Tecnologia Meccanica e Qualità
14/01/2021

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

QUESITO FONDERIA (PUNTI 10)

Un giunto speciale in acciaio AISI 316 per una piattaforma petrolifera al largo dello Yemen viene realizzato con un ciclo che prevede una colata in terra di fonderia con colata in sorgente.

Dati: Pelo libero posto a 145 mm dal piano di separazione delle staffe. Coefficiente perdite di carico $c = 0{,}6$. I dati geometrici del modello sono indicati in Figura 1. Rapporti sistema di colata: $A_c{:}\,A_d{:}\,A_a = 4 : 3 : 2$.

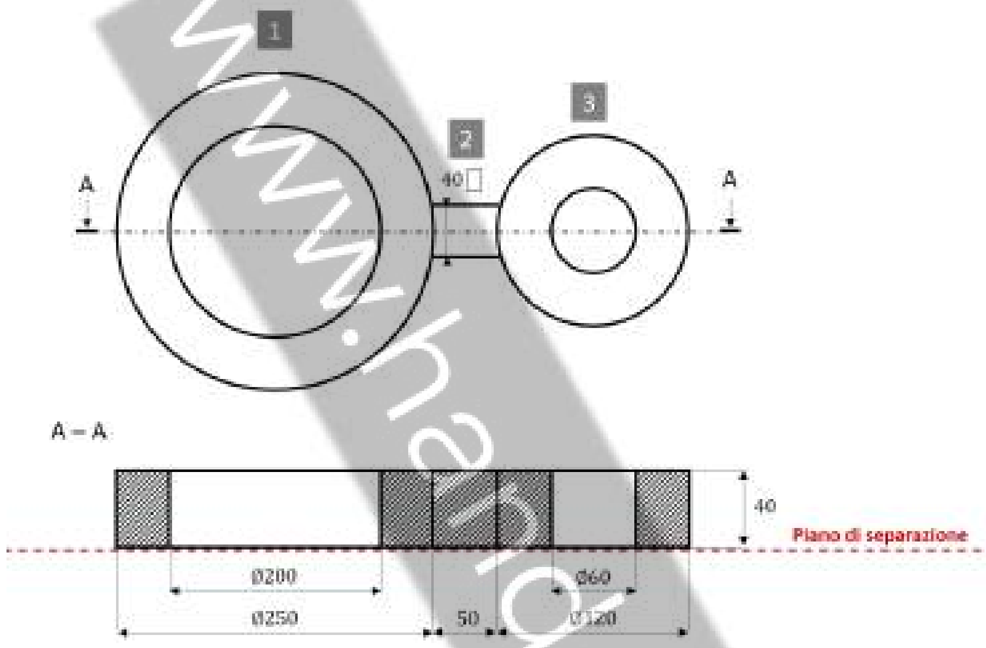

Figura 1

a) Si calcoli il modulo termico della parte 1.
b) Dopo alcuni aggiustamenti geometrici, il modulo termico della parte 1 risulta pari a $8\,\mathrm{mm}$ ed il volume effettivo dell'intero modello risulta pari a $1{,}2 \cdot 10^6\,\mathrm{mm}^3$. Sapendo che la parte 1 è la parte del modello con modulo termico più alto, si determini se una materozza cilindrica di diametro $45\,\mathrm{mm}$ e altezza $120\,\mathrm{mm}$ è adeguata (coefficienti di Caine: $a_c = 0{,}1;\ b_c = 0{,}03;\ c_c = 0{,}8$).
c) Si stimi la velocità del fluido nella sezione di strozzatura sapendo che l'altezza finale di colata sia $h_f = 45\,\mathrm{mm}$.
d) Considerando un volume effettivo dell'intero modello di $1{,}2 \cdot 10^6\,\mathrm{mm}^3$, una sezione complessiva degli attacchi di $400\,\mathrm{mm}^2$ e una velocità del fluido $v = 0{,}8\,\mathrm{m/s}$, si stimi il tempo di riempimento della forma sapendo che il sistema di alimentazione ha un volume complessivo di $300 \cdot 10^3\,\mathrm{mm}^3$.

