

$$P_{fd} = \frac{F_{fd}}{F} = \frac{A_c \cdot \sigma_m \cdot \bar{v}}{F} = A_c \cdot v_c \cdot \sigma_m \cdot \bar{v}$$

$$F_{fd} = A_c \cdot \sigma_m \cdot \bar{v}$$

$$P_{fd} = \frac{F_{fd}}{A_c} = \sigma_m \cdot \bar{v}$$

Pressione

tutti gli altri parametri sono uguali

$P_{est} =$  rendimento di estrusione  $\approx 0.4$  diretto

$\approx 0.5$  inversa

28-11-201

## LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE

Sono un grado di sostituire la migliore finitura superficiale e le migliori tolleranze

= viene rimosso del materiale dal grezzo a seguito di una lavorazione meccanica con un utensile in moto relativo con interferenza

[es. elettrolitica, fresatura chimica => non solo principi meccanici, ma anche altri]

Si classificano generalmente per le modalità di moto relativo -> moto di taglio rotazionale

- moto di lavoro

o per quale elemento in gioco possiede il moto di taglio

(moto di taglio rettilineo)

-> tornitura = moto di taglio affidato al pezzo (in questo caso in rotazione),  
l'utensile si muove di moto di AUMENTAZIONE: pezzo (utensile ad interfaccia)  
(-AVANZAMENTO)

-> fresatura = il pezzo ha il moto di alimentazione e l'utensile il moto di taglio

-> foratura = l'utensile possiede moto di taglio e di avanzamento

-> rettifica = l'utensile ha il moto di lavoro, il moto di alimentazione è affidato ad entrambi (da parte del cor.)

Il processo è abbastanza complesso

TAGLIO ORTOGONALE è una versione semplificata del processo

SPIGOLA FACILENTE -> nella realtà avrà un angolo di raccordo

PETTO DELL'UTENSILE = superficie che rimane a contatto

FRANCO DELL'UTENSILE = superficie che quando sento lavorato la superficie appena generata

C'è moto relativo tra pezzo e utensile: moto ~~de~~ rettilineo uniforme => velocità di taglio

$S =$  spessore di TAGLIO => spessore del truciolo indeformato

$S_1 =$  spessore del truciolo deformato

$S/S_1 =$  fattore di riaccolamento  $\approx 1/3 \leq 1$

Il materiale rimosso si deforma e scivola sul petto dell'utensile

$\theta =$  angolo di sovrapposizione (o superiore) -> è l'angolo tra il petto dell'utensile e  $R$   
perpendicolare alla velocità di taglio.  
può essere  $0^\circ$ , minore di  $0^\circ$ , maggiore di  $0^\circ$

• il materiale dell'utensile deve essere + duro del materiale del pezzo

• l'utensile deve avere una geometria particolare -> è molto importante

Deformazioni e velocità di deformazione molto elevate ( $10^3 - 10^6$  mm/s) => grande quantità di energia

che mi scatta in calore -> si riscalda la temperatura: una buona parte sul truciolo (70%),

il 20% nell'utensile ( $700^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$  è  $R$  norma), 5-10% sul pezzo

-> il pezzo non è scaldato molto, perché è distribuito su tutto il pezzo

contatto di qualità sono poi fatti sulla superficie generata (o generata)

Perché ci sia trasmissione di energia, ci sono delle forze  $\neq$  normalmente scomposte // e  $\perp$  alla velocità  
La simulazione dei processi per asportazione non è ancora lo stato dell'arte

Le deformazioni e le velocità di def. sono fattori che è difficile conoscere (o uno tensione-deformazione problemi anche nel tipo di contatto)

Con buona approssimazione, il materiale  $\rightarrow$  deforma tra A e O (PIANO DI SCORRIMENTO)

$\varphi$  = ANGOLO DI SCORRIMENTO

↳ nella realtà si viene conto di una zona di DEFORMAZIONE intorno al piano ( $\times$  materiali duttili)

È una deformazione per deformazione piuttosto così intenso

da portare il sovrametallo a rottura e separazione del pezzo.

ANGOLO DI SPERGA ORSALE  $\alpha$  = tra la frangia (= plasto) e la direzione della velocità di taglio: è sempre maggiore di  $0^\circ$  per evitare il tallonamento (stressamento in pezzo e utensile)

ANGOLO SAURO  $\beta$ :  $\alpha + \beta + \delta = 90^\circ$   $\rightarrow$  misura della resistenza meccanica alle forze di taglio

$\rightarrow$  idealmente  $\alpha$  è piccolo meglio è, ma nella realtà non sono piccolissimo

LARGHEZZA DI TAGLIO  $e$   $\rightarrow$  coincide con la larghezza del tagliente impegnato

SEZIONE DEL TRUCCO INDEFORMATO =  $s_0$

$\rightarrow$   $\beta$  maggior parte dei modelli per il calcolo delle forze si basano su questo area qui

Per il modello deformato:  $e$  rimane costante,  $s_1 > s_0 \Rightarrow A_1 > A_0$  un medio ~~costante~~  
 $\rightarrow$  è difficile misurare lo spessore

Utensile e pezzo

Le forze si scambiano una RISULTANTE delle forze  $\rightarrow$  più vicina al tagliente

$\rightarrow$  punto di applicazione sul contatto tra truciolo e utensile. C'è una distribuzione di pressioni non uniforme (pressioni molto alte tangenziali)

Individuiamo le due componenti:

• FORZA (PRINCIPALE) DI TAGLIO: // alla velocità di taglio  $F_T$

• FORZA DI PERCUSSIONE:  $\perp$  alla velocità di taglio  $F_M$

Solo  $F_T$  è responsabile del consumo di energia.

