



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1884A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Benere Danilo

MATERIA: Tecnologia meccanica - prof. Antonelli

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.**

(1)
Il processo produttivo industriale è l'insieme delle attività tecnologiche e organizzative necessarie per trasformare materiali in prodotti o beni economici. Quindi è l'insieme delle attività tecnologiche, che trasformano la materia prima in prodotto finito. Il sistema produttivo dipende anche dai vincoli ambientali, economici e di mercato, oltre che dalle risorse umane, dai materiali e dalle attrezzature (fattori di produzione).

La produzione si divide in 4 rami:

ENGINEER TO ORDER: l'azienda progetta su commessa; il cliente commissiona un'opera e l'azienda crea il ciclo produttivo; ad esempio navi, grattacieli; grandi e poche opere.

MAKE TO ORDER: produzione su commessa (gestione a fabbisogno); l'azienda produce quando è specificamente richiesto dal cliente.

MAKE TO STOCK: produzione a magazzino (gestione su previsioni); produzione di beni sulla base di analisi di mercato e previsioni di vendita.

DIGITAL COPY: richiesto il prodotto ma non lo produce, è compito del cliente fare una copia del prodotto (ad esempio i software).

In base al metodo di produzione abbiamo 3 rami:

JOB PRODUCTION: produzione unitaria; piccole quantità di prodotti molto specializzati; massima varietà.

BATCH PRODUCTION: produzione per lotti; il prodotto viene fabbricato in quantità variabili alternativamente ad alto, su impianti o macchine più flessibili e quindi abbiamo una media varietà.

MASS PRODUCTION: produzione continua (in massa); le aziende producono grandi quantità (serie) di un prodotto con limitate variazioni nei modelli; poca varietà.

Quando un'azienda deve produrre pezzi in grandi quantità ($10^4 - 10^6$), la varietà è tendente a zero (produzione in massa). Quando un'azienda

programmazione della produzione, riduce la possibilità di errori umani, riduce l'eventualità di infortuni agli esseri umani; in pratica si ha un sistema di controllo per gestire macchine e processi.

L'automazione rigida sono macchine che eseguono singole operazioni ripetute a tempo indeterminato; ha per obiettivo la realizzazione dell'unico ciclo di produzione per il quale il sistema è stato costruito; esse non consentono alcuna variazione di prodotto-processo; la sequenza delle operazioni di processo e di assemblaggio è fissa e dipende dalla configurazione delle apparecchiature utilizzate; i vantaggi sono alta produttività, costi unitari bassi, alta affidabilità.

L'automazione flessibile (programmabile) sono macchine che ammettono un range di variazione, quindi si può modificare il programma delle macchine in modo da eseguire prodotti diversi.

CIM (Computer Integrated Manufacturing: produzione integrata di fabbrica):

integrazione automatizzata tra i vari settori di un sistema di produzione al fine di minimizzare i tempi di sviluppo di un prodotto e ottimizzare la gestione delle risorse; i vantaggi del CIM sono: migliorare la produttività del prodotto e minimizzare i tempi di sviluppo del prodotto; gli elementi base per il CIM sono i sistemi di progettazione assistita CAD, sistemi di lavorazione flessibili FMS e i sistemi automatici di misura CAP.

In passato l'intero processo produttivo veniva suddiviso in vari "frangoni" che venivano gestiti in maniera sequenziale da reparti orientati e l'output di un reparto veniva "passato sopra la parete" ad un altro reparto. In realtà prodotto e processo produttivo devono viaggiare in parallelo: CE (Concurrent Engineering) è un metodo gestivo atto a sviluppare con successo nuovi prodotti o servizi, consistente nel "chiamare all'edemata", sin dalle primissime fasi dello sviluppo, le risorse più significative di un'azienda e portare le loro esperienze

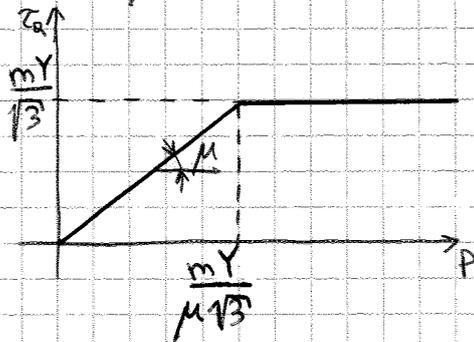
La pressione diventa grande, allora la superficie reale coincide con quella nominale S_n .

La tribologia è la scienza che studia l'attrito e definisce la Tensione tangenziale d'attrito come $\tau_a = \frac{F_{attrito}}{S_n}$ (ideale, perché in realtà a

contatto tra loro non è la S_n , ma la S_{re}); si parte dal modello di Coulomb (coefficiente d'attrito): $\tau_a = \mu \cdot p$ (dove p = pressione;

$\mu \approx 0,1$; in questo caso abbiamo la S_{re} , che è incognita) (variabile); modello dell'adesione (legge d'attrito): $\tau_a = m \cdot \frac{Y}{\sqrt{3}}$ (vale per p elevate; $0,5 < m < 0,8$; m è una costante), la Y è la tensione di snervamento.

Quindi se p è molto elevata, la legge di Coulomb non è più vera, ma vale il modello dell'adesione:



Quindi quando $p = \frac{mY}{\sqrt{3}\mu}$ si ha il

passaggio dal modello di Coulomb al modello dell'adesione.

In un processo di deformazione il lubrificante ha un effetto molto importante. Nel caso dello stampaggio di un anello se c'è abbastanza lubrificante vi è una dilatazione dell'anello stesso e il foro centrale tende ad invariarsi verso l'esterno; in mancanza di lubrificante, il materiale non si liquefa e si dilata in modo tale da restringere il foro centrale. 

Anisotropia = comportamento diverso del materiale in varie direzioni - la deformazione plastica allunga il grano in una sola direzione; la resistenza meccanica ora dipende dalla direzione; il materiale è detto anisotropo.

Ricristallizzazione = formazione di una nuova struttura cristallina senza tensioni residue; avviene solo a temperature elevate; il tempo di ricristallizzazione diminuisce al

principio di conservazione del volume: $l_0 \cdot S_0 = l \cdot S \Rightarrow \frac{l}{l_0} = \frac{S_0}{S}$

Passaggio da tensioni reali a tensioni nominali:

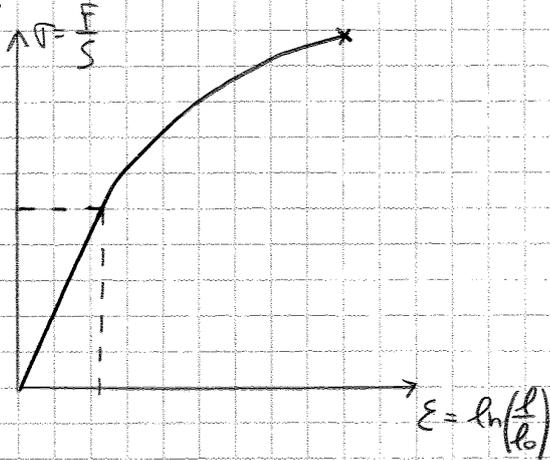
$$\begin{cases} \sigma = \frac{F}{S} = \frac{F \cdot S_0}{S \cdot S_0} = \sigma_n \cdot \frac{S_0}{S} = \sigma_n (1+e) \\ e = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1 = \frac{S_0}{S} - 1 \rightarrow \frac{S_0}{S} = 1+e \end{cases}$$

$$\sigma = \sigma_n (1+e)$$

Passaggio da deformazione naturale a deformazione nominale

$$\begin{cases} \epsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln(1+e) \\ e = \frac{l}{l_0} - 1 \rightarrow \frac{l}{l_0} = 1+e \end{cases}$$

$$\epsilon = \ln(1+e)$$



← Curva Tensione - deformazione (vera)

La curva $\sigma - \epsilon$ è facilmente approssimabile con una espressione di potenza:

$$\sigma = K \epsilon^n$$

n : rappresenta l'incrudimento del materiale;

K : costante che rappresenta la tensione per stress deformaz. unitarie (rappresenta la resistenza del materiale)

EQUAZ. DI HOLLOMON

Incrudimento: all'aumentare della deformazione, si deve aumentare notevolmente la sollecitazione perché vi è un aumento della resistenza del materiale allo scricchiolio del materiale stesso.

Passando ai logaritmi (Hollomon): $\ln \sigma = \ln K + n \ln \epsilon$ (equaz. retta).

La legge di Hollomon rappresenta bene la curva per grandi deformazioni.

$$\frac{d\tau}{d\varepsilon} S + \tau \frac{dS}{d\varepsilon} = 0 \rightarrow S \left(\frac{d\tau}{d\varepsilon} + \frac{\tau}{S} \frac{dS}{d\varepsilon} \right) = 0 \quad \text{ricordando la}$$

conservazione del volume si ha $(l \cdot S = \text{costante}) \quad \ln(l \cdot S) = \ln(\text{costante})$

$$\frac{dl}{l} + \frac{dS}{S} = 0 \rightarrow d\varepsilon = \frac{dl}{l} = -\frac{dS}{S} \rightarrow \text{quindi:}$$

$$S \left(\frac{d\tau}{d\varepsilon} - \frac{\tau}{S} \frac{dS}{d\varepsilon} \right) = 0 \rightarrow S \left(\frac{d\tau}{d\varepsilon} - \tau \right) = 0 \rightarrow \boxed{\frac{d\tau}{d\varepsilon} = \tau}$$

Condizione di instabilità

La deformazione totale è data dalla deformazione in campo elastico e dalla deformazione in campo plastico (sono indipendenti): $\varepsilon^{\text{TOT}} = \varepsilon^{\text{EL}} + \varepsilon^{\text{PLAST.}}$

Se siamo in campo elastico abbiamo una deformazione reversibile del materiale e vi è una proporzionalità costante fra tensione e deformazioni data dalla legge di Hooke: $\tau = E\varepsilon$, dove E è il modulo di elasticità o modulo di Young.

Esiste un sistema principale, in cui è possibile ricondurre tutte le forze applicate, avendo delle tensioni principali τ_1, τ_2, τ_3 (con $\tau_1 > \tau_2 > \tau_3$). Le tre tensioni sono indipendenti fra loro ed esiste una tensione media

$$\tau_m = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3}{3}$$

Nel caso della trazione uniaxiale abbiamo $\tau_1 = \tau$ e $\tau_2 = \tau_3 = 0$.

È stato osservato sperimentalmente che applicando ad un corpo una tensione di trazione, positiva, in una direzione si ha una deformazione di contrazione, negativa, nelle direzioni ad essa perpendicolari.

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{1}{E} [\tau_1 - \nu (\tau_2 + \tau_3)] \\ \varepsilon_2 = \frac{1}{E} [\tau_2 - \nu (\tau_3 + \tau_1)] \\ \varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\tau_3 - \nu (\tau_1 + \tau_2)] \end{cases}$$

Dove ν rappresenta il coefficiente di Poisson che solitamente assume il valore di 0,3.

Se siamo in campo plastico abbiamo una deformazione irreversibile, perché abbiamo superato il limite di snervamento. In questo modello si suppone che una volta applicata la tensione di snervamento o trazione

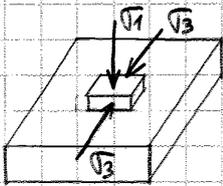
Quando lo stato tensionale raggiunge un valore limite, detto di snervamento, il materiale inizia a deformarsi plasticamente.

Il criterio di Tresca o della Tensione Tangenziale massima afferma:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = Y; \text{ il criterio di Von Mises afferma: } (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$$

Possiamo ricondurre a noi $\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} = Y$

Tensione piana $\sigma_2 = 0$



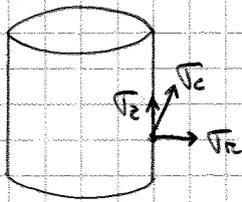
Tresca: $\sigma_1 - \sigma_3 = Y$

Von Mises: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2 \rightarrow$

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 - 2\sigma_3\sigma_1 = 2Y^2 \rightarrow$$

$$2\sigma_1^2 + 2\sigma_3^2 - 2\sigma_3\sigma_1 = 2Y^2 \rightarrow Y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_3$$

Tensione assialsimmetrica



Tresca ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3, \sigma_3 = \sigma_2$): $\sigma_1 - \sigma_3 = Y$

Von Mises: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2 \rightarrow$

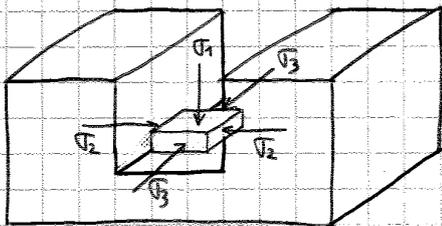
$$\sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\sigma_2\sigma_3 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 - 2\sigma_3\sigma_1 = 2Y^2 \quad (\sigma_1 = \sigma_2) \rightarrow$$

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 2\sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 - 2\sigma_3\sigma_1 = 2Y^2 \rightarrow$$

$$2\sigma_1^2 + 2\sigma_3^2 - 4\sigma_1\sigma_3 = 2Y^2 \rightarrow \sigma_1^2 - 2\sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2 = Y^2 \rightarrow$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = Y^2 \rightarrow \sigma_1 - \sigma_3 = Y$$

Deformazione piana $\epsilon_2 = 0$



Le σ_2 sono delle forze di reazione dello stampo.

Tresca ($\epsilon_2 = 0$): $\sigma_1 - \sigma_3 = Y$

Von Mises ($\epsilon_2 = 0$): $\epsilon_2 \propto \sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) = 0$ ma

$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) = \sigma_m$ quindi:

$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$ sostituendo

σ_m e σ_2 abbiamo: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2 \rightarrow$

$$\left[\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \right]^2 + \left[\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \right]^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2Y^2 \rightarrow \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 1 \right) (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2Y^2 \rightarrow$$

$$\frac{3}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2Y^2 \rightarrow \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} Y \approx 1,15 \cdot Y$$

ESERCITAZIONE 1

(14/10/15)

STUDIO TENSIONI
 ES1 con von MISES

Prova di trazione (1-D): $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$

$\sigma_{eq} = \sigma_1 = \sigma = 2063 \text{ MPa}$

$\epsilon = 125\%$

$\sigma = 2063 \text{ MPa}$

$\sigma_{eq} = ?$

$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma = \sigma_1 = \sigma = 2063 \text{ MPa}$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 = ?$

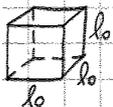
$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 = ?$

$\epsilon = \epsilon_1 = 125\%$

Per la legge di conservazione del volume abbiamo:

$l_1 \cdot l_2 \cdot l_3 = l_0 \cdot l_0 \cdot l_0 \rightarrow \frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{l_2}{l_0} \cdot \frac{l_3}{l_0} = 1$ passando ai logaritmi:

abbiamo: $\ln\left(\frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{l_2}{l_0} \cdot \frac{l_3}{l_0}\right) = \ln(1) \rightarrow \ln\left(\frac{l_1}{l_0}\right) + \ln\left(\frac{l_2}{l_0}\right) + \ln\left(\frac{l_3}{l_0}\right) = 0 \rightarrow$



$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$

Secondo la prova di trazione è assialsimmetrica

(deformazioni simmetriche) $\epsilon_3 = \epsilon_2$ abbiamo che:

$\epsilon_1 + 2\epsilon_2 = 0 \rightarrow \epsilon_3 = \epsilon_2 = -\frac{1}{2}\epsilon_1$ quindi $\epsilon_2 = \epsilon_3 = -61,5\%$

STUDIO TENSIONI
 ES2

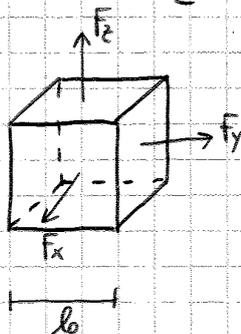
$l_0 = 10 \text{ mm}$

$F_x = 100 \text{ N}$

$F_y = -100 \text{ N}$

$Y = 25 \text{ MPa}$ (Beh)

$F_z = ?$



$S = l_0^2 = (10 \text{ mm})^2 = 100 \text{ mm}^2$

$\sigma_1 = \frac{F_x}{S} = \frac{100 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = 1 \text{ MPa}$

$\sigma_2 = \frac{F_y}{S} = \frac{-100 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = -1 \text{ MPa}$

$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$ quindi l'unica incognita è σ_3 :

$(1+1)^2 + (-1-\sigma_3)^2 + (\sigma_3-1)^2 = 2Y^2 \rightarrow 2Y^2 = 4 + 1 + \sigma_3^2 + 2\sigma_3 + \sigma_3^2 + 1 - 2\sigma_3$

quindi: $2Y^2 = 6 + 2\sigma_3^2 \rightarrow Y^2 = 3 + \sigma_3^2 \rightarrow \sigma_3 = \pm\sqrt{Y^2 - 3} = \pm\sqrt{25^2 - 3} = \pm 18 \text{ MPa}$

Secondo $\sigma_3 = \frac{F_z}{S} \rightarrow F_z = \sigma_3 \cdot S = \pm 18 \cdot 100 = \pm 1800 \text{ N}$

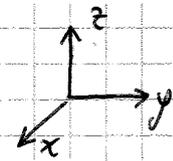
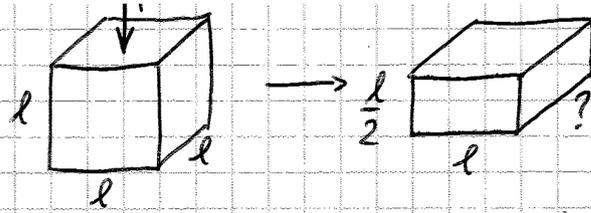
ES4 COMPRESSIONE IN
DEFORMAZIONE PIANA

$l = 100 \text{ mm}$

$l_2 = \frac{l}{2} = 50 \text{ mm}$

$Y = 200 \text{ MPa}$

$F = ??$



$$\begin{cases} x = 1 \\ y = 2 \\ z = 3 \end{cases}$$

Caso deformazione piana.

