

## APLICACIÓN DEL ENSAYO BRASILEÑO A LA DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FRACTURA DE COMPACTOS PULVIMETALÚRGICOS

A. Larsson, M.D. Riera, J.M. Prado

Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica  
E.T.S.E.I. de Barcelona, Avda. Diagonal, 647, Edificio E, 08028 BARCELONA

**Resumen.** El ensayo brasileño ha sido ampliamente utilizado para determinar, de forma indirecta, la resistencia a la fractura en tracción de materiales para la construcción, tales como hormigón, rocas, ... Más recientemente, su uso se ha extendido a la caracterización de cerámicas tecnológicas. En este trabajo se analiza su aplicación al estudio del comportamiento a fractura de compactos pulvimetalúrgicos. Para ello, se han compactado discos de 20 mm de diámetro y 5 mm de espesor, hasta distintos niveles de densidad, y se han sometido a compresión diametral hasta fallo. El estado tensional desarrollado durante el ensayo revela, también, información de interés para la construcción de la superficie de cedencia plástica de este tipo de materiales.

**Abstract.** The brazilian test has been widely used to determine, in a indirect way, the tensile fracture resistance of materials such as concrete, rocks, ... More recently, its use has been extended to characterize advanced ceramics. In this work, its application to the study of the fracture behaviour of metal powder compacts is analyzed. Disks of 20 mm diameter and 5 mm thick have been compacted to different density levels and compressed along a diameter until failure occurs. The state of stress developed during the test gives, also, information in order to construct the plastic yield surface of this type of materials.

### 1. INTRODUCCIÓN

La tensión nominal de rotura,  $\sigma_{nom}^r$ , en materiales pulvimetalúrgicos no sinterizados, conocida como *resistencia en verde*, ha sido tradicionalmente determinada mediante un ensayo de flexión en tres puntos (MPI Standard 15-51). La necesidad de matrices especiales para la elaboración de las probetas, de sección rectangular, y de utillajes de flexión, hacen que este ensayo sea raramente utilizado por los fabricantes de piezas sinterizadas.

El *ensayo brasileño* [1-3], en cambio, ampliamente utilizado en materiales frágiles (hormigón, cerámicos, ...), reúne las condiciones de simplicidad tanto en el tipo de muestra como en la propia ejecución del ensayo.

El estado tensional (esfuerzo plano) de la probeta durante dicho ensayo, permite determinar las componentes hidrostática,  $p$ , y de cizalladura,  $q$ , de fallo, correspondientes al *locus* de cedencia del polvo metálico compactado hasta determinado nivel de densidad [4].

En este trabajo se presentan los resultados de resistencia en verde, obtenidos mediante el ensayo brasileño, de dos tipos de polvos metálicos; así mismo,

se discute la validez de esta técnica experimental en la caracterización mecánica de los compactos pulvimetalúrgicos.

### 2. TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Se han estudiado dos tipos de polvos comerciales, suministrados por la firma *Höganäs*: a) un polvo de hierro, atomizado, *ASC 100.29*, y b) *DISTALLOY AE*, un polvo prealeado, que consiste en añadir a un hierro base (*ASC 100.29*) 1.5% de cobre, 4% de níquel y 0.5% de molibdeno; contiene, además, 0.5% de grafito. Ambos polvos llevan un 0.8% de *Kenolube*, como lubricante, con el fin de facilitar la preparación de los compactos.

Se han preparado 9 discos de diferentes niveles de densidad con cada tipo de polvo metálico; sus dimensiones y densidades se muestran en las Tablas 1 y 2. Se han ensayado mecánicamente mediante una máquina universal, marca INSTRON, modelo 4507. La deformación axial se ha controlado midiendo el desplazamiento del cabezal móvil.

El ensayo brasileño consiste en aplicar una carga compresiva diametral. A lo largo del plano que se extiende entre los puntos de contacto, se desarrolla un

estado de tensiones biaxial [5]. Una de las componentes es de tracción, normal al plano, uniformemente distribuida e igual a:

$$\sigma_x = -\frac{w}{\pi R b} \quad (1)$$

en la que  $w$  es la carga aplicada;  $b$ , el espesor del disco; y  $R$ , su radio.

