Tecnologia Meccanica e Qualità
31/08/2021

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

QUESITO DEFORMAZIONE (PUNTI 10)

Un'azienda deve produrre dei profilati con sezione ad H come da figura. I profilati sono realizzati in alluminio ($Y = 80$ MPa), tramite estrusione a caldo. Per la lavorazione sono disponibili barre con sezione circolare di diametro variabile.

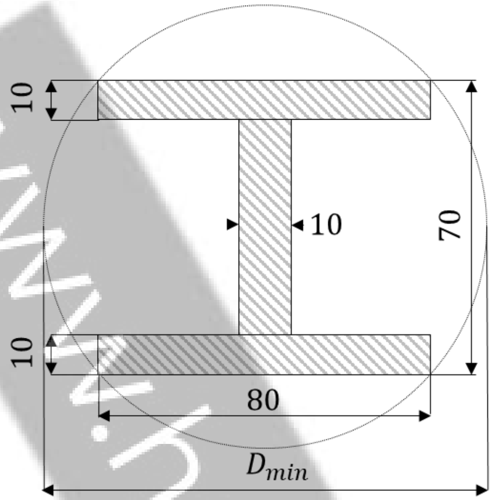

Figura 1. Sezione della trave da ottenere tramite estrusione.

a) Avendo a disposizione tipologie di barre diverse con diametro da $\emptyset 80mm, \emptyset 100mm, o\ \emptyset 120mm$, e selezionando la barra adatta, determinare il rapporto di estrusione.

b) A valle di aggiustamenti di progettazione, la sezione iniziale risulta essere $12000\ mm^2$, e il rapporto di estrusione pari a $R = 4$. Determinare quindi la forza di estrusione in presenza di attrito (coefficienti sperimentali $a = 0{,}8; b = 1{,}35$).

c) Nell'ipotesi di selezionare una barra avente lunghezza iniziale pari a 1,8 m e di stimare un valore della forza di estrusione pari a $3000\ kN$, si determini il lavoro di estrusione di una barra.

d) Considerando tutte le perdite energetiche, il lavoro effettivo speso per estrudere un profilato risulta pari a $\mathcal{L}_{eff} = 6\ MJ$. Si chiede di stimare il costo energetico per realizzare un lotto di 80 profilati, utilizzando un costo dell'energia pari a $0{,}3$ €$/kWh$.

QUESITO DI QUALITA' (PUNTI 10)

Un'azienda meccanica monitora un processo di laminazione tra rulli controrotanti. La caratteristica critica di qualità è la deviazione dello spessore x dal valore nominale. Tale caratteristica risulta distribuita secondo una normale di cui si conoscono media e varianza di processo: $\mu_x = 13{,}2\ \mu m$, $\sigma_x = 43{,}5\ \mu m$.

a) L'attuale carta di controllo della media utilizzata prevede limiti di controllo $LCI = -45{,}16\ \mu m$ e $LCS = 71{,}57\ \mu m$ e numerosità campionaria $n = 5$. Si stimino il parametro k e la probabilità dell'errore di primo tipo associato α. Si calcoli la probabilità di segnalare almeno un falso allarme in 10 campionature consecutive.

b) Si vogliono riprogettare le carte di controllo per la media e per il range. Mantenendo numerosità campionaria $n = 5$, si stimino i limiti di controllo che permettono di garantire $ARL(H_0) = 150$.

c) L'installazione di un sensore ottico permette la misurazione in linea di tutti i componenti realizzati. Questo avanzamento tecnologico permette di implementare carte di controllo con dimensione campionaria unitaria I-MR, i cui limiti di controllo sono rispettivamente: $LCI(I) = -117{,}3\ \mu m$, $LCS(I) = 143{,}7\ \mu m$; $LCI(MR) = 0$, $LCS(MR) = 160{,}4\ \mu m$. Vengono acquisiti dieci campioni consecutivi i cui valori sono riportati in Tabella 1. Si identifichino il numero di allarmi generati dalle carte di controllo I-MR.

Tabella 1: Valore di 10 misure consecutive della caratteristica critica [μm].

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
84,2	152,4	-12,2	100,9	-145,6	43,3	-22,4	-56,7	120,9	-50,6

QUESITO DI ASPORTAZIONE (PUNTI 10)

Un cilindro avente diametro iniziale D_i deve subire una lavorazione di tornitura cilindrica esterna di finitura su tutta la sua lunghezza L tramite un utensile con inserto mono tagliente (si consideri un afferraggio del pezzo fra le punte con trascinatore frontale). I dati del prodotto e della lavorazione sono forniti in Tabella 2.

Tabella 2. Dati di prodotto e di lavorazione.

