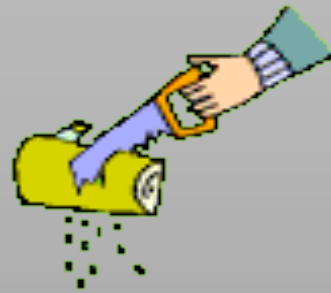


LAVORAZIONI PER SEPARAZIONE



ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO - 3

FORMAZIONE E DISTACCO



FORMAZIONE E DISTACCO

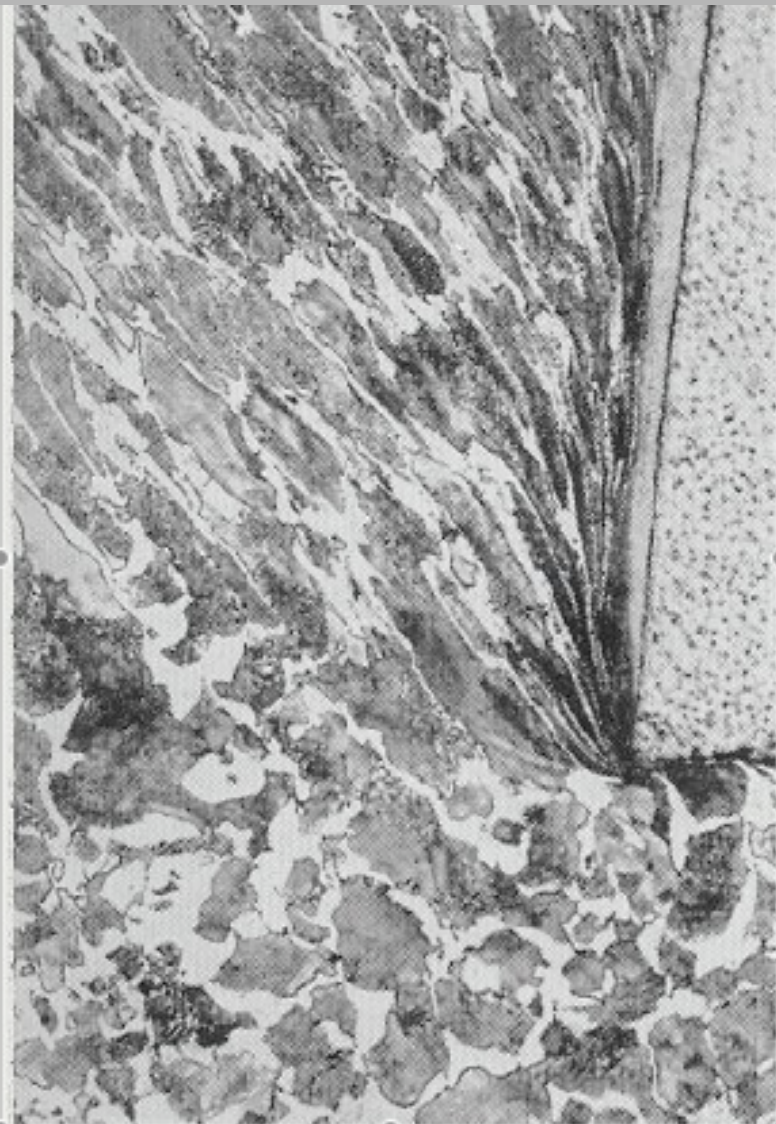


TRUCIOLO

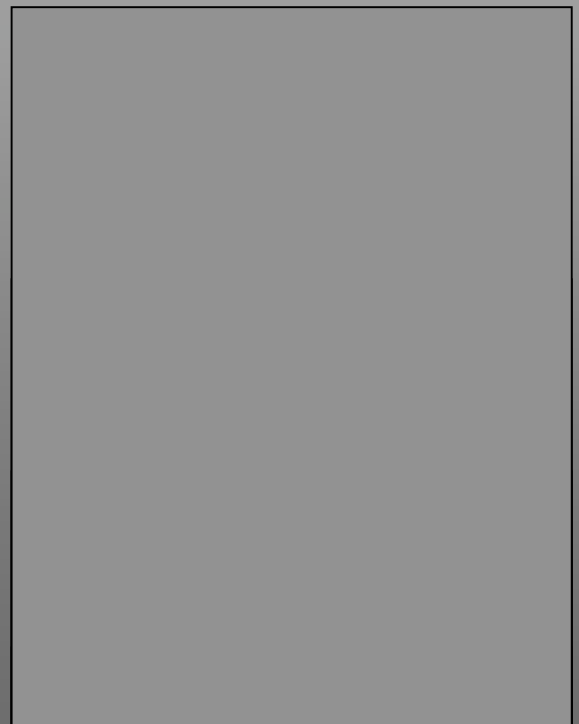


ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FATTORI DI INFLUENZA

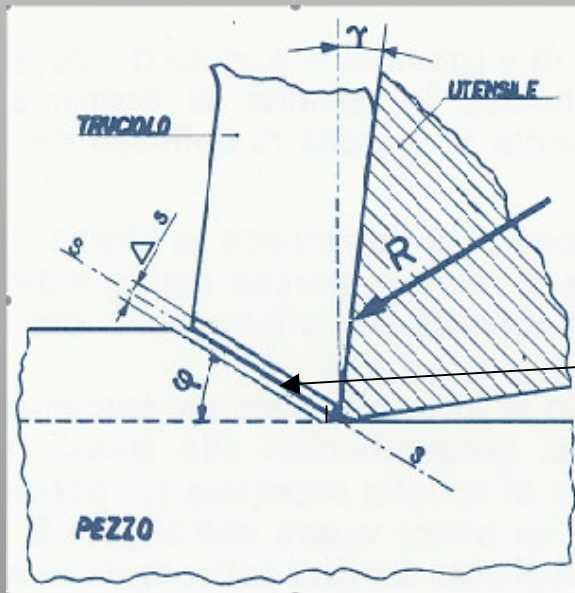


I principali fattori che influenzano le lavorazioni per asportazione di truciolo sono i seguenti :



ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORMAZIONE DEL TRUCIOLO



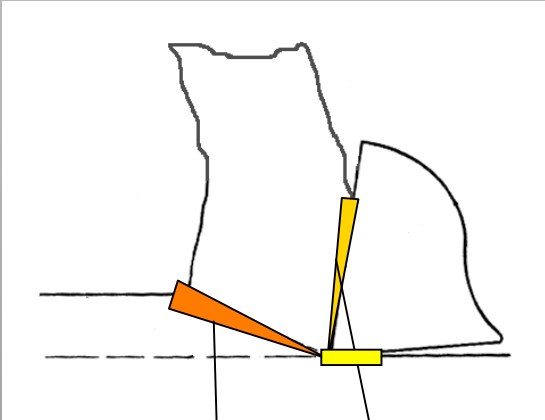
- avviene per deformazione e strappamento del materiale
- alla base del truciolo si forma una zona di deformazione plastica a piani di scorrimento

- Fattori più importanti che intervengono durante la deformazione :
temperatura, coefficiente di attrito, distribuzione delle tensioni, forze normali e tangenziali, struttura del materiale, forma dell'utensile, parametri di taglio,
- L'inclinazione del piano di scorrimento plastico dipende da :
materiale, geometria utensile, velocità di taglio, profondità di passata, avanzamento, materiale utensile,.....