Calcolo delle dimensioni del pezzo:

l_{i1}, l_{i2}, l_{i3} dimensioni iniziali del pezzo, tutte pari a 100 mm

l_{f1}, l_{f2}, l_{f3} dimensioni finali del pezzo - $l_{f3} = \frac{l_{i3}}{2} = 50 \text{ mm}$, l_{f2} rimane invariato, quindi pari a 100 mm - Applico la conservazione del volume:

$$l_{i1} \cdot l_{i2} \cdot l_{i3} = l_{f1} \cdot l_{f2} \cdot l_{f3} \Rightarrow l_{f1} = \frac{l_{i1} \cdot l_{i2} \cdot l_{i3}}{l_{f2} \cdot l_{f3}} = \frac{100 \cdot 100 \cdot 100}{100 \cdot 50} = 200 \text{ mm} \quad (l_{i2} = l_{f2})$$

Calcolo della tensione in direzione 3:

$Y = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)$ siccome lungo la direzione 1 non agiscono tensioni, abbiamo

che $\sigma_1 = 0$ e quindi $Y = \frac{\sqrt{3}}{2} (-\sigma_3) \Rightarrow -\frac{2Y}{\sqrt{3}} = \sigma_3 = -231 \text{ MPa}$

Calcolo della forza di compressione:

Moltiplico la tensione in direzione verticale per la superficie in pianta del pezzo. Siccome la superficie aumenta durante la compressione, considero nei calcoli la superficie finale, ossia mi metto nelle condizioni in cui la forza è massima:

$$F = \sigma_3 \cdot S = \sigma_3 \cdot l_{f1} \cdot l_{f2} = -231 \cdot \underbrace{200 \cdot 100}_5 = -4,62 \text{ MM}$$

(ES 8) TENSORI E DEFORMAZIONI

$l_0 = 400 \text{ mm}$

$F = 80 \text{ kN}$ (trazione)

$CS = 2 \rightarrow$ la tensione non deve mai superare il 50% della tensione di snervamento

$\sigma_{\text{max, amm}} = \frac{1}{2} \sigma_s = 0,5 \cdot 825 = 412,5 \text{ MPa}$

$F_{\text{max}} = \sigma_{\text{max, amm}} \cdot A_0 \rightarrow A_0 = \frac{F_{\text{max}}}{\sigma_{\text{max, amm}}} = \frac{80000}{412,5} = 193,93 \text{ mm}^2$

$V = A_0 \cdot l_0 = 193,93 \cdot 400 = 77572 \text{ mm}^3 = 0,078 \text{ dm}^3$

$\rho = \frac{M}{V} \rightsquigarrow M = \rho \cdot V = 4,43 \cdot 0,078 = 0,35 \text{ kg}$

$[\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

(ES 10) DETERMINAZ. TENSIONE DI ROTTURA

$\sigma = 1200 \cdot \epsilon^{0,35} \quad (\sigma = C \cdot \epsilon^n)$

La condizione di instabilità si ottiene derivando la curva rispetto ad ϵ .

$\frac{d\sigma}{d\epsilon} = \sigma$ quindi $\frac{d\sigma}{d\epsilon} = C \cdot \epsilon^n \rightarrow n \cdot C \cdot \epsilon^{n-1} = C \cdot \epsilon^n \rightarrow$

$n \cdot \cancel{C} \cdot \epsilon^{-1} = \cancel{C} \cdot \epsilon^n \rightarrow n \cdot \epsilon^{-1} = 1 \rightarrow n = \epsilon_{\text{inst}}$

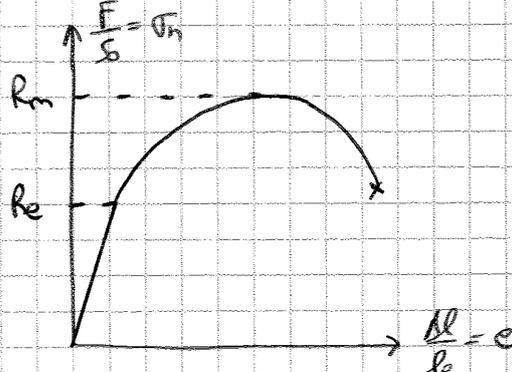
$\epsilon_{\text{inst}} = 0,35$ (perché $n = 0,35 = \epsilon_{\text{inst}}$) $\rightarrow \sigma_{\text{rott}} = 1200 \cdot 0,35^{0,35} = 831 \text{ MPa}$

(ES 11) DETERMINAZIONE CURVA σ - ϵ

$R_e = 150 \text{ MPa}$

$R_m = 300 \text{ MPa}$

$A = 20\%$



$e = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1; \quad \sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{S} \cdot \frac{S_0}{S_0} = \sigma_n \cdot \frac{S_0}{S} = \sigma_n \cdot \frac{l}{l_0} = \sigma_n (1+e)$

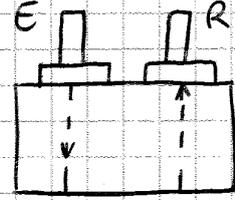
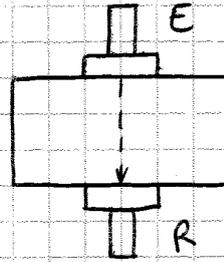
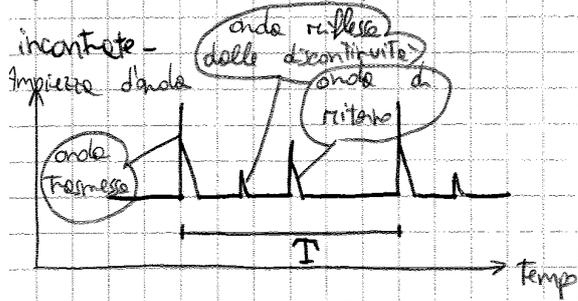
$\epsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{l-l_0+l_0}{l_0}\right) = \ln(e+1) \quad (e = \frac{l-l_0}{l_0})$

Le prove non distruttive consentono di valutare la difettosità o la struttura dei materiali senza alterare lo stato fisico del pezzo. Risultano utili per la verifica al 100% della produzione o per il monitoraggio dello stato del componente durante tutta la sua vita operativa. Queste prove vengono applicate come collaudi di accettazione (controlli di qualità sui semilavorati presso i fornitori o all'amiro in magazzino), come collaudi di processo (sostituiscono i collaudi finali e sono controlli automatici), come controlli in servizio (controlli effettuati durante la vita della macchina, in funzionamento o in manutenzione). Le prove che esamineremo sono: liquidi penetranti (PT), magnetoscopia (MT), ultrasuoni (UT), radiografie (RT).

Prova a liquidi penetranti: è una procedura d'ispezione superficiale di un pezzo non poroso. Il penetrante viene applicato sulla superficie del materiale, permettendo così all'azione capillare di agire per il tempo necessario alla penetrazione negli eventuali difetti superficiali. Successivamente il penetrante in eccesso viene rimosso e viene applicato un mezzo di contrasto detto rivelatore che consente al liquido penetrato nelle eventuali discontinuità di moltiplicare superficialmente. Sono così possibile rilevare eventuali difetti. Il liquido a contrasto di colore rosso è anche larghe fino a 0,1 mm e le osservazioni sono mediante luce visibile; i liquidi fluorescenti rilevano anche larghe fino a 0,1 mm e sono osservabili con radiazione ultravioletta. Questa prova non rileva difetti sotto pelle, non è applicabile su superfici rugose o porose.

Magnetoscopia: rileva difetti superficiali o appena sotto la superficie ed è una tecnica molto sensibile fino a una profondità di 4-5 mm e si può applicare solo a materiali ferromagnetici. Il riconoscimento dei difetti avviene perché le particelle si dispongono lungo le linee di flusso del campo magnetico; viene generato un flusso magnetico che si chiude all'interno del pezzo; alcune particelle magnetiche sulla superficie del pezzo

funzionano da riflettore, e sullo schermo, tra i 2 precedenti picchi, le comparsano degli alti che rappresentano delle irregolarità relative al tipo di discontinuità



E = emittente; R = ricevente

Radiografia: il principio di funzionamento di tale tecnica si basa sulle attenuazioni che radiazioni elettromagnetiche subiscono quando incontrano un difetto nel loro percorso all'interno del materiale. Se una pellicola vi è il risvolgimento della variazione di attenuazione che un fascio di raggi X subisce in funzione degli spessori attraversati e le discontinuità emergono come zone scure. La radiografia si basa su onde elettromagnetiche e per spessori fino a 150 mm si usano le radiazioni γ con esposizione panoramica; per spessori oltre i 10 cm si usano acceleratori lineari; si possono rilevare difetti dell'ordine di 1-2% dello spessore del pezzo. È un processo prevedibile poiché si tratta di radiazioni e i raggi X sono più precisi delle onde acustiche. Vengono usate le radiografie per il controllo di saldature, getti in ghisa, acciaio, alluminio, per materiali compositi e per materie plastiche.

I vantaggi dell'uso delle radiografie sono: costo contenuto, contenitore piccolo e facilmente trasportabile, nessuna alimentazione elettrica, sorgente molto piccola che può passare in aperture strette.

gli svantaggi sono: elevati costi di costruzione della sorgente radioattiva, si possono analizzare pezzi di spessore massimo 180 mm, nelle radiografie si ha poco contrasto, quindi non è immediato riconoscere i difetti, è possibile non rilevare difetti bidimensionali.

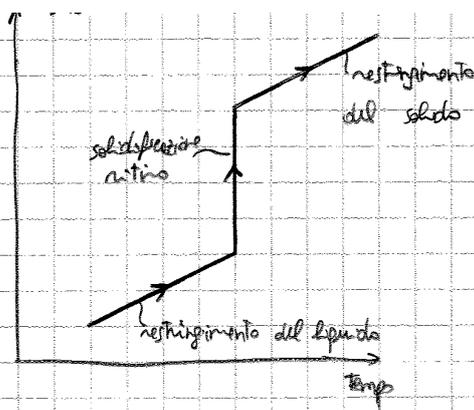
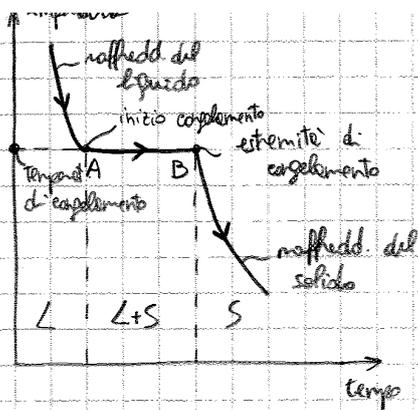
Il modello è un oggetto che rappresenta la forma che dovrà assumere il prodotto finale - può essere fatto con molti materiali: come legno, metallo, matiere plastiche - Lo scopo del modello è quello di creare nella forma la cavità nella quale si colerà il metallo fuso - Le dimensioni del modello devono tener conto del ritiro del metallo nella fase di solidificazione e del surriscaldamento, la forma del modello deve tener conto della necessità di poter estrarre il modello dalla forma senza rovinarla, e quindi le parti parallele alla direzione di estrazione del modello dovranno essere leggermente inclinate formando un invito detto sforo; si dovranno inoltre evitare i sforsuadri o prevedere un'adeguata compatibilità del modello; si dovranno infine prevedere le portate d'anima, cioè il calcolo dei rapporti dove poggiano le anime per creazione dei vuoti nella fusione - Per evitare tensioni interne, si dovranno evitare bruschi cambiamenti di spessore o di direzione, prevedendo opportuni racordi tra le parti -

Le anime sono degli oggetti che servono per ottenere dei fori nella fusione, cioè delle parti che non devono essere riempite dal metallo liquido -

La forma è il contenitore entro cui verrà colato il metallo - La forma è costituita da due stampe, cioè due telai di metallo - La forma può essere transitoria (utilizzabile in una sola colata; costituita in terra di fondente che verrà poi spezzata alla fine del processo) o permanente (realizzata in acciaio ed è chiamata a conchiglia; sono due conchiglie che possono aprirsi e chiudersi e quando permanenti; hanno spesse parti preese) -

Il sistema di colata ha la funzione di convogliare il flusso di metallo fuso dal becco di colata verso il piano di divisione della forma, dove es. sono altre canalizzazioni -

La materassa è un serbatoio appiattito dimensionato e posizionato in modo

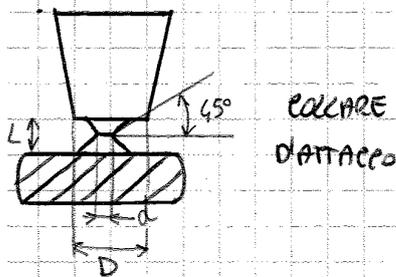


La segregazione è il fenomeno chimico-fisico per cui in una soluzione solida che si forma durante il processo di solidificazione di una soluzione liquida, la componente liquida che solidifica con temperatura di fusione più alta diventa solida per prima creando una soluzione solida avente composizione differente dalla soluzione liquida. Man mano che procede la solidificazione il processo conseguente di segregazione fa sì che il liquido che rimane si arricchisca del componente con più basse temperature di fusione, rifiutato nelle precedenti interfacce di solidificazione. Possiamo avere una microsegregazione (variazioni di composizione all'interno del piano cristallino) e una macrosegregazione (variazioni di composizione tra due zone differenti dello stesso materiale, ad esempio tra parte esterna e parte interna, detta cuore).

Quando il metallo fuso nella forma molto importante è la velocità di raffreddamento. Se tutto il contenitore si è raffreddato alla stessa velocità, tutti i grani cristallini sono cresciuti allo stesso modo e quindi abbiamo dei grani equiasciati (). Se il raffreddamento avviene a velocità diverse rispetto al materiale nel contenitore (e quindi le parti si solidificano prima rispetto al cuore) allora si ha una struttura colonnare all'interno del contenitore (). Un dendrite è una struttura ad albero caratteristica di cristalli formati nella solidificazione di metalli e leghe metalliche. Tale forma è legata alla rapida crescita del cristallo lungo direzioni cristallografiche

La materozza è il serbatoio di metallo che alimenta il getto, ha la funzione di compensare la variazione di volume dovuta al ritiro globale del getto in fase di solidificazione ed evita la formazione di cavità di ritiro all'interno del getto. La materozza può essere a cuello aperto (affiorano sulla parte superiore della forma e sono a contatto costante con fiam) oppure cieche (sono totalmente immerse nella forma, una punta in testa di fondere rallenta la solidificazione della zona, la cavità di ritiro deve essere con fiam) - Diversi possono essere le forme della materozza:

forma sferica (difficile da realizzare), forma cilindrica (meglio cilindro e quello retto, in cui $d=h$ perché si avvicina alla sfera), forma piramidale e a sezione rettangolare (hanno spigoli vivi, quindi si evitano), forma mista (cilindrico-sferica). Molto importante è anche il raggio di influenza della materozza che sarebbe la massima distanza fino alla quale la materozza può alimentare il getto - Il collare d'attacco rende più facile la rottura della materozza una volta solidificato il getto che più anche levigato per togliere i difetti di fusione.



