



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 888

DATA: 12/03/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Arlotta

MATERIA: Tecnologie e Processi di Fabbricazione + Eserc.

Prof. Settineri

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

PRODURRE

PRODURRE vuol dire dare o fornire con una serie di operazioni scelte dall'uomo.

"Dare o fornire" vuol dire non solo consegnare ma farlo in un momento determinato, il concetto di tempo è sottinteso. Si intende dare nel corretto modo e nel corretto tempo con le quantità richieste.

È il risultato di una serie di operazioni fatte dall'uomo, a mano o in serie di fabbricazione.

Non è solo un processo ma una successione ordinata, dal materiale grezzo al prodotto finito. L'ordine è molto importante al fine del risultato.

La produzione di beni finiti si distingue in:

- 1) produzione per processo,
- 2) produzione per parti, manifatturiera.

Le produzioni per processo sono produzioni continue che hanno per prodotto finito ad esempio i derivati del petrolio, cherosene. Le produzioni per parti portano a beni discreti (conteggiabili).

Quelle per processo misura la quantità di prodotto per unità di massa o di volume mentre in quelle per parti si misurano in unità prodotte.

La produzione per processo è tipica dell'industria primaria o di prima trasformazione, ovvero quella che parte dal grezzo ricavato e produce un materiale che è la base per le successive trasformazioni o usata come settore di energia (carburi).

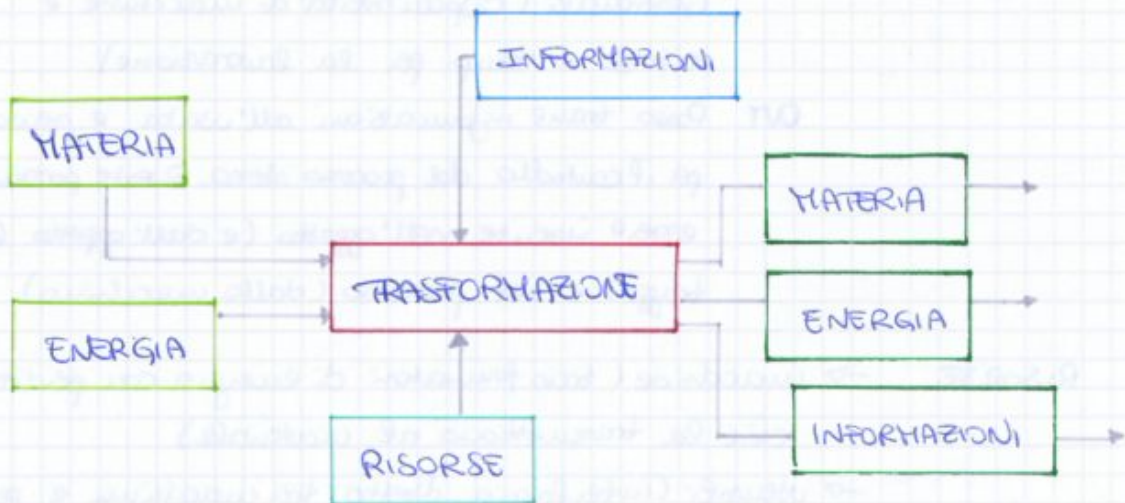
La produzione manifatturiera è invece secondaria. L'industria secondaria, dove ciò che viene dall'industria primaria viene trasformato in oggetti numerabili.

A ti, la proprietà assegnata si trova al valore di e si porta lungo una traiettoria per portarsi allo stato finale.

La traiettoria è utile conosciuta per tenere sotto controllo il processo. Non è detto che sia continuo, esistono processi che applicano la trasformazione in modo discontinuo.

A cosa si applicano?

- forme e dimensioni (macrogeometria)
- grado di finitura di una superficie (microgeometria)
- caratteristiche meccaniche, carico di rottura
- stato, temperatura



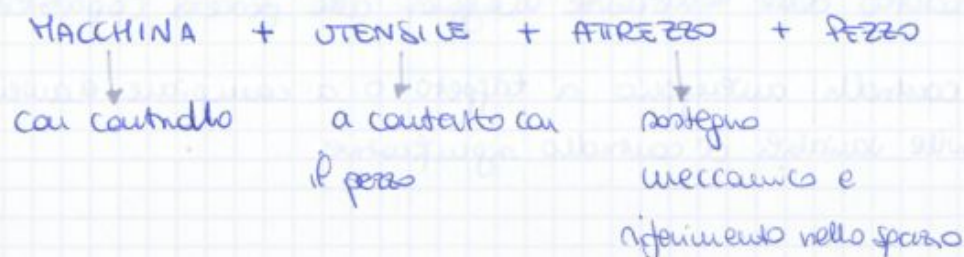
~~COSA SERVE FA una TRASFORMAZIONE?~~

MATERIA IN Materiale grezzo (se in prima trasformazione) o riciccolato (se viene da una trasformazione precedente).

Altri materiali come viti, celle in assemblaggio, materiale in appalto per le saldature, nastri neri di refrigeranti e lubrorefrigeranti.

OUT riciccolato o rifiuto (pronto per la consegna) Sfridi e scarti. Gli sfridi sono i trucioli, il materiale che avanzava. Gli scarti sono semi lavorati o finiti che non rispettano le specifiche. Sono un costo e vengono reinseriti nel processo

Il sistema tecnologico è dato da



Po^o essere chiuso o aperto. Nel sistema chiuso, l'anello della forza applicata è interno al sistema tecnologico; ha una struttura a C, robusta abbastanza da reggere la forza. Nella struttura aperta, P_{app} non richiude all'interno del sistema.

TRASFORMAZIONE REALE O IDEALE

Tutte le trasformazioni reali sono disturbate da fenomeni variabili che influenzano il risultato finale.

Anche partendo da uno stato i deterministicamente conosciuto, durante la trasformazione possono accadere dei disturbi; cause di variabilità non controllabili che portano ad una certa variabilità del risultato.

Il risultato esalta quindi in un certo range di determinata ampiezza. Si presuppone che non siano presenti cause di variabilità controllate.

Quindi ad ogni variabile si associa un certo intervallo di tolleranza.

I controlli non a tappeto o a campione. Attenzione sulle variabili di controllo significative. La storia di queste variabili non deve dare dei trend, anche se in un intervallo di tolleranza.

Come si gestisce la variabilità?

- Eliminiamo le cause controllabili del disturbo;
- **Capability**: ampiezza della variabilità del risultato di un processo una volta eliminate le cause controllabili.

TOLLERANZE

Le specifiche tecniche possono riferirsi alla macro o alla micro geometria.

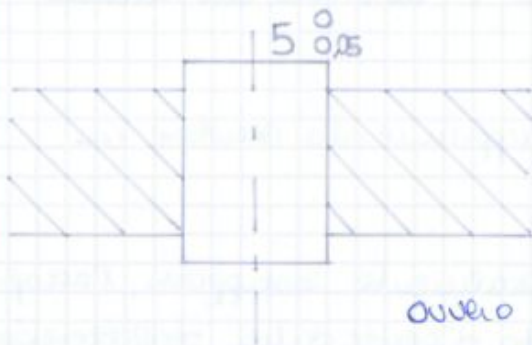
Si parla di MACRO quando si riferisce alle tolleranze dimensionali e a quelle geometriche, tanto più se il componente è destinato ad essere accoppiato con un altro componente e avere un uso relativo.

Si parla di MICRO quando si fa riferimento ai piccoli posti alla rugosità e alle ondulazioni di una superficie. Sono tolleranze usate perché la loro verifica è associata a macchine di misura complesse.

TOLLERANZE DIMENSIONALI

Prendendo l'esempio di un cavatappi, il disegno della leva deve rispondere ad alcuni requisiti:

- intercambiabilità
- deve essere funzionale (deve garantire un certo numero di usi)
- intercambiabilità (non ci deve essere solo accoppiamento specifici corpo-braccio)
- non deve essere GIOCO
- l'accoppiamento deve essere con interferenza (il foro deve avere diametro effettivo minore del diametro effettivo del perno)



Le specifiche tecniche sono rispettate se il diametro del foro è

$$5 \begin{matrix} +0 \\ -0,05 \end{matrix}$$

ovvero se è compreso tra

$$5 - 0,05 \quad \text{e} \quad 5 + 0$$

$$4,95 \quad \text{e} \quad 5,00$$

(esempio in mm)

Il gioco massimo è la differenza tra la differenza massima foro e il diametro minimo dell'albero.

Il gioco minimo è la differenza tra il diametro minimo del foro e quello dell'albero.

L'interferenza j vale:

$$\begin{cases} j_{\max} = D_{\max} \text{ albero} - D_{\min} \text{ foro} \\ j_{\min} = D_{\min} \text{ albero} - D_{\max} \text{ foro} \end{cases}$$

Ho due modi per assegnare le tolleranze:

1) nel modo più semplice

$$30 \begin{matrix} +0,05 \\ -0,01 \end{matrix}$$

2) oppure seguendo la nomenclatura

foro $30P5$

dove 30 è il diametro nominale in mm

P è la lettera che indica l'intervallo di tolleranza

("P" per il foro, "p" per l'albero)

5 è il livello di qualità a cui è associata una ampiezza di t .

Il sistema ISO prevede 19 qualità di tolleranze fondamentali:

(da IT00 a IT18). Questa IT, associata ad un diametro nominale, permette di stabilire l'ampiezza dell'intervallo di tolleranza al valore della deviazione.

