



Revista Facultad de Ingeniería
ISSN: 0717-1072
facing@uta.cl
Universidad de Tarapacá
Chile

Ponce L., Ernesto; Beltrán, A.
Modelado de la Compactación por Explosivos en Polvos de Al
Revista Facultad de Ingeniería, núm. 5, enero-diciembre, 1998, pp. 27-30
Universidad de Tarapacá
Arica, Chile

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11400504>

- ▶ How to cite
- ▶ Complete issue
- ▶ More information about this article
- ▶ Journal's homepage in redalyc.org

MODELADO DE LA COMPACTACION POR EXPLOSIVOS EN POLVOS DE Al¹**Ernesto Ponce²****A. Beltrán²****RESUMEN**

Se presentan algunas consideraciones teóricas sobre compactación dinámica de aluminio en polvo. Se ha empleado elementos finitos tridimensionales de 27 nodos, configurados en geometría esférica por disposición de capas planas de sección circular. En un primer paso se valida un modelo conocido de compresión de polvos en matriz de sección rectangular, para luego extrapolar al caso de esfera. El objetivo central es probar un modelo matemático que entregue resultados aplicables a pulvimetallurgia. La justificación del trabajo radica en la aplicación de estas técnicas a la compactación por explosivos, cuyos resultados se pueden predecir por mecánica computacional.

ABSTRACT

Some theoretical studies about dynamic compression of powder aluminum are described. 3-D Finite elements of 27 nodes are employed in spherical construction by flat circular plates. The first step is the testing of a proved model for powder compression in a rectangular matrix, to finally test the spherical case. The main objective is to determine a math model applied in powder metallurgy. This technics can be used in powder compression by explosives, the results can be predicted by computational mechanics.

INTRODUCCION

La consolidación de polvos metálicos mediante ondas de impacto, es una técnica prometedora para obtener materiales con buenas propiedades. Aún no se conocen todas las variables que controlan el proceso, que en la actualidad está siendo investigado por diferentes autores. Existe un potencial importante para la fabricación de piezas por este camino, debido al bajo costo ofrecido por los explosivos y a la corta reacción de estos. La técnica de comprimir polvos de metal es una consecuencia de la consolidación por presión hidráulica. Esta fue desarrollada en 1909 obteniéndose presiones del orden de 10 GPa. Ahora se alcanzan presiones de 100 GPa ó más, dependiendo del explosivo utilizado. Actualmente hay muchas incógnitas que están en estudio, debido al impacto: falla dinámica y dislocaciones en partículas; estructura del frente de onda; estados de transición inestable en fases; relaciones constitutivas del material y la fractura entre otros. Sólo es posible solucionar estos problemas con una cuidadosa experimentación, en cooperación con una adecuada teoría que permita modelar estos fenómenos.

METODOLOGIA

En el caso estudiado, de la minimización de la energía potencial del medio continuo, respecto al desplazamiento se obtiene:

$$0 = \int \underline{\underline{B}}^T \underline{\underline{D}} \underline{\underline{B}} \mathbf{a}^{(e)} dVol - \int \underline{\underline{N}}^T \underline{\mathbf{b}} dVol - \int \underline{\underline{N}}^T \underline{\mathbf{t}} dSup \quad (1)$$

Donde:

$\underline{\underline{B}}$: matriz de deformación

$\underline{\underline{D}}$: matriz de comportamiento del material

\mathbf{a} : vector desplazamiento

$\underline{\underline{N}}$: matriz de función de forma

$\underline{\mathbf{b}}$: vector de cargas másticas

$\underline{\mathbf{t}}$: vector de cargas superficiales.

Los dos últimos términos representan las cargas, por lo que la ecuación puede escribirse como:

$$0 = \underline{\mathbf{K}} \mathbf{a}^{(e)} - \underline{\mathbf{F}} \quad (2)$$

¹ Trabajo realizado gracias al financiamiento de la Universidad de Tarapacá y al Proyecto Multinacional de Materiales OEA

² U. de Tarapacá. Casilla 6 D, Email: eponce@mecan.uta.cl ; Fax (58) 245525. Arica-Chile

Donde:

\underline{K} : la matriz de rigidez

\underline{F} : vector de cargas externas

Existen dos alternativas para este planteamiento: si las Incógnitas son las fuerzas, los datos deben ser los desplazamientos; por otro lado si las incógnitas son los desplazamientos, los datos de entrada deben ser las fuerzas. En este trabajo sólo se han considerado aspectos teóricos, pero tomando como referencia los resultados obtenidos por otros autores.

