

PROCESSI DI FORMATURA PLASTICA MASSIVA: FUCINATURA

1

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

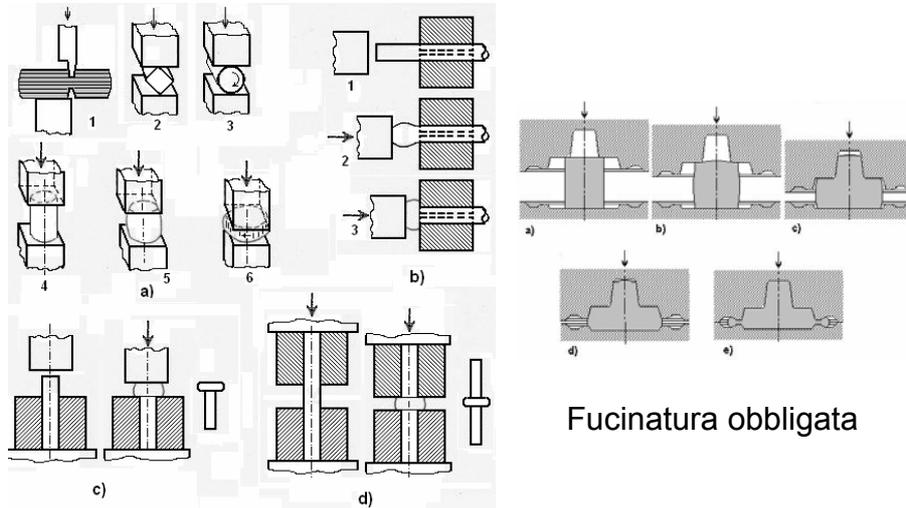
FUCINATURA

- Vasta famiglia di processi di formatura massiva che permette di ottenere prodotti di elevata qualità mediante deformazioni plastiche impartite con rilevanti forze di compressione
- È uno dei più antichi processi di lavorazione dei metalli (oggetti rinvenuti risalenti al 5000 a.C.)
- Può essere:
 - **libera** (fucinatura):
 - deformazione libera tra piastre piane o di forma molto semplice
 - pezzi (piccoli e grandi) di forma semplice
 - **obbligata** (stampaggio massivo):
 - deformazione entro matrici semi-chiuse o chiuse
 - pezzi relativamente piccoli ma con forma complessa

2

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA



Fucinatura libera

Fucinatura obbligata

3

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

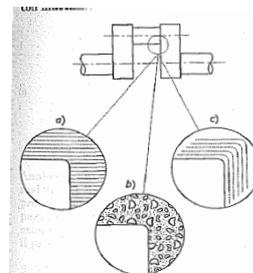
FUCINATURA

Caratteristiche principali dei pezzi fucinati:

- struttura fibrosa corrispondente all'orientamento dei grani cristallini e di seconde fasi
- maggior compattezza ed eliminazione di gran parte dei difetti interni per l'azione di compressione in tutte le direzioni prodotta sul materiale dalle pareti dello stampo



- pezzi con ottime proprietà meccaniche secondo certe direzioni (valori elevati di tenacità, resistenza all'impatto e a fatica e del rapporto resistenza meccanica/peso)