ESEMPIO 1

25 H8

H maiuscola: foro

$$25 = D$$

Dato s è scelto H nel caso che l'estremo inferiore è 0.

Per quello superiore, incrocio della tabella ISO il diametro e il livello di qualità:

$$e_i = 0 \text{ mm}$$

$$e_s = 33 \text{ }\mu\text{m}$$

$$25H8 = 25 \begin{matrix} 0 \\ +33 \end{matrix} \mu\text{m}$$

- ◎ completezza del diametro maggiore rispetto al minore
0,01 scostamento massimo
A è la superficie di riferimento

TIP

- 1) Forma (quanto la forma reale discosta da quella ideale, come la planarità)
- 2) Orientamento (
- 3) Posizione
- 4) Oscillazione
- 5) Profilo

Esempio. Le leghe non costituite da fasi diverse. Se eseguo prove di durezza (mm^2). Se il materiale è trattato meccanicamente non trovo differenze nei punti. Se eseguo invece prove di microdurezza (dove l'ordine di grandezza è pari a quello del grano cristallino), il risultato dipende dalla posizione.

C'è poi un'etichetta di nome delle prove meccaniche in:

- STATICHE (carichi applicati in modo costante);
- DINAMICHE (carichi variabili nel tempo).

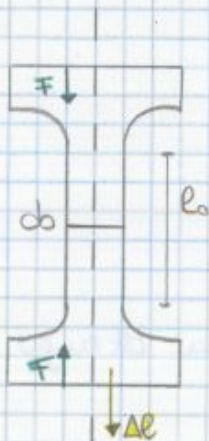
PROVA di TRAZIONE

Questa prova è di tipo DISTRUTTIVO, è altamente standardizzata e ha lo scopo di valutare il comportamento del materiale rispetto a sforzo uniaassiale di trazione.

Si esegue con una macchina specifica, una prova che lavora al contrasso; l'attivatore può essere idraulico o elettromeccanico (una o due viti accoppiate). Le caratteristiche costruttive della macchina sono anche esse costruite dalle norme.

All'interno della macchina si inserisce un PROVINO con sezione adatta. Ogni provino è costituito da tre parti:

- ↳ Centrale: parte calibrata, tratto vite, a sezione più ridotta, dove ci interessa osservare;
- ↳ Teste di afferraggio (2), a sezione maggiore;
- ↳ Raggi di Raccordo ampi per evitare fenomeni di accumulo delle tensioni.



Provino a sezione circolare

Il tratto vite è a sezione costante.

Si applica un allungamento imposto Δl . La prova è controllata dallo spostamento di una delle due teste.

Per conseguenza, il provino oppone una certa resistenza, che si traduce in una forza.

1) Assumo che il primo tratto è lineare, esiste un rapporto costante tra sforzo e deformazione ed è espresso da

$$R = eE$$

dove E è il modulo di Young [MPa]. Mi dà informazioni sulla rigidità del materiale ed è in pratica la pendenza del tratto lineare.

2) Segue un tratto di ELASTICITÀ NON LINEARE.

Sebbene per la maggior parte dei materiali questo tratto sia trascurabile, per alcuni materiali ingegneristici è molto importante.

3) Si entra quindi nel campo delle deformazioni non reversibili o tratto di PLASTICITÀ. Se eseguo la prova fino ad un certo punto in questo tratto e poi voglio tornare indietro, la prova non è più reversibile. Il provino si scarica ma segue un percorso diverso portando a σ la tensione ma con una deformazione permanente (plastica) per cui mi perde la forma originaria.

$$e = \text{Somma dei cambi}$$

$$= \text{deformazione plastica} + \text{deformazione elastica (recuperabile)}$$

$$= e_e + e_p$$

4) A questo punto segue unicamente il tratto di scarico e riprende la curva. La rigidità è invariata.

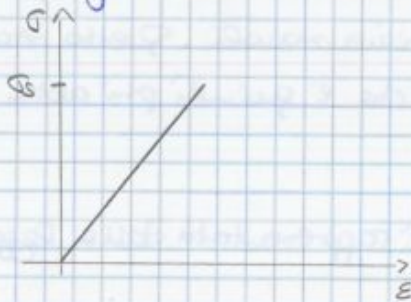
Il passaggio tra tratto plastico ed elastico si ha ad un livello di tensione superiore al tratto iniziale (INCRODIMENTO).

La tensione di snervamento è per il livello di tensione a cui corrisponde una deformazione permanente dello 0,2%.

Ad un certo punto si verifica il fenomeno delle STRIBOSI, dove il provino cambia geometria e il materiale inizia a incrudire.

Aumentando la temperatura, la curva tende ad appiattirsi.
 Se lavoro ad una temperatura maggiore di quella di cristallizzazione, la curva è piatta. Non c'è incrudimento (es: metalli) perché la rapidità di riformazione dei legami del reticolo cristallino è molto maggiore della velocità con cui li deformato.

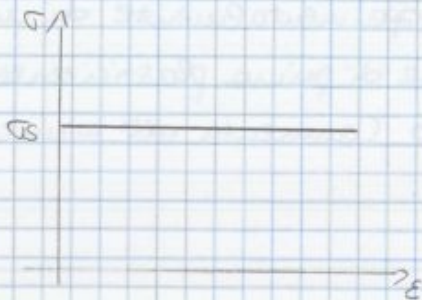
I materiali possono classificarsi in base alla loro curva in base alla seguente:



→ ELASTICO PERFETTO

Hanno solo comportamento elastico se sottoposti a trazione; dopo il tratto elastico si riannovano.

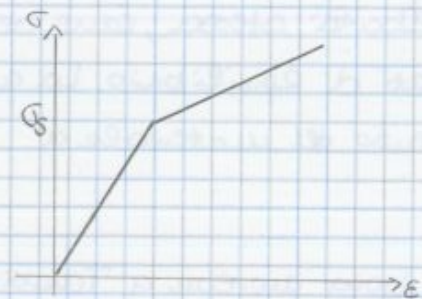
Un esempio sono i ceramici



→ PLASTICO PERFETTO

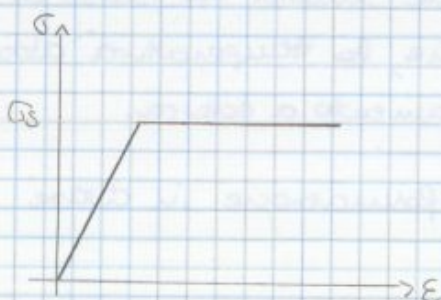
Non c'è tratto elastico. Si applica una tensione: se questa è sufficiente a raggiungere o superare σ_s , si deforma senza incrudire.

Un esempio sono alcune classi di polimeri.



→ ELASTO-PLASTICO CON INCRODIMENTO

Questo comportamento è tipico dei metalli.



→ ELASTO-PLASTICO PERFETTO

È il comportamento di alcuni materiali metallici sopra la T_c di ricristallizzazione o a $T_{ambiente}$ se particolarmente deformabili.

La durezza è una grandezza strumentale, ovvero la sua definizione non può prescindere dal procedimento usato per la sua misura. Le diverse prove di durezza hanno diverse applicazioni.

PROVA BRINELL

Consiste nel far penetrare nel pezzo in esame una sfera d'acciaio temperato ad alto contenuto di carbonio, a diametro D noto. La forza è perpendicolare alla superficie del provino. Lo si lascia lì per una decina di secondi. C'è un'impronta emisferica di cui misuro d .

Si definisce HB il rapporto tra il carico applicato F e la superficie dell'impronta S

$$HB = 0,102 \frac{F}{S}$$

questo fattore deriva dalla definizione originaria che F era in Kg/Forza

Le condizioni della norma sono

$$D = 10 \text{ mm}$$

$$F = 29,400 \text{ N}$$

$$t = 15 \text{ s}$$

Non deve essere effettuata vicino al bordo, affonda di più.

Materiali duri e teneri presentano una sagoma diversa e

$$\frac{d}{D} \in [0,25 \div 0,5]$$

nel caso ideale $d = 0,375$.

Mentre i materiali induriti formano spigoli, quelli teneri hanno i bordi sfumati.

Il numero si scrive come

$$HB_{5/150/30}$$

Dopo aver retato le scale, si applica un carico preliminare di una decina di kg e poi il carico definitivo, o meglio la differenza per arrivare al carico effettivo, che viene lasciato per 30 secondi.

Si toglie la differenza di carico per tornare a carico 0, recuperando la deformazione elastica.

La lettura è la differenza di penetrazione tra la posizione in quel momento del penetratore e quella a 10 kg applicati.

RESILIENZA

È una prova che serve a caratterizzare un materiale soggetto ad un urto, sollecitazione variabile nel tempo.

Si esegue sottoponendo un provino (ricavato in modo opportuno) ad un urto da parte di un pendolo di CHARY.

Il provino ha una sezione quadrata 10×10 ; al centro c'è un intaglio con raggio di raccordo di 1 mm, che arriva fino a metà sezione.

Si mette il provino su una macchina di prova su due appoggi distanti tra loro 40 mm raccordati.

La prova è di resistenza all'urto: il pendolo è un disco di massa sferocavitata con un cono raccordato.

Si porta il pendolo ad una certa altezza e lo si rilascia.

Questo quindi urta il provino, lo rompe e risale.