Il modulo di raffreddamento è definito come il rapporto tra il volume del corpo e la superficie di scambio termico effettiva: $M = \frac{V}{S}$. A parità di volume una maggiore superficie di scambio termico accelera il raffreddamento; il getto con M più basso ha un tempo di solidificazione minore. Ricaviamo il modulo di raffreddamento di un cilindro di altezza h e diametro d :

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}; S = \frac{2\pi d^2}{4} + \pi dh \text{ quindi:}$$

$$M = \frac{V}{S} = \frac{\frac{\pi d^2 h}{4}}{\frac{\pi d^2}{2} + \pi dh} = \frac{dh}{4\left(\frac{d}{2} + h\right)}$$

$$M_{\text{cilindro}} = \frac{h}{6} \quad M_{\text{cubo}} = \frac{d}{6}$$

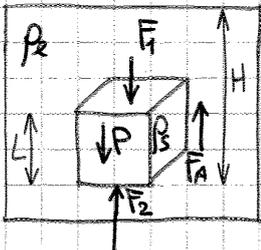
$$M_{\text{sfera}} = \frac{d}{6} \quad M_{\text{matteo}} = \text{vedere a fianco}$$

Continuità della portata: $\alpha = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$, dove $[\alpha] = \frac{m^3}{s}$ \leftrightarrow

Regime di flusso: $Re = \frac{v D \rho}{\eta}$ dove $D =$ diametro del canale di colata e η è la viscosità del fluido; $Re < 2000 \Rightarrow$ flusso laminare, $Re > 2000 \Rightarrow$ flusso turbolento -

Principio di Archimede: La spinta metallostatica è la risultante delle pressioni che il metallo allo stato liquido esercita sulle pareti della forma e sulle anime. Queste pressioni possono deformare le parti della forma con pericolo di formazione di buche e fuorivaste del metallo fuso.

$P = \rho g H$



$F_1 = \rho g (H-L) S$

$F_2 = \rho g H S$

$P = \rho_s g L S$

$F_A = F_2 - F_1$ (spinta di Archimede)

$F_M = F_2 - F_1 - P$ (spinta metallostatica)

$F_M = \rho g H S - \rho g (H-L) S - \rho_s g L S = \cancel{\rho g H S} - \cancel{\rho g H S} + \rho g L S - \rho_s g L S$

$F_A = F_2 - F_1 = \rho g H S - \rho g (H-L) S$

da cui ricaviamo $F = \rho \underbrace{L S}_{V_s} (\rho - \rho_s)$ ($L \cdot S =$ volume anima)

ESERCITAZIONE 2

(28/10/15)

ES 15 ANALISI PROCESSO FONDERIA

$m_p = 50 \text{ kg}$

$\rho = 7,2 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$H = 400 \text{ mm}$

$T = 15 \text{ s}$

$D = ??$

$S \cdot v = \frac{V_p}{T}$

$\frac{M}{T} = \dot{m} = \rho S v \rightarrow S = \frac{M}{T \rho v} = \frac{V}{T v}$

$v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,4} = 28 \text{ m/s} = 28 \frac{\text{dm}}{\text{s}}$

$\rho = \frac{m}{V} \rightsquigarrow V_p = \frac{m_p}{\rho} = \frac{50}{7,2} = 6,94 \text{ dm}^3$

$S = \frac{V_p}{T \cdot v} = \frac{6,94}{15 \cdot 28} = 0,0165 \text{ dm}^2$

$S = \frac{\pi D^2}{4} \rightsquigarrow \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = D = 0,145 \text{ dm} = 14,5 \text{ mm}$

ES 16 ANALISI PROCESSO FONDERIA

$\phi_i = 50 \text{ mm}$

$\phi_e = 100 \text{ mm}$

$L = 400 \text{ mm}$

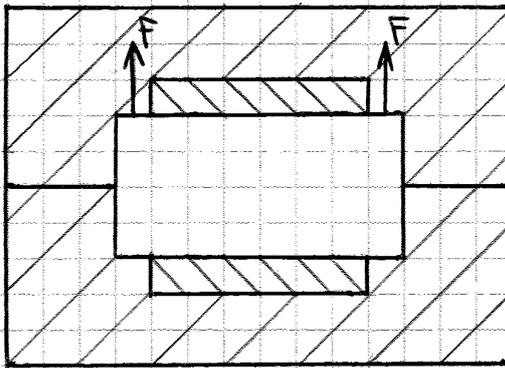
$h = 300 \text{ mm}$

$= ??$

$\rho_s = 2,8 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$\rho_e = 7,2 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$T = 10 \text{ s}$



$F = \rho L S (\rho_e - \rho_s) = \rho \cdot \frac{\pi \phi_i^2}{4} (\rho_e - \rho_s) = 9,81 \cdot 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} (7,2 - 2,8) \cdot 10^3 = 33,9 \text{ N}$

Volume immerso V_a

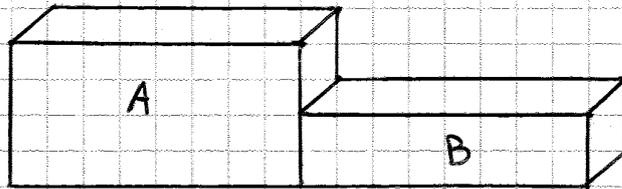
La spinta su ognuna delle due pareti d'anima \bar{a} : $F = \frac{F_e}{2} = 17 \text{ N}$

diámetro ϕ :

$$\frac{\frac{100 \cdot \phi}{4}}{\frac{\phi}{2} + 100} = 1,2 \cdot M_2 \rightarrow \frac{100 \cdot \phi}{4 \left(\frac{\phi}{2} + 100 \right)} = 1,2 \cdot M_2 \rightarrow$$

$$100 \cdot \phi = (1,2 \cdot M_2) \left(\frac{\phi}{2} + 100 \right) 4 \rightarrow \text{da cui si ricava un } \phi = 97 \text{ mm}$$

ES 18 DIMENSIONAMENTO
INTERPOLAZIONE



$$V_A = 6 \cdot 4 \cdot 2 = 48 \text{ mm}^3$$

$$S_A = 2 \cdot (6 \cdot 2) + 2 \cdot (4 \cdot 6) + 4 \cdot 2 + 4 \cdot 1 = 84 \text{ mm}^2$$

$$V_B = 6 \cdot 4 \cdot 1 = 24 \text{ mm}^3$$

$$S_B = 2 \cdot (6 \cdot 1) + 2 \cdot (6 \cdot 4) + 1 \cdot 4 + 0 = 64 \text{ mm}^2$$

$$M_A = \frac{V_A}{S_A} = \frac{48}{84} = 0,57 \text{ mm}$$

$$M_B = \frac{V_B}{S_B} = \frac{24}{64} = 0,375 \text{ mm}$$

Si come $M_A > 1,1 \cdot M_B$ possiamo dedurre che è possibile avere la
materiale in A, in quanto A sollecita per ultima.

superficiale buona / e SO_2 (la polimerizzazione del legante è ottenuta attraverso la "fornitura nell'impianto di acido solforico; precisione e finitura getto buone).

Processi a iniezione Termica:

- processo shell-molding: è un processo in colata sacrificabile in cui non agiscono forze meccaniche, vi è la possibilità di inserire molti dettagli, notevole permeabilità, precisione e finitura superficiale molto buona, adatto per la produzione in grande serie, si possono produrre pezzi di massimo 30kg.
- microfusione: colata a cera persa; il concetto è quello di realizzare uno stampo in negativo degli oggetti richiesti in cera, in cui versare il metallo fuso ed ottenere così una o più repliche del modello. Il modello viene attaccato, insieme ad altri modelli, sull'albero in cera; successivamente, il tutto, viene immerso in una miscela refrattaria (resina fenolica) e viene riscaldato ad una temperatura compresa tra i 150 e i 200 °C: in questo modo la cera viene espulsa dal modello. Vi è una seconda cottura a 800°C in grado di stabilizzare la miscela infine vi è la colata del getto e, una volta solidificato, vi è la "rottura" della miscela refrattaria. Le caratteristiche principali sono: colate con produzione tipo di lega, doppio ritiro del getto e della cera, ideale per pezzi fino a 5 kg, finitura superficiale buona, procedimento adatto per la piccola e la media serie.

La conchiglia è realizzata in lega metallica per essere utilizzata in un numero elevato di getti spinti; i vantaggi sono: automazione degli impianti di colata, produzione in grande serie, struttura installativa dei getti fine, precisione molto buona. Siccome la conchiglia non è porosa bisogna prendere conto di sfogo per la fuoriuscita dell'aria e dei gas; la temperatura della conchiglia va mantenuta costante per evitare bloccaggi del getto. Le leghe devono avere due caratteristiche principali: coesibilità / capacità di riempire zone della conchiglia con spessore

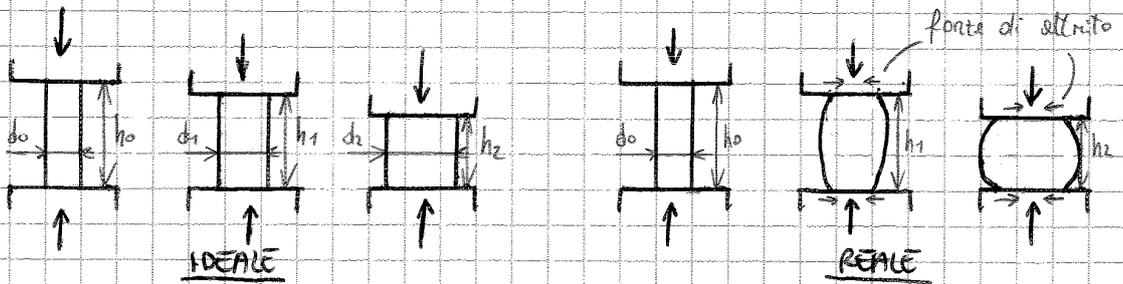
(C) I processi vengono classificati per:

Lavorazioni a caldo: il materiale subisce un riscaldamento prima della lavorazione a una temperatura inferiore alla temperatura di fusione ma superiore della temperatura di ricristallizzazione. I vantaggi sono: grandi deformazioni, forme complesse con macchine semplici; gli svantaggi sono: energia richiesta per il riscaldamento elevata, ossidazione dei materiali, precisione dimensionale non costante;

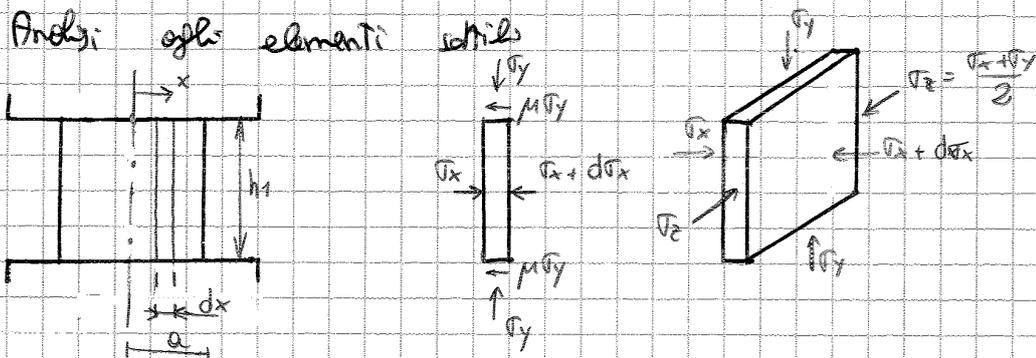
Lavorazioni a freddo: il materiale viene lavorato a temperatura ambiente. I vantaggi sono: miglior finitura superficiale, precisione dimensionale dei pezzi, agevole lubrificazione metallo-utensile; gli svantaggi sono: processo più complesso, stampi più costosi, realizzazione solo di pezzi assial-simmetrici di piccole dimensioni.

Lavorazioni a semi-caldo: sono lavorazioni poco diffuse ma hanno una buona precisione e finitura superficiale, accettano grandi deformazioni e possono essere realizzati solo pezzi assial-simmetrici.

Ricostruzione:



Analisi agli elementi solidi

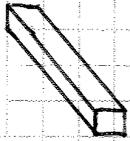


$(c=1)$

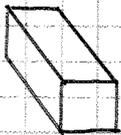
Prendendo un elemento di volume $dV = dx \cdot h \cdot c$ (dove solo dx è infinitesimo) abbiamo variazioni di tensioni solo lungo la direzione dell'elemento infinitesimo, quindi la direzione x .



SEBBI → fogli di lamiera, nastri di lamiera, tubo saldato

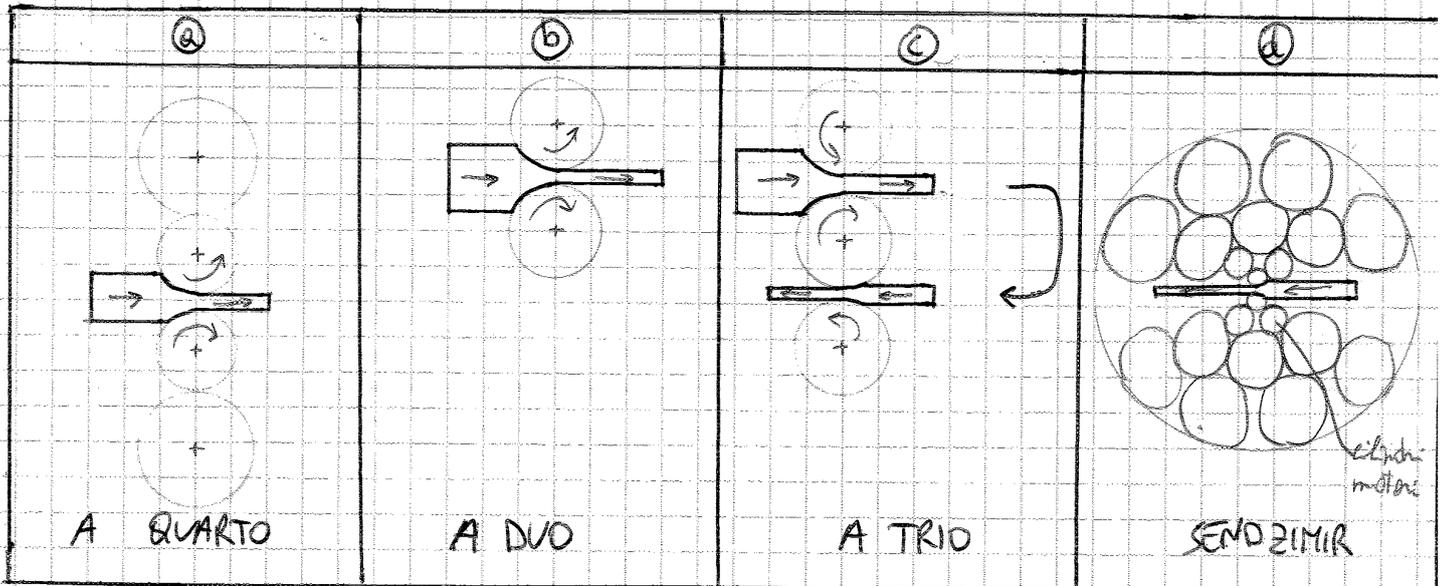


BUCETTE → sez. pirochata ($l > 50\text{mm}$)
 sez. rettangolare ($l < 50\text{mm}$) } → barre, vergelle ($d > 5\text{mm}$)
 fili, tubi senza saldatura



BUMI → rotari, profilati ad H

I sistemi con i quali si realizza il processo di laminazione sono denominati laminatoi o fabbriche di laminazione

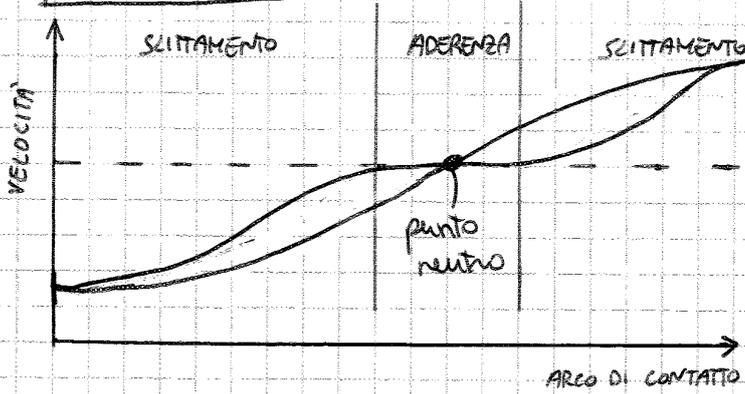


Nel sistema a punto vi è una coppia di cilindri di diametro maggiore ($d \approx 1\text{m}$), denominati cilindri di base o di spolla che fungono da supporto dei cilindri di lavoro ($d \approx 400-500\text{mm}$), più piccoli, ed ^{motorizzati} al fine di contrastare e ridurre l'inflessione (bending).

Per lubrificare i cilindri si utilizzano soluzioni acquose, che raffreddano anche i rulli; per le leghe non ferrose si utilizzano oli, mentre per le leghe ferrose non si usa la lubrificazione. Alla fine e all'inizio delle fabbriche di laminazione ci sono due grossi cilindri, quello supportatore e quello srotolatore che hanno il compito di tenere in tensione la lamina

materiale eguaglia quella del nullo e questo punto è chiamato

punto neutro.

