

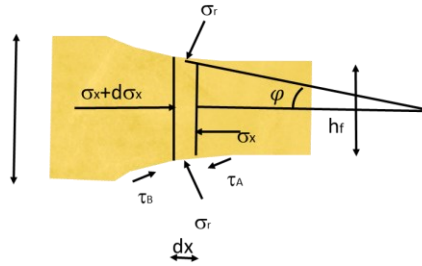


Prof. G. Berti esame del 23-6-2023

COGNOME Nome _____ N. Matr. _____ / IG _____

NB. È possibile scrivere anche sul retro dei fogli dando opportuna indicazione

1. Nella laminazione piana di una lastra DETERMINARE CON LA TECNICA DELLO SLAB l'andamento delle 3 tensioni principali.



Equilibrio forze in x

$$\sigma_x h b - (\sigma_x + d\sigma_x)(h + dh)b + 2\sigma_r R d\varphi b \sin \varphi = \begin{matrix} 2\tau_{\text{attrito}} R d\varphi b \cos \varphi & \text{nella zona A} \\ -2\tau_{\text{attrito}} R d\varphi b \cos \varphi & \text{nella zona B} \end{matrix}$$

Dividendo tutto per b ottengo

$$\sigma_x h - \sigma_x h - \sigma_x dh - d\sigma_x h - d\sigma_x dh = 2\sigma_r R d\varphi (-\sin \varphi \mp \mu \cos \varphi)$$

$$d(\sigma_x h) = 2\sigma_r R d\varphi (\sin \varphi \mp \mu \cos \varphi)$$

Poiché le tensioni principali sono

$$\sigma_1 = \sigma_x$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$$\sigma_3 = \sigma_r$$

von Mises

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

$$\left(\sigma_x - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_r)\right)^2 + \left(\frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_r) - \sigma_r\right)^2 + (\sigma_r - \sigma_x)^2 = 2Y^2$$

$$\left[\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_r)\right]^2 + \left[\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_r)\right]^2 + (\sigma_r - \sigma_x)^2 = (\sigma_r - \sigma_x)^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 1\right)$$

$$\frac{6}{4}(\sigma_r - \sigma_x)^2 = 2Y^2$$

$$|\sigma_r - \sigma_x| = \frac{2}{\sqrt{3}} Y = Y'$$

$$\sigma_x = \sigma_r - Y'$$

$$d((\sigma_r - Y')h) = 2\sigma_r R d\varphi (\sin \varphi \mp \mu \cos \varphi) = 2\sigma_r R d\varphi (\varphi \mp \mu)$$

$$d\left[hY' \left(\frac{\sigma_r}{Y'} - 1\right)\right] = hY' d\frac{\sigma_r}{Y'} + \left(\frac{\sigma_r}{Y'} - 1\right)d(hY')$$

Man mano che h diminuisce tanto più il materiale incrudisce cioè Y ed Y' aumentano

Quindi h Y' rimane quasi costante

$$d(hY') = 0$$

$$\bullet d\left[hY' \left(\frac{\sigma_r}{Y'} - 1\right)\right] = hY' d\frac{\sigma_r}{Y'} = 2\sigma_r R d\varphi (\varphi \mp \mu)$$

$$\frac{d\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right)}{\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right)} = \frac{2R}{h} (\varphi \mp \mu) d\varphi$$

ma $h = h_f + 2R(1 - \cos \varphi)$

$$\cos \varphi = 1 - \frac{\varphi^2}{2} + \dots \quad \rightarrow \quad h = h_f + R \varphi^2$$

$$\frac{d\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right)}{\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right)} = \frac{2R}{h_f + R \varphi^2} (\varphi \mp \mu) d\varphi = \frac{2R\varphi d\varphi}{h_f + R \varphi^2} \mp \frac{2R\mu d\varphi}{h_f + R \varphi^2}$$