La misura che si effettua è una differenza di quota $h_2 - h_1$; questa corrisponde all'ENERGIA ASSORBITA dal MATERIALE DURANTE L'URTO, ovvero la misura della resilienza.

Questa misura può essere un indicatore assoluto (in joule) o del lavoro in rapporto alla sezione.

Il lavoro è

$$m g (h_2 - h_1)$$

→ altri, come le leghe di carbonio, hanno sempre un determinato numero di cicli che, per quanto basso sia il carico applicato, porta a rottura.
La resistenza a fatica corrisponde al valore del carico che porta a rottura con 10^7 cicli.

TRATTAMENTI TERMICI

Sono una successione di operazioni mediante le quali si modifica il materiale, si altera la struttura e quindi il comportamento meccanico.

Vi si può ottenere un trattamento termochimico, ossia un'immersione in atmosfera con componenti chimici tali da alterare la composizione chimica del pezzo.

quasi completamente la geometria del pezzo tramite qualche particolare;

- attorno al modello si allestisce la forma;
- si procede alla fusione, alla colata e alla solidificazione del pezzo;
- si estrae il progetto di fondente.

È un progetto di fondente perché ha bisogno di più lavorazioni sulle superfici funzionali per diventare un pezzo finito.

→ superficie con una funzionalità specifica per il pezzo e il suo scopo

La differenza essenziale tra un processo a forma permanente e uno a forma transitoria è il loop per la fabbricazione per i vari pezzi. Nel caso della forma permanente c'è una fase in meno e non ho bisogno di un modello perché la manovra del pezzo è affidata alla forma stessa.

DAL MODELLO ALLA FORMA

Si usano le CASSEFORME, contenitori in metallo o legno per fabbricare la forma. Ce ne sono due, in genere ne faccio due metà. All'esterno sono presenti manici e riferimenti per accoppiare le metà.

La cassa forma viene posta sul piano di lavoro. Il modello è diviso in due metà lungo il piano di divisione. Qui metà viene posta nella cassa forma.

Si pone il materiale di formatura, che varia per tipo di tecnologia usata. Il materiale di formatura deve essere:

→ refrattario;

→ compatto;

→ poroso (per lasciar sfuggire i gas all'interno del metallo e il vapore d'acqua che si viene a formare).

Dopo aver riempito la forma di materiale di formatura si passa alla compattazione.

Questa può avvenire con diversi metodi:

- compattazione meccanica (tramite una piastra azionata idraulicamente a cui si associa una vibrazione del piano);
- compressione termica (tramite l'uso del calore, si riscalda la sabbia, togliendo l'umidità, $\sim 200^\circ\text{C}$);
- compattazione chimica.

CANALE DI COLATA E MATEROZZA

Sono due modelli che servono a fabbricare dei canali.

Il canale di colata serve per la addizione di materiale dall'esterno all'interno della forma.

La materozza è una cavità per contenere un eccesso di liquido, per compensare il ritiro del materiale in fase liquida e liquido-solido. Fa parte del sistema d'alimentazione.

Questi due canali coincidono solo in pezzi molto semplici; in questo caso il dimensionamento deve rispettare entrambe le specifiche.

Colato il materiale di formatura, si estrae il modello.

Esistono processi transitori con modello a perdere, che rimane all'interno della forma. In altri il modello jaspera con il contatto con il materiale metallico.

Quando passa da una forma negativa ad una positiva deve tener conto di un ritiro (il modello è più grande)

Si crea un BACINO DI COLATA per bloccare l'energia cinetica del materiale (che ha una velocità $\sim 1 \text{ m/s}$)

e modello potrà portare via della sabbia di fondaria.
E' necessario non avere superfici parallele: si usano quindi gli angoli di sfumo.
Questi angoli vanno da $0,5^\circ$ a $1-2^\circ$ a seconda del livello d'attrito.

Se ho degli spigoli vivi, questi saranno portati via dal flusso del materiale metallico, dato che è molto denso.
Quindi la sabbia va a finire da qualche parte non controllata all'interno del bagno fuso e quindi all'interno del pezzo. Questo porta a rottura del pezzo ed è un problema di qualità.

Le modifiche vanno fatte sull'inserimento dell'animo;
e ne sono quindi di diverse forme.

Bisogna poi compensare il ritiro in fase solida aumentando le dimensioni di un COEFFICIENTE DI RITIRO LINEARE (ogni materiale ha il suo).

Un altro fattore che va in aumento delle quote è il fatto che ne uscirà un pezzo di fondaria, devo prevedere i sovraccarichi.

Un fattore discriminante tra pezzo e modello è che devo poter estrarre il modello nel processo di formatura, avere una ci deve essere sottosquadri.

Nelle produzioni industrializzate sono frequenti le placche modello, delle piastre interposte tra le semiforme e portano sporgenti sulle semi parti.

La matrice va collegata alla porzione che ha più alto modulo termico.

Come la dimensiono?

- > grandezza: almeno pari al volume d'initio (minimo)
- > forma: deve solidificare dopo, deve quindi avere un modulo termico maggiore del modulo termico del materiale su cui viene applicata (maggiore del 20% almeno)

Il **VOLUME di RITIRO** si calcola come

$$\text{Volume di materiale colato} * \text{Coefficiente d'initio volumetrico del materiale}$$

Ricominciamo ad un esempio di geometria semplice (piastra).

Questa piastra ha lunghezza e larghezza indefinite e spessore molto minore alle altre due:

$$a \times b \times s \quad (\text{dove } s \ll a, s \ll b)$$

Se la osservo nel processo di solidificazione, noto che, aderendo alle pareti, si forma uno strato solido che è uguale alla parte superiore e si pelle inferiore.

Chiamo x lo spessore dello strato solidificato.

Esiste una relazione empirica che mi dice che lo spessore di strato solidificato è pari a una costante K per la radice del tempo trascorso dall'inizio della solidificazione:

$$x = K\sqrt{t} \quad \text{LEGGE di CHVORINOFF}$$

dove

K dipende dal materiale colato e di formatura

$$x \text{ in [cm]}$$

$$t \text{ in [min]}$$

In genere $K \sim 0,1$.

solidificazione da una parte all'altra.

Affinché la solidificazione direzionale avvenga, va forzato il processo: la maggiorazione di π tra un modulo e l'altro deve essere almeno il 10% e per la matricola il 20%.

Se il pezzo è complesso, posso fare un sistema con più matricole. La solidificazione direzionale vale sempre, anche se si applica in una sola direzione.

Come dimensiono la matricola?

Se ne calcola il volume:

$$\text{Volume della cavità di ritiro} = \left(\text{volume della matricola} + \text{volume del pezzo} + \text{volume sistema di colata} \right) \cdot \frac{b}{100}$$

dove b è il coefficiente di ritiro volumico

$$dr = \frac{X}{\text{matricola}}$$

$$\begin{cases} X = 0,2 & \text{per pelle cieche} \\ X = 0,4 & \text{per pelle aperte} \end{cases}$$

Devo poi impostare una geometria e con questi volumi verificare π e sapere che mia spessore alla π del materiale a cui lo applico.

Nel caso cilindrico, la geometria ideale è

$$h = \frac{d}{2}$$

RAGGIO DI INFLUENZA

Suppongo di aver calcolato bene la matricola. Questa mossa però a proteggere solo una parte del pezzo finita per la presenza di un gradiente termico.

Dato che le due superfici raffreddano assieme, potrei avere delle sacche di liquido intrappolate.

Bisogna anche evitare che la **resina** vada all'interno.
 La resina è un insieme di materiali che galleggiano sul liquido fuso ed è composta da composti di carbonio, ossidi che si formano per contatto con l'aria o altri elementi (come le pareti del crogiolo). È un'impurità da filtrare.

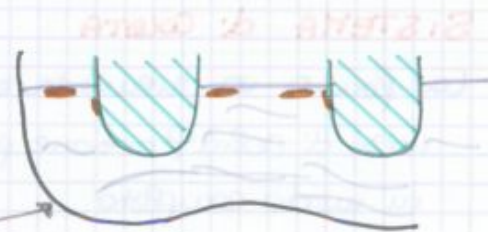
Devo distribuire la resina fusa in modo contemporaneo in altre parti del getto in modo da evitare solidificazioni premature.

Un controllato, il gradiente termico. Il sistema di colata può quindi usarsi con altre materie.

Il sistema è costituito da **5** elementi tipici:

- **BACINO di COLATA** (dove si effettua la colata da crogiolo);
- **CANALE di COLATA** (che mette in collegamento il bacino con la porta che entra nelle forme, in genere lungo il piano di divisione);
- **CANALE di DISTRIBUZIONE** (a sezione trapezica, distribuisce il materiale tutto attorno al pezzo o comunque in modo che raggiunga l'interno della forma da vari punti);
- **ATTACCHI di COLATA** (mettono in contatto il sistema di colata con la forma) sezioni di vario tipo
- **TRAPPOLE** a denti di sega per le resine che non devono arrivare all'attacco di colata

Il foro del bacino ha spesso un filtro ceramico molto poroso per filtrare il materiale liquido oppure un sistema a doppio sifone (due camere di materiale poroso). Questi due sistemi possono essere combinati.