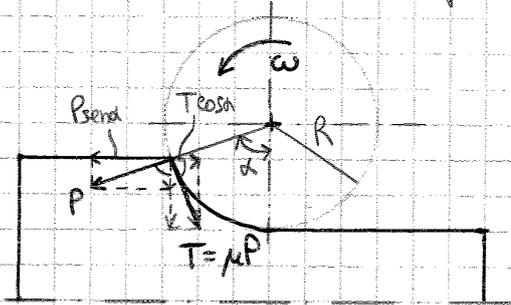


velocità nullo
velocità teorica del pezzo
velocità effettiva del pezzo

Si osserva che la zona di contatto può essere suddivisa in 3 zone distinte: una zona centrale dove vi è aderenza tra il materiale e i cilindri e la velocità periferica coincide con quella del materiale; e due zone di slittamento, in entrata e in uscita, nelle quali le forze di attrito sono dirette in vers. opposto. Si definisce preSSIONE il rapporto tra la velocità di uscita e la velocità del nullo (V_R) $P_R = \frac{V_i}{V_R}$

Molto importante è la condizione di imbocco e di trascinamento.

Il blomo o lo stelo, per poter essere affinato e trascinato occorre che siano rispettate alcune condizioni che dipendono anche dalle condizioni di attrito al contatto pezzo-cilindro.



R = raggio del cilindro;

α = angolo di imbocco;

P = forza radiale esercitata dal cilindro sul pezzo;

T = componente tangenziale dovuta all'attrito.

Perché il pezzo possa essere affinato dal cilindro e trascinato per attrito all'interno dei cilindri occorre che sia verificata la

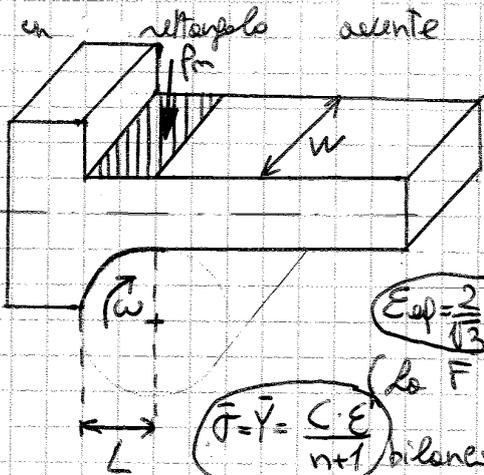
condizione di imbocco: $\mu P_{sens} \geq P_{sens} \rightarrow \mu \geq \tan \alpha$, condizione che

chiarisce come la scelta del raggio del cilindro (dal quale dipende al pezzo condizionare la possibilità di far imboccare e iniziare il trascinamento del pezzo tra i cilindri).

In seconda approssimazione si può tenere conto anche dell'effetto, attraverso la seguente formula approssimata che suppone un andamento lineare della pressione lungo l'arco di contatto: $P_m = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{Y} \left(1 + \frac{1}{2} \mu \frac{L}{h_m} \right)$, dove h_m è l'altezza media della lamiera lungo l'arco di contatto.

La forza che il materiale esercita sul cilindro (che tende a dilatarsi nulli) può essere fatto ipotizzando che non vi sia allungamento ($w = \text{cost}$) e non siano applicate tensioni alle estremità del nastro.

Inoltre ipotizziamo che la superficie su cui agisce la pressione media P_m sia un rettangolo acuto lati pari a w e L ; il punto di applicazione di applicazione della forza è $\frac{1}{2}L$.



$F = P_m \cdot L \cdot w$

$C = 2 \cdot \frac{F \cdot \frac{1}{2}L}{2} = F \cdot L = P_m \cdot L^2 \cdot w$

$E_{eq} = \frac{2}{\sqrt{3}} E_1$

$P = C \cdot w$

$m = \rho h_p w v_f$

$(L \approx \sqrt{R \Delta \alpha} \Rightarrow L^2 = R \Delta \alpha)$

$\bar{\sigma} = \bar{Y} = \frac{C \cdot E}{n+1}$

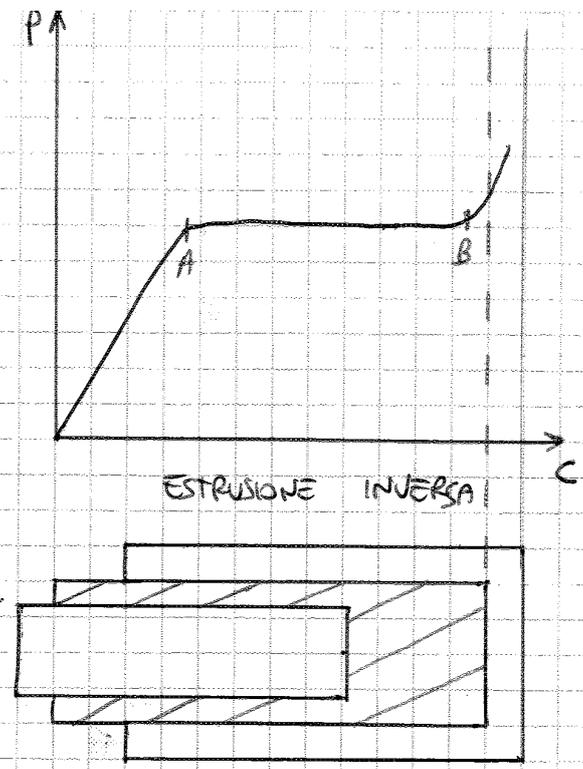
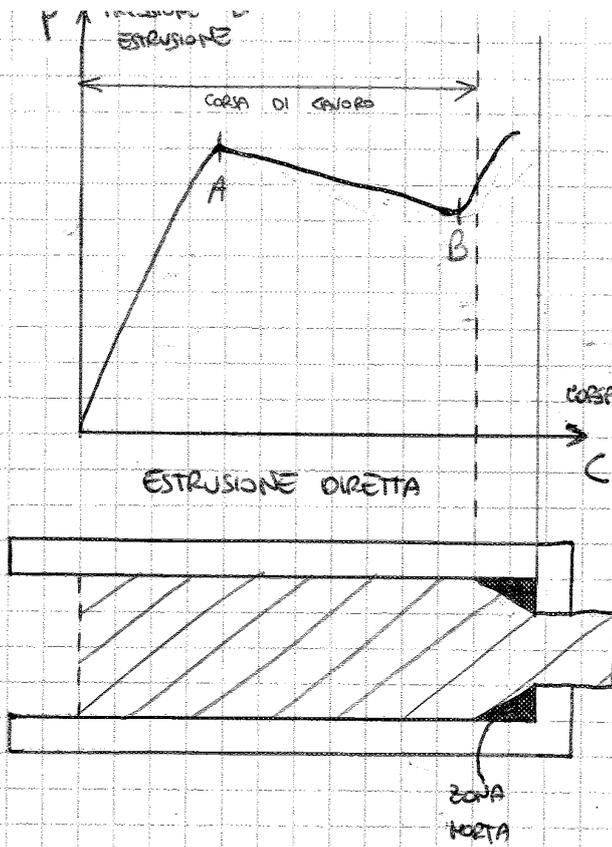
(La F è la forza di separazione dai rulli, che è bilanciata dai supporti e genera un momento flettente)

$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} Y \rightarrow P_1 = -P_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} Y \cdot T_1 \quad (T_1 = T_{ino})$

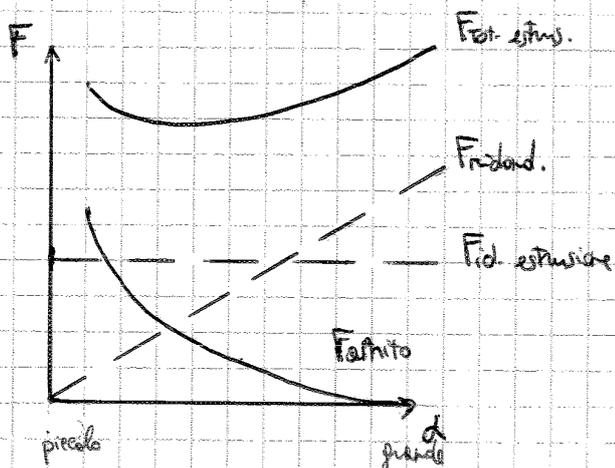
ESTRUSIONE

L'estrusione è un processo di lavorazione per deformazione plastica tra i più diffusi per i numerosi vantaggi che esso comporta. Il metallo viene scaldato ad una temperatura al di sotto del punto di fusione, in cui ha un comportamento plastico, viene ricevuto in un apposito contenitore cilindrico e viene sottoposto ad una pressione elevata e costretto a fluire attraverso una matrice assumendo la forma richiesta. Si tratta di un processo continuo in cui vengono prodotti bene aventi forme diverse: cilindriche, piastre o tubolari, variamente spesse ecc. Il processo di estrusione può avvenire in due modalità: estrusione diretta e estrusione inversa.

Nell'estrusione diretta la billetta viene estrusa direttamente facendo fluire il materiale attraverso la matrice nella stessa direzione di applicazione del carico, come avviene ad esempio nell'estrusione di barre e di profilati o di tubi. Nel caso invece di estrusione inversa

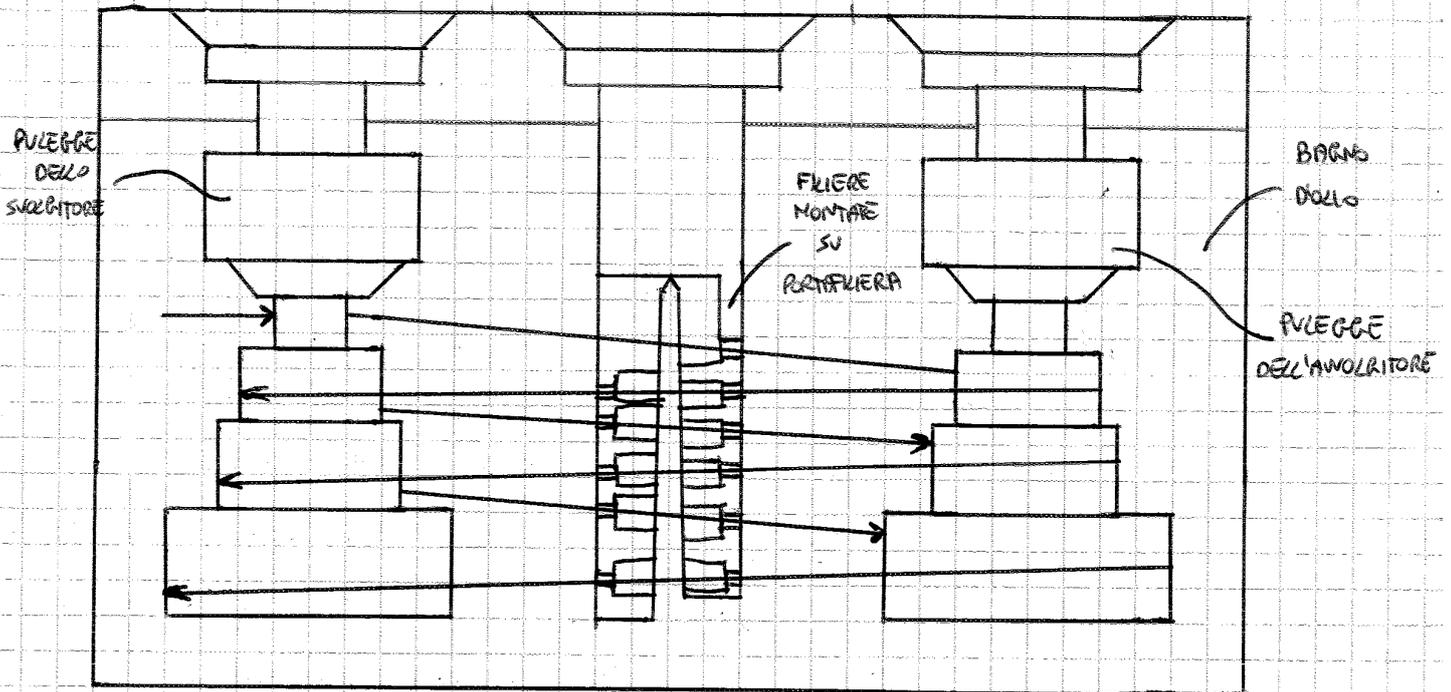


La pendenza del segmento compreso fra i due punti A e B dipende dalla velocità dello spintore: e una velocità dello spintore più elevata corrisponde una maggiore velocità di deformazione. Se l'angolo α è piccolo corrisponde una elevata forza di attrito e una piccola forza ridondante; man mano che cresce α abbiamo un aumento della forza ridondante e una diminuzione della forza di attrito.



progressivamente riduzioni di diametro passando attraverso i diversi banchi di trafilatura.

SCHEMA DI CAURAZIONE DI UNA TRAFILATA



Il processo di trafilatura si svolge in diverse fasi a partire dalla preparazione del grezzo:

- decapaggio chimico o meccanico per l'eliminazione degli ossidi eventualmente presenti sulla superficie della vergella;
- lubrificazione della vergella come nel processo di estrusione;
- essiccazione, dopo il decapaggio chimico, a temperatura $> 100^{\circ}\text{C}$;
- ricottura nel caso di trafilatura con diverse riduzioni di diametro;
- eventualmente patentamento per ridurre l'inacidimento e per aumentare la trafilabilità: temperare il filo fino a 500°C in un bagno di sali fusi e mantenerlo a tale temperatura fino alla completa trasformazione dell'austenite;
- affilatura per permettere alla vergella di entrare nel foro della filiera ed essere affinata dalla pinza di trascinamento.

Nella trafilatura i fenomeni di intaccamento nella definizione del filo F sono di diversa natura: riduzione della sezione, distorsione per effetto della elasticità della matrice, strito delle superfici a contatto. Un ulteriore vincolo che si applica solo alla trafilatura è il requisito che la forza di

ESERCITAZIONE 3

(11/11/15)

ES25 LAMINAZIONE A FREDDO DI UNA LAMIERA

$\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_0 = 6 \text{ mm}$

$w = 1600 \text{ mm}$

$h_f = 3 \text{ mm}$

$C = ?!$

$F = ?!$

$n = ?!$

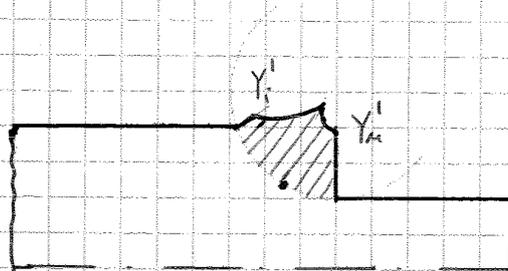
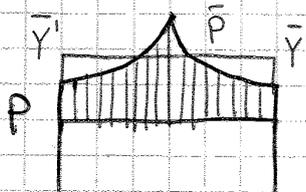
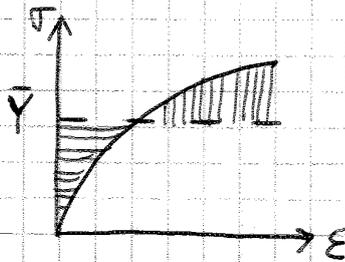
$D = 400 \text{ mm}$

$v_A = 120 \text{ m/min}$

$\mu = 0,08$

$R = 1,1$

$\sigma = C \cdot \epsilon^n$



rapporto di riduzione : $\rho = \frac{h_e}{h_0} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} = 0,5$

La deformazione principale massima vale

$\epsilon_1 = \ln \frac{l_e}{l_0} = \ln \frac{A_0}{A_f} = \ln \frac{h_0 \cdot w}{h_f \cdot w} = \ln \frac{h_0}{h_f} = \ln \frac{6}{3} = 0,69$

$\epsilon_{eq} = \frac{2}{\sqrt{3}} \epsilon_1 = 0,80$; a tale valore di deformazione corrisponde una

tensione di plasticità media ricavabile dalla curva caratteristica del

materiale : $\bar{\sigma} = \frac{C \cdot \epsilon_{eq}^n}{n+1} = \frac{160 \cdot 0,8^{0,16}}{0,16+1} = 133 \text{ MPa}$

La lunghezza dell'arco di contatto tra rullo e materiale è:

$L_0 = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{200 \cdot 3} = 24,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

(assumendo $\mu = 0,08$)

Faremo riferimento ad una riduzione massima del 50%.

$$\max E_{1,pass} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_0}{h_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_0}{\frac{1}{2} h_0} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln 2 = 0,8$$