Dati prodotto	Dati tornitura	Dati processo	Costi
L = 145 mm	f = 0,1 mm/giro	T_t = 45 s	C_O = 88 €/h
D_i = 36 mm	n = 0,122	T_h = 15 s	C_t = 4,4 €
D_f = 35 mm.	C = 230		
	$k_{c0,4}$ = 2800 MPa		
	x = 0,29		
	κ = 80°		
	κ' = 60°		

a) Sapendo che il tornio ha una potenza di targa P_g = 6 kW e un'efficienza $\eta = 85\%$, è possibile realizzare la lavorazione con una velocità di avanzamento dell'utensile $v_f = 0{,}5$ m/min.?

b) Sapendo che il pezzo dovrà avere una rugosità massima R_{max} inferiore a 8 μm e che l'utensile usato ha un raggio di punta r = 0,2 mm, verificare la fattibilità della lavorazione da un punto di vista teorico per rugosità e avanzamento limite.

c) Considerando le costanti di Taylor C ed n fornite in Tabella 2, calcolare il tempo di contatto della lavorazione di finitura se si decidesse di adottare la velocità di taglio che minimizza il costo di produzione. In Tabella 2: T_t è il tempo di sostituzione dell'inserto; T_h sono i tempi fissi; C_O è il costo orario delle risorse produttive; C_t è il costo di un singolo tagliente.

QUESITO DI DEFORMAZIONE (PUNTI 10)

		Punti
DOMANDA A	Barra selezionata	1,5
	Rapporto di estrusione	1,5
DOMANDA B	Pressione con attrito	1,5
	Forza di estrusione	1,5
DOMANDA C	Lavoro di estrusione	2
DOMANDA D	Costo energetico	2

QUESITO QUALITÀ (10 PUNTI)

		Punti
DOMANDA A	K	1
	α	1
	Prob. almeno un falso allarme	2
DOMANDA B	K	1
	LCI Xbar	0,5
	LCS Xbar	0,5
	LCI R	0,5
	LCS R	0,5
DOMANDA C	Numero allarmi generati dalla carta I	1
	Numero allarmi generati dalla carta MR	2

QUESITO DI ASPORTAZIONE (PUNTI 10)

		Punti
DOMANDA A	F_c	1,5
	P_c	1,5
	Fattibilità della lavorazione secondo la potenza	0,5
DOMANDA B	Avanzamento limite per validità	0,5
	L'avanzamento è accettabile?	0,5
	R_{max}	1,5
	Fattibilità della lavorazione secondo la rugosità	0,5
DOMANDA C	Vita dell'utensile T_{opt}	1
	Velocità di taglio $v_{c,opt}$	1
	Tempo di contatto T_m	1,5

SOLUZIONE

QUESITO DI DEFORMAZIONE

DOMANDA A. Rapporto di estrusione

Per calcolare il rapporto di estrusione è necessario conoscere la sezione iniziale. Tra le barre disponibili, l'unica che permette la lavorazione è quella dal diametro $D_{barra} = 120\ mm$, infatti:

$$D_{min} = \sqrt{70^2 + 80^2} = 106,3\ mm$$

Quindi:

$$A_0 = \frac{\pi}{4} \cdot D_{barra}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 120^2 = 11310\ mm^2$$

La sezione finale A_1 risulta pari a:

$$A_1 = 2 \cdot (10 \cdot 80) + 10 \cdot (70 - 2 \cdot 10) = 2100\ mm^2$$

ne segue un rapporto di estrusione pari a:

$$R = \frac{A_0}{A_1} = \frac{11310}{2100} = 5,39$$

DOMANDA B. Forza di estrusione

La forza di estrusione si può calcolare come:

$$F_{est} = p_{attrito} \cdot A_0 = Y \cdot (a + b \ln(R)) \cdot A_0$$

La pressione $p_{attrito}$ vale:

$$p_{attrito} = 80 \cdot (0,8 + 1,35 \ln(4)) = 213,72\ MPa$$

La forza di estrusione vale:

$$F_{est} = p_{attrito} \cdot A_0 = 213,72 \cdot 12000 = 2564640\ N = 2565\ kN$$

DOMANDA C. Lavoro

Il lavoro di estrusione si può calcolare conoscendo la forza di estrusione e la corsa del pistone, pari alla lunghezza iniziale della barra:

$$\mathcal{L} = F_{est} \cdot L_0$$

Quindi:

$$\mathcal{L} = F_{est} \cdot L_0 = 3000 \cdot 1,8 = 5400\ kJ$$

DOMANDA D. Costo energetico

Il costo energetico si può calcolare come:

$$C_{en,lotto} = C_{en,unitario} \cdot N_{profilati}$$

Dove $C_{en,unitario}$ è il costo per realizzare un profilato e $N_{profilati}$ il numero di profilati da realizzare nel lotto.
Il costo energetico per singolo profilato si calcola come segue ($1\ \mathrm{kWh}\ =\ 3600\ \mathrm{kJ}$):

$$C_{en,unitario} = \mathcal{L}_{eff} \cdot C_{ele} = \frac{6000}{3600} \cdot 0{,}3 = 0{,}5\ €$$

