

LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

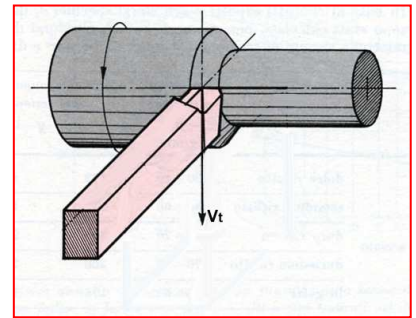
LA FORMAZIONE DEL TRUCIOLO

- Perché si abbia la formazione del truciolo deve esserci un moto relativo utensile – pezzo



Sforzo di compressione dell'utensile sul pezzo

- Il contatto tra l'utensile e il pezzo avviene in corrispondenza dello spigolo tagliente



Essendo la superficie di contatto minima (ricordando che $p = F/S$), la pressione di contatto risulta elevata



Si ha una deformazione plastica localizzata nella zona di contatto



Avviene l'incisione del materiale

- Durante la rotazione del pezzo (nella lavorazione di tornitura) si ha l'avanzamento del pezzo



Avviene il distacco di una porzione di materiale

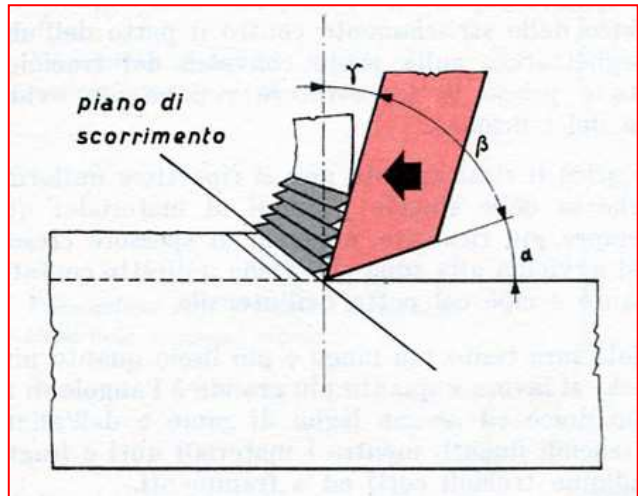


Continuando l'avanzamento dell'utensile si ha il distacco di successive porzioni di materiale

- Si ha infine lo scorrimento del truciolo sul petto dell'utensile.

Il ricalcamento

Durante la lavorazione, per effetto dello sforzo di compressione esercitato dal petto dell'utensile, la porzione di materiale a contatto con la faccia superiore dell'utensile stesso, subisce un **ricalcamento** fino a che, raggiunta una certa deformazione limite, il truciolo è costretto a scorrere secondo un piano di minima resistenza.



Aumentando l'inclinazione dell'angolo di spoglia superiore γ si agevola lo scivolamento del truciolo e diminuisce il ricalcamento.

Il truciolo assume una caratteristica forma seghettata.

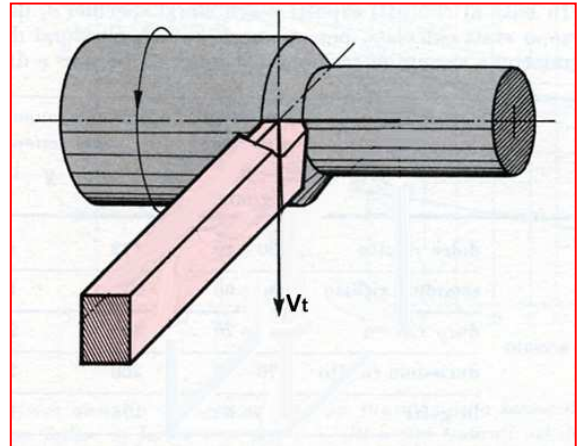
PARAMETRI DI TAGLIO

In una lavorazione per asportazione di truciolo i parametri di taglio sono tre:

- 1) la velocità di taglio
- 2) la profondità di passata
- 3) l'avanzamento per giro

Velocità di taglio

Rappresenta la velocità del movimento che provoca il distacco del truciolo ed è misurata in corrispondenza dello spigolo tagliente dell'utensile. E' indicata col simbolo V_t .



Nel caso di moto rotatorio, essa è in pratica la velocità periferica (o tangenziale) studiata in Fisica:

$$V = 2 \pi r n = \pi D n$$

dove n è il numero di giri ed ha unità di misura m/sec.

Indicando (nel caso della tornitura) con D il diametro del pezzo in mm (il diametro esterno e non quello medio come dovrebbe essere) e volendo l'unità di misura in m/min, l'espressione suddetta, adattata alle necessità della Tecnologia, diviene:

$$V_t = \pi D n / 1000 \text{ [m/min]}$$

Nel caso della fresatura o della trapanatura, D rappresenta il diametro dell'utensile.