Il piano di scorrimento è variabile durante la formazione del truciolo

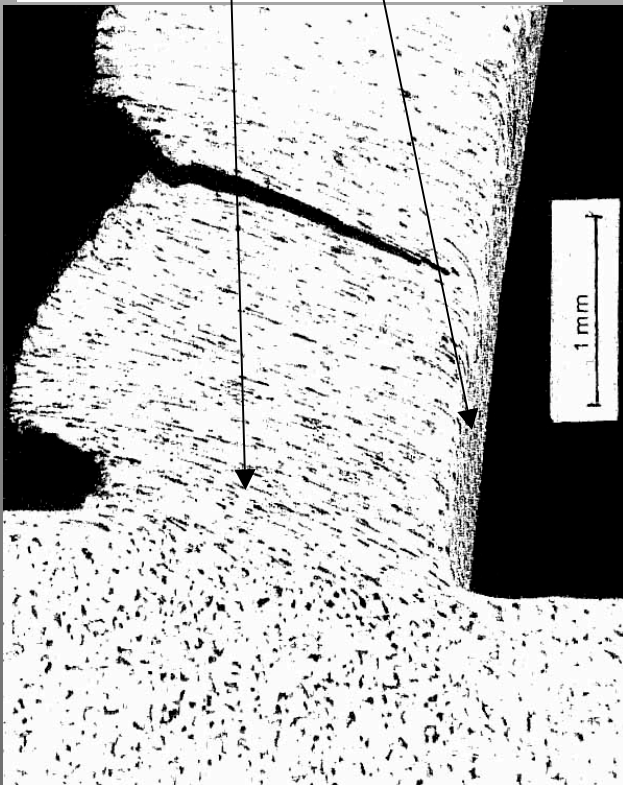
ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORMAZIONE DEL TRUCIOLO



scorrimento primario

- scorrimento plastico del materiale
- generazione di calore



Scorrimento secondario

- elevati scorrimenti plastici
- strato molto sottile
- forte generazione di calore
- elevata pressione sull'utensile

Scorrimento sul fianco

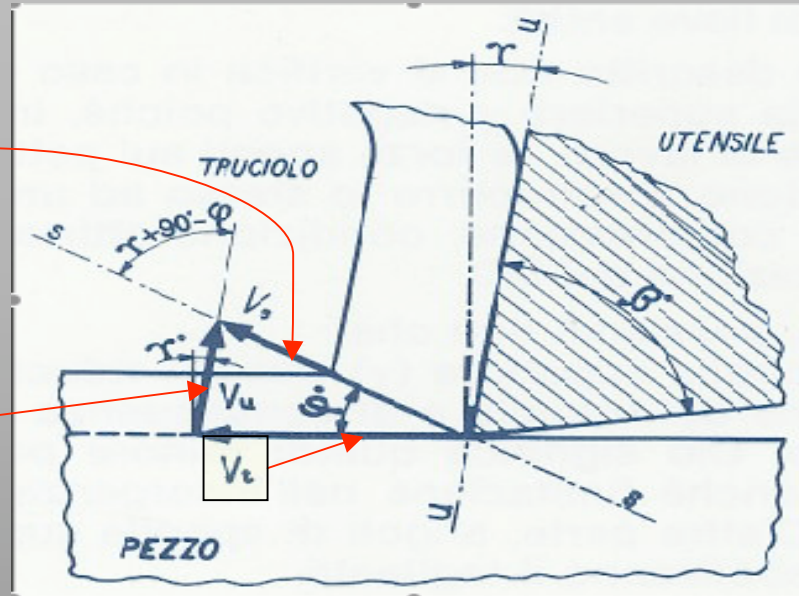
- aumenta con l'usura del fianco
- generazione di calore

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

ASPETTO DINAMICO

$$V_s = V_t \times \left\{ \frac{\cos \gamma}{\cos(\varphi - \gamma)} \right\}$$

$$V_u = V_t \times \left\{ \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi - \gamma)} \right\}$$

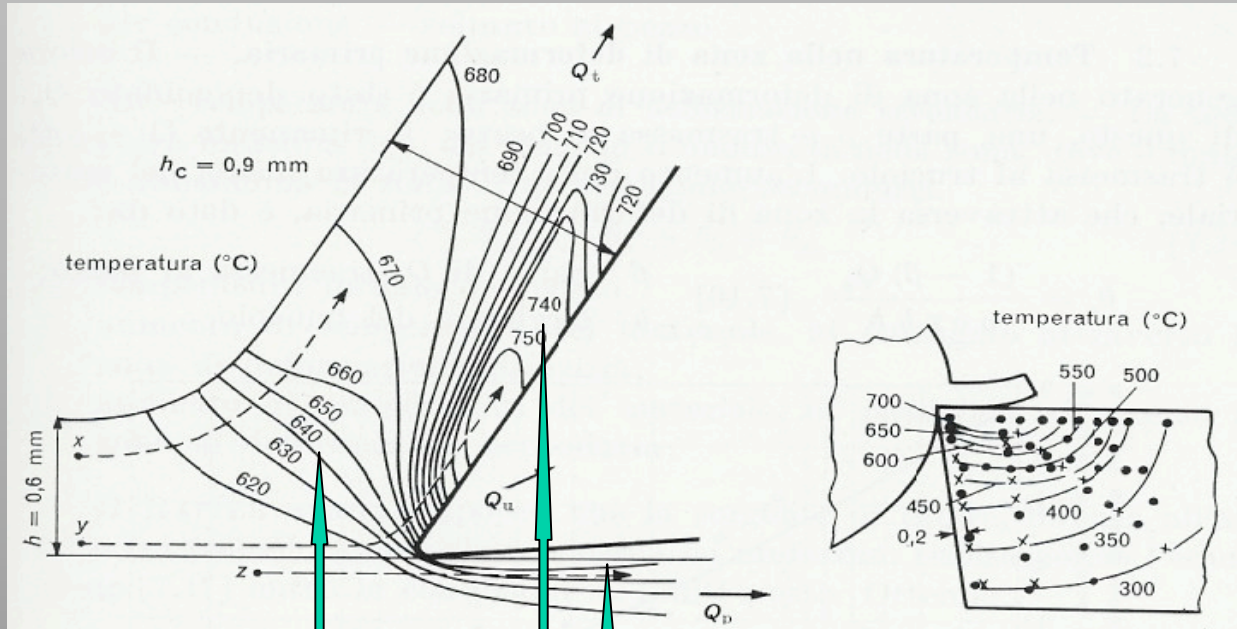


All'aumentare di γ corrisponde :