Il tempo di riempimento può essere calcolato in vari modi; per pezzi pieni le cui dimensioni siano paragonabili a una

$$t_r = 3,2 \sqrt{V}$$

mentre i pezzi sottili o piastre

$$t_r = 0,32 \cdot s \cdot Q^{0,4}$$

Ha dei vincoli:

- 1) deve essere minore del tempo di solidificazione delle parti sottili:

$$t_s = k_m M^{1,71} \quad \text{Dimensioni paragonabili}$$

$$t_s = k_s s^{1,71} \quad \text{parti molto sottili}$$

- 2) deve essere minore del tempo massimo di esposizione della forma.

Il materiale liquido ha un forte potere di irraggiamento; se espone troppo a lungo, il materiale metallico si riscalda.

Per la velocità ci si riferisce alla velocità all'uscita della rasoio ed è data secondo Bernoulli:

$$v = c \sqrt{2g H_m}$$

H_m è l'altezza del pelo libero, espressa in metri rispetto alla rasoio.

$c < 1$ rappresenta le perdite di carico dovute ad attriti ($c=1$ = \emptyset perdite)
dipende dalla geometria di profilo

H può essere calcolata in modo diretto nella colata diretta, nei sistemi a colata a sorgente

$$H = \frac{(\sqrt{h_f} + \sqrt{h_i})^2}{4}$$

Per evitare turbolenze, tempo v inferiore o al più uguale a 1 m/s.

- 4) la scorrevolezza (per poter ricoprire anche la geometria complessa del modello);
- 5) la sferolabilità (per l'estrazione anche di pezzi più delicati);
- 6) un basso costo e riciclabilità (più è riciclabile, meno costa; la riciclabilità non è al 100%).

FONDERIA in SABBIA

Il materiale di formatura è SiO_2 al 30-95%, il restante è il legante ovvero la bentonite (una famiglia di argilla) al 5-20%. Quando la percentuale di argilla è all'estremo superiore si parla di TERRE O SABBIA GRASSA; se è all'estremo inferiore si parla di TERRE MAGRE.

Circa per gli additivi che migliorano alcune caratteristiche:

- la cera per la refrattarietà;
- gli amidi e le farine di cereali per la porosità, lo sferolamento e la scorrevolezza.

Sono al massimo al 1-2%.

La compattazione avviene meccanicamente anche se vi sono alcune calore per diminuire la percentuale di umidità. Dopo la compattazione, si chiude la forma e si mette in forno fuso a $200^\circ C$ per tempi diversi in base al materiale e alle dimensioni.

In questi casi, il peso si misura in Kg di materiale colato.

Se si usa il calore oltre alla compattazione meccanica si dice FONDERIA A TERRA IN SECCO; se non si fa ~~fare~~ asciugare la forma si parla di FONDERIA A TERRA AL VERDE.

FORMATURA AL CO_2

La CO_2 è un gas a costo praticamente nullo e di disponibilità illimitata; si usa per catalizzare la

Ce ne sono diverse tipologie. Le più usate sono:

- processo ASHLAND (usa una resina furano-fenolica associata ad un poliossicianato e una trielammine come catalizzatore). Non è esotermica ed è veloce;
- processo SO_2 (cambia il legante (resina fenolica) l'anidride solforosa si trasforma in anidride solforica e poi in acido solforico. La reazione a catena causa la polimerizzazione delle resine.

Catalizzatori e prodotti della reazione sono tossici.

Questi processi si prestano a forme di automazione.

SHELL MOLDING

Le forme di questo processo sono diverse da quelle viste finora.

Si fabbricano due semigusci di cui si forma una specie di contenitore dentro il quale si effettua la colata.

In questo modo si usa meno materiale di formatura.

Lo spessore di questi semigusci va da 4 a 10 mm; hanno una pratica migliore, una rigatura di 2 RA.

Le dimensioni del pezzo sono minori dei casi precedenti; al massimo 5-6 kg di metallo colato.

Il materiale di formatura è SiO_2 mista da una resina termoindurente (firano), in percentuali piccole (2,5 / 4,5%) e con la presenza di un catalizzatore.

Il processo consiste nel partire da un modello (stampo) al cui interno si inietta la resina. Si scalda la resina e il calore provoca, assistito dal catalizzatore, la polimerizzazione del legante e alla formazione del guscio (compattazione). Questo viene ripetuto due volte per ottenere i due semimodelli. I due gusci vengono uniti previa l'inserimento di eventuali anime.

Sistemi di colata e di alimentazione spesso coincidono.

Si fabbrica una conchiglia di stampo metallico per fare il modello.

Di solito si fabbricano più modelli per fare più pezzi allo stesso tempo.

Questo processo ha dei problemi legati al ritiro del materiale a ogni passaggio. La riutenizzazione fa diminuire le dimensioni anche del 20%. Questo ritiro è però prevedibile.

L'investiment casting serve essenzialmente per il risparmio del materiale: il grappolo viene immerso in un precorsore ceramico (più liquido che nel caso della untrafusione propria). Viene poi tirato fuori e sottoposto a doccia di materiale refrattario (particelle ceramiche) su un dispositivo retante per avere distribuzione uniforme delle particelle. Questo si ripete fino ad ottenere lo spessore adeguato.

Si ottiene un oggetto che ripropone la geometria del modello. Anche qui si preriscalda e preriutenizza per poi passare alla riutenizzazione a 800°/1000°C. La decata avviene subito dopo la riutenizzazione per evitare shock termici.

FORMA PERMANENTE

In questi processi la forma si usa diverse migliaia di volte, è fatta di materiale metallico (acciaio o ghisa) ed è definita CONCHIGLIA.

I problemi si riferiscono non all'estrazione del modello ma del pezzo.

Queste forme hanno coefficiente di trasmissione del calore elevato, grande tenore esteso, raffreddamento superficiale rapido.

A parità della composizione della lega, si hanno pezzi a qualità maggiore. Posso ottenere una buona riproposizione superficiale del modello e quindi del pezzo. $RA < 1 \mu m !!$

LAVORAZIONI per ASPORTAZIONE di TRUCIOLO

Si lavora tramite l'uso di una MACCHINA UTENSILE, che trasforma l'energia elettrica in meccanica e realizza un moto relativo tra utensile e pezzo.

La forma finale dipende dal moto relativo, dalla traiettoria del moto e dalla geometria del pezzo stesso.

L'obiettivo è asportare un materiale dal pezzo grezzo per ottenere la forma desiderata.

Le lavorazioni tradizionali sono:

- la **TORNITURA** dove il pezzo viene posto in rotazione attorno ad un'asse e c'è un utensile che si muove intorno (moto di alimentazione);
- la **FRECCATURA** dove l'utensile ruota attorno al proprio asse e il pezzo si muove su un piano per offrire un'area materiale da asportare;
- la **FORATURA** dove l'utensile ruota attorno al proprio asse e avanza nel pezzo.

Il moto rotatorio ha una velocità maggiore del moto di alimentazione e' detto MOTO di LAVORO ed e' quello che consuma il 99,5% dell'energia consumata dal processo. Richiede molta energia per unita' di volume di materiale asportato.

PROCESSO	MOTO di LAVORO	MOTO di ALIMENTAZIONE
Tornitura	pezzo	utensile
Fresatura	utensile	pezzo
Foratura	utensile	utensile

L'UTENSILE

Ha 3 elementi geometrici essenziali:

- lo spigolo tagliente
- due superfici piane → **PETTO** (superficie superiore sollecitata per attrito abrasivo, termico e chimico);

la evita
l'indebitamento
e l'acciamento

→ **DORSO** (superficie inferiore che non tocca il pezzo, appoggiata alla superficie generata).

Ha 3 angoli caratteristici:

α o SPIGOLA FRONTALE (il più importante) è l'angolo tra il petto e la normale alla velocità di taglio, misurato nel piano ortogonale al tagliente. Varia tra -15° e 30° : il tagliente è acuto se α è positivo.

α' o SPIGOLA DORSALE è l'angolo tra il dorso e la velocità di taglio. Deve essere maggiore di 0 perché se fosse negativo il pezzo e il dorso si viscererebbero.

β che è il complemento a 90° di α e α' ed è detto angolo salda.

Altri parametri importanti sono

$\left\{ \begin{array}{l} r \text{ spessore} \\ l \text{ lunghezza} \end{array} \right.$

dato che $r * l = \text{area di sezione di materiale}$
portato

Maggiore è quest'area, maggiore è la forza resistente, dato che questa è grosso modo proporzionale all'area.

La potenza assorbita dalla rete è quindi:

$$P_{in} = \eta_m P_e$$

dove

$$\eta_m \approx 0,75 / 0,85$$

TORNITURA

L'obiettivo è avere superfici ROTONDE, ad esempio cilindri di diametri unificati da cilindri a cui voglio migliorare la finitura e le tolleranze.

Nel caso più estremo, l'utensile si muove di moto rettilineo uniforme e percorre la generatrice del cilindro.

La superficie generata esattamente è elicoidale: un moto rettilineo e un avanzamento sulla traiettoria relativa dell'utensile rispetto al pezzo danno un'elica cilindrica, a passo costante se il moto è uniforme.

Questa è la firma evidente della tornitura.

La tornitura si può usare anche per cavità interne o per superfici conoformi; ogni lavorazione ha una propria geometria di utensile. Possò anche realizzare superfici piane.

Le filettature esterne e interne si possono realizzare al tornio. Si amplifica l'effetto elicoidale e si mette in evidenza un parametro fondamentale della tornitura: l'AVANZAMENTO A GIRO ovvero lo spostamento che subisce l'utensile per ogni rotazione del pezzo.