QUESITO QUALITA' (PUNTI 10)

In uno stabilimento che produce compressori con turni lavorativi di 8 ore, il diametro dei pistoni viene controllato a campione e la stabilità del processo è monitorata mediante una carta di controllo $\bar{X} - R$. Campioni di numerosità pari a 5 vengono misurati in sala metrologica ogni 2 ore. Durante la fase di progettazione della carta di controllo vengono raccolti e misurati 50 campioni e vengono stimate le seguenti statistiche campionarie: $\bar{\bar{X}} = 89{,}98\,\mathrm{mm}$, $\bar{R} = 0{,}08\,\mathrm{mm}$ (si assuma che i dati siano indipendenti e identicamente distribuiti secondo una normale).

a) Utilizzando i seguenti limiti di controllo per la carta di controllo sulla media: LCI = $89{,}934\,\mathrm{mm}$, LCS = $90{,}026\,\mathrm{mm}$, corrispondenti a $k = 3$, qual è la probabilità di non segnalare un aumento della media del processo espresso in unità di deviazione standard di processo $\delta_x = 1{,}2$ al primo campione successivo alla variazione?

b) Qual è la dimensione campionaria che permette di individuare, al primo campione successivo allo spostamento, con probabilità pari al 50%, uno spostamento della media pari a $\Delta\mu = 0{,}04\ \mathrm{mm}$? (si consideri k = 3 e si stimi la deviazione standard del processo utilizzando $\bar{R} = 0{,}08\ \mathrm{mm}$ per campioni di numerosità pari a 5, come dal testo)

c) Usando una dimensione del campione pari a $n = 5$, si calcolino i limiti di controllo di una carta $\bar{X} - R$ in modo che il numero medio di campioni prima di un falso allarme sia maggiore o uguale a 300.

d) Utilizzando una carta di controllo per la media con $k = 3$, dopo quanti turni lavorativi, in media, ci si aspetta di osservare un falso allarme?

QUESITO ASPORTAZIONE (PUNTI 10)

Per ottenere il pezzo in Figura 2, un cilindro di acciaio da cementazione di diametro $D_0 = 50\ \mathrm{mm}$ viene tornito con configurazione di fissaggio fra punta e contropunta e utilizzando un utensile non raccordato.

I dati di processo sono i seguenti:

- $k_{c0,4} = 2800\ \mathrm{Mpa}$
- Esponente di Kronenberg: $x = 0{,}29$
- Velocità di taglio, costante per tutte le lavorazioni: $v_c = 200\ \mathrm{m/min}$
- Angoli di registrazione (per lavorazioni con avanzamento parallelo all'asse di rotazione del pezzo): $\kappa_r = 30°$; $\kappa_r' = 30°$
- Potenza di targa del tornio: $P_e = 8\ \mathrm{kW}$
- Rendimento energetico: $E = 0{,}8$

a) La prima fase della lavorazione prevede la tornitura della parte 1 del pezzo. Sapendo che per questo tratto l'avanzamento è pari a $f = 0{,}5\ \mathrm{mm/giro}$ si calcolino la pressione di taglio k_c, la massima profondità di passata a_p che permette di rispettare il vincolo di potenza e il conseguente numero minimo di passate di asportazione che servono per raggiungere il diametro finale $D1 = 40\ \mathrm{mm}$.

b) La seconda fase della lavorazione tornisce la parte 3 del pezzo in una sola passata ($D2 = 48\ \mathrm{mm}$). Si calcoli l'avanzamento limite che permette di rispettare a livello teorico le specifiche di finitura superficiale espresse in figura. Si calcoli il tempo di contatto per la lavorazione del solo tratto di sinistra ($L = 50\ \mathrm{mm}$).

c) Si determini la velocità di taglio che massimizza il ritmo produttivo sapendo che il tempo di cambio utensile è pari a 140 s (costanti della relazione di Taylor: $C = 300$, $n = 0{,}25$).

