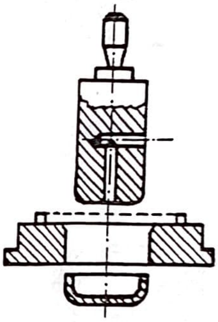
VI - EMBUTIDO

GENERALIDADES



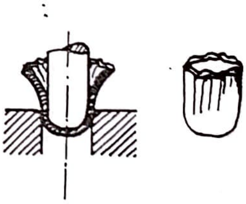
El embutido es una operación que tiene por objeto dar a una chapa plana, la forma de una superficie no desarrollable.

Podemos distinguir dos tipos de embutición:

a) El material se mueve libremente y las compresiones y estiramientos se compensan variando muy poco la superficie total (embutición perfecta).

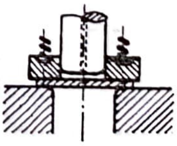
b) Los bordes del material se inmovilizan y el embutido se obtiene por estiramiento del material.

OPERACION DE EMBUTIR



Puede efectuarse de dos maneras:

1. Sin dispositivo de retención del recorte; y se llama embutición de simple efecto.
2. Con un dispositivo de retención del recorte y entonces será la embutición de doble efecto.



Los dos métodos son aplicables a embuticiones de alturas diferentes; en la embutición de simple efecto, la altura máxima alcanzable sin formación de pliegos será de un 15 por cien del diámetro.

En la embutición de doble efecto, teóricamente se puede embutir cualquier altura.

JUEGO ENTRE PUNZON Y MATRIZ

Entre el punzón y la matriz debe existir un juego, que corresponde al espesor de la chapa más una holgura. El exceso admitido generalmente, además del espesor de la chapa, oscila, para latón, aluminio, plata, cobre, entre un 10 por cien y un 15 por cien del espesor de la chapa. Para acero y duraluminio 20 por cien del espesor.

El juego, también varía según la forma de la pieza, así en líneas rectas se toma un exceso del 10 por cien del espesor, en ángulos redondeados un 20 por cien.

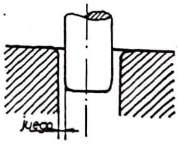
En resumen:

Para latón, aluminio, plata y cobre

(105) $$j = 1{,}1 \div 1{,}15\,e$$

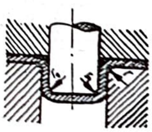
Para acero y duraluminio

(106) $$j = 1{,}2\,e$$



REDONDEAMIENTO DE LOS BORDES DEL PUNZON Y MATRIZ

Si los bordes del punzón y de la matriz no estuvieran redondeados, al hacer la embutición la chapa se *engancharía* y se podría producir la rotura de la chapa. Para evitar esto, señalamos a continuación, el valor de los radios, según el espesor de la chapa.



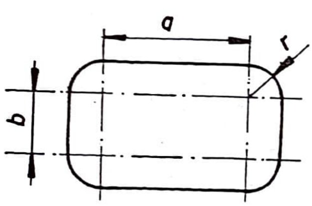
para	$e < 1$ mm.	(107)	$r = 6$ a $8e$
	$1 < e < 3$	(108)	$r = 4$ a $6e$
	$3 < e < 4$	(109)	$r = 2$ a $4e$

PRESION DEL SUJETADOR

Dicha fuerza la determinamos por las fórmulas:

Embutición cilíndrica.

(110) $$P - \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\,p$$



Embutición rectangular.

(111) $$P = 2\,(a + b)\,h + \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\,p$$

D = diámetro del disco en mm.
d = diámetro del punzón en mm.
p = coeficiente del material (ver tabla XXVII)
a y b = distancias de las partes rectas de la embutición rectangular en mm.
h = altura de la embutición en mm.

Los valores de p pueden hallarse en la tabla XXVII.

Una insuficiente presión del sujetador provoca un deslizamiento desordenado de la chapa, originando en ésta arrugas y pliegues; en cambio una presión excesiva provoca la rotura y el alargamiento del material.

FUERZA DE EMBUTICION

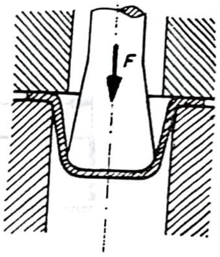
En piezas de figura regular, tales como cilindros o rectángulos, es posible determinar con bastante aproximación la fuerza necesaria para la embutición. Este valor lo obtenemos de las fórmulas siguientes:

1. Embutición cilíndrica.

(112) $$F = \pi \cdot d \cdot e \cdot \alpha \cdot \sigma r$$

2. Embutición rectangular

(113) $$F = \frac{8}{5} \cdot e \cdot \sigma r \, (a + b + 2r)$$



d = diámetro del punzón en mm.
e = espesor de la chapa en mm.
α = coeficiente que depende de la relación d/D (ver tabla XXVIII).
σr = resistencia a la tracción.
a y b = distancias de las partes rectas de la embutición rectangular.
r = radio de los arcos de la embutición rectangular.

TRABAJO DE EMBUTICION

1. Embutición cilíndrica.

(114) $$T = h\,(F \cdot \varphi + P)$$

2. Embutición rectangular.

(115) $$T = 0{,}7\,h\,(F + P)$$

P = Esfuerzo del sujetador.
φ = coeficiente de la reducción (Ver tabla XXVIII).
h = altura de la embutición; en metros, para obtener el trabajo T en kilogrametros o kilopondímetros.

CALCULO DE DESARROLLOS

Para el cálculo de las dimensiones de una chapa a embutir, consideremos los dos tipos de embutición.

a) Sin variación del espesor de la chapa, con lo que la embutición es perfecta.

b) Embutición por estirado, con notable variación del espesor de la chapa.

En la práctica el caso a es el más frecuente o sea el embutido sin variación de superficie. De ordinario existe en estas embuticiones un leve estirado, ya que son distintas las superficies exterior e interior de la chapa embutida, para los cálculos se ha de tomar un término medio.

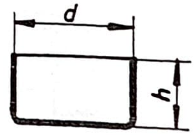
Todos los cálculos que a continuación se citan, son referidos a la embutición teoricamente perfecta.

1.- Cálculo de los desarrollos en la embutición *perfecta* de cuerpos de revolución.

El desarrollo de la chapa para obtener un cuerpo de revolución es siempre un disco por lo que el cálculo se basará en hallar el diámetro de dicho disco.

Para saber el diámetro del disco hallamos en primer lugar la superficie total del cuerpo o pieza a embutir:

Superficie media del cilíndro:



$$s = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh$$

La superficie del disco desarrollado de diámetro D será:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Igualando ambas superficies y despejando obtendremos el valor del diámetro de la chapa desarrollada.