La potenza usata è impegnata  $P_m = F_T \cdot v_t$

Queste forze sono note a priori  $\rightarrow$  se il modello è efficiente, si possono stimare, ma è meglio misurare con dei dinamometri

La velocità di taglio è perpendicolare al tagliente  $\rightarrow$  è una semplificazione  
Si assume che il taglio ortogonale sia un fenomeno piano: non ci sono componenti di forza deformazione e velocità parallele al tagliente

## TORNITURA

Il pezzo è montato su una macchina che pone in rotazione il pezzo (velocità di 100 - 1000 giri al minuto)

L'utensile è dotato di un matto a 2 componenti  $\rightarrow$  su un piano che passa per l'asse di rotazione del pezzo

La superficie generata ha moto elicoidale  $\rightarrow$  dipende dall'AVANZAMENTO A GIRO dell'utensile = passo del matto elicoidale

Se adottato un avanzamento piccolo e una geometria giusta non vedo le creste elicoidali

In tornitura otteno superficie APO-SIMMETRICHE

Tecnature complesse  $\rightarrow$  combinare i due modi (lungo i due assi)  $\rightarrow$  2 golf  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  TRAZIONI A CONTROLLO NUMERICO

$\rightarrow$  LAVORAZIONI DI FORMA : dipende dalla forma/geometria dell'utensile

$\rightarrow$  LAVORAZIONI PER GENERAZIONE : dipende dal movimento dell'utensile

Attrezzature per  $\rightarrow$  bloccare il pezzo : mandrino autocentrico

$\rightarrow$  riferito in un sistema di riferimento

Le forze possono arrivare a diverse migliaia di Newton

CARATTERISTICHE DELL'UTENSILE : materiali molto duri e resistenti

Stelo che ha funzioni di vincolo, TESTA che entra in contatto con il pezzo  $\rightarrow$  spesso sono di  
 $\rightarrow$  acciaio temprato a base ferrite di carbonio  $\rightarrow$  specifiche + severe  
materiali differenti

Stessa la parte che entra in contatto con il pezzo è l'INSERTO (che caratterizza)  $\rightarrow$  fissato allo  
stelo con saldatura (con una leg. di rame), o meccanicamente (con uno stello che comprime  
 $\rightarrow$  materiale d'inserto)

o con una vite che attraversa l'inserto. È progettato così che le forze di taglio spingano l'inserto  
sullo stelo

L'inserto ha varie geometrie : triangolari, con forme complesse, quadrato, ...  
 $\rightarrow$  caso anche rotondo e usare uno spigolo

Se l'inserto è usurato è possibile sostituirlo (cioè non è fissato)  $\rightarrow$  nuovo

inserti circolari  $\rightarrow$  effetto similitudine, elevate pressioni specifiche  $\rightarrow$   $\times$   $\rightarrow$  dipende da quanto  
UTILIZZO

In qualche caso è necessario non dare il petto dell'utensile pieno, per deformare il fluido e spazzare

$\rightarrow$  il fluido fluente (non spazzato) può causare danni ed è difficile da gestire : una  
geometria particolare (FORNA-TRUCO) lo spinge a rompere

Sull'utensile trova molti elementi di cui abbiamo già parlato più :

$\rightarrow$  punto d'incontro dei due taglianti

- TAGLIANTE PRINCIPALE, lo spigolo che taglia materiale, PUNTA DELL'UTENSILE e TAGLIANTE SECONDARIO  
di cui una piccola porzione è interessata per il taglio elastico del pezzo  
 $\rightarrow$  ci sono due taglienti rispetto al taglio ortogonale.

Sistema di riferimento : base dello stelo + piano passante per la punta dell'utensile parallelo al  
piano di base dello stelo

Con una sezione normale al tagliente principale, si possa ripetere quasi le stesse cose delle  
taglio ortogonale

$\psi$  e  $\psi'$  regolano la posizione dei taglienti  $\rightarrow$  finitura superficiale

$$E = \psi + \psi'$$

- $\alpha$  : l'angolo di sporgimento inferiore deve essere maggiore di 0

$$\psi = \arctan \frac{a}{r} \quad \rightarrow \alpha \text{ deve essere maggiore di } \psi \text{ per evitare taloramenti}$$

quindi per un dato utensile deve reggere a (e quindi la velocità) per  $\alpha > \arctan \frac{a}{r}$

[infatti la superficie che si genera non è verticale, ma l'angolo dell'angolo  $\psi$ ]

Se  $\alpha$  però fosse troppo grande, le forze di taglio sul petto sarebbero troppo forti e porterebbero  
a cedimento meccanico dell'utensile

- $\alpha$  angolo di sporgimento superiore, più  $\alpha$  è grande minori sono le forze di taglio e minori  
quindi le potenze e le temperature. Però all'aumentare di  $\alpha$ , diminuisce la sezione e la  
resistenza meccanica a flessione

$\psi$   $\rightarrow$  può essere  $\geq 0$ .  $\bar{e}$  + tutto un  $\psi$  positivo per operazioni di sgrossatura (esperto + materiale nell'unità di tempo, 4 mm<sup>2</sup>, forze di taglio e di repulsione elevate)

