

1 Parametri di taglio nella tornitura

Riprendiamo il concetto di velocità di taglio introdotto nel corso del 1° volume, in modo da approfondirlo in relazione alle principali lavorazioni alle macchine utensili.

Ulteriore scopo della trattazione è quello di orientarsi nella scelta dei vari parametri di taglio della lavorazione, di cui la velocità di taglio costituisce senz'altro il termine più importante. Da una corretta scelta dei parametri di taglio per ogni lavorazione dipendono la qualità e la precisione del pezzo prodotto, nonché la migliore utilizzazione economica della macchina (tabella 3.17).

Tabella 3.17 Terminologia e simboli nella lavorazione di tornitura

Diametro di lavorazione	D	mm
Velocità del mandrino	n	giri/min
Velocità di taglio	V_c	m/min
Tempo di lavorazione	t	min
Volume di truciolo asportato	Q	mm ³ /min
Lunghezza di lavorazione	l	mm
Potenza utile	P_u	kW
Potenza effettiva	P_e	kW
Forza di taglio specifica	K_s	N/mm ²
Spessore del truciolo	s	mm
Avanzamento per giro	f	mm/giro
Velocità di avanzamento	V_f	mm/min
Profondità di taglio	p	mm

1.1 Velocità di taglio

Si intende per *velocità di taglio* di una lavorazione sul tornio la massima velocità periferica dei punti P del pezzo a contatto con l'utensile (figura 3.116).

Si ha la formula:

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n$$

dove:

- V_c = velocità di taglio in metri al minuto (m/min);
- D = diametro del pezzo in lavorazione in metri (m);
- n = numero dei giri al minuto del pezzo in lavorazione (giri/min).

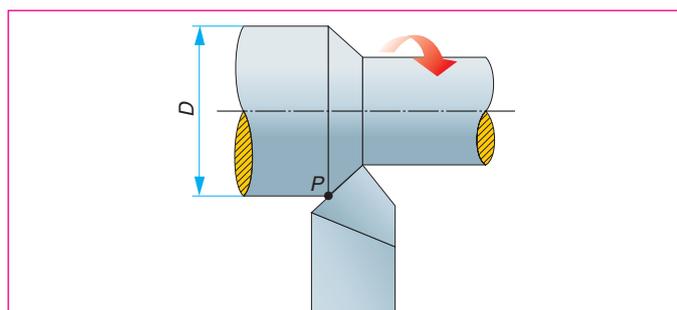


Figura 3.116 Velocità di taglio sul tornio.

Volendo esprimere il numero di giri al minuto in funzione della velocità di taglio la formula diventa:

$$n = \frac{V_c}{\pi \cdot D} \text{ giri/min.}$$

Per introdurre nella equazione precedente il valore del diametro espresso in millimetri, come è di regola in officina, le formule diventano le seguenti:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}; \quad n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} \text{ giri/min.}$$

In altre parole: qual è il numero di giri corretto da impostare sul tornio, noti la velocità di taglio e il diametro di lavorazione? La formula precedente permette di risolvere questo problema.



ESEMPIO

Determinare il corretto regime di rotazione del mandrino n , noti la velocità di taglio pari a 80 m/min e il diametro di lavorazione pari a 50 mm. La soluzione è:

$$n = \frac{1000 V_c}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 80}{\pi \cdot 50} = 510 \text{ giri/min.}$$

Diagramma polare

La relazione $n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot D$ può essere rappresentata graficamente con una retta in un riferimento cartesiano che ha per ascissa il diametro D e per ordinata la velocità di taglio V_c . Un diagramma di questo genere è detto **diagramma polare**.

Questo diagramma permette di determinare immediatamente il valore di n senza dovere eseguire alcun calcolo.

Il diagramma deve essere costruito per ogni tipo di tornio perché è tracciato secondo la gamma dei suoi numeri di giri e secondo il massimo diametro del pezzo che il tornio stesso può lavorare (figura 3.117).

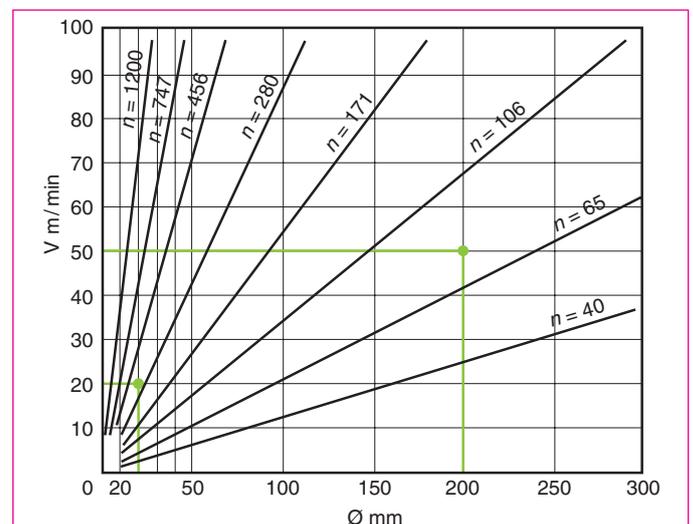


Figura 3.117 Diagramma polare di un tornio.



ESEMPI

Esempi di lettura del diagramma polare

1) Si deve tornire di finitura esternamente un cilindro di ghisa dolce del diametro di 200 mm con un utensile di acciaio rapido. Quale deve essere il numero di giri del mandrino?

Dalla tabella delle velocità di taglio si ha $V = 50$ m/min. Il punto di incontro della ascissa 200 con la ordinata 50 cade tra le rette $n = 106$ ed $n = 65$; si sceglie quest'ultimo numero di giri.

2) Si deve alesare con alesatore a denti un foro del diametro di 25 mm in un pezzo di ottone; quale deve essere il numero di giri del mandrino?