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh}$$

Este procedimiento nos permite calcular los desarrollos aproximados de cualquier objeto de forma geométrica regular.

Nosotros nos limitamos en la Tabla XXIX a calcular los desarrollos de algunos cuerpos geométricos de revolución.

2.- Determinación de los desarrollos en la embutición de cuerpos que no son de revolución.

La superficie de desarrollo se determina de forma semejante al caso anterior. Pero el problema principal en los cuerpos que no son de revolución, es el de la de la determinación de la forma de la chapa en desarrollo. Este problema es, en general, imposible de resolver teóricamente y por ello se recurre a la experiencia o a ensayos previos.

EMBUTICIONES SUCESIVAS

Cuando se trata de embutir piezas de pequeño diámetro y de gran longitud, es conveniente realizar la operación en varios golpes o secuencias, para evitar roturas o agrietamientos de la chapa.

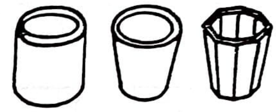
Es para ello necesario determinar con la mayor exactitud posible la relación altura/diámetro, para cada una de las operaciones intermedias que deben efectuarse antes de obtener la pieza acabada.

La profundidad de la embutición depende de:

- Forma y dimensiones de la pieza.
- Espesor de la chapa.
- Calidad del material y su estado.
- Procedimiento de fabricación.

Hay que tener en cuenta, que para conseguir los resultados óptimos tenemos que emplear una buena lubricación.

Para determinar las dimensiones y el número de pasadas, hay que distinguir tres casos.



- Recipientes en forma cilíndrica.
- Recipientes en forma de superficie de revolución no cilíndrica.
- Recipientes en formas que no son de revolución.

RECIPIENTES EN FORMA CILINDRICA

Debemos calcular:

- Número de pasadas.
- Diámetro de cada pasada.
- Altura de embutición en cada una de ellas.

No es recomendable embutir en una sola operación piezas cuya profundidad sea superior a la mitad del diámetro, debiendose en casos de relación mayor, acudir a las fórmulas que a continuación se detallan.

Número de operaciones necesarias:

(116) $$n = \frac{h}{d} \cdot 2$$ (En piezas de pequeñas dimensiones).

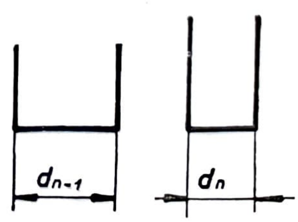
(117) $$n = \frac{h}{d} \cdot 3$$ (En piezas de grandes dimensiones).

n = número de operaciones.
h = profundidad del recipiente en mm.
d = diámetro del punzón en mm.

En la práctica, para determinar rápidamente el número de pasadas, así como los diámetros obtenibles en cada caso, recurrimos a la Tabla XXX, en la que partiendo de una chapa de diámetro D, sabremos si es o no posible, embutir, en una sola o varias pasadas, con un punzón de diámetro d y una altura de embutido h.

Para cada material, hay una relación K entre el diámetro mínimo obtenido en cada embutición y el diámetro obtenido en la embutición anterior.

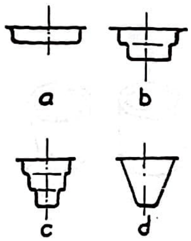
(118) $$K = \frac{dn}{d_{n-1}}$$



dn = diámetro de la embutición a obtener.
d_{n-1} = diámetro de la última embutición obtenida.

RECIPIENTES DE FORMAS DE REVOLUCION NO CILINDRICAS

La variedad de formas es muy grande, por lo que el cálculo es muy complejo y sujeto siempre a las experiencias y ensayos.



El dibujo adjunto nos presenta diversas fases, necesarias, para la embutición de un recipiente de forma cónica. Siempre debemos procurar obtener por medio de embuticiones escalonadas, una figura próxima a la final, siendo la última operación la que nos de la forma definitiva.

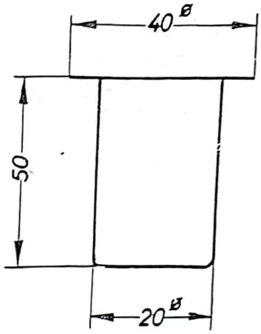
Para el cálculo, es aceptable, como base de partida, tomar los datos de la Tabla XXX en las embuticiones de las piezas cilíndricas.

RECIPIENTES EN FORMAS QUE NO SON DE REVOLUCION

En estos casos, la construcción ofrece mayores dificultades y el cálculo resulta más complicado. Sin embargo, y como regla general, se procurará primeramente, dar a los objetos formas redondeadas, marcando las aristas más vivas en la última pasada.

CORRECCION DEL DIAMETRO DEL DISCO

El valor teórico del diámetro del disco, obtenido mediante cálculo, puede resultar en algunos casos insuficiente o excesivo en los ensayos. Conviene, sobre una primera aproximación teórica, hacer sucesivas pruebas, con diferentes diámetros, un poco mayores, o menores, según sea el caso, hasta comprobar cual es el diámetro D del disco necesario para la embutición.



147. Se desea obtener, mediante el embutido una serie de piezas cuya forma y dimensiones se pueden ver en el dibujo adjunto. Siendo el espesor de la plancha de 1 mm.

Calcular:

El diámetro del disco de la chapa de partida.

SOLUCION

Aplicando la fórmula correspondiente a dicha pieza a obtener tenemos:

(143) $$D = \sqrt{d_2^2 + 4dh}$$

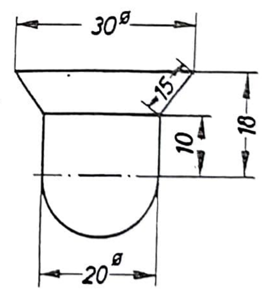
Sustituyendo valores se obtiene:

$$D = \sqrt{40^2 + 4 \cdot 20 \cdot 50} =$$

$$= \sqrt{5600} = 74{,}8 \text{ mm.}$$

SOLUCION
D = 74,8 mm.

148. Partiendo de un disco de chapa, deseamos obtener varias piezas de forma y cotas según dibujo. Si el material de la plancha es de aluminio y el espesor de la misma 1 mm.



Calcular:

a) Diámetro del disco de partida.
b) Juego entre punzón y matriz.
c) Redondeamiento en los bordes del punzón y matriz.