Il numero di giri “ n ” è espresso in [giri/min].

N. B.: Nel Sistema Internazionale (SI), l'unità di misura della velocità angolare è il radiante al secondo:

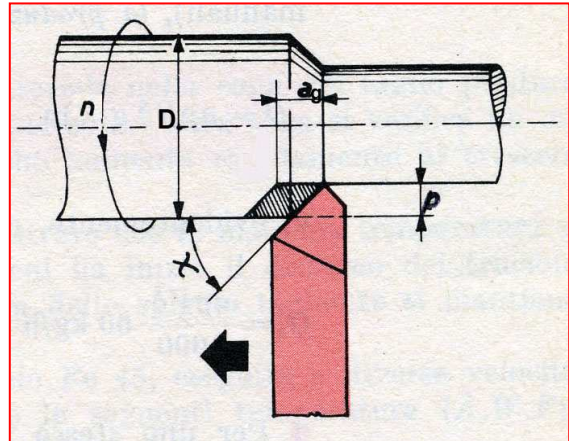
$$1 \text{ [rad/s]} = 9,55 \text{ [giri/min]}$$

Profondità di passata

Rappresenta lo spessore di metallo da asportare e si indica con la lettera p . L'unità di misura è il [mm].

Si calcola dapprima il sovrametallo da asportare mediante l'espressione

$$h = (D - d) / 2$$



Dopo avere scelto il valore della profondità di passata, si determina il numero di passate:

$$n_p = h / p$$

Il numero di passate è un numero sempre intero.

Esempio: sia $D = 40$ mm il diametro iniziale di un pezzo da tornire;
sia $d = 32$ mm il diametro finale.

Il sovrametallo da asportare risulta allora: $h = 40 - 32 / 2 = 4$ mm.

Assumendo una profondità di passata $p = 2$ mm, il numero di passate da effettuare sono $n_p = 4 / 2 = 2$

Avanzamento per giro

Rappresenta, nel caso della tornitura, di quanto avanza l'utensile in un giro del pezzo. Si indica col simbolo a_g e l'unità di misura è [mm/giro].

Parametro importante è pure la velocità di avanzamento, che è data dall'espressione:

$$V_a = a_g * n$$

Con n il numero di giri al minuto compiuto dal pezzo.

La velocità di avanzamento V_a rappresenta quindi, nel caso della tornitura, di quanto si è spostato l'utensile in un minuto. Essa è utilizzata per calcolare il tempo necessario per eseguire una lavorazione per asportazione di truciolo.

SEZIONE DI TRUCIOLO

Il prodotto della profondità di passata per l'avanzamento per giro rappresenta la sezione di truciolo asportata dall'utensile in un giro del pezzo:

$$S = p * a_g \text{ [mm}^2\text{]}$$

SCELTA DEI PARAMETRI DI TAGLIO

1) VELOCITÀ DI TAGLIO

Secondo Taylor, la velocità di taglio dipende da:

- Durezza del materiale da lavorare:
materiali duri $\implies V_t$ bassa
materiali teneri $\implies V_t$ alta
- Tipo di materiale dell'utensile
acciaio al carbonio $\implies V_t$ bassa
Inserti al carburo $\implies V_t$ alta
- Sezione di truciolo
sgrossatura $\implies V_t$ bassa
finitura $\implies V_t$ alta
- Uso o meno del refrigerante
lavorazione a secco $\implies V_t$ bassa
lavorazione con refrigerante $\implies V_t$ alta
- Durata di affilatura in servizio continuativo
impiegando a lungo l'utensile $\implies V_t$ bassa
affilando spesso $\implies V_t$ alta

Taylor ha trovato una relazione che lega la velocità di taglio alla durata di affilatura dell'utensile. Tale relazione é la seguente:

$$V_t * T^k = \text{cost}$$

Dove V_t é la velocità di taglio in m/min, T é la durata dell'utensile (tra due affilature) in minuti e k é un coefficiente che dipende dal materiale (nel caso degli acciai vale 0,125).

In base alla relazione suddetta si deduce che aumentando la velocità di taglio diminuisce la durata dell'utensile e viceversa.

Secondo la scuola tedesca le durate di affilatura in lavoro continuativo per i diversi materiali degli utensili é la seguente:

$T = 60$ minuti per gli utensili in acciaio rapido

$T = 90$ minuti per gli utensili in acciaio superrapido

$T = 600$ minuti per gli utensili con placchette in carburi saldati (brasati) nella testa dello stelo

$T = 15$ minuti per gli utensili con gli inserti fissati meccanicamente sulla testa dello stelo.

