



Applicazioni Industriali

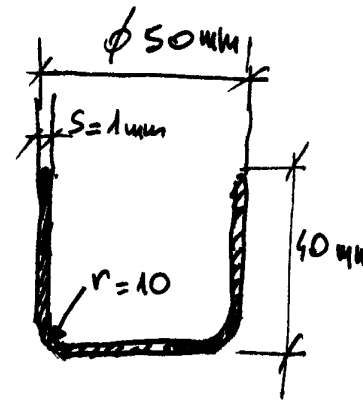
Stampaggio a freddo - Esercizi

Marco Raimondi

e-mail: mramondi@liuc.it

Stampaggio a freddo

Si deve realizzare il pezzo in figura:



Caratteristiche: Mat. FePO4
spessore $S = 1\text{ mm}$

Operazioni: imbutitura + Tranciatura
Hp: spessore costante durante le operazioni
Fasi:

- 1) Definizione dello sviluppo dell'imbutito e dunque del cerchio di partenza
- 2) Determinare il rapporto di imbutitura e dunque il n° di passaggi necessari.
- 3) Calcolare Forza ed Energia necessarie.
- 4) Dimensionamento punzone e matrice

1) Definizione dello sviluppo

Suddivisione del pezzo nelle forme elementari;

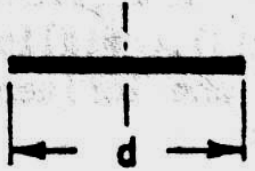
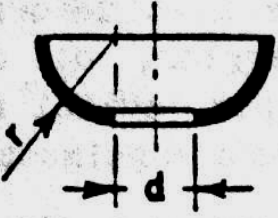
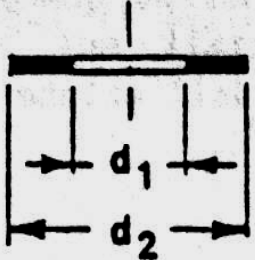
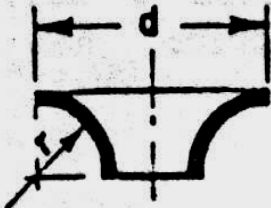
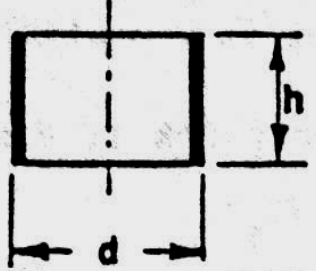
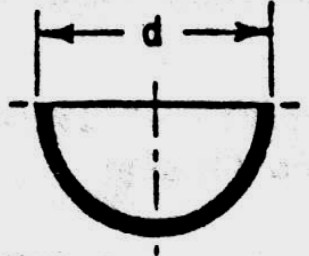
$$a) \text{ fondo: } S_1 = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{30^2}{4} = 706,50 \text{ mm}^2$$

$$b) \text{ raccordi: } S_2 = \frac{\pi (\pi \cdot d \cdot r + 4 r^2)}{2} = \frac{\pi (\pi \cdot 30 \cdot 10 + 4 \cdot 100)}{2} = 2106,94 \text{ mm}^2$$

$$c) \text{ cilindro: } S_3 = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot 50 \cdot 40 = 6280 \text{ mm}^2$$

Da cui il disco di partenza:

$$ES = \pi \frac{d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot ES}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9053,44}{3,14}} = 107,63 \text{ mm}$$

 $\pi \cdot d^2 / 4$	 $\pi \cdot (\pi \cdot d \cdot r + 4 \cdot r^2) / 2$
 $\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2) / 4$	 $\pi \cdot (\pi \cdot d \cdot r - 4 \cdot r^2) / 2$
 $\pi \cdot d \cdot h$	 $\pi \cdot d^2 / 2$