Introduco le nuove variabili

- $w = \varphi \sqrt{\frac{R}{h_f}} \quad dw = \sqrt{\frac{R}{h_f}} d\varphi$
- $z = h_f + R \varphi^2 = h \quad dz = 2R\varphi d\varphi$

$$\rightarrow \frac{d\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right)}{\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right)} = \frac{dz}{z} \mp 2\mu \sqrt{\frac{R}{h_f}} \frac{dw}{1+w^2}$$

$$\ln\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right) = \ln(z) \mp 2\mu \sqrt{\frac{R}{h_f}} \arctan\left(\varphi \sqrt{\frac{R}{h_f}}\right) + \ln(C)$$

$$\ln\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right) = \ln(Cz) \mp \ln\left(\exp\left(2\mu \sqrt{\frac{R}{h_f}} \arctan\left(\varphi \sqrt{\frac{R}{h_f}}\right)\right)\right)$$

chiamo $K(\varphi) = 2 \sqrt{\frac{R}{h_f}} \arctan\left(\varphi \sqrt{\frac{R}{h_f}}\right)$

$$\ln\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right) = \ln(Cz) \mp \ln(\exp(\mu K)) = \ln(Cz \exp(\mp \mu K))$$

$$\left(\frac{\sigma_r}{Y'}\right) = C(h_f + R\varphi^2) \exp\left(\mp 2\mu \sqrt{\frac{R}{h_f}} \arctan\left(\varphi \sqrt{\frac{R}{h_f}}\right)\right)$$

Ingresso - Zona A $\sigma_x = 0 \quad h = h_0 \quad \varphi = \alpha \quad K_{ing} = 2 \left(\frac{R}{h_f}\right)^{\frac{1}{2}} \arctan\left(\sqrt{\frac{R}{h_f}} \alpha\right)$
 $\sigma_r = Y'$

$$\rightarrow \frac{\sigma_r}{Y'} = \frac{h}{h_0} \exp[\mu(K_{ing} - K)]$$

Uscita - Zona B $\sigma_x = 0 \quad h = h_f \quad \varphi = 0 \quad K_{usc} = 0$
 $\sigma_r = Y'$

$$\rightarrow \frac{\sigma_r}{Y'} = \frac{h}{h_f} \exp[\mu(K)]$$

Sigma1A=	Sigma2A=	Sigma3A=
Sigma1B=	Sigma2B=	Sigma3B=

2 Dato uno stato di TENSIONE piana con una tensione σ e tensione minima $\sigma_{\min} = -0.6\sigma$, calcolare

- la tensione equivalente secondo il criterio di von Mises,
- la tensione tangenziale massima.

Sigma1=sigma

Sigma2=0

Sigma3=-0.6sigma

TautangenMax=0.8sigma

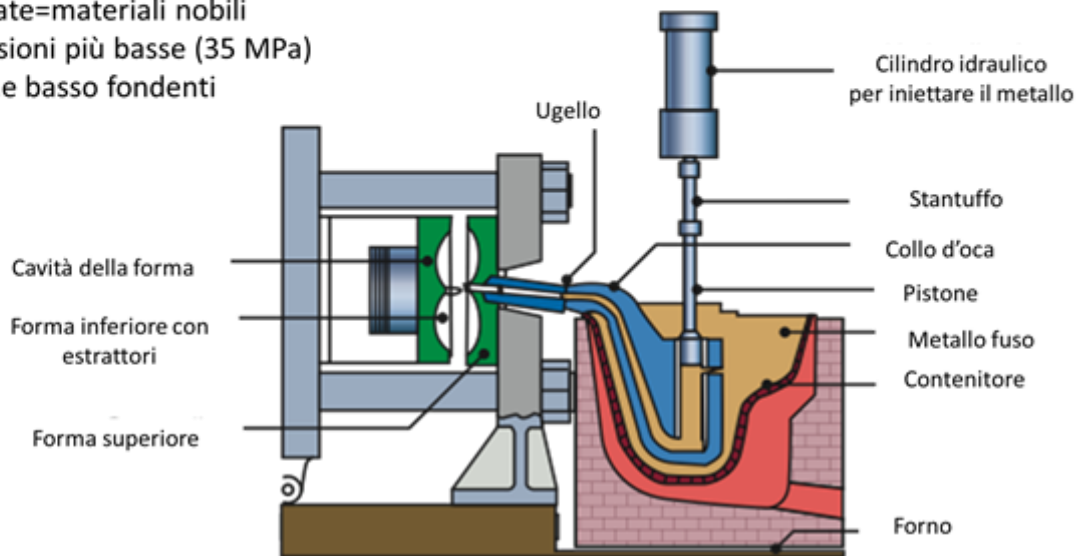
SigmaEqVonMises=1.4sigma

3 Fonderia:

3.1 descrivere quali sono le tipologie di macchine per la pressofusione (die-casting) indicando anche vantaggi, svantaggi, relativi campi di applicazione e tracciare lo schema di tali processi.