- diminuzione velocità di scorrimento V_s
- aumento velocità di deflusso del truciolo V_u
- diminuzione dello sforzo di taglio
- Indebolimento dell'utensile per la diminuzione dell'angolo β
- Per valori di γ positivi utensile sollecitato a taglio (sfavorevole al metallo duro), minori sforzi di taglio e minori deformazioni del truciolo; minori vibrazioni
- Per valori di γ negativi utensile sollecitato a compressione (favorevole al metallo duro), maggiori sforzi di taglio e maggiori deformazioni del truciolo

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

ASPETTO TERMICO



La maggior parte di potenza assorbita nella formazione del truciolo si trasforma in calore

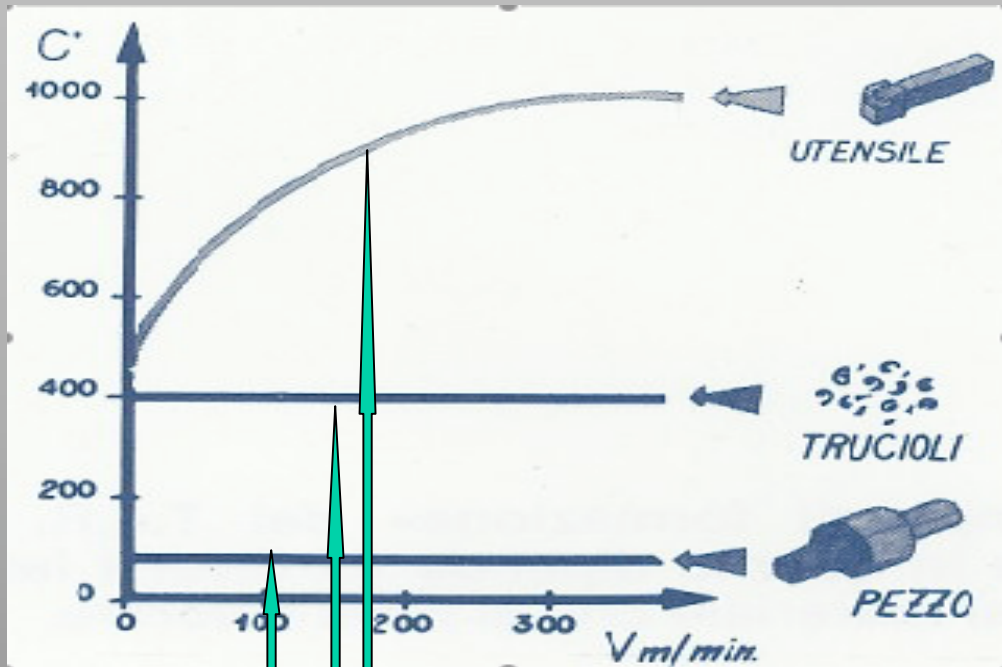
zona di deformazione del materiale : il calore prodotto determina principalmente la temperatura del truciolo

zona di strisciamento tra fianco dell'utensile e pezzo : il calore prodotto determina la temperatura del pezzo in lavorazione ; lo strisciamento provoca l'usura del fianco dell'utensile

zona di strisciamento del truciolo sul petto dell'utensile : il calore prodotto contribuisce a determinare la temperatura del truciolo, ma in massima parte determina la temperatura dell'utensile e la conseguente durata del tagliente; lo strisciamento provoca la formazione del cratere di usura

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

ASPETTO TERMICO

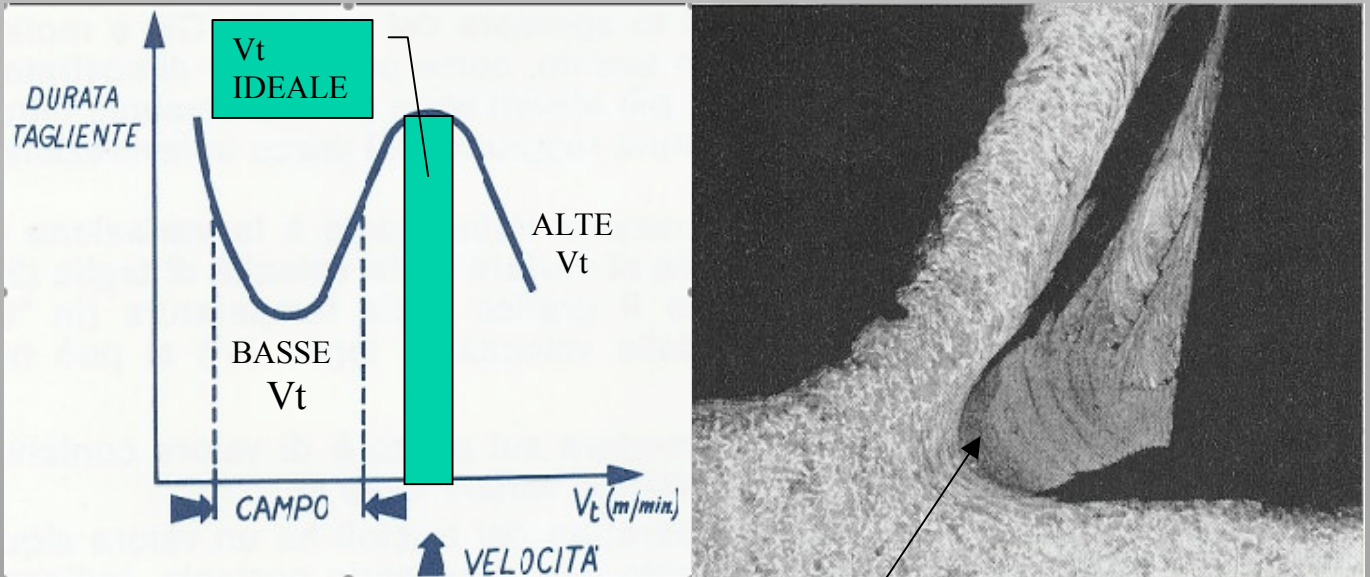


Variazione della temperatura al variare della velocità di taglio :