Per la filettatura, questo spostamento deve essere uguale al passo tra due filetti.

Ci sono altri due parametri fondamentali:

la VELOCITÀ di TAGLIO misurata come la velocità di taglio data dalle notazioni nel punto di contatto utensile / pezzo;

SCHEMA del TORNO

Ha un basamento in acciaio / ghisa (sono in fase di sviluppo di nuovi materiali): nei materiali per le macchine utensili, le famiglie di materiali più importanti sono le ghise o le leghe Fe-C. Tradizionalmente il più usato è la ghisa: costa poco, ha una grande capacità di smorzamento delle vibrazioni.

Le parti mobili devono garantire dinamiche (piccole accelerazioni e decelerazioni) piuttosto elevate per avere maggiore produttività. Per queste parti, la ghisa non è il materiale adatto.

- Si è affermato l'ACCIAIO SOTTOFORMA di PIASTRE TAGLIATE e psi SALDATE TRA LORO:

→ c'è elevata flessibilità (la ghisa viene lavorata per foratura e non salda bene; non garantisce quindi una buona flessibilità);

→ scarsa capacità di smorzamento delle vibrazioni (questo si compensa riempendo il basamento della macchina utensile con materiali ad elevata capacità smorzante quali sabbia, ghiaia e cemento).

Le macchine più avanzate hanno basamento in cemento polimerico e parti mobili in fibra di vetro e/o carbonio con ancore metalliche.

Se il basamento è presente una testa motrice (oggetto fisso) dentro il pale c'è il motore e il cambio di velocità.

Il cambio di velocità rende disponibile al mandrino una gamma di velocità diverse.

Questi trascinano in rotazione il mandrino che ha la doppia funzione di:

→ affiancare saltatamente il pezzo;

→ trascinare in rotazione e trasmettere la necessaria potenza e coppia.

Rischierei di rompere utensile e/o la ghitta.

La lavorazione va fermata, il pezzo va ribaltato e quindi si può continuare.

Devo quindi lavorare in due fasi. Quando lo ruoto, per poterlo fermare accurato, gli assi delle due superfici non saranno perfettamente allineati, magari anche solo di $1\mu\text{m}$. C'è quindi un errore di riposizionamento.

Potrei adottare una soluzione di questo tipo: slide 17

Il pezzo viene montato tra punta e codonpunta, tutta la superficie esterna è disponibile alla lavorazione.

Per trasmettere la coppia necessaria, le ghitte possono essere dentate quindi le teste del pezzo devono avere dei filetti di cemento (cavici).

! Se il pezzo in lavorazione è piatto (L/d superiore a 5), la sostegno per mezzo delle lunette. Ce ne sono di vario tipo; possono essere aperte e chiuse manualmente o possono essere motorizzate.

L'UTENSILE

È costituito da uno stelo e da una testa.

Lo STELO non lavora ma viucola macchina e utensile. È importante perché costituisce un riferimento: le sue superfici mettono in comunicazione stelo e macchina e quindi la parte che taglia.

La TESTA è a contatto con il materiale del pezzo. È di materiale diverso dallo stelo. Deve avere caratteristiche più pregiate:

→ resistenza alle alte temperature;

→ mantenere la durezza a più di $100-1000^\circ\text{C}$.

È un insetto di forma parallelepipedica allungata, triangolare, qualche mm per lato, mentre il resto è in acciaio temprato

Il materiale pregiato è collegato al resto tramite due modi alternativi:

→ per brasatura l'aldatura con materiale d'apporto braso fonderie

Per evitare il tallonamento,

$$\alpha > \psi$$

dove α è l'angolo di spoglia inferiore

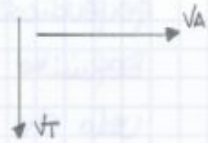
ψ è l'angolo del tagliente principale

ψ vale in base al rapporto

$$\frac{\text{velocità di avanzamento}}{\text{velocità di taglio}}$$

più precisamente

$$\psi = \arctan \frac{|VA|}{|VT|} \quad \left. \vphantom{\frac{|VA|}{|VT|}} \right\} \text{è un angolo e questo!}$$



PARAMETRI DI LAVORAZIONE

- diametro del pezzo \varnothing (ci si riferisce al diametro di partenza)
- avanzamento a piro a (di quanto si sposta l'utensile durante la rotazione, e si misura in [mm/ giro]);
- profondità di passata p (la riduzione di raggio imposta al pezzo), avers

$$p = \frac{\text{diametro IN} - \text{diametro fin}}{2};$$

- velocità di taglio v_t ;
- numero di giri n (velocità del pezzo in numero di giri al minuto)

Se la velocità di taglio v_t è la velocità tangenziale di rotazione, posso scriverla come

$$\omega \cdot r$$

dato che

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

n appena definita

ω velocità di rotazione in rad/s

se r è espressa in [m], avers v_t espressa in [m/s].

Ma r è in [mm] e voglio v_t in [m/min] (per convenzione internazionale), quindi

$$v_t = \frac{2r \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot \frac{60}{1000} = \frac{2\pi r n}{1000} = \frac{\omega r d}{1000}$$

Questo parametro è detto MATERIAL REMOVAL RATE (MRR)
ed è un parametro molto importante dal punto di vista
economico

Un altro parametro importante è V_A , ovvero la velocità con
cui l'utensile si sposta da sinistra verso destra, detta anche
VELOCITÀ di AVANZAMENTO.

È pari a

$$a \cdot n \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]$$

$$\frac{\text{mm}}{\text{giro}} \cdot \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

V_A è molto minore di V_t

Per cui ho il vincolo che

$$\alpha > \psi = \arctg \frac{V_A}{V_t}$$

$$\alpha > \arctg \frac{a \cdot n}{\frac{\pi d n}{1000}}$$

Volendolo in unità angolari, tolgo il 1000 così da avere tutto in
 $\left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$

$$\alpha \geq \arctg \frac{a \cdot n}{\pi d}$$

$$\alpha \geq \arctg \frac{a}{\pi d}$$

Dato che il numeratore è molto minore del denominatore

$$\arctg \frac{a}{\pi d} \approx \frac{a}{\pi d}$$

quindi:

$$\alpha \geq \frac{a}{\pi d}$$

Devo fare attenzione che se ho un certo d di lavorazione non
posso adottare un a troppo elevato altrimenti tallonerò.

Si esprime come

$$F_T = \underbrace{P_S}_{\text{costante che dipende dal materiale}} \cdot r^{-z}$$

z è ricavato da apposite tabelle

costante che dipende dal materiale

$$r \text{ più definito} = a \cdot \sin \alpha$$

$$F_T = P_S (a \cdot \sin \alpha)^{-z}$$

Un altro modo di procedere è

$$F_T = P_S \cdot a^{-1/n}$$

anche $\frac{1}{n}$ è tabellato

Quindi

$$F_T = P_S (a \sin \alpha)^{-z} \cdot S$$

F_T dipende da

- il materiale di lavorazione
- materiale e geometria dell'utensile. Al variare del materiale varia il coefficiente μ d'attrito tra truciolo e utensile.
- α angolo principale α molto grande implica un cono acuto, una pressione specifica minore e quindi un settore (una forza maggiore);
- S sezione del truciolo;
- r spessore del truciolo;
- v_t (se v_t aumenta, aumenta la temperatura all'interfaccia, il materiale è più malleabile e diminuisce la pressione).
- condizioni di lubro-refrigerazione;
- usura dell'utensile (più è usurato, maggiore sarà F_T).

VERIFICHE necessarie ad affermare possibile una lavorazione

① la profondità di passata deve essere compatibile con l'utensile usato.

f da la lunghezza di tagliente impegnato

Se f è troppo elevata, λ è troppo bassa e non è una buona condizione di lavoro.

Il pezzo affinato del mandrino ortocentrante è assimilabile, sotto opportune condizioni, a una **trave incastata** a una estremità.

Se vi applico una forza all'estremità opposta, la fleccia sarà pari a

$$\frac{1}{3} \frac{F_{app} \cdot l^3}{EJ}$$

dove l è la distanza tra l'incastro e la parte di applicazione;
 J dipende dalla geometria della sezione.

Se cambio il sistema di appoggio e da un lato ho un incastro e dall'altro ho libera rotazione (punta e mandrino ortocentrante) allora la fleccia massima è

$$\frac{1}{108} \frac{F_t \cdot l^3}{EJ}$$

Cioè $1/36$ in meno di prima. Lo spostamento massimo si ha quando $l = 0,06$ della lunghezza totale.

Posso adottare F_t più pesanti senza avere problemi di tolleranze dimensionali: spore tolleranze più strette al pari di tutto il resto.

Se ho invece due camere (punta e controspunta) ho una fleccia massima pari a

$$\frac{1}{48} \frac{F_t \cdot l^3}{EJ}$$

ovvero

{ il doppio del secondo caso;
 { $1/16$ del primo caso.

Il sistema di bloccaggio ha quindi una pesante influenza: quando l'inflessione è troppo grande, invece di un pezzo cilindrico, ottengo una botte.

UTENSILE A RAGGIO di PUNTA NON NULO

A. RUTSAJOP

Assumiamo che p sia piccola abbastanza da avere un profilo che è una successione di archi di circonferenza di raggio r .