Dividendo E_{ep} per $\max E_{1,pass}$ e arrotondando al primo intero superiore si ottiene tre pesate con una soluzione per pesata di

$$p_{1,pass} = \sqrt[3]{\frac{0,5}{2,5}} = 0,58 \text{ e una deformazione equivalente}$$

$${}^1_{pass} E_{ep} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{1}{p} \right) = 0,62$$

ES 28 x TRAFILATURA
TUBO

$$D_0 = 80 \text{ mm}$$

$$s = 3 \text{ mm}$$

$$s_f = 2 \text{ mm}$$

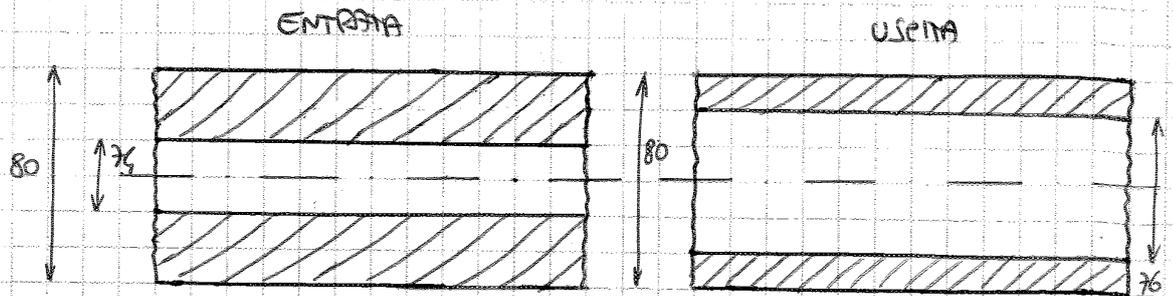
$$v_i = 10 \text{ m/min}$$

$$C = 500 \text{ MPa}$$

$$h = 0,3$$

$$F = ??$$

$$P = ??$$



Sezione in entrata:

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_0^2) = 725 \text{ mm}^2$$

Sezione in uscita:

$$A_n = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - d_n^2) = 490 \text{ mm}^2$$

$$\epsilon_F = \ln \frac{A_0}{A_n} = \ln \frac{725}{490} = 0,39$$

$$\bar{\gamma} = \frac{C \cdot \epsilon_F^h}{n+1} = 290 \text{ MPa}$$

La forza di trafilatura sarà quindi:

$$F = \bar{\gamma} \cdot \epsilon_F \cdot A_n = 290 \cdot 0,39 \cdot 490 = 55,4 \text{ kN}$$

$$v_n = \frac{A_0}{A_n} \cdot v_0 = 1,48 \cdot 0,1667 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$P = F \cdot v_n = 55,4 \cdot 0,25 = 13,8 \text{ kW}$$

Per forgiatura si intende un processo diretto di deformazione plastica in cui si applica una forza graduale (alla pressa) o impulsiva (al martello). Si modifica la forma di una sezione di barra o di bilame.

I processi classici sono l'incanatura, stampaggio/estrusione e la ricolatura ed elettroincanatura.

Per incanatura si intende la formatura di un pezzo, a caldo, in uno stampo aperto, ossia uno stampo piano o a forma semplice, privo di parti laterali. Il pezzo può così deformarsi liberamente nelle direzioni perpendicolari al moto dello stampo.

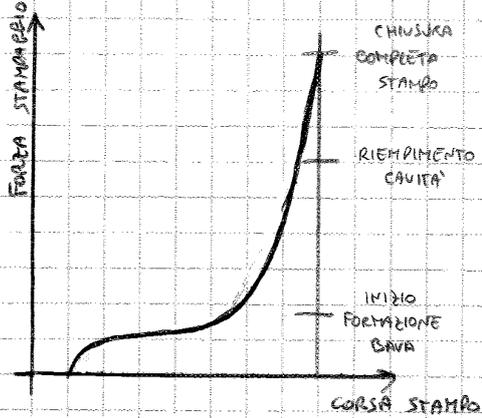
Per stampaggio si intende un processo diretto di deformazione plastica, in cui il materiale si distribuisce secondo determinate direzioni ed assume la forma imposta dallo stampo; lo stampaggio può avvenire mediante più colpi dinamicamente al martello o staticamente alla pressa.

I vantaggi della forgiatura sono: minor peso, forma quasi definitiva, minor spreco metallo, elevata produttività, basso consumo utensili, bassi costi di produzione, massima resistenza meccanica (si chiudono le cavità interne e la metallizzazione crea grani più piccoli).

Le operazioni di incanatura sono:

- ricolatura: consiste nel comprimere il pezzo lungo il proprio asse, aumentando la sezione in pianta (riduzione altezza e aumento lunghezza); il processo di ricolatura è molto utile per creare una testa e un gambo, partendo da una sezione circolare (viti).
- piegatura: consiste nel piegare l'asse del materiale.
- stiratura: consiste nel comprimere il pezzo in direzione opposta all'asse, aumentando la lunghezza.
- foratura: schiacciamo il materiale su una lasta avente un foro; così il materiale per deformazione plastica viene convogliato nel foro.

delle piegature del materiale in se stesso - la resistenza alla deformazione e a caldo dei materiali per stampaggio è fortemente sensibile alla velocità di deformazione, secondo la relazione: $\sigma = C \cdot \dot{\epsilon}^m$



La forza da applicare risulta essere per $F = K_p Y_e A$, dove K_p dipende dalla complessità dello stampo, A è l'area in pianta del pezzo e Y_e è la tensione di plasticizzazione a caldo.

RICALZATURA: $\bar{F}_R = p_m \cdot A_f$

dove $p_m \approx Y \left(1 + \frac{2\mu R_f}{3h_f}\right)$ $Y = C \cdot \dot{\epsilon}^m$

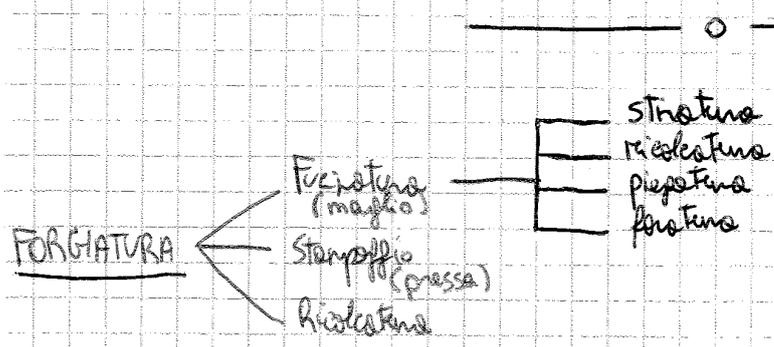
$$\begin{aligned} F_R &= K_F \cdot Y \cdot A_f \\ L_R &= K_L \cdot \bar{Y} \cdot \epsilon \cdot V \end{aligned}$$

$$L_{id} = \int_{\epsilon_i}^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon \rightarrow L_{id} = \left[\int_{\epsilon_i}^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon \right] \cdot V = \left[\int_{\epsilon_i}^{\epsilon_f} C \cdot \dot{\epsilon}^m d\epsilon \right] V$$

quindi $L_{id} = \frac{C \cdot (\epsilon_f - \epsilon_i)^{m+1}}{m+1} \cdot V_f$

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

Rapporto di riscalzi: $f = \frac{b_i}{D_i} \leq 2,6$



ES 37 x ESTRUSIONE INVERSA

$\eta = 0,7$

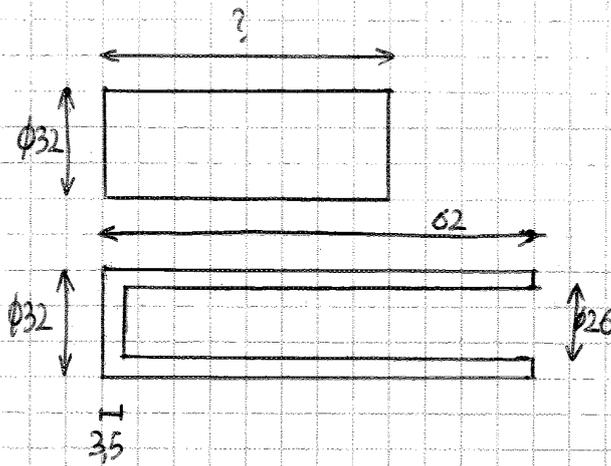
perdite: 1%

$F_{TR} = ?$

$F = ?$

$L = ?$

$R_m = 720 \text{ MPa}$



$$V = \frac{\pi}{4} \cdot 32^2 \cdot 3,5 + \frac{\pi}{4} \cdot (32^2 - 26^2) \cdot 58,5 = 18786 \text{ mm}^3$$

$V_{eff} = V \cdot 1,01 = 18984 \text{ mm}^3$

$V_0 = V_{eff} \Rightarrow A_0 \cdot h_0 = V_{eff} \Rightarrow h_0 = \frac{V_{eff}}{A_0} = \frac{V_{eff}}{\frac{\pi}{4} \cdot 32^2} = 23,6 \text{ mm}$

$F_{TR} = A_{eq} \cdot \sigma_s$

$\sigma_{max} = \frac{R_m}{2}$ (senza effetto)

$\sigma_s = (0,75 \div 0,8) \cdot R_m$ (con effetto)

$F_{TR} = 0,8 \cdot 720 \cdot 804 = 463 \text{ kN} \approx 46,3 \text{ t}$

$\epsilon_{sp} = \epsilon_1 = \ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right) = \ln\left(\frac{\phi_0^2 - \phi_1^2}{\phi_0^2}\right) = \ln\left(\frac{32^2 - 26^2}{32^2}\right) = -1,09 \rightarrow 1,09$

$\bar{Y} = \bar{\sigma}_{eq} \approx \frac{\sigma(\epsilon) + \sigma_0}{2}$ dove $\sigma_0 = 200 \text{ MPa}$, $\sigma_{perfor} = 450 \text{ MPa}$ e $\sigma(\epsilon) = 700 \text{ MPa}$

$F = \frac{\bar{Y} \cdot \epsilon_1 \cdot A_p}{\eta}$, dove A_p è la sup. in pianta del punzone, avente $\phi = 26 \text{ mm}$

perfor: $F = 360 \text{ kN} \approx 36,8 \text{ t}$

$L = F \cdot \text{corsa} = F \cdot (h_0 - 3,5) = F \cdot 20,1 = F \cdot \frac{20,1}{1000} = 7,4 \text{ kJ}$

ES 33 RIVALENTURA DI UN PERNO A TESTA CILINDRICA

$D_0 = 20 \text{ mm}$

$F = ??$

$L = ??$

$\sigma_0 = 365 \text{ MPa}$

$\sigma_T = 641 \text{ MPa}$

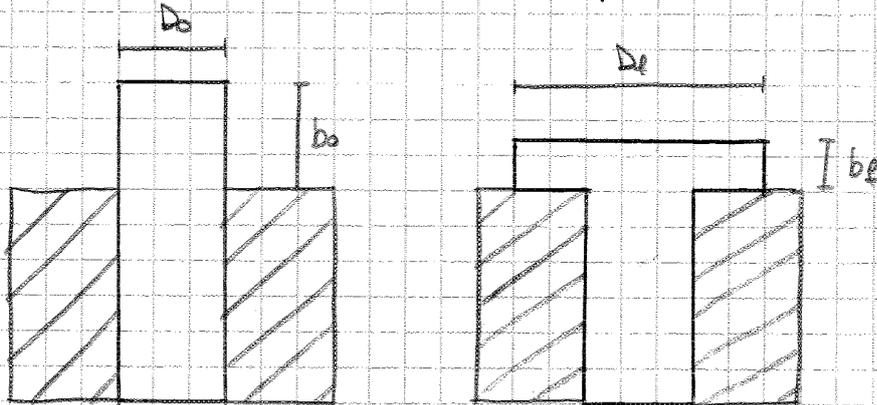
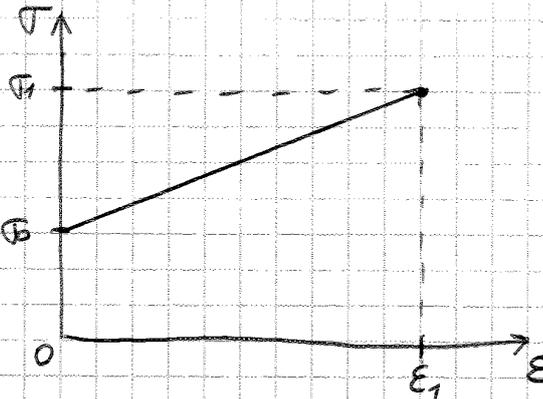
$A = 28\%$

$b_0 = 30 \text{ mm}$

$b_f = 10 \text{ mm}$

$\mu = 0,1$

$\eta = 0,7$



$V_0 = V_f \Rightarrow \underbrace{\pi \cdot R_0^2 \cdot b_0}_{V_0} = \pi R_f^2 \cdot b_f \quad V_0 = \pi \cdot R_0^2 \cdot b_0 = 9425 \text{ mm}^3$

da cui possiamo ricavare $R_f^2 = \frac{V_0}{\pi b_f} \rightarrow R_f = \sqrt{\frac{V_0}{\pi b_f}} = 17,3 \text{ mm}$

Viste le dimensioni del perno risulta possibile la eventuale deformazione laterale dello stesso, per cui risulta necessaria la verifica del rapporto di snellimento.

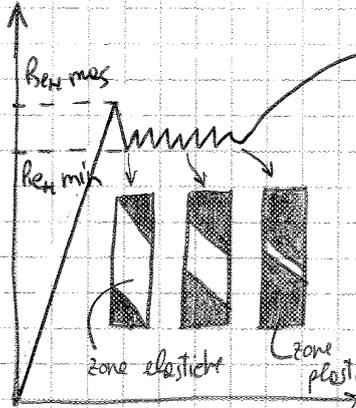
$f < 2,6 \rightarrow f = \frac{b_0}{D_0} = \frac{30}{20} = 1,5 < 2,6 \Rightarrow \text{OK}$

$\epsilon_f = \epsilon_3 = \ln \frac{b_f}{b_0} = \ln \frac{10}{30} = -1,1 = 1,1$

$\sigma_f = \sigma_{eq} = \frac{(\sigma_T - \sigma_0)}{\ln(1+A)} \cdot \epsilon_f + \sigma_0 = \frac{(641 - 365)}{0,25} \cdot 1,1 + 365 = 1580 \text{ MPa}$

$\sigma_m = \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu R_f}{b_f}\right) \sigma_f = \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{0,1 \cdot 17,3}{10}\right) \cdot 1580 = 1762 \text{ MPa}$

Man mano che si allunga, la lamina presenta, in superficie, zone elastiche e zone plastiche (bande di Lendels). Alla fine dello snervamento, ci sarà solo la zona plastica - le bande di Lendels non hanno nessun effetto sulla



resistenza meccanica, ma sono solo un difetto estetico - Per non far formare le bande in superficie si fa una laminazione a pelle (schiercio la lamina in superficie) - la condizione di instabilità si ha quando

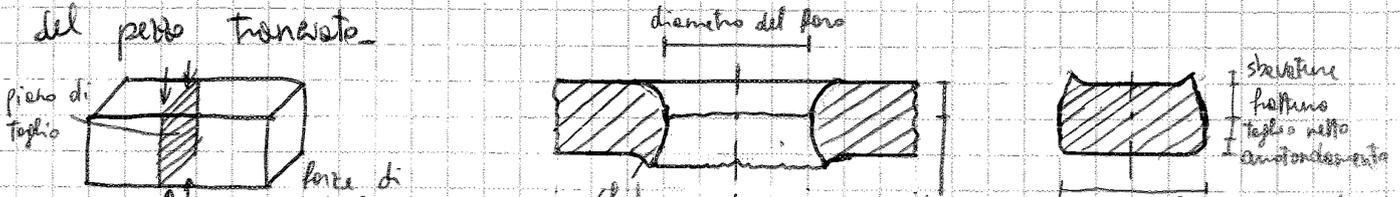
$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma \quad \sigma = C \cdot \varepsilon^n; \quad \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma = C \cdot \varepsilon^n \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = n \cdot C \cdot \varepsilon^{n-1} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \rightarrow n = \varepsilon \quad (\text{con } n = 0,45-0,5)$$

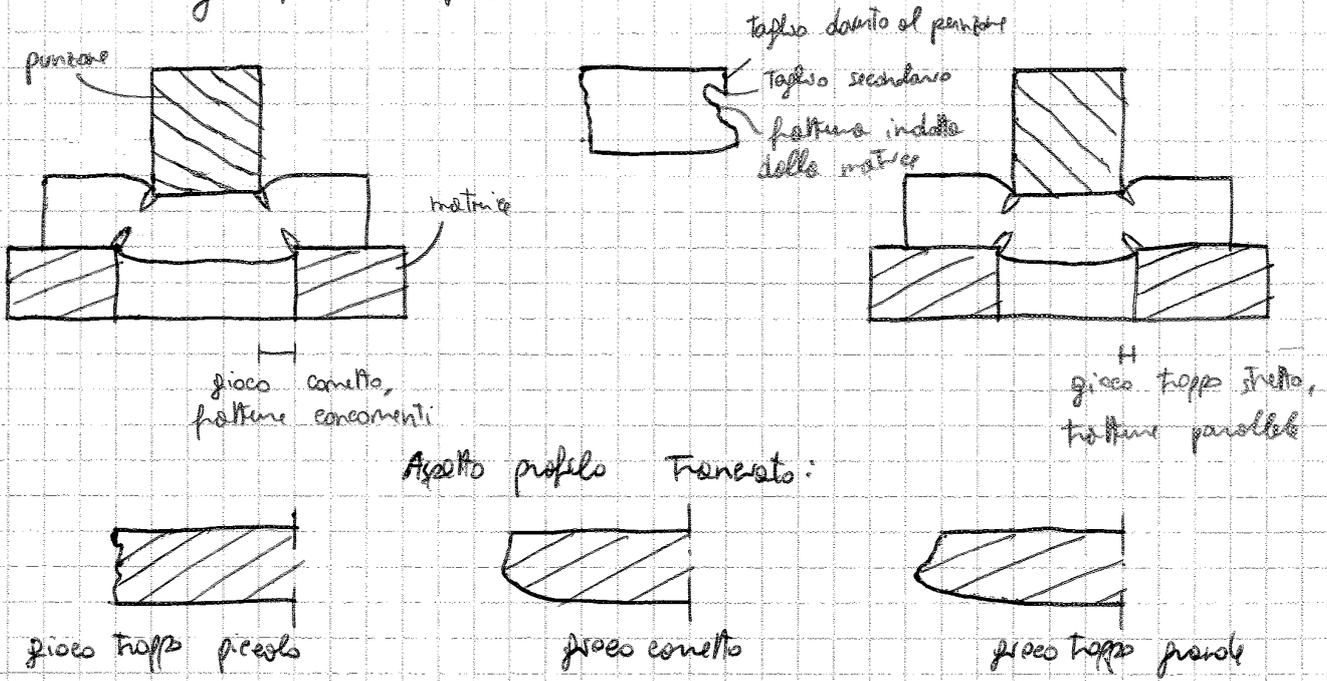
La lamina presenta asintopia, tensioni residue, ritorno elastico, guirte, dimensioni dei fori diverse.