- **temperatura del pezzo** : si mantiene costante e di valore contenuto al variare della velocità di taglio (indipendente da V_t)
- **temperatura dei trucioli** : si mantiene costante e di valore abbastanza elevato al variare della velocità di taglio (indipendente da V_t)
- **temperatura dell'utensile** : aumenta in modo consistente all'aumentare della velocità di taglio (dipendente da V_t) ; poiché la durata del tagliente dipende dalla temperatura, essa è funzione della velocità di taglio

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

ASPETTO TERMICO



Il problema della alte e basse velocità di taglio

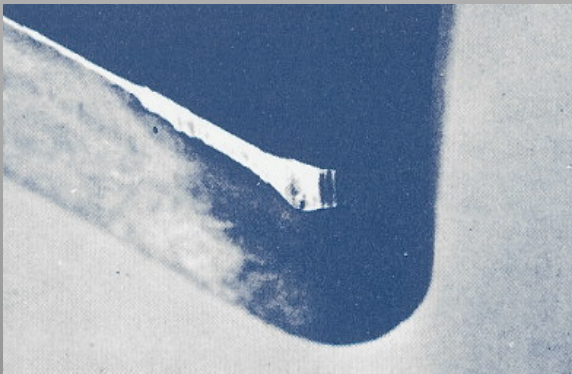
velocità di taglio elevate comportano alte temperature, aumento dell'usura e ridotte durate del tagliente

Velocità di taglio troppo basse possono tenere la temperatura al di sotto dei valori minimi necessari per un completo deflusso del truciolo per strisciamento sull'utensile e generare incollaggi temporanei di sue parti sul petto dell'utensile : il fenomeno è noto come tagliente di riporto ; esso determina aumento della rugosità e dell'usura con conseguente riduzione della durata del tagliente

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

L'USURA

Si forma durante le lavorazioni per asportazione di truciolo e determina la durata dell'utensile . Viene ottimizzata da una scelta corretta del materiale del tagliente



Usura sul fianco

- Tipica dei materiali da taglio
- Aumenta con l'aumentare della V_t



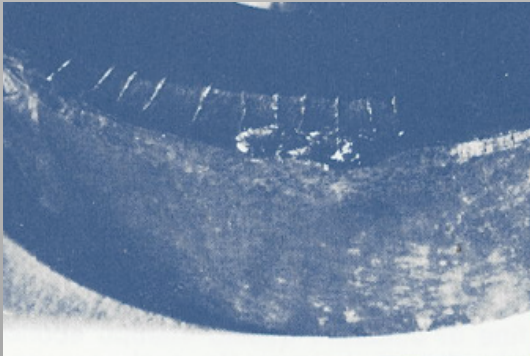
Cratere di usura

Compare specialmente lavorando materiali a truciolo lungo. Cause:

- Avanzamento troppo alto o troppo basso
- Eccessiva V_t
- Geometria del tagliente errata

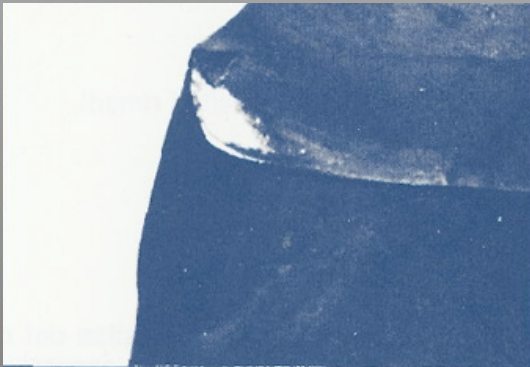
ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

L'USURA



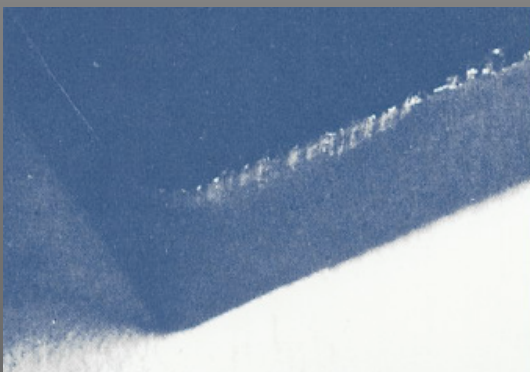
Microfessurazioni

- Presenza di sbalzi termici
- Tipiche del metallo duro (basso coefficiente di dilatazione termica)
- Presente principalmente nella fresatura e nel taglio interrotto



Deformazione plastica

- Tipica delle lavorazioni pesanti con alti sforzi di taglio ed alte temperature



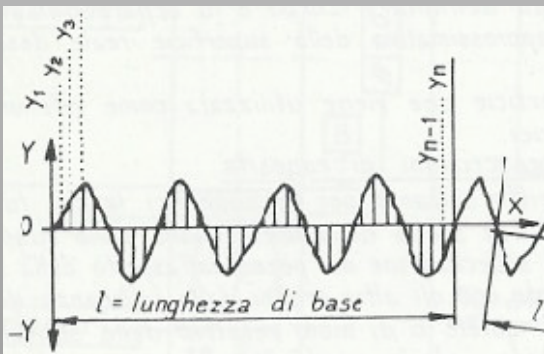
Scheggiatura

- errata geometria di taglio
- vibrazioni

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

RUGOSITA' E FINITURA SUPERFICIALE

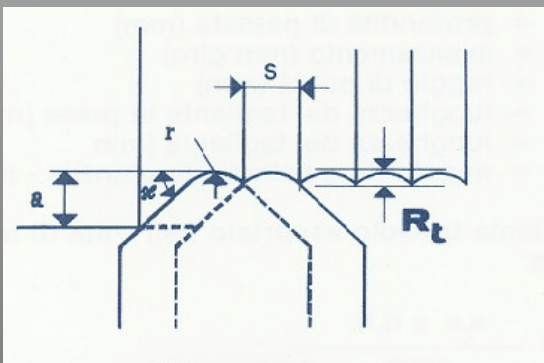
La finitura superficiale richiesta nelle lavorazioni meccaniche spesso è espressa in termini di rugosità



Rugosità Ra

Valore medio assoluto degli scarti della superficie reale rispetto all'ordinata di compenso :