Trovare R_t si riduce a trovare la distanza tra G e D

$$R_t = \overline{OG} - \overline{OD}$$

Considerando il triangolo OND ,

$$\overline{OD} = \sqrt{ON^2 - ND^2}$$

$$R_t = \overline{OG} - \sqrt{ON^2 - ND^2}$$

$$= \left(r - \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4}} \right) \cdot 10^3$$

$$= \frac{a^2}{8r} \cdot 10^3$$

$$R_t = \frac{a^2}{32r} \cdot 10^3$$

All'aumentare di a , aumenta la moltiplicata. All'aumentare del r di raccordo, diminuisce la moltiplicata.

La R è un'ovata parallelamente all'asse.

PARAMETRI e GEOMETRIA della PUNTA EUCLIDALE

La PUNTA EUCLIDALE è l'utensile standard per la foratura.

FORO \neq BORO

elementi geometrici

caso di forma cilindrica

con determinato diametro e con un certo grado

di tolleranza.

- v_t : si riferisce alle velocità tangenziale dell'utensile nel suo moto di rotazione a n numero di giri (giri/minuto), in corrispondenza del diametro nominale.

$$v_t = \frac{\pi \cdot D_n}{1000}$$

dove D è il diametro dell'utensile. Nella punta elicoidale, ci si riferisce al D del cilindro di involuppo.

- n : velocità di rotazione in giri al minuto
- a : avanzamento. La punta possiede contemporaneamente moto di taglio (rotazione) e di avanzamento, parallelo al proprio asse.
L'avanzamento a in g è lo spostamento assiale della punta che avviene contemporaneamente a 1 rotazione.
- D_n diametro della punta: può essere submillimetrico (un decimo di mm), veri e propri giri. Il range classico va da 1 a 50 mm. Si arriva anche a 100 mm (avanzamento con caratteristiche un po' diverse dalle standard).

La punta elicoidale è abbastanza complessa dal punto di vista geometrico.

Gli elementi geometrici sono:

→ diametro;

→ diametro della punta.

e non ha la rigidità necessaria.

Se è troppo grosso, dal dire che si è una porzione che non lavora come utensile da taglio ma da deformazione plastica.

Sui ci sono ancora petto e dorso. Se eseguo la solita sezione perpendicolare al tagliente (modo di lavoro α , β e λ).

C'è una parte per l'afferraggio detta *colata*, che può essere conica, cilindrica

C'è una varietà illimitata di utensili per questa lavorazione.

La punta può avere un foro per il liquido **USO REFRIGERANTE**

Tutte le lavorazioni per asportazione sono eseguite con abbondante utilizzo di un fluido lubrificante perché:

- o lubrifica il contatto utensile-trucolo;
- o refrigera.

L'aumento di calore è la ragione più importante di stress.

Viene portato in prossimità della zona di taglio. Più è vicino, più è efficace.

Generalmente si usano emulsioni di olio e acqua, al 5-10% di olio. Gli oli sono minerali, vegetali o sintetici, in base alle temperature che penso di raggiungere.

La portata è di parecchi kg al minuto. L'olio porta via il truciolo.

Ha un costo elevato: è circa il 15% del costo complessivo di gestione dell'impianto.

Si cerca di ridurre l'uso tramite la tecnica **MQL** (liquido minerale) dove invece di grosse portate si usano "aerosol" a pressione abbastanza consistente di olio puro. Lo scinteggiò è che non ho l'asportazione del truciolo.

C'è anche la lavorazione a secco, dove si usano utensili

FRESATURA

In questa lavorazione, l'utensile ha il moto rotatorio di lavoro e il pezzo ha il moto di avanzamento - alimentazione (almeno nelle versioni classiche).

È una lavorazione molto flessibile, e un grande ventaglio di lavorazioni, infatti ottengo superfici piane o libere a forma complessa, scanalatura, spallamento.

Il pezzo è su tavola porta pezzo dotato di moto orizzontale (x,y): nelle versioni più tradizionali, il moto è su piano (x,y) o su z. Nelle macchine a controllo numerico i moti possono essere contemporanei per ottenere traiettorie complesse.

L'utensile, nelle fresatrici verticali, è posizionato lungo l'asse z e può muoversi in verticale, essere continuo e combinato. Durante la lavorazione pezzo è un moto di accostamento (che si esegue prima).

La **SPIANATURA** serve ad ottenere una superficie piana; usando una fresa ad asse verticale si ottiene una spianatura frontale. L'asse dell'utensile deve essere perpendicolare alla superficie da spianare.

I denti della fresa hanno spigoli taglienti, come un insieme di stammi da trinitra montati. L'asse è parallelo alla superficie generata. Ottengo anche qui una superficie piana ma si parla di spianatura tangenziale superficiale, perché i taglienti sono disposti sulla tangente del cilindro d'inviluppo della fresa.

Si parla di **CONTORNATURA** quando si ha a che fare con contorni veri e propri, anche di geometria complessa.

profondità di passata.

- ② **TRESATRICE A CONTROLLO NUMERICO.** Ha un mandrino orizzontale che può sporgere lungo l'asse (1° gdl), può spostarsi verticalmente parallelamente a se stesso (2° gdl), la tavola porta ferro si muove lungo x e y (3° e 4° gdl). Potrebbe anche inclinarsi (5° gdl) o ruotare a bandiera (6° gdl).
- ③ **A PORTALE** due persone operano due teste operatrici, avendo l'intera - sistema di
- motrice;
 - trasmissione;
 - mandrino.

Si realizzano lavorazioni su pezzi di grande dimensione con superficie con generatrice rettilinea (10-20 cm)

PARAMETRI DI LAVORAZIONE

V_t è la velocità tangente posseduta dall'utensile in moto di rotazione.

V_a è la velocità attribuita al moto di avanzamento (però α utensile).

Anche qui ho una sezione ortogonale: se faccio una sezione ortogonale alla fresa ottengo il solito anello.

La perpendicolare a V_t in fessatura è radiale, α si misura rispetto al raggio (può essere positivo o negativo) che congiunge il tagliente.

α si misura rispetto alla direzione della V_t , può essere solo positivo per il fatto ucciso.

β è il complementare di α e α .

Il moto relativo non è perfettamente circolare. La componente di avanzamento è trascurabile rispetto al taglio.

È collegabile a n numero di giri

$$V_t = \frac{\pi D n}{1000}$$

C'è un arco di contatto lungo cui l'utensile lavora, un arco di 360° e uno di disimpegno in cui l'utensile è in ana. α varia tra 0° e un massimo.

Si distinguono due casi:

- 1) lavorazione in CONCORDANZA;
- 2) lavorazione in OPPOSIZIONE.

↓ ↓

Si riferiscono al verso della v_t e v_a al momento del contatto fresa-utensile.

Se ho v_t e v_a discordi non nel caso di lavorazione in opposizione e ci sarà:

$R=0$ al contatto

R = massimo al momento dell'uscita del dente dal contatto

Si ha un tracciato a virgola; il tracciato è deformato e compreso tra due traiettorie successive di denti adiacenti.

Queste due traiettorie hanno moto rettilineo uniforme perpendicolare all'asse di rotazione. Ho una curva cicloide. La componente rettilinea è molto piccola rispetto alla rotazione quindi approssimo ad archi di circonferenza.

Se approssimo a due archi di circonferenza:

A punto di contatto;

O passa l'asse di rotazione della fresa.

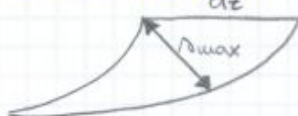
Lo spessore del tracciato è misurato radialmente.

Definito θ misurato rispetto alle verticali, θ vale il massimo in uscita.

In ogni istante, R è pari a

$$a_2 \cdot \sin \theta$$

Concentrandosi su R



modo che

$$a_2 \sin \theta = R_{\max}$$

Avere Z grande significa avere un piccolo passo angolare;
 a parità di φ , questo significa avere un elevato numero di
 denti in presa.

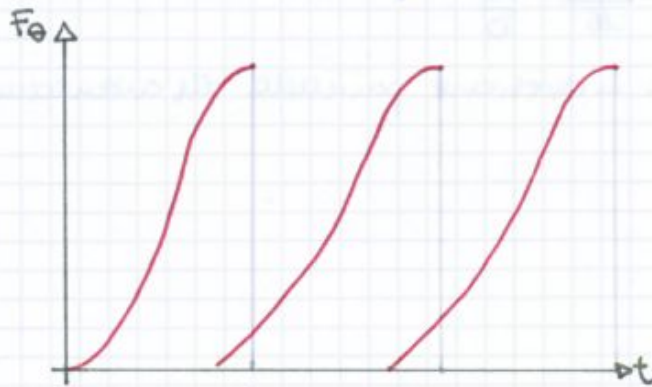
Quindi la coppia complessiva è

$$T_{\theta} \cdot N = F_t$$

La forza è

$$\begin{aligned} F_{\theta} &= F_t \cdot S_{\theta} = \\ &= p_s \cdot z_{\theta}^2 \cdot S_{\theta} = \\ &= p_s \cdot z_{\theta}^2 \cdot \Delta a = \\ &= p_s (z_{\theta})^{1-2} \Delta a = \\ &= p_s (z \sin \theta)^{1-2} \Delta a \end{aligned}$$

passo mettere in evidenza

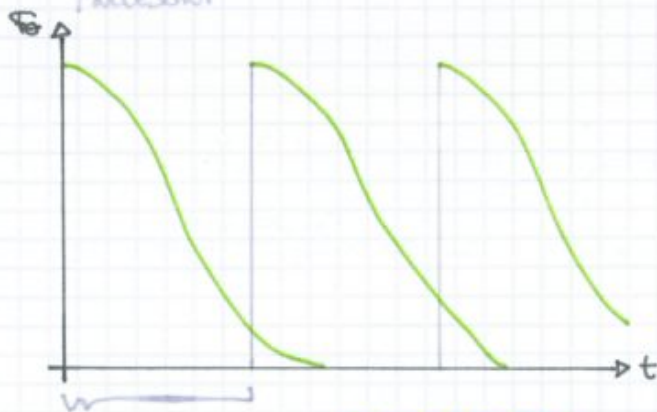


θ varia tra 0 e φ

$$\begin{aligned} \theta &= \omega t \\ &= \frac{2\pi N}{60} \cdot t \end{aligned}$$

è funzione del tempo

OPPOSIZIONE



La sezione del moltiplicatore
 è massima al contatto
 e nulla all'uscita

CONCORDANZA

LAVORAZIONI con TITO di TAGLIO RETTILINEO

Questo tipo di lavorazioni includeva inizialmente

limatura;

piattatura;

stollatura;

Oggi giorno, industrialmente parlando, è rimasta la **Broccatura** cui cui si esegue fori passanti a profilo non rotosimmetrico. Serve per alcuni fori e certe superfici.