La formula di Taylor può essere utilizzata per determinare la velocità di taglio che mette fuori servizio un utensile in un tempo prestabilito, purché siano fisse tutte le altre condizioni, infatti:

$$T_1^k * V_{t1} = T_2^k * V_{t2}$$

Velocità di taglio per tornire

Materiale da tornire	Velocità di taglio economica Vte.1 (m/min)	
	Utensile HSS	Utensile Widia
Acciaio dolce ($R \leq 500 \text{ N/mm}^2$)	68 ÷ 92	85 ÷ 135
Acciaio semiduro ($R = 500 \div 700 \text{ N/mm}^2$)	40 ÷ 55	50 ÷ 82
Acciaio duro ($R = 700 \div 900 \text{ N/mm}^2$)	30 ÷ 38	36 ÷ 56
Acciaio extra duro ($R > 900 \text{ N/mm}^2$)	19 ÷ 25	28 ÷ 45
Acciaio automatico (allo zolfo)	85 ÷ 115	210 ÷ 340
Ghisa tenera (HBS ≤ 200)	35 ÷ 47	43 ÷ 72
Ghisa dura (HBS ≥ 200)	24 ÷ 40	28 ÷ 55
Leghe leggere	410 ÷ 550	380 ÷ 630
Ottoni e Bronzi teneri	170 ÷ 230	170 ÷ 275
Ottoni e Bronzi duri	105 ÷ 145	120 ÷ 200

Il valore della velocità di taglio ha influenza sulla temperatura del tagliente. Quando la velocità é elevata l'utensile perde una delle sue caratteristiche principali, la durezza, e quindi non é più in grado di tagliare.

Il valore della velocità di taglio ha influenza sul grado di finitura superficiale (rugosità).

Nel caso della tornitura, il valore della velocità di taglio ha influenza sulla produzione, cioè sulla quantità di truciolo asportato.

Una volta scelta la velocità di taglio, si procede al calcolo del numero di giri mediante l'espressione:

$$n = (1000 * V_t) / (\pi * D)$$

Esempio: supponendo che la velocità di taglio scelta sia di 80 m/min ed il diametro da tornire sia di 40 mm, risulta essere:

$$n = 1000 * 80 / \pi * 40 = 637 \text{ giri/min}$$

Nel caso di lavorazione al tornio parallelo é difficile che tale numero di giri sia disponibile, per cui occorre sceglierne un altro tra quelli presenti. Supponendo che i numeri di giri disponibili su un tornio parallelo siano:

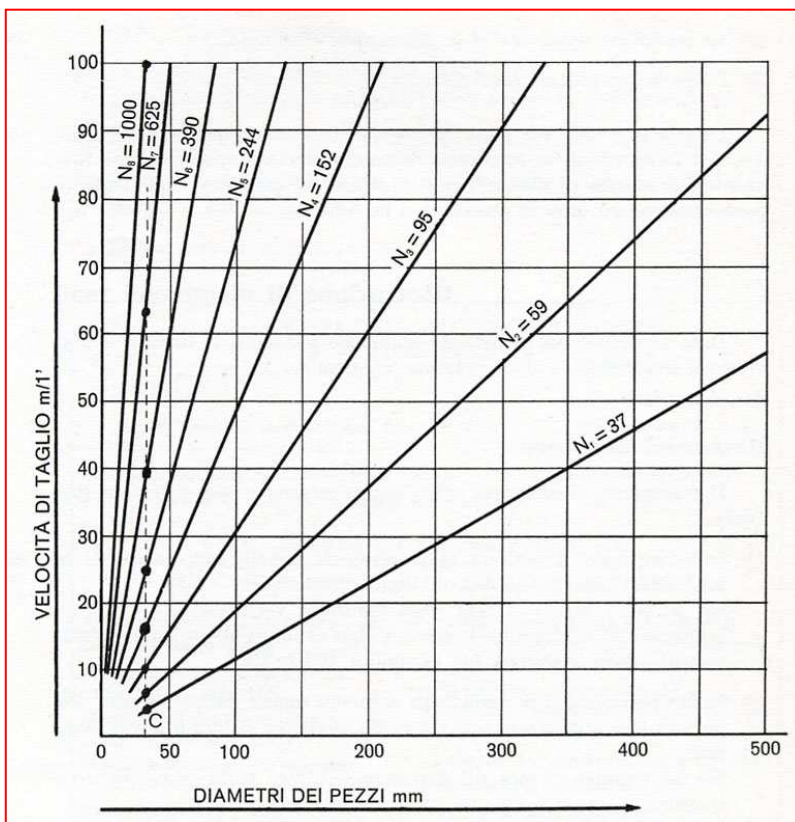
37 - 59 - 95 - 152 - 244 - 390 - 625 - 1000

si assume quello immediatamente inferiore (nel caso specifico 625) e si procede al ricalcolo della velocità di taglio:

$$V_t = \pi * D * n / 1000$$

Nel caso specifico: $V_t = \pi * 40 * 625 / 1000 = 78,5$ [m/min]

Sarà questo il vero valore della velocità di taglio con cui sarà eseguita la lavorazione ed il valore che si dovrà assumere nel calcolo della potenza necessaria per eseguire la lavorazione.