$\psi'$   $\rightarrow$  normalmente si tiene abbastanza elevato per conferire all'utensile robustezza

angoli di registrazione: compresi tra tangente principale e direzione della velocità di avanzamento (secondario)

[sono i complementi a 90° di  $\psi$  e  $\psi'$  nella tornitura cilindrica]  $\rightarrow$  cambiano nel tempo e la for. cilindrica determinano es. registro teorico della superficie lavorata

**Parametri di lavorazione:**

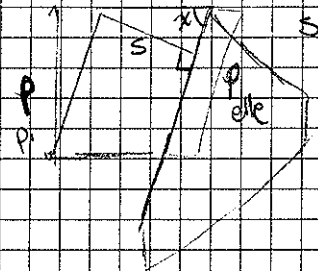
• diametro della superficie prima della lavorazione [mm]

• avanzamento a giro

$\rightarrow$  diametro dopo la lavorazione

• profondità di passata  $\rightarrow$  raddoppio di raggio del pezzo  $p = \frac{D-d}{2}$

[la sezione del truciolo è un parallelogramma di lati  $a$  e  $p/\sin \alpha$ ]



$s =$  spessore del truciolo misurato  $\perp$  al tagliente

$s = a \cdot \sin \alpha$

area della sezione =  $a \cdot p = \frac{p \cdot s}{\sin \alpha}$

velocità di rotazione del pezzo [rad/s]

• velocità di taglio  $V_t$ :  $V_t = \omega \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{60}{1000}$  [cm/minuto]

$V_t = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{60}{1000} = \frac{\pi n D}{1000}$

Questi ultimi 3 sono i più importanti; se li moltiplichiamo tra di loro

$MRR = V_t \cdot a \cdot p \cdot 1000 =$  portata volumica [mm<sup>3</sup>/min]

area della sezione del truciolo  
material removal rate = tasso di asportazione del materiale

• velocità di avanzamento:  $V_a$  [mm/minuto]

$V_a = a \cdot n$   
 $\rightarrow$  di giri al minuto

**FORZE:** possiamo sempre far riferimento in 3 direzioni

$\rightarrow$  // alla velocità di taglio: forza di taglio tangente al pezzo nel punto di contatto

$\rightarrow$  // all'avanzamento: forza d'avanzamento

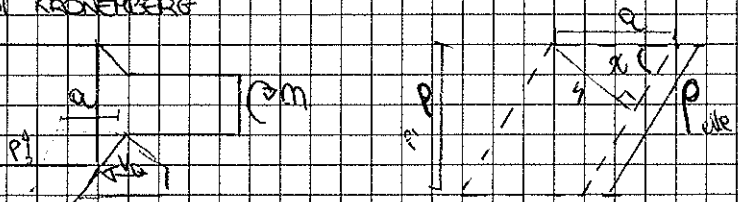
$\rightarrow$  // all'asse dello stelo: componente radiale, di repulsione

valori indicativi:  $F_a \approx \frac{1}{2} F_t$   $F_r < F_a$  di poco

Per la potenza:  $P = F_t \cdot V_t + F_a \cdot V_a + F_r \cdot 0$

$V_a \ll V_t$  (Bastina di grandezza)

**MODELLO DI MONTENEGRO**



$F_t = S \cdot p_c$   $\rightarrow$  pressione di taglio

$P_t \equiv P_t (D_m; f_{ad}; V_t; a; P; \text{condizioni di lubrificazione})$

no soprattutto  $P \equiv P_t(S)$

spessore del truciolo  $S = a \cdot \sin \alpha$

pressione specifica: che corrisponde ad una lunghezza unitaria di spessore del truciolo

MODELLO:  $P_t = P_s \cdot S^{-z}$   
 se  $S=1 \rightarrow P_t = P_s$   
pressione di taglio

è un modello semplificato perché mi dà una dipendenza così da S.

$P_s$  e  $z$  sono fattori che devo cercare sperimentalmente

$$F_t = P_s \cdot S^{-z} \cdot S = P_s \cdot (a \cdot \sin \alpha)^{-z} \cdot a \cdot P = P_s \cdot (\sin \alpha)^{-z} \cdot a^{-z} \cdot P$$

→ stima dello sforzo di taglio

Posso scrivere equazioni omologhe per la forza di avanzamento:

$$F_a = P_{sa} \cdot S^{-z_a} \cdot S$$

Q sono formule approssimate per i fattori sperimentali

$$P_s = 2.4 \cdot \sqrt[2.2]{R_m} \cdot \sqrt[1.5]{80 - \delta}$$

resistenza a rottura per gli acciai

$$P_s = 0.8 \cdot \sqrt[2.5]{HB} \cdot \sqrt[1.5]{80 - \delta}$$

durezza brinell per le ghise

**VERIFICHE**

- $\sigma < \sigma_{max}$   
lunghezza di taglio del tagliente impegnato  $\frac{P}{\sin \alpha} < P_{max}$   
lunghezza di taglio del tagliente
- $Q < Q_{max}$
- $P_m = \frac{P_t}{D_{troc}} < P_{max}$   
potenza massima della macchina
- $n < n_{max}$   
numero di giri al minuto richiesto  $n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot D} < n_{max}$   
quello disponibile sul marchio

vincoli imposti dal progettista

$$R_d < R_{d,max}$$

rigidità  $R_d \equiv R_d (V_t, a, P, \text{geometria dell'utensile})$   
nesso influente

