

Parametri di taglio, coppia e potenza del mandrino

Questo articolo delinea i passaggi da seguire nella scelta dei parametri di fresatura in funzione delle caratteristiche di coppia e potenza del mandrino della macchina che si ha a disposizione. L'articolo è tratto da una lezione del corso PoliMill per aziende "Digital Machining", ormai alla sua terza edizione

Massimiliano Annoni

Il prerequisito per affrontare il tema proposto è la conoscenza base delle lavorazioni di fresatura CNC (Computer Numerical Control) e gli obiettivi sono scegliere il diametro dell'utensile e la velocità di rotazione adeguata alla lavorazione considerando la coppia e la potenza erogabili dal mandrino e eseguire i calcoli utili per definire i parametri di taglio in funzione della posizione di lavoro scelta nella curva caratteristica del mandrino.

La versione online delle lezioni del corso Digital Machining per aziende inizia con alcune domande anticipative utili per sollevare l'interesse del lettore (1). Per il tema in esame, tali domande sono:

- 1 Sai che la macchina potrebbe non riuscire a lavorare se non scegli correttamente i parametri di taglio considerando la coppia e la potenza erogabili dal mandrino?
- 2 Sai che non basta che il tool holder della macchina possa montare un certo diametro di utensile per essere certi che la macchina potrà sopportare le coppie e potenze che si generano in lavorazione?
- 3 Sai che i centri di lavoro sono progettati appositamente per lavorare in condizioni specifiche? In altre parole, una macchina adatta alle lavorazioni di precisione non è adatta alle lavorazioni standard
- 4 Sai calcolare le forze, le coppie e le potenze che si generano in lavorazione? È utile per scegliere gli utensili!

Scelta delle velocità di taglio

Questo articolo intende mostrare i passaggi tipici che un tecnologo deve considerare per scegliere utensili e parametri in ambito industriale, ma soprattutto ha lo scopo di evidenziare come esista attualmente un supporto per queste scelte, anche quando l'esperienza del tecnologo non è particolarmente estesa, come accade a personale neoassunto negli uffici tecnici di aziende manifatturiere.

L'abbassamento delle barriere all'ingresso nel settore è molto rilevante nel periodo attuale in cui assistiamo a un cambio generazionale di operatori, tecnici e anche ingegneri. In una lavorazione di fresatura, il diametro dell'utensile D_c dipende dalla geometria del pezzo da lavorare mentre vc è consigliata dai produttori degli utensili in funzione della coppia materiale target – materiale dell'utensile quindi può essere considerata costante.

Diagramma di coppia e potenza del mandrino in microfresatura

Questo diagramma è la curva caratteristica del mandrino, che ha una importanza fondamentale per scegliere l'utensile e i parametri di processo. La Figura 4 riporta il diagramma di coppia e potenza del centro di lavoro per microlavorazioni KERN Evo.

