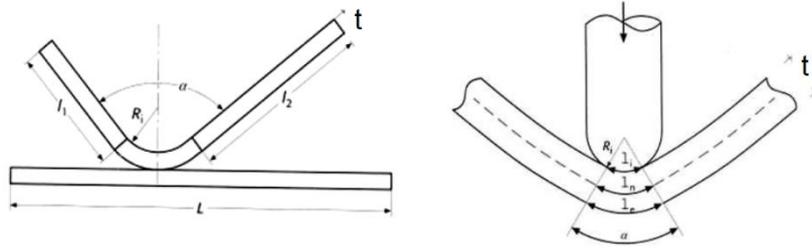


Esercizi – Deformazione Plastica – **Piegatura e Imbutitura** – Tecnologia Meccanica 1



$L = l_1 + l_2 + \alpha(R_i + K_{ba}t)$ Larghezza dello sviluppo in piano della lamiera deformata (con α in radianti)

Di fatto stiamo calcolando la lunghezza dell'asse neutro (indeformato)

$$K_{ba} = \begin{cases} 0.33 & R_i < 2t \\ 0.50 & R_i \geq 2t \end{cases}$$

Coefficiente empirico. Quando K_{ba} è 0.5 significa che l'asse neutro si trova a metà dello spessore della lamiera. Quando $K_{ba} = 0.33$ significa che è più spostato verso la zona del centro piega (fibre compresse), in particolare si trova ad 1/3 dello spessore della lamiera

$$A_b = \alpha(R_i + K_{ba}t)$$

Margine di allungamento

$$\alpha'_b$$

Angolo del punzone

$$\alpha'$$

Angolo della piega (differente dall'angolo del punzone a causa del ritorno elastico)

$$SB = \frac{\alpha' - \alpha'_b}{\alpha'_b}$$

Ritorno elastico (Springback)

$$R = R_b \frac{\alpha'}{\alpha'_b}$$

Raggio effettivo della piega

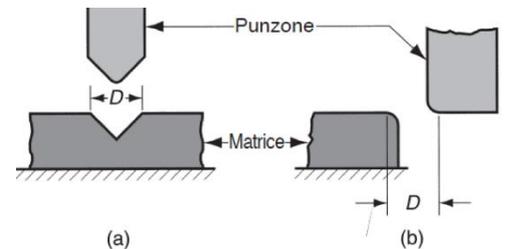
$$F_t = K_{bf} \cdot \frac{b t^2}{D} \cdot R_m$$

Forza di piegatura

$$K_{bf} = \begin{cases} 1.33 & \text{piegatura a V} \\ 0.33 & \text{flangiatura a } 90^\circ \\ 2.5 & \text{piegatura a U} \end{cases} \quad \text{Coefficiente empirico}$$

$$D$$

Dimensione della matrice di piegatura



Imbutitura

$$g = 1.1 \cdot t$$

Gioco tra punzone e matrice (si può notare che è molto più alto di quello delle punzonatura/tranciatura in quanto qui l'obbiettivo è fare fluire il materiale tra punzone e matrice).

$$R_d$$

Raggio di raccordo matrice

$$R_p$$

Raggio di raccordo punzone

$$\text{Prima imbutitura} \begin{cases} R_d = 4t \\ R_p = (5 \div 6) \cdot t \end{cases}$$

$$\text{Seconda imbutitura} \begin{cases} R_d = (3 \div 4) \cdot t \\ R_p = (5 \div 6) \cdot t \geq R_d \end{cases}$$

$$D$$

Diametro del cerchio primitivo

D_b	Diametro esterno del cerchio tenuto dal premilamiera (variabile)
D_p	Diametro del punzone
R_m	Carico di rottura
R_s	Carico di snervamento
$F = \pi D_p t R_m \left(\frac{D}{D_p} - 0.7 \right)$	Forza massima del punzone
$F_h = 0.015 R_s \pi \left[D_b^2 - (D_p + 2.2 t + 2R_d)^2 \right]$	Forza del premilamiera
$DR = \frac{D}{D_p}$	Drawing Ratio
$LDR = 2$	Limit Drawing Ratio
$\frac{t}{D} \geq 0.01$	Spessore-Diametro, limite inferiore per evitare grinfie