2) Rapporto di imbutitura e n° passaggi

$$B_{1max} = B_{id} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6$$

Assunzioni : $FePO_4 \rightarrow B_{id} = 2,35$

lubrif. normale $\rightarrow C_1 = 0,95$

rapporto punzone 3 $\rightarrow C_2 = \left(\frac{r_3}{s \cdot 1}\right) = 0,95$

rapporto matrice 5 $\rightarrow C_3 = 0,96$

diametro di partenza 107,63 $\rightarrow C_4 = 0,98$

tranciatura da nastro $\rightarrow C_5 = 0,80$

stadio (n° passaggio) $\rightarrow C_6 = 1,00$

da cui :

$$B_{1max} = 2,35 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,80 \cdot 1,00 = 1,60$$

β_{1d} dipende dal tipo di materiale e assume i seguenti valori:

Fe P02 $\beta_{1d} = 2,20$

Fe P03 $\beta_{1d} = 2,30$

Fe P04 $\beta_{1d} = 2,35$

P-Cu Zn 37 $\beta_{1d} = 2,33$

P-Cu Zn 28 $\beta_{1d} = 2,38$

P-Al 99,5 $\beta_{1d} = 2,15$

C_1 tiene conto del tipo di lubrificazione. Al diminuire dell'efficacia della lubrificazione, aumentano le sollecitazioni di attrito e quindi la forza necessaria per imbutire. Aumenta di conseguenza il pericolo di rotture della parte già imbutita che, nella zona prossima al fondello, vede lo spessore minore di quello di partenza:

lubr. ottima	$C_1 = 1,00$
lubr. normale	$C_1 = 0,95$
a secco	$C_1 = 0,85$

C2 tiene conto del raggio del punzone r_p rispetto allo spessore s e quindi dello stato di sollecitazione per flessione:

$r_p/s = 10$	$C_2 = 1,00$
$r_p/s = 3$	$C_2 = 0,95$
$r_p/s = 1$	$C_2 = 0,90$

C3 tiene conto del raggio della matrice r_m rispetto allo spessore s (fattore analogo a C_2):

$r_m/s = 10$	$C_3 = 1,00$
$r_m/s = 5$	$C_3 = 0,96$
$r_m/s = 1$	$C_3 = 0,87$

C₄ tiene conto del diametro (del disco di partenza o dell'imbutito del passaggio precedente) rispetto allo spessore **s**. Infatti al diminuire dello spessore, a parità di diametro, aumenta la tendenza alla formazione di grinze, quindi e' necessario aumentare la pressione del premilamiera e di conseguenza usare rapporti di imbutitura minori:

D/s = 50	C ₄ = 1,00
D/s = 100	C ₄ = 0,98
D/s = 500	C ₄ = 0,90

Cs tiene conto del tipo di isolamento, cioè se il disco di partenza è completamente isolato, oppure parzialmente vincolato al nastro (tale vincolo è necessario nelle lavorazioni automatiche dove il disco, parzialmente tranciato, rimane solidale al nastro e avanzando con questo passa sotto i vari punzoni di imbutitura e di tranciatura finale per il completo distacco dal nastro). È evidente che il vincolo del disco al nastro impedisce alla lamiera di scorrere liberamente nella matrice:

isolamento al 100 %	Cs = 1,00
isolamento al 95 %	Cs = 0,98
isolamento al 85 %	Cs = 0,95
senza isolamento	Cs = 0,80

Cs tiene conto del passaggio in esame, infatti all'aumentare del numero di passaggi il rapporto di imbutitura deve essere meno drastico a causa dell'incrudimento che il materiale subisce e dell'assottigliamento che l'imbutito presenta in corrispondenza del fondello:

primo passaggio	Cs = 1,00
secondo passaggio	Cs = 0,70
terzo passaggio	Cs = 0,65
quarto passaggio	Cs = 0,60

il diametro medio ottenibile senza
allena:

$$d_{1m} = \frac{D}{B_{1max}} = \frac{107,63}{1,60} = 67,27 > 50$$

servono
più passaggi!

verifichiamo altre possibilità:

- a) lubrificazione ottima $\rightarrow C_1 = 0,95 \rightarrow 1,00$
- b) vaggio punzone 10 $\rightarrow C_2 = 0,95 \rightarrow 1,00$
- c) vaggio matrice 10 $\rightarrow C_3 = 0,95 \rightarrow 1,00$
- d) pre trancio $\rightarrow C_5 = 0,80 \rightarrow 1,00$

$$B_{1max} = 2,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1 = 2,3$$

da cui

$$d_{1m} = \frac{107,63}{2,3} = \underline{46,80 < 50}$$

diventa necessario
fare valutazioni
in merito a

- costo stampa
- tempo lavorazione
- lotto di produzione
- modifica ciclo
-

↳ dunque con un
pre-truancio
del disco è
evitabile un
2° passaggio
di imbutitura

Ipotizziamo di prevedere tale soluzione.

