Tecnologia Meccanica e Qualità
10/02/2022

QUESITO DI FONDERIA (PUNTI 10)

La Figura 1 mostra il grezzo di un componente in acciaio AISI 316 da produrre mediante processo fusorio in forma transitoria (per semplicità non sono riportati raggi di raccordo e angoli di sformo). Il grezzo consiste in 3 geometrie elementari indicate in numeri romani nella vista laterale.

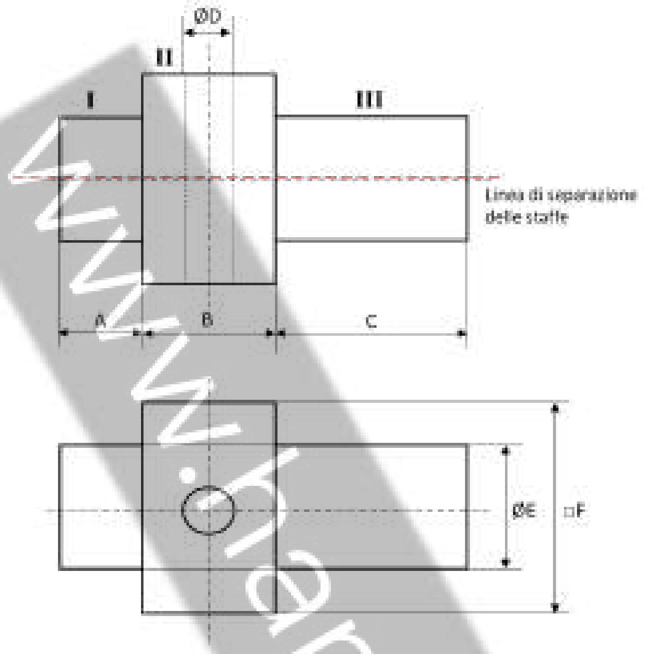

Figura 1 – Grezzo di fonderia

a. Si calcoli il modulo termico della geometria elementare II. Dati geometrici: A = 80 mm, B = 135 mm, C = 250 mm, D = 50 mm, E = 230 mm, F = 260 mm.
b. La colata avviene in piano con Hm = 170 mm, coefficiente di perdite di carico c = 0,5 e rapporti A_C:A_D:A_A = 3:2:2. Si utilizzano tre attacchi di colata aventi ciascuno sezione pari a 1600 mm^2. Considerando un volume del getto pari a V = 20 dm^3 e una materozza di volume Vm = 19,63 dm^3, si calcolino le sezioni dei canali del sistema di alimentazione ed il tempo di riempimento.
c. Dopo alcune modifiche geometriche il volume del getto risulta pari a V = 22 dm^3 e i moduli termici delle parti elementari in cui è diviso il grezzo risultano essere M_I=34 mm, M_II=39 mm, M_III=45 mm. Si valuti l'adeguatezza di una materozza cilindrica di diametro d=250 mm e altezza h=400 mm. <u>Coefficienti di Caine</u>: a_c = 0,12, b_c = 0,03, c_c = 1.

QUESITO QUALITÀ (PUNTI 10)

In un processo di tornitura, si intende monitorare il diametro del componente come caratteristica critica di qualità, al fine di ottenere un valore di ARL in controllo pari a 250. Da dati storici si conoscono il valore medio ($\mu = 11\ mm$) e il valore di varianza ($\sigma^2 = 4{,}275\ mm^2$).

a) Calcolare i limiti di una carta I-MR.
b) Il responsabile della qualità vuole migliorare le prestazioni dello strumento di monitoraggio del processo aumentando la dimensione del campione da 1 a 4. Basandosi sui dati storici, si stimano i seguenti limiti di una carta $\bar{X}$: $LCS = 14{,}101$; $LCI = 7{,}898$. Calcolare l'errore di II tipo della carta della media in relazione ad un aumento pari a 1,5 volte la deviazione standard (σ) del processo. Qual è la probabilità di riconoscere lo scostamento della media entro i primi tre campioni?
c) Sulla base di nuovi dati raccolti di recente, usando una dimensione campionaria n=4, la media campionaria del range risulta pari a $\bar{R} = 3{,}25$. Si determinino i limiti di una carta di controllo per il range nel caso in cui la dimensione campionaria fosse aumentata a n=8 (si consideri un errore del primo tipo pari ad $\alpha = 0{,}0027$).