Dalla tabella delle velocità di taglio si ha $V = 20$ m/min. Il punto di incontro della ascissa 25 con la ordinata 20 cade tra le rette $n = 280$ ed $n = 171$; si sceglie quest'ultimo numero di giri.

Diagramma logaritmico

I diagrammi logaritmici sono diagrammi sulle cui coordinate le grandezze che interessano (nel nostro caso le velocità di taglio sulle ascisse e i diametri del pezzo sulle ordinate) sono riportate secondo una scala che corrisponde alla graduazione del regolo calcolatore, detta *scala logaritmica*.

In questi diagrammi le rette rappresentanti i numeri di giri sono tra loro parallele.

Si procede alla lettura della grandezza cercata come nel diagramma polare.

Gli esempi di lettura relativi al diagramma polare valgono anche per il diagramma logaritmico di figura 3.118, purché si sostituisca la parola ascissa con ordinata e viceversa.

Sia il diagramma polare che quello logaritmico sono semplici traduzioni grafiche della relazione matematica che lega n , V_c e D ; non sono quindi di nessuna utilità per la scelta della V_c più opportuna, la quale si determina, come abbiamo visto, mediante tabelle o formule analitiche appropriate.

La scelta della velocità di taglio V_c dipende da numerosi fattori, tra i quali:

- qualità del materiale del pezzo in lavorazione;
- qualità del materiale dell'utensile;
- tipo di lavorazione da eseguire:
 - a) tornitura esterna, troncatura, filettatura ecc;
 - b) sgrossatura/finitura;
- sezione del truciolo;
- potenza disponibile;
- presenza di lubrificante/refrigerante;
- finitura della superficie da ottenere.

Come si vede la velocità di taglio dipende da un grande numero di fattori. Per facilitare la scelta di V per una data lavorazione sono stati sviluppati due metodi.

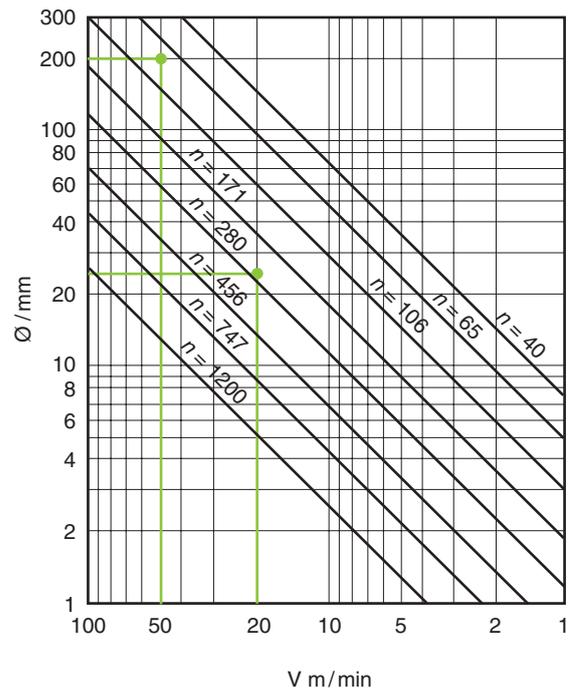


Figura 3.118 Diagramma logaritmico di un tornio.

Tabelle

Le tabelle sono di utilizzo più immediato, semplici da usare, ma anche meno precise in quanto tengono conto di un numero limitato di variabili (nel nostro caso tre: materiale dell'utensile, materiale in lavorazione e tipo di lavorazione). In genere queste tabelle sono sviluppate e messe a disposizione degli utenti da parte delle stesse aziende produttrici di utensili.

Formule analitiche

Elaborate sperimentalmente, le formule analitiche possono tenere conto di un numero maggiore di fattori rispetto alle tabelle; presentano di contro una minore immediatezza, in quanto necessitano di una fase di calcolo.

1.2 Velocità medie di taglio

Le tabelle d'officina delle velocità di taglio forniscono i valori medi a causa del grande numero di fattori da cui dipende la scelta della velocità (tabella 3.18).

Nelle tabelle sono riportati i diversi valori delle velocità di taglio in metri al minuto, a seconda del materiale del pezzo, del tipo di lavorazione e del materiale dell'utensile impiegato.

I valori delle velocità assunti di volta in volta vanno sostituiti nella formula

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

per avere il numero di giri che il pezzo in lavorazione deve compiere in un minuto.

Nel caso che per il tornio a disposizione non sia previsto l'esatto numero di giri richiesto dall'operazione, si sceglierà tra i numeri di giri a disposizione il numero immediatamente inferiore a quello calcolato, per prudenza.

Tabella 3.18

Materiale utensile HS = acciaio rapido HSS = acciaio super-rapido W = placchetta di metallo duro	Tornire interno		Profilare		Troncare	Alesare con alesatore	Filettare con utensile	Filettare	Maschiare	Forare	Tornire esterno			finitura				
	sgrossatura e finitura		larghezza media 15 mm									sgrossatura			finitura			
	HS	W	HS	W	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HSS	HS	HSS	W	HS	HSS	W	
Acciaio extradolce	40	70	70	100	45	95	50	15	15	20	7	35	60	90	100	80	120	150
Acciai duri	25	40	50	95	50	70	30	9	8	18	6	31	35	50	95	45	70	120
Acciai extraduri	20	30	40	65	18	55	25	8	6	10	5	23	30	40	65	40	50	80
Acciai bonificati	15	18	35	60	15	50	20	7	5	8	4	20	20	25	60	30	35	70
Ghisa dolce	30	40	65	90	25	80	30	14	7	10	6	22	40	60	90	50	70	100
Ghisa dura	15	20	40	60	18	55	18	8	6	8	4	20	20	40	60	30	55	70
Rame-Bronzo B14	35	45	80	160	30	100	40	14	11	16	9	50	45	65	165	60	90	260
Ottone	75	100	100	220	55	200	80	20	15	20	10	85	100	200	220	200	300	350
Alluminio	150	200	300	400	150	300	150	30	24	30	15	175	200	300	400	300	500	600

Le tabelle 3.19 e 3.20, a pagina seguente sono estremamente semplici e conservano una certa utilità solo per un uso didattico, cioè per esercitazioni in aula e in officina, facendo uso di utensili di qualità media.