Se ha idealizado una onda de choque de corta duración, que produce uniones en los contornos de las partículas en contacto, debido a deformación plástica y rozamiento elevado. Esto produciría un calentamiento superficial del polvo, sin que el núcleo alcance alta temperatura ni se produzcan cambios microestructurales. No se ha considerado ni el tamaño ni distribución, ni geometría de la partícula, así como la ausencia de aire u elementos oxidantes entre porosidades. Se ha usado el modelo de Berry y Williamson, publicado por Murr, L. E. [1], quien usó un programa bidimensional de diferencias finitas, compactando placas de 5x3x1 cm, de Al 6061. Se usó una malla de 55x100 celdas en la discretización de un plano transversal de simetría. Los autores denominaron al material como elástico-perfectamente plástico, con $Y: 0,1 \text{ MPa}$ y $\epsilon = 0.2\%$. La densidad inicial fue de 1,5 g/cc y la presión para consolidación completa del polvo de 2.5 GPa. El polvo metálico fue modelado como material poroso. En el programa se idealizó una composición de material sin vacíos y otro con ellos. A medida que el material se aplastaba, el componente con vacíos se transformaba en uno sólido. Al término del proceso el material dejaba de tener poros. Como explosivos usaron vibrogel 3, modelo en una ecuación.

En el presente trabajo se han empleado las ecuaciones clásicas:

$$p = \rho U_s U_p \quad (3)$$

$$\rho = \rho_s (1-p) \quad (4)$$

$$E - E_0 = 1/2 (P + P_0) V_0 - V \quad (5)$$

$$1 - V/V_0 = U_p/U_s \quad (6)$$

Donde:

P, E, V : presión, energía y volumen disponibles en el material sometido a impacto.

U_s, U_p : Son las velocidades en el sólido y la partícula

ρ : densidad

ρ_s : densidad del sólido

p : porosidad.

El subíndice cero indica condición inicial

La velocidad de propagación de una onda de choque longitudinal en un sólido macizo es según ASTME, [2]:

$$U_s = (G/\rho)^{1/2} \quad (7)$$

Donde:

G : módulo de cizalladura.

En aluminio se estima U_s en 20900 fps

La presión máxima a la distancia R en $[f(t)]$ cuando se usa un explosivo dentro de agua es, [2]:

$$P = A (W^{1/3} / R)^a \quad [\text{lb/in}^2] \quad (8)$$

El flujo de energía "e" a distancia "R" en pies con una carga W en lb en un medio hidráulico abierto es:

$$e = c W^{1/3} (W^{1/3} / R)^g \quad [\text{lb/in}] \quad (9)$$

Donde:

A : P máx. en explosivo.

a, c, g : constantes.

Tabla.-Resultados Referenciales de Distintos Materiales

EXPLOSIVO	TNT	TETRYL	PENTOLITA
ρ [g/cc]	1.52	0.93	1.60
A [lb/in ²]	21600	21400	22500
a	1.13	1.15	1.13
c	2410	3000	3270
g	2.05	2.10	1.12

Para un material poroso con previa compactación se ha empleado el algoritmo de Mori [(3)], introduciéndolo en las ecuaciones de la matriz de rigidez. Aquí también va la ecuación constitutiva del material. Conocida la relación V/V_0 y U_s , se despeja U_p , (6). Con este valor y ρ , se determina P , (3). Con P, R, A y a se determina W , (8). Con P y la diferencial de área se obtiene la diferencial de fuerza. Con ésta y el desplazamiento se