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$



Rugosità Rt

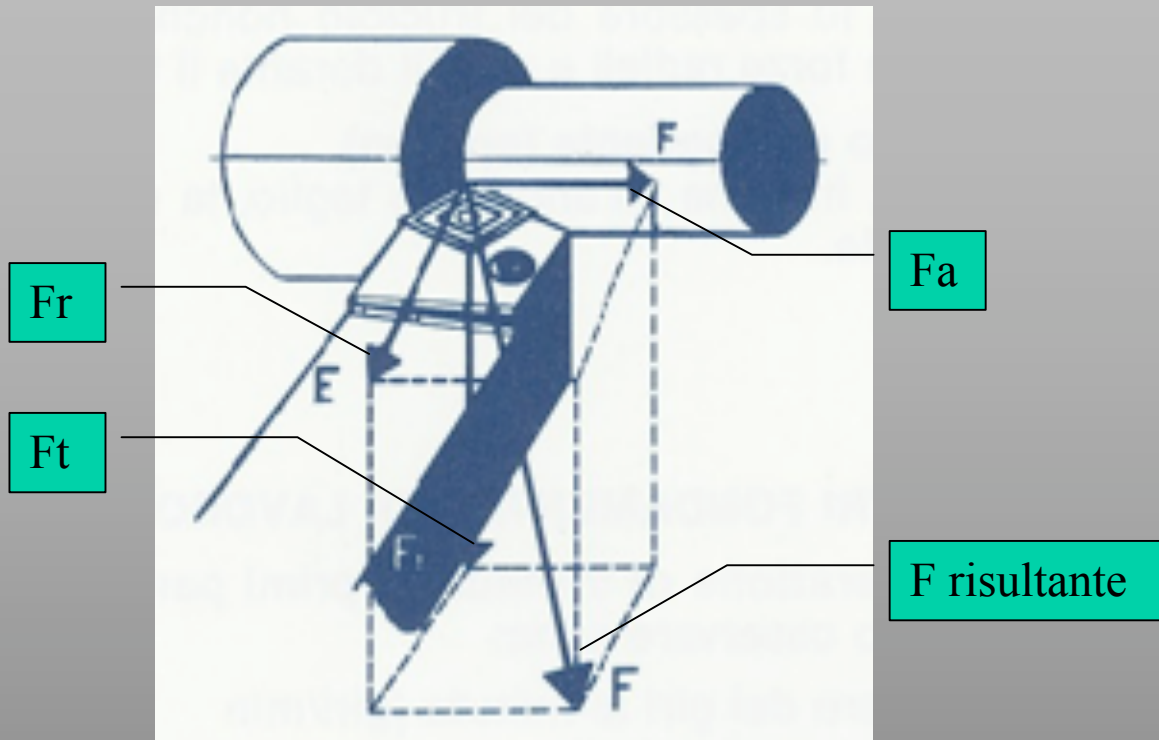
Differenza fra la cresta più alta e la valle più bassa :

$$Rt = Y \max - Y \min = \frac{s^2}{8r}$$

- nel caso della tornitura la rugosità dipende dall'avanzamento s (mm/giro) e dal raggio di punta dell'utensile r (mm)
- grandi raggi di punta migliorano la finitura, ma aumentano le forze radiali e l'insorgenza di vibrazioni (peggiorano la finitura)
- è importante una buona rigidità del sistema

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

ANALISI DELLE FORZE DI TAGLIO

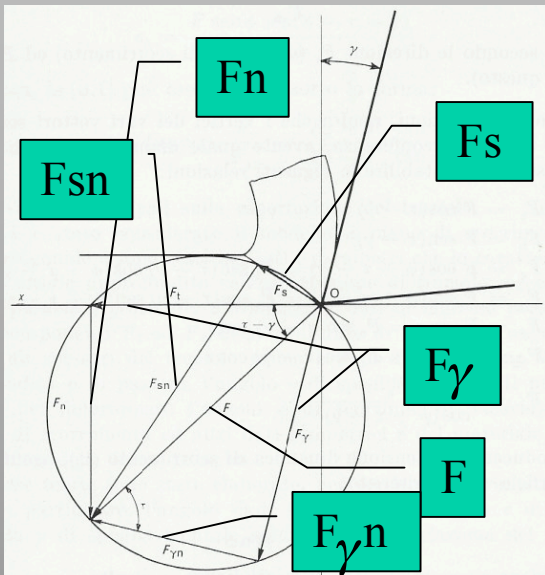


La forza F risultante da una asportazione di truciolo è proiettata nello spazio. Può essere scomposta in :

- **F_a** (forza assiale) funzione dell'avanzamento e dell'angolo di registrazione. Mediamente F_a varia fra $1/6$ ed $1/3$ di F_t
- **F_r** (forza radiale) funzione del raggio di punta dell'utensile e dell'angolo di registrazione. Mediamente F_r varia fra $1/4$ ed $1/2$ di F_t
- **F_t** (forza tangenziale) funzione del taglio del materiale

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

ANALISI DELLE FORZE DI TAGLIO



Taglio ortogonale nel piano

truciolo sottoposto ad una *forza F* decomponibile in :

- direzione di taglio Ft e normale Fn
- direzione dell'angolo di spoglia superiore F γ e normale F γ n
- direzione del piano di scorrimento Fs e normale Fsn

I vertici dei vettori stanno su una circonferenza di diametro F e si possono stabilire le seguenti relazioni :

$$F_t = F \cos(\tau - \gamma)$$

$$F_n = F \sin(\tau - \gamma)$$

$$F_s = F \cos(\phi + \tau - \gamma) = F_t \sec(\tau - \gamma) \cos(\phi + \tau - \gamma)$$

$$F_{sn} = F \sin(\phi + \tau - \gamma) = F_t \sec(\tau - \gamma) \sin(\phi + \tau - \gamma)$$

$$F_\gamma = F \sin(\tau) = F_t \sec(\tau - \gamma) \sin(\tau)$$

$$F_{\gamma n} = F \cos(\tau) = F_t \sec(\tau - \gamma) \cos(\tau)$$

$$F = \frac{F_s}{\cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

ANALISI DELLE FORZE DI TAGLIO

Taglio ortogonale nel piano

Introducendo le tensioni normale e tangenziale agenti sulla superficie del piano di scorrimento è possibile ricavare le relazioni che legano forze, angoli e tensioni :

$$A_s = \frac{A}{\text{sen}(\phi)}$$

$$F_s = A_s \tau_s = \frac{A}{\text{sen}(\phi)} \tau_s$$

$$F_{sn} = A_s \sigma_s = \frac{A}{\text{sen}(\phi)} \sigma_s$$

$$F = A \tau_s \frac{1}{\text{sen}(\phi) \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

$$F_t = A \tau_s \frac{\cos(\tau - \gamma)}{\text{sen}(\phi) \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

$$F_n = A \tau_s \frac{\text{sen}(\tau - \gamma)}{\text{sen}(\phi) \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

$$\tau_s = \frac{F \text{sen}(\phi) \cos(\phi + \tau - \gamma)}{A}$$

$$\sigma_s = \frac{F \text{sen}(\phi) \text{sen}(\phi + \tau - \gamma)}{A}$$

Determinati i legami fra i parametri geometrici e dinamici che caratterizzano il modello, è possibile prevedere :

