Tecnologia Meccanica e Qualità
20/01/2022

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

QUESITO 1 (PUNTI 10)

Un giunto speciale in acciaio AISI 316 per un impianto chimico viene realizzato con un ciclo che prevede una colata in terra di fonderia con colata in sorgente come prima fase produttiva.

Dati: altezza iniziale di colata $h_i = 140\ mm$. Coefficiente perdite di carico $c = 0{,}55$. I dati geometrici del modello sono indicati in figura (per semplicità, non si riportano angoli di sformo e raccordi). Rapporti sistema di colata: $A_c : A_d : A_a = 2 : 2 : 1$.

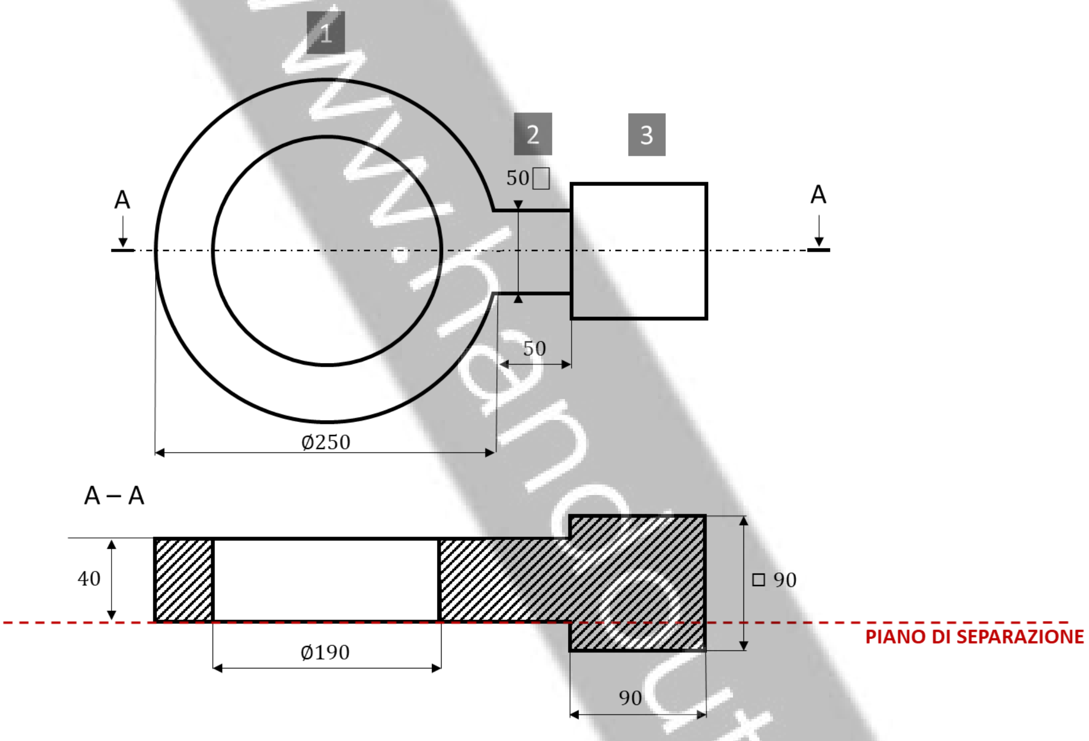

Figura 1. Grezzo di fonderia.

a) Si calcoli il modulo termico della parte 3.
b) Sapendo che il sistema di alimentazione è composto da una materozza cilindrica a cielo aperto, si stimi la velocità del flusso liquido, e ne si verifichi l'adeguatezza.
c) Da calcoli ulteriori emerge che la velocità media del fluido vale $v = 0{,}50\ m/s$. Si stimi il tempo di riempimento della cavità di colata sapendo che il modello ha un volume di $170 \cdot 10^4\ mm^3$, il sistema di alimentazione ha un volume complessivo di $550 \cdot 10^3\ mm^3$ (si trascuri il volume del sistema di colata), e che vengono usati 4 attacchi a sezione circolare di diametro $d_0 = 15\ mm$.