È una lavorazione che si esegue con un utensile ad asse orizzontale (BROCCIA **FA** INTERNI).

La BROCCIA ha una parte terminale che serve per l'affermaggio di parte della macchina. Si inserisce in un prefors e si tira attraverso per il pezzo. La broccatura non è una lavorazione che fori dal pieno.

I denti sono disposti a raggio sempre crescente per asportare materiale: la sporgenza di un dente rispetto al precedente è detto **INCRASMENTO** ed è in pratica lo spessore di materiale asportato. Il passo è la distanza assiale.

Da calcolare il suo tra denti necessari, il numero non può essere snobbato. La lavorazione avviene in una sola passata.

L'utensile è costoso ma per il materiale di cui è costituito, sia per la geometria, non si cambia giù volentieri ma si riaffila. La ferrina si usa un acciaio come materiale costituente.

Le brocche possono essere

tirate (e quindi in acciaio),

spinte (carburi, poiché reggono meglio la trazione, dato che sono più duri).

Nel caso di brocche spinte c'è un problema di resistenza ai carichi assiali, sono quindi più tozze, con un alto rapporto $\frac{D}{L}$.

Possono essere orizzontali o verticali, elettromeccanici o idrauliche (che hanno forze più elevate ma sono più lente e delicate).

- deformazione plastica (eccesso di T che porta ad un calo delle prestazioni meccaniche),
- dovuta a carichi meccanici e termici insieme (descritta).

Dopo un certo tempo d'uso, l'utensile va in **fron servizio** e va in uno di due tipi:

- di tipo **CATASTROFICO** (cede improvvisamente, altamente indesiderato e tipico dei ceramici);
- di tipo **PROGRESSIVO** (alterazioni geometriche progressive che pian piano si sviluppa e lo portano ad essere inusabile ad un certo punto. Questo certo punto lo decide io e cambia se sto operando una grossatura o una finitura).

ALTERAZIONI RICONOSCIBILI

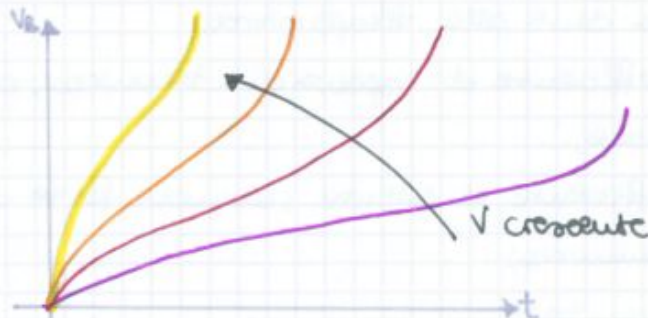
Le alterazioni sono di tipo geometrico e sono due:

- il formarsi di un **LABBRO** d'usura sul fianco dell'utensile,
- il formarsi di un **CRATERE** d'usura e un avvallamento, di forma ellittica, con asse principale parallelo all'asse di lavoro (si forma un labbro irregolare d'usura).

Se fissa un valore per v_s quello diventa il suo criterio di fine vita. Il cratere è capcioso, quindi si predilige il labbro.

COME COLLEGARE I PARAMETRI DI TAGLIO CON IL FUORI SERVIZIO?

Fissati i parametri e il materiale, faccio esperimenti e traccio:



Non esiste un materiale per utensile ideale. Esiste una vasta scelta possibile. Nessun nuovo materiale ha superato nettamente e rimpiazzato i materiali precedenti.

Fino al 1900 circa, le lavorazioni per asportazione erano a stato di arte ma abbastanza antiquate. Dal '900 in su diluita una vera e propria tecnologia. Taylor modificò la composizione degli **ACCIAI ad alto tenore di C**, usati fino

Gli acciai non sono una lega, ma soluzione solida di C in Fe. C non deve superare il 2,11, ovvero il limite di solubilità del C in Fe. Oltre al C in eccesso si deposita sotto forma di grafite (plumbe). All'aumentare di C, aumenta la durezza.

ad allora per gli utensili.

Gli acciai con questa composizione hanno però una curva durezza-T che presenta un picco a 200°-250°C. Adla in modo brusco.

È una temperatura che si raggiunge facilmente in lavorazione quindi Vt doveva essere moderata:

MAX Vt = 10 m/min

Taylor introdusse quindi gli **ACCIAI RAPIDI** aggiungendo in lega:

- Vanadio;
- Cromo;
- Tungsteno.

La composizione standard per gli acciai da utensili è la 18-4-1 owho

- 18% Tungsteno
- 4% Cromo
- 1% Vanadio

Questo moltiplica la produttività per tre portando la Vt a

MAX Vt = 30 m/min

causando un ridisegno delle macchine utensili.

Una decina d'anni dopo, lo stesso Taylor introdusse una nuova formula. Si rese conto che portandosi una

Si otteneva un materiale:

- } molto duro;
- } resistente alle alte T ;
- } discreta tenacità;

diventando la fetta più grande del mercato per utensili.
Sono fatti di una fase dura (carburo metallico) e un legante (Co):

- carburi di Ti
- carburi di Ti
- carburi di Ta
- carburi di Nb

Vengono oggi usati per gli inserti (eventualmente misti) o per utensili a geometria complessa (punte elicoidali a diametro piccolo e file piccole).

Questo porta V_t a:

$$\text{MAX } V_t = 200 \text{ m/min}$$

Questi materiali non classificabili a seconda delle loro caratteristiche. Resta addizione e:

$$p \quad m \quad K$$

da K a p aumenta la durezza e diminuisce la tenacità (m è una classe intermedia).

Oltre alla lettera n associa un numero: all'aumentare del numero aumenta la tenacità e diminuisce la durezza.

Più c'è legante e più è tenace e meno duro.

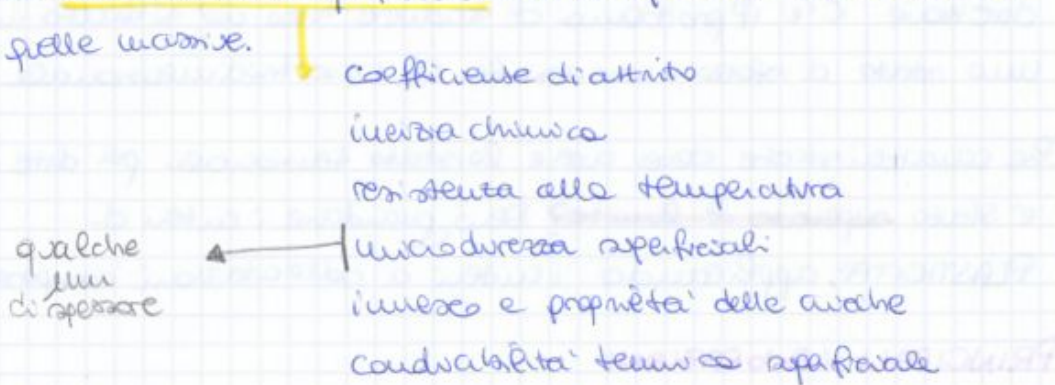
Negli anni '60 si introdussero i primi **CERAMICI** che rispondono bene a

- tenacità;
- durezza a alte T ;
- bassi μ ;
- alta velocità di taglio;
- costo limitato.

C'è poi il **DIAMANTE** - Gg: si parla di diamante artificiale.
 Tende però a frantumarsi in zone a P alta e T alte.
 C'è quindi un limite spesso a V e l'impossibilità di lavorare leghe ferrose per l'elevata affinità chimica carbonio-ferro: il carbonio tende ad andare in soluzione e ha una V molto rapida anche a T un po' esagerate.
 Si applica come rivestimento spesso: non di poche μm ma decine di μm su utensili a base carbonio per le lavorazioni di materiali fortemente abrasivi.

RIVESTIMENTI

È una innovazione degli ultimi 15/20 anni. Migliorano le caratteristiche superficiali del componente senza toccare quelle massive.