SOLUCION

a) Aplicando la fórmula correspondiente tenemos:

(153) $$D = 1{,}414 \sqrt{d_1^2 + 2d_1 h + f\,(d_1 + d_2)}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$D = 1{,}414 \sqrt{20^2 + 2 \cdot 20 \cdot 10 + 15\,(20 + 30)} =$$

$$= 1{,}414 \sqrt{1550} = 55{,}57 \text{ mm.}$$

b) El juego lo obtenemos por la fórmula:

(105) $$j = 1{,}1 \div 1{,}15e$$

$$j = 1{,}1 \cdot 1 \div 1{,}15 \cdot 1 = 1{,}1 \div 1{,}15 \text{ mm.}$$

c) El redondeamiento del punzón y la matriz, necesario será:

(108) $$r = 4e \text{ a } 6e$$

$$r = 4 \cdot 1 \div 6 \cdot 1 = 4 \div 6 \text{ mm.}$$

SOLUCION

a) $D = 55{,}57$ mm.
b) $j = 1{,}1 \div 1{,}15$ mm.
c) $r = 4 \div 6$ mm.

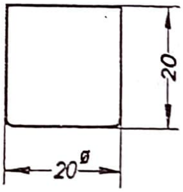
149. Debemos construir una serie de recipientes cilíndricos de 20 mm. de diámetro y 20 mm. de profundidad. Si dichos recipientes los obtenemos de chapa de acero dulce de 2 mm. de espesor. $\sigma r = 33 \text{ kg/mm}^2$.

Calcular:

a) El diámetro del disco de chapa.
b) El radio del redondeamiento.
c) El número de secuencias necesarias y los diámetros obtenibles en cada una de ellas.
d) La fuerza máxima de embutición.

SOLUCION

Obtenemos el diámetro aplicando la fórmula siguiente:



(142) $$D = \sqrt{d^2 + 4dh}$$

$$= \sqrt{20^2 + 4 \cdot 20 \cdot 20}$$

$$= \sqrt{2000} = 44{,}7 \text{ mm.}$$

b) El redondeamiento del punzón y de la matriz se obtiene por la fórmula (108).

(108) $$r = 4e \text{ a } 6e$$

$$r = 4 \cdot 2 \text{ a } 6 \cdot 2 = 8 \text{ a } 12 \text{ mm.}$$

c) El número de secuencias, lo obtenemos de la fórmula (116).

(116) $$n = \frac{h}{d} \cdot 2 = \frac{20}{20} \cdot 2 = 2 \text{ secuencias.}$$

Diámetro máximo obtenible en la primera fase:
Buscamos en la Tabla XXX el valor de K_0.

$$K_0 = 0{,}6$$

$$K_0 = \frac{d_1}{D} ; 0{,}6 = \frac{d_1}{44{,}7}$$

$$d_1 = 44{,}7 \cdot 0{,}6 = 26{,}82 \text{ mm.}$$

En la misma tabla comprobamos el valor de K para la segunda embutición.

$$K = \frac{d_2}{d_1} = \frac{20}{26,82} = 0,74 < 0,8$$

?

Por lo tanto admitimos los valores como buenos.

d)

→ Tabla XXVIII

(112) $F = \pi \cdot d \cdot e \cdot \alpha \cdot \sigma r$

$$F_1 = \pi \cdot 26,82 \cdot 2 \cdot 0,82 \cdot 33$$

$$F_1 = 4557,7 \text{ Kg.}$$

$$F_2 = \pi \cdot 20 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 33$$

$$F_2 = 2072,4 \text{ kg.}$$

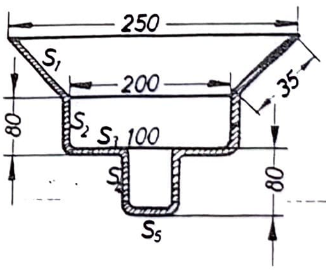
SOLUCION

a) $D = 44,7$ mm.
b) $r = 8$ a 12 mm.
c) 2 secuencias
   $d_1 = 26,82$ mm.
   $d_2 = 20$ mm.
d). $F_{máx.} = F_1 = 4557,7$ kg.

150. Debemos obtener mediante la embutición una pieza cuya forma y dimensiones apreciamos en la figura adjunta.

Calcular el diámetro del disco de chapa a embutir:

a) Por el procedimiento convencional.
b) Mediante la fórmula.



SOLUCION

a)

$$S_1 = \pi dh = 3,14 \cdot \frac{250 + 200}{2} \cdot 35 =$$

$$= 3,14 \cdot 225 \cdot 35 = 24.727,5 \text{ mm}^2.$$

$$S_2 = \pi dh = 3,14 \cdot 200 \cdot 80 = 50240 \text{ mm}^2.$$

$$S_3 = \pi r^2 - \pi r'^2 = 3,14 \cdot 100^2 - 3,14 \cdot 50^2 =$$

$$= 31400 - 7850 = 23550 \text{ mm}^2.$$

$$S_4 = \pi dh = 3,14 \cdot 100 \cdot 80 = 25120 \text{ mm}^2.$$

$$Sr_5 = 3,14 \cdot 50 = 7850 \text{ mm}^2.$$

$$S_{total} = 24.727,5 + 50.240 + 23.550 + 25.120 +$$

$$7.850 = 131.487,5 \text{ mm}^2$$

La superficie del disco de chapa nos viene dada por la fórmula:

$$S_{total} = \pi r^2$$

De donde despejando tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{S_{total}}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{131.487,5}{3,14}} = \sqrt{41.875} = 204,65 \text{ mm.}$$

De donde el diámetro será:

$$D = 2r = 2 \cdot 204,6 = 409,3 \text{ mm.}$$

b)

(147) $D = \sqrt{d_2^2 + 4\,(d_1 h_1 + d_2 h_2) + 2f\,(d_2 + d_3)}$

$$D = \sqrt{40.000 + 4 \cdot (8000 + 16000) + 2 \cdot 35\,(450)}$$

SOLUCION

D = 409,3 mm.

$$D = \sqrt{167.500} = 409,3$$

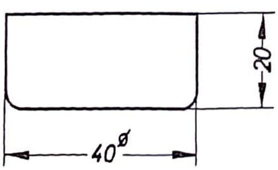
151. Se desea obtener mediante el embutido, una serie de recipientes circulares de forma y dimensiones que nos marca el croquis. Siendo el espesor de la chapa de 1,5 mm. y el material de cobre.

Calcular:

a) Diámetro del disco de chapa.
b) Pasadas necesarias para llevar a cabo dicha operación.