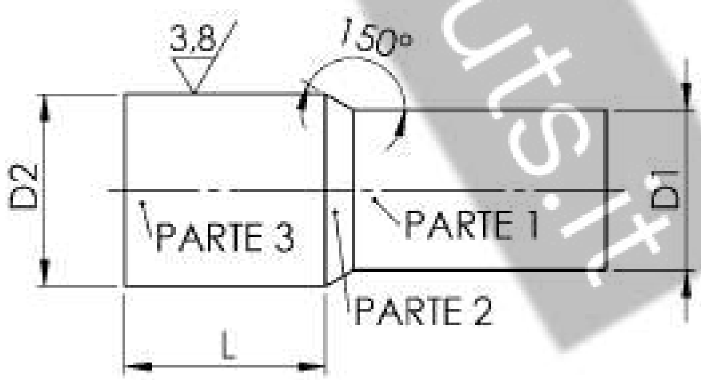

Figura 2

SOLUZIONE

QUESITO FONDERIA

Punto A. Modulo Termico della parte 1

Il modulo termico è calcolabile tramite:

$$M_1 = \frac{V_1}{S_1}$$

Dove il volume della parte 1 del modello vale:

$$V_1 = \frac{\pi}{4}(D_{ext}^2 - D_{int}^2)\, h = \frac{\pi}{4}(250^2 - 200^2)40 = 706.858 \text{ mm}^3$$

S_1 è la superficie di scambio termico della parte 1, ricavabile come segue:

$$S_1 = 2\frac{\pi}{4}(D_{ext}^2 - D_{int}^2) + \pi D_{ext} h + \pi D_{int} h - a^2$$

$$S_1 = 2\frac{\pi}{4}(250^2 - 200^2) + \pi 250 \cdot 40 + \pi 200 \cdot 40 - 40^2 = 90.292 \text{ mm}^2$$

Il modulo termico risulta:

$$M_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{706.858 \text{ mm}^3}{90.292 \text{ mm}^2} = 7{,}83 \text{ mm}$$

Punto B. Verifica del sistema di alimentazione

Sia $M_1 = 8 \text{ mm}$ il modulo termico della parte 1. Siccome la parte 1 è quella con modulo termico maggiore, la materozza di diametro $D_m = 45 \text{ mm}$ e altezza $H_m = 120 \text{ mm}$ sarà posizionata a contatto della parte 1. Il suo modulo termico si ricava come segue:

$$M_m = \frac{\frac{\pi D_m^2 H_m}{4}}{\frac{\pi D_m^2}{4} + \pi D_m H_m} = \frac{\frac{\pi 45^2 \cdot 120}{4}}{\frac{\pi 45^2}{4} + \pi 45 \cdot 120} = 10{,}29\, mm$$

Utilizzando il metodo di Caine:

$$x = \frac{M_m}{M_1} = \frac{10{,}29}{8} = 1{,}286$$

$$y = \frac{V_m}{V_{modello}} = \frac{\frac{\pi D_m^2 H_m}{4}}{V_{modello}} = \frac{\frac{\pi 45^2 \cdot 120}{4}}{1.200.000} = 0{,}16$$

Dati i coefficienti di Caine: $a_c = 0{,}1$; $b_c = 0{,}03$; $c_c = 0{,}8$, il rapporto limite di Caine risulta:

$$y_c = \frac{a_c}{x - c_c} + b_c = \frac{0{,}1}{1{,}286 - 0{,}8} + 0{,}03 = 0{,}24$$

La materozza non è adeguata. E’ necessaria una riprogettazione del sistema di alimentazione.