Nelle tabelle 3.21 a pagina 4, 3.22, 3.23 a pagina 5, pubblicate da una nota casa del settore, sono invece riportati i dati di taglio consigliati dal fabbricante per inserti in metallo duro rivestito: come si può vedere i valori sono considerevolmente più alti.

Tabella 3.19 Velocità di taglio consigliate. I valori si riferiscono ad operazioni eseguite con liquido refrigerante

ISO	No. CMC	Materiale	RESISTENZA ALL'USURA				TENACITÀ			
			CT5005	CT5015	GC1525	GC4005	GC4015	GC4025	GC4035	
			$h_{ex}, \text{mm} \approx \text{avanzamento}, f_n, \text{mm/giro a } \kappa_r, 90^\circ-95^\circ$ 0,05 - 0,1 - 0,2 0,05 - 0,1 - 0,2 0,05 - 0,1 - 0,2 0,1 - 0,4 - 0,8 0,1 - 0,4 - 0,8 0,1 - 0,4 - 0,8 0,1 - 0,4 - 0,8							
			Velocità di taglio, v_c m/min							
P	01.1 01.2 01.3	Acciaio non legato	730 - 590 - 485	650 - 540 - 440	560 - 465 - 380	590 - 430 - 315	540 - 390 - 285	485 - 330 - 230	405 - 260 - 190	
		C = 0,1-0,25%	650 - 530 - 420	570 - 480 - 385	495 - 415 - 335	530 - 385 - 280	485 - 350 - 255	430 - 290 - 205	365 - 235 - 170	
		C = 0,25-0,55%	- - -	510 - 425 - 340	430 - 365 - 295	510 - 365 - 265	460 - 330 - 240	405 - 275 - 195	345 - 220 - 160	
	02.1 02.12 02.2 02.2	Acciaio debolmente legato (elementi leganti ≤ 5%)	530 - 450 - 360	480 - 400 - 320	375 - 320 - 255	580 - 390 - 270	530 - 355 - 245	435 - 290 - 205	285 - 175 - 130	
		Non trattato	- - -	- - -	- - -	510 - 335 - 235	460 - 305 - 215	380 - 255 - 180	250 - 155 - 110	
		Acciaio per cuscinetti	395 - 325 - 250	285 - 235 - 190	200 - 165 - 135	315 - 220 - 165	285 - 200 - 150	285 - 200 - 155	175 - 115 - 80	
		Bonificato	320 - 260 - 200	230 - 190 - 150	160 - 135 - 110	250 - 175 - 135	230 - 160 - 120	230 - 160 - 125	140 - 90 - 65	
	03.11 03.21	Acciaio fortemente legato (elementi leganti > 5%)	- - -	395 - 330 - 250	260 - 215 - 175	425 - 280 - 205	385 - 255 - 190	285 - 195 - 145	225 - 145 - 100	
		Ricotto	- - -	195 - 165 - 130	145 - 115 - 90	210 - 135 - 100	190 - 120 - 90	130 - 90 - 70	105 - 65 - 45	
	06.1 06.2 06.3	Getti di acciaio	- - -	260 - 215 - 175	225 - 185 - 145	320 - 225 - 175	285 - 205 - 160	230 - 170 - 125	175 - 130 - 95	
Non legato		- - -	270 - 225 - 170	175 - 145 - 105	275 - 195 - 150	250 - 175 - 135	200 - 135 - 95	155 - 95 - 65		
Debolmente legato (elementi leganti ≤ 5%)		- - -	200 - 165 - 125	140 - 115 - 85	210 - 145 - 110	195 - 130 - 100	175 - 120 - 85	135 - 90 - 65		
		Fortemente legato (elementi leganti > 5%)	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -		