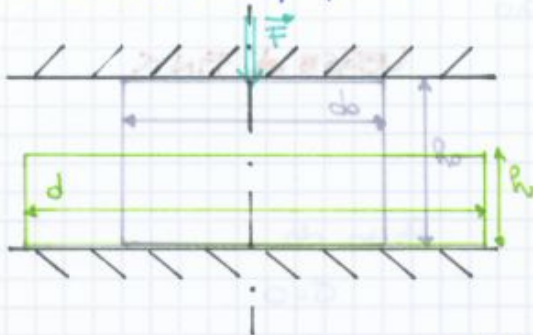
Questo mi permette di non modificare il bulk parte unghia ha una caratteristica come la buona resistenza agli urti. Si deposita con processi di tipo fisico o chimico sul pezzo già fabbricato e ne riproduce fedelmente la geometria.

Il materiale più usato è il NITRATO di TITANIO, ci sono poi:
 il carburo nitrico di Ti ;
 il carburo nitrico di Zr ;
 il carburo nitrico di Ta ;
 i nitruro degli elementi della 4° colonna.

I rivestimenti possono essere multi o mono strato: nel caso di multi strato si alternano diversi materiali in alternanza stretta, fermando la propagazione delle anche. Il rivestimento esteso è preso ad attrito minore.

LAVORO NECESSARIO E ENERGIA DA SPENDERE

Supponiamo di dover comprimere un pezzo cilindrico tra due semi-stampi piani



Il diametro iniziale è d_0 e l'altezza iniziale h_0 .

Supponiamo che il suo supporto sia rigido e che la parte inferiore sia fissa. La parte superiore si muove e impone una forza di spostamento imposto.

Eseguiamo la deformazione finché il cilindro di partenza non ha ridotto l'altezza fino ad un livello h e aumentato il diametro fino a d .

dL corrisponde ad uno spostamento infinitesimo dello stampo superiore.

$$dL = F dh$$

Il lavoro complessivo sarà pari a

$$L = \int_{h_0}^h F dh$$

ma $F = F(h)$ perché è pari alla tensione indotta nel cilindro (σ) per l'area resistente (trasversale)

$$F = \sigma \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

A

dato che σ è legata alla ϵ tramite $\sigma = \sigma_0 \epsilon^n$

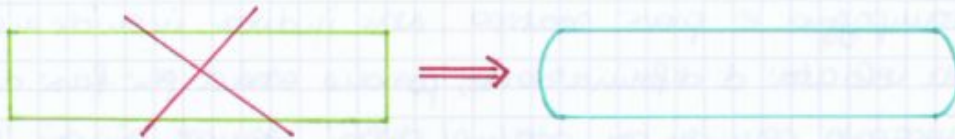
$$L = \int_{h_0}^h \sigma \cdot A dh =$$

$$= \int_{h_0}^h \sigma \cdot \frac{V}{h} dh =$$

$$= \sqrt{\sigma} \int_{h_0}^h \frac{dh}{h} =$$

Supponiamo σ costante e pari a un valore medio $\bar{\sigma}$

Devo però tenere da conto che è micca adatta in caso uniaxiale, ma ho considerato che gli attriti sviluppano sforzi contropesi. Otengo quindi un pezzo a botticella (fenomeno del **BARRELLING**)



Se tracciassi delle linee interne al pezzo non deformato, a fine lavorazione queste risulterebbero deformate.

OTTENGO UNA **DISTORSIONE** del pezzo.

Quindi la legge di Fink calcola il lavoro ideale di lavorazione

$$L_{id} = V \sigma_m \cdot \epsilon$$

$$L_r = L_{id} + L_{att} + L_{dnt}$$

\downarrow \downarrow
 estens intens

$$L_r = \frac{L_{id}}{\eta}$$

FUCINATURA e STAMPAGGIO

Si causa la deformazione sotto l'azione di colpi con un valore dinamico importante.

↳ DISTINGUIAMO

- FORGIATURA = fucinatura + stampaggio;
- FUCINATURA = forgiatura in stampo aperto;
- STAMPAGGIO = forgiatura in stampo chiuso.

In FUCINATURA, la geometria dello stampo (parte fissa su cui poggia e la parte mobile) non riporta in negativo la geometria del pezzo. La geometria del pezzo deriva dalla posizione relativa in lavorazione.

Nello STAMPAGGIO, dallo stampo si desume la geometria del pezzo finito. La lavorazione avviene in un'unica chiusura dello stampo stesso.

Sono molto diverse come lavorazioni, hanno velocità diverse.

a cui va sottratto un termine che raggruppa eventuali perdite per attrito.

Nel maglio a doppio effetto, oltre alla caduta, viene sporcata ad aria compressa; l'energia spesa è 10 volte più grande di quella del primo caso.

I magli a contraccoppo non magli con massa e in alcune uscite, si trovano a metà. È utile se il peso è disposto su un sistema di droppati per lavorare in fuso e spasso.

Per lo stampaggio si usano invece le **PRESSE**. La differenza è che le presse si classificano in base alle fasi di chiusura e non in base all'energia spendibile.

In **STAMPAGGIO**, si realizzano pezzi più vicini alla geometria finita. Lo stampo ha una geometria determinata, il peso è grosso. Il semistampo inferiore è in genere fuso.

Vi è una prima fase di caduta e poi continua fino a che il pezzo non riempie lo stampo. Questo prevede un canale di sfogo dove va il materiale in eccesso ed è detto **CANALE DI SAVA**. Si lavora con un volume peso leggermente maggiore del valore del pezzo finito.

Vi sono quindi analogie con la fonderia:

- piano di divisione per consentire l'estrazione del pezzo (nessun sottopiede);
- angoli di sfumo;
- nessuno spigolo vivo.

Se lo stampaggio avviene a caldo deve prevedere una maggior tolleranza delle dimensioni per il ritiro. Non sarà una vera net shape, avrà una lavorazione successiva.

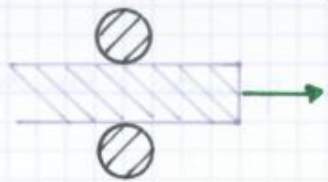
C'è poi la lavorazione a tiepido; la temperatura aumenta fino ad una temperatura inferiore a quella della lavorazione a caldo, quindi metà della temperatura di cristallizzazione.

A COSA SERVE L'USCITA?

Nell'arco di contatto perso-rotolo, vi sono delle zone di ristagno-mento. La spesa di sostituzione è relativamente limitata. Possò adottare rotoli a forma di barilotto (con diametro maggiore sull'asse mediano) generando una geometria di contatto obliquata. Entrano in gioco il materiale e la temperatura.

Vi sono diverse disposizioni di laminatori.

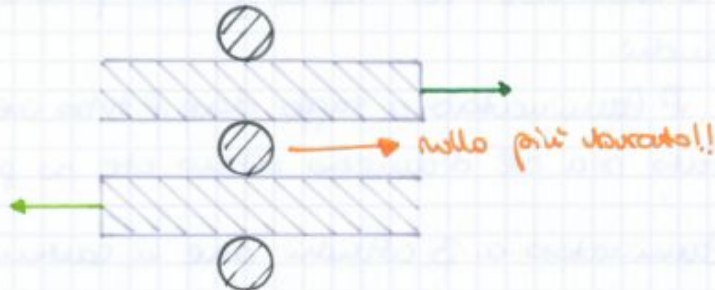
La disposizione più semplice è Duo che può essere anche



reversibile, dove posso invertire la direzione di laminazione.

Questo implica un avviamento dei rotoli, riduzione del meato.

C'è la disposizione TRIO: un pannello viene laminato verso destra e uno verso sinistra, quindi il rotolo centrale si usurerà più degli altri.



I rotoli di trascinamento spingono il pannello. La superficie non è piana, è una somma di archetti di diametro d . Adatto quindi bagno di rotoli fusi.

Per ottenere un PROFILATO utilizzato non da rotoli ma una serie di passate fino alla sezione desiderata. Si parte da una lamina, per esempio cilindrica. Nel 3° stadio i rotoli non sono più cilindrici.

Una tecnica speciale è quella per la laminazione dei tubi che si ottengono senza saldatura. Si parte dal laminatoio Hausermann (o del tipo). Ha due rotoli di laminazione una ad am-

TRAFILATURA

È un'operazione di lavorazione per deformazione plastica attraverso la quale si può ridurre la sezione di una barra forzandone il passaggio attraverso un foro calibrato (filiera o matrice di trafilatura).

Si pone il pezzo in trazione in uscita dalla filiera. Si producono cilindri e tubi con geometrie semplici poiché applicare forze elevate a geometrie complesse non è possibile. Questa forza viene applicata da macchine idrauliche (o motori di grande valore) o da nocchetti annessi al pezzo, azionati da un motore.

Può avvenire sia a caldo che a freddo: lavoro su grandi sezioni a caldo, quelle piccole a freddo.

Si parte da un diametro iniziale A_0 , che viene ridotto lungo la superficie cavo della filiera. Presenta un angolo di trafilatura. Questo si chiama anche caso di lavoro. È seguito da un tratto costante (tratto di calibratura) dove si calibrano il pezzo ed avviene il ritraccio elastico.



$$L_{id} = V \cdot \epsilon \cdot \sigma_m$$

dove $\left\{ \begin{array}{l} V \text{ è il volume trafilato} \\ \epsilon \text{ è la deformazione impressa} \\ \sigma_m \text{ la tensione media} \end{array} \right.$

\circ queste zone
attrito
zona d'ingresso
attrito