- l'angolo del piano di scorrimento se in ingresso sono fornite le forze, i parametri geometrici di taglio ed i parametri geometrici dell'utensile
- la forza di taglio se in ingresso sono forniti l'angolo di scorrimento, i parametri geometrici di taglio ed i parametri geometrici dell'utensile

Dal 1941 (M. E. Merchant) ad oggi sono state elaborate numerose teorie per correlare i parametri descritti

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

CALCOLO DELLE FORZE DI TAGLIO

Metodo della pressione specifica di taglio

Il calcolo delle forze di taglio si può effettuare introducendo la *pressione di taglio* K_s :

$$K_s = \frac{\text{Forza_di_taglio}}{\text{Sezione_del_truciolo}} = \frac{F_t}{A} = 2\tau_s \cot(\phi)$$

Essa dipende da :

- materiale in lavorazione
- materiale e geometria dell'utensile
- sezione del truciolo
- velocità di taglio
- condizioni di lubrorefrigerazione
- usura dell'utensile

Introducendo una notevole semplificazione e considerando K_s funzione solamente del carico di rottura del materiale da lavorare, si può porre $K_s = 5\sigma_r$ e definire

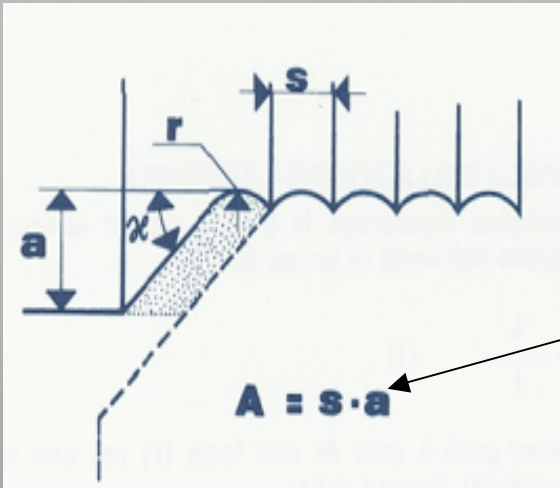
$$F_t = 5\sigma_r A \quad \text{Forza di taglio [N]}$$

$$P_t = \frac{F_t V_t}{60000} \quad \text{Potenza assorbita nel taglio [KW]}$$

I valori di F_t così calcolati sono inferiori ai valori reali per spessori di truciolo $< 0,5$ mm , mentre sono superiori ai valori reali per spessori di truciolo $> 0,5$ mm

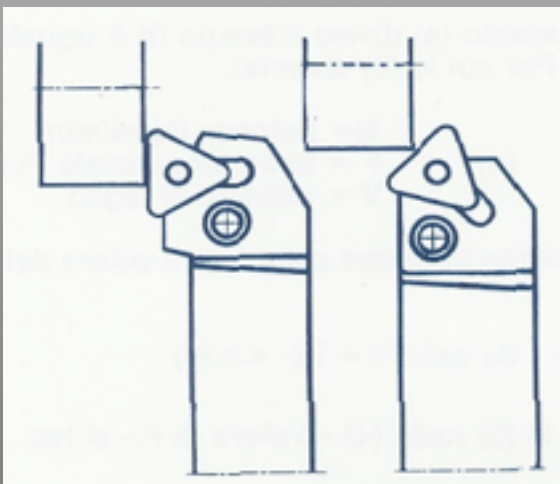
ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN TORNITURA



Sezione del truciolo

La sezione di truciolo A è il prodotto della profondità di passata (mm) per l'avanzamento (mm/giro).



L'angolo di registrazione del tagliente fa variare il truciolo da una forma rettangolare ($\chi = 90^\circ$) ad una romboidale ($\chi < 90^\circ$); la sezione rimane costante, ma lo spessore varia secondo

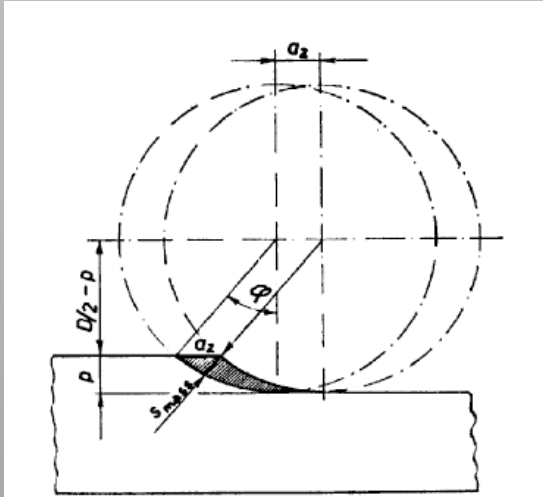
$$p = s \times \text{sen}(\chi)$$

La sezione di truciolo vale : $A = s \times a$ $[mm^2]$

La forza di taglio vale : $F_t = 5\sigma_r \times s \times a$ $[N]$

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FRESATURA



D = diametro fresa [mm]

p = larghezza fresata [mm]

a = profondità di passata [mm]

Z = numero denti fresa

Az = avanzamento/dente [mm/dente]

Smax = spessore massimo truciolo [mm]

Spessore del truciolo nella fresatura periferica

Lo spessore massimo del truciolo vale

$$S_{\max} = A_z \times \sin(\varphi) = 2A_z \sqrt{\frac{p}{D}}$$

Lo spessore medio vale (integrato sull'angolo φ)

$$S_m = \frac{A_z}{\varphi} (1 - \cos \varphi) = A_z \frac{360}{\pi \varphi} \frac{p}{D}$$

Sezione del truciolo nella fresatura periferica

Sezione massima del truciolo : $A_{\max} = a \times S_{\max} = a 2A_z \sqrt{\frac{p}{D}} \quad [mm^2]$

Sezione media del truciolo : $A_m = a \times S_m = a A_z \frac{360}{\pi \varphi} \frac{p}{D} \quad [mm^2]$