ISO	No. CMC	Materiale	Forza di taglio specifica k_c 0,4	Durezza Brinell	RESISTENZA ALL'USURA				TENACITÀ	
					GC1025	GC2015	GC2025	GC2035	GC2035	
					h_{ex} mm \approx avanzamento, f_n mm/giro a κ_r 90°-95°				h_{ex} mm \approx avanzamento, f_n mm/giro a κ_r 90°-95°	
					0,2 - 0,4 - 0,8	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6	
					Velocità di taglio, v_c m/min				Velocità di taglio, v_c m/min	
M			N/mm ²	HB						
	05.11	Acciaio inossidabile	2300	200	280 - 215 - 170	260 - 220 - 200	230 - 175 - 135	180 - 160 - 130	130 - 110 - 90	
	05.12	- in Barre/Forgiato	3550	330	135 - 125 - 100	125 - 100 - 80	110 - 70 - 50	85 - 65 - 45	70 - 55 - 45	
	05.13	Ferritico/martensitico	2850	330	165 - 135 - 120	145 - 120 - 85	120 - 80 - 55	95 - 70 - 50	75 - 60 - 50	
	05.21	Acciaio inossidabile	2300	180	265 - 220 - 170	290 - 240 - 190	220 - 160 - 120	170 - 145 - 115	115 - 100 - 85	
	05.22	- in Barre/Forgiato	3550	330	155 - 125 - 100	130 - 100 - 80	110 - 70 - 55	85 - 65 - 45	70 - 55 - 40	
	05.23	Austenitico	2950	300	185 - 160 - 130	160 - 135 - 100	130 - 100 - 75	100 - 90 - 70	85 - 70 - 60	
	05.51	Acciaio inossidabile	2550	230	210 - 170 - 130	220 - 185 - 145	190 - 150 - 110	160 - 135 - 105	105 - 95 - 80	
	05.52	- in Barre/Forgiato	3050	260	190 - 140 - 110	190 - 150 - 120	150 - 120 - 90	130 - 110 - 85	95 - 80 - 70	
		Austeno-ferritico (Duplex)								
	15.11	Acciaio inoss. - fuso	2100	200	265 - 220 - 170	250 - 210 - 170	220 - 160 - 120	170 - 145 - 115	115 - 100 - 85	
	15.12	Ferritico/martensitico	3150	330	135 - 110 - 80	100 - 70 - 55	95 - 55 - 40	70 - 50 - 40	60 - 45 - 35	
	15.13		2650	330	145 - 120 - 90	110 - 90 - 60	100 - 60 - 45	75 - 60 - 50	65 - 50 - 40	
	15.21	Acciaio inoss. - fuso	2200	180	235 - 180 - 150	220 - 180 - 140	190 - 135 - 100	150 - 120 - 95	100 - 90 - 75	
	15.22	Austenitico	3150	330	135 - 110 - 80	105 - 80 - 60	95 - 55 - 40	70 - 50 - 40	65 - 45 - 33	
15.23		2700	200	175 - 150 - 125	145 - 115 - 95	130 - 90 - 65	100 - 80 - 60	80 - 65 - 55		
15.51	Acciaio inoss. - fuso	2250	230	190 - 140 - 100	185 - 150 - 135	150 - 120 - 90	130 - 110 - 85	95 - 80 - 70		
15.52	Austeno-ferritico (Duplex)	2750	260	170 - 130 - 90	160 - 140 - 105	125 - 105 - 80	105 - 95 - 75	90 - 75 - 65		

Tabella 3.20 Velocità di taglio consigliate. I valori si riferiscono ad operazioni eseguite con liquido refrigerante

Tabella 3.21 Velocità di taglio consigliate. I valori si riferiscono ad operazioni eseguite con liquido refrigerante

ISO	No. CMC	Materiale	Forza di taglio specifica k_c 0,4	Durezza Brinell	RESISTENZA ALL'USURA			TENACITÀ	
					GC3205	GC3210	GC3215	GC3215	
					h_{ex} mm \approx avanzamento, f_n mm/giro a κ_r 90°-95°			h_{ex} mm \approx avanzamento, f_n mm/giro a κ_r 90°-95°	
					0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6	0,2 - 0,4 - 0,6	
			N/mm ²	HB	Velocità di taglio, v_c m/min				
K	07.1	Ghisa malleabile	940	130	460 - 380 - 325	385 - 315 - 265	260 - 215 - 185		
	07.2		1100	230	375 - 310 - 265	315 - 255 - 215	210 - 175 - 150		
	08.1	Ghisa grigia	1100	180	530 - 435 - 375	445 - 360 - 305	300 - 250 - 210		
	08.2		1150	220	425 - 350 - 300	355 - 290 - 245	240 - 200 - 170		
	09.1	Ghisa nodulare tipo GS	1050	160	390 - 330 - 275	360 - 305 - 250	240 - 195 - 165		
	09.2		1750	250	350 - 300 - 250	325 - 275 - 225	215 - 175 - 150		
	09.3		2700	360	265 - 225 - 190	245 - 210 - 170	165 - 135 - 115		

Tabella 3.22 Velocità di taglio consigliate

ISO	No. CMC	Materiale	Forza di taglio specifica k_c 0,4	Durezza Brinell	GC6050		
					h_{ex} , mm \approx avanzamento, f_n mm/giro a κ_r 90°-95°		
			N/mm ²	HRC	0,05	0,15	0,25
H	04.1	Acciaio molto duro	3250	45	290	235	175
			3950	50	240	195	145
			4700	55	200	165	120
			5550	60	170	140	105
			6450	65	145	120	90

H = Materiali temprati

Tabella 3.23 Velocità di taglio consigliate. I valori si riferiscono ad operazioni eseguite con liquido refrigerante

ISO	No. CMC	Materiale	1810	H10
			Avanzamento, mm/giro	
			0,25- 2,0	0,20- 2,5
N	30.12	Leghe di alluminio		
		Lavorate plasticamente o lavorate plasticamente ed invecchiate	2000 (2500 - 150) ¹⁾	2000 (2500 - 150) ¹⁾
Materiali non ferrosi	30.22	Leghe di alluminio		
		Fuse o fuse ed invecchiate	2000 (2500 - 150) ¹⁾	2000 (2500 - 150) ¹⁾

¹⁾ Le velocità di taglio, riportate nella tabella, sono valide per tutti gli avanzamenti nel relativo campo.

1.3 Avanzamento e velocità di avanzamento

Si intende per *avanzamento* nella tornitura il valore della distanza percorsa dall'utensile per ogni giro del pezzo in lavorazione.

È difficile fissare i valori esatti dell'avanzamento per ogni tipo di lavorazione, dato il grande numero di fattori da cui dipende. Vengono quindi dati dei valori limite entro i quali l'operatore sceglierà, in base all'esperienza, il valore esatto di cui servirsi.

Nella tabella 3.24 sono indicati i limiti entro i quali vanno tenuti i valori degli avanzamenti in relazione alla qualità del materiale e al genere di lavorazione, impiegando utensili in acciaio rapido.

