

Nota: Il tema d'esame presenta diverse versioni che differiscono tra loro nei valori evidenziati in giallo. Questo documento si riferisce ad una delle versioni.

QUESITO FONDERIA (PUNTI 10)

La Figura 1 mostra la sezione di un componente in acciaio AISI 304 da realizzare con un processo di fonderia con colata in piano. Dati: $D = 50$ mm, $L = 90$ mm. Coefficiente perdite di carico $c = 0,55$. Rapporti del sistema di colata: $A_c : A_d : A_a = 3 : 3 : 2$. Pelo libero posto a 180 mm dal piano di separazione delle staffe.

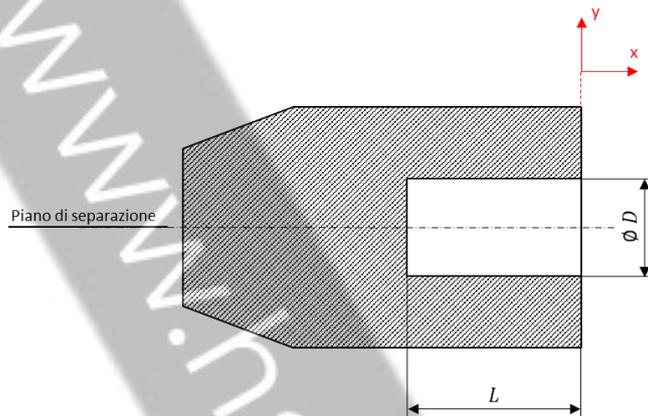


Figura 1: Sezione di un componente da realizzare con un processo di fonderia

- A) Considerando un ritiro in fase solida del 2% ed un sovrametallo pari a 1,5 mm su tutte le superfici (interne ed esterne) del componente, si determinino le dimensioni L_a e D_a relative all'anima a sbalzo che genererà il foro del componente.
- B) Dopo alcuni aggiustamenti geometrici, il modello viene dimensionato in modo che le quote dell'anima siano $L_a = 85$ mm e $D_a = 45$ mm. Volendo utilizzare una portata d'anima cilindrica di lunghezza $L_p = 50$ mm, se ne determini di diametro minimo che garantisce la stabilità durante il processo di formatura.
- C) Si dimensiona il sistema di colata costituito da due attacchi, un canale distributore e un canale di colata in modo che il tempo di riempimento sia pari a $t = 8,5$ s, considerando un volume del getto (escluso sistema di alimentazione) pari a $V_g = 2,4 \cdot 10^6$ mm³ e utilizzando una materozza di volume $V_m = 7 \cdot 10^5$ mm³ posizionata al di sopra del piano di separazione delle staffe tale che l'altezza finale di colata sia pari a $h_f = 20$ mm.

QUESITO DEFORMAZIONE (PUNTI 10)

Si consideri il caso di lavorazione di forgiatura a caldo di un massello cilindrico come in Figura 2. Il materiale, sotto queste condizioni di lavorazione, presenta un comportamento perfettamente plastico con una tensione di snervamento di $Y = 290$ MPa. Il provino ha un diametro iniziale $d_0 = 400$ mm e altezza iniziale di $h_0 = 500$ mm.

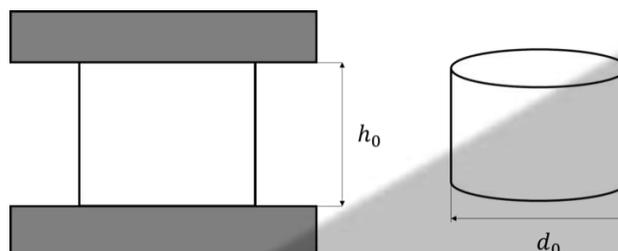


Figura 2: provino cilindrico su pressa idraulica (schema).