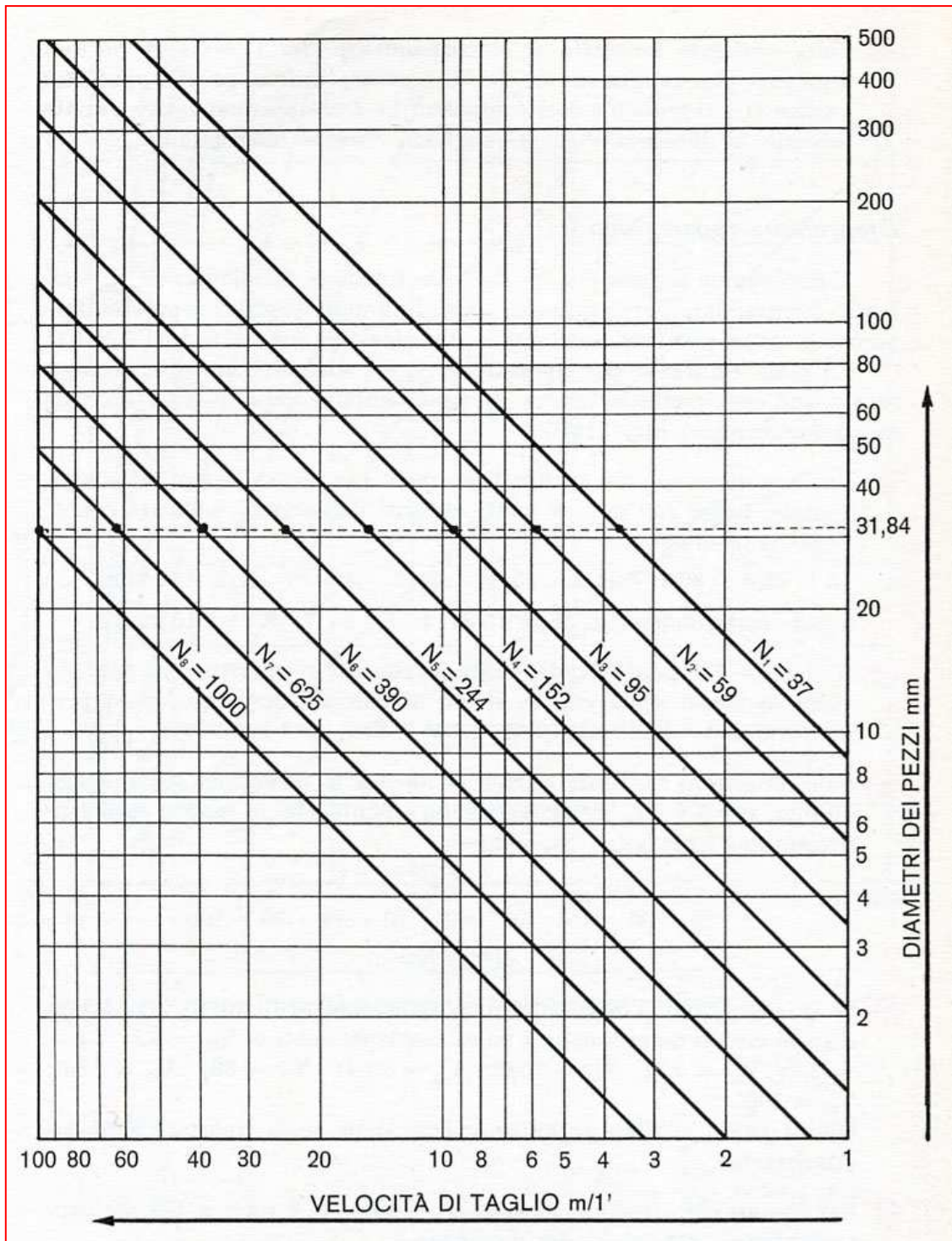


La determinazione del numero di giri del mandrino può essere fatta rapidamente per mezzo di appositi grafici, come per esempio il diagramma cartesiano (o a ventaglio) e il diagramma logaritmo.