Esercizi Piegatura

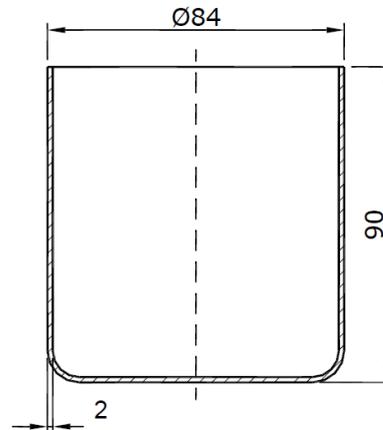
- Dato un profilo si vuole calcolare la lunghezza della lamiera non piegata. Si usa $L = l_1 + l_2 + \alpha(R_i + K_{ba}t)$
 - Quando si calcola i vari lati l_1 e l_2 (per semplicità qui ne ho considerati solo 2) occorre misurare sola la lunghezza del tratto rettilineo, quindi privato dell'angolo di raccordo/piega
 - α è in radianti
- Nel calcolo della forza $F_t = K_{bf} \cdot \frac{b t^2}{D} \cdot R_m$
 - D è la dimensione della matrice

Esercizi Imbutitura

- In questi esercizi è importante aver capito il significato di tutti i termini in modo da avere la capacità di lavorare con le formule che utilizzano molti fattori empirici (quindi non immediatamente ricollegabili ad un significato fisico)
- Normalmente i pezzi da imbutire sono cilindrici (qui, per ora tratteremo solamente questo caso)

ESERCIZIO 1

Si deve produrre mediante imbutitura il pezzo cilindrico in figura, in acciaio avente $R_m = 500 \text{ N/mm}^2$ e $R_s = 400 \text{ N/mm}^2$. Determinare:



- 1) Il diametro del disco di partenza
- 2) Il numero di passaggi per effettuare l'imbutitura
- 3) Il diametro dei punzoni e delle matrici
- 4) La forza necessaria
- 5) La forza del prelamiera

- 1) Si utilizza la formula derivata dalla conservazione dell'area: l'area del disco di partenza è uguale alla somma superficie laterale del cilindro e dell'area del fondo del cilindro
 - a. Il tutto è molto semplificato, per il cilindro si considera un diametro medio (av sta per average) $D_{av} = \frac{D_{est} + D_{int}}{2}$, quindi la formula diventa

$$\frac{D^2 \pi}{4} = \pi D_{av} h + \frac{D_{av}^2 \pi}{4} \rightarrow D = \sqrt{4 D_{av} h + D_{av}^2}$$

- i. Dove D è il diametro del disco primitivo (quindi del disco di partenza)
- ii. h è l'altezza desiderata

- b. Numericamente

$$D = \sqrt{4 D_{av} h + D_{av}^2} \cong 190.37 \text{ [mm]}$$

- c. Quindi lo approssimiamo a $D = 195 \text{ [mm]}$ in quanto sarà necessario rifilarlo per ottenere le dimensioni e le accuratezze desiderate
- 2) 3) Il numero di passaggi per effettuare l'imbutitura deve essere il minore possibile, che garantisca però la qualità desiderata. Si parte quindi ipotizzando una passata. I controlli da effettuare sono 2:
 - a. La formazione di grinze il rapporto spessore-diametro deve essere almeno 0.01

$$\frac{t}{D} \geq 0.01 \rightarrow \frac{t}{D} = 0.0103 > 0.01 \rightarrow \textit{verificata}$$