SOLUCION

a) El diámetro del disco de chapa, del que se habrá de partir para realizar la embutición será:



(142) $D = \sqrt{d^2 + 4dh}$

$$= \sqrt{40^2 + 4 \cdot 40 \cdot 20} = 69,3 \text{ mm.}$$

b) Determinamos m para ver si se puede operar en una sola pasada.

SOLUCION

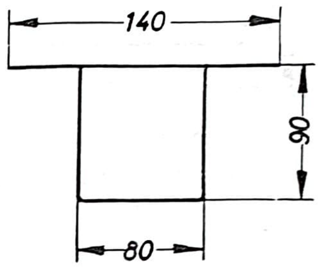
D = 69,3 mm.

n = 1 pasada.

$$m = \frac{h}{d} = \frac{20}{40} = 0,5$$

Como 0,5 es menor que el valor 0,57 que da la Tabla XXX vemos que es posible hacerlo de una sola pasada.

152. Partiendo de chapa de cobre de 2 mm. de espesor, se desea construir una pieza que se adapte a la forma y cotas del dibujo.



Calcular:

a) Diámetro de la chapa del desarrollo.
b) Número de pasadas necesarias para realizar la embutición.
c) Dimensiones de cada pasada.

SOLUCION

a) El diámetro del disco lo obtenemos por la fórmula:

(143) $$D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1 h}$$

$$= \sqrt{140^2 + 4 \cdot 80 \cdot 90} = 220 \text{ mm.}$$

b) Determinamos m para saber si podemos obtener la pieza en una sola embutición.

$$m = \frac{h}{d} = \frac{90}{80} = 1{,}125 > 0{,}57 \rightarrow \text{no podemos.}$$

Averiguamos el número de pasadas, mediante la fórmula (117).

(117) $$n = \frac{h}{d} \cdot 3 = 1{,}125 \cdot 3 = 3{,}375 \rightarrow 4 \text{ secuencias.}$$

c) Hallamos los sucesivos diámetros, tomando el diámetro D del disco, y multiplicándolo sucesivamente por el coeficiente K_0 y varias veces por el coeficiente K hasta que nos de un diámetro igual o menor que d. Teniendo en cuenta que en este caso, y según Tablas, $K_0 = 0{,}55$ y $K = 0{,}85$ tenemos.

$$d'_1 = 220 \cdot 0{,}55 = 121 \text{ mm.}$$

$$d'_2 = 121 \cdot 0{,}85 = 102{,}85 \approx 103 \text{ mm.}$$

$$d'_3 = 103 \cdot 0{,}85 = 87{,}55 \approx 87{,}5 \text{ mm.}$$

$$d'_4 = 87{,}5 \cdot 0{,}85 = 74{,}375 \approx 74{,}5 \text{ mm.}$$

Los diámetros definitivos de cada embutición serán:

Partimos de los diámetros hallados ajustándolos para que el último resulte de 80 mm.

Buscamos la diferencia del último diámetro hallado con el nominal d_1.

$80 - 74{,}5 = 5{,}5$ mm.

Dividimos la diferencia por el número de pasadas a realizar:

$$\frac{5{,}5}{4} = 1{,}375 \text{ mm.}$$

Determinamos los verdaderos diámetros de las sucesivas embuticiones, añadiendo a cada una la parte correspondiente de la diferencia.

$$d_1 = 121 + 1{,}375 = 122{,}375 \approx 123 \text{ mm.}$$

$$d_2 = 103 + 1{,}375 \cdot 2 = 105{,}75 \approx 106 \text{ mm.}$$

$$d_3 = 87{,}5 + 1{,}375 \cdot 3 = 91{,}625 \approx 92 \text{ mm.}$$

$$d_4 = 74{,}5 + 1{,}375 \cdot 4 = 80 \quad = 80 \text{ mm.}$$

Determinamos las alturas de las embuticiones intermedias de la siguiente forma: se iguala la superficie del disco de chapa a la superficie de la fibra media de la pieza cuya altura deseamos calcular; así para calcular h_1 tendremos:

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi\, d_2^2}{4} + \pi d_1\, h_1$$

Simplificando nos queda:

$$D^2 = d_2^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h_1$$

De donde $h_1 = \dfrac{D^2 - d_2^2}{4\, d_1}$

$$h_1 = \frac{220^2 - 140^2}{4 \cdot 123} = 58{,}29 \text{ mm.}$$

$$h_2 = \frac{220^2 - 140^2}{4 \cdot 106} = 67{,}9 \text{ mm.}$$

$$h_3 = \frac{220^2 \div 140^2}{4 \cdot 92} = 78{,}26 \text{ mm.}$$

$$h_4 = \frac{220^2 - 140^2}{4 \cdot 80} = 90 \text{ mm.}$$

SOLUCION

a) $D = 220$ mm.
b) $n = 4$ pasadas.
c) 1ª pasada:
$d_1 = 123$ mm.
$h_1 = 58{,}3$ mm.
2ª pasada:
$d_2 = 106$ mm.
$h_2 = 67{,}9$ mm.
3ª pasada
$d_3 = 92$ mm.
$h_3 = 78{,}2$ mm.
4ª pasada
$d_4 = 80$ mm.
$h_4 = 90$ mm.

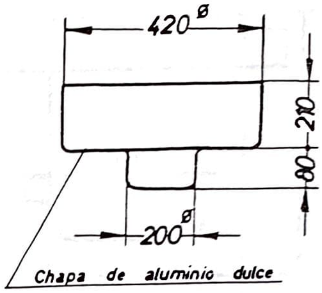
153. Para obtener una serie de piezas como la representada en la figura, tenemos que realizar una serie de embuticiones sucesivas.

Calcular:

a) Diámetro del disco de chapa.
b) Número de embuticiones necesarias.
c) Las cotas de las distintas embuticiones.

SOLUCION

a) Aplicando la fórmula del desarrollo obtenemos:



(144) $$D=\sqrt{d_2^2+4\,(d_1 h_1+d_2 h_2)}$$

$$D=\sqrt{420+4(220\cdot 80+420\cdot 210)}$$

$$=\sqrt{176400+416800}=770{,}2 \text{ mm.}$$

b) Según tabla el valor de K_0 y K son 0,55 y 0,8 respectivamente. A continuación determinamos los diámetros de sucesivas embuticiones, y al mismo tiempo determinamos el número de pasadas. En piezas de este tipo se empieza siempre a embutir la parte central.

$d'_1 = 0{,}55 \cdot 770{,}2 = 423{,}61$ mm.

$d'_2 = 0{,}8 \cdot 423{,}61 = 337{,}88$ mm.