La otra componente, compresiva, es tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$\sigma_y = \frac{w(3R^2 + y^2)}{\pi R b (R^2 - y^2)} \quad (2)$$

en la que  $y$  es la distancia al centro del disco.  $\sigma_y$  varía muy poco en las proximidades del centro de la probeta, donde presenta el valor de  $\sigma_y = -3\sigma_x$ .

En estas condiciones, el fallo característico de los discos consiste en la fractura, en dos mitades, de la probeta a lo largo del plano de aplicación de las cargas, tal como muestra el esquema de la figura 1.

Tabla 1. Dimensiones y densidades de los compactos de polvo tipo ASC 100.29.

Probeta, nº	Diámetro, mm	Altura, mm	Densidad, Mg/m <sup>3</sup>
1	20.038	4.750	5.464
2	20.038	4.796	5.882
3	20.042	5.069	6.200
4	20.035	5.099	6.334
5	20.039	5.078	6.576
6	20.048	4.998	6.761
7	20.048	5.048	6.834
8	20.055	5.007	6.958
9	20.059	5.039	7.031

Tabla 2. Dimensiones y densidades de los compactos de polvo tipo DISTALOY AE.

Probeta, nº	Diámetro, mm	Altura, mm	Densidad, Mg/m <sup>3</sup>
1	20.031	4.752	5.535
2	20.032	4.772	5.953
3	20.037	5.068	6.239
4	20.036	4.961	6.389
5	20.042	5.072	6.594
6	20.047	5.049	6.746
7	20.048	5.100	6.819
8	20.052	5.063	6.922
9	20.058	5.093	7.029

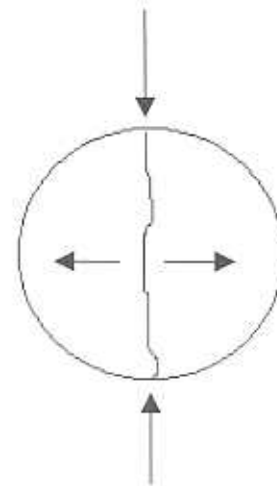


Fig. 1. Esquema de la fractura en el ensayo brasileño.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Tensión nominal de rotura

La figura 2 muestra el tipo de curva *carga-deformación diametral* obtenida durante el ensayo brasileño de las probetas definidas. Se presenta, como ejemplo, la correspondiente al DISTALOY AE con densidad 6.59 Mg/m<sup>3</sup>.

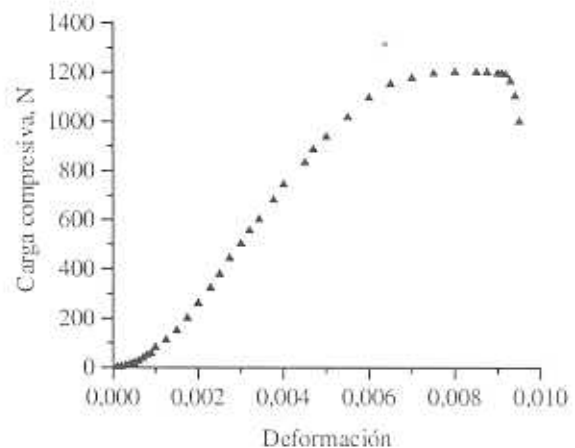


Fig. 2. Relación *carga-deformación diametral*, DISTALOY AE. Densidad= 6.594 Mg/m<sup>3</sup>.

Como se observa, al inicio de la compresión, la tasa de deformación es relativamente elevada; este comportamiento ha sido ya observado en ensayos de compresión uniaxial [6] y parece debido a fenómenos de fricción interna, tensiones residuales disipadas, *re-amentamiento* de partículas, ...

Tras esta etapa inicial, la deformación evoluciona linealmente y puede considerarse básicamente elástica.