La prima cosa da notare è che la performance

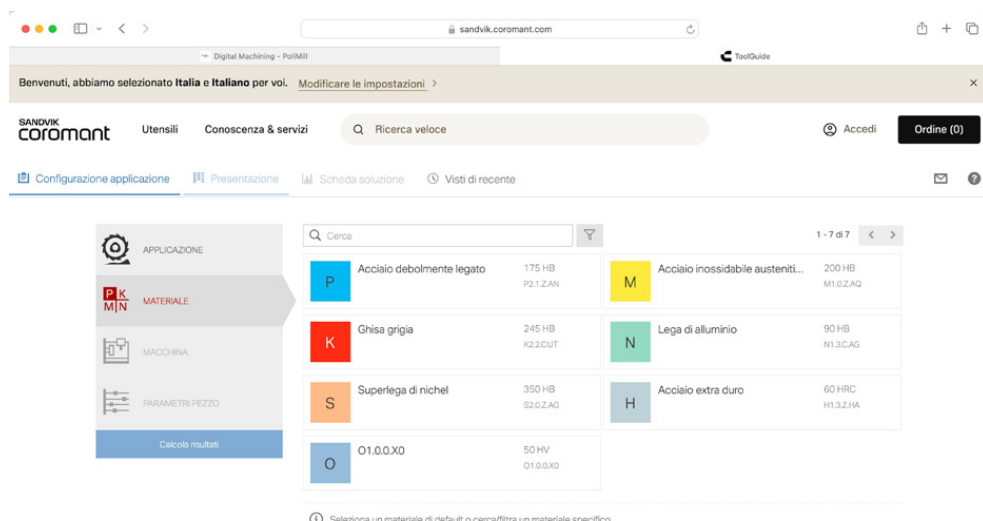


Figura 1: Schermata del software ToolGuide di Sandvik Coromant, disponibile gratuitamente online. In questa schermata si indica il materiale target per la lavorazione

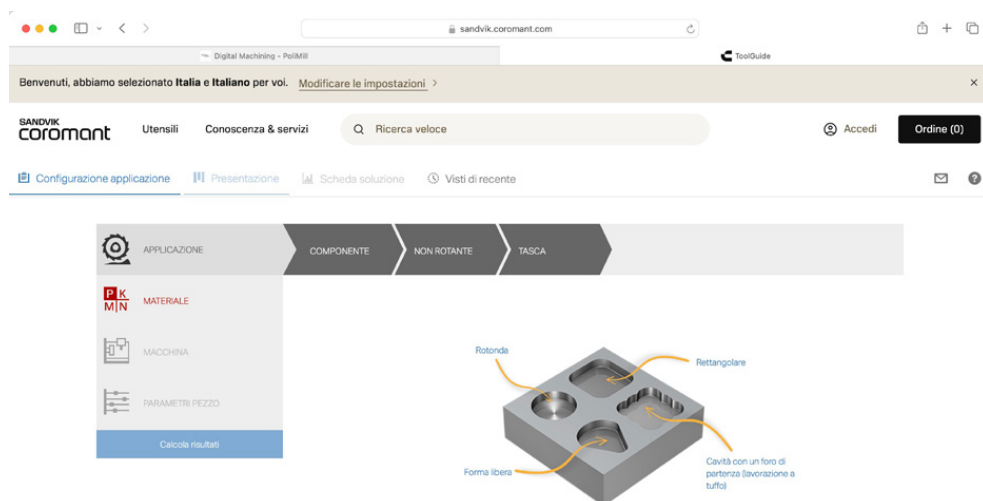


Figura 2: Schermata del software ToolGuide di Sandvik Coromant, disponibile gratuitamente online. In questa schermata si indica il tipo di feature che si intende realizzare

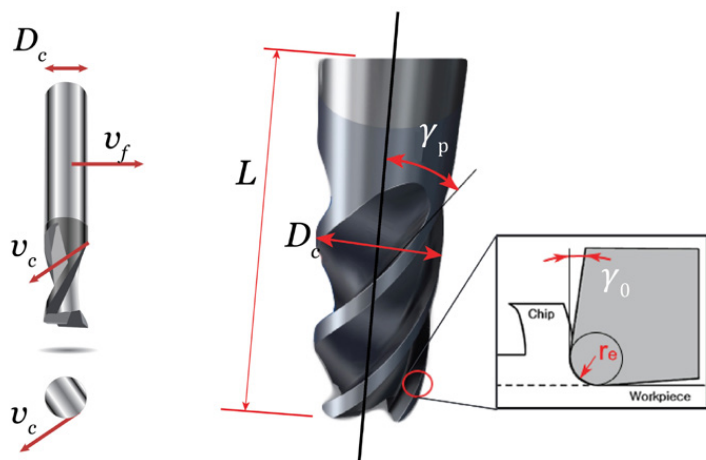


Figura 3: Rappresentazione del diametro utensile D_c , della velocità di taglio v_c , della velocità di avanzamento v_f e di altri parametri tipici della fresa come l'angolo di spoglia frontale γ_0 e la lunghezza fuori pinza L

di coppia e di potenza dichiarata nel datasheet della macchina si riferisce a un certo intervallo di numero di giri. Infatti, si può vedere come la potenza massima sia fornita soltanto oltre i 40000 giri al minuto.

