

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

Distacco di alcune parti di materiale dal pezzo attraverso l'interazione con utensili che agiscono in maniera progressiva

- cinematica del taglio
- meccanica del taglio
- parametri di lavorazione
- risultati delle lavorazioni
- macchine e processi



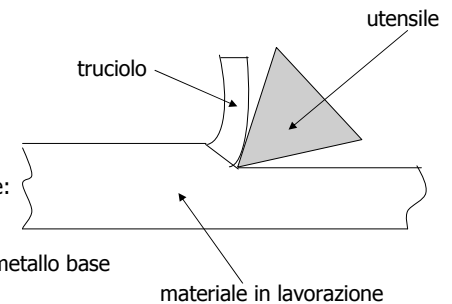
ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

misure sperimentali mostrano che:

- produzione di calore
- spessore del truciolo $h_c > h_o$
- durezza del truciolo $>$ durezza metallo base



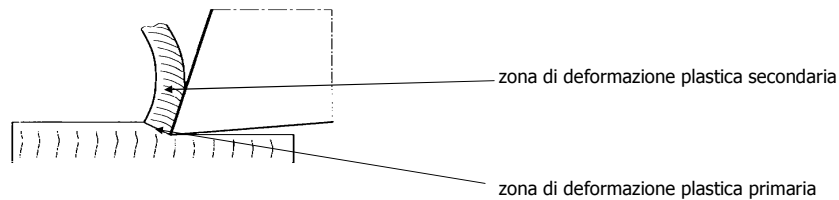
la formazione del truciolo avviene per deformazione plastica



ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

Metodi per analizzare la deformazione plastica durante la lavorazione

- taglio interrotto
- microscopia ottica ed elettronica della morfologia del truciolo



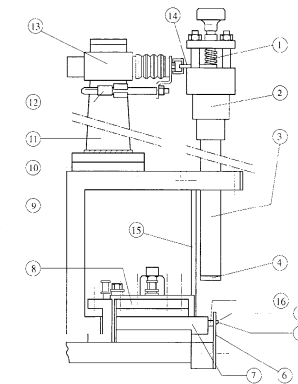
Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

3

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

Dispositivo quick stop tests



- Schema del dispositivo di quick-stop "Plus 3"
- 1) Percussore
 - 2) Camera di scoppio
 - 3) Cannone Ø 6 mm
 - 4) Dispositivo per la misura della velocità di uscita del proiettile
 - 5) Utensile
 - 6) Schermo di protezione
 - 7) Portautensile
 - 8) Torretta portautensile
 - 9) Supporto
 - 10) Disanziale
 - 11) Supporto
 - 12) Micro-switch per il comando dell'arresto dell'avanzamento
 - 13) Elettromagnete, controllato da micro-switch posto sulle guide del tornio
 - 14) Spoletta
 - 15) Piastra di irrigidimento
 - 16) Zona di impatto fra proiettile ed utensile
 - 17) Zona di taglio

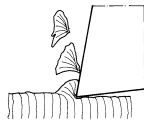


Tecnologia Meccanica

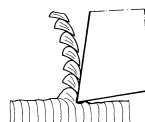
Modelli di forza di taglio

4

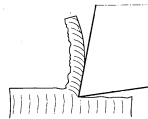
TIPI DI TRUCIOLO



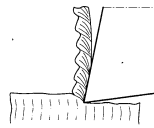
Ad elementi staccati tipico di materiali duri fragili ottone, ghisa) non si ha deformazione nella zona secondaria



Segmentato tipico di materiali duri ma tenaci (acciai alto carbonio) si ha modesta deformazione nella zona secondaria



Fluente, continuo, tipico di materiali duttili (acciai basso carbonio, alluminio, alcune leghe leggere), la deformazione e l'attrito nella zona di deformazione secondaria portano a notevole produzione di calore