Da cui:

$$C_{en,lotto} = 0{,}5 \cdot 80 = 40\ €$$

QUESITO QUALITÀ

A) Carta di controllo attuale

Conoscendo la formula generica per la progettazione dei limiti di controllo

$$LCS(\bar{X}) = \mu_x + k \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Si può risalire a k

$$k = \frac{LCS - \mu_x}{\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}} = \frac{71{,}57 - 13{,}2}{\frac{43{,}5}{\sqrt{5}}} = 3$$

Sapendo che $k = z_{\frac{\alpha}{2}}$, si ottiene

$$\alpha = 2 \cdot \left(1 - \Phi\left(z_{\frac{\alpha}{2}}\right)\right) = 2 \cdot (1 - \Phi(3)) = 0{,}0027 = 0{,}27\%$$

Il modo più semplice di calcolare la probabilità di generare almeno un falso allarme in n campionature consecutive è

$$P(almeno\ un\ falso\ allarme|\ H_0) = 1 - P(nessun\ falso\ allarme|H_0)$$

Quindi

$$P(almeno\ un\ falso\ allarme|\ H_0) = 1 - (1 - \alpha)^n = 1 - (1 - 0{,}0027)^{10} = 0{,}0267 = 2{,}67\%$$

B) Nuova carta di controllo

La progettazione di una coppia di carte di controllo partendo da $ARL(H_0) = 150$ inizia con il calcolo di α.

$$\alpha = \frac{1}{ARL(H_0)} = 0{,}00667$$

Da cui si ricava $1 - \frac{\alpha}{2}$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0{,}00667}{2} = 0{,}99667$$

Necessario per ricavare $k = z_{\frac{\alpha}{2}}$

$$k = z_{\frac{\alpha}{2}} = dalle\ tabelle = 2{,}71$$

A questo punto si possono calcolare i limiti di controllo delle carte di media e range

$$LCI(\bar{X}) = \mu_x - k \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = 13{,}2 - 2{,}71 \cdot \frac{43{,}5}{\sqrt{5}} = -39{,}52\ \mu m$$

$$LCS(\bar{X}) = \mu_x + k \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = 13{,}2 + 2{,}71 \cdot \frac{43{,}5}{\sqrt{5}} = 65{,}92\ \mu m$$

$$LCI(R) = [d_2(n) - 3d_3(n)]\sigma_x = (2{,}326 - 3 \cdot 0{,}864) \cdot 43{,}5 = -0{,}67\ \mu m \rightarrow 0$$

$$LCS(R) = [d_2(n) + 3d_3(n)]\sigma_x = (2{,}326 + 3 \cdot 0{,}864) \cdot 43{,}5 = 203{,}03\ \mu m$$

C) Carte I-MR

Gli allarmi generati dalla carta I si riscontrano semplicemente vedendo se i valori misurati sono all'interno dei limiti di controllo $LCI(I) = -117{,}3\ \mu m$, $LCS(I) = 143{,}7\ \mu m$

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
84,2	152,4	-12,2	100,9	-145,6	43,3	-22,4	-56,7	120,9	-50,6

Vengono segnalati due allarmi.

Per la carta MR, per ogni campionatura partendo dalla seconda va calcolato il moving range come

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \qquad i \in [2-10]$$

Per poi confrontarlo con i limiti di controllo $LCI(MR) = 0$, $LCS(MR) = 160{,}4\ \mu m$

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
x_i	84,2	152,4	-12,2	100,9	-145,6	43,3	-22,4	-56,7	120,9	-50,6
MR_i		68,2	164,6	113,1	246,5	188,9	65,7	34,3	177,6	171,5

Vengono segnalati cinque allarmi.

QUESITO DI ASPORTAZIONE (PUNTI 10)

a) Sapendo che il tornio ha una potenza di targa P_g = 6 kW ed un'efficienza η = 85%, è possibile realizzare la lavorazione con una velocità di avanzamento dell'utensile $v_f = 0{,}5\ m/min$.?