Esempio: si debba tornire un pezzo cilindrico avente un diametro $D = 150$ mm con una velocità di taglio $V_t = 80$ m / min. Per determinare rapidamente il numero di giri, occorre tracciare la verticale dal

valore $D = 150$ fino ad incontrare l'orizzontale per $V_t = 80$. Poichè il punto intersezione é tra $n_4 = 152$ e $n_5 = 244$, si assume per sicurezza il numero di giri inferiore $n = 152$.

In maniera analoga si può determinare il numero di giri cui il mandrino deve ruotare utilizzando un diagramma logaritmico, così detto perché i valori sono posti in scala logaritmica.



2) PROFONDITÀ DI PASSATA

Dopo aver calcolato il sovrametallo da asportare mediante l'espressione $h = (D - d) / 2$, è necessario scegliere il valore della profondità di passata ed il numero di passate.

E' necessario ricordare che:

a) profondità di passata elevata \implies momento flettente \implies vibrazioni del tagliente

b) profondità di passata piccola \implies gran numero di passate \implies incrudimento del pezzo \implies indurimento superficiale

Ciò significa:

a) maggior sforzo di strappamento \implies maggior potenza assorbita

b) maggior riscaldamento \implies usura del tagliente

3) AVANZAMENTO

L'avanzamento per giro è bene che non sia elevato, per contenere:

- la spinta laterale sull'utensile
- la potenza assorbita dall'avanzamento
- la rugosità del pezzo

Fattore di forma

Secondo Taylor le condizioni migliori di tornitura si hanno quando il rapporto tra la profondità di passata e l'avanzamento per giro è pari a 5. Egli ha chiamato "fattore di forma" tale rapporto, indicandolo con la lettera "G":

$$G = p / a_g$$

Il fattore di forma può variare normalmente da 2 a 10.

Tale espressione può essere utilizzata per ricavarsi un parametro, noto o fissato l'altro. Per esempio, scelta una passata $p = 2$ mm, posti nella condizione di Taylor $G = p / a_g = 5$, ci si può ricavare l'avanzamento per giro mediante l'espressione:

$$a_g = p / G = p / 5 = 2 / 5 = 0,4 \text{ [mm/giro]}$$

Nella scelta dell'avanzamento e della profondità di passata occorre sempre tenere conto se trattasi di lavorazione di sgrossatura o di finitura. Nel caso di lavorazione con avanzamenti automatici, il valore dell'avanzamento scelto deve essere tra quelli disponibili sul tornio.

Avanzamenti disponibili su un tornio possono essere per esempio i seguenti: 0,050 – 0,062 – 0,075 – 0,087 – 0,100 – 0,125 – 0,150 – 0,175 – 0,200 – 0,250 – 0,300 – 0,350 – 0,400 – 0,500 – 0,600 – 0,700.

La tabella seguente può essere di valido aiuto per una scelta iniziale di tali parametri:

Profondità di passata e Avanzamenti nella tornitura						
	Sgrossatura		Finitura		Troncatura	
Diame- tro del pezzo [mm]	Profon- dità di passata [mm]	Avanzam- ento per giro [mm/giro]	Profon- dità di passata [mm]	Avanzam- ento per giro [mm/giro]	Profond- ità di passata [mm]	Avanzam- ento per giro [mm/giro]
10 - 25	0,5 - 10	0,1	0,2 - 2	0,05	Pari alla larghezz a dell'uten- sile troncato re	0,05
25 - 50		0,2		0,1		0,1
50 - 75		0,25		0,15		0,1
75 - 100		0,30		0,2		0,1
100 - 150		0,40		0,3		0,2
150 - 300		0,50		0,4		0,3

Nel caso di lavorazione di finitura, l'avanzamento per giro può essere scelto tramite la seguente formula:

$$a_g = \sqrt{32 * r * R_a}$$

dove r è il raggio di arrotondamento della punta dell'utensile (normalmente tra 0,5 e 2 mm) e R_a la rugosità teorica (da indicare in mm).