Fluente, continuo frammentato, indica che nella zona di deformazione primaria si è avuta una variazione della direzione di deformazione vibrazioni, irregolarità, durata inferiore di utensile



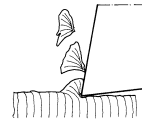
Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

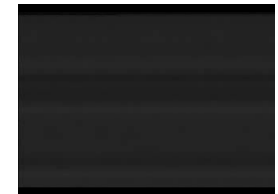
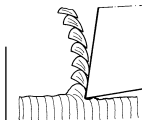
5

TIPI DI TRUCIOLO

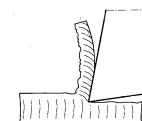
Ad elementi staccati tipico di materiali duri fragili



Segmentato tipico di materiali duri ma tenaci



Fluente, continuo, tipico di materiali duttili



Tecnologia Meccanica

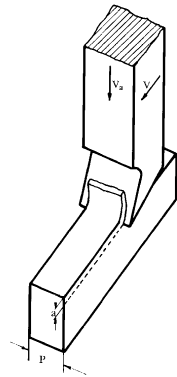
Modelli di forza di taglio

6

TAGLIO ORTOGONALE

IPOTESI:

- larghezza del tagliente maggiore di larghezza del pezzo
- velocità di taglio costante lungo tagliente
- tagliente perpendicolare alla velocità di t :



Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

7

TAGLIO ORTOGONALE

IPOTESI:

- larghezza del tagliente maggiore di larghezza del pezzo
- velocità di taglio costante lungo tagliente
- tagliente perpendicolare alla velocità di taglio



Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

8

MODELLI A PIANO DI SCORRIMENTO

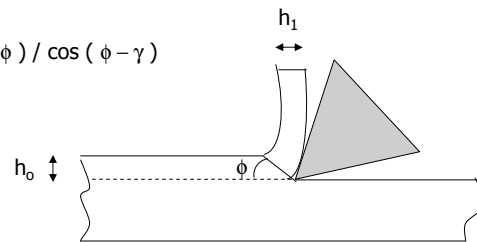
Φ angolo di scorrimento

h_c spessore del truciolo

h_o spessore del truciolo indeformato

$r_c = h_c / h_o$ fattore di ricalcamento

geometricamente: $c = \sin(\Phi) / \cos(\Phi - \gamma)$



ANGOLI DI TAGLIO

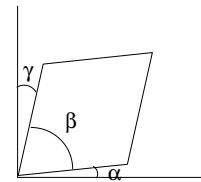
ANGOLI DI TAGLIO

γ angolo di spoglia frontale $>0, <0, =0$

α angolo di spoglia dorsale >0

β angolo di taglio $??$

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ$$



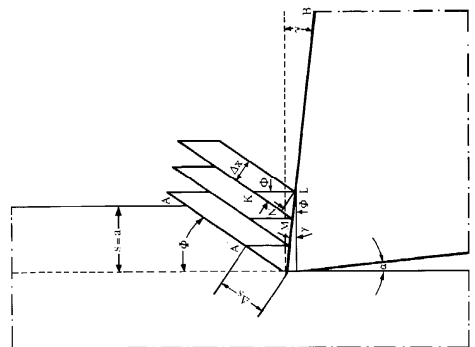
MODELLO PIJSPANEN (1948)

permette di ottenere la deformazione

$$\gamma_s = \cot \phi + \tan (\phi - \gamma)$$

e poi (minimizzando γ_s)

$$\phi = 45 + \gamma / 2$$

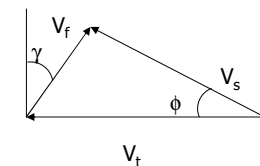


CINEMATICA DEL TAGLIO

V_t velocità relativa utensile pezzo
velocità di taglio

V_s velocità relativa truciolo pezzo
velocità di scorrimento

V_f velocità relativa truciolo utensile
velocità di flusso



$$V_t \times h_0 = V_f \times h_1$$

$$V_f = V_t \times r_c$$

$$V_s = V_f \cos \gamma / \sin \phi$$

ed infine la velocità di deformazione $\dot{\gamma}_s = V_t / \Delta x \cos \gamma / \cos (\phi - \gamma)$