Tabella 3.24

	Tornire esterno		Tornire interno		Formare	Troncare
	Sgrossatura	Finitura	Sgrossatura	Finitura		
Acciaio dolce	0,1-0,4	0,05-0,2	0,05-0,3	0,05-0,2	0,02-0,05	0,05-0,1
Acciaio duro	0,1-0,4	0,05-0,25	0,05-0,3	0,05-0,2	0,02-0,05	0,05-0,1
Acciaio extraduro	0,1-0,4	0,05-0,2	0,05-0,3	0,05-0,2	0,02-0,05	0,05
Acciaio trattato	0,1-0,4	0,05-0,2	0,05-0,3	0,05-0,2	0,02-0,05	0,05
Ghisa dolce	0,1-0,8	0,05-0,2	0,05-0,6	0,05-0,2	0,02-0,05	0,05-0,1
Ghisa dura	0,1-0,6	0,05-0,25	0,05-0,5	0,05-0,2	0,02-0,05	0,02-0,05
Rame-bronzo	0,1-0,6	0,05-0,25	0,05-0,5	0,05-0,025	0,02-0,05	0,05-0,1
Ottone	0,1-0,8	0,05-0,25	0,05-0,6	0,05-0,2	0,02-0,1	0,05-0,2
Alluminio	0,1-0,8	0,05-0,25	0,05-0,4	0,05-0,2	0,05-0,2	0,05-0,3

Per normali lavori di sgrossatura si assume il valore dell'avanzamento in funzione della profondità di passata secondo i limiti inferiore e superiore, dati dalle soluzioni delle formule (figura 3.119):

$$f = \frac{P}{6} \quad \text{e} \quad f = \frac{P}{10}$$

Si intende per *velocità di avanzamento* nella tornitura la velocità con cui l'utensile si sposta durante la lavorazione nella direzione dell'avanzamento. Si ha:

$$V_f = f \cdot n$$

Da notare che V_f è dimensionalmente una velocità, cioè spazio su tempo, mentre l'avanzamento f è una lunghezza.

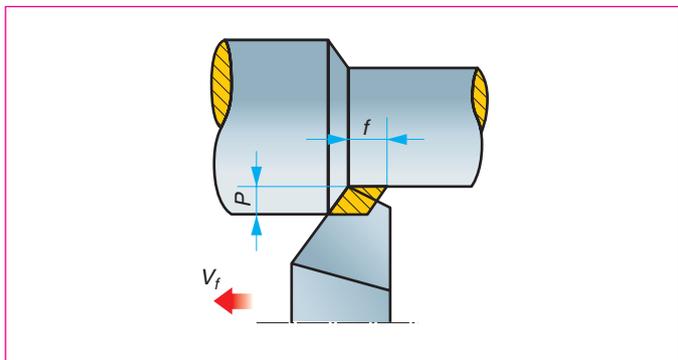


Figura 3.119 Valore di avanzamento e profondità di passata.

In officina è consuetudine esprimere V_f in millimetri al minuto e f in millimetri al giro, anche se le unità non fanno parte ovviamente del SI.

2 Tempi di lavorazione al tornio

Come per ogni lavorazione su macchina utensile è utile, per ragioni di produzione e di programmazione del lavoro, conoscere il tempo necessario per eseguire una qualsiasi lavorazione sul tornio.

Nelle officine di produzione viene assegnato il tempo per ogni lavorazione che l'operatore deve eseguire.

Il tempo viene calcolato a decorrere dalla consegna all'operatore del disegno e del materiale, fino alla riconsegna dei pezzi finiti.

L'unità di tempo per ogni lavorazione su macchina utensile è il minuto primo suddiviso in centesimi di minuto.

Si distinguono tre fasi di tempo: tempo di preparazione, tempo di manovra, tempo principale.

1.4 Refrigerazione

Nelle lavorazioni al tornio dei vari metalli si impiega un abbondante getto di liquido nella zona in cui avviene l'asportazione del truciolo, fatta eccezione per la ghisa.

L'impiego del refrigerante durante l'asportazione del truciolo risponde a diverse esigenze:

- refrigerare l'utensile evitando un eccessivo aumento della temperatura e aumentando così la durata del tagliente;
- lubrificare le superfici di strisciamento del truciolo, dell'utensile e del pezzo al fine di ridurre la perdita di potenza della macchina per effetto dell'attrito;
- migliorare la finitura delle superfici lavorate;
- eliminare dalla zona di taglio i piccoli trucioli e i detriti di lavorazione.

1.5 Olii da taglio

I liquidi impiegati nella refrigerazione sono chiamati *olii da taglio*. I principali olii da taglio sono:

Olii solubili

Gli *olii solubili* o emulsionabili vengono mescolati con acqua, con la quale formano una emulsione; sono impiegati più per la loro funzione refrigerante che per quella lubrificante. Sono di impiego generale.

Olii minerali

Gli *olii minerali* vengono usati puri e hanno una funzione prettamente lubrificante e antiadesiva. Si usano particolarmente per la lavorazione degli acciai.

2.1 Tempo di preparazione

Il *tempo di preparazione* è il tempo occorrente per leggere e studiare il disegno e per preparare la macchina per eseguire il lavoro assegnato.

Il tempo di preparazione è indipendente dal numero dei pezzi che dovranno essere prodotti e viene conteggiato una sola volta. Questa preparazione precede la lavorazione vera e propria dei pezzi.

I tempi di preparazione non si possono calcolare, ma soltanto rilevare direttamente alle macchine per mezzo di cronometraggio.

I tempi delle normali operazioni di preparazione, per ciascun tipo di macchina, sono riportati in apposite tabelle.

Le voci contenute in queste tabelle sono, per esempio: prendere e posare la cassetta degli accessori, montare e smontare il **mandrino autocentrante**, montare e smontare griffe dolci, montare e smontare utensile su portautensile, preparare un blocchetto di arresto ecc.

2.2 Tempo di manovra

Il *tempo di manovra* è il tempo occorrente per compiere sulla macchina preparata tutte quelle azioni che sono necessarie a mettere gli utensili in grado di eseguire il lavoro.

Per una serie di pezzi da costruire il tempo di manovra è computato per ciascun pezzo.