$d'_3 = 0{,}8 \cdot 337{,}88 = 270{,}30$ mm.

$d'_4 = 0{,}8 \cdot 270{,}3 = 216{,}24$ mm.

$d'_5 = 0{,}8 \cdot 216{,}24 = 173$ mm.

Buscamos la diferencia entre 200 y el diámetro hallado d_5.

$$200 - 173 = 27 \text{ mm.}$$

Dividimos la diferencia por el número de pasadas a realizar para obtener el primer escalón.

$$\frac{27}{5} = 5{,}4 \text{ mm.}$$

Los verdaderos diámetros serán:

$d_1 = 423{,}6 + 5{,}4 = 429$ mm.

$d_2 = 337{,}9 + 5{,}4 \cdot 2 \approx 349$ mm.

$d_3 = 270{,}3 + 5{,}4 \cdot 3 = 286{,}5$ mm.

$d_4 = 216{,}2 + 5{,}4 \cdot 4 \approx 238$ mm.

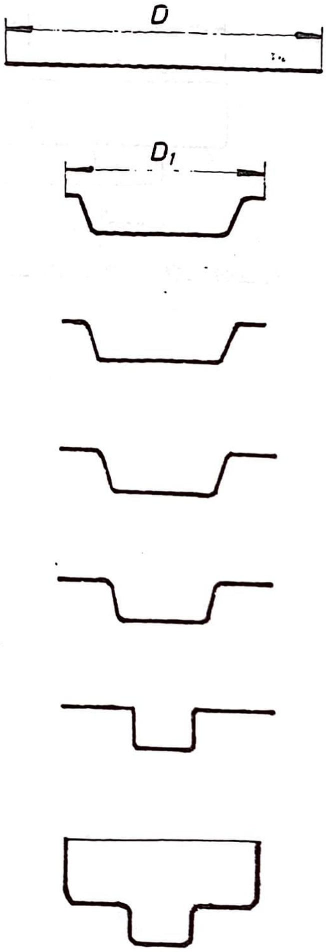
$d_5 = 173 + 5{,}4 \cdot 5 = 200$ mm.

Cálculo de alturas.

Para embutir el diámetro exterior, después de embutir el cuerpo central, el diámetro D_I debe ser suficientemente grande.

Este diámetro deberá tener como valor:

(142) $$D_I=\sqrt{420^2+4\cdot 210\cdot 420}$$



$D_1 = 727{,}5$ mm.

$h_1 = \dfrac{D^2 - D_1^2}{4d_1}$; fórmula hallada despejando h_1 de la igualdad:

$$\frac{\pi \cdot D}{4} = \frac{\pi \cdot d_1}{4} + d_1\ h_1$$

$$h_1 = \frac{770{,}2^2 - 727{,}5^2}{4 \cdot 429} = 37{,}2 \text{ mm.}$$

$$h_2 = \frac{770{,}2^2 - 727{,}5^2}{4 \cdot 349} = 45{,}8 \text{ mm.}$$

$$h_3 = \frac{64000}{4 \cdot 286{,}5} = 55{,}8 \text{ mm.}$$

$$h_4 = \frac{64000}{4 \cdot 238} = 65{,}9 \text{ mm.}$$

$$h_5 = \frac{64000}{4 \cdot 200} = 80 \text{ mm.}$$

El diámetro exterior se embutirá de un golpe. En efecto:

$$m = \frac{210}{420} = 0{,}5 < 0{,}57 \text{ que marca la Tabla XXX.}$$

El diámetro de esta embutición será el definitivo; $d_6 = 420$ mm. y la altura también la que marca el plano; $h_6 = 210$ mm.

SOLUCION

a) $D = 770{,}2$ mm.
b) 6 embuticiones
c) 1ª embutición
   $d_1 = 429$ mm.
   $h_1 = 37{,}2$ mm.
   2ª embutición
   $d_2 = 349$ mm.
   $h_2 = 45{,}8$ mm.
   3ª embutición
   $d_3 = 286{,}5$ mm
   $h_3 = 55{,}8$ mm.
   4ª embutición
   $d_4 = 238$ mm.
   $h_4 = 65{,}9$ mm.
   5ª embutición
   $d_5 = 200$ mm.
   $h_5 = 80$ mm.
   6ª embutición
   $d_6 = 420$ mm.
   $h_6 = 210$ mm.

154. Partiendo de chapa de 2 mm. de espesor, debemos obtener un recipiente cilíndrico de la forma y dimensiones del croquis adjunto. Siendo el material de la plancha acero dulce.

Calcular:

a) Diámetro del disco de chapa.
b) Número de pasadas necesarias para obtener la pieza.
c) Dimensiones de cada una de las pasadas.

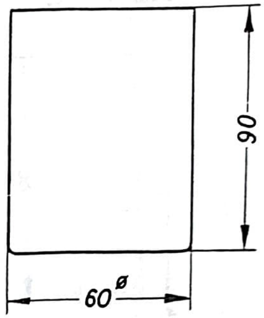
SOLUCION

a) El diámetro del disco a cortar lo calculamos por la fórmula:

(142) $$D = \sqrt{d^2 + 4dh}$$

$$D = \sqrt{60^2 + 4 \cdot 60 \cdot 90} = 158{,}7 \text{ mm.}$$

b) El número de operaciones lo determinaremos partiendo de la relación



$$m = \frac{h}{d} = \frac{90}{60} = 1,5$$

Por considerarse pequeño el objeto, se podrá obtener con una serie de pasadas determinadas por la fórmula:

(116) $$n = \frac{h}{d} \cdot 2 = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ pasadas}$$

c) Cálculo de los diámetros:

$d_1 = D \cdot K_0 = 158,7 \cdot 0,6 = 95,22$ mm.

$d_2 = d_1 \cdot K_1 = 95,22 \cdot 0,8 = 76,17$ mm.

$d_3 = d_2 \cdot K_1 = 76,17 \cdot 0,8 = 60,9$ mm.

Los redondeamos a:

$d_1 = 95$ mm.

$d_2 = 76$ mm.

$d_3 = 60$ mm.