Da osservazioni sperimentali è possibile stimare Δx e quindi, dopo calcolo e misurato le altre grandezze in gioco, anche la velocità di deformazione

$$\dot{\gamma}_s \in [10^2 - 10^6 \text{ s}^{-1}]$$



DINAMICA DEL TAGLIO

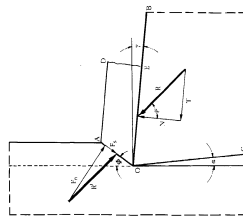
Il truciolo è in equilibrio sotto l'azione dell'utensile e la reazione del pezzo

la forza generica che si scambiano utensile e pezzo può essere scomposta lungo direzioni di interesse tecnologico:

- direzione velocità di taglio
- direzione perpendicolare
- direzione petto utensile
- direzione piano di scorrimento

potenza di taglio
inflexione pezzo
usura utensile
minima forza

scelta macchina e parametri
tolleranza di lavorazione
cambio utensili
condizioni per il taglio



Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

13

CERCHIO DI M

Scomposizione della forza risultante secondo il 'cerchio di Merchant'

$$R = \text{SQR} (F_z^2 + F_x^2)$$

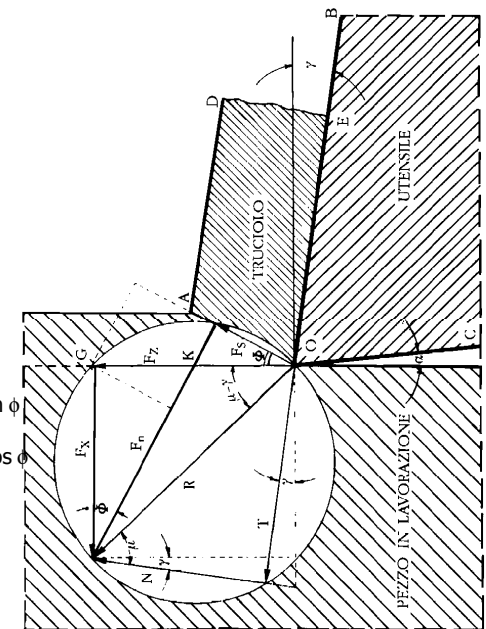
$$F_z = R \cos (\rho - \gamma)$$

$$F_x = R \sin (\rho - \gamma)$$

$$F_s = R \cos (\phi + \rho - \gamma) = F_z \cos \phi - F_x \sin \phi$$

$$F_n = R \sin (\phi + \rho - \gamma) = F_z \sin \phi + F_x \cos \phi$$

$$T = R \sin \rho \quad \text{e} \quad N = R \cos \rho$$



Tecnologia Meccanica

Mode

TEORIA DI ERNST & MERCHANT

Sul piano di scorrimento

$$\tau_s = F_s / S_s = F_s / S \sin \phi = \frac{R \cos (\phi + \rho - \gamma) \sin \phi}{S}$$

e

$$\sigma_s = F_n / S_s = F_n / S \sin \phi = \frac{R \sin (\phi + \rho - \gamma) \sin \phi}{S}$$

Queste relazioni ci suggeriscono come e quando sia possibile avere deformazione plastica sul piano di scorrimento

Infatti, è possibile trovare un piano caratterizzato da un certo ϕ nel quale la τ_s sia massima ed, eventualmente, maggiore della resistenza alla deformazione del materiale.

La forza F_z che provoca scorrimento su quel piano è quindi la forza minima che può formare truciolo.