vincolo sulla attrezzatura impiegata → è in grado di trasmettere la coppia necessaria, di garantire che l'inflessione del pezzo non sia troppo elevata

$$C_{trans} = z \cdot P \cdot A \cdot \mu \cdot \frac{D^*}{2}$$

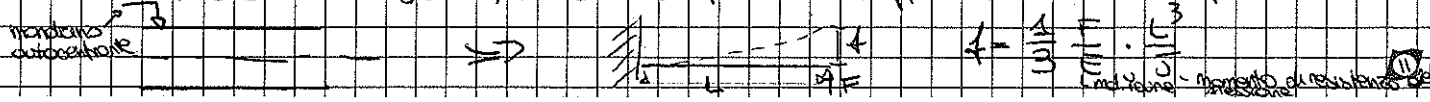
pressione di contatto nell'area di attrito  
area di contatto  
forza con cui ci sono i filetti come  
coefficiente di attrito  
di diametro di attacco

$$C_{trans} > C_t = F_t \cdot \frac{D}{2}$$

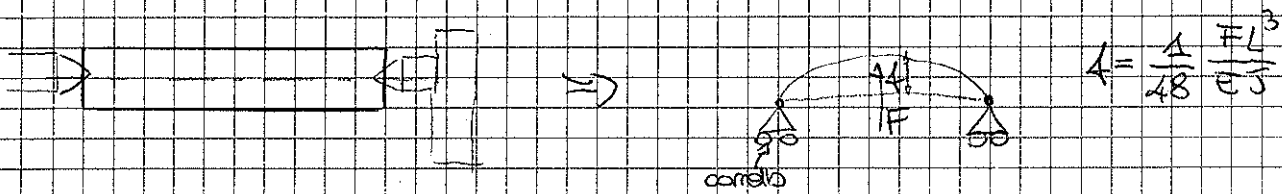
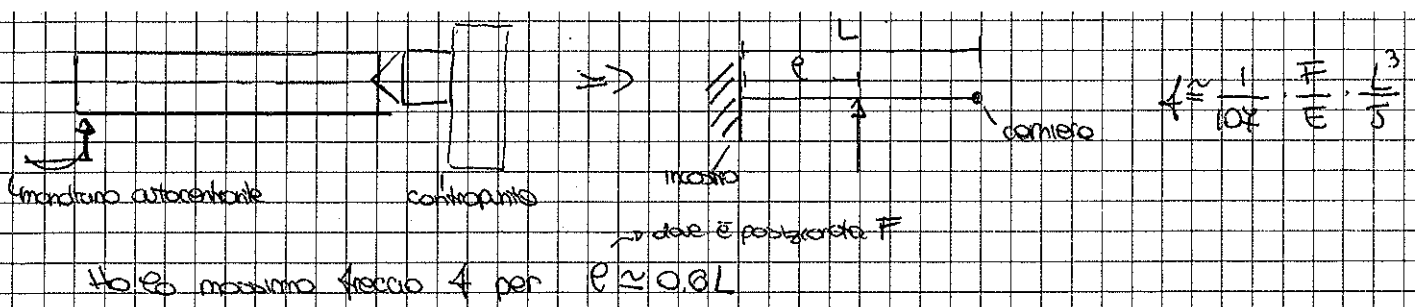
forza di taglio di diametro in corrispondenza della lavorazione

$\mu \approx 0.15 \div 0.8$  a seconda del materiale

super flessibilità del sistema, vincolo del pezzo ed analfettori

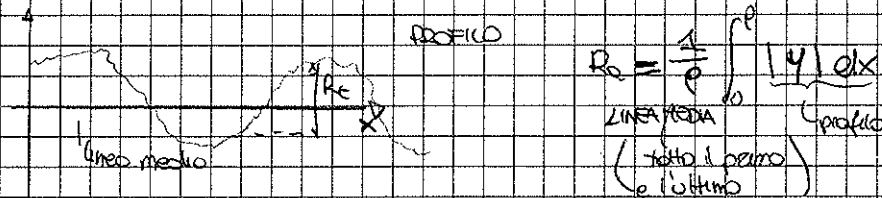






Il sistema di differenziale influisce molto sull'inflessione del pezzo, e quindi anche sulle vibrazioni e sulle tolleranze

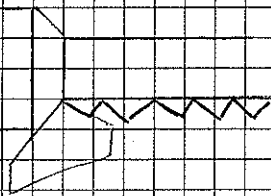
### RELAZIONE TRA RUGOSITÀ E AVANZAMENTO A GIRO



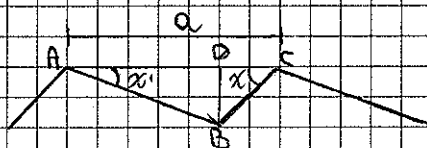
Si può dimostrare che per i profili periodici  $R_t (= R_{max}) = 4 \cdot R_q$  [μm]

↳ massima distanza tra picco e valle

In tecnica, con un raggio di raccordo della punta dell'utensile nullo, genero un profilo del tipo



il gioco è avere una velocità di avanzamento sufficientemente bassa



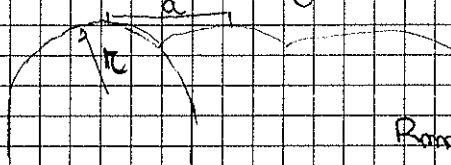
$DB = R_t$

$a = \overline{AD} + \overline{DC} = DB (\cotg \alpha' + \cotg \alpha)$

ho delle limitazioni questo modello

$R_q \approx \frac{R_t}{4} = \frac{1}{4} \cdot \frac{a}{\cotg \alpha' + \cotg \alpha} \cdot 10^3$  [μm]