3) Determinazione di Forza ed Energia

$$F_{max} = \lambda \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m$$

$$\begin{aligned} \text{calcoliamo } \lambda &= 1,1 \cdot \frac{(B_1 - 1)}{(B_{max} - 1)} = 1,1 \cdot \frac{\left(\frac{107,63}{50} - 1\right)}{(2,3 - 1)} = \\ &= 1,1 \cdot \frac{1,15}{1,3} = 0,97 \end{aligned}$$

da cui :

$$F_{max} = 0,97 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 320 = 48,83 \text{ kN}$$

↑
da tabella conichi ammissibili

Tabella 9.5 - Valori di k_t per diversi tipi di acciai. Il campo di variabilita' dipende dallo stato di incrudimento.

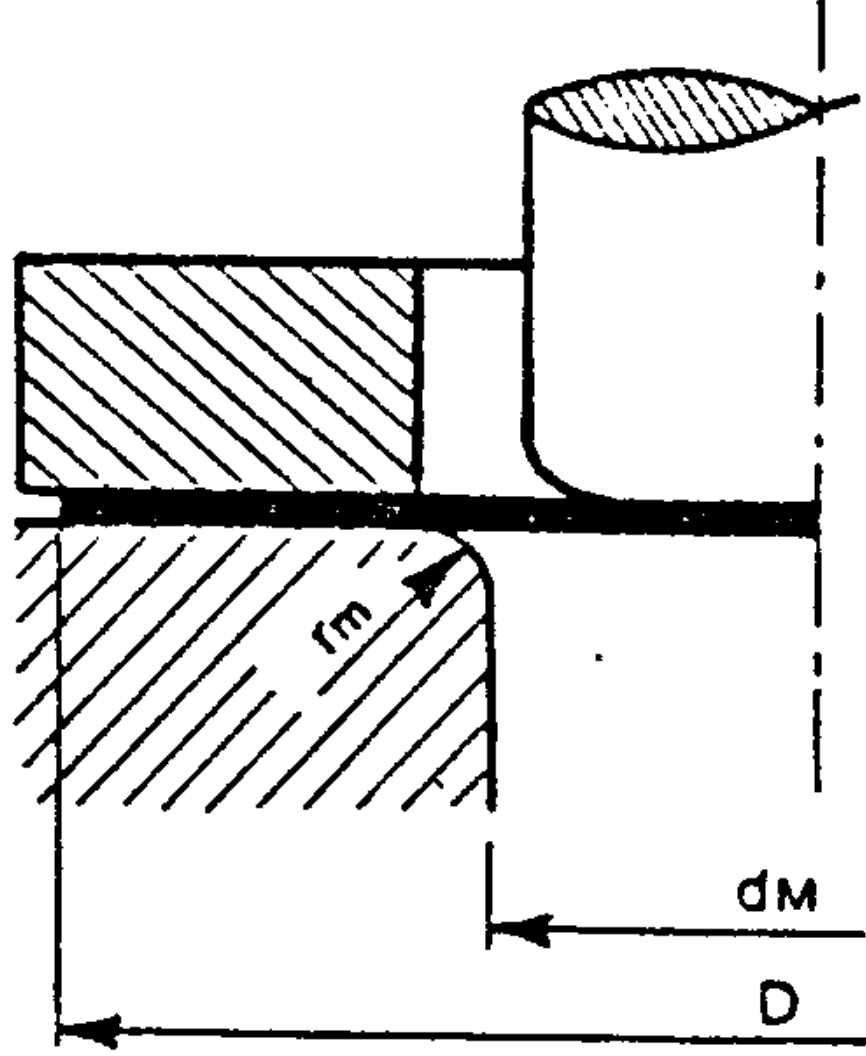
MATERIALE	k_t (N/mm ²)
Fe P00	280 + 350
Fe P01 e Fe P02	240 + 300
Fe P03 e Fe P04	250 + 320
C 10	280 + 340
C 30	400 + 500
C 50	550 + 650
C 70	700 + 900
Inossidabile ferrit.	350 + 550
Inossidabile austen.	400 + 600