4

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

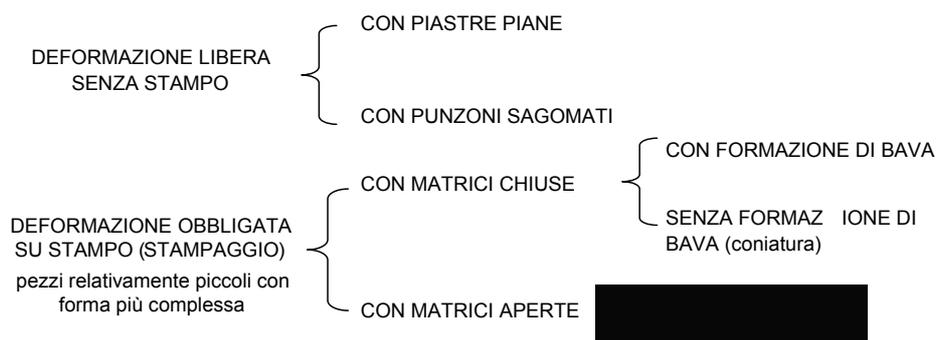
FUCINATURA

- Vantaggi economici:
 - eliminazione di molte operazioni alle macchine utensili
 - minor spreco di materiale
 - possibilità di ottenere un gran numero di pezzi uguali con caratteristiche omogenee e tempi di lavorazione minimi
- In termini quantitativi:
 - più di metà dei pezzi ottenuti utilizzati dall'industria automobilistica
 - un quarto nella costruzione di veicoli pesanti
 - il resto nell'industria aeronautica, ferroviaria ecc.

5

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELLE PRINCIPALI LAVORAZIONI DI FUCINATURA



6

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

È possibile anche stampare pezzi massivi senza avere stampi chiusi. In questo caso si parla di **forgiatura**. Questa operazione dà origine a forgiati che hanno forme molto sbazzate rispetto a quelle dei pezzi finali.



7

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Forgiatura tra stampi piani



8

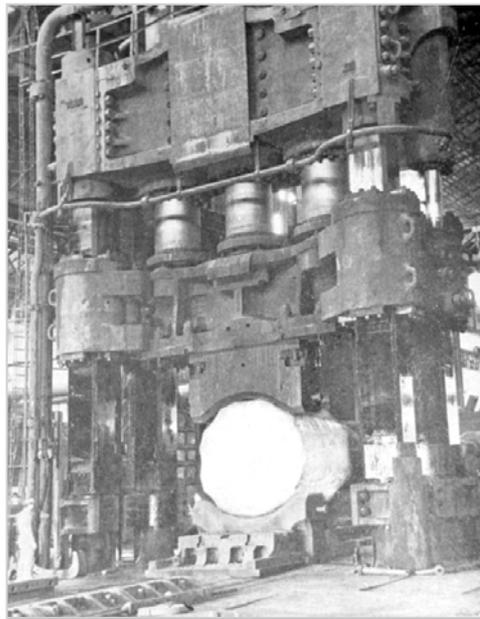
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Manipolatore per forgiatura



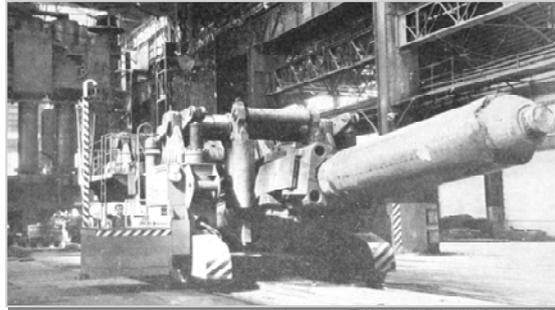
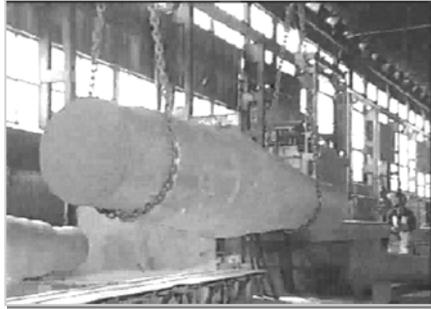
9

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura



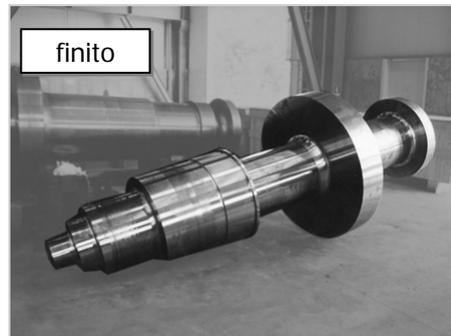
10

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura



Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Si ha comunque il doppio vantaggio di non essere obbligati a partire da pieni da cui ottenere la forma finale solo tramite asportazione di truciolo (costi in termini di tempo e processo) e di poter contare su una distribuzione delle fibre del materiale che possa incrementare le caratteristiche finali del pezzo prodotto.