QUESITO DEFORMAZIONE (PUNTI 10)

Un laboratorio di analisi statiche dei materiali effettua prove di compressione su provini cilindrici aventi diametro inziale 30 mm e altezza iniziale 80 mm. Le prove vengono effettuate tra due piani indeformabili con attrito nullo.

a) In una prova, si analizza un provino di alluminio puro ricotto (coefficiente di resistenza k=175 MPa e fattore di incrudimento n=0,2). Sapendo che il provino a seguito della compressione raggiunge un’altezza finale di 71,5 mm, si calcolino la deformazione reale, il lavoro specifico ed il lavoro di compressione.

b) Vengono testati provini delle stesse dimensioni ma di una differente lega metallica. I risultati ottenuti sono i seguenti: con uno sforzo di compressione $\sigma_1 = 100$ MPa si è ottenuta un’altezza finale $h_1 =$ 70 mm; con uno sforzo di compressione $\sigma_2 = 161$ MPa si è ottenuta un’altezza finale $h_2 =$ 60 mm. Calcolare il coefficiente di resistenza e il fattore di incrudimento del nuovo materiale. Calcolare inoltre la forza di compressione necessaria per ridurre del 20% l’altezza iniziale del provino. Si ipotizzi che il materiale presenta comportamento plastico con incrudimento ($\sigma = k\varepsilon^n$).

c) Il materiale precedentemente testato viene ulteriormente caratterizzato tramite una prova di durezza con metodo Brinell. Si utilizza come indentatore una sfera di diametro $D_b = 10\,mm$. Si applica un carico $F = 14{,}715\,kN$ e si ottiene nel campione una impronta di diametro $D_i = 3{,}95\,mm$. Si calcolino la profondità dell’impronta lasciata nel campione e la durezza Brinell.

QUESITO DI FONDERIA (PUNTI 10)

		Punti
DOMANDA A	Volume della geometria elementare	1
	Superficie di scambio termico	1,5
	Modulo termico	0,5
DOMANDA B	Tempo riempimento	1,5
	Sezione del canale di colata	0,5
	Sezione del canale distributore	0,5
	Sezione totale degli attacchi di colata	0,5
DOMANDA C	Rapporto volumetrico tra materozza e getto	2
	Rapporto volumetrico limite	2

QUESITO QUALITÀ (10 PUNTI)

		Punti
DOMANDA A	K	1
	Carta I: LCS	0,75
	Carta I: LCI	0,75
	Carta MR: LCS	0,75
	Carta MR: LCI	0,75
DOMANDA B	Errore di II tipo	1,5
	Prob. Identificazione allarme	1,5
DOMANDA C	Nuovo $\bar{R}$	1,5
	LCS	0,75
	LCI	0,75

QUESITO DEFORMAZIONE (10 PUNTI)

		Punti
DOMANDA A	Deformazione reale	1,5
	Lavoro specifico	1,5
	Lavoro di compressione	1
DOMANDA B	Fattore di incrudimento	0,5
	Coefficiente di resistenza	0,5
	Forza di compressione	1
DOMANDA C	Profondità dell’impronta	2
	Durezza Brinell	2

SOLUZIONE

QUESITO DI FONDERIA

a. Modulo termico

Il volume della geometria elementare II è pari a:

$$V_{II} = F^2 \cdot B - \frac{\pi}{4} D^2 \cdot F = 260^2 \cdot 135 - \frac{\pi}{4} 50^2 \cdot 260 = 8615491 \text{ mm}^3$$

La superficie di scambio termico della geometria elementare II è pari a:

$$S_{II} = 2\left(F \cdot B - \frac{\pi}{4} D^2\right) + 2F \cdot B + 2\left(F^2 - \frac{\pi}{4} E^2\right) + \pi D \cdot F = 2\left(260 \cdot 135 - \frac{\pi}{4} 50^2\right) + 2 \cdot 260 \cdot 135 + 2\left(260^2 - \frac{\pi}{4} 230^2\right) + \pi 50 \cdot 260 = 229419 \text{ mm}^2$$

Il suo modulo termico risulta pari a:

$$M_{II} = \frac{V_{II}}{S_{II}} = \frac{8615491}{229419} = 37{,}6 \text{ mm}$$

b. Tempo di riempimento e dimensionamento del sistema di colata

Il canale di attacco consiste di tre attacchi, ciascuno di sezione 1600 mm^2. La sezione complessiva del canale di attacco è quindi pari a:

$$A_A = 3 \cdot 1600 = 4800 \text{ mm}^2$$

Essendo A_C:A_D:A_A = 3:2:2, i canali di colata e distribuzione hanno sezione pari a:

$$A_D = A_A = 4800 \text{ mm}^2$$

$$A_C = 3 \cdot \frac{A_A}{2} = 3 \cdot \frac{4800}{2} = 7200 \text{ mm}^2$$

La velocità di efflusso in corrispondenza della sezione di strizione è calcolabile come segue:

$$v = c\sqrt{2gH_m} = 0{,}5\sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{170}{1000}} = 0{,}91 \text{ m/s}$$