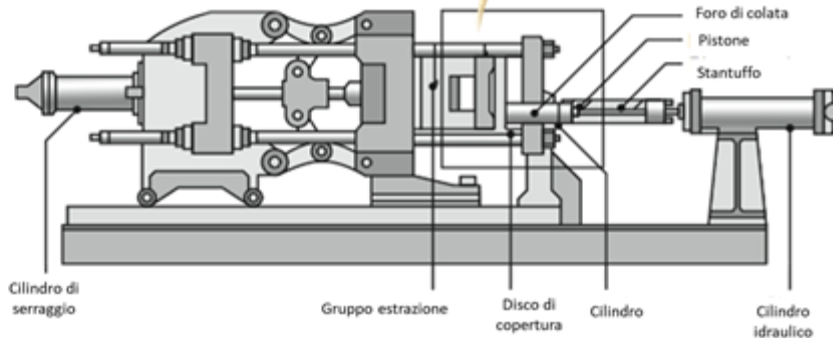
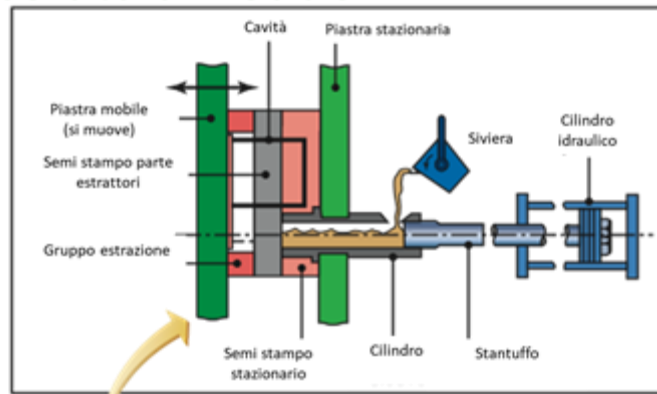
Presso colata a caldo

- Più veloce
- Processo più omogeneo
- Temperatura media attrezzatura con caratteristiche mantenute a temperature più elevate=materiale nobili
- Pressioni più basse (35 MPa)
- Leghe basso fondenti



Presso colata a freddo

- Meno veloce
- Processo meno omogeneo
- Temperatura media attrezzatura con caratteristiche mantenute a temperature più basse=materiali meno nobili
- Pressioni più alte (70 MPa)
- Leghe alto fondenti



3.2 Spiegare la procedura che porta al posizionamento della materozza

$$\text{Modulo di raffreddamento } M = \frac{\text{Volume}}{\text{Superficie}}$$

Aggiungendo un raffreddatore ho un incremento di 50 mm sulla zona protetta

Cubo, sfera, cilindro ($D=H=S$)

$$M = \frac{S}{6}$$

Piastre o dischi di spessore S

$$M = \frac{S}{2}$$

Corpi toroidali o cilindri

$$M = \frac{S_1 S_2}{2(S_1 + S_2)}$$

Barre di sezione costante A
il cui perimetro è P

$$M = \frac{A}{P}$$



- La solidificazione va da M minore a M maggiore
- La zona i -esima è alimentata da quella adiacente ($i+1$) se $M_{i+1} \geq 1.1M_i$
- La materozza si mette sull'ultima zona di solidificazione
- Zona di influenza della materozza L
 - $L = 3.5 s - 5 s$ acciaio
 - $L = 5 s$ ghisa
 - $L = 5 s - 8 s$ bronzo
 - $L = 5 s - 7 s$ leghe leggere

$M = \text{Volume} / \text{Superficie} / \text{Scambio Termico}$

Es cubo lato $=S$ $M = S/6$

Divido il pezzo in geometrie elementari e di ciascuna calcolo M_i

Cerco M_{min} che è il primo che solidifica

Cerco gli elementi adiacenti e vedo se ce ne è uno (i -esimo) tale che $M_i \geq 1.1 * M_{min}$ se tale elemento esiste allora funge da materozza temporanea e proseguo nella verifica, altrimenti posiziono la materozza in quel punto