12

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Tranciatura



13

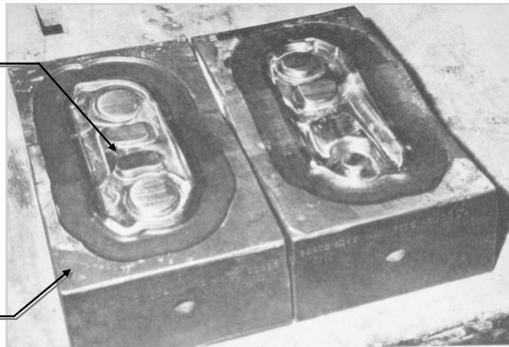
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA TRA STAMPI CHIUSI (STAMPAGGIO)

Corrisponde alla deformazione plastica di un massello attraverso l'applicazione di forze esterne esercitate mediante stampi chiusi.

Cavità che vanno riempite con il materiale.

Stampi



14

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Il grande vantaggio è invece l'incremento di caratteristiche meccaniche che si ricava come risultato del flusso plastico: le fibre del materiale si orientano cioè in modo tale da conferire caratteristiche resistenziali che un equivalente pezzo fuso non ha.



15

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINABILITÀ

- Attitudine di un materiale ad essere deformato mediante processi di fucinatura
- Materiali con buon grado di fucinabilità devono subire, senza rottura, profondi cambiamenti di forma entro un ΔT molto ampio
 - $T < T_{\min}$ \Rightarrow forte aumento di resistenza alla deformazione
 - $T > T_{\max}$ \Rightarrow rischio di incollaggio del materiale in deformazione allo stampo (pezzo da scartare e stampo da ripristinare)
- Altri fattori termici che influenzano la fucinatura:
 - modalità di riscaldamento
 - omogeneità del riscaldamento
 - tempo di permanenza

16

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINABILITÀ

MATERIALE	ΔT DI FUCINATURA (°C)
Leghe di Al	400 - 550
Leghe di Mg	250 - 350
Leghe di Cu	600 - 900
Acciai al C e basso legati	850 - 1150
Acciai inox martensitici	1100 - 1250
Acciai maraging	1100 - 1250
Acciai inox austenitici	1100 - 1250
Leghe di nichel	1000 - 1150
Acciai inox semiausten.	1100 - 1250
Leghe di Ti	700 - 950
Superleghe a base Fe	1050 - 1180
Superleghe a base Co	1080 - 1150
Leghe di Nb	950 - 1150
Leghe di Ta	1050 - 1350
Leghe di Mo	1150 - 1350
Superleghe a base Ni	1050 - 1200
Leghe di W	1200 - 1300

17

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA

- In genere $T_{pezzo} > T_{utensili}$ \Rightarrow flusso del metallo e riempimento dello stampo condizionati, oltre che dalla fucinabilità e della complessità della geometria finale del pezzo:
 - dagli effetti del raffreddamento da parte degli stampi all'interfaccia matrice-stampo
 - dalle modificate condizioni di attrito