Così, per esempio, se il raggio di arrotondamento è $r = 1$ mm e la rugosità che si vuole ottenere è di 2μ , l'avanzamento per giro può essere:

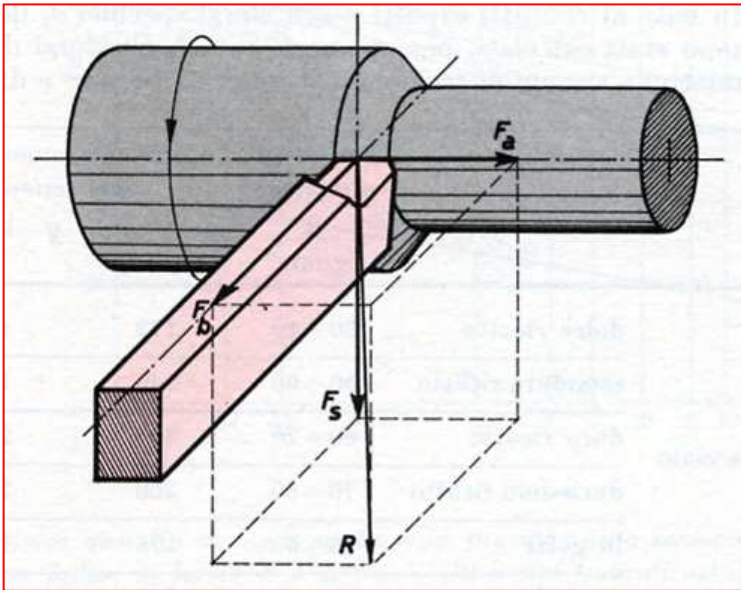
$$a_g = \sqrt{32 * 1 * 0,002} = 0,25 \text{ [mm/giro]}$$

Si ricorda che nelle lavorazioni di tornitura la rugosità ottenibile non è inferiore a $0,8 \mu$.

Norme per ottenere la massima produzione

- adottare grandi sezioni di truciolo, compatibilmente con la potenza della macchina
- scegliere una grande profondità di passata per limitarne il numero ed evitare l'incrudimento del materiale
- impiegare un utensile il cui materiale permetta elevate velocità di taglio

FORZA DI STRAPPAMENTO



Durante la lavorazione di tornitura, l'utensile è sottoposto a delle forze che danno luogo ad una risultante R. Con riferimento al disegno a lato, vi è una forza F_a che si oppone al moto di avanzamento, una forza F_b che rappresenta la reazione del pezzo contro l'utensile ed una forza F_s che rappresenta la forza necessaria per il taglio. Quest'ultima è più

grande rispetto alle altre (che sono quindi trascurabili), ha la stessa direzione e lo stesso senso della velocità di taglio e si considera applicata nel punto medio dello spigolo tagliente dell'utensile a contatto col pezzo.

La Forza di strappamento (o Forza di taglio) è la forza necessaria per l'asportazione del truciolo:

$$F_s = S * \sigma_s \text{ [N]}$$

dove S è la sezione di truciolo in mm^2 e σ_s è lo sforzo specifico di strappamento in N / mm^2 .

Sappiamo che la sezione di truciolo si calcola mediante l'espressione

$$S = p * a_g \text{ [mm}^2\text{]}$$

Lo sforzo specifico di strappamento σ_s può essere assunto rapidamente pari a $(4 \div 5) * R$ (con R il carico unitario di rottura del materiale).

Per esempio nel caso di un acciaio Fe 370 si può assumere $\sigma_s (4 \div 5) * 370 = 1480 \div 1850 \text{ [N} / \text{mm}^2\text{]}$.

Ma lo sforzo di strappamento, che non é altro che la pressione esercitata dall'utensile, dipende non solo dal materiale in lavorazione ma anche dalla sezione di truciolo che si asporta. Per questo é preferibile adottare la seguente espressione:

$$\sigma_s = \sigma_1 / \sqrt[n]{S}$$

dove σ_1 é lo sforzo unitario di strappamento ed n é un coefficiente che dipende dal materiale.