La lavorazione risulta fattibile se il vincolo sulla potenza è soddisfatto:

$$P_c \leq P_g \cdot \eta$$

La potenza di taglio è definita come:

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

con la forza di taglio che risulta essere pari a:

$$F_c = k_{c0,4} \cdot f^{1-x} \cdot a_p \cdot \left(\frac{0{,}4}{\sin \kappa}\right)^x$$

con $a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{36-35}{2} = 0{,}5$ mm, F_c risulta:

$$F_c = 2800 \cdot 0{,}1^{1-0{,}29} \cdot 0{,}5 \cdot \left(\frac{0{,}4}{\sin 80°}\right)^{0{,}29} = 210\ \text{N}$$

Per il calcolo della velocità di taglio, è necessario conoscere il numero di giri a cui è effettuata la lavorazione, poiché:

$$v_c = \pi D_f \cdot m$$

Sapendo che si vuole svolgere la lavorazione con una velocità di avanzamento dell'utensile $v_f = 0{,}5\ \mathrm{m/min}$, è possibile ricavare il numero di giri richiesti dalla lavorazione:

$$m = \frac{v_f}{f} = \frac{0{,}5 \cdot 1000}{0{,}1} = 5000\ \mathrm{giri/min}$$

quindi:

$$v_c = \pi D_f \cdot m = \frac{\pi \cdot 35 \cdot 5000}{1000} = 549{,}8\ \mathrm{m/min}$$

La potenza di taglio richiesta dalla lavorazione è quindi pari a:

$$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{210 \cdot 549{,}8}{60} = 1924\ \mathrm{W} = 1{,}9\ \mathrm{kW}$$

Il vincolo sulla potenza è rispettato:

$$P_c = 1{,}9\ \mathrm{kW} < P_g \cdot \eta = 6\ \mathrm{kW} \cdot 0{,}85 = 5{,}1\ \mathrm{kW}$$

b) Sapendo che il pezzo dovrà avere una rugosità massima R_{max} inferiore a 8 µm e che l'utensile usato ha un raggio di punta r = 0,2 mm, verificare la fattibilità della lavorazione da un punto di vista teorico per rugosità e avanzamento limite.

La rugosità massima può essere calcolata, a partire dalla rugosità media aritmetica, come:

$$R_{max} = 4 \cdot R_a$$

dalla formula di Schmalz, la rugosità media aritmetica risulta:

$$R_a = \frac{f^2}{32 \cdot r} = 1000 \cdot \frac{0{,}1^2}{32 \cdot 0{,}2} = 1{,}56\ \mathrm{\mu m}$$

per poter utilizzare il valore appena ottenuto, è necessario prima verificare i vincoli sull'avanzamento limite:

$$\begin{cases} \dfrac{f}{2} \le r \cdot sin\ (\kappa) \\ \dfrac{f}{2} \le r \cdot sin\ (\kappa') \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 0{,}1 < 2 \cdot 0{,}2 \cdot \sin(80°) = 0{,}394 \\ 0{,}1 < 2 \cdot 0{,}2 \cdot \sin(60°) = 0{,}346 \end{cases}$$

l'avanzamento definito per la lavorazione è inferiore all'avanzamento limite di 0,346 mm/giro, quindi la formula di Schmalz può essere utilizzata.

La rugosità massima è quindi pari a:

$$R_{max} = 4 \cdot R_a = 4 \cdot 1{,}56 = 6{,}24\ \mathrm{\mu m}$$

che è inferiore al valore limite di 8 µm.

c) Considerando le costanti di Taylor C ed n fornite in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, calcolare il tempo di contatto della lavorazione di finitura se si decidesse di adottare la velocità di taglio che minimizza il costo di produzione.

La velocità di taglio che minimizza il costo di produzione è calcolabile attraverso la relazione di Taylor:

$$v_c = \frac{C}{\left(T_{opt,cost}\right)^n}$$

con la vita dell'utensile $T_{opt,cost}$ che minimizza il costo di produzione uguale a:

$$T_{opt,cost} = \left(T_t + \frac{C_t}{C_O}\right)\left(\frac{1}{n} - 1\right) = \left(\frac{45}{60} + \frac{4,4}{\left(\frac{88}{60}\right)}\right)\left(\frac{1}{0,122} - 1\right) = 26,988 \text{ min}$$

quindi:

$$v_c = \frac{230}{(26,988)^{0,122}} = 153,86 \text{ m/min}$$

Visto che il tempo di contatto è calcolato come:

$$T_m = \frac{L}{v_f} = \frac{L}{m \cdot f}$$

è necessario prima calcolare il numero di giri:

$$m = \frac{v_c}{\pi \cdot D_f} = \frac{153,86 \cdot 1000}{\pi \cdot 35} = 1399 \text{ giri/min}$$

Il tempo di contatto T_m risulta quindi:

$$T_m = \frac{L}{m \cdot f} = \frac{145}{1399 \cdot 0,1} = 1,04 \text{ min}$$