



Peter Ulintz es Encargado de Ingeniería en Avanzada del Producto para Anchor Manufacturing Group, Inc., Cleveland, OH. Ha trabajado en la industria de conformado de metales desde 1978, su experiencia previa incluye fabricación de herramientas y troqueles, Ingeniería de Herramientales, Gerente de Ingeniería, Planeación Avanzada de Procesos y Desarrollo de Producto. Ulintz ha sido conferencista de seminarios, simposios y mesas redondas para PMA desde 1996, enfocándose en tecnología de herramientas, embutido profundo, simulación de conformado de metales y solución de problemas de conformado de metales. Sus trabajos técnicos publicados incluyen un método de embutido profundo asistido por computadora y casos de estudio de simulaciones de conformado.

**Peter Ulintz**

[pete.ulintz@toolingbydesign.com](mailto:pete.ulintz@toolingbydesign.com)

[www.toolingbydesign.com](http://www.toolingbydesign.com)

## Anatomía de los embutidos profundos de copa

La tecnología en herramientas de embutido profundo depende en gran medida de los datos y lineamientos que se encuentran en los manuales de diseño de troqueles. Estos manuales incluyen relaciones de reducción de diámetro, presión de pisado, velocidades de formado, holguras del troquel, tamaño de radios y otros parámetros importantes. En artículos previos se han tratado las razones de reducción de diámetros, velocidad de formado y radios del punzón y la matriz. Otros datos, como las holguras y presión de pisado pueden entenderse examinando la anatomía de los embutidos profundos de copas.

La figura 1 ilustra lo que pasa cuando una ficha redonda se embute formando una copa cilíndrica. A medida que la ficha se embute en la matriz, el material restante (pestaña) se comprime en la dirección circunferencial. Como resultado, se desarrollan grandes esfuerzos en el plano de la pestaña, que pueden causar que la ficha se encorve o se arrugue, si no se controla adecuadamente.

El pisador controla el flujo del material al aplicar una fuerza de

sujeción en la superficie de la ficha. El pisador debe proveer fuerza suficiente para prevenir la formación de arqueos y arrugas, al mismo tiempo que permite al material fluir hacia la matriz. Si la fuerza de sujeción es muy alta, puede resultar en estiramiento y adelgazamiento excesivo que causen que el material se rasgue, rompa o se fracture.

Existen varias maneras de determinar la cantidad de fuerza de sujeción requerida en las operaciones de embutido profundo. La mejor de todas es utilizar simulaciones de embutido profundo. Las simulaciones de embutido profundo permiten alterar las fuerzas de sujeción hasta establecer los límites máximos (estiramiento excesivo) y límites mínimos (formación de arrugas). La diferencia entre ambas fuerzas es el rango de embutibilidad, ilustrada en la Fig. 2. A mayor rango menos sensible es el proceso a los cambios de presión de sujeción. A medida que la profundidad del embutido aumenta el rango de embutibilidad se reduce considerablemente.