Ciò significa che il mandrino della macchina è adatto a girare velocemente.

La formula della velocità di taglio fornisce il legame tra v_c , D_c e n : D_c diminuisce all'aumentare del numero di giri quando v_c è mantenuta costante

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000}$$

Il diametro utensile è vincolato dalla geometria del pezzo.

Per esempio, i raggi di raccordo delle tasche fissano un limite superiore per D_c . Anche il diagramma di coppia e di potenza del mandrino gioca un ruolo in quanto è meglio massimizzare la coppia e la potenza erogate dal mandrino per aumentare la produttività della lavorazione. In altre parole, il diagramma di coppia e potenza del mandrino fissa un limite superiore per D_c .

Infatti, se si scegliesse un D_c troppo grande, si rischierebbe di avere una potenza disponibile al mandrino troppo bassa al numero di giri richiesto per la lavorazione (fig.5).

Velocità di avanzamento e tasso di rimozione di materiale in microfresatura e fresatura standard

Proseguiamo il nostro percorso considerando l'equazione della velocità di avanzamento v_f :

$$v_f = n \cdot f_z \cdot Z$$

Z vale tipicamente 2 in microfresatura e n tende ad essere elevato per sfruttare meglio il mandrino, inoltre f_z non può essere troppo limitato per evitare il ricalcamento.

La velocità di avanzamento tende quindi a essere grande in microfresatura. Per questa ragione, i centri di microfresatura devono avere una buona performance in termini di massima velocità di avanzamento.

$$MRR = v_f \cdot a_p \cdot a_e$$

Il Material Removal Rate (MRR) è limitato da a_p e a_e , che sono piccoli in quanto legati alle dimensioni dell'utensile (fig.6).

Per massimizzare l'MRR, abbiamo già v_f , ma anche la profondità di taglio deve essere considerata. a_e è limitata per preservare l'integrità dell'utensile. a_p invece può essere aumentata secondo le indicazioni dell'utensile e le nuove strategie di fresatura trocoidali (bassa a_e e alta a_p), che sono state inventate per la fresatura ad alta velocità e la microfresatura.

Diagramma di coppia e potenza del mandrino in fresatura standard

Nella fresatura standard, Z può essere aumentato per migliorare la produttività, ma il diametro dell'utensile è maggiore e n tende a ridursi per ottenere la velocità di taglio richiesta. Il diagramma del mandrino deve essere adatto per questa

situazione (fig.7) (i mandrini dei centri di microfresatura e di fresatura ad alta velocità non lo sono). L'MRR è sostenuto da a_p e a_e che sono più grandi grazie alle dimensioni maggiori della fresa.

Forza di taglio

Consideriamo ora quanto accade nelle traiettorie rettilinee allo scopo di stimare la forza di ta-