18

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

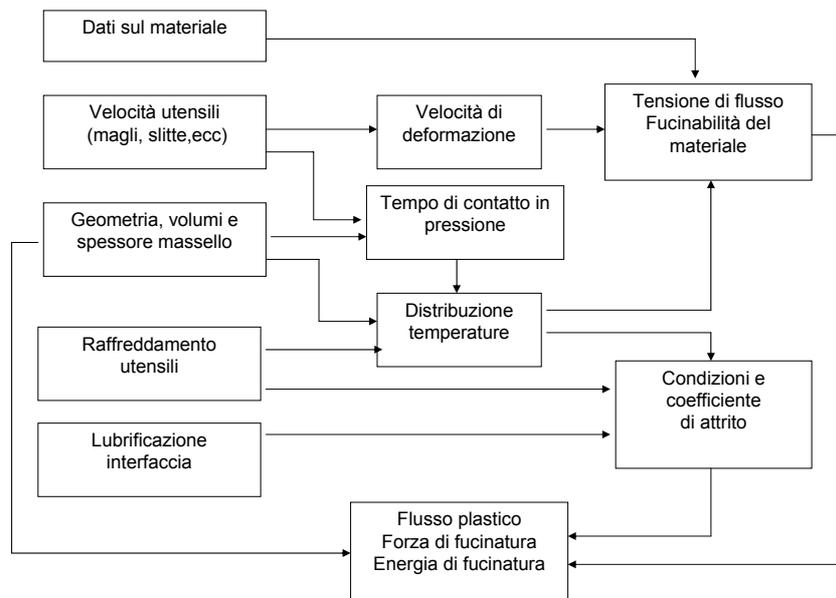
FUCINATURA

- Intesa come sistema di lavorazione è caratterizzata dai seguenti elementi:
 - materiale da lavorare
 - utensili
 - interfaccia materiale - utensile
 - zona di deformazione
 - apparecchiatura
 - prodotto finale
 - impianto ed ambiente

19

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

INTERAZIONE TRA LE VARIABILI DI FUCINATURA



20

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA

- Ottenuta deformando il materiale tra utensili di forma semplice
- Eseguita fundamentalmente:
 - come operazione preliminare in ciclo di stampaggio
 - per la sbazzatura di pochi elementi, richiedenti maggior resistenza meccanica/peso, da sottoporre a successive lavorazioni alle macchine utensili
 - per ottenere una forma più vicina possibile a quella finale allo scopo di ridurre il volume di materiale da asportare
- Contribuisce anche a:
 - omogeneizzare il materiale eliminando porosità e soffiature
 - impartire maggiore resistenza alle sollecitazioni dinamiche grazie all'affinamento della struttura

21

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA

- Spezzoni di partenza ricavati da prodotti della:
 - laminazione
 - trafilatura
 - estrusione
- Materiale talvolta sottoposto a trattamento termico di ricottura per incrementare la lavorabilità
- Fucinatura di getti: pratica non consigliabile a cui si ricorre solo nel caso di pezzi di notevoli dimensioni e di forma semplice
- Sovrametallo sulla superficie del pezzo da lavorare successivamente con asportazione di truciolo:
 - 2÷4 mm per pezzi di piccole dimensioni
 - 15÷20 mm per pezzi di grandi dimensione

22

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA

Operazioni elementari di fucinatura:

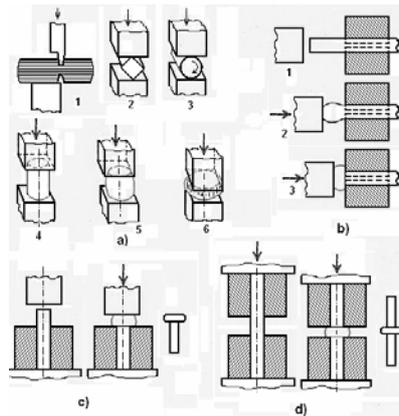
- ricalcatura
- piegatura
- troncatura
- stiratura
- foratura
- spianatura
- strozzatura
- sagomatura
- torcitura

23

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: RICALCATURA

- Schiacciamento, in direzione // a quella delle fibre, di uno spezzone di barra per provocare un aumento della sezione trasversale
- Permette di ottenere:
 - dischi di diametro elevato (a)
 - spezzoni con rigonfiamenti delle estremità a forma di fungo (b e c)
 - spezzoni con rigonfiamento in un tratto intermedio (d)