Punto C. Velocità del fluido nella sezione di strozzatura

La velocità del flusso liquido è:

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

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

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

$$H_m = \left(\frac{\sqrt{145} + \sqrt{45}}{2}\right)^2 = 87{,}89 \text{ mm}$$

Quindi:

$$v = 0{,}6 \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{87{,}89}{1000}} = 0{,}788 \ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Punto D. Tempo di riempimento

La portata volumetrica è ricavabile da:

$$Q = A_{strozzatura} * v$$

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

$$Q = 400 \cdot 0{,}8 \cdot 1000 = 320.000 \ \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

Il volume totale da riempire risulta:

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

$$V_{totale} = 1.200.000 \text{ mm}^3 + 300.000 \text{ mm}^3 = 1.500.000 \text{ mm}^3$$

Il tempo di riempimento (t_r) quindi risulta:

$$t_r = \frac{V_{totale}}{Q} = \frac{1.500.000}{320.000} = 4{,}69 \text{ s}$$

QUESITO QUALITA’

Punto A. Errore di secondo tipo al primo campione

Dati LCI = $89{,}934\ \mathrm{mm}$, LCS = $90{,}026\ \mathrm{mm}$ e un aumento della media del processo espresso in unità di deviazione standard di processo $\delta_x = 1{,}2$, l’errore di secondo tipo (probabilità di non segnalare un reale aumento della media) si ricava come segue:

$$\beta(\delta_x) = \Phi\left(k - \delta_x\sqrt{n}\right) - \Phi\left(-k - \delta_x\sqrt{n}\right)$$

Dove $k = 3$ e $n = 5$.

Da cui:

$$\beta(\delta_x) = \Phi\left(3 - 1{,}2\sqrt{5}\right) - \Phi\left(-3 - 1{,}2\sqrt{5}\right) =$$
$$= \Phi(0{,}32) - \left(1 - \Phi(5{,}68)\right) = 0{,}62551 - 0 = 0{,}62551 \text{ (da tabella)}$$

Punto B. Dimensione campionaria

E’ possibile ricavare la dimensione campionaria, n, con il metodo di Duncan come segue:

$$n = \left(\frac{k\sigma}{\Delta\mu}\right)^2$$

Dove $\Delta\mu = 0{,}04\ \mathrm{mm}$, $k = 3$ e $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2(n)}$ con $n = 5$.

Da tabella, $d_2(n) = 2{,}326$, da cui: $\sigma = \frac{0{,}08}{2{,}326} = 0{,}0344\ \mathrm{mm}$.

La dimensione campionaria risulta:

$$n = \left(\frac{3 \cdot 0{,}0344}{0{,}04}\right)^2 = 6{,}65 \cong 7$$

Punto C. Limiti di controllo di una carta $\bar{X} - R$

Il numero medio di campioni prima di un falso allarme è pari a $ARL_0 = 300$, da cui $\alpha = \frac{1}{ARL_0} = \frac{1}{300} = 0{,}00333$. Assumendo che i dati siano indipendenti e identicamente distribuiti secondo una normale, da tabella si ricava (per approssimazione al valore vicino più alto) $k = z_{\alpha/2} = \Phi\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) = 2{,}94$.

I limiti di controllo si ricavano come segue:

Carta di controllo $\bar{X}$: $LC_I^S = \bar{\bar{X}} \pm k\frac{\bar{R}}{d_2(n)\sqrt{n}}$

Carta di controllo R: $LC_I^S = \bar{R} \pm \frac{kd_3(n)}{d_2(n)}\bar{R}$

Date le statistiche campionarie: $\bar{\bar{X}} = 89{,}98\ \mathrm{mm}$, $\bar{R} = 0{,}08\ \mathrm{mm}$, e dati i seguenti valori da tabella: $d_2(5) = 2{,}326$ e $d_3(5) = 0{,}864$, i limiti di controllo valgono:

Carta di controllo $\bar{X}$: $LC_I^S = 89{,}98 \pm 2{,}94\frac{0{,}08}{2{,}326\sqrt{5}}$, da cui $LCI = 89{,}935\ \mathrm{mm}$, $LC = 89{,}98\ \mathrm{mm}$, $LCS = 90{,}025\ \mathrm{mm}$

Carta di controllo R: $LC_I^S = 0{,}08 \pm \frac{2{,}94 \cdot 0{,}864}{2{,}326}0{,}08$, da cui $LCI = 0\ \mathrm{mm}$, $LC = 0{,}08\ \mathrm{mm}$, $LCS = 0{,}167\ \mathrm{mm}$

Punto D. Numero di turni lavorativi prima di un falso allarme

Dato $k = z_{\alpha/2} = 3$, da tabella si ricava $\alpha = 0{,}0027$ da cui $ARL_0 = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0{,}0027} = 370{,}37$.