I tempi delle normali azioni di manovra, per ciascun tipo di macchina, sono riportati in apposite tabelle.

Le voci contenute in queste tabelle sono, per esempio: fissare il pezzo in mandrino autocentrante senza centrare il pezzo, centrare il pezzo con comparatore, fissare e togliere il pezzo fra le punte, cambiare velocità, avviare e fermare la macchina, controllare con calibro, cambiare l'utensile, mettere in posizione il refrigerante, innestare e disinnestare l'avanzamento ecc.

2.3 Tempo principale

Il *tempo principale* è il tempo che l'utensile impiega a eseguire un'assegnata operazione, cioè il tempo in cui si ha l'asportazione del truciolo.

Il tempo principale viene calcolato su una passata di tornitura e poi moltiplicato per le diverse passate, se eseguito nelle medesime condizioni della precedente.

2.4 Calcolo del tempo principale

La formula che dà il tempo di una passata di tornitura, di qualunque genere essa sia (tornitura esterna, interna, formatura, foratura ecc.), è la seguente:

$$T = \frac{L}{f \cdot n} = \frac{L}{V_f}$$

dove:

T = tempo di una passata in minuti primi;

L = corsa dell'utensile in mm;

f = avanzamento in mm per giro;

n = numero di giri del pezzo al minuto primo.



ESEMPIO

Calcolare il tempo richiesto per sgrossare esternamente, con profondità di passata di 2 mm, un tratto cilindrico lungo 200 mm di un pezzo di acciaio extradolce del diametro di 40 mm, con utensile di acciaio rapido.

I dati ci permettono di ricavare, dalle tabelle delle velocità di taglio, $V = 80 \text{ m/min}$.

Il numero di giri del pezzo è allora:

$$n = \frac{1000 V_c}{\pi \cdot D} = \frac{80\,000}{3,14 \times 40} = \sim 640 \text{ giri/min.}$$

L'avanzamento, come risulta dalla tabella è:

$$f = 0,3 \text{ mm/giro.}$$

Si ha allora:

$$T = \frac{200}{0,3 \times 640} = \sim 1 \text{ min.}$$

In questo esempio non si è tenuto conto del numero di giri possibili del mandrino per il tornio a disposizione. Supposto che il tornio ammetta i seguenti numeri di giri:

40 – 65 – 106 – 171 – 280 – 456 – 747 e 1200,

il lavoro dovrà essere eseguito a 456 giri/min, che è quello immediatamente inferiore al numero di giri calcolato.

Il tempo sarà pertanto:

$$T = \frac{200}{0,3 \times 456} = 1,46 \text{ min,}$$

ossia 1 minuto e 46 centesimi di minuto.

2.5 Calcolo della produzione oraria di truciolo

Se nella figura 3.120 p , f e V_c sono la profondità di passata, l'avanzamento e la velocità di taglio, la produzione oraria di truciolo Q è la seguente:

$$Q = V_c \cdot f \cdot p \cdot 10^{-6} \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

Infatti, per il 2° teorema di Guldino, il volume che si genera al minuto è dato dal prodotto della velocità con cui si stacca il nastro per la sua sezione trasversale di area $q = f \cdot p \text{ (mm}^2\text{)}$.

Se si conosce la riduzione di volume a ogni passata e la produzione oraria di truciolo è possibile dedurre il tempo principale. Si ha infatti:

$$T = \text{volume di truciolo asportato} / V_c \cdot f \cdot p \cdot 10^{-6} \text{ min.}$$

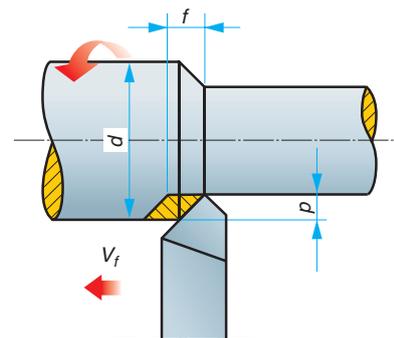


Figura 3.120 Produzione oraria di truciolo e suo calcolo.

3 Utilizzazione economica del tornio

Per potere decidere quale utilizzazione del tornio risulta più economica occorre valutare la potenza necessaria per eseguire una certa lavorazione.

Per *potenza* si intende il lavoro compiuto nella unità di tempo.

Per *lavoro meccanico del tornio* si intende il prodotto della forza che l'utensile esercita per tagliare il truciolo, moltiplicata per lo spostamento dell'utensile lungo il pezzo, cioè per la lunghezza del truciolo asportato.

L'utensile, il materiale in lavorazione, il tipo di macchina e il tipo di lavorazione sono i principali fattori che influiscono sulla migliore utilizzazione del tornio.

3.1 Forza di taglio

Si intende per *forza di taglio* F_t la forza che è necessario imprimere all'utensile per tagliare il truciolo.

La forza F_t dipende dalla sezione del truciolo asportato e dalla qualità del materiale in lavorazione.

L'unità di misura delle forze nel sistema internazionale (SI) è il newton (N).

3.2 Sezione del truciolo

Si intende per *sezione del truciolo* S il prodotto della profondità di passata p per l'avanzamento f , cioè:

$$S = p \cdot f [\text{mm}^2].$$

La forza richiesta è proporzionale alla sezione del truciolo asportato, deve cioè essere tanto maggiore quanto maggiore è la sezione del truciolo (figura 3.121).

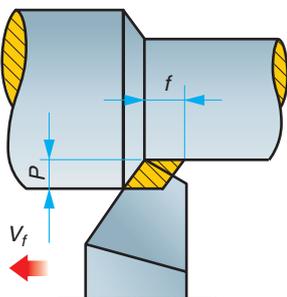


Figura 3.121 Schema della sezione del truciolo.