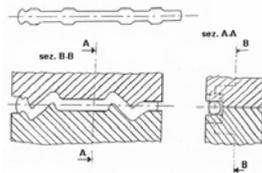
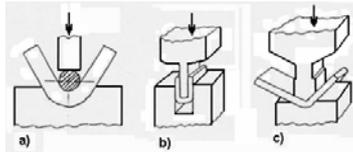


24

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: PIEGATURA

- Curvatura, secondo un determinato raggio, di spezzoni in barra tonda, rettangolare o quadrata
- Eseguita sagomando la piastra in modo opportuno a seconda dell'angolo di piegatura voluto
- Assume un ruolo molto importante quale operazione preliminare di preparazione di pezzi da stampare in serie



Spezzone di barra sottoposto a piegatura allo scopo di assegnargli una forma che segua l'andamento dei bottoni di manovella di un albero a gomito

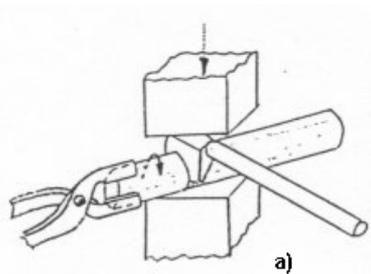
25

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: TRONCATURA

Taglio di spezzoni eseguito mediante:

- un tagliolo che si incunea, per effetto dei colpi della mazza, nel metallo posizionato sull'incudine
- due lame fisse, una sulla mazza e l'altra sulla incudine

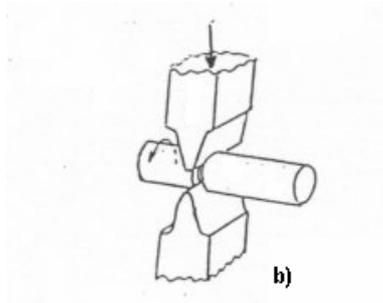


26

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: STROZZATURA

- Riduzione della sezione di una barra cilindrica almeno per un tratto limitato della lunghezza
- Stampi utilizzabili anche per operazioni di troncatura

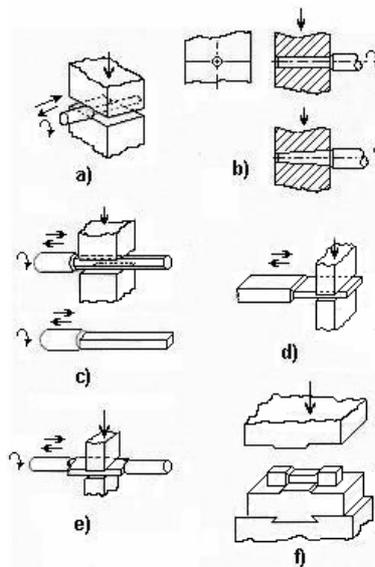


27

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: STIRATURA

- Consiste in un'azione, con colpi di maglio, diretta ad allungare lo spezzone nella direzione delle fibre longitudinali ed eventualmente a variarne di forma
- Pezzo dotato di moto rotatorio attorno al proprio asse → azione su tutta la superficie esterna
- Può essere limitata ad un solo tratto di barra (a ed e)
- Per una migliore finitura superficiale → mazze (semistampi) dotate di impronte semicilindriche o semiconiche (b)
- Rotazioni del pezzo di 60° e 90° → ottenimento di barre esagonali e quadrate (c)