La trancatura permette di intagliare figure geometriche su un foglio di lamina; questa operazione può distinguersi in due tipologie: trancatura di foglio aperti (taglio rettilineo di lamina e barre) e trancatura di profili chiusi (taglio di profili chiusi con geometria anche molto complessa).

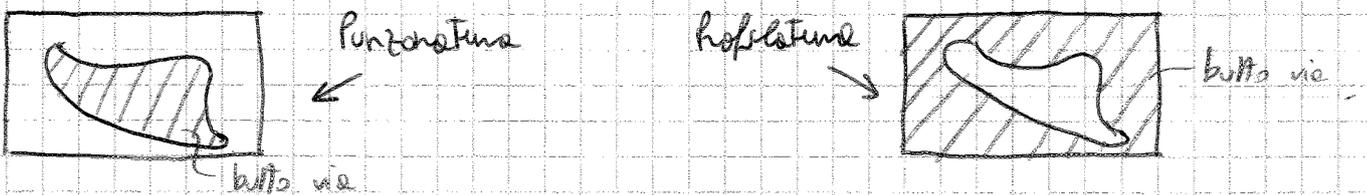
Lo svolgimento del processo avviene attraverso tre fasi principali: una prima fase nella quale il punzone penetra nella lamina provocando la deformazione delle fibre e forzandola a penetrare nello spazio tra il punzone e la matrice. Durante questa fase i bordi della lamina tendono ad ammantarsi; una seconda fase in cui si instaura uno stato di sollecitazione tale da superare il carico di rottura R_m del materiale costituente la lamina e si manifestano i primi segni di rottura della lamina ai bordi del punzone e della matrice; una terza fase in cui le fratture si propagano all'interno della lamina secondo superficie inclinate fino al distacco totale del pezzo trancato.



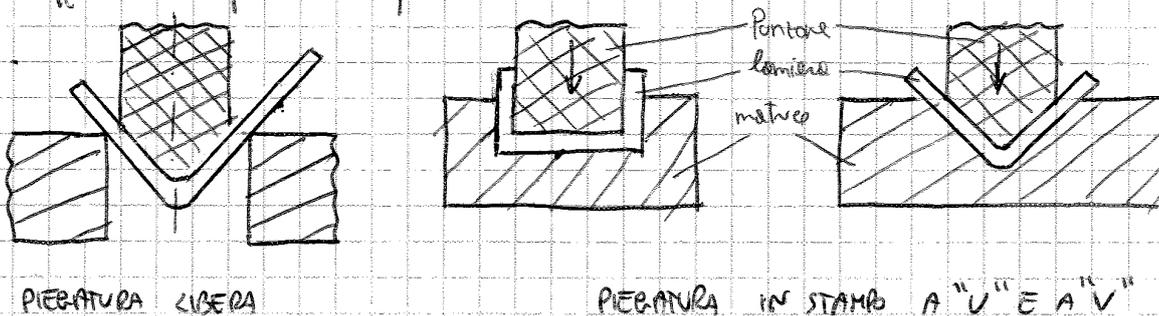
empinta per il valore del gioco di lamiera con spessore inferiore a 3 mm è $g = 0,007 \cdot S \cdot \sqrt{\epsilon_s}$



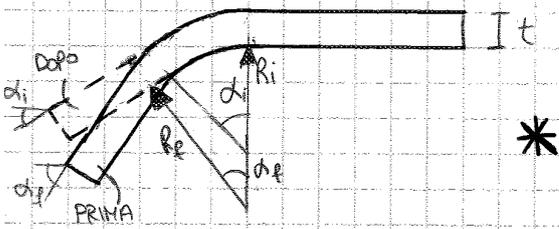
possiamo dividere i processi di Troncatura in punzonatura e profilatura: nel primo caso si scarta la parte centrale, mentre nel secondo caso si scarta la parte esterna.



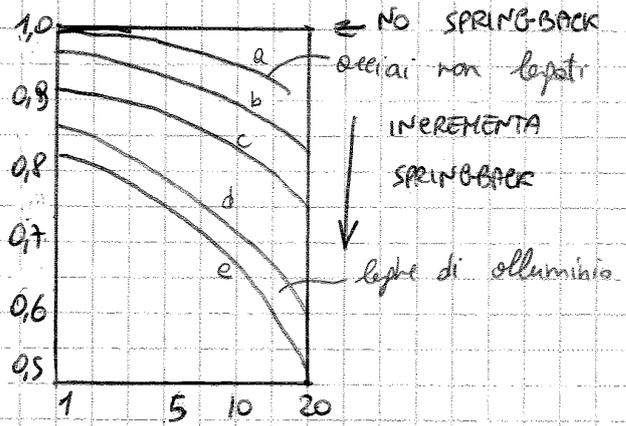
La piegatura è un processo di lavorazione per deformazione plastica delle lamiere mediante la quale si ottengono particolari piegate da sviluppi piani. La lavorazione di piegatura si suddivide in tre classi di operazioni: piegatura libera, piegatura a U o a V (in appositi stampi) e profilatura a rulli.



Un altro aspetto da tenere in considerazione è il rispetto del raggio minimo di curvatura. Il raggio di curvatura della lamiera deve essere maggiore del minimo raggio di curvatura ammissibile per quel tipo di deformazione, pena la frattura della fibra più esterna della lamiera. Il minimo raggio ammissibile è dato dalla relazione: $R_{min} = s \cdot c$, dove s è lo spessore della lamiera e c è un coefficiente che dipende dal materiale.



$$K_s = \frac{de}{di} = \frac{(2R_i/t) + 1}{(2R_e/t) + 1} \quad (\text{fattore di springback} = K_s)$$



Però la lunghezza rimane costante $L_b = \alpha_i (R_i + Kt) = \alpha_f (R_f + Kt)$

Il calcolo della forza e del lavoro di piegatura, tiene conto delle modalità operative del processo. Nel caso più generale, il calcolo dello sforzo di piegatura può essere effettuato considerando la lamiera come una trave semplicemente appoggiata ai due estremi, distanti L , e soggetta al carico F . Se s è lo spessore della lamiera e b la sua larghezza, la tensione massima sullo spessore della lamiera è pari a

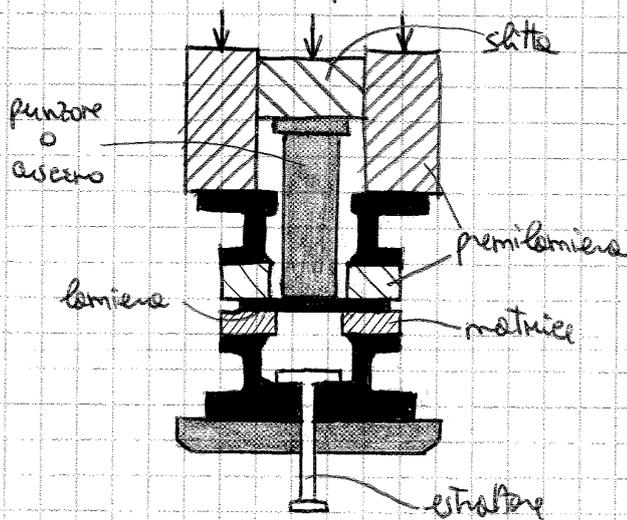
$$\sigma_f = \frac{FL}{4W}, \quad \text{dove il modulo resistente vale } W = \frac{bs^2}{6}$$

quindi il carico F necessario per deformare la lamiera risulta essere $F = \frac{bs^2 \sigma_f}{1,5L}$. Il valore della massima tensione ammissibile a

flessione può essere assunto pari a $\sigma_f = 2Y$, quando $L = 6 \div 12s$ e $R = s$. Le lavorazioni di piegatura esistono nell'obbiettivo un nastro o una lamiera a passare attraverso una serie di coppie di rulli opportunamente separate, in modo da realizzare la piegatura progressiva del nastro o della lamiera.

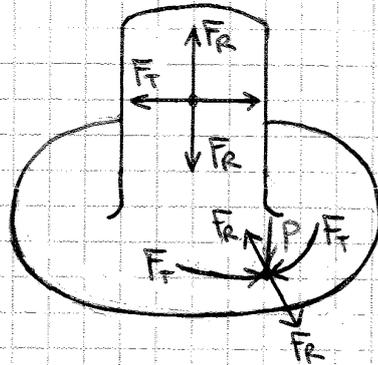
La differenziazione avviene ad opera di un punzone che costringe la lamiera, premuta contro lo stampo da un premilamiera, ad assumere la forma della cavità ricavata nella matrice. Il processo si può dividere in quattro fasi principali:

- lo stampo è completamente aperto e la slitta deve compiere una distanza (corsa) per chiudere lo stampo stesso;
- avviamento del cuneo e del premilamiera a velocità rapida fino ad una posizione molto prossima alla lamiera;
- imbutitura lenta e compressione del cuneo con mantenimento della pressione per assistere la lamiera deformata;
- ritorno rapido della slitta ed azione dell'estattore che agisce da sotto la tavola porta pezzo.



La lamiera che deve essere lavorata è chiamata blank ed è una lamiera con forma circolare; il punzone non deve avere gli spigoli vivi ma deve avere spigoli raccordati, così come la matrice. Mentre il punzone agisce sul blank, la superficie del blank a contatto con il punzone scende e, invece, la superficie del blank a contatto tra la matrice e il premilamiera scende verso l'interno, fino a quando non è a contatto con il punzone e quando il processo è finito. La differenza tra imbutitura e stampaggio è anche che, nel primo caso, la lamiera può scendere, mentre nel secondo

forza di compressione esercitata dal punzone e da una forza radiale²³ esercitata dal mantello cilindrico che risulta tanto più elevata quanto più basso è l'attito nella zona di contatto (punzone - lamiera)

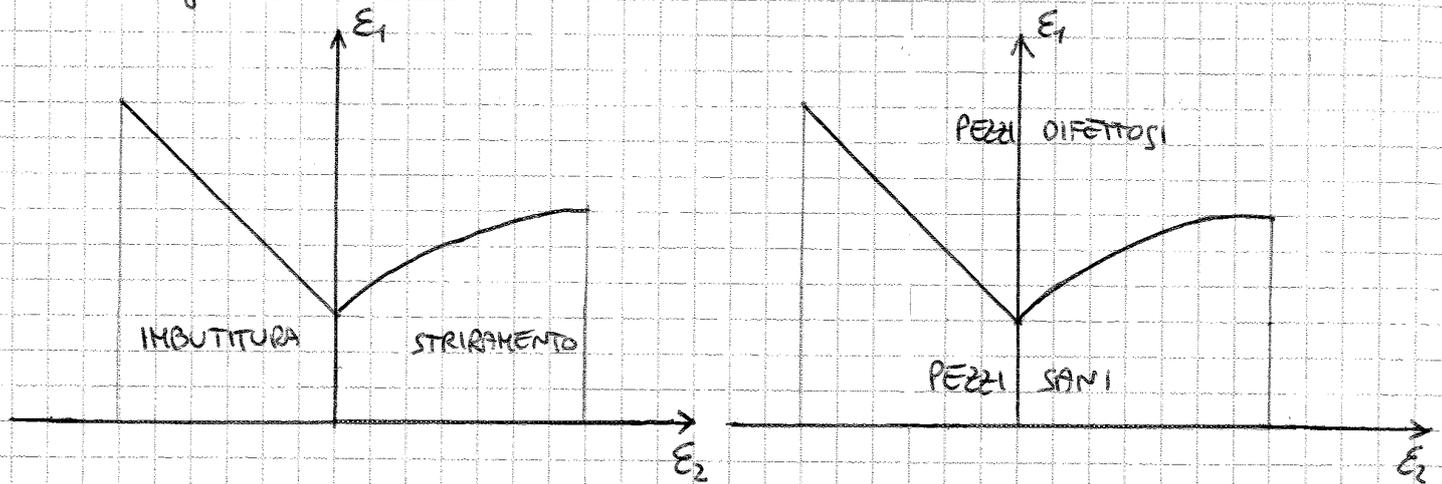


Questo complesso stato di sollecitazione può provocare variazioni di spessore del pezzo imbutito: diminuzione dello spessore sul fondello dell'imbutito a causa delle tensioni di trazione; riduzione di spessore nel tratto di raccordo tra il corpo cilindrico ed il fondello, potendo arrivare alla rottura del materiale; diminuzione dello spessore di spessore del raccordo inferiore fino a quello superiore con la flangia per effetto della forza circonferenziale F_r .

A causa delle variazioni di spessore esaminati il gioco tra il punzone e la matrice deve risultare maggiore dello spessore della lamiera se si vuole evitare la trafilatura del materiale che è già imbutito. Il valore del gioco risulta dalla relazione: $g = s + C \cdot \sqrt{s}$, dove C è una costante ($C = 0,22$ lamiera in acciaio, $C = 0,06$ lamiera in alluminio; $C = 0,12$ lamiera in altri metalli non ferrosi).

Lo spazio di imbutitura, la pressione sul perimetro e il numero delle fasi di lavorazione sono legati alla geometria del pezzo. Il rapporto minimo di imbutitura $R_i = \frac{d_p}{D}$ (d_p = diametro punzone, D = diametro iniziale del disco di lamiera da imbutire). Il rapporto effettivo di imbutitura può essere maggiore o uguale a R_i , mai inferiore. Il reciproco, $\rho = \frac{1}{R_i}$ è denominato rapporto massimo di imbutitura e l'effettivo valore di questo rapporto non può mai superare il massimo valore ammissibile nel

La curva di deformabilità misura per ogni condizione la deformazione ϵ_1 maggiore e la deformazione minore ϵ_2 . I punti vengono riportati sul piano e servono per definire il luogo dei punti rappresentativo delle condizioni di formabilità del materiale al variare dello stato formativo. Si ha un pericolo di rottura duttile quando la deformazione minore è nulla; la deformazione di trazione è più elevata se accompagnata da deformazioni minori negative.



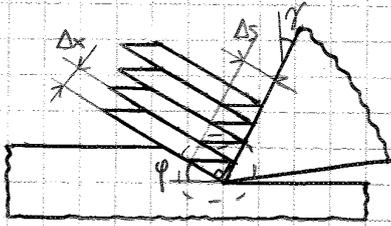
ϵ_1 = deformazione massima (> 0)

ϵ_2 = deformazione minima (≥ 0)

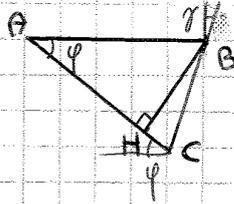
FORMATURA DI LAMIERE

- imbottitura
- tranciatura
- piegatura
- profilatura a rulli
- stampaggio di lamiera

Il modello di Kijssanen afferma che nella formazione del tunnel si ha un scorrimento degli elementi del materiale, secondo la direzione individuata dal piano di scorrimento.