Cálculo de las alturas de cada embutición:
Partimos de la igualdad:

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} + \pi \cdot d_1 \cdot h_1$$

$$h_1 = \frac{D^2 - d_1^2}{4 \cdot d_1} = \frac{158,7^2 - 95^2}{4 \cdot 95} = 42,5 \text{ mm.}$$

$$h_2 = \frac{D^2 - d_2^2}{4 \cdot d_2} = \frac{158,7^2 - 76^2}{4 \cdot 76} = 63,8 \text{ mm.}$$

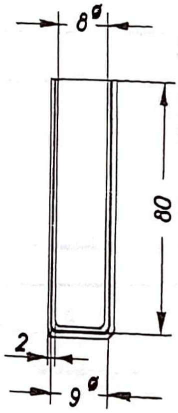
$$h_3 = \frac{D^2 - d_3^2}{4 \cdot d_3} = \frac{158,7^2 - 60^2}{4 \cdot 60} = 90 \text{ mm.}$$

SOLUCION

a) $D = 158,7$ mm.
b) 3 pasadas
c) 1ª pasada
$d_1 = 95$ mm.
$h_1 = 42,5$ mm.
2ª pasada
$d_2 = 76$ mm.
$h_2 = 63,8$ mm.
3ª pasada
$d_3 = 60$ mm.
$h_3 = 90$ mm.

PROBLEMAS CON SOLUCION

155. Partiendo de un disco de chapa de 2 mm. de espesor, se debe construir mediante embutición una serie de recipientes cilíndricos adaptados al croquis. Siendo el radio de redondeamiento del punzón y de la matriz 4 veces el espesor de la plancha Mat. acero para embutidos profundos, $\sigma r = 31$ kg/mm².



Calcular:

a) Diámetro del disco de chapa necesaria para la construcción del recipiente.
b) Radio de redondeamiento del punzón y matriz en las fases intermedias.
c) Esfuerzo de embutición necesario en la fase que más resistencia oponga a ser embutida.

SOLUCION

SOLUCION

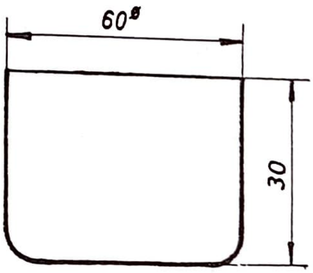
a) D = 63 mm.
b) r = 8 mm.
c) F = 1752,12 kg.

156. De un disco de chapa de acero de embutición profunda, debe obtenerse un recipiente como el de la figura. Si la embutición se hace en una matrīz provista de sujetador, y la carga de rotura del material es la misma que el problema anterior. Espesor de la chapa 1 mm.

Calcular:

a) Presión del sujetador.
b) Fuerza necesaria para la embutición.

SOLUCION



SOLUCION

a) P = 1356,48 kg.
b) F = 3224 kg.

157. Deseamos obtener, por embutición, un recipiente vuya forma y dimensiones sean las del dibujo. Si la chapa que usamos es la misma que se usa en la fabricación de carrocerias, y el espesor es de 2 mm.

Calcular:

a) Por tablas, los valores K_0 y K
b) Determinar el diámetro del disco de chapa necesario para la construcción del recipiente.
c) Número de pasadas necesarias.
d) Dimensiones de cada pasada.

SOLUCION

SOLUCION

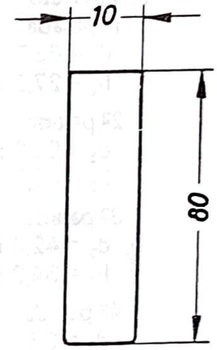
a) $K_0 = 0{,}55$ $K = 0{,}75$
b) D = 57,4 mm.
c) n = 5 pasadas
d) 1ª pasada
$d_1 = 31{,}57$ mm.
$h_1 = 18{,}9$ mm.

2ª pasada
$d_2 = 23{,}67$ mm.
$h_2 = 28{,}8$ mm.

3ª pasada
$d_3 = 17{,}76$ mm.
$h_3 = 41{,}9$ mm.

4ª pasada
$d_4 = 13{,}32$ mm.
$h_4 = 58{,}5$ mm.

5ª pasada
$d_5 = 10$ mm.



158. En una matriz provista de sujetador elástico y diámetro de punzón 40 mm. deseamos finalizar la embutición de una plancha de 132,66 mm. de diámetro. Si el recipiente que queremos obtener a de tener la misma forma que el del problema anterior, y siendo de acero de embutir de 0,5 mm. de espesor.

Calcular:

a) Dimensiones del vaso cilíndrico.
b) Número de pasadas a realizar para la construcción del recipiente.
c) Dimensiones características de cada una de las pasadas.

SOLUCION

SOLUCION

a) $d = 40$ mm.
$h = 100$ mm.
b) 4 pasadas
c) 1ª pasada
$d_1 = 79{,}6$ mm.
$h_1 = 35{,}3$ mm.

2ª pasada
$d_2 = 63{,}7$ mm.
$h_2 = 53{,}1$ mm.

3ª pasada
$d_3 = 51$ mm.
$h_3 = 73{,}5$ mm.

4ª pasada
$d_4 = 40$ mm.
$h_4 = 100$ mm.

159. Disponemos de un disco de chapa de acero de embutir, cuyo diámetro es de 105 mm. De dicho disco queremos obtener mediante embutición un recipiente cilíndrico de 35 mm. de diámetro. Siendo el espesor de la plancha 1 mm. y la $\sigma r = 32$ kg/mm².

Calcular:

a) Según tablas, los valores K_0 y K
b) Número de pasadas necesarias para la obtención del recipiente.

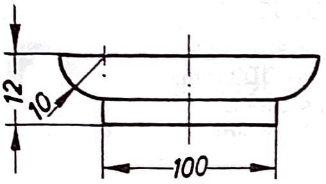
SOLUCION

a) $K_0 = 0,6$; $K = 0,8$
b) 4 pasadas
c) 1ª pasada
   $d_1 = 63,7$ mm.
   $h_1 = 27,3$ mm.
   2ª pasada
   $d_2 = 51,8$ mm.
   $h_2 = 40,2$ mm.
   3ª pasada
   $d_3 = 42,4$ mm.
   $h_3 = 54,3$ mm.
   4ª pasada
   $d_4 = 35$ mm.
   $h_4 = 70$ mm.

c) Características de cada pasada.

SOLUCION

PROBLEMAS PARA RESOLVER

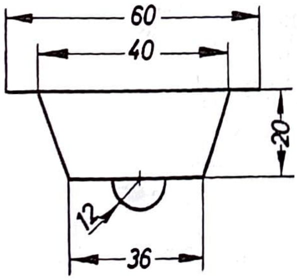


160. Se desea obtener partiendo de un disco de chapa de acero de embutir de 2 mm. de espesor, una serie de recipientes, cuya forma y dimensiones se adapten al croquis. Si el radio de redondeamiento es de 4 veces el espesor de la plancha, $\sigma r = 34$ Kg/mm². y la presión específica $p = 0,24$ kg/mm².