determina la energía.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

COMPACTACION DE PLACA RECTANGULAR COMPACTACION MODELO BERRY v/s MEF CONSOLIDACION DINAMICA EN POLVOS DE Al

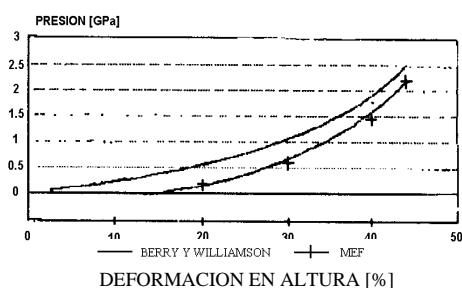


Fig. 1.- Compactación Dinámica de Al

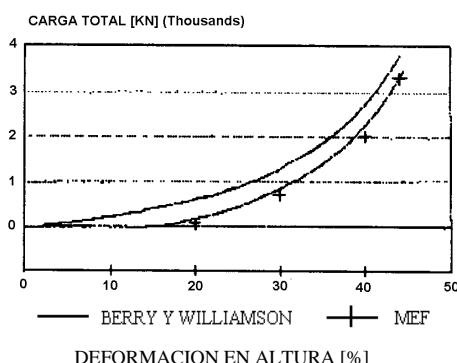
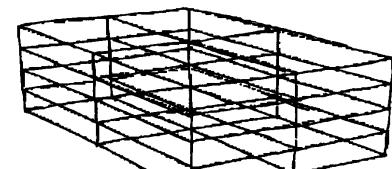


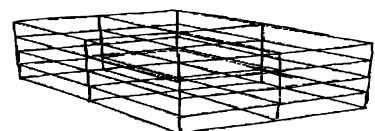
Fig. 2.- Curvas de Carga v/s Deform.

En los gráficos P y carga total, en función de la deformación en altura se observa la concordancia con los autores [1], lo que revela la bondad del método. En la compactación de esfera, aunque resultó aceptable la configuración en discos, se piensa que sería más eficiente una discretización en el sentido radial, por coincidir con el sentido del movimiento. El camino más eficiente para el modelo resultó ser el que emplea deformación impuesta. El efecto de la porosidad incluida en un algoritmo demostró ser eficiente sólo para un material previamente compactado. Se logró reproducir el proceso obteniendo una esfera con densidad cercana a la del metal considerado compacto. Una herramienta valiosa resultó ser el análisis de resultados por salida gráfica. Conociendo datos como densidades del polvo sin comprimir, relaciones tensión deformación, se pueden hacer predicciones del

comportamiento de otros metales y geometrías más complejas, para piezas sinterizadas que requieran una alta compactación y que tengan dimensiones que económicamente justifiquen su conformado por explosivos.



Configuración inicial



Configuración después de la consolidación
 $H/H = 44.4\%$

Fig. 3.- Simulación de compactación dinámica de placa de aluminio en polvo, por MEF. Configuraciones antes y después de haber sido consolidado a $H/H = 44.4\%$

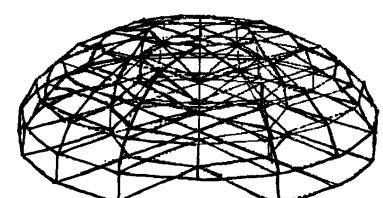
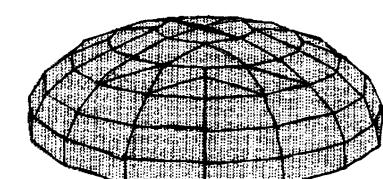


Fig. 4.- Compresión de esfera de aluminio, material poroso, 0.2 % deformación radial

BIBLIOGRAFIA

- [1] L.E.Murr,K.P; Staudhammer, M. A. Meyers
“Metallurgical applications of Shock-Wave and High-Strain, rate phenomena”, Marcel Dekker, Inc, New York, 1986.
- [2] ASTME, "High-velocity forming of Metals". Ed. E.J. Bruno, Dearborn, Michigan, USA, 1968.
- [3] Mori, Shima, Osakada:"Analysis of free forging by rigid plastic finite element method based on the plasticity equation for porous metals"; Bulletin of the JSME Vol. .23 N° 178, April 1980.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Tarapacá y al Proyecto Multinacional de Materiales OEA, quienes financiaron este trabajo.