- A) Determinare il lavoro ideale necessario per imprimere una deformazione di $\epsilon = -0,07$.
- B) Determinare l'altezza finale del provino a valle del processo, qualora fosse sottoposto ad una deformazione di $\epsilon = -0,09$.
- C) Trascurando l'attrito, si determini il diametro finale massimo del massello cilindrico ottenibile con una pressa in grado di esercitare una forza massima pari a di **50 MN**.
- D) Dopo analisi più accurate, si è accertato che non si può trascurare la presenza di attrito, descrivibile con un coefficiente di attrito $\mu = 0,15$. Si calcoli la forza massima F_{max} applicata per ottenere un massello di diametro $d_1 = 430$ mm. Si commenti l'adeguatezza di una pressa da 65 MN.
- E) A fronte di un'energia per provino di 1,2 MJ, determinare il costo energetico per la produzione di 750 provini, sapendo che il costo dell'energia elettrica è di $C_{ele} = 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$.

QUESITO ASPORTAZIONE (PUNTI 10)

Il pezzo in Figura 3 viene ottenuto tornendo un semilavorato in un'unica passata di finitura con configurazione di fissaggio fra punta e contropunta. La lavorazione avviene con profondità di passata costante $a_p = 1$ mm.

I dati di processo sono i seguenti:

- $k_{c0,4} = 2600$ MPa
 - Esponente di Kronenberg: $x = 0,29$
 - Angoli di registrazione (per tornitura cilindrica esterna): $\kappa_r = 65^\circ$; $\kappa'_r = 65^\circ$
- A) Lavorando a numero di giri costante $n = 1200$ giri/min, si calcolino la velocità di taglio massima $v_{c,max}$ e la velocità di taglio minima $v_{c,min}$ relative alla lavorazione. Si calcoli inoltre la potenza di taglio P_c relativa al tratto di tornitura cilindrica esterna, sapendo che l'avanzamento lungo quel tratto è pari a **$f = 0,15$ mm/giro**.
 - B) L'azienda produttrice stima per ciascun pezzo tornito un tempo di contatto utensile di 40 s, tempi di carico e scarico del pezzo di 30 s e utilizza inserti con due taglienti ciascuno, che garantiscono (nelle condizioni di taglio attuali) una vita utile di 4,5 minuti a tagliente e che possono essere ruotati o sostituiti in 30 s. Il tagliente non può essere sostituito durante la lavorazione e, a fine turno, l'ultimo inserto montato sullo stelo viene scartato anche se ha una vita residua sufficiente per altre lavorazioni o un tagliente completamente nuovo. Si calcolino il tempo ciclo unitario di produzione T_c , il numero di pezzi lavorabili in un turno di 8 ore e il costo totale degli inserti utilizzati sapendo che quello unitario è di **8 €/inserto**.

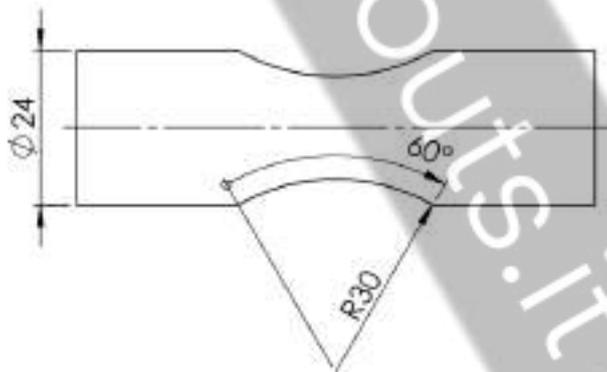


Figura 3: Pezzo finito ottenuto tramite tornitura

Tecnologia Meccanica e Qualità

14/01/2021

QUESITO FONDERIA (10 PUNTI)

		Punti	Valore	Unità di misura	NC*
DOMANDA A	Lunghezza Anima	1,5			
	Diametro Anima	1,5			
DOMANDA B	Coordinata x del baricentro dell'anima rispetto al sistema di riferimento in figura	1			
	Coordinata x del baricentro della portata d'anima rispetto al sistema di riferimento in figura	1			
	Diametro minimo della portata d'anima	1			
DOMANDA C	Portata volumetrica	1			
	Velocità del flusso nella sezione di strozzatura	1			
	Sezione del singolo attacco di colata	1			
	Sezione del canale distributore	0,5			
	Sezione del canale di colata	0,5			

