones de transporte y decoración mediante transferencia de imagen.
	Cocción.	Contracción lineal.
		Velocidad de formación de fase vítrea.
		Permeabilidad.
		Velocidad de oxidación del corazón negro.
Deformación pirolástica.		
Adaptación con la capa de esmalte: interfase, curvaturas.		
Propiedades de la pieza cocida.	Porosidad – Compacidad.	
	Absorción de agua (Porosidad abierta).	
	Propiedades mecánicas.	Resistencia mecánica (resistencia a la flexión).
		Módulo de elasticidad.
		Tenacidad.
Expansión térmica.		
Resistencia a las manchas (porcelánico no esmaltado).		

La compacidad de las baldosas prensadas está relacionada con sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la flexión de la pieza cruda, tanto en verde como en seco; de manera que a mayor compacidad se tiene una mayor resistencia mecánica. Influye también en los valores del módulo de elasticidad y en la tenacidad, que es la resistencia a la propagación de grietas, y en la velocidad de secado. También influye en la velocidad de oxidación del corazón negro, de gran importancia en la cocción rápida o en la cocción de productos con grandes espesores. Por otra parte, se sabe que, para unas determinadas condiciones, la contracción lineal y la absorción de agua disminuyen con la compacidad de la pieza, siendo esta una relación prácticamente lineal en el intervalo definido por las condiciones habituales de trabajo. Debido a ello, variaciones de compacidad en una misma pieza o entre piezas distintas conducen a diferentes contracciones lineales que se traducen en problemas de estabilidad dimensional de las piezas cocidas como son los descuadres, lunetas, calibres y curvaturas.

Por tanto, el **control industrial de la compacidad** se convierte en un objetivo de primer orden, dada la importancia que este parámetro tiene en el desarrollo de las operaciones de fabricación y en la calidad de las baldosas cocidas. Este control, como todos los que se realizan en la planta industrial, deberá ser sencillo, rápido, fiable, razonablemente económico, no perjudicial para la salud, respetuoso con el medio ambiente, y fácil de realizar e interpretar. A nivel industrial se prefiere, por su gran sencillez, rapidez y economía, la medida indirecta de la compacidad, mediante la determinación de la densidad aparente, en seco o en verde, ya que, como hemos visto, existe una relación directa entre porosidad, compacidad y densidad aparente en seco, a través del peso específico del polvo para prensado.