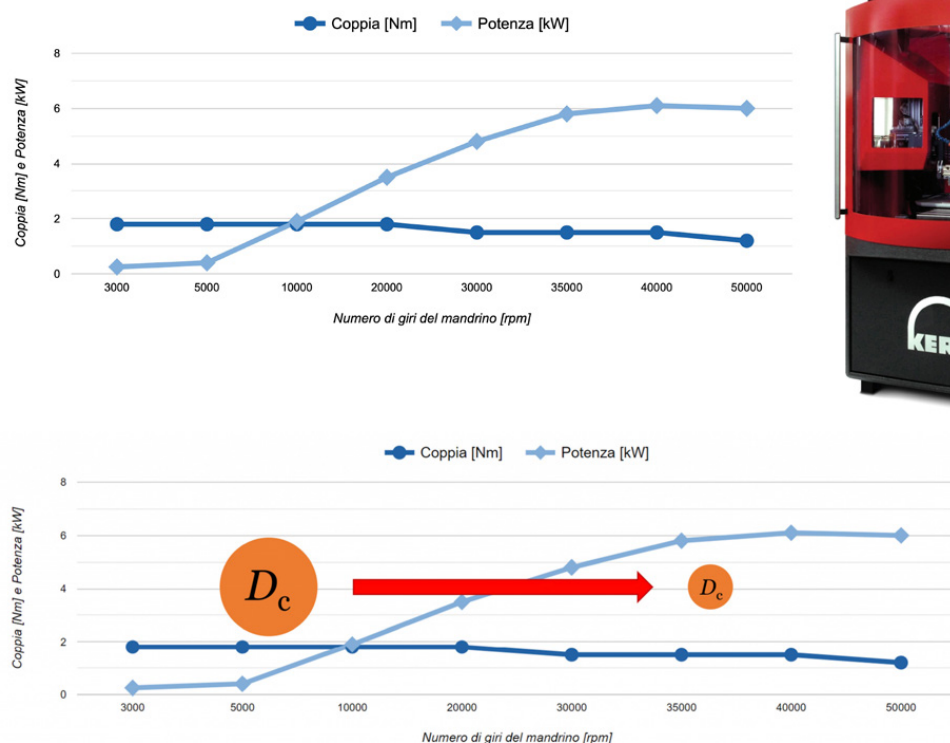
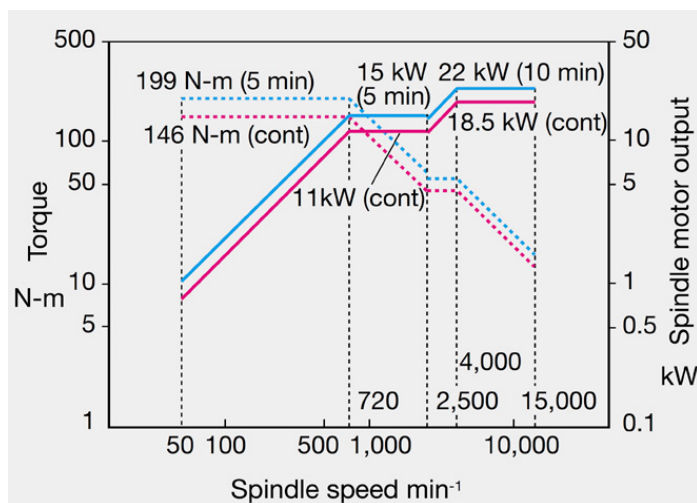


Figura 5: A parità di v_c , il legame tra diametro della fresa D_c e numero di giri n è definito (v. Figura 5) per cui se n aumenta, D_c deve diminuire



Figura 6: Velocità di avanzamento v_f e profondità di passata assiale a_p e radiale a_e