3.3 Qualità del materiale

La qualità del materiale ha influenza nella determinazione della forza da imprimere all'utensile in quanto la resistenza che offre dipende dalla sua durezza e tenacità.

3.4 Pressione specifica

Si intende per *pressione specifica di taglio* o *sforzo di taglio specifico* la forza necessaria per staccare un truciolo con sezione di 1 mm^2 . La pressione specifica viene indicata con il simbolo K_s (tabella 3.25).

La pressione specifica è diversa per ogni materiale in lavorazione, come risulta dalla seguente tabella. L'unità di misura della pressione specifica è il N/mm^2 .

Il valore di K_s non è costante, ma dipende dal rapporto tra l'avanzamento e la profondità di passata: f/p .

Con riferimento alla figura 3.122, si ha che quando $f > p$, K_s risulta maggiore di quando $f < p$.

La forza F_t può quindi essere espressa come prodotto della sezione del truciolo S per la pressione specifica K_s :

$$F_t = S \cdot K_s = f \cdot p \cdot K_s$$

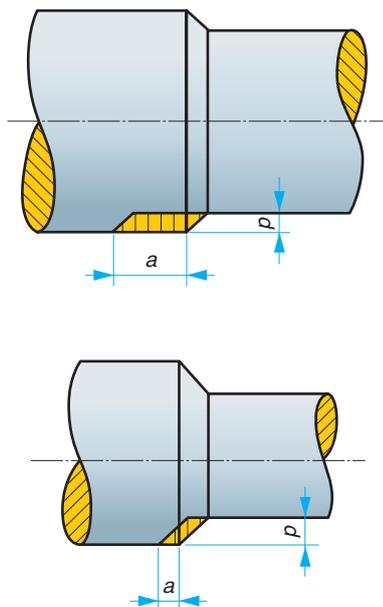


Figura 3.122 Trucioli con diverso rapporto f/p .



ESEMPIO

Determinare il valore della forza di taglio in newton nella seguente lavorazione:

- materiale: acciaio debolmente legato ricotto;
- avanzamento pari a 3 mm;
- passata pari a 0,5 mm.

Dalla tabella: $K_s = 2500 \text{ N/mm}^2$

$$F_t = 3 \cdot 0,5 \cdot 2500 = 3750 \text{ N.}$$

Tabella 3.25 Valori della forza di taglio specifica (K_s) per la gamma dei materiali più comuni

Materiale	Durezza HB	Condizione	K_s 0,4 (N/mm ²)
Acciaio non legato	110	C < 0,25%	2200
	150	C < 0,8%	2600
	310	C < 1,4%	3000
Acciaio debolmente legato	125 – 225	Ricotto	2500
	220 – 420	Bonificato	3000
Acciaio fortemente legato	150 – 300	Ricotto	3000
	250 – 350	Acciaio per utensili bonificato	4500
Acciaio molto duro	> 450	Temprato	4500
Ghisa malleabile	110 – 145	Truciolo corto	1200
	200 – 230	Truciolo lungo	1300
Ghisa grigia	180	Bassa resistenza	1300
	260	Alta resistenza, legata	1500
Ghisa nodulare, tipo GS	160	Ferritica	1200
	250	Perlitica	2100
Getti di acciaio	150	Non legato	2200
	150 – 250	Debolmente legato	2500
	160 – 200	Fortemente legato	3000
Acciaio inossidabile	150 – 270	Ferritico, martensitico, Cr 13 – 25%	2800
	150 – 275	Austenitico, Ni > 8%, Cr 18 – 25%	2450
	275 – 425	Bonificato, martensitico, C > 0,12%	2800
	150 – 450	Acciaio invecchiato	3500
Superleghe resistenti al calore, base Fe	180 – 230	Ricotte o solubilizzate	3700
	250 – 320	Invecchiate o solubilizzate e invecchiate	3900
Superleghe resistenti al calore, base Ni	140 – 300	Ricotte o solubilizzate	3500
	300 – 475	Invecchiate o solubilizzate e invecchiate	4150
	200 – 425	Fuse o fuse e invecchiate	4150
Superleghe resistenti al calore, base Co	180 – 230	Ricotte o solubilizzate	3500
	270 – 320	Solubilizzate e invecchiate	4150
	220 – 425	Fuse o fuse e invecchiate	4150
Leghe di titanio	400 MP _a	Commercialmente puro, 99,5%	1530
	950 MP _a	Leghe α , simili ad α e β , in condizioni ricotte	1875
	1050 MP _a	Leghe α e β in condizioni ricotte, leghe β in condizioni ricotte o invecchiate	1690
Leghe di alluminio	30 – 80	Lavorate plasticamente e trafilate a freddo	800
	75 – 150	Lavorate plasticamente, solubilizzate e invecchiate	800
	40 – 100	Fuse	900
	70 – 125	Fuse, solubilizzate e invecchiate	900
	80	Non legate, Al \geq 99%	400
Alluminio con elevato contenuto di Si		10 – 14% Si	900
		14 – 16% Si	1500

3.5 Lavoro

Il lavoro meccanico è espresso dal prodotto della forza per la lunghezza del truciolo asportato:

$$l = F_t \cdot l.$$

Esprimendo lo spostamento l in metri e la forza F in newton, l'unità di misura del lavoro nel sistema internazionale (SI) è il joule (J).



ESEMPIO

Calcolare il lavoro per asportare 10 m di truciolo con profondità di passata $p = 5$ mm e avanzamento $f = 0,5$ mm/giro, da un pezzo in acciaio dolce.

$$l = F_t \cdot l = S \cdot K_s \cdot l = f \cdot p \cdot K_s \cdot l = 5 \times 0,5 \times 1960 \times 10 = 49\,000 \text{ J.}$$

Per asportare la stessa quantità di truciolo con le stesse condizioni di taglio da un pezzo di avional (lega di alluminio) si ha:

$$l = 5 \times 0,5 \times 980 \times 10 = 24\,500 \text{ J.}$$

3.6 Potenza

Il lavoro compiuto per una certa lavorazione non tiene conto del tempo o durata della lavorazione stessa.