Si può anche ricavare la rugosità teorica nel caso di utensile con raggio di raccordo  $r_c$  non nullo



il profilo generato è una successione di archi di circonferenza

$R_{max} \approx \frac{a^2}{8r_c} \cdot 10^3$

$R_q \approx \frac{a^2}{32r_c} \cdot 10^3$

Un altro parametro che influisce sulla rugosità è la velocità → all'aumentare della velocità, aumento la temperatura, materiale + elastico, diminuisce la rugosità

# FORATURA

Carità rotosimmetriche  $\rightarrow$  posizione, orientamento dell'asse geometrica, diametro, tolleranze  $\rightarrow$  FORO

Il buco ha un che di indeterminate per le caratteristiche geometriche

fora cilindrica, conici  $\rightarrow$  simmetria di rotazione

foratura: punto in rotazione e avanzamento dello punto

## PARAMETRI

- velocità di taglio  $\rightarrow$  velocità tangenziale (periferica) dello punto in rotazione  $[m/min]$

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

- avanzamento: spostamento assiale dello punto  $[mm]$  per un giro dello punto

## UTENSILE

Il diametro dello punto è il diametro del cilindro di sviluppo  $\rightarrow$  il diametro effettivo del foro è

superiore di qualche decimo al diametro nominale  $\rightarrow$  c'è un eccentricità nella rotazione

Si esegue una prima foratura, e poi il foro è allargato/alesato da altri utensili di geometrie superiori

Angolo di inclinazione dell'elica  $\varphi \rightarrow 0 < \varphi < 45^\circ$  (rispetto all'asse)

$\rightarrow$  frangenti datti

$\rightarrow 30^\circ$  standard

$\rightarrow$  AD e CE sono taglienti

Angolo di apertura dei taglienti  $\rightarrow$  angolo di apertura del fianco di coro su cui giacciono

$$90^\circ < \eta < 180^\circ \rightarrow 120^\circ \text{ standard}$$

$\rightarrow$  anti-pala

Lo punto ha uno spessore AC  $\rightarrow$  corrispondente ai taglienti 10-20% del diametro

$\rightarrow$  + aumento + Es punto è rigido, resistente alla flessione, - bene per la punta (+ grandi sono Es forze)

Punta ad inserti: corpi in acciaio temprato con delle parti sulla punta che ospitano il ricambio in altri materiali

di solito sono asimmetriche: solo uno dei due taglienti è a contatto con il diametro esterno.

DELLUNG = foratura dal pieno  $\rightarrow$  punto cilindrico

CORE DELLUNG = allargatura  $\rightarrow$  allargabile

STEP D = foro a gradini  $\rightarrow$  punto a gradini

COUNTERBORING = foratura su un foro preesistente di ricalco Es spazio per lo resto

COUNTERSINKING

REAMING = slivatura

REAMING = alesatura, sposta decimi di millimetro sul diametro, = operazione di finitura

Es macchina per alesatura (alesatura) devono essere + precise

CENTER DRILLING = centratura punto da centro

GEN DRILLING = punto a conico, x fori profondi

$\rightarrow$  coppia di taglienti  $\rightarrow$  resistenza che lo punto incontra alla rotazione

$$C_t = K_1 \cdot a^{x_1} \cdot D^{x_2}$$

$\rightarrow$  avanzamento

equazione completamente empirica  $\rightarrow$  con dei punti sperimentali si può risolvere al parametri sperimentali

$\rightarrow$  resistenza assiale

$$R_0 = K_2 \cdot a^{y_1} \cdot D^{y_2}$$

stesso approccio empirico

$\rightarrow$  velocità di avanzamento  $[mm/min]$   $V_a = a \cdot n$

$\rightarrow$  giri

$$P_t = C_t \cdot W + R_0 \cdot V_a \cdot \frac{1}{60 \cdot 1000}$$

ma dato che  $V_a \leq 1/4 \Rightarrow P_t \approx C_t \cdot W$

# FRESATURA

L'utensile ha il moto rotatorio, mentre l'avanzamento è affidato o al pezzo o all'utensile.

Si può ottenere una vasta gamma di superfici

**SOIANATURA**: si eseguono delle superfici piane, anche di grandi dimensioni

→ fresa con asse  $\perp$  alla superficie generata: fresa **FRONTALE**

→ fresa con asse  $\parallel$  alla superficie generata → fresa **PERIFERICA** o **TANGENZIALE**

[forma della lavorazione = dalla superficie ottenuto si può risalire alla lavorazione]

contornatura, esecuzione di curve...