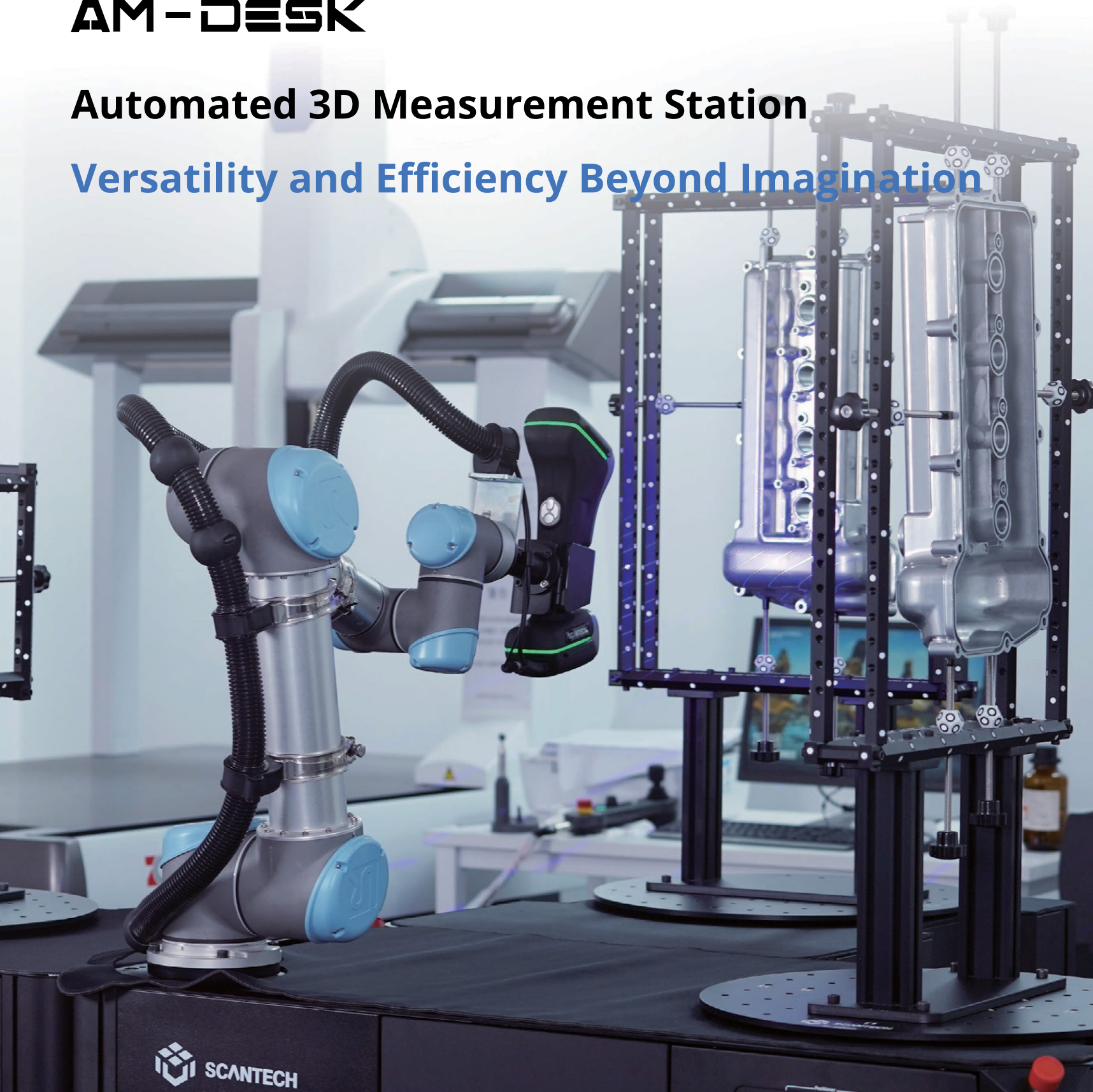
Figura 7: Diagramma di coppia e potenza del centro di lavoro Okuma Genos M460



AM-DESK

Automated 3D Measurement Station

Versatility and Efficiency Beyond Imagination



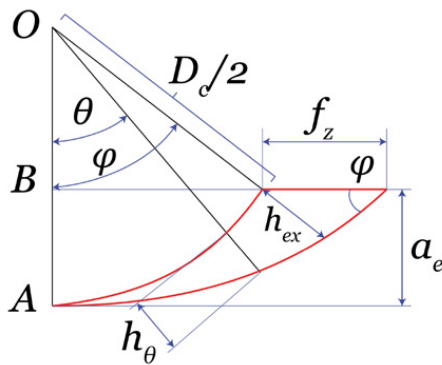


Figura 8: Grafico e formule utili per il calcolo della forza di taglio in fresatura