Calcular:

a) Diámetro del disco de la chapa.
b) Presión del sujetador.
c) Fuerza necesaria para la embutición.

SOLUCION



161. Se desea obtener, partiendo de plancha, una pieza como la del dibujo.

Calcular:

a) La superficie de la plancha necesaria para la realización de la pieza.
b) El diámetro del disco que nos proporciona esta superficie.

SOLUCION

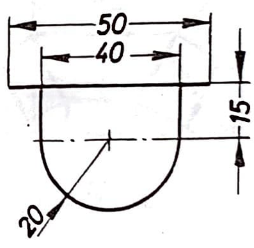
162. Un disco de chapa de acero para carrocerías lo debemos embutir para obtener un recipiente cilíndrico de diámetro 25 mm. y de profundidad 75 mm. Siendo el espesor de la chapa de 1 mm.

Calcular:

a) Diámetro del disco de chapa.
b) Número de operaciones necesarias.
c) Dimensiones alcanzadas en cada pasada.

SOLUCION

163. Con chapa de zinc y 2 mm. de espesor, debemos construir una serie de recipientes cilíndricos cuya forma y dimensiones son las del croquis.



Calcular:

a) Diámetro del disco de chapa primitivo.
b) Juego entre punzón y matriz.
c) Radio de redondeamiento del punzón y la matriz.

SOLUCION

164. Se desea determinar la secuencia de operaciones para la construcción de un vaso cilíndrico de 40 mm. de diámetro y 120 mm de profundidad, en aluminio. Teniendo en cuenta que las dimensiones están consideradas sobre la línea neutra.

Calcular:

a) Desarrollo del disco de chapa.
b) Número de operaciones necesarias para la realización del vaso.
c) Características de cada una de las operaciones.

SOLUCION

165. Tratamos de embutir una pieza cilíndrica de 32 mm. de diámetro y 24 de altura en chapa de latón de embutir; $\sigma t = 33$ kg./ mm^2; $c = 1,5$ mm.; $p = 0,22$ kg/mm^2.

Calcular:

El trabajo total realizado por la prensa.

SOLUCION

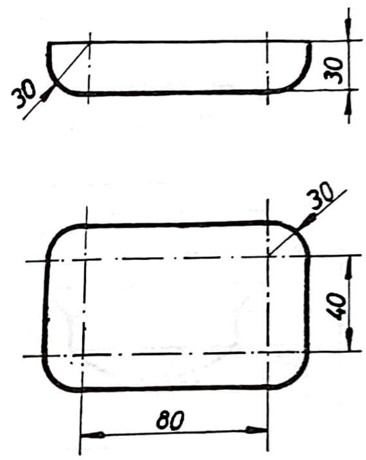
166. Partiendo de chapa de cobre, debemos obtener una serie de recipientes cilíndricos de diámetro 45 mm. y profundidad 70 mm. Teniendo en cuenta que las medidas son tomadas sobre la línea neutra y que la matriz tiene sujetador elástico.

Calcular:

a) Diámetro del disco primitivo.
b) Número de pasadas.
c) Dimensiones de cada pasada.

SOLUCION

167. Pretendemos embutir, en chapa de acero para carrocerías, $\sigma t = 36\ kg/mm^2$., la pieza de la figura; e = 1 mm; consideramos D≈ 80 mm. y d≈ 58 mm.

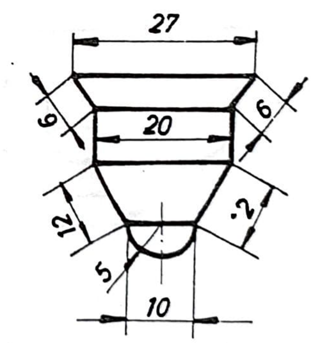


Calcular:

a) Esfuerzo de embutición.
b) Esfuerzo del sujetador.
c) Trabajo total efectuado por la prensa.

SOLUCION

168. Calcular el diámetro D del disco, cuya superficie permite embutir la pieza del dibujo.



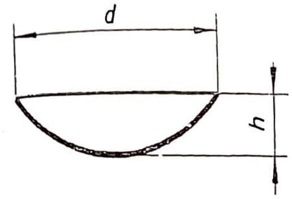
SOLUCION

169. Al efectuar la embutición de un vaso cilíndrico obtenemos en la 5ª pasada, un diámetro de 42 mm. Teniendo en cuenta que el espesor de la chapa es de 2 mm. y que el material es de duraluminio recocido. $\sigma r = 32\ kg/mm^2$.

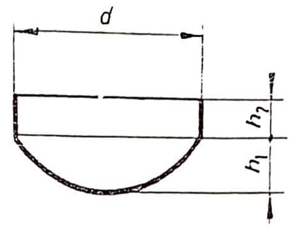
Calcular:

a) Diámetro y altura del recipiente en cada pasada, suponiendo que se apuran al máximo las constantes K y K_o del material.
b) Diámetro del disco de chapa de partida.
c) Fuerza necesaria en cada secuencia.

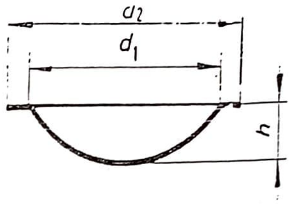
SOLUCION



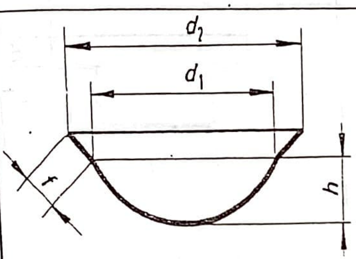
(154) $D=\sqrt{d^2+4h^2}$



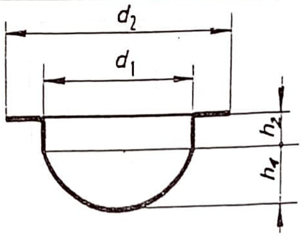
(155) $D=\sqrt{d^2+4(h_1^2+dh_2)}$



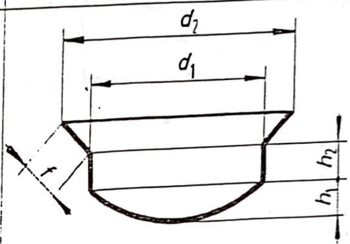
(156) $D=\sqrt{d_2^2+4h^2}$



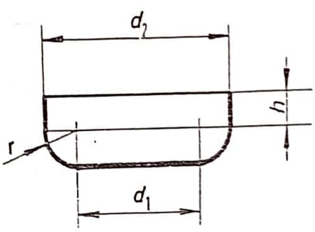
(157) $D=\sqrt{d_1^2+4h^2+2f(d_1+d_2)}$



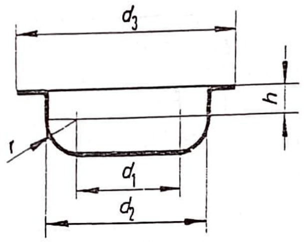
(158) $D=\sqrt{d_2^2+4(h_1^2+d_1h_2)}$



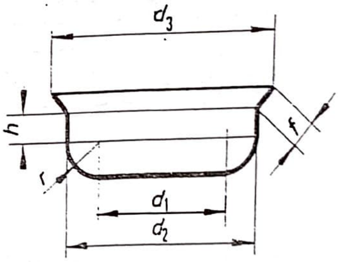
(159) $D=\sqrt{d_1^2+4(h_1^2+d_1h_2)+2f(d_1+d_2)}$