Le macchine utensili si chiamano fresatrici

## PARAMETRI:

• diametro  $\rightarrow$  non è un oggetto cilindrico  $\rightarrow$  cerchio di diametro se è conico si riferisce al diametro maggiore

• numero di denti

$\rightarrow$  da un dente vede  $d, \beta, \delta$   $\rightarrow$  passa secondo la fresatura al taglio ortogonale con un moto che sommo rotazione + avanzamento

su piccoli archi questo ciclo si può confondere con un movimento

rettilineo  $\perp$  all'asse di rotazione  $\Rightarrow$  **MOTO CIRCOLARE**

• avanzamento assiale  $\rightarrow$  spostamento del pezzo per ogni giro dell'utensile

L'apportazione del materiale è distribuita su un certo numero di denti

$\rightarrow$  avanzamento a dente =  $a_z \cdot Z \cdot n$

• velocità di avanzamento  $V_a = a_z \cdot Z \cdot n$

• velocità di taglio =  $\pi \cdot m \cdot D / 1000$

$\rightarrow$  profondità di passata assiale = spessore di materiale asportato  $\parallel$  all'asse  $d_a$

$\rightarrow$  profondità di passata radiale = " " " "  $\perp$  all'asse  $d_r$

Per calcolare le forze si usa l'area della sezione del truciolo

che è variabile tra 0 e un massimo quando il dente fuoriesce dal pezzo

Le forze di taglio sono fortemente variabili

$\rightarrow$  la fresatura è un'operazione di taglio interrotta (il tornitura è continua)

lo spessore del truciolo, che è misurato in direzione radiale è  $S_\theta = a_z \cdot \sin \theta$

vale 0 in A e  $S_{max}$  per  $\theta = \varphi$

angolo  $\varphi$  è costante

avanzamento e denti

Per calcolare l'area del truciolo  $S_\theta = S_\theta \cdot d_a \rightarrow$  varia anche  $S_\theta$  con  $\theta$

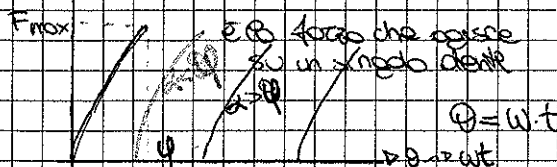
Dato che la forza dipende dalla pressione, varrà 0 in A e  $F_{max}$  in B

A noi interessa la forza tangenziale, che si oppone alla rotazione

$$F_t = p_t \cdot S_\theta = p_t \cdot s_\theta \cdot d_a = p_s \cdot s_\theta^{1/2} \cdot s_\theta \cdot d_a = p_s \cdot (a_z \cdot \sin \theta)^{1/2} \cdot d_a$$

$$F_t \propto F_t = p_s \cdot a_z^{1/2} \cdot d_a \cdot (\sin \theta)^{1/2}$$

$$\theta \in [0, \varphi]$$



È un andamento della forza nel tempo e nella spazio

Per il dente dopo la curva è spostato di  $\alpha = \frac{2\pi}{Z}$



potenza di taglio  
 $P_t = C_t \cdot W$

$C_t = \sum F_{t,i} \cdot \frac{D}{2} \approx F_{t,medio} \cdot N \cdot \frac{D}{2}$   
n° di denti in presa

↳ somma dei contributi dei vari denti in presa

$S_{medio} = \frac{\int \rho \cdot dr}{\phi \cdot D}$

$F_{t,medio} = P_s \cdot S_m^2 \cdot S_m = P_s \cdot S_m^3 \cdot da$

[rad]

$S_m = S_m \cdot da$

$C_{tm} = F_{t,m} \cdot \frac{D}{2} \cdot N$

$N = \frac{\phi}{d} \rightarrow \phi > d$  : vi è + di un dente in presa  
↳ in medio

$P = C_{tm} \cdot W$

da superficie sarà una somma di tutti gli addendi

## BROCCIATURA

Operazione con moto di taglio rettilineo

Consente di ricavare o porre da fori passanti preesistenti forando attraverso in un unico passo da un utensile (broccia), costituito da denti progressivi

↳ Broccie di varia geometria

↳ denti a distanza sempre maggior dall'asse

↳ alla fine ci sono denti finitori, elaboratori

dispositivo che tira la broccia attraverso il foro. Ci sono anche broccie spinte.

### PARAMETRI

↳ incremento = spazienza del dente rispetto al precedente

Le broccie sono utensili molto taglienti e costosi.

↳ da decine di mm a metri.

broccie sia per interni che per esterni

12-12-2011

## USURA UTENSILI

Durante il lavoro l'utensile subisce usura che diminuisce prestazioni (tolleranze, aumento rigosità e continuo peggioro)

• usura progressiva: nel corso del tempo → può essere quantificata, è possibile incanalare da polinomia di usura

• usura catastrofica: senza dare segni l'utensile si spezza → di difficile gestione, non riesce a prevederla. → è indesiderabile, tipico di alcuni materiali.

patrimonio di questo

Cause meccaniche: abrasione, scarramento del truciolo

termiche: alte temp.

chimiche: reazioni chimiche di ossidazione, diffusione allo stato solido

• usura sul petto → criterio di usura: dare il truciolo stesso l'utensile e sceme  
↳ come usura dove

dimensioni: massima profondità, distanza del punto di max profondità dal tagliente  
(KT) (KN)

• usura sul fianco: si è abbassato ed è cambiato il tagliente

si quantifica con l'angolo della sinuso dell'area di contatto

↳ angolo di usura (VB)

Questi parametri vengono misurati al microscopio ottico.

Con l'usura, le tolleranze e le dimensioni del pezzo variano molto nella zona del bordo vi è strisciamento indesiderato tra utensile e pezzo.