- i. Condizione verificata (per il rotto della cuffia, non c'è molto margine, si rischia un po')
- b. Il rapporto di imbutitura DR (Drawing Ratio) deve essere minore del LDR (Limit Drawing Ratio) che è $LDR = 2$ (limite empirico, derivante dall'esperienza)
 - i. Questo rapporto da informazioni (approssimative) riguardo il grado di difficoltà dell'operazione di imbutitura

$$DR = \frac{D}{D_p} = \frac{195}{80} = 2.43 > LDR \rightarrow \textit{non verificato}$$

1. Dove D_p è il diametro del punzone che abbiamo posto uguale al diametro interno desiderato
- c. Dato che le due condizioni devono essere verificate contemporaneamente, l'esito è che il pezzo non è fattibile in un'unica passata.

d. Cambiamo quindi l'ipotesi da una passata a due passate. Ipotizzando/Richiedendo inoltre un rapporto di imbutitura $DR_1 = 1.5$ (questo valore è stato scelto arbitrariamente, è stato preso un valore intermedio)

i. Procediamo quindi a calcolare il diametro del primo pistone D_{p1} che garantisca il DR ipotizzato

$$D_{p1} = \frac{D}{DR} = \frac{195}{1.5} = 130 [mm]$$

1. **NOTA:** Il diametro del disco primitivo D non cambia e non deve cambiare, in quanto dipende solamente dalla geometria del pezzo richiesto e non dalla lavorazione
- ii. Quindi che il DR_2 della seconda passata sia inferiore al LDR , sapendo che il diametro del pistone 2 D_{p2} deve essere uguale al diametro interno del pezzo finito e che il diametro in ingresso alla seconda passata è D_{p1} :

$$DR_2 = \frac{D_{p1}}{D_{p2}} = \frac{130}{80} = 1.625 < LDR = 2 \rightarrow \textit{verificata}$$

iii. Avendo confermato che la suddivisione dell'imbutitura in due passate con pistoni da 130 e 80 [mm] è fattibile procediamo a calcolare le altezze del semilavorato nelle varie fasi utilizzando la prima formula di conservazione dell'area:

$$D = \sqrt{4 D_{av} h + D_{av}^2} \rightarrow h = \frac{D^2 - D_{av}^2}{4 \cdot D_{av}}$$

1. Dove D è il diametro del disco primitivo (costante sia per la passata 1 che 2)
2. D_{av} è il diametro medio del prodotto in uscita dalla lavorazione (quindi è il diametro del pistone più mezzo spessore per parte $D_{av} = D_p$)

$$h_1 = \frac{D^2 - (D_{p1} + t)^2}{4 \cdot (D_{p1} + t)} = \frac{195^2 - (130 + 2)^2}{4 \cdot (130 + 2)} = 39.02 [mm]$$

$$h_2 = \frac{D^2 - (D_{p2} + t)^2}{4 \cdot (D_{p2} + t)} = \frac{195^2 - (80 + 2)^2}{4 \cdot (80 + 2)} = 95.42 [mm]$$

iv. Si determina quindi il gioco tra punzone e matrice per calcolare il diametro delle matrici

$$g = 1.1 \cdot t = 2.2 \text{ mm}$$

$$D_{m1} = D_{p1} + 2g = 134.4 \text{ mm}$$

$$D_{m2} = D_{p2} + 2g = 84.4 \text{ mm}$$

4) La forza necessaria per le due passate di imbutitura (formula empirica)

$$F_1 = \pi D_{p1} t R_m \left(\frac{D}{D_{p1}} - 0.7 \right) = 326726 \text{ N} \quad \wedge \quad F_2 = \pi D_{p2} t R_m \left(\frac{D}{D_{p2}} - 0.7 \right) = 232478 \text{ N}$$

5) La forza del premilamiera (formula empirica) con $R_d = 4t$

$$F_{h1} = 0.015 R_s \pi \left[D^2 - (D_{p1} + 2.2 t + 2R_d)^2 \right] = 297774 \text{ N}$$

$$F_{h1} = 0.015 R_s \pi \left[D_{p1}^2 - (D_{p1} + 2.2 t + 2R_d)^2 \right] = 297774 \text{ N}$$