Calcoliamo la forza da esercitare
sul premiluniera:

$$\begin{aligned}
 p_{\min} &= \frac{R_m \left[(\beta - 1)^2 + 0,005 \cdot d_{\text{mm}} / s \right]}{400} = \\
 &= \frac{320 \left[(2,15 - 1)^2 + 0,005 \cdot 50 \right]}{400} = \\
 &= \frac{320 \left[1,32 + 0,25 \right]}{400} = 1,26 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

la forza sarà allora (vedi figura):

$$\begin{aligned}
 F_p &= p_{\min} \cdot S = 1,26 \cdot \pi \left[D^2 - (d_{\text{str.}} + 2 \cdot r_{\text{str.}})^2 \right] / 4 = \\
 &= 1,26 \cdot \pi \left[107,63^2 - (51,44 + 2 \cdot 10)^2 \right] / 4 = 6,41 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Calcoliamo allora l'energia necessaria.

→ la corsa di deformazione, trattandosi di 1 solo passaggio è pari all'altezza del pezzo: $H_d = 40 \text{ mm}$

da cui:

$$E = \lambda \cdot F_{\max} \cdot H_d + F_p \cdot H_d =$$

estraindo dal nomogramma $\lambda \approx 0,85$ si ha:

$$\begin{aligned} E &= 0,85 \cdot 48,83 \cdot 40 + 6,61 \cdot 40 = \\ &= 1662,26 + 256,40 = 1918,66 \text{ KNmm} = 1918,66 \text{ Nm} \end{aligned}$$