QUESITO 2 (PUNTI 10)

Un'azienda che produce cavi utilizza un processo di trafilatura su fili di rame (k = 315 MPa; n = 0,54) a partire da bobine di lunghezza L = 1000 m e sezione iniziale del filo A = 9,5 mm^2.

a) Si determini la tensione di trafilatura e si verifichi la fattibilità della lavorazione in una singola passata, calcolando la tensione limite con un rapporto di riduzione percentuale r = 38%.
b) A valle della messa a punto del processo, si decide di ridurre in un'unica passata la sezione del filo a un diametro finale d = 2,7 mm con una velocità di tiro v = 0,55 m/s. Si determini il numero di bobine

che è possibile trafilare in un turno di 8 ore. Si assuma un tempo fisso di cambio e caricamento bobina di 60 secondi.

c) L'azienda vuole spostare la produzione su un'altra linea in cui si dispone di una potenza di targa di 0,18 kW con un rendimento dell'80%. La lavorazione è eseguita in una singola passata con un rapporto di riduzione percentuale r = 35%. Si determini la velocità di tiro massima che si può utilizzare.

QUESITO 3 (PUNTI 10)

Occorre effettuare una lavorazione di tornitura sull'intera superficie esterna di un cilindro cavo (tubo) di lunghezza 200 mm, diametro esterno 80 mm e diametro interno 60 mm, in modo da ottenere una riduzione di diametro di 2 mm. La lavorazione avviene a sbalzo con afferraggio all'interno del foro tramite 3 griffe. Il coefficiente di attrito tra griffa e pezzo è pari a 0,4. Ogni griffa insiste su una superficie di 180 mm^2 ed esercita una pressione massima di 2 N/mm^2. Gli angoli di registrazione principale e secondario della lavorazione sono entrambi pari a 45°.

a) Sapendo che per tale particolare si richiede una rugosità media di 3,2 μm, determinare il valore massimo dell'avanzamento da adottare e il relativo tempo di contatto utensile/pezzo, considerando una velocità di taglio di 235 m/min e un utensile con raggio di raccordo tra i taglienti pari a 0,6 mm.

b) Verificare se il sistema di afferraggio consente un corretto bloccaggio del pezzo in lavorazione, noto che il valore del coefficiente $k_{c0,4}$ è 2400 MPa, il coefficiente x di Kronenberg è 0,29 e la lavorazione viene eseguita con un avanzamento di 0,15 mm/giro.

c) Il criterio di fine servizio dell'utensile è definito dal valore limite dell'usura sul fianco VB_{limite} = 0,4 mm. Dai dati sperimentali è stato possibile approssimare le curve di usura sul fianco dell'utensile per le velocità di taglio $v_{c,1}$ = 200 m/min e $v_{c,2}$ = 250 m/min con le seguenti funzioni definite a tratti:

$$VB(v_{c,1}) = \begin{cases} 0{,}1 \cdot t & 0 \le t \le 1 \\ 0{,}02 \cdot t + 0{,}08 & 1 < t \le 21 \\ 0{,}1 \cdot t - 1{,}6 & t > 21 \end{cases} \quad \text{e} \quad VB(v_{c,2}) = \begin{cases} 0{,}2 \cdot t & 0 \le t \le 0{,}5 \\ 0{,}04 \cdot t + 0{,}08 & 0{,}5 < t \le 10{,}5 \\ 0{,}2 \cdot t - 1{,}6 & t > 10{,}5 \end{cases}$$

con t il tempo $[min]$ di utilizzo dell'utensile. Si calcoli la vita dell'utensile T_1 e T_2 per le velocità di taglio $v_{c,1}$ e $v_{c,2}$. Si calcolino le costanti C ed n della relazione di Taylor. Quanto vale la vita utensile T_3 per una velocità di taglio di $v_{c,3}$ = 235 m/min?