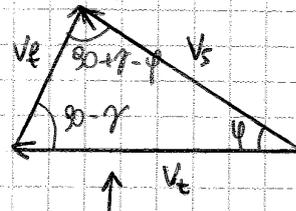
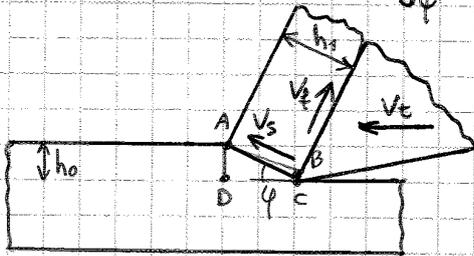
scorrimento: $\gamma_s = \frac{\Delta s}{\Delta x} = \frac{AC}{BH} = \frac{AH+HC}{BH} = \frac{BA \cdot \cot \phi + BA \cdot \tan(\phi - \gamma)}{BH}$



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

AC = piano di scorrimento

minimizzando γ_s : $\frac{d\gamma_s}{d\phi} = 0 \Rightarrow 2\phi - \gamma = \frac{\pi}{2}$ se $\gamma = 0 \rightarrow \phi = \frac{\pi}{4}$ (non vero perché non considero altro)



$\vec{v}_s = \vec{v}_t + \vec{v}_f$

velocità di deformazione: $\dot{\gamma}_s$

$\dot{\gamma}_s = \frac{d\gamma_s}{dt} = \frac{\dot{v}_s}{\Delta x} \left(\gamma_s = \frac{\Delta s}{\Delta x} \right)$

Triangolo delle velocità.

$v_t \cdot h_0 = v_f \cdot h_1 \rightarrow \frac{v_f}{v_t} = \frac{h_0}{h_1} (= r_c)$

v_s = velocità di scorrimento, velocità relativa tunnel-petto;

v_t = velocità di taglio, velocità relativa stenile-petto;

v_f = velocità di flusso, velocità relativa tunnel-stenile;

fattore di mescolamento: $r_c = \frac{AD}{AB} = \frac{h_0}{h_1} < 1$, prendo $r_c = \frac{1}{\epsilon}$ abbiamo

che $\tan \phi = \frac{\cos \gamma}{\epsilon - \sin \gamma}$ - Dal Triangolo delle velocità abbiamo che

$v_f \cdot h_1 = v_t \cdot h_0 \rightarrow v_f = v_t \cdot \frac{h_0}{h_1} = v_t \cdot r_c \Rightarrow v_f = v_t \cdot r_c$ e quindi abbiamo:

$v_s \cdot \sin \phi = v_f \cdot \sin(90 - \gamma) \rightarrow v_s \cdot \sin \phi = v_f \cdot \cos \gamma \rightarrow v_s \cdot \sin \phi = v_t \cdot r_c \cdot \cos \gamma$

da cui $v_s = \frac{v_t \cdot r_c \cdot \cos \gamma}{\sin \phi}$

Per analizzare le forze reattive F_a stenile e petto in lavorazione si considera che la risultante R agente sull' stenile sia applicata a metà tra la base di contatto con il tunnel; questa stessa risultante agisce sul petto (stese nella direzione) e la consideriamo applicata a metà del piano di scorrimento. Possiamo misurare la F_n e la F_t e possiamo ricavare la R .

si riesce a trovare il valore dell'angolo φ :

relazione di Ernst e Merchant

$$\frac{d\gamma_s}{d\varphi} = 0 \quad \cos(2\varphi + \beta - \gamma) = 0 \quad \boxed{2\varphi + \beta - \gamma = \frac{\pi}{2}} \quad (\text{considera l'angolo})$$

I valori sperimentali non sono utili a questo scopo, perché non conosciamo il valore della forza M_s e quindi abbiamo un'altra legge simile:

$$2\varphi + \beta - \gamma = C$$

$$R = \frac{\gamma_s A_0}{\sin\varphi \cos(\varphi + \beta - \gamma)}$$

$$F_t = \frac{\gamma_s A_0 \cos(\beta - \gamma)}{\sin\varphi \cos(\varphi + \beta - \gamma)}$$

$$F_n = \frac{\gamma_s A_0 \cdot \sin(\beta - \gamma)}{\sin\varphi \cos(\varphi + \beta - \gamma)}$$

Metodo del K_s : metodo empirico; secondo questo metodo abbiamo che:

$$F_t = K_s \cdot A_0; \quad K_s = K_{s0} \cdot A^{-\frac{1}{n}}; \quad K_{s0} = 2,4 \cdot R_m \cdot \beta^{0,454} \cdot \gamma^{0,666}$$

La determinazione del K_s viene fatta attraverso la misura delle forze di taglio nelle condizioni reali di lavoro: si scelgono le condizioni sperimentali (spessore truciolo, velocità di taglio, angolo).

- F_t = forza di taglio;
- A = sezione del truciolo;
- K_s = coefficiente di taglio [$\frac{N}{mm^2} = \frac{M}{kg}$];
- K_{s0} = coefficiente specifico di taglio (per $A = 1 \text{ mm}^2$);
- n = costante dipendente dal materiale;
- R_m = resistenza a trazione;

si effettuano prove di taglio e si misura F_t ,

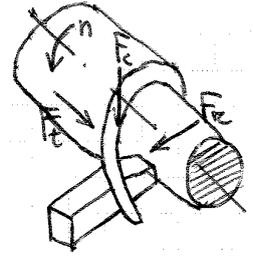
$$\text{si calcola poi } K_s = \frac{F_t}{A}$$

$$\begin{cases} F = F_t \cdot \sin\gamma + F_n \cdot \cos\gamma \\ N = F_t \cdot \cos\gamma - F_n \cdot \sin\gamma \end{cases} \rightarrow \tan\beta = \frac{F}{N}; \text{ e partire da } F_t, F_n, \text{ re misurati sperimentalmente si ricavano } \beta, \varphi, \gamma_s, \gamma, C$$

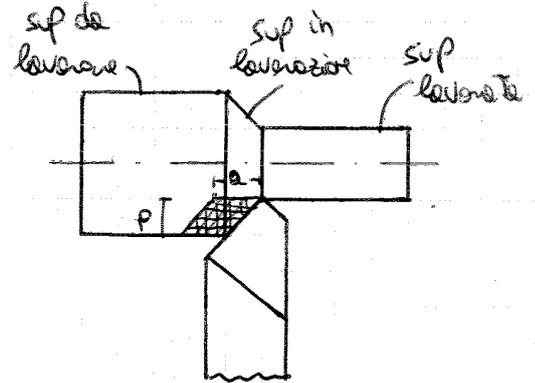
A basse velocità, che negli acciai genera una temperatura di area 300°C , il materiale non si deforma così facilmente, ma tende ad aderire sul petto dell'utensile e si forma il cosiddetto tagliente di ripeto. Il tagliente di ripeto altera la superficie del petto lavorata; aumentando la velocità di taglio, aumenta la temperatura; si evita la formazione del tagliente di ripeto (a 600°C circa). La velocità di taglio modifica i fronti del truciolo, che si dispongono secondo l'angolo φ .

Nella maggior parte delle applicazioni il tagliente presenta un'inclinazione rispetto alla direzione di taglio: taglio obliquo. L'angolo di inclinazione è indicato con i (o con λ); questa inclinazione fa sì che il truciolo si allontani

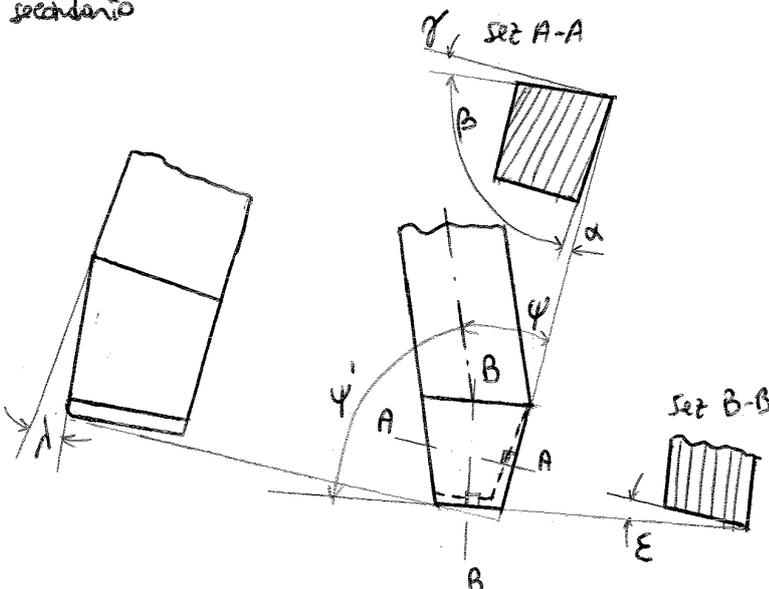
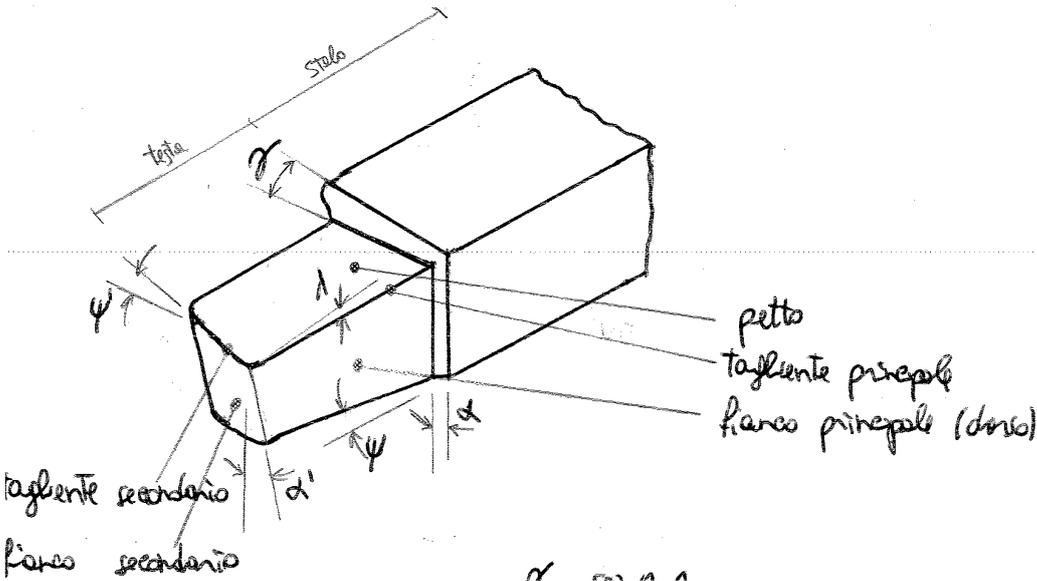
L'utensile in lavorazione è generalmente soggetto a 3 tipi di forze:
 una forza (F_c) di taglio, una forza di (F_a) avanzamento
 e una forza di (F_r) repulsione che tende a far
 allontanare l'utensile dal pezzo in direzione radiale.
 La F_c è circonferenziale, la F_a è assiale e la
 F_r è radiale.



Sul pezzo possiamo distinguere una superficie
 da lavorare, una superficie in lavorazione
 e una superficie lavorata e il truesolo
 ha un moto elicoidale dato dalla
 combinazione di moto rotatorio e rettilineo.



Lo spessore del truesolo è legato all'avanzamento (a)
 e la sua larghezza alla profondità di passata (p)



sez A-A: perpendicolare alla
 proiezione del tagliente princ.
 sul piano di riferimento.
 sez B-B: perpendicolare alla
 proiezione del tagliente
 secondario sul piano di
 riferimento.

- angolo di spinta inferiore principale α : fissa che il fianco dell'istruale non stisce sulla superficie lavorata ($\alpha \approx 5-20^\circ$);
- angolo di registrazione α' : evita che il fianco secondario stisce sulla superficie lavorata;
- angolo di registrazione α : definisce la forma del petto: $\alpha > 90^\circ$ angolo retto, $\alpha < 90^\circ$ smusso sul petto;
- angolo di spinta superiore principale γ : regola la posizione relativa petto-piano di riferimento, influenza la formazione del truciolo, influenza le forze in gioco, influenza l'effetto di scivolamento del truciolo sul petto dell'istruale;
- angolo del tagliente principale ψ : se $\psi \neq 0$ abbiamo tre componenti di forza, se $\psi = 0$ abbiamo 2 componenti di forza, perché la forza di repulsione può essere determinata dalla presenza del raggio di raccordo;
- angolo di inclinazione δ : influenza la robustezza della punta e influenza il deflesso del truciolo continuo; in filo istruale e coltello ($\psi = 0$) abbiamo che se $\delta > 0$ il truciolo procede verso l'esterno, se $\delta < 0$ procede verso l'interno.

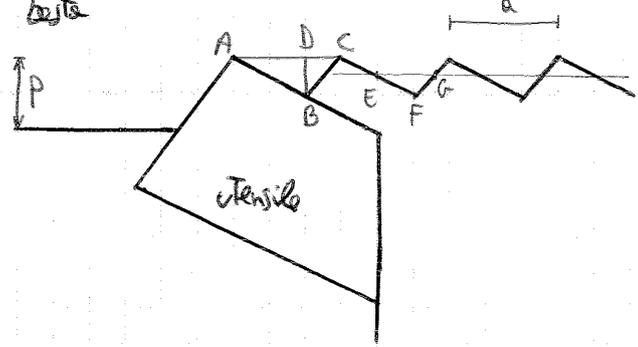
Per calcolare la R_a^* rispetto traseca basta

trovare la lunghezza AD e DC:

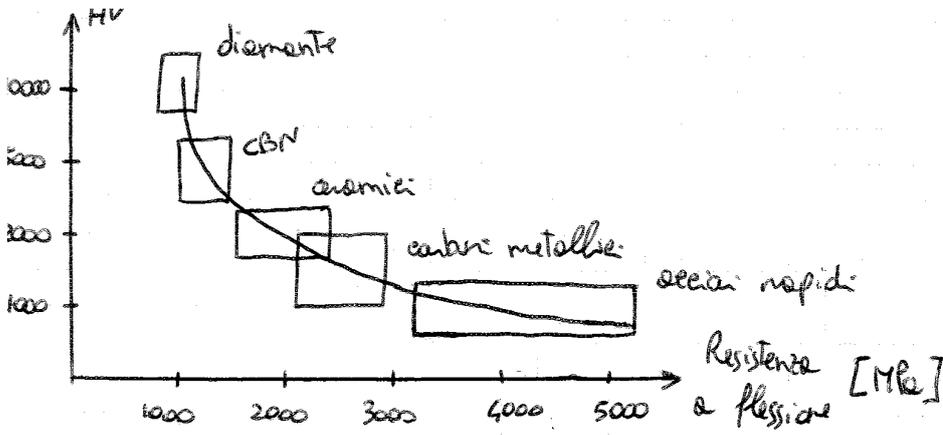
$$AD = \frac{BD}{\tan \alpha'} \quad DC = \frac{BD}{\tan \alpha}$$

$$AD + DC = BD \left(\frac{1}{\tan \alpha'} + \frac{1}{\tan \alpha} \right)$$

$$\left. \begin{array}{l} AD + DC = a \\ 3D = R_t^* \end{array} \right\} a = R_t^* \left(\frac{1}{\tan \alpha'} + \frac{1}{\tan \alpha} \right) \Rightarrow R_t^* = a \cdot (\tan \alpha' + \tan \alpha) = \frac{a}{\cot \alpha' + \cot \alpha} \cdot 10^{-3} \text{ (mm)}$$



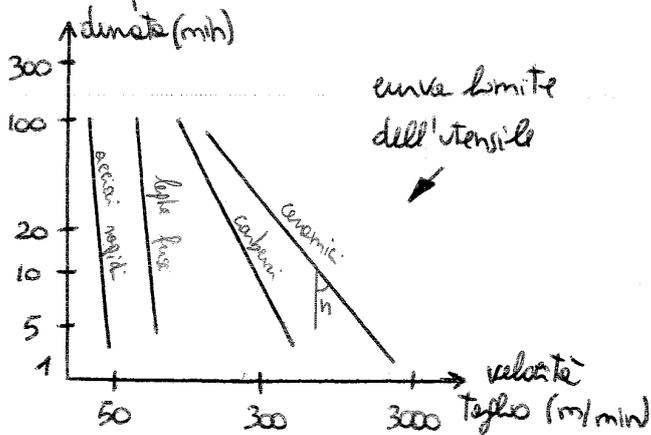
quindi $R_a^* = \frac{\text{area EFG} + \text{area BHM}}{a} = 2 \cdot \frac{\text{area EFG}}{a} = \frac{R_t^*}{4}$



Man mano che lavora l'utensile viene modificato dal fenomeno, sia in senso di geometria, sia in senso strutturale. I meccanismi principali di usura sono:

- usura per abrasione: presenza di particelle di elevata durezza (carburi, nitruro, ossidi);
- usura per diffusione: passaggio di atomi tra materiale ed utensile per affinità chimica;
- usura per adesione: formazione del tool-chip di riparto;
- usura per fatica: ripetute variazioni di forza e temperatura;
- usura per deformazione plastica: compressione e scostamento.