QUESITO DEFORMAZIONE (PUNTI 10)

		Punti	Valore	Unità di misura	NC*
DOMANDA A	Energia specifica	1,5			
	Lavoro	0,5			
DOMANDA B	Altezza finale	1,5			
DOMANDA C	Diametro massimo	1,5			
DOMANDA D	Altezza finale	1			
	Deformazione necessaria	1			
	Forza massima	1,5			
	Pressa adatta (sì, no)	0,5			
DOMANDA E	Costo energetico	1			

QUESITO ASPORTAZIONE (10 PUNTI)

		Punti	Valore	Unità di misura	NC*
DOMANDA A	velocità di taglio massima $v_{c,max}$	1			
	velocità di taglio minima $v_{c,min}$	2			
	Potenza di taglio P_c	2			
DOMANDA B	Tempo ciclo unitario di produzione T_c	2			
	Numero di pezzi lavorabili in un turno di 8 ore	1,5			
	Costo degli inserti utilizzati	1,5			

www.handouts.it

SOLUZIONE

QUESITO FONDERIA

Punto A. Dimensionamento dell'anima

Dato un ritiro del 2% e un sovrametallo $s = 1,5$ mm su tutte le superfici, le quote L_a e D_a dell'anima si possono calcolare come segue:

$$D_a = (D - s - s)(1 + r) = (50 - 1,5 - 1,5)(1,02) = 47,94 \text{ mm} \Rightarrow 47 \text{ mm}$$

$$L_a = (L - s + s)(1 + r) = (90 - 1,5 + 1,5) \cdot 1,02 = 91,8 \text{ mm} \Rightarrow 91 \text{ mm}$$

Punto B. Dimensionamento della portata d'anima

Le dimensioni dell'anima sono rispettivamente $L_a = 85$ mm e $D_a = 45$ mm, mentre la lunghezza della portata d'anima cilindrica è $L_p = 50$ mm. Il diametro della portata d'anima deve essere tale che la coordinata x del baricentro complessivo di anima e portata d'anima, x_{tot} , si trovi all'interno della portata d'anima (coordinata x positiva rispetto al sistema di riferimento indicato in Figura 1).

Tale condizione si traduce in:

$$x_{tot} = \frac{V_a \cdot x_a + V_p \cdot x_p}{V_a + V_p} \geq 0$$

Dove V_a e V_p sono i volumi di anima e portata d'anima, mentre x_a e x_p sono le coordinate dei baricentri di anima e portata d'anima, rispettivamente.

Dalla condizione precedente risulta che il volume minimo della portata d'anima deve essere:

$$V_{p,min} = \frac{V_a \cdot |x_a|}{x_p}$$

Da cui:

$$D_{p,min} = \sqrt{4 \frac{V_a \cdot |x_a|}{x_p \pi L_p}}$$

Si calcolano le seguenti grandezze:

$$x_a = -\frac{L_a}{2} = -\frac{85}{2} = -42,5 \text{ mm}$$

$$x_p = \frac{L_p}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mm}$$

$$V_a = \frac{\pi D_a^2}{4} L_a = \frac{\pi 45^2}{4} 85 = 135.187 \text{ mm}^3$$

Da cui risulta che un diametro minimo della portata d'anima pari a:

$$D_{p,min} = \sqrt{4 \frac{135.187 \cdot 42,5}{25 \cdot \pi \cdot 50}} = 76,5 \text{ mm}$$