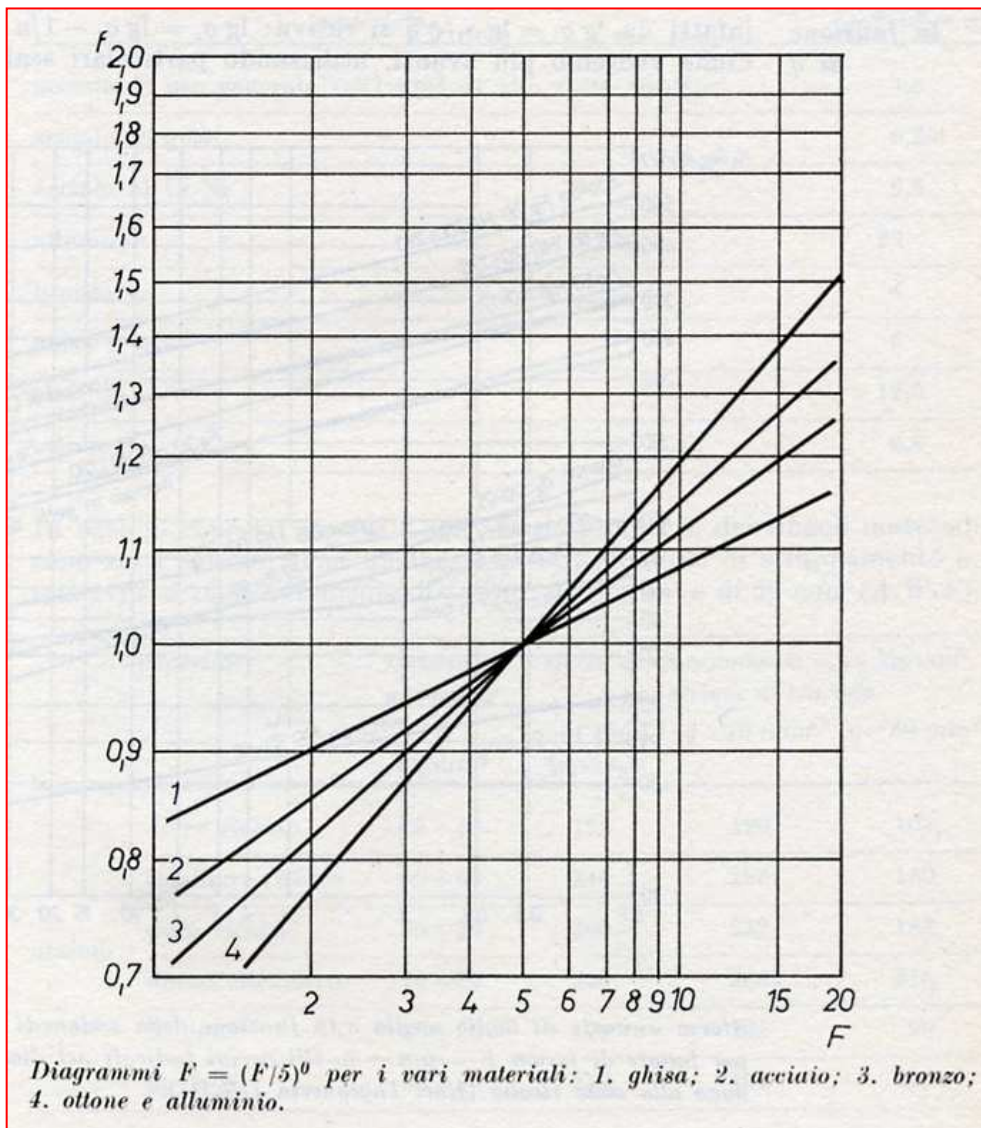
Materiale	Sforzo unitario di strappamento σ_1 [N / mm²]	Coefficiente n	Coefficiente m
Acciaio al Cr - Ni	3000	9,25	1,75
Acciaio tipo Fe duro	3000	7,8	2,44
Acciaio tipo Fe tenero	2000	7,8	2,44
Ghise semidure	850	7,4	3,66
Bronzi	800	4,35	1,92
Ottoni	700	6,4	1,92
Alluminio	550	17,2	1,40

Lo sforzo unitario di strappamento σ_1 rappresenta lo sforzo necessario per asportare un truciolo avente la sezione di 1 mm² e, quindi, la resistenza che il materiale oppone all'azione dell'utensile. In pratica esso é un indice della truciolabilità del materiale: più il valore é piccolo, più il materiale é lavorabile per asportazione di truciolo.

Coefficiente correttivo

La relazione vista in precedenza $\sigma_s = \sigma_1 / \sqrt[n]{S}$ é valida solo quando $p/a_g = 5$.

Quando il rapporto fra la profondità di passata e l'avanzamento per giro é diverso da 5, lo sforzo di strappamento ottenuto con la formula precedente deve essere moltiplicato per un fattore correttivo "f" ricavabile con più che sufficiente approssimazione dal seguente diagramma logaritmico:



In definitiva, l'espressione completa e definitiva dello sforzo specifico di strappamento é:

$$\sigma_s = (\sigma_1 / \sqrt[3]{S}) * f \text{ [N / mm}^2\text{]}$$

POTENZA NECESSARIA PER ESEGUIRE LA LAVORAZIONE

I parametri di taglio scelti devono essere verificati per vedere se la lavorazione é realizzabile con la potenza disponibile sulla macchina utensile.

In generale:

$$P = L / t = (F * s) / t = F * V \quad [N * m / sec] = [J / sec] = [W]$$

Poiché la velocità di taglio nelle lavorazioni é indicata in m / min ed il diametro del pezzo é più conveniente indicarlo in mm, l'espressione suddetta diviene:

$$P = F_s * V_t / 60 * 1000$$

O meglio:

$$P = F_s * V_t / 60000 \text{ [kW]}$$

La potenza necessaria per la lavorazione così calcolata va confrontata con la potenza disponibile al mandrino, che non é la stessa erogata dal motore.