↳ pezzi fuori tolleranza

capacità maggiore e finitura superficiale peggiore (dovuta allo strisciamento)

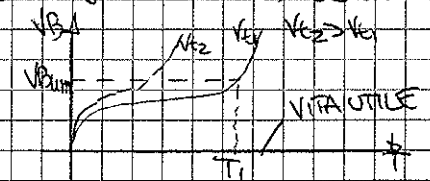
È criterio di penetrazione se profondo  $\rightarrow$  diminuisce la resistenza del tagliente e se è vicino al tagliente  $\rightarrow$  si voluta con  $K_r/K_H$

È più importante tenere sotto controllo  $V_B$  perché ha influenza sul pezzo.

↳ curva di usura  $V_B$  (forma  $V_B$ )

è una scelta nostra di fissare il valore di  $V_B$  oltre il quale l'utensile è fuori servizio  
 ↳  $V_B$  norme possono variare

↳  $T_B$  durata (= VITA UTILE) dell'utensile è quella legata al  $V_B$  limite

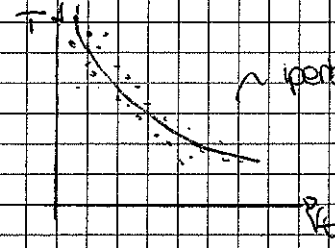


Questa curva è ricavata sperimentalmente  $\rightarrow$  combinando pezzo/utensile non è detto che venga uguale

Se modifichiamo i parametri (velocità, materiale, ...) si modifica anche la curva

$\rightarrow$  il parametro che + influenza sulla vita è la velocità di taglio (al crescere cresce la temperatura)

Ripetendo l'esperimento posso ottenere tante coppie di valori velocità / durata  $\rightarrow$  grafico



$\sim$  iperbole non equilatera

$$V_t \cdot T^m = C$$

è ricavato dalla curva sperimentale

LEGGI DI TAYLOR in forma classica

Limiti: ricavare m e C sperimentalmente

dipende da molti parametri: avanzamento, velocità di passata, materiali

$$m: \bar{e} = 1$$

dipende prevalentemente dal materiale dell'utensile

- 0.1 ÷ 0.2 acciaio rapido e superrapido (HSS)
- 0.2 ÷ 0.3 carburi di tungsteno
- 0.4 ÷ 0.6 ceramica

C: dipende prov. dal materiale del pezzo, dall'avanzamento e dalla profondità di passata

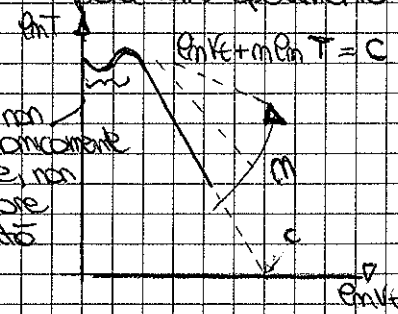
$$V_t \cdot T^m \cdot a^m = C'$$

LEGGI DI TAYLOR IN FORMA GENERALIZZATA

$$V_t \cdot T^m \cdot a^m \cdot p^m = C''$$

$C''$  prof. di passata  
avanzamento

Queste forme si usano ancora meno perché è molto difficile ricavare i parametri sperimentali



Si usa una scala doppia logaritmica: iperbole  $\rightarrow$  retto discendente

C = valore di velocità di taglio per durata dell'utensile unitario

All'aumentare di m, questa retta cambia pendenza

questo parte non interessa economicamente  
 ↳ non è utile, non ha senso usare queste velocità

I Materiali per utensili sono materiali di pregio

- durezza alla temperatura di servizio:  $600^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$
- resistenza agli urti, alle sollecitazioni improvvise (resilienza)
- ↳ oltre a queste ci sono altre caratteristiche associate legate alla lavorazione
- non esiste un materiale per utensile che possieda tutte le caratteristiche →

Principali famiglie di materiali:

- acciai per utensili: acciaio al carbonio  
temperatura di servizio bassa ( $150^{\circ}\text{C}$ ) → velocità di taglio  $< 10\text{ m/min}$  basse  
(normalmente standard, per uno durata di 15 minuti)
- acciai rapidi: 15-20% di tungsteno,  $< 1\%$  di cromo,  $1\%$  di vanadio  
mantengono la durezza fino a  $400^{\circ}\text{C}$  →  $V_f < 30\text{ m/min}$
- (1915)  
• acciai super rapidi: 7-10% tungsteno, 7-10% cobalto  
temperatura  $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$  →  $60\text{ m/min}$
- ↳ utensili a punto, x elicoidali, x baccati sono ancora questi → utensili integrati (no inserti)
- (1930)  
• carburi metallici sinterizzati: ossidato di tungsteno, con  $S = 15\%$  di cobalto (legante)  
durezza elevata fino a circa  $800^{\circ}\text{C}$  →  $V_f \approx 200\text{ m/min}$
- oggi possono contenere C di titanio, di tantalio, di Ni → gran parte degli utensili da taglio
- spinti in forma di inserti per la max parte, ma anche integrali

breve del processo di sinterizzazione

- (1960)  
• Ceramici (poca resilienza) costo molto poco  
→ bianchi: a base di alluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$  insieme a varie combinazioni di altri ossidi  
→ grigi: miscela di silicio  $\text{Si}_3\text{N}_4$
- non hanno rivoluzionato per la resilienza e lo scarso ripetibilità del processo di fabbricazione
- ↳ è difficile fornire due con le stesse caratteristiche meccaniche: non posso prevedere la durata

↳ si trovano in inserti per operazioni di taglio continuo (turning)

Sono una ottima alternativa per lavorare ghise e acciai

velocità di taglio anche molto elevate:  $300 - 400\text{ m/min}$

- Cermet: compositi metallo-ceramica

↳ molto costosi, poco diffusi

- (1980)  
• CBN: miscela di boro cubico, → materiale artificiale, 2 varianti (a-fine lacerazione) costo molto poco  
↳ è molto costoso: si trovano inserti in carburo con solo una piccola parte in CBN

- diamante (è meno costoso del CBN), quello naturale non è + molto usato quello artificiale ha le stesse caratteristiche ma non l'aspetto. Alto rendimento con il (forma cristallina)  
freddo: non si può lavorare con acciai e ghise perché si usano (si sceglie nel ferro non sopra i  $1100^{\circ}\text{C}$  → a parte questo è un ottimo materiale.