$L_{protetta} = C + L + H$

Spiegare la procedura che porta al dimensionamento della materozza

$$V_r = \frac{b}{100} (V_p + V_m)$$

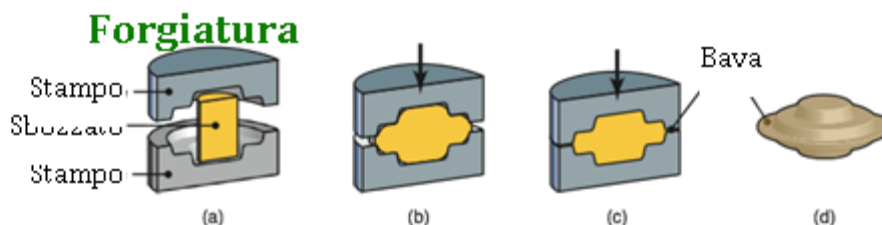
- V_r = volume ritiro
- V_p = volume pezzo
- V_m = volume materozza
- B = coefficiente di ritiro volumetrico del materiale

- Per materozze cilindriche o ovali $V_r = 0.14 V_m$
 $V_p \max = V_m \left(\frac{14-b}{b} \right)$
- Per materozze sferiche o semisferiche $V_r = 0.20 V_m$
 $V_p \max = V_m \left(\frac{20-b}{b} \right)$

$$M_m \geq 1.2 M_p$$

4 Formatura Massiva:

Indicare come si può stimare la forza necessaria per stampare oggetti massivi in stampi aperti, con e senza bava.



Forza di forgiatura

$$F = K_p Y_f A$$

dove

- K_p fattore di complessità dello stampo
- Y_f tensione di flusso del materiale

Valori di K_p nella forgiatura

K_p fattore di complessità dello stampo

- Y_f tensione di flusso del materiale
- A area proiettata del forgiato includendo il canale di bava

Valori di K_p nella forgiatura

- Forma semplice senza bava 3-5
- Forma semplice con bava 5-8

- Forma complessa con bava 8-12

Ma Y_f dipende da T , deformazione e velocità di deformazione

Quindi divido la cavità in zone dove T , deformazione e velocità di deformazione sono equali e per ciascuna di queste zone di area complessiva A_i calcolo Y_{fi} per poi ottenere $F_i = Y_{fi} \cdot A_i$

Calcolo la Forza di forgiatura = sommatoria F_i

5 Scelta della macchina idonea alla produzione

Utilizzando il database dei materiali riportato nel seguito scegliere la pressa per l'iniezione che è più adatta alla realizzazione del medesimo componente, prodotto da uno stampo con 4 figure, costituito da un setaccio per la farina. Il componente è costituito da un cilindroide a sezione ellittica (semiasse maggiore = 15 cm, semiasse minore = 12 cm) la cui altezza è di 24 cm. Il fondo di cilindroide risulta pieno all'80%, completa il componente un anello circolare di diametro 415 mm. Il componente presenta uno spessore minimo pari a 1.5 mm, spessore medio pari a 2.5 mm e spessore massimo pari a 3.2 mm realizzato rispettivamente in: Acetal oppure PPO con 30% fibra vetro. Scegliere nei due casi la macchina di iniezione più adeguata affinché il pezzo formato possa staccarsi dallo stampo e cadere per gravità su un nastro trasportatore.

Valutare inoltre il tempo di raffreddamento nei due casi

Materiale	Densità [kg/dm ³]	Diffusività termica [mm ² /s]	Temperatura di iniezione [°C]	Temperatura degli stampi [°C]	Temperatura di estrazione [°C]	Pressione di iniezione [MPa]
HDPE	0.95	0.11	232	27	52	96.5
PS	1.59	0.09	218	27	77	96.5
ABS	1.05	0.13	260	54	82	100.0
Acetal	1.42	0.09	216	93	129	117.2
PA	1.13	0.10	291	91	129	110.3
PC	1.20	0.13	302	91	127	117.2
PC con 30% fibra vetro	1.43	0.13	329	102	141	131.0
PPO	1.06	0.12	232	82	102	103.4
PPO con 30% fibra vetro	1.27	0.14	232	91	121	103.4
PP con 40% talco	1.22	0.08	218	38	88	96.5
PET con 30% fibra vetro	1.56	0.17	293	104	143	117.2

Forza di serraggio [kN]	Volume di una carica (shot size) [cm ³]	Costo orario di esercizio [\$/h-1]	Durata di un ciclo a secco [s]	Massima apertura stampi [cm]	Potenza nominale [kW]
300	34	28	1,7	20	5,5
500	85	30	1,9	23	7,5
800	201	33	3,3	32	18,5
1100	286	36	3,9	37	22,0
1600	286	41	3,6	42	22,0
5000	2290	74	6,1	70	63,0
8500	3636	108	8,6	85	90,0
11000	2200	422	11,2	90	150,0
18000	3900	543	13,2	70	210,0
26000	3400	612	12,0	65	300,0
36000	4000	900	14,0	95	550,0
48000	4200	910	16	48	610,0
55000	6000	1100	15	102	800,0