Per tenere conto delle perdite di energia dovute agli organi di trasmissione (cinghie, ingranaggi ...), si può assumere per il tornio un rendimento $\eta = 0,70$.

Per cui, la potenza disponibile al mandrino (o potenza utile) risulta:

$$P_m = P_M * \eta$$

dove P_M é la potenza del motore.

Perché la lavorazione sia realizzabile con i parametri scelti deve essere verificata la relazione:

$$P \leq P_m$$

Qualora ciò non si dovesse verificare, è necessario agire sulla forza di strappamento (e quindi sulla profondità di passata e/o l'avanzamento) o sulla velocità di taglio. In quest'ultimo caso si prende un numero di giri inferiore e si ricalcola la velocità di taglio.

VELOCITÀ ECONOMICA DI TAGLIO

In seguito ai suoi numerosi esperimenti, condotti col massimo rigore scientifico, Taylor ha trovato che al variare della velocità di taglio V_t , la durata T dell'utensile varia secondo la formula:

$$T^k * V_t = \text{cost}$$

Dove k é il coefficiente di durata, anch'esso ricavabile sperimentalmente:

- Per gli acciai $k = 1/8 = 0,125$
- Per le ghise $k = 1/12 = 0,0833$

La formula di Taylor può essere utilizzata per determinare la velocità di taglio che mette fuori servizio un utensile in un tempo prestabilito, purché siano fisse tutte le altre condizioni, infatti:

$$T_1^k * V_{t1} = T_2^k * V_{t2}$$

Per i continui sviluppi dei materiali per utensili e i progressi nel campo delle macchine utensili, non é possibile stabilire durate economiche vevoli in via assoluta per tutti i casi.

Le durate economiche T_E accettate in Italia e fissate dalla scuola tedesca sono:

- Durata economica dell'utensile in acciaio rapido: $T_E = 60$ min
- Durata economica dell'utensile in acciaio super rapido: $T_E = 90$ min
- Durata economica dell'utensile in metallo duro (placchetta di Widia saldata): $T_E = 600$ min
- Durata economica dell'utensile in metallo duro (inserto di Widia fissato meccanicamente): $T_E = 15$ min

Alle suddette durate corrispondono altrettante velocità specifiche $V_{60,1}$, $V_{90,1}$, ... $V_{T_e,1}$, che mettono fuori servizio l'utensile rispettivamente in 60, 90, T_e minuti continuativi, quando si asporta un truciolo avente una sezione $S = 1 \text{ mm}^2$.

Per ottenere le velocità di taglio economiche $V_{60.S}$, $V_{90.S}$, ... $V_{T_e.S}$, che permettono di ottenere durate del tagliente in servizio continuativo pari rispettivamente a 60, 90, ... T_e minuti per la sezione di truciolo generica S , si ricorre alla relazione:

$$V_{T_e.S} = V_{T_e.1} / \sqrt[m]{S}$$

dove $V_{T_e.1}$ é la velocità specifica di taglio in m/min, m é un coefficiente che dipende dal materiale in lavorazione ed S é la sezione di truciolo.

Materiale	Sforzo unitario di strappamento $V_{90.1}$ [m / min].	Coefficiente m
Acciaio al Cr - Ni	22	1,75
Acciaio tipo Fe 400	80	2,44
Ghise semidure	36	3,66
Bronzi, Ottoni	200	1,92
Leghe leggere	500	1,40

Coefficiente correttivo

La relazione vista in precedenza

$$V_{T_e.S} = V_{T_e.1} / \sqrt[m]{S}$$

é valida solo quando $p / a_g = 5$.

Quando il rapporto fra la profondità di passata e l'avanzamento per giro é diverso da 5, la velocità economica di taglio ricavata con la formula precedente deve essere moltiplicata per un fattore correttivo f' ricavabile con più che sufficiente approssimazione dal diagramma logaritmico già visto per il calcolo di f dello sforzo specifico di strappamento.

In definitiva, l'espressione completa e definitiva della velocità economica di taglio per una generica sezione di truciolo S é:

$$V_{Te.S} = V_{Te.1} / \sqrt[m]{S} * f' \quad [m/ min]$$

Si deve adottare la velocità economica di taglio nelle lavorazioni in serie, cioè quando si deve lavorare un gran numero di pezzi perché, in tal caso, bisogna ottenere lo sfruttamento economico dell'utensile.

Quando invece si deve lavorare un solo pezzo, si può adottare la velocità di taglio massima consentita dalla natura del materiale in lavoro e dalla qualità dell'utensile, compatibilmente con la potenza della macchina e l'opportuna durata dell'utensile.