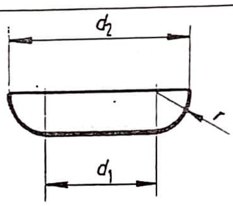
(160) $D=\sqrt{d_2^2+2{,}28rd_2-0{,}56r^2+4d_2h}$



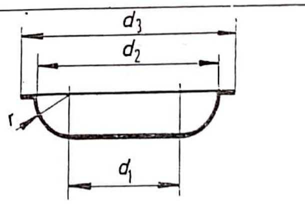
(161) $D=\sqrt{d_3^2+4d_2(0{,}57r+h)-0{,}56r^2}$



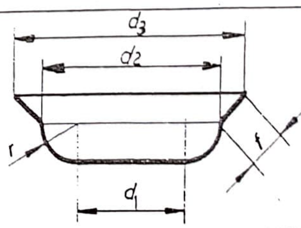
(162) $D=\sqrt{d_2^2+4d_2(0{,}57r+h+\frac{f}{2})+2d_3f-0{,}56r^2}$



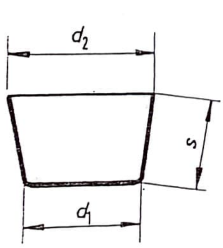
(163) $D=\sqrt{d_2^2+2{,}28rd_2-0{,}56r^2}$



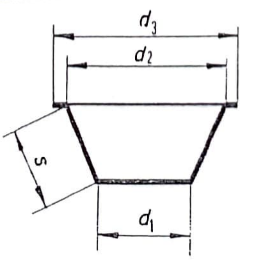
(164) $D=\sqrt{d_3^2+2{,}28rd_2-0{,}56r^2}$



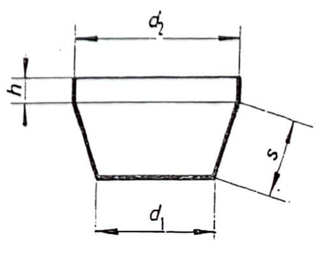
(165) $D=\sqrt{d_2^2+2{,}28rd_2-0{,}56r^2+2f(d_2+d_3)}$



(166) $D=\sqrt{d_1^2+2s(d_1+d_2)}$.



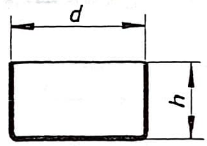
(167) $D=\sqrt{d_1^2+2s(d_1+d_2)+d_3^2-d_2^2}$



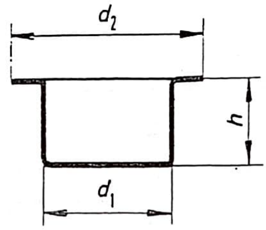
(168) $D=\sqrt{d_1^2+2[s(d_1+d_2)+2d_2h]}$

TABLA XXIX

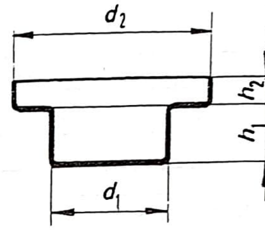
Diámetro del disco de chapa a embutir.



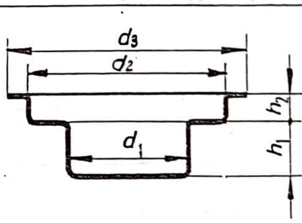
(142) $D = \sqrt{d^2 + 4dh}$



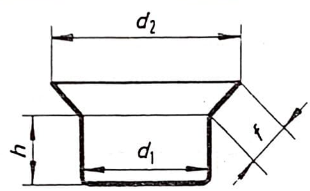
(143) $D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$



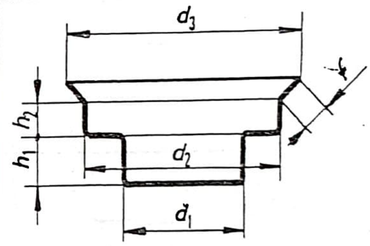
(144) $D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$



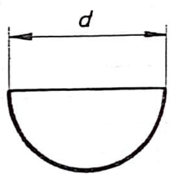
(145) $D = \sqrt{d_3^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$



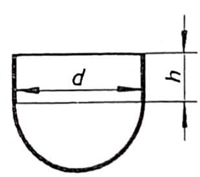
(146) $D = \sqrt{d_1^2 + 4d_1h + 2f(d_1 + d_2)}$



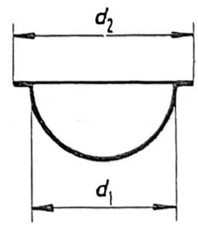
(147) $D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2) + 2f(d_2 + d_3)}$



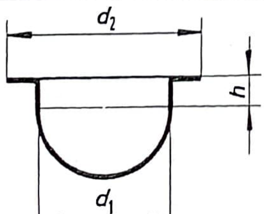
(148) $D = 1,414\ d$



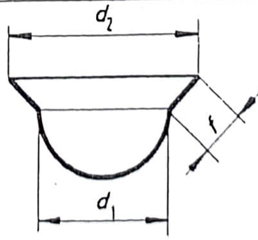
(149) $D = 1,414\sqrt{d^2 + 2dh}$



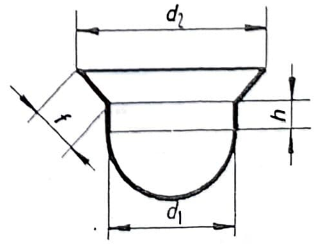
(150) $D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$



(151) $D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1h}$



(152) $D = 1,414\sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$



(153) $D = 1,414\sqrt{d_1^2 + 2d_1h + f(d_1 + d_2)}$