Area proiettata figura=123956 mm²

Volume da iniettare=3256 cm³

Massimo ingombro pezzo=431 mm

Forza acetal=29055 Kn >macchina 36000kN

Forza ppofv=25634 kN >macchina 26000kN

Tempo solid acetal=17.9 s

Tempo solid ppofv=15.2 s

6 Asportazione di truciolo

6.1. Valutare la velocità di asportazione del materiale (MRR) in una operazione di fresatura frontale su un blocco di acciaio di lunghezza 360 mm, larghezza 3800 mm, con profondità di passata di 2 mm, con avanzamento pari a 0.25 mm/dente utilizzando una fresa di diametro $D=50$ mm e spessore di 12 mm, con 16 denti che ruota a 110 gpm. Tenere presente che la fresa non deve lavorare su tutto il diametro ma bisogna prevedere un angolo in ingresso e uno in uscita pari a 30° .

6.2. Stimare il tempo necessario per lavorare l'intera superficie del pezzo.

6.3. Calcolare la potenza, la coppia di taglio e la forza media di taglio utilizzando una energia specifica di 3 J/mm^3

$$\text{MRR} = \text{VOLUME ASPORTATO} / \text{TEMPO PER ASPORTARLO} = 38105 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$P = \text{energia specifica} * \text{MRR} = 1905 \text{ W}$$

$$T = P / \omega = 165 \text{ Nm}$$

$$F = T / \text{raggiofresa} = 6616 \text{ N}$$

$$\text{Tempo 1 passata} = 0.932 \text{ min}$$

$$\text{Numero passate} = 88$$

$$\text{Tempo complessivo} = 82 \text{ min}$$

6.4 Valutare la velocità di asportazione del materiale (MRR) in una operazione di tornitura cilindrica di una barra lunga 3 piedi mm bloccata tra mandrino autocentrante e contropunta (NB il tratto inserito nel mandrino è lungo 3.5 cm e l'utensile può arrivare a 1 mm dalle griffe del mandrino), diametro iniziale di 4.3 cm diametro finale 4 cm con una velocità del mandrino di 500 gpm e una velocità di avanzamento di 180 mm/min. Calcolare inoltre potenza, coppia, tempo di lavorazione e forza di taglio utilizzando una energia specifica di 4.1 J/mm^3

$$\text{MRR} = \text{Volume asportato} / \text{tempo necessario per asportare tale volume} = 35202 \text{ mm}^3/\text{min}$$

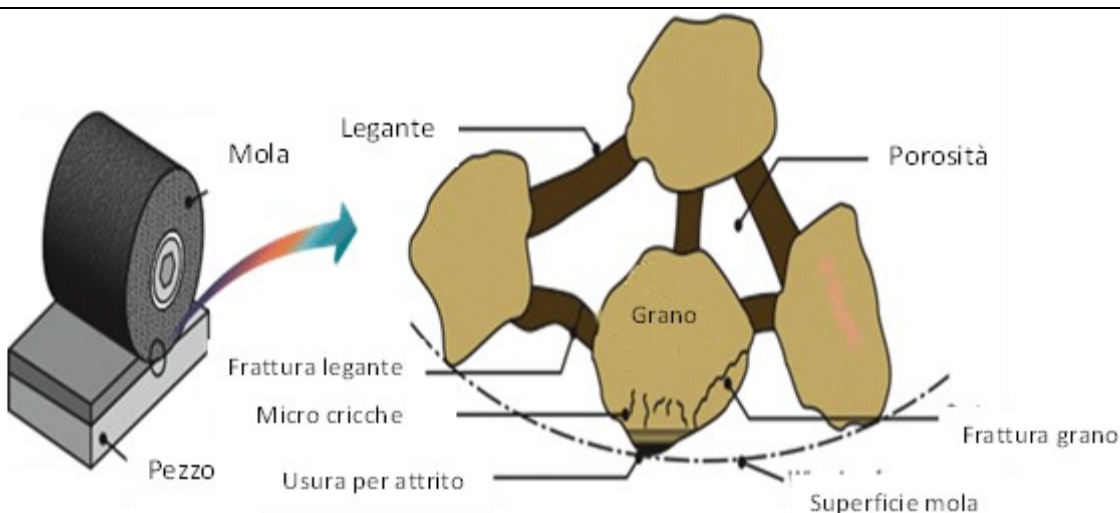
$$P = \text{energia specifica} * \text{MRR} = 2405 \text{ W}$$