Punto C. Dimensionamento del sistema di colata

Dato un volume del getto $V_g = 2,4 \cdot 10^6$ mm³ e un volume della materozza $V_m = 7 \cdot 10^5$ mm³, la portata volumetrica minima, che garantisce un tempo di riempimento pari a $t = 8,5$ s, è:

$$V_{tot} = V_g + V_a = 2,4 \cdot 10^6 + 7 \cdot 10^5 = 3.100.000 \text{ mm}^3$$

$$Q_{min} = \frac{V_{tot}}{t} = \frac{3.100.000}{8,5} = 364.706 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Data la velocità del flusso nella sezione di strozzatura, v , pari a:

$$v = c\sqrt{2gH_m}$$

e dati i rapporti del sistema di colata: $A_c : A_d : A_a = 3 : 3 : 2$, le sezioni minime dei canali saranno date da:

$$A_a = \frac{Q_{min}}{v}$$

$$A_c = A_d = \frac{3}{2} A_a$$

Utilizzando una colata in piano con $h_i = 180 \text{ mm}$ e $h_f = 20 \text{ mm}$, è possibile ricavare:

$$h_m = \left(\frac{\sqrt{h_i}}{2} + \frac{\sqrt{h_f}}{2} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{180}}{2} + \frac{\sqrt{20}}{2} \right)^2 = 80 \text{ mm}$$

$$r' = \frac{V_g/2}{V_{tot}} = \frac{2,4 \cdot 10^6 / 2}{3,1 \cdot 10^6} = 0,387$$

$$r'' = 1 - r' = 0,613$$

Da cui:

$$H_m = \frac{1}{\left(\frac{r'}{\sqrt{h_i}} + \frac{r''}{\sqrt{h_m}} \right)^2} = \frac{1}{\left(\frac{0,387}{\sqrt{180}} + \frac{0,613}{\sqrt{80}} \right)^2} = 105,45 \text{ mm}$$

La velocità nella sezione di strozzatura risulta:

$$v = 0,55 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \frac{105,45}{1000}} = 0,791 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 791 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Da cui l'area minima dei singoli attacchi risulta:

$$A_{\text{singolo attacco}} = \frac{A_a}{2} = \frac{Q_{min}}{2v} = \frac{364.706}{2 \cdot 791} = 230,5 \text{ mm}^2$$

Mentre le sezioni minime dei canali di colata e distributore risultano:

$$A_c = A_d = \frac{3}{2} A_a = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot A_{\text{singolo attacco}} = 3 \cdot A_{\text{singolo attacco}} = 3 \cdot 230,5 = 691,5 \text{ mm}^2$$

QUESITO DEFORMAZIONE

Quesito A

Il lavoro si può calcolare come:

$$L = uV$$

Dove V è il volume del provino:

$$V = \frac{\pi d_0^2}{4} h_0 = \frac{\pi \cdot 400^2}{4} \cdot 500 = 62.831.853 \text{ mm}^3$$

Mentre u è l'energia specifica di deformazione:

$$u = Y|\epsilon| = 290 \cdot 0,07 = 20,3 \text{ MPa} = 0,0203 \frac{\text{J}}{\text{mm}^3}$$

Quindi:

$$L = 0,0203 \cdot 62.831.853 = 1.275.487 \text{ J} = 1,28 \text{ MJ}$$

Quesito B

Il materiale ha comportamento perfettamente plastico, pertanto non è presente ritorno elastico. Pertanto, la deformazione finale corrisponde a $\epsilon = -0,09$.

L'altezza finale si può calcolare come:

$$h_1 = h_0 e^\epsilon = 500 e^{-0,09} = 456,97 \text{ mm}$$

Quesito C

Nel punto di applicazione della forza massima, vale: $F = Y \cdot A_f$

Esplicitando l'area finale, si ricava il diametro:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi Y}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50.000.000}{\pi 290}} = 468,53 \text{ mm}$$

Quesito D

La forza massima si può ottenere dalla relazione:

$$F_{max} = p_{av} \frac{\pi d_1^2}{4} = Y \left(1 + \frac{2\mu r_1}{3h_1} \right) \cdot \frac{\pi d_1^2}{4}$$

Dove h_1 è determinabile dalla conservazione del volume:

$$h_1 = \frac{d_0^2}{d_1^2} h_0 = \frac{400^2}{430^2} \cdot 500 = 432,67 \text{ mm}$$

Ne segue:

$$F_{max} = 290 \left(1 + \frac{0,15 \cdot 430}{3 \cdot 432,67} \right) \cdot \frac{\pi}{4} 430^2 = 44.206.532 \text{ N} = 44,2 \text{ MN}$$

La pressa da 65 MN è, quindi, adeguata per questa operazione.