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FRESATURA

Spessore del truciolo nella fresatura frontale

Lo spessore del truciolo vale (χ angolo di registrazione)

$$S = A_z \times \text{sen}\varphi \times \text{sen}\chi$$

Lo spessore massimo vale

$$S_{\max} = A_z$$

Lo spessore medio vale

$$S_m = pA_z \frac{360 \text{ sen}\chi}{\pi\varphi D}$$

Sezione del truciolo nella fresatura frontale

La sezione massima vale

$$A_{\max} = a \times S_{\max} = aA_z$$

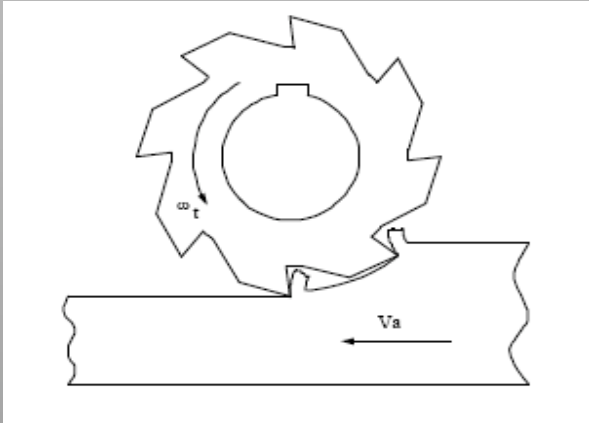
La sezione media vale

$$A_m = a \times S_m = \frac{a}{\text{sen}\chi} pA_z \frac{360 \text{ sen}\chi}{\pi\varphi D} = apA_z \frac{360}{\pi\varphi D}$$

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FRESATURA

Numero di denti in presa nella fresatura periferica



φ = angolo di fresa in contatto col pezzo

δ = angolo fra i denti della fresa

L'angolo di fresa in contatto col pezzo vale

$$\varphi = \arccos\left(\frac{\frac{D}{2} - p}{\frac{D}{2}}\right) = \arccos\left(\frac{D - 2p}{D}\right)$$

L'angolo fra i denti della fresa vale

$$\delta = \frac{360}{Z}$$

Il numero di denti in presa vale

$$\psi = \frac{\varphi}{\delta} = Z \left[\frac{\arccos\left(\frac{D - 2p}{D}\right)}{360} \right]$$

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FRESATURA

Numero di denti in presa nella fresatura frontale

L'angolo di fresa in contatto col pezzo vale

$$\varphi = \arccos\left(\frac{p/2}{D/2}\right) = \arccos\left(\frac{p}{D}\right)$$

Il numero di denti in presa vale

$$\psi = \frac{\varphi}{\delta} = Z \left[\frac{\arccos\left(\frac{p}{D}\right)}{360} \right]$$

Forza di taglio

La forza di taglio vale $F_t = \psi \times 5\sigma_r \times A$ [N]

Potenza di taglio

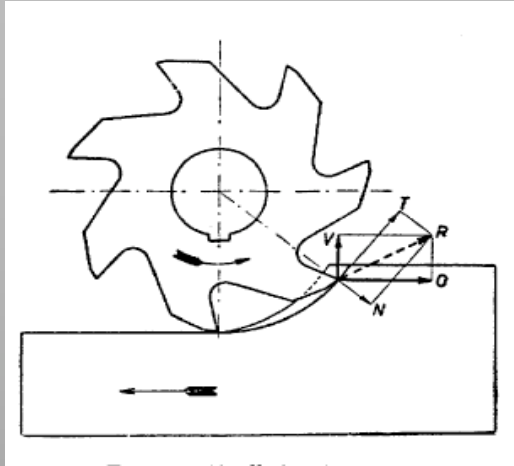
La potenza di taglio vale $P_t = \frac{F_t \times V_t}{60000}$ [KW]

Potenza di avanzamento

La potenza di avanzamento vale $P_a \approx \frac{P_t}{10}$ [KW]

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FRESATURA



Fresatura in opposizione

Vantaggi

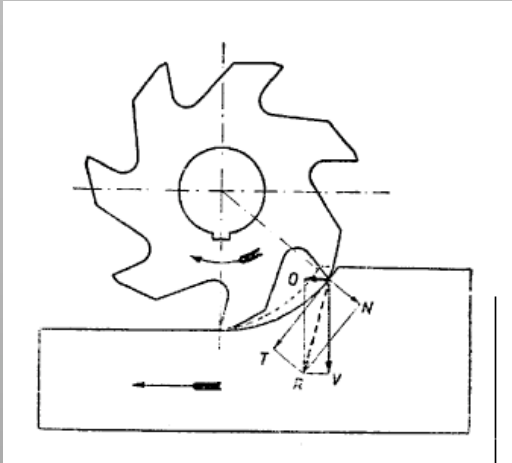
- i taglienti in ingresso non sono influenzati dalle condizioni superficiali del pezzo
- l'operazione di taglio risulta omogenea
- sono recuperati i giochi lungo la direzione di lavoro
- da preferire in presenza di forti variazioni di sovrametallo

Svantaggi

- l'utensile tende a vibrare
- il pezzo tende ad essere sollevato
- maggiore usura dell'utensile rispetto alla fresatura in concordanza
- i trucioli si posizionano davanti alla fresa ed è più difficile rimuoverli ; possono danneggiare la finitura superficiale
- maggiore potenza mandrino assorbita (fase iniziale strisciamento tagliente- superficie in lavoro)

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FRESATURA



Fresatura in concordanza

Vantaggi

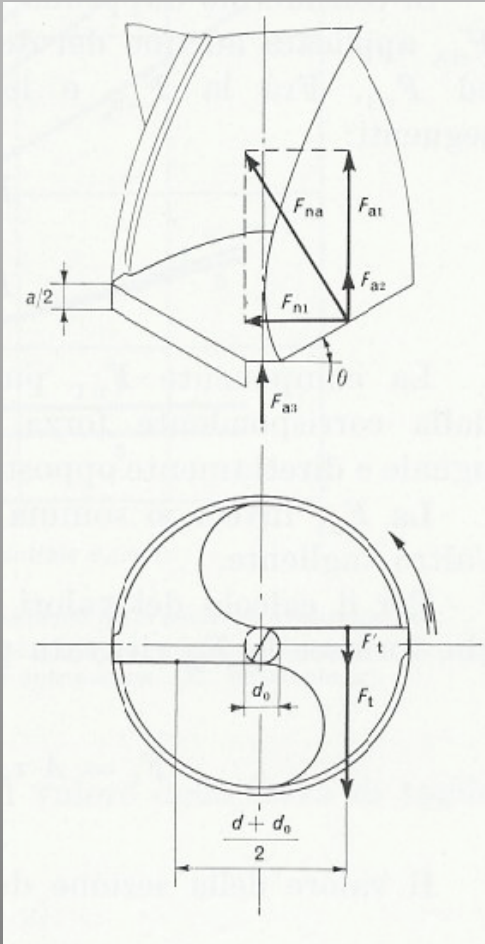
- il pezzo in lavorazione è premuto sul supporto di fissaggio ; importante per la lavorazione di pezzi sottili
- il truciolo è evacuato facilmente dalla zona di lavoro
- minore usura dei taglienti
- finitura superficiale migliore e minori problematiche di rottura e scheggiatura del tagliente
- assorbimento di potenza inferiore al taglio in opposizione