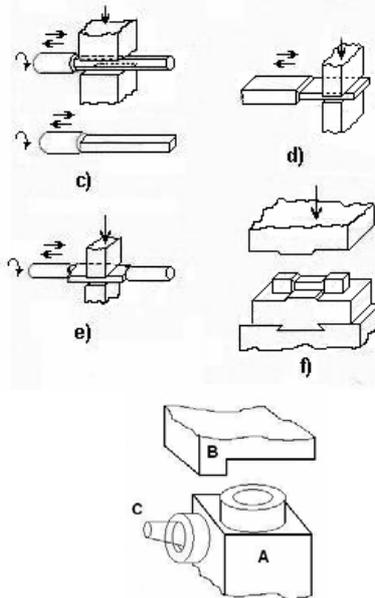


28

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: STIRATURA

- Eseguita anche su barre di sezione rettangolare ove manca la rotazione del pezzo (d)
- Riduzione di sezione per stiramento nella parte centrale di una barra realizzata anche con una coppia di mazzette speciali (f)
- Nel caso di grandi produzioni l'operazione può essere automatizzata mediante martellatrici
- Eseguita anche mediante colpi ripetuti del gradino sporgente della mazza B sulla costa dell'anello infilato nel perno C al fine di ridurne lo spessore e di aumentarne il diametro

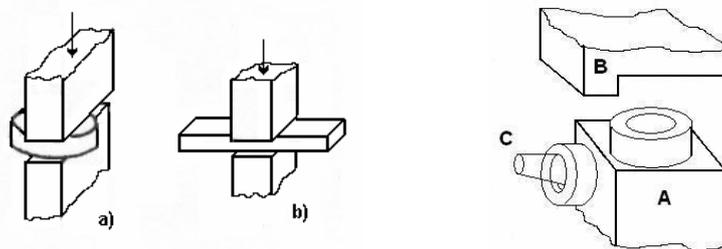


29

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: SPIANATURA

- Permette di rendere piane le superfici irregolari di elementi già sottoposti ad altre operazioni di fucinatura libera
- Consiste nell'esercitare una pressione sui piani deformati agendo con un punzone piano

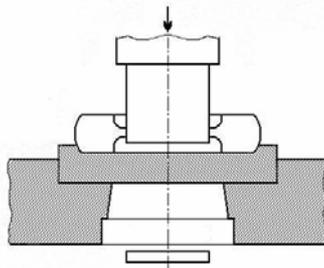


30

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: FORATURA

- Ha lo scopo di praticare un foro in una massa di metallo preventivamente scaldata
- Attrezzature semplici, costituite da un punzone o spina e da una piastra (matrice)
- Permette di ottenere fori di qualunque profilo purché punzone e matrice siano costruiti con la corrispondente forma
- Usata dopo lo stampaggio di ingranaggi, flangie, ecc. ove sia richiesta l'eliminazione della membrana centrale (cartella)

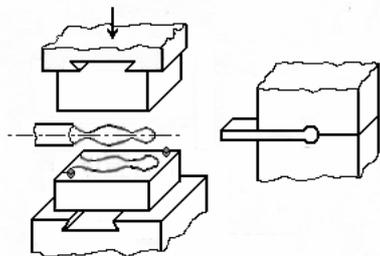


31

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: SAGOMATURA

- Permette di ottenere pezzi di forma complessa ricorrendo a stampi con cavità opportunamente sagomate
- Permette di smaltire anche medie produzioni
- Analoghi sistemi impiegati per la sbazzatura di elementi prima dello stampaggio



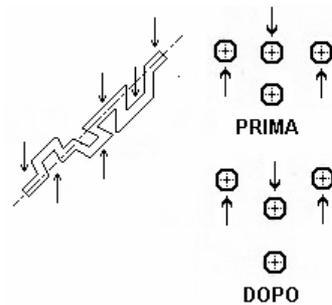
32

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATURA LIBERA: TORCITURA

- Permette di ruotare di un certo angolo un elemento attorno ad un asse in modo da soddisfarne la forma geometrica

Albero a gomiti sottoposto a torcitura



33

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

ANALISI DEL PROCESSO DI FUCINATURA LIBERA

Ricalcatura:

- stato piano di deformazione
- assialsimmetrica

Metodi di analisi:

- metodo dell'elemento sottile
- metodo del lavoro di deformazione uniforme

34

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

STAMPAGGIO (FUCINATURA OBBLIGATA)