$$T = P / \omega = 46 \text{ Nm}$$

$$F = T / \text{raggio medio} = 2214 \text{ N}$$

$$\text{TEMPO LAVOR} = 4.88 \text{ min}$$

7. Descrivere con schemi gli elementi che costituiscono una mola per la rettifica, le loro caratteristiche e funzioni

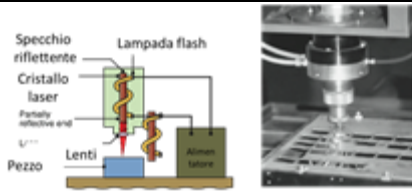


Durezza Knoop di diversi materiali.	
Vetro comune	350-500
Quarzo	800-1100
Ossido di zirconio	1000
Acciai induriti	700-1300
Carburo di tungsteno	1800-2400
Ossido di alluminio	2000-3000
Nitruro di titanio	2000
Carburo di titanio	1800-3200
Carburo di silicio	2100-3000
Carburo di boro	2800
Nitruro di boro cubico	4000-5000
Diamante	7000-8000

- **Abrasivo**
 - *Convenzionale (Si C, Al₂O₃)*
 - *Super abrasivo (CBN, Diamante)*
 - Proprietà abrasivo
 - **Durezza**
 - **Dimensioni del grano (grana della mola)**
 - **Friabilità**
- **Legante**
 - Feldspato ed argilla (*mole vetrificate*)
 - Resinoidi
 - Gomma (*mole flessibili*)
 - Metalli
- Tra abrasivo e legante rimane dello spazio libero per accogliere i micro-trucioli e che è detta **porosità**. Le mole tendono ad intasarsi superficialmente e in tal caso richiedono un'operazione di **ravvivatura**, per rimuovere lo strato intasato. La mola è un insieme non omogeneo di materiali e lavora a velocità di taglio molto elevate.

8 Fornire i principi di funzionamento con schema del taglio laser, electron-beam e plasma confrontando vantaggi e svantaggi dei tre sistemi.

Taglio laser



(a) Schema della lavorazione laser.
(b) Taglio di una lamiera metallica mediante il laser.

Continui o pulsanti;

Influenzati da:

- Riflettività;
- Conducibilità termica.

Vantaggi:

- Possibilità di guidare il raggio con fibre ottiche;
- Non richiede il vuoto.

Svantaggi:

- Superficie lavorata grezza;
- Zone termicamente alterate;
- Pericolosi per la retina umana.

Applicazione

Taglio

- Metalli
- Plastiche
- Ceramici

Foratura

- Metalli
- Plastiche

Marcatura

- Metalli
- Plastiche
- Ceramici

Trattamenti superficiali su metalli

Saldatura di metalli

Tipo di laser

- PCO; CWCO; Nd-YAG; rubino
- CWCO;
- PCO;

- PCO; Nd-YAG; Nd-vetro; rubino
- eccimeri

- PCO; Nd-YAG

- eccimeri

- CWCO;

- PCO; CWCO; Nd-YAG; Nd-vetro; rubino

P= ad impulso; CW= ad onda continua

Taglio electron-beam

Elettroni accelerati a velocità vicine a quella della luce (0-80%) nel vuoto

Vantaggi

- Migliore qualità superficiale rispetto al laser;
- Minori dimensioni del fascio rispetto al laser;

Svantaggi

- Producono raggi x.

Sistema ottico di visualizzazione

Portello di ispezione

port

Camera a vuoto

Tavola portapezzo

Pezzo

Pompa a vuoto spinto

Cavo ad alta tensione (30 kV c.c.)

Griglia catodica

Anodo

Valvola

Fascio di elettroni

Lenti magnetiche

Bobine di deflessione

Taglio al plasma

PROCEDIMENTO DI TAGLIO PLASMA



Plasma = gas ionizzato ad altissima temperatura (9600°C)

Vantaggi

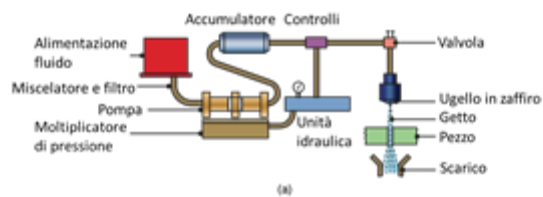
- Migliore qualità superficiale;
- Dimensioni del fascio inferiori rispetto al laser e al fascio di elettroni;
- MRR migliore rispetto al laser, elettroerosione e fascio elettronico.