Il volume totale da riempire è:

$$V_{tot} = V_{getto} + V_{materozza} = 20 + 19{,}63 = 39{,}63 \text{ dm}^3$$

Il tempo di riempimento risulta pari a:

$$t = \frac{V_{tot} \cdot 10^3}{A_A \cdot v} = \frac{39{,}63 \cdot 10^3}{4800 \cdot 0{,}91} = 9{,}07 \text{ s}$$

c. Verifica del sistema di alimentazione

La materozza sarà posizionata in corrispondenza della geometria elementare III. Il suo modulo termico è pari a:

$$M_m = \frac{V_m}{S_m} = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 \cdot h}{\pi d \cdot h + \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{\frac{\pi}{4} 250^2 \cdot 400}{\pi 250 \cdot 400 + \frac{\pi}{4} 250^2} = 54{,}05 \text{ mm}$$

Da cui:

$$x = \frac{M_m}{M_{III}} = \frac{54{,}05}{45} = 1{,}2$$

Il valore limite y_c secondo il metodo di Caine risulta:

$$y_c = \left(\frac{a_c}{x - c_c} + b_c\right) = \left(\frac{0{,}12}{1{,}2 - 1} + 0{,}03\right) = 0{,}63$$

Il valore di y è:

$$y = \frac{V_m}{V} = \frac{\frac{\pi}{4} 250^2 \ \cdot \ 400}{22 \cdot 10^6} = 0{,}89 > y_c$$

La materozza è adeguata.

QUESITO QUALITÀ

A) Limiti della carta I-MR

E' necessario calcolare il percentile $z_{\frac{\alpha}{2}}$ che dipende dal valore indicato di ARL_0:

$$\alpha = \frac{1}{ARL_0} = \frac{1}{250} = 0{,}004$$

Da tabella: $z_{\frac{\alpha}{2}} = 2{,}88$.

Essendo note media μ e varianza σ^2, i limiti di controllo si calcolano come segue:

Carta I

$$LCS = \mu + Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma = 11 + 2{,}88 \cdot \sqrt{4{,}275} = 16{,}95$$

$$LC = \mu = 11$$

$$LCI = \mu - Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma = 11 - 2{,}88 \cdot \sqrt{4{,}275} = 5{,}04$$

Carta MR

$$LCS = \left[d_2(2) + Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot d_3(2)\right] \cdot \sigma = [1{,}128 + 2{,}88 \cdot 0{,}853] \cdot \sqrt{4{,}275} = 7{,}41$$

$$LC = d_2(2) \cdot \sigma = 1{,}128 \cdot \sqrt{4{,}275} = 2{,}33$$

$$LCI = \max\left(0;\ \left[d_2(2) - Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot d_3(2)\right] \cdot \sigma\right) = \max\left(0; [1{,}128 - 2{,}88 \cdot 0{,}853] \cdot \sqrt{4{,}275}\right) = 0$$

Dove $d_2(2)$ e $d_3(2)$ sono ricavate da tabella.

B) Spostamento entro il terzo campione successivo, dati i limiti

Dato che lo spostamento è espresso in unità di deviazione standard, si calcola la media sotto ipotesi H_1:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu = \mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma_0 = 11 + 1{,}5 \cdot \sqrt{4{,}275} = 14{,}10$$

L'errore di secondo tipo si ricava come segue:

$$\beta = \text{Prob}\{\bar{X} \in [LCI, LCS] |\ H_1\} = \Phi\left(\frac{LCS - \mu_1}{\sigma/\sqrt{n}}\right) - \Phi\left(\frac{LCI - \mu_1}{\sigma/\sqrt{n}}\right) = 0{,}5$$

$$\beta = \Phi\left(\frac{14{,}101 - 14{,}1}{2{,}07/\sqrt{4}}\right) - \Phi\left(\frac{7{,}898 - 14{,}1}{2{,}07/\sqrt{4}}\right) = \Phi(0) - \Phi(-6{,}2) = 0{,}5$$

La probabilità di rilevare uno scostamento della media entro il terzo campione è:

$$Prob = 1 - \beta + \beta(1-\beta) + \beta^2(1-\beta) = 1 - \beta^3 = 0{,}875$$

C) Nuova carta di controllo R

La nuova media campionaria del range per dimensione campionaria n=8 si ricava come segue:

$$\bar{R}_{new} = \frac{d_2(n_{new})}{d_2(n_{old})} \cdot \bar{R}_{old} = \frac{2,85}{2,06} \cdot 3,25 = 4,49$$

E quindi i limiti della nuova carta di controllo R con $\alpha = 0.0027$ sono pari a:

$$LCS = D_4(8) \cdot \bar{R}_{new} = 1,864 \cdot 4,49 = 8,38$$
$$LC = \bar{R}_{new} = 4,49$$
$$LCI = D_3(8) \cdot \bar{R}_{new} = 0,136 \cdot 4,49 = 0,61$$