Uno stesso lavoro può infatti essere compiuto in un tempo breve e impiegando una forza notevole, oppure in un tempo lungo impiegando una forza modesta.

Per questa ragione, dal punto di vista di un'utilizzazione economica del tornio, occorre introdurre un'altra misura che tenga conto del tempo, cioè la *potenza*.

Tenendo conto del rendimento della macchina è necessario considerare sia la potenza utile che quella effettiva.

3.7 Potenza utile

Si intende per potenza utile P_u il lavoro eseguito dalla macchina nell'unità di tempo t :

$$P_u = \frac{l}{t}.$$

Poiché $l = F_t \cdot l$

si ha $P_u = \frac{F_t \cdot l}{t}$

ma l/t (in m/s) corrisponde alla velocità di taglio V_t , per cui, concludendo, abbiamo:

$$P_u = F_t \cdot V_c = f \cdot p \cdot K_s \cdot V_c \text{ (W).}$$

Per utilizzare la relazione con V_c espressa in m/min si usa la seguente:

$$P_u = \frac{f \cdot p \cdot K_s \cdot V_c}{60} \text{ (W).}$$

Come sappiamo, nel sistema internazionale (SI) l'unità di misura della potenza è il watt (W) con il suo multiplo il kilowatt (kW), dove $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$.

Spesso si usa come unità di misura della potenza il cavallo vapore CV, equivalente a 736 W, per cui, volendo esprimere la potenza in CV occorre introdurre nella formula precedente il divisore 736:

$$P_u = F_t \cdot V_c \text{ (W)} = \frac{F_t \cdot V_c}{736} \text{ (CV).}$$



ESEMPIO

Calcolare la potenza utile per tornire un albero di acciaio C40 con velocità di taglio $V_c = 50$ m/min, profondità di passata $p = 4$ mm e avanzamento $f = 0,4$ mm/giro.

Poiché la velocità di taglio è espressa in m/min, è necessario dividere per 60 il secondo membro dell'equazione:

$$P_u = \frac{f \cdot p \cdot K_s \cdot V_c}{60} = \frac{0,4 \times 4 \times 2450 \times 50}{60} = 3267.$$

Quando la forza è espressa, invece che in P , in chilogrammi (kg) e il lavoro in chilogrammetri (kgm), la potenza viene espressa in kgm/s. Poiché $1 \text{ kW} = 102 \text{ kgm/s}$, se si vuole conoscere la potenza P_u espressa in kW occorre in questo caso introdurre il divisore 102 nella formula precedente, cioè:

$$P_u = F_t \cdot V_c \text{ (kgm/s)} = \frac{F_t \cdot V_c}{102} \text{ (kW).}$$

3.8 Potenza effettiva

La potenza utile P_u considerata risulta minore della potenza effettiva P_e che il motore deve fornire alla macchina per eseguire una certa lavorazione; infatti bisogna considerare una dispersione di energia a causa degli attriti degli ingranaggi, dei cuscinetti ecc.

Si intende per rendimento della macchina il rapporto tra la potenza utile P_u e quella effettiva P_e : $P_u/P_e = \eta$.

Poiché la potenza effettiva è sempre maggiore di quella utile, il rendimento sarà sempre espresso da un numero minore di 1.



ESEMPIO

Riferendosi all'esempio precedente si ha che, per un rendimento = 0,75, la potenza effettiva del motore deve essere:

$$P_e = \frac{3267}{0,75} = 4356 \text{ W.}$$

3.9 Utilizzazione vantaggiosa del tornio nella sgrossatura e nella finitura

Dalla formula della potenza utile

$$P_u = \frac{f \cdot p \cdot K_s \cdot V_c}{60} \text{ (W)}$$

si vede che P_u non cambia se si raddoppia il valore, per esempio, di p , dimezzando quello della V_c e mantenendo K_s e f costanti.

La scelta della combinazione dei valori più vantaggiosa dipende dal tipo di lavorazione che si intende eseguire.

Come esempi indichiamo le ragioni di questa scelta per la sgrossatura e la finitura.

Sgrossatura

Scopo della *sgrossatura* è asportare nel più breve tempo possibile la maggiore quantità possibile di truciolo. A parità di potenza spesa, ciò si può ottenere o con grande sezione del truciolo asportato e piccola velocità di taglio, oppure con piccola sezione del truciolo e grande velocità di taglio.

Ma la pressione specifica di taglio diminuisce con l'aumentare della sezione del truciolo, perciò la potenza della macchina sarà meglio sfruttata se si lavora con grande

sezione di truciolo e corrispondentemente limitata velocità di taglio.

Inoltre K_s diminuisce anche con l'aumento del rapporto f/p , cioè lavorando con forte avanzamento e limitata profondità di passata.

Si conclude quindi che nelle operazioni di sgrossatura si utilizza meglio la macchina asportando truciolo di grande sezione, a bassa velocità di taglio e con forte avanzamento.

Finitura

Nella *finitura* si vuole produrre una superficie lavorata liscia. Una superficie liscia si ottiene soprattutto con un piccolo avanzamento e con una elevata velocità di taglio.

Un piccolo avanzamento facilita lo scorrimento del truciolo perché questo risulta più sottile. Permette più alte velocità di taglio. Prolunga la durata dell'utensile.

Con alta velocità di taglio il distacco del truciolo è più netto, cioè il materiale è più tagliato che strappato, con il risultato di ottenere una superficie meglio levigata.

Per una buona finitura sono inoltre indispensabili una opportuna lubrificazione e refrigerazione e un tornio capace di elevati numeri di giri e privo di vibrazioni.