Svantaggi

- elevato sforzo di ingresso del tagliente
- allo spessore del truciolo vengono aggiunti gli eventuali giochi presenti nel cinematismo di avanzamento tavola
- inadatta a lavorare pezzi con scorie superficiali a causa di elevata usura e danneggiamento del tagliente
- sconsigliata per pezzi con grandi variazioni di sovrametallo

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FORATURA



D = diametro punta [mm]

D_0 = lunghezza spigolo centrale [mm]

ϑ = angolo di inclinazione del tagliente [$^\circ$]

a = avanzamento [mm/giro]

A = sezione del truciolo [mm^2]

Analisi delle forze

- forze di taglio applicate ai taglienti
- forze dovute all'attrito dorsale
- forza agente sullo spigolo centrale

Risultante F delle forze applicate

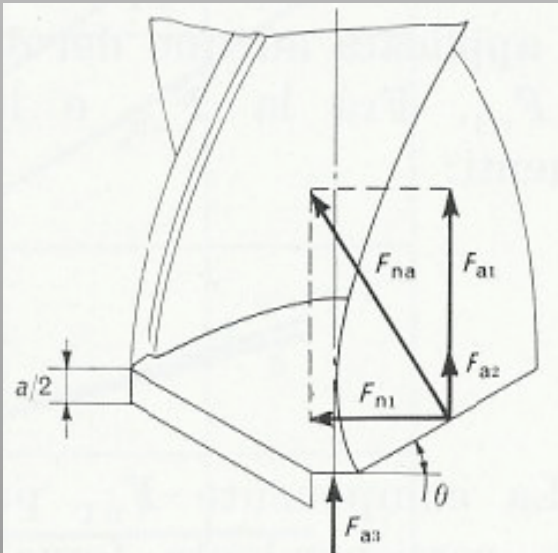
Si può scomporre in due componenti entrambe normali al tagliente :

- componenti nel piano verticale
- componenti nel piano orizzontale

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FORATURA

Analisi delle forze nel piano verticale



Componente F_{na} applicata al tagliente

Può essere scomposta nelle componenti

$$F_{a1} = F_{na} \cos \vartheta = F_t \tan(\tau - \gamma) \cos \vartheta$$

$$F_{n1} = F_{na} \sin \vartheta = F_t \tan(\tau - \gamma) \sin \vartheta$$

La componente F_{n1} è equilibrata dalla forza di verso opposto agente sull'altro tagliente. Le componenti F_{a1} agenti sui rispettivi taglienti si sommano.

Componente F_{a2} di attrito dorsale

Assume valori $K \approx 70$ [N/mm] di lunghezza del tagliente

$$F_{a2} = K \frac{d - d_0}{2 \cos \vartheta} \quad \text{con } d_0 \approx 0,13d$$

Forza F_{a3} agente sullo spigolo centrale

Ha valori dello stesso ordine di grandezza di quelli delle forze di taglio sul tagliente : $F_{a3} = F_{a1} + F_{a2}$

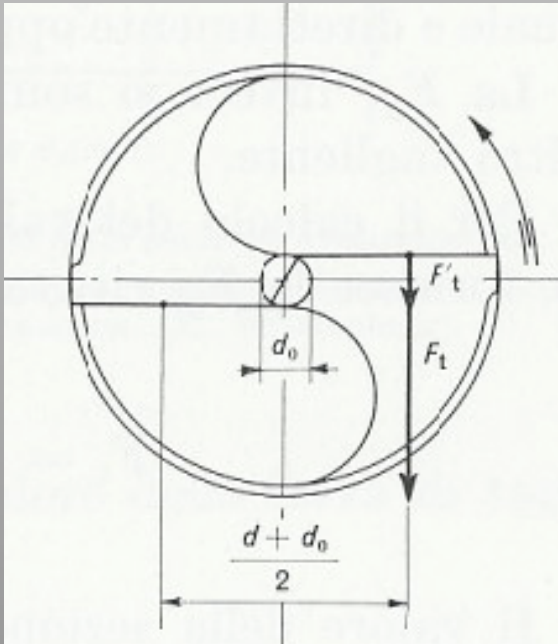
Somma delle forze verticali (due taglienti)

$$F_a = 2(F_{a1} + F_{a2} + F_{a3}) = 4(F_{a1} + F_{a2})$$

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FORATURA

Analisi delle forze nel piano orizzontale



Forza F_t principale di taglio

la sezione del truciolo vale $A = \frac{d - d_0}{2} \frac{a}{2}$

e la forza di taglio $F_t = 5\sigma_r A$

Componente F'_t di attrito dorsale

Assume valori $K \approx 25$ [N/mm] di lunghezza del tagliente

$$F'_t = K \frac{d - d_0}{2 \cos \vartheta}$$

Somma delle forze orizzontali

$$F_{tot} = F_t + F'_t = (5\sigma_r A) + K \frac{d - d_0}{2 \cos \vartheta}$$

Coppia di taglio e coppia di attrito

Le forze agenti sul piano orizzontale generano una coppia dovuta al contributo della forza di taglio e della forza di attrito :

$$M_{tot} = M_t + M'_t = (F_t + F'_t) \frac{d + d_0}{2} = F_{tot} \frac{d + d_0}{2}$$

ASPORTAZIONE DEL TRUCIOLO

FORZE DI TAGLIO IN FORATURA

Considerazioni sulla potenza assorbita

Potenza assorbita per il moto di avanzamento

$$P_a = F_a V_a = F_a \frac{n \times a}{60 \times 10^6} \text{ [KW]}$$

Fa = forza di avanzamento [N]

Va = vel. avanzamento [mm/min]

n = numero di giri [giri/min]

a = avanzamento [mm/giro]

Potenza assorbita per il moto di taglio

$$P_t = M_{tot} \omega = M_{tot} \frac{2\pi n}{60} \text{ [KW]} \quad M_{tot} = \text{[Nm]}$$

In condizioni di taglio normale risulta

$$P_a \approx 0,01 \times P_t$$

e si può trascurare considerando solamente la potenza assorbita per il moto di taglio