QUESITO DEFORMAZIONE

A) <u>Prova di compressione.</u>

Nota l'altezza finale h_1 del provino, la deformazione reale risulta:

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{h_0}{h_1} = ln \frac{80}{71,5} = 0,11$$

Il lavoro specifico è definito come:

$$u = \int_0^{\varepsilon_1} \sigma d\varepsilon$$

dato che il comportamento del materiale è caratterizzato da incrudimento ($\sigma = k\varepsilon^n$), risulta:

$$u = \int_0^{\varepsilon_1} \sigma d\varepsilon = \frac{k{\varepsilon_1}^{n+1}}{n+1} = \frac{175\ MPa \cdot 0,11^{0,2+1}}{0,2+1} = 10,32\ MPa$$

Potendo definire il lavoro di compressione come:

$$L = u \cdot V$$

È quindi necessario calcolare il volume del provino cilindrico:

$$V = h_0 \cdot \pi \cdot \frac{{d_0}^2}{4} = 80 \cdot \pi \cdot \frac{30^2}{4} = 56548,67\ mm^3$$

Quindi il lavoro di compressione è pari a:

$$L = u \cdot V = 10,32\ MPa \cdot 56548,67\ mm^3 = 583582\ Nmm = 583,6\ J$$

B) <u>Prova di compressione su nuovo materiale.</u>

Poiché viene richiesto di calcolare il coefficiente di resistenza ed il fattore di incrudimento della lega metallica, si può ipotizzare che il materiale abbia un comportamento plastico con incrudimento ($\sigma = k\varepsilon^n$). Mettendo a sistema i due punti sperimentali $(\varepsilon_1, \sigma_1)$ e $(\varepsilon_2, \sigma_2)$ è possibile calcolare k ed n.

È prima necessario calcolare le due deformazioni reali ε_1 e ε_2:

$$\varepsilon_1 = \ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right) = \ln\left(\frac{80}{70}\right) = 0,13$$

$$\varepsilon_2 = \ln\left(\frac{h_0}{h_2}\right) = \ln\left(\frac{80}{60}\right) = 0,29$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = k{\varepsilon_1}^n \\ \sigma_2 = k{\varepsilon_2}^n \end{cases} \rightarrow \begin{cases} k = \dfrac{\sigma_1}{{\varepsilon_1}^n} \\ k = \dfrac{\sigma_2}{{\varepsilon_2}^n} \end{cases} \rightarrow \frac{\sigma_1}{{\varepsilon_1}^n} = \frac{\sigma_2}{{\varepsilon_2}^n} \rightarrow \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)^n = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \rightarrow n = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)}{\ln\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{100}{161}\right)}{\ln\left(\frac{0,13}{0,29}\right)} = 0,62$$

$$k = \frac{\sigma_1}{{\varepsilon_1}^n} = \frac{100}{0,13^{0,62}} = 348,45\ \mathrm{Mpa}$$

Poiché la riduzione d'altezza è del 20%, risulterà $h_f = 64\ \mathrm{mm}$ e $\varepsilon = 0,22$. Lo sforzo sarà quindi pari a:

$$\sigma = k\varepsilon^n = 348,45 \cdot 0,22^{0,62} = 136,28\ \mathrm{Mpa}$$

La forza di compressione è definita:

$$F = \sigma \cdot S_f$$

Per la conservazione del volume, S_f risulterà:

$$V = h_f \cdot S_f \rightarrow S_f = \frac{V}{h_f} = \frac{56548}{64} = 883{,}56\ mm^2$$

La forza risulterà:

$$F = \sigma \cdot S_f = 136{,}28 \cdot 883{,}56 = 120{,}4\ \mathrm{kN}$$

C) Prova di durezza.

La profondità di indentazione nelle prove di Brinell si calcola come:

$$h_i = \frac{1}{2} \cdot \left(D_b - \sqrt{{D_b}^2 - {D_i}^2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(10 - \sqrt{10^2 - 3{,}95^2} \right) = 0{,}407\ mm$$

La durezza Brinell si calcola come:

$$HB = 0{,}102 \cdot \frac{F}{S}$$

dove F è il carico applicato (in Newton) ed S è la superficie della cavità che la sfera genera nel campione (in millimetri).

S si calcola come:

$$S = \pi \cdot D_b \cdot h_i = \pi \cdot 10 \cdot 0{,}407 = 12{,}773\ mm^2$$

Si può dunque calcolare la durezza.

$$HB = 0{,}102 \cdot \frac{F}{S} = 0{,}102 \cdot \frac{1000 \cdot 14{,}715}{12{,}773} = 117{,}5\ HB$$