Oggi si utilizzano anche materiali tessuti: modifica delle qualità superficiali ottenuto con la deposizione di un materiale diverso dal substrato

es. carbona sintetica, sali di (costo) nitruro di tritio

Si possono usare + strati (1-10  $\mu\text{m}$ ) di materiali diversi (1-20 strati) 1 strato ad es. due materiali alternati

## OTTIMIZZAZIONE DELLE CONDIZIONI DI TAGLIO

Per raggiungere un determinato obiettivo. È una procedura che si applica a tutti i processi di lavorazione

• Massimizzare la produttività o ridurre  $\rightarrow$  minimizzare il tempo di produzione.  
minimizzare i costi

• TEMPO DI PRODUZIONE

• COSTO DI PRODUZIONE

• TASSO DI PROFITTO

Ci sono due vincoli: potenza massima erogabile, inflessione massima, avanzamento e velocità richiesti

Normalmente avanzamento e profondità sono tenuti fissi  $\rightarrow$  si ottimizza solo con la velocità di taglio

$\rightarrow$  velocità di minimo tempo di produzione o di max costo

Deriva e calcola lo derivato = 0

$$\Delta \frac{1}{\pi f v} \left[ 1 + \frac{d(\text{cost})}{d(v)} \right] = 0 \quad \dots \quad v_{\text{minimo}} = \frac{C}{T_{\text{minimo}}} \quad T_{\text{min}} = f \left( \frac{1}{v} - 1 \right)$$

la velocità di minimo costo è inferiore alla velocità di minimo tempo di produzione

Posso ottimizzare il tasso di profitto  $\rightarrow$  con la derivata = 0 o in modo grafico (conoscere le due curve di prima) Certo

## I CICLI DI LAVORAZIONE

15-12-2011

Successione di operazioni necessaria a trasformare il pezzo grezzo in pezzo finito

$\rightarrow$  identificare i processi nel giusto ordine + parametri, utensili, attrezzature...

Dal base di informazione  $\rightarrow$  è essenziale il disegno del pezzo

Gruppo di lavorazione  $\rightarrow$  fase: insieme ordinato di operazioni elementari realizzate presso il medesimo posto di lavoro in sottofasi operative

All'interno di una sottofase ci sono le varie operazioni elementari (= lavorazione di una superficie con un unico utensile)

Informazioni di partenza: dimensioni del pezzo, tolleranze dimensionali e di forma, qualità superficiale, materiali tecnici, materiali  $\Rightarrow$  informazioni tecnologiche  
inform. gestionali  $\Rightarrow$  tipo di gruppo (anche se in molti casi è imposto, quantità, regime di produzione (es. economico, produttivo), disponibilità di mezzi e attrezzature, variazione, personale, automazione

## ESEMPIO

Realizzazione di una barretta con 4 fori sulla flangia, uno assiale e una superficie piana su un cilindro

Si scelgono i processi per realizzare le varie superfici che vengono raggruppate in modo da poter lavorare il pezzo nello stesso fase (stessa macchina e stesso posizione)

[ogni spostamento del pezzo implica un perdita di precisione  $\rightarrow$  se ci sono tolleranze particolarmente critiche occorre all'interno dello stesso sottofase]

Per si scelgono i processi e le fasi nello giusto sequenza e possono essere vincoli di processi

Per si possono esaminare dei cicli alternativi: es. a borsa o ad alta automazione

→ si vedono i tempi di produzione, il costo della mano d'opera e quello d'ammortamento (della macchina)

È opportuno minimizzare il numero di fasi e sottofasi - riposizionamento del pezzo = perdita di tempo e precisione

All'interno di uno stesso sottofase possono esistere rotazioni di precedenza

Si scelgono i parametri di lavorazione

Si scelgono le attrezzature → bloccaggio e serramento

↳ identifica i 6 punti di contatto

Tempi → attivi: obiettivo contatto tra utensile e pezzo

passivi: non avviene la lavorazione, non c'è contatto diretto (es. tempo di spostamento → movimento di appostamento dell'utensile di preparazione, della macchina, degli utensili, dell'operatore ...)

Si tiene conto di una extra-corso nello sviluppo di lavorazione per il calcolo del tempo

Per gli altri due tempi, si possono solo avere criteri di serramento diretto

Foglio di lavorazione → FASE: descrive l'elenco di fasi e sottofasi

• disegno del pezzo con evidenziare le superfici

• elenco di fasi, sottofasi, operazioni

• schizzo per ciascuna fase

• tempi di lavorazione, superficie di serramento, ...

→ OPERAZIONI: • schizzo delle lavorazioni

• indicazione di macchine, utensili (posizione di montaggio)

• parametri di lavorazione