QUESITO 1 (PUNTI 10)

		Punti
DOMANDA A	Volume della parte 3	1
	Modulo termico della parte 3	2
DOMANDA B	Altezza media di colata	1,5
	Velocità media del metallo liquido	1
	Velocità massima del metallo liquido	1
	Adeguatezza velocità del fluido	0,5
DOMANDA C	Portata volumetrica	1,5
	Tempo di riempimento	1,5

QUESITO 2 (PUNTI 10)

		Punti
DOMANDA A	Tensione di trafilatura	2
	Tensione limite	1
DOMANDA B	Tempo di trafilatura (singola bobina, al netto dei tempi fissi)	2
	Numero bobine	1
DOMANDA C	Forza di trafilatura	2
	Velocità di tiro	2

QUESITO 3 (PUNTI 10)

		Punti
DOMANDA A	Avanzamento	1,5
	Avanzamento limite di Schmalz	0,5
	Tempo di asportazione	1,5
DOMANDA B	Momento resistente	1,5
	Momento di taglio	1,5
	Verifica	0,5
DOMANDA C	Vita utensile T_1	0,5
	Vita utensile T_2	0,5
	C	0,5
	n	0,5
	Vita utensile T_3	1

Tecnologia Meccanica e Qualità
20/01/2022

SOLUZIONE

QUESITO 1 - FONDERIA

Punto a)

Il modulo termico è calcolabile tramite:

$$M_3 = \frac{V_3}{S_3}$$

Il volume della parte 3 vale

$$V_3 = 90^2 \cdot 90 = 729.000\ mm^3$$

S_3 è la superficie di scambio termico della parte 3, ricavabile come segue:

$$S_3 = 6 \cdot 90^2 - 50 \cdot 40 = 46.600\ mm^2$$

Il modulo termico risulta:

$$M_3 = \frac{V_3}{S_3} = \frac{729.000\ mm^3}{46.600\ mm^2} = 15,6\ mm$$

Punto b)

La velocità del metallo liquido è:

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

Dove l'altezza media di colata è ricavabile dalla seguente equazione:

$$H_m = \left(\frac{\sqrt{h_i} + \sqrt{h_f}}{2}\right)^2$$

$$H_m = \left(\frac{\sqrt{140} + \sqrt{0}}{2}\right)^2 = 35\ mm$$

Quindi:

$$v = 0,55\ \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \frac{35}{1000}} = 0,456\ \frac{m}{s}$$

La velocità massima raggiunta dal metallo liquido si ha all'inizio del riempimento della cavità, quindi vale:

$$v_{max} = c\sqrt{2gh_i} = 0,55\ \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \frac{140}{1000}} = 0,912\ \frac{m}{s}$$

Essendo inferiore a 1 $\frac{m}{s}$, la velocità di colata si può ritenere **adeguata**.

Punto c)

La portata volumetrica è ricavabile da:

$$Q = A_{strozz} \cdot v$$

La sezione di strozzatura coincide con la sezione complessiva degli attacchi. Quindi:

$$Q = \#_{attacchi} \cdot A_{attacco} \cdot v = 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 15^2 \cdot 0{,}50 \cdot 1000 = 353.429 \frac{mm^3}{s}$$

Il volume da riempire risulta:

$$V_{riemp} = V_{modello} + V_{s.a.}$$

$$V_{riemp} = 1.700.000\, mm^3 + 550.000\, mm^3 = 2.250.000\, mm^3$$

Il tempo di riempimento quindi risulta:

$$t_{riemp} = \frac{V_{riemp}}{Q} = \frac{2.250.000}{353.429} = 6{,}37\, s$$

QUESITO 2 - DEFORMAZIONE

Punto a)

Data la sezione iniziale del filo $A_0 = 9{,}5$ mm^2, la sezione finale del filo è pari a:

$$A_1 = \left(1 - \frac{r}{100}\right) A_0 = \left(1 - \frac{38}{100}\right) \cdot 9{,}5 = 5{,}89 \text{ mm}^2$$

Il materiale ha comportamento con incrudimento secondo la legge $\sigma = k\varepsilon^n$, dove:

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) = \ln\left(\frac{9{,}5}{5{,}89}\right) = 0{,}478$$

La tensione di trafilatura è data da:

$$\sigma_d = \bar{Y}\varepsilon = \frac{k\varepsilon^n}{n+1}\varepsilon = \frac{315 \cdot 0{,}478^{0{,}54+1}}{0{,}54+1} = 65{,}63 \text{ Mpa}$$

La tensione limite corrisponde a:

$$\sigma_{lim} = k\varepsilon^n = 315 \cdot 0{,}478^{0{,}54} = 211{,}45 \text{ Mpa}$$

La lavorazione è fattibile.