Il problema è quindi quello di trovare una espressione $F_z = f(\phi, \mu, \gamma)$, ricavare il valore di ϕ che rende minima la F



TEORIA DI ERNST & MERCHANT

$$F_z = \frac{F_s \cos (\rho - \gamma)}{\cos (\phi + \rho - \gamma)} = \frac{\tau_s S \cos (\rho - \gamma)}{\sin \phi \cos (\phi + \rho - \gamma)}$$

derivando rispetto a ϕ ed uguagliando a zero:

$$\frac{dF_z}{d\phi} = - \frac{\cos \phi \cos (\phi + \rho - \gamma) - \sin \phi \sin (\phi + \rho - \gamma)}{\sin^2 \phi \cos^2 (\phi + \mu - \gamma)} = 0$$

cioè

$$\cos \phi \cos (\phi + \rho - \gamma) - \sin \phi \sin (\phi + \rho - \gamma) = \cos (\phi + \phi + \rho - \gamma) = 0$$



TEORIA DI ERNST & MERCHANT

Relazione di Ernst - Merchant

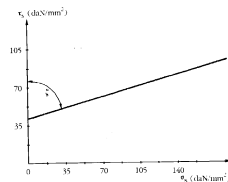
$$2\phi + \rho - \gamma = \pi / 2$$

angolo di scorrimento: - diminuisce con l'aumentare dell'angolo di attrito
- aumenta con l'angolo di spoglia frontale

L'evidenza sperimentale mostra una certa differenza da tale relazione e allora Merchant, considerando anche la σ_s , secondo la $\tau_s = \tau_0 + k \sigma_s$ ha proposto la

$$2\phi + \rho - \gamma = \zeta$$

la determinazione sperimentale di ζ permette un migliore accordo



Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

17

METODO DELLA PRESSIONE SPECIFICA

Metodo del K_s

$$F_z = K_s S$$

- tiene conto di reale situazione tecnologica
- le approssimazioni sono più che accettabili e si evitano molti calcoli

Il metodo è prettamente tecnologico in quanto la determinazione del K_s viene fatta attraverso la misura delle forze di taglio nelle condizioni reali di lavoro

Determinazione del K_s sperimentale

- si scelgono alcune condizioni sperimentali
 - spessore del truciolo
 - velocità di taglio
 - angolo γ
- si effettuano prove di taglio e si misura la F_t
- si calcola $K_s = F_t / A_0$



Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

18

METODO DI KRONEMBERG

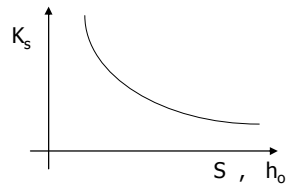
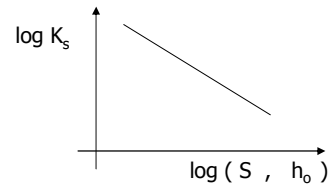
Relazione pressione (energia) specifica di taglio / spessore truciolo indeformato

$$K_s = K_{s0} S^{-z}$$

prove sperimentali per vari materiali danno i risultati riportati in tabella

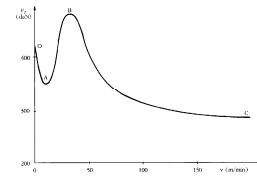
	acciai	ghise	ottoni	leghe leggere
z	0.197	0.137	0.255	0.060

Relazione di Kronenberg (per gli acciai): $K_{s0} = 2.4 R_m^{0.454} \beta^{0.666} \text{ [daN/mm}^2 \text{]}$

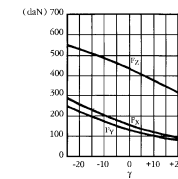


FORZA DI TAGLIO

in funzione della velocità



e dell'angolo γ



POTENZA

Potenza di taglio:

- Velocità di taglio
- Forza di taglio

($P = V \times F$)

Potenza di avanzamento:

- Velocità di avanzamento
- Forza di avanzamento

Potenza di repulsione:

- Velocità di repulsione
- Forza di repulsione

Dati noti: V_t , F_t , V_a , V_r

$$P = V_t \times F_t + V_a \times F_a$$

inoltre: $Fr = 15-25 \% Ft$ $Fa = 20-30\% Ft$



PARAMETRI DI LAVORAZIONE

- angolo di spoglia frontale γ	diminuisce Ft
	truciolo fluente
	migliora finitura superficiale
	minori potenze
	minore usura utensile
	utensile meno robusto
sgrossatura max 6°	finitura fino a 20° (alluminio)

- angolo di spoglia dorsale α	evita strisciamento del dorso dell'utensile evita danneggiamento superficie lavorata deve essere	- piccolo per non indebolire l'utensile - grande per non causare strisciamento - grande se E è piccolo (alluminio)
acciai 6-8°	Al 10-12°	



FORZA DI TAGLIO

F_t serve principalmente per la determinazione della potenza di taglio

Fa influenza inflessione utensile, contribuisce (poco) alla potenza di taglio

F_r determina principalmente l'inflessione del pezzo e quindi le tolleranze di lavorazione non contribuisce alla potenza di taglio



PARAMETRI DI LAVORAZIONE

- Spessore del truciolo



aumenta potenza di taglio
" produttività
" usura utensile
diminuisce finitura superficiale

- Larghezza del truciolo



aumenta potenza di taglio
" produttività

- Velocità di taglio



aumenta potenza di taglio
" produttività
" usura utensile
" finitura superficiale



PARAMETRI DI LAVORAZIONE

- | | |
|-----------------------------|--|
| - Materiale da lavorare | se ne tiene conto attraverso il Ks |
| - Materiale dell'utensile | usura utensile
vita utile
finitura superficiale |
| - Lubrorefrigerazione | calore sviluppato
vita utensile
finitura superficiale
potenza di taglio |
| - Tipo di macchina utensile | rigidezza
precisione
smorzamento vibrazioni |



LAVORABILITA'

attitudine del materiale ad essere lavorato
per asportazione di truciolo (truciolabilità?)

criteri per valutare la lavorabilità di un materiale

finitura superficiale
vita utensile
forze e potenze
evacuazione del truciolo

Le prove per determinare la lavorabilità devono necessariamente essere di tipo tecnologico:
usura utensile (microscopia), forze di taglio (dinamometri), finitura superficiale (rugosimetri)
determinati nelle condizioni di lavoro, per certi set di parametri tecnologici



LAVORABILITA'

Dipende da varie caratteristiche

- | | | |
|----------------------------------|---|---|
| - del materiale | - composizione chimica
- lavorazioni / trattamenti
subiti in precedenza | deformazione plastica
incrudimento
ricristallizzazione
trattamenti termici
fasi
dimensioni dei grani
orientazione dei grani |
| | - caratteristiche strutturali | |
| - della tecnologia / lavorazione | sgrossatura / finitura
fresatura concorde / discorde
lubro-refrigerazione | |
| - dell'utensile | materiale
angoli di spoglia
rompitruciolo | |



Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

27

LAVORABILITA'

- | | | | |
|-----------|--|-----------|---|
| Acciai | al piombo (particelle lubrificanti)
allo zolfo (particelle infragilizzanti)
al calcio (particelle desossidanti)
al carbonio (vedi HB -> Ks)
inox - tenacità (austenitici)
- abrasività (martensitici) | Ghise | fragili
truciolo corto
abrasività cementite |
| Alluminio | bassa HB
buona finitura superficiale
alta Vt | Compositi | sollecitazioni variabili
urti/usura/vibrazioni |
| Magnesio | basso Ks | Ottone | truciolo corto
lunga durata utensili |
| Titanio | bassa conducibilità termica / alto Ks | Leghe Ni | alta R ad alta temperatura
incrudimento / tenacità |



Tecnologia Meccanica

Modelli di forza di taglio

28