SCHEMA DI UNA POSTAZIONE MANUALE PER IL TAGLIO PLASMA



9 Fornire i principi di funzionamento con schema del taglio a getto d'acqua e a getto d'acqua abrasiva confrontando vantaggi e svantaggi.

Taglio a getto d'acqua



(a)



(b)



(c)

Getto d'acqua con pressioni fino a 400 Mpa

Diametro ugello 0.05-1 mm

Taglio fino a spessori di 25 mm su:

- Plastiche;
- Gomma;
- Tessuti;
- Legno;
- Carta;
- Cuoio;
- Materiali isolanti;
- Mattoni;
- Compositi;
- Alimentari.

Vantaggi

- Non necessita di fori iniziali per avviare il taglio;
- Non è inquinante;

Svantaggi

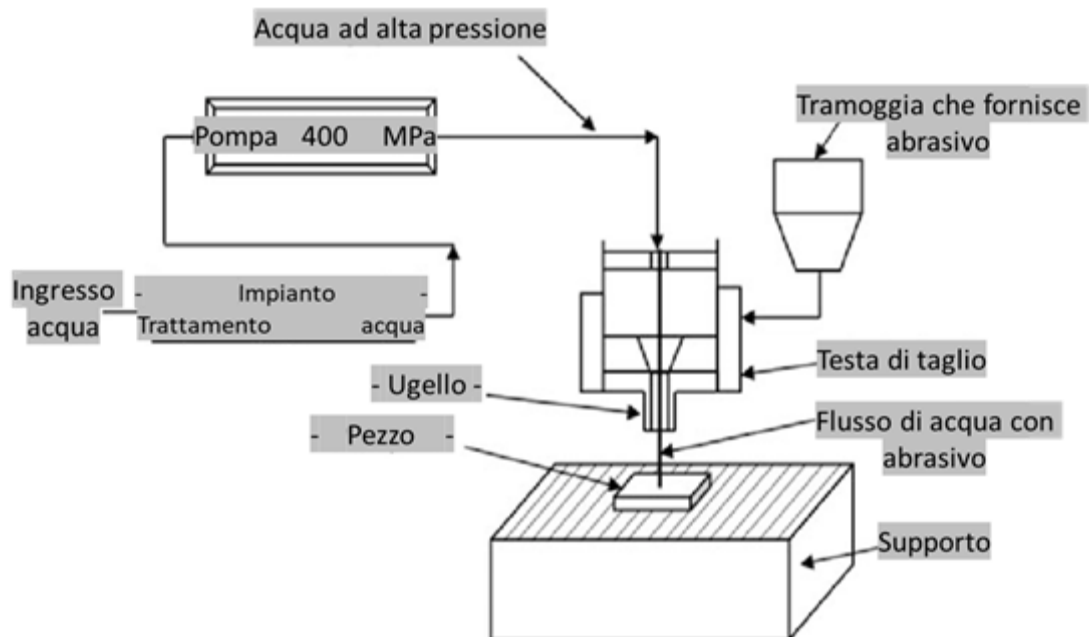
- Pericoloso per le mani;
- All'aumento dello spessore il getto si apre e perde energia.

(a) Schema del processo a getto d'acqua.

(b) Una macchina a controllo numerico per il taglio a getto d'acqua.

(c) Esempi di diverse parti non metalliche ottenute con macchine a taglio a getto d'acqua.

Taglio a getto d'acqua abrasiva



Lavorazioni a Getto d'Acqua Abrasivo

Particelle di **SiC** o **Al₂O₃** di granulometria controllata vengono immesse e trascinate da un getto d'acqua in pressione che attraverso un ugello le focalizza sull'oggetto da tagliare.

Taglio di

- **Metalli;**
- **Non metalli;**
- **Compositi avanzati.**

Vantaggi

- Taglio di materiali più resistenti e di spessori maggiori;

Svantaggi

- Usura dell'ugello che richiede materiali resistenti all'usura (rubino, zaffiro o compositi a base di carburi).