Quesito D

Il costo energetico vale [1 kWh = 3600 kJ]:

$$C_E = n * L * c_{ele} = 750 \cdot \frac{1200}{3600} \cdot 0,15 = 37,5 \text{ €}$$

QUESITO ASPORTAZIONE

Punto A

Sapendo che il processo lavora a numero di giri costante, la velocità di taglio massima si avrà in corrispondenza del diametro massimo tornito, quindi $D_{max} = 24 \text{ mm}$.

$$v_{c,max} = \frac{n \cdot \pi D_{max}}{1000} = \frac{1200 \cdot \pi \cdot 24}{1000} = 90,48 \text{ m/min}$$

Analogamente, la velocità di taglio minima sarà in corrispondenza del diametro minimo tornito, che, da disegno, si trova nel mezzo della restrizione centrale del pezzo ad arco di circonferenza.

$$D_{min} = D_{max} - 2 \cdot R \cdot (1 - \cos \frac{\alpha}{2}) = 24 - 2 \cdot 30 \cdot (1 - \cos 60^\circ / 2) = 15,96 \text{ mm}$$

Risulta quindi

$$v_{c,min} = \frac{n \cdot \pi D_{min}}{1000} = \frac{1200 \cdot \pi \cdot 15,96}{1000} = 60,17 \text{ m/min}$$

La forza di taglio risulta quindi:

$$F_c = k_{c0,4} \cdot \left(\frac{0,4}{\sin \kappa_r} \right)^x \cdot f^{1-x} \cdot a_p = 2.600 \cdot \left(\frac{0,4}{\sin 65^\circ} \right)^{0,29} \cdot 0,15^{1-0,29} \cdot 1 = 533,3 \text{ N}$$

e la potenza di taglio:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_{c,max}}{60} = \frac{533,3 \cdot 90,48}{60} = 804 \text{ W} = 0,8 \text{ kW}$$

Punto B

Il tempo ciclo unitario di lavorazione si calcola come

$$T_c = T_h + T_m + \frac{T_t}{n_{pezzi-tagliente}}$$

Tuttavia, come da testo, essendo il processo sotto analisi una lavorazione di finitura la vita utile dell'utensile T è vincolata dal numero di pezzi interi che il tagliente può lavorare prima di usurarsi

$$n_{pezzi-tagliente} = \left\lfloor \frac{T}{T_m} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{4,5 \cdot 60}{40} \right\rfloor = \lfloor 6,75 \rfloor = 6$$

A questo punto il calcolo del tempo ciclo unitario di lavorazione effettivo si può riscrivere e calcolare come

$$T_c = T_h + T_m + \frac{T_t}{n_{pezzi-tagliente}} = 30 + 40 + \frac{30}{6} = 75 \text{ s}$$

A questo punto è possibile calcolare il numero di pezzi lavorabili in un turno di 8 ore:

$$n_{\text{pezzi-turno}} = \left\lfloor \frac{T_{\text{turno}}}{T_c} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{8 \cdot 3600}{75} \right\rfloor = 384$$

Per calcolare il numero di inserti utilizzati bisogna innanzitutto calcolare il numero di taglienti consumati durante il turno

$$n_{\text{taglienti}} = \left\lceil \frac{n_{\text{pezzi-turno}}}{n_{\text{pezzi-tagliente}}} \right\rceil = \left\lceil \frac{384}{6} \right\rceil = 64$$

Avendo ogni inserto due taglienti

$$n_{\text{inserti}} = \left\lceil \frac{n_{\text{taglienti}}}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{64}{2} \right\rceil = 32$$

A questo punto il costo degli inserti si può calcolare come

$$C_{\text{inserti}} = n_{\text{inserti}} \cdot c_{\text{unitario}} = 32 \cdot 8 = 256 \text{ €}$$