Angolo di impegno della fresa:

$$\cos(\varphi) = \frac{\frac{D_c}{2} - a_e}{\frac{D_c}{2}} = \frac{D_c - 2a_e}{D_c} = 1 - \frac{2a_e}{D_c}$$

Approccio allo spessore di truciolo massimo:

$$h_{ex} = f_z \sin(\varphi)$$

$$k_{c,ex} = k_{c1} h_{ex}^{-x} \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

$$F_{c,ex} = k_{c,ex} A_D = k_{c,ex} h_{ex} a_p$$

Approccio allo spessore di truciolo medio:

$$h_m = \frac{2f_z a_e}{\phi D_c}$$

$$k_{c,m} = k_{c1} h_m^{-x} \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

$$F_{c,m} = k_{c,m} A_D = k_{c,m} h_m a_p$$

k_{c1} : Pressione di taglio di riferimento (N/mm²)

x : Coefficiente del materiale dell'utensile (ad es. $x = 0,25$)

$k_{re} = 90^\circ$ (fresa a candela)

Figura 9: Calcolo della forza di taglio in fresatura basato sullo spessore medio di truciolo

glio. a_e gioca un ruolo sullo spessore massimo del truciolo h_{ex} tramite l'angolo di impegno della fresa. h_{ex} può essere usato per calcolare la forza di taglio massima secondo il metodo della pressione di taglio (fig.8).

Il riquadro rosso nella Figura 8 mostra come l'angolo di spoglia frontale θ (Figura 3) giochi un ruolo sulla pressione di taglio. Come noto, quando θ aumenta, l'azione di taglio richiede una forza minore. In alcuni casi, un valore rappresentativo medio della forza di taglio deve essere calcolato per un certo angolo di impegno della fresa. Lo spessore di truciolo medio h_m può essere calcolato come indicato nella Figura 9. h_m poi può essere usato per calcolare la corrispondente pressione di taglio e forza di taglio.

Coppia di taglio, potenza e deflessione utensile

Quando vale l'ipotesi che un solo tagliente sia impegnato nell'arco in presa della fresa, valido per esempio quando la fresa ha soltanto due taglienti, possiamo usare semplici formule per calcolare la coppia e la potenza di taglio. Come spiegato nella sezione precedente, ci riferiamo allo spessore di truciolo medio h_m e allo spessore massimo di truciolo h_{ex} . Possiamo quindi calcolare la potenza richiesta P_c mediante le formule seguenti.

Se consideriamo il momento d'inerzia J della fresa considerandola come un cilindro pieno, possiamo anche calcolare la massima freccia di deformazione alla sua estremità d in funzione

della lunghezza fuori pinza L , che ci permette di stimare l'errore sul pezzo dovuto alla deflessione della fresa. Come ben noto, la lunghezza fuori pinza della fresa deve essere mantenuta più piccola possibile per ridurre tale errore. Le formule che abbiamo visto in questo articolo potrebbero scoraggiare il tecnologo, ma per fortuna, come già detto in precedenza, esistono sul mercato software come CGTech Vericut in grado di eseguire questi calcoli per un intero percorso utensile e persino per lavorazioni a 5 assi. Nel sito PoliMill si trovano altre lezioni online inerenti al Digital Machining e alle forze di taglio nelle zone critiche del percorso utensile (2).

$$M_{c,m} = F_{c,m} \frac{D_c}{2}$$

$$M_{c,ex} = F_{c,ex} \frac{D_c}{2}$$

$$P_c = F_c v_c$$

$$J = \frac{\pi D_c^4}{64}$$

$$d = \frac{F_c L^3}{3EJ}$$

Riferimenti bibliografici

- 1) Sito PoliMill, Digital Machining, Curva di coppia e Potenza, consultato il 11/02/2024, <https://www.polimill.polimi.it/I1-004/>
- 2) Sito PoliMill, Digital Machining, consultato il 12/02/2024, <https://www.polimill.polimi.it/digital-machining/>