Punto b)

La sezione finale del filo è pari a:

$$A_1 = \pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 = \pi\left(\frac{2{,}7}{2}\right)^2 = 5{,}73 \text{ mm}^2$$

Per la conservazione del volume, la lunghezza finale è:

$$L_1 = \frac{A_0 \cdot L_0}{A_1} = \frac{9{,}5 \cdot 1000}{5{,}73} = 1659 \text{ m}$$

Con una velocità di tiro $v = 0{,}55$ m/s, il tempo di estrusione di una bobina è:

$$t = \frac{L_1}{v} = \frac{1659}{0{,}55} = 3016 \text{ s}$$

Considerando un tempo fisso per bobina pari a 60 s e un turno da 8 h, il numero N di bobine prodotte è:

$$N = \left\lfloor \frac{8 \cdot 3600}{3015 + 60} \right\rfloor = \lfloor 9{,}4 \rfloor = 9$$

Punto c)

La potenza massima disponibile in ciascuna passata è data da:

$$P_{max} = P_{targa} \cdot E = 0{,}18 \cdot 0{,}8 = 0{,}144 \text{ kW} = 144 \text{ W}$$

Il rapporto di riduzione percentuale è del 35% che corrisponde ad una sezione finale pari a:

$$A_f = \left(1 - \frac{r}{100}\right) A_0 = \left(1 - \frac{35}{100}\right) 9{,}5 = 6{,}175 \text{ mm}^2$$

e a una deformazione pari a:

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A_f}\right) = \ln\left(\frac{9{,}5}{6{,}175}\right) = 0{,}43$$

La tensione di trafilatura è quindi pari a:

$$\sigma_d = \bar{Y}\varepsilon = \frac{k\varepsilon^n}{n+1}\varepsilon = \frac{315 \cdot 0{,}43^{0{,}54+1}}{0{,}54+1} = 55{,}76 \text{ MPa}$$

La forza di trafilatura è quindi pari a:

$$F = \sigma_d \cdot A_f = 55{,}76 \cdot 6{,}175 = 344{,}32 \text{ N}$$

La velocità di tiro massima è:

$$v = \frac{P_{max}}{F} = \frac{144}{344{,}32} = 0{,}42 \ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

QUESITO 3 - ASPORTAZIONE

Punto a)

La rugosità teorica R_a [μm] dipende dall'avanzamento f [mm] e dal raggio di punta dell'utensile r [mm] secondo la formula di Schmalz:

$$R_a = \frac{f^2 \cdot 1000}{32 \cdot r}$$

quindi, il massimo avanzamento f compatibile con il requisito di rugosità risulta:

$$f = \sqrt{\frac{R_a \cdot 32 \cdot r}{1000}} = \sqrt{\frac{3{,}2 \cdot 32 \cdot 0{,}6}{1000}} = 0{,}248 \ mm$$

Per applicare la formula di Schmalz è necessario calcolare l'avanzamento limite:

$$\begin{cases} \dfrac{f}{2} \leq r \cdot \sin(k) \\ \dfrac{f}{2} \leq r \cdot \sin(k') \end{cases} \rightarrow f \leq 0{,}849 \ mm$$

quindi le ipotesi risultano verificate.

Il tempo di asportazione T_m si calcola come:

$$T_m = \frac{c}{f \cdot m}$$

con c la corsa dell'utensile in contatto con il materiale ed m il numero di giri. È quindi necessario calcolare m, sapendo il valore della velocità di taglio:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_f \cdot m}{1000} \rightarrow m = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_f} = \frac{235 \cdot 1000}{\pi \cdot 78} = 959\ giri/min$$

Quindi t_c risulta:

$$t_c = \frac{200}{0{,}248 \cdot 959} = 0{,}84\ min = 50{,}4\ s$$

Punto b)