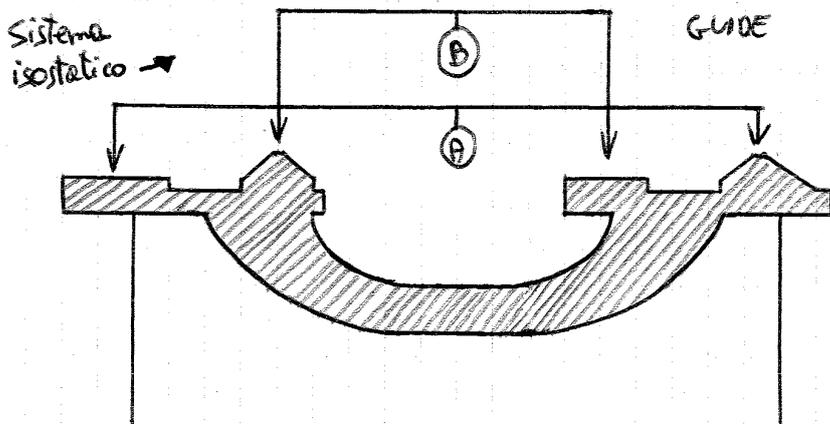
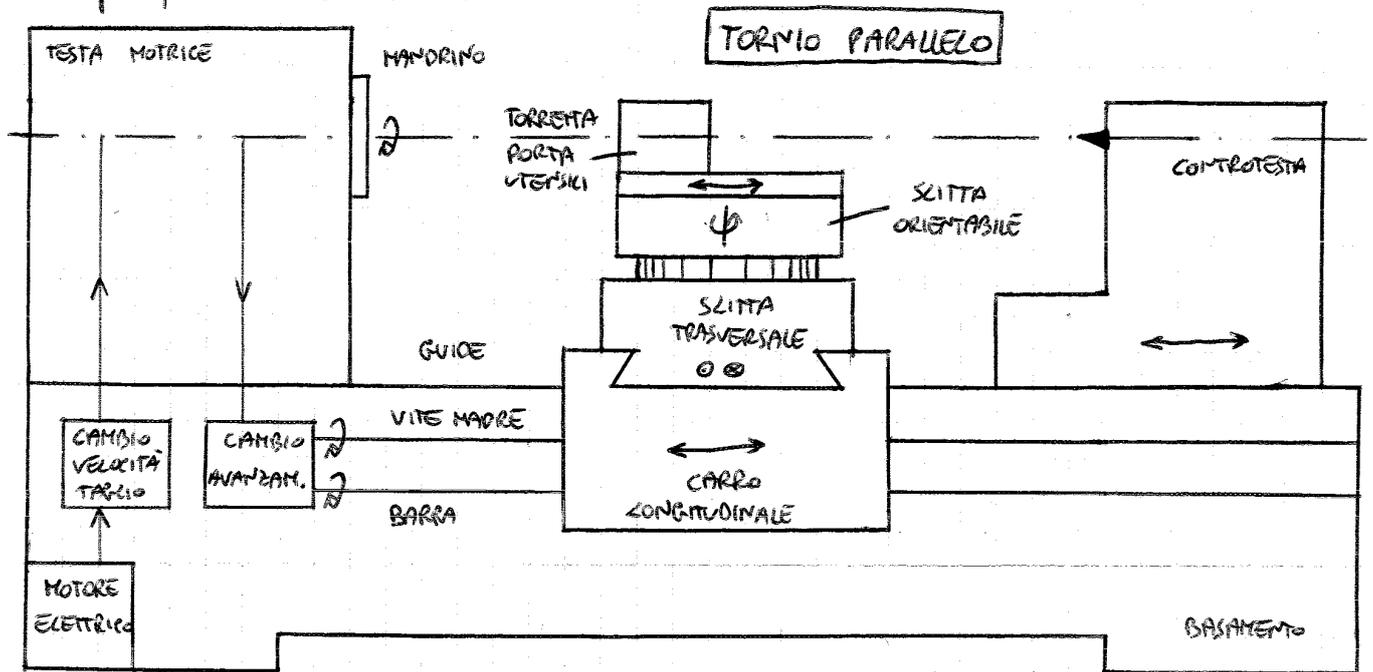
L'usura più comune è sul fianco dell'utensile (il lato di usura) e sul petto dell'utensile (erosione di usura).



Studi sperimentali hanno legato la velocità di taglio alla durata dell'utensile. Questi esperimenti sono stati ripetuti su un diagramma bi-logaritmico e ho stati analizzati da Taylor per vari materiali.

$V_c \cdot T^n = C$ relazione sperimentale di Taylor, dove n è un coefficiente di durata dell'utensile e C è una costante di velocità di taglio che consente un minuto di durata dell'utensile.

- rotazione dell'utensile;
- tavola porta utensili situata sulla slitta orientabile che serve per montare gli utensili;
- controtesta che può scorrere sulle stesse guide del carro e ha all'estremità una punta che può sostenere un pezzo in rotazione nell'estremità libera, ad esempio un pezzo molto lungo, oppure può servire per lavorare un pezzo all'interno, mettendo un utensile sulla punta della controtesta;
- mandrino, altro caso di sostenere e mettere in rotazione il pezzo ed è una piattaforma autoentrante.

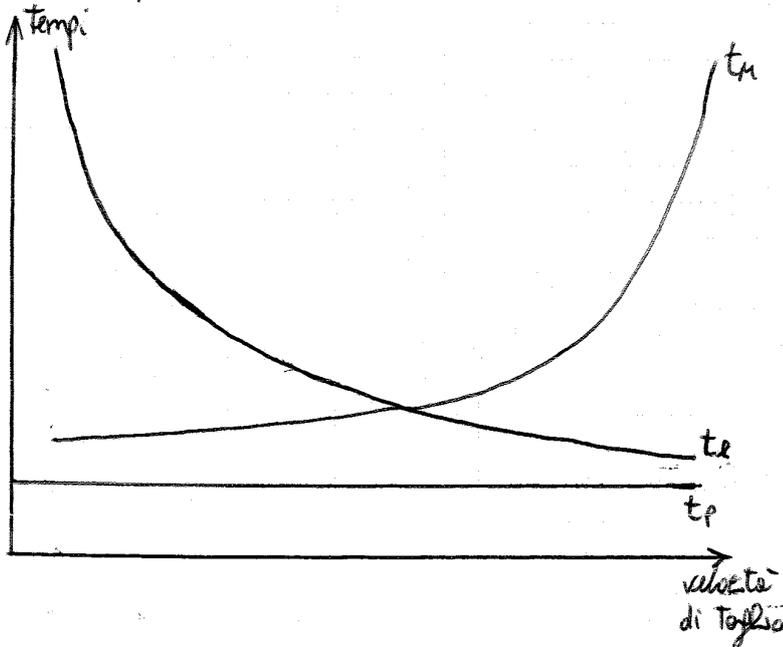


t_m [min] è il tempo di aneto della macchina per il cambio dell'utensile usurato

t_e [min] è il tempo effettivo di lavorazione in cui si ha contatto fra l'utensile e il pezzo;

T è la durata dell'utensile;

$\frac{t_e}{T}$ è la frazione di vita dell'utensile consumata dalla singola lavorazione.



Calcolo del tempo effettivo di lavorazione: $t_e = \frac{L}{v_s} = \frac{L}{\frac{\pi D n}{1000}} = \frac{\pi D L}{1000 \pi v_e}$

La durata del tagliente può essere ricavata dalla legge di Taylor $v_e \cdot T^n = C$, dove n è un coefficiente di durata dell'utensile e C è una costante e rappresenta la velocità di Taglio che consente la durata di un minuto del tagliente dell'utensile. Esprimendo, nella formula del costo totale, i vari termini in funzione della velocità di Taglio, si ottiene una nuova espressione del costo di lavorazione (dove $t_e = \frac{\pi D L}{1000 \pi v_e}$ e $T = \left(\frac{C}{v_e}\right)^{\frac{1}{n}}$) e derivando C_t rispetto alla v_e cerca il valore della velocità di Taglio che minimizza il costo: $\frac{dC_t}{dv_e} = 0$ e ricaviamo la durata economica

del tagliente $T_e = \left(\frac{1-n}{n}\right) \left(t_m + \frac{C_m}{C_p}\right)$ e la velocità economica di

Taglio sarà $v_e = \frac{C}{T_e^n}$

Foratura e alesatura: è una lavorazione molto utilizzata e i moti caratteristici sono: (L) moto di taglio rotatorio continuo impartito all'utensile, $v_t = \frac{\pi D n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$; moto di alimentazione (A) rettilineo impartito all'utensile o al pezzo, avanzamento $a [mm/ giro]$; (P) moto di appostamento impartito al pezzo per portare l'asse dell'utensile in corrispondenza del foro e per avviare l'utensile al pezzo. L'utensile è la caratteristica punta elicoidale dotata di due taglienti formanti un angolo di 118° , tuttavia possono essere utilizzati altri utensili che compiono lavorazioni di foratura su un foro preesistente: utensili che eseguono un foro dal pieno con una punta elicoidale, punta da centri; utensili che compiono lavorazioni ulteriori su un foro preesistente come l'alesatore cilindrico, l'alesatore conico, la fresa frontale per lamina, fresa conica per svasatura. Le operazioni di foratura comprendono: una centratina mediante un'apposita punta per guidare la foratura, la foratura con punta elicoidale, allungatura mediante un utensile dotato di 3-4 taglienti per la realizzazione di fori cilindrici migliori e di svasature cilindriche e coniche; alesatura mediante utensili con elevate precisioni; maschiatura mediante utensili maschiatori. Le macchine più impiegate per l'esecuzione di fori sono i trapani: trapani sensitivi (a colonna) sono utilizzati per forature leggere con punte di piccolo diametro ($< 10 mm$); trapani a montante sono usati per forature con punte anche di grosso diametro poiché hanno una struttura molto robusta; trapani radiali si utilizzano in forature di piccolo e medio diametro su pezzi ingombranti. Portata volumetrica di trivolo $MRR = A_0 \cdot v_t = \frac{\pi D^2}{4} \cdot a \cdot n \left[\frac{mm^3}{min} \right]$, dove D è il diametro della punta elicoidale.

$$MRR = A_0 \cdot v_t = \frac{\pi D^2}{4} a \cdot n = \frac{D \cdot a}{2} \cdot \frac{v_t}{2}; \text{Tempo di lavorazione: } T_{lev} = \frac{L}{a \cdot n} [min], \text{ dove}$$

L è la corsa della testa portamandrina.

La fresatura è un processo utilizzato su pezzi privi di assialsimmetria per la lavorazione di superfici piane o inclinate, l'esecuzione di scanolature e cavità di forma e geometria diverse.

si trova secondo l'equazione della portata in volume (w è la lunghezza della fresa): $MRF = w p v_s \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{min}} \right]$.

La fresa è costituita da un basamento e da un montante nel quale alloggiare il motore elettrico per il moto di taglio, il cambio di velocità di taglio ed il mandrino orizzontale a cui si collega l'utensile.

Sulle guide ricavate nella parte anteriore del montante può scivolare una mensola sopra alla quale si trova la slitta trasversale, che si può muovere parallelamente al mandrino. Al di sopra di questa si trova una slitta orientabile a mano su cui è montata la tavola porta-pezzo, sulla quale viene staffato il pezzo da lavorare.

Le lavorazioni di rettifica si differenziano dalle altre lavorazioni di asportazione di truciolo in quanto non avvengono attraverso l'azione di un utensile a geometria definita ma per l'azione di una mola che è costituita da un agglomerato di grani abrasivi di geometria poliedrica. Alla mola, che ha la forma di un cilindro di rivoluzione, viene conferito il moto rotatorio continuo, mentre al pezzo sono conferiti i moti di avanzamento. L'operazione di rettifica consente di asportare sottili strati di truciolo di piccolissime dimensioni mediante utensili chiamati moli. I moti caratteristici sono: (L) moto di taglio rotatorio continuo impartito all'utensile con velocità di taglio $v = \frac{\pi D n}{1000} \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$; (A) moto di alimentazione rettilineo e circolare per la rettifica in tondo e rettilineo ortogonale per la rettifica piana; (P) moto di spostamento per la definizione del sopravello ed è impartito al pezzo.

La rettifica è un'operazione di finitura che consente di ottenere ottime precisioni geometriche: rugosità $R_a \approx 0,05 \mu\text{m}$ e precisioni dimensionali $\approx 2 \mu\text{m}$. La rettifica è largamente impiegata su pezzi grezzi ottenuti per fusione o per foratura, pezzi già lavorati per asportazione di truciolo, pezzi che abbiano subito trattamenti termici (tempra o indurimento superficiale).

CICLO DI LAVORAZIONE

Il ciclo di lavorazione è la successione logica di tutte le operazioni necessarie per trasformare un pezzo grezzo in un prodotto finito. Essò è un fattore importante per la produttività e la competitività dell'industria meccanica; pianificazione razionale: le operazioni costituiscono un insieme ordinato per arrivare in passi successivi alla forma finale del particolare.

Stesura del ciclo:

1) Analisi del disegno del pezzo: molto importante sono le tolleranze dimensionali, quelle geometriche e la rugosità, che determinano l'utilizzo o meno di una macchina utensile.

Lavorazione	Grado di tolleranza normalizzato							
	4	5	6	7	8	9	10	11
LAPPATURA								
RETIFICAT. CILINDR.								
RETIFICAT. PIANI								
BROCCATURA								
TORNITURA								
ALESATURA								
FRESATURA								
TRAPANATURA								
TRANCIATURA								
FORAT - STAMPAG.								

Ra (µm)	25	12	6	3,2	1,6	0,8	0,2	0,1	0,05
	Fusione			Asportazione			Rettifica		

2-3) Scelta dei processi e raggruppamento in officine:

Schema	Macchina	Operazione	Moto di taglio		Moto di alimentazione	
			rotina	ogiva	rotina	ogiva
	Tornio	Tornitura	circolare	pezzo	rettilineo	utensile
	Fresatrice	Fresatura	circolare	utensile	rettilineo	pezzo
	Trapano, Albest. Fresatrice tornio	Fresatura lesatura	circolare	utensile	rettilineo	utensile o pezzo
	Rettificatrice Aspatore	Rettificazione	circolare	utensile	rettilineo e circolare	pezzo o utensile

Nella pratica la geometria degli inserti è dettata dalle norme (ISO); le geometrie degli inserti più diffuse sono ISO2 e ISO6. Più è piccolo l'angolo di registrazione e più duratura è l'utensile; gli angoli di registrazione più usati sono $\alpha = 90^\circ$ e $\alpha = 45^\circ$. Il raggio di punta è il raggio del raccordo che viene fatto tra il fianco principale e il fianco secondario. Esso determina la rugosità del pezzo lavorato; valori standard del raggio di punta sono 0,4 - 0,8 - 1,2 - 1,6 - 2 - 2,4 (mm). Più il raggio è grande e più bassa è la rugosità; la rugosità (R_a) è funzione anche dell'avanzamento e: più diminuisce a e minore sarà la rugosità.

$$R_a = \frac{a^2}{32 \cdot r_e} \quad (R_{a \max} \approx 0,8 \text{ } \mu\text{e})$$

Nel catalogo degli utensili è consigliata la profondità di passata a_p , l'avanzamento f_n e la velocità di taglio v_c . Se si sceglie una velocità di taglio diversa da quella consigliata, allora bisognerà tenere conto moltiplicando la velocità di taglio consigliata per un valore maggiore ($v_{\text{reale}} > v_{\text{consigliata}}$) o minore ($v_{\text{reale}} < v_{\text{consigliata}}$) di 1.

Quando si scava un occhio di lavorazione basta indicare, secondo normativa, il tipo di pla. Come di praticare un foro (con un trapano ed es), anche fatta sempre una centratura.

7) Attrezzature per posizionamento:

Bisogna evitare vibrazioni e deformazioni plastiche e bisogna rispettare le tolleranze di dispendio.