Poco después de desviarse de este comportamiento, se produce la rápida fractura de la muestra, por lo que se considerará siempre dentro de un régimen elástico, o *casi-elástico*.

Otro aspecto a tener en cuenta con respecto de la validez del ensayo, es el hecho de que el área plásticamente deformada del contacto probeta-punzón durante el ensayo, no supere el 10% del diámetro de la probeta. Este criterio se ha cumplido, en todos los casos.

En la figura 3 se aprecia cómo las grietas aparecidas en la rotura del compacto se propagan a través del plano diametral definido por las líneas de aplicación de la carga; ni se desvían ni se forman grietas secundarias.



Fig. 3. Aspecto de la fractura durante el ensayo de compresión diametral.

Todos estos aspectos permiten considerar, *a priori*, el ensayo brasileño como un medio válido para la determinación de la tensión nominal de rotura de compactos pulvimetalúrgicos.

En la figura 4 se presentan las curvas de tensión nominal a fractura, en función de la densidad, para los dos tipos de polvos estudiados.

En los dos casos,  $\sigma_{nom}^r$  aumenta con la densidad; la resistencia del ASC 100.29, como puede observarse en la figura, es siempre superior a la del polvo tipo DISTALOY AE. Las siguientes ecuaciones representan matemáticamente estas evoluciones:

$$\text{ASC 100.29: } \sigma_{nom}^r = 7 * 10^{-6} \rho^{7.40} \quad (3)$$

$$\text{DISTALOY AE: } \sigma_{nom}^r = 7.30 * 10^{-6} \rho^{7.32} \quad (4)$$

En la misma figura, se muestran tres valores de  $\sigma_{nom}^r$  para cada tipo de material, extraídos de los catálogos comerciales del fabricante (Höganäs) y obtenidos mediante ensayo de flexión por tres puntos. El acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo es excelente, indicando que el ensayo brasileño puede considerarse como una alternativa válida para la determinación de la resistencia en verde de los compactos pulvimetalúrgicos.

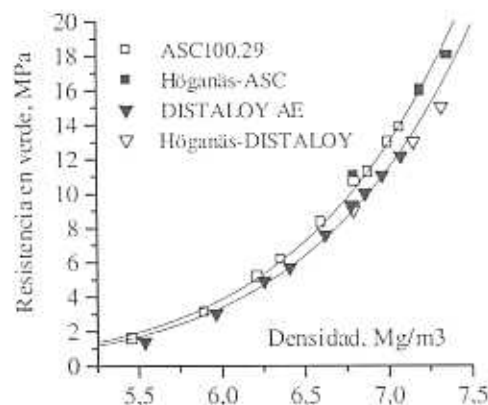


Fig. 4. Relación entre la tensión de fractura,  $\sigma_{nom}^r$ , y la densidad del compacto para los dos tipos de polvos metálicos estudiados.

### 3.2. Aplicación a la determinación del *locus* de cedencia.

El comportamiento plástico de los polvos metálicos durante la compactación es, todavía, objeto de estudio y controversia [7]. Uno de los problemas más importantes y difíciles de analizar experimentalmente es la determinación de las *superficies de cedencia* del polvo metálico en sus diferentes estados de compactación.

Un planteamiento detallado de este aspecto se aleja de los objetivos de este texto, pero merece destacarse el hecho de que el ensayo brasileño aporta dos datos del comportamiento mecánico del material en el espacio presión hidrostática,  $p$ -tensión desviadora,  $q$  (Fig. 5): uno de ellos, correspondiente a los valores de  $\sigma_{nom}^r$ , sobre la recta de pendiente  $-3$  (recta que representa el estado tensional de tracción en el espacio definido); el segundo, el del estado de tensiones en el centro de la probeta,  $\sigma_y = -3\sigma_x$ , sobre una recta de pendiente 6.

En las figuras 6 y 7, se presentan estos valores para dos densidades de cada uno de los dos tipos de polvos estudiados. Además, se incluyen los resultados de fluencia plástica determinados por los mismos autores [6] a partir de ensayos de compresión uniaxial.