Il momento resistente M_r si calcola come:

$$M_r = z \cdot \mu \cdot p \cdot A \cdot \frac{D_r}{2}$$

con z il numero di griffe, p la pressione esercitata da una singola griffa, A l'area di competenza di una singola griffa, μ l'attrito statico tra griffa e pezzo e D_r il diametro del pezzo nel punto di serraggio. M_r risulta quindi:

$$M_r = 3 \cdot 0{,}4 \cdot 2 \cdot 180 \cdot \frac{60}{2} = 12.960\ Nmm = 12{,}96\ Nm$$

La forza di taglio F_c è pari a:

$$F_c = k_{c0,4} \cdot a_p \cdot f^{1-x} \cdot \left(\frac{0.4}{\sin(k)}\right)^x = 2400 \cdot 1 \cdot 0{,}15^{1-0{,}29} \cdot \left(\frac{0{,}4}{\sin(45°)}\right)^{0{,}29} = 529\ N$$

Il momento di taglio M_c risulta:

$$M_c = F_c \cdot \frac{D_f}{2} = 529 \cdot \frac{78}{2} = 20.631\ Nmm = 20{,}6\ Nm$$

<u>Ne segue che la pressione di serraggio selezionata non consente il corretto bloccaggio del pezzo.</u>

Punto c)

La vita dell'utensile T corrisponde al tempo trascorso prima del raggiungimento del valore limite $VB_{limite} = 0{,}4\ mm$. Sostituendo $VB = 0{,}4$ nella funzione relativa alla velocita di taglio $v_{c,1}$ si ottiene:

$$\begin{cases} t = \dfrac{VB_{limite}}{0{,}1}, & 0 \le t \le 1 \\ t = \dfrac{VB_{limite} - 0{,}08}{0{,}02}, & 1 < t \le 21 \\ t = \dfrac{VB_{limite} + 1{,}6}{0{,}1}, & t > 21 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} t = 4, & 0 \le t \le 1 \\ \boldsymbol{t = 16}, & \boldsymbol{1 < t \le 21} \\ t = 20, & t > 21 \end{cases}$$

quindi la vita utensile per la velocità di taglio $v_{c,1} = 200 \frac{m}{min}$ è $T_1 = 16\ min$.

Similmente, la vita utensile quando la velocità di taglio è $v_{c,2} = 250 \frac{m}{min}$ risulta:

$$\begin{cases} t = \dfrac{VB_{limite}}{0{,}2}, & 0 \le t \le 0{,}5 \\ t = \dfrac{VB_{limite} - 0{,}08}{0{,}04}, & 0{,}5 < t \le 10{,}5 \\ t = \dfrac{VB_{limite} + 1{,}6}{0{,}2}, & t > 10{,}5 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} t = 2, & 0 \le t \le 0{,}5 \\ \boldsymbol{t = 8}, & \boldsymbol{0{,}5 < t \le 10{,}5} \\ t = 10, & t > 10{,}5 \end{cases}$$

$T_2 = 8\ min.$

Con le velocità $v_{c,1}$ e $v_{c,2}$ e con le corrispondenti durate dell'utensile T_1 e T_2, è possibile calcolare le costanti C ed n della relazione di Taylor con il seguente sistema di equazioni:

$$\begin{cases} v_{c,1} \cdot T_1^n = C \\ v_{c,2} \cdot T_2^n = C \end{cases} \rightarrow \quad v_{c,1} \cdot T_1^n = v_{c,2} \cdot T_2^n \quad \rightarrow \quad \ln(v_{c,1}) + n \cdot \ln(T_1) = \ln(v_{c,2}) + n \cdot \ln(T_2) \quad \rightarrow$$

$$n = \frac{\ln(v_{c,2}) - \ln(v_{c,1})}{\ln(T_1) - \ln(T_2)} = \frac{\ln(v_{c,2}/v_{c,1})}{\ln(T_1/T_2)} = \frac{\ln(250/200)}{\ln(16/8)} = 0{,}322$$

$$C = v_{c,1} \cdot T_1^n = 200 \cdot 16^{0{,}322} = 488{,}4$$

T_3 con una velocità di taglio $v_{c,3} = 235 \frac{m}{min}$ risulta:

$$T_3 = \sqrt[n]{\frac{C}{v_{c,3}}} = \sqrt[0{,}322]{\frac{488{,}4}{235}} = 9{,}7\ min$$