Considerando un intervallo $\Delta T = 2\ \mathrm{h}$ tra la raccolta di due campioni consecutivi, il tempo medio prima di un falso allarme è $ATS = ARL_0 \cdot \Delta T = 370{,}37 \cdot 2 = 740{,}74\ \mathrm{h}$.

Considerando turni lavorativi da 8 ore, il numero di turni prima di un falso allarme è:

$$\# \, turni = \frac{ATS}{8} = \frac{740{,}74}{8} = 92{,}59 \text{ turni}$$

QUESITO ASPORTAZIONE

Punto A

La pressione di taglio k_c si ottiene come

$$k_c = k_{c0{,}4} \left(\frac{0{,}4}{f \cdot \sin \kappa_r} \right)^x = 2800 \left(\frac{0{,}4}{0{,}5 \cdot \sin 30°} \right)^{0{,}29} = 3.209 \text{ MPa}$$

La massima profondità di passata che soddisfa il vincolo di potenza si ottiene isolandola come incognita dal calcolo della potenza di tornitura:

Dato che

$$P_c = P_e \cdot E = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 1000} = \frac{k_c \cdot f \cdot a_p \cdot v_c}{60 \cdot 1000} \text{ [kW]}$$

Si può ricavare

$$a_p = \frac{P_e \cdot E \cdot 60 \cdot 1000}{k_c \cdot f \cdot v_c} = \frac{8 \cdot 0{,}8 \cdot 60 \cdot 1000}{3208 \cdot 0{,}5 \cdot 200} = 1{,}197 \text{ mm}$$

Conoscendo la massima profondità di passata, si ricava il numero di passate necessarie per arrivare al diametro voluto

$$n_{passate} = \left\lceil \frac{(D_0 - D_1)/2}{a_p} \right\rceil = \left\lceil \frac{(50 - 40)/2}{1{,}197} \right\rceil = \lceil 4{,}18 \rceil = 5$$

Saranno, quindi, necessarie 5 passate da 1 mm.

Punto B

L'avanzamento limite si ottiene dalla stima della rugosità per utensile non raccordato:

Sapendo che

$$R_a = \frac{f}{4 \cdot (cotg\kappa_r + cotgk_r')} 10^3 \text{ [µm]}$$

L'avanzamento si ricava come

$$f = \frac{R_a \cdot 4 \cdot (cotg\kappa_r + cotgk_r')}{10^3} = \frac{3{,}8 \cdot 4 \cdot (cotg30° + cotg30°)}{10^3} = 0{,}05 \text{ mm/giro}$$

Il tempo di contatto della lavorazione si può calcolare come

$$T_m = \frac{L}{f \cdot n}$$

Dove

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D2} = \frac{200 \cdot 1000}{\pi \cdot 48} = 1.326 \text{ giri/min}$$

Quindi

$$T_m = \frac{L}{f \cdot n} = \frac{50}{0{,}05 \cdot 1.326} = 0{,}75 \text{ min} = 45 \text{ s}$$

Punto C

Dato un tempo di cambio utensile $T_t = 140\ s$, la durata utensile che massimizza il ritmo produttivo (minimo tempo di produzione) è data da:

$$T_{opt} = T_t\left(\frac{1}{n} - 1\right) = \frac{140}{60}\left(\frac{1}{0{,}25} - 1\right) = 7 \text{ min}$$

Date le costanti $C = 300$ e $n = 0{,}25$ si ha, dalla relazione di Taylor si ha:

$$v_{opt} = \frac{C}{T_{opt}^{n}} = \frac{300}{7^{0{,}25}} = 184{,}44 \text{ m/min}$$