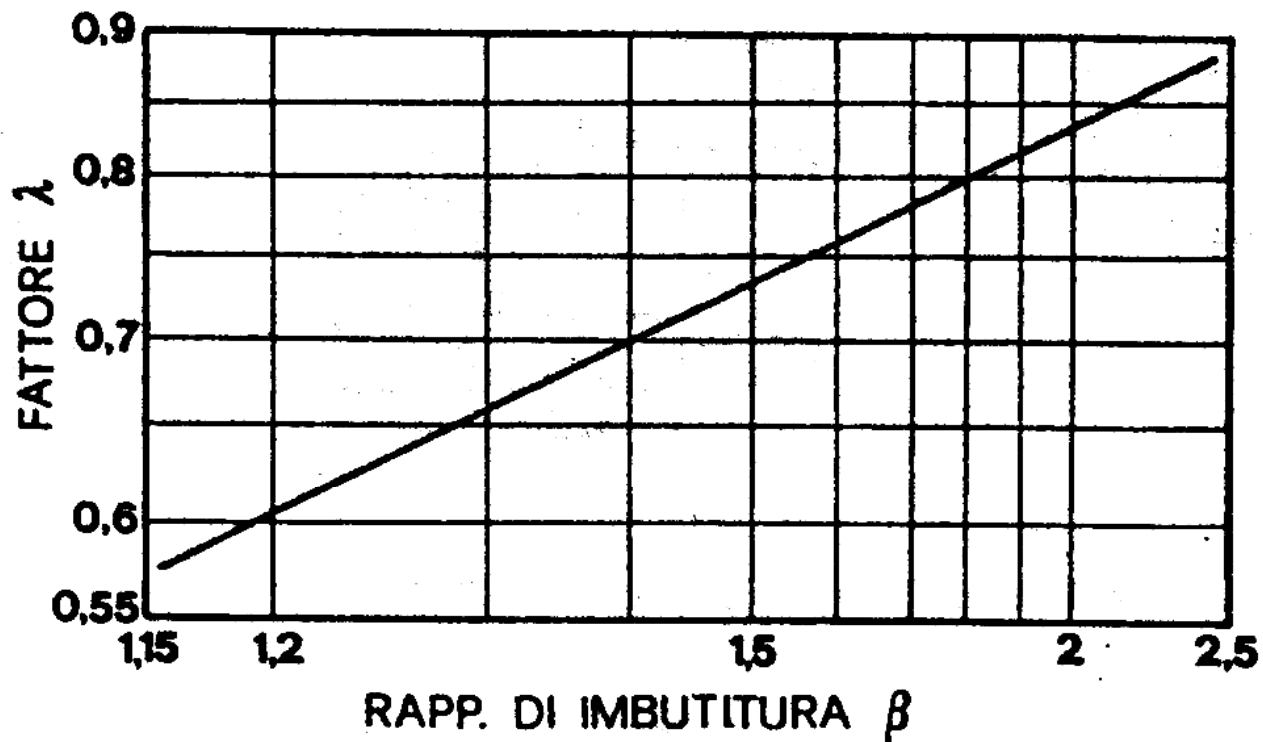


Fig. 9.33 - Valori del fattore λ in funzione del rapporto di imbutitura β .

4) Dimensionamento punzone e matrice

A causa delle sollecitazioni di compressione, è necessario prevedere un gioco tra matrice e punzone dato da

$$q = s + c\sqrt{s} \quad \text{ove } c = \begin{cases} 0,22 & \text{acciaio} \\ 0,06 & \text{alluminio} \\ 0,12 & \text{altri metalli} \end{cases}$$

da cui $q = 1 + 0,22 \cdot 1 = 1,22 \text{ mm}$

e quindi

$$d_{\text{punzone}} = 50 - s = 49 \text{ mm}$$

$$d_{\text{matrice}} = d_p + 2q = 49 + 2 \cdot 1,22 = 51,44 \text{ mm}$$

5) Analizziamo ora l'operazione di
Trancistura che si rende necessaria:

* il gioco tra matrice e punzone sarà

$$g = 0,007 \cdot s \cdot \sqrt{Kf} = 0,007 \cdot 1 \cdot \sqrt{320} = 0,125 \text{ mm}$$

* il diametro del punzone e quello della
matrice per lo stampo di trancistura
saranno allora:

$$D_p = 107,63 - 2 \cdot 0,125 = 107,38$$

$$D_M = 107,63$$

* Determinazione della forza di trazione

$$F = k_f \cdot A = k_f \cdot \pi \cdot D \cdot s \quad \text{ove } k_f = 0,75 \div 0,80 R_m =$$

$$F = 256 \cdot \pi \cdot 107,63 \cdot 1 = 86,52 \text{ kN} \quad = 0,80 \cdot 320 = 256$$

* Determinazione della Energia di trazione

$$E = \lambda \cdot F \cdot s \quad \text{ove } \lambda \text{ è desumibile}$$

dalla tabella 9.6 $\rightarrow \lambda = 0,70$

$$E = 0,7 \cdot 86,52 \cdot 1 = 60,56 \text{ kNmm} = 60,56 \text{ Nm}$$

Tabella 9.6 - Valori di λ per lamiere in acciaio di differente resistenza al taglio.

$k_t = 250 + 350$ $(N/mm^2)^2$	$\left\{ \begin{array}{l} s < 1 \\ s = 1 + 2 \\ s = 2 + 4 \\ s > 4 \end{array} \right.$	mm	$\lambda = 0,75$
		mm	$\lambda = 0,70$
		mm	$\lambda = 0,65$
		mm	$\lambda = 0,50$
$k_t = 350 + 500$ $(N/mm^2)^2$	$\left\{ \begin{array}{l} s < 1 \\ s = 1 + 2 \\ s = 2 + 4 \\ s > 4 \end{array} \right.$	mm	$\lambda = 0,65$
		mm	$\lambda = 0,60$
		mm	$\lambda = 0,55$
		mm	$\lambda = 0,45$
$k_t = 500 + 750$ $(N/mm^2)^2$	$\left\{ \begin{array}{l} s < 1 \\ s = 1 + 2 \\ s = 2 + 4 \\ s > 4 \end{array} \right.$	mm	$\lambda = 0,50$
		mm	$\lambda = 0,45$
		mm	$\lambda = 0,40$
		mm	$\lambda = 0,35$