En el extremo opuesto, una regla práctica asume que la presión de

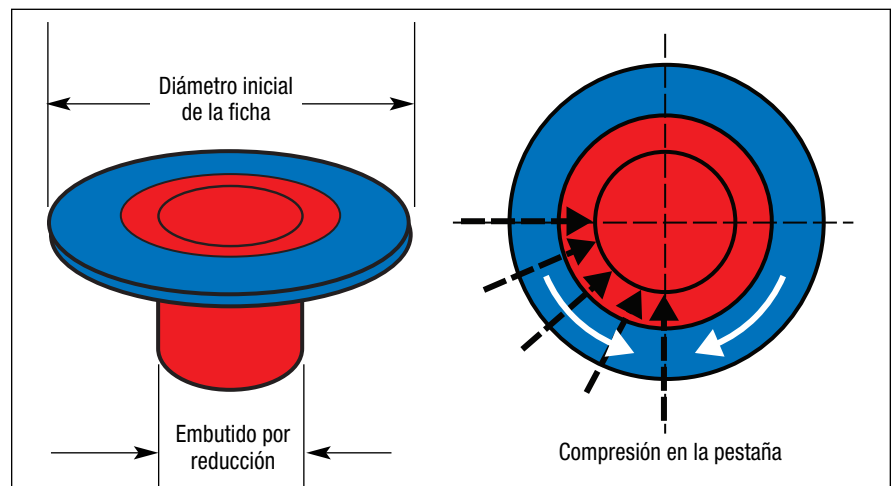


Fig. 1—Compresión en la pestaña de un embutido por reducción

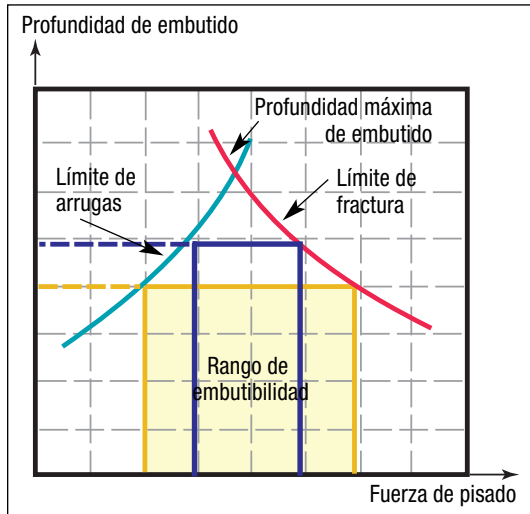


Fig. 2—Rango de embutibilidad del pisador

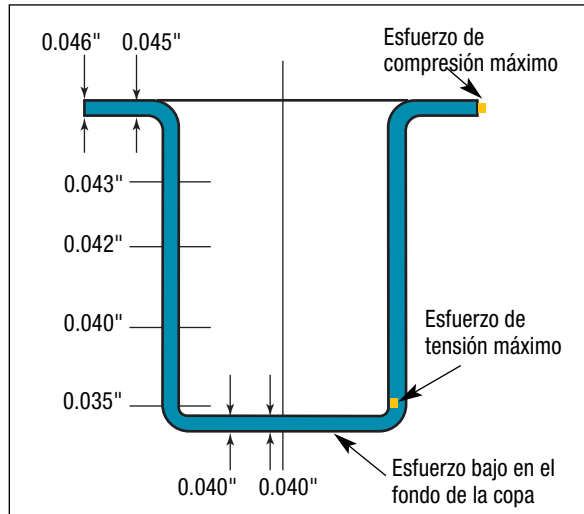


Fig. 3—Distribución de espesor en una copa embutida

sujeción es aproximadamente igual a la tercera parte de la fuerza que se requiere para embutir. En la que no se sabe con certeza donde cae el proceso dentro del rango de embutibilidad.

Otro método, intermedio entre los dos anteriores, es calcular a mano la presión de sujeción. Para esto multiplique 11 kg. por milímetro lineal alrededor de la circunferencia del punzón ( $11 \times 3.1416 \times \text{diámetro del punzón}$ ) para aceros de bajo carbono y se asume 32 kg. de presión por

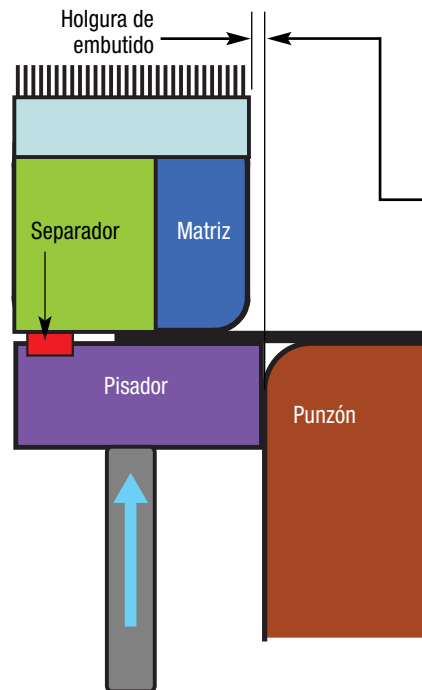
milímetro lineal para aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA, por sus siglas en inglés) e inoxidables, mientras que normalmente se usan 7 kg. para el aluminio

El problema de la presión de pisado excesiva puede remediarse usando bloques espaciadores ajustable, también conocidos como separadores. Los separadores permiten fuerzas de sujeción mayores sin restringir el flujo del material proporcionando una holgura constante entre la cara de la matriz y el pisador. Los separadores se ajustan inicialmente al espesor del material más un diez por ciento adicional para acomodar el engrosamiento del material debido al volumen constante que se presenta en

la ficha.

El concepto de volumen constante es familiar para cualquiera que haya preparado hamburguesas en una parrilla. Si la carne de la hamburguesa es más grande que el pan, el cocinero puede escoger reducir el diámetro de la hamburguesa hasta que quepa, al reducir el diámetro también causa que la carne se haga más gruesa, dado que la hamburguesa debe ser más gruesa para conservar su volumen. La misma regla aplica al embutido de copa; A medida que el diámetro de la ficha se reduce su espesor debe aumentar.

La sección transversal de la figura 3, describe un patrón característico de engrosamiento y adelgazamiento encontrado en el embutido de copas de



Sugerencia de holguras para embutido			
Espesor del material, T	Primer golpe	Segundo golpe	Embutido final
<0.016" (<0.41 mm)	1.08T	1.09 - 1.10T	1.04 - 1.05T
0.016" - 0.050" (0.41 - 1.27 mm)	1.08 - 1.10T	1.10 - 1.13T	1.05 - 1.06T
0.050" - 0.125" (1.27 - 1.18 mm)	1.10 - 1.13T	1.13 - 1.15T	1.06 - 1.08T
>0.152" (>1.18 mm)	1.13 - 1.15T	1.15 - 1.20T	1.08 - 1.10T

Fig. 4—Sugerencias de holguras para embutidos en aceros de bajo carbono

---

fondo plano. Existen grandes esfuerzos de compresión en la pestaña donde el material se ha engrosado considerablemente. En la pared de la copa, formada por una combinación de esfuerzos de compresión y de tensión, la cantidad de engrosamiento disminuye a medida que se acerca a las líneas de impacto de la matriz. Debajo de la línea de impacto de la matriz, ocurre un adelgazamiento debido a que el esfuerzo de tensión máximo se encuentra cerca del radio del borde del punzón, como se indica, el pequeño radio del borde del punzón concentra el esfuerzo de tensión máximo cerca del fondo de la copa donde ocurre muy poca o ninguna deformación. Se pueden hacer embutidos más profundos cuando se usan radios de borde del punzón mayores ya que los radios mayores desplazan el esfuerzo de tensión máximo más hacia la pared de la copa donde el material ha sido endurecido gracias al trabajo en frío. No se presenta deformación en el fondo plano de la copa, por lo que el material retiene su espesor original en esa zona.

La Figura 4 proporciona holguras de herramientas recomendadas para embutido profundo de copas de aceros de bajo carbono. Habiendo estudiado la anatomía de los embutidos profundos de copas es claro el porque se requieren éstas holguras en las herramientas, los separadores y radios mas grandes en las herramientas de embutido profundo.

MF