- Consiste nell'obbligare un massello ad occupare una cavità che riproduce forma e dimensioni del pezzo da realizzare, ricavata in due semi stampi anche di forma complessa, mediante azioni d'urto o di pressione esercitate da magli o prese
- Usualmente eseguito a caldo ma sono sempre più frequenti i casi di stampaggio a freddo o a tiepido
- Forma finale dello stampato realizzata:
 - senza bava
 - con bava
- Massello costituito da uno spezzone di prodotto laminato o da uno sbozzato
- Stampi molto costosi ➡ volumi di produzione elevati

35

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

CICLO DI STAMPAGGIO

- Costituito in genere da tre fasi:
 - Sbozzatura
 - fornisce la forma preliminare allo spezzone
 - può realizzarsi anche mediante fucinatura libera
 - Stampaggio
 - eseguito in uno o più stadi fino al riempimento delle cavità
 - solitamente accompagnato dalla formazione di bava
 - Eliminazione delle bave
 - eseguita, con appositi stampi tranciatori, per la rimozione delle bave rimaste sul pezzo
- Pezzo ottenuto sottoposto eventualmente a coniatura o lavorato alle macchine utensili per le operazioni di finitura

36

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Processo tecnologico



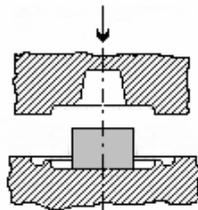
Cliccare sul filmato per avviarlo

37

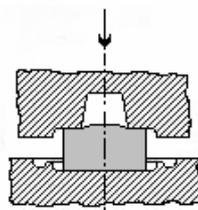
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FASI DELLO STAMPAGGIO

Posizionamento del
massello sul semi
stampo inferiore
Accostamento del
semi stampo
superiore



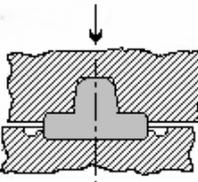
a) fase iniziale



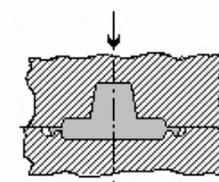
b) 1° fase

Riduzione di
altezza del cilindro
con espansione
radiale

Espansione radiale
con scarsa
riduzione di altezza
Fuoriuscita di parte
del materiale verso
la camera
scartabava



c) 2° fase



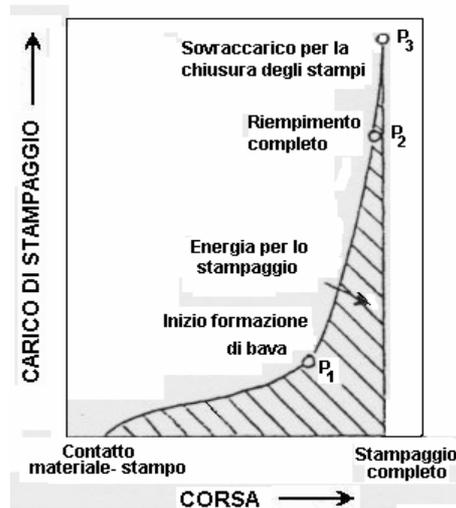
d) 3° fase

Movimento assiale
del materiale con
riempimento
completo della
cavità utile

38

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FASI DELLO STAMPAGGIO



39

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FATTORI INFLUENZANTI IL RIEMPIMENTO DEGLI STAMPI

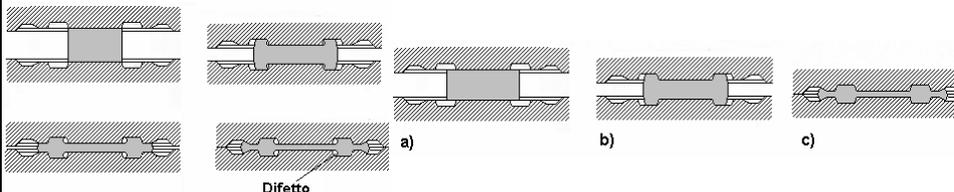
- Corretto riempimento dello stampo garantito da un idoneo flusso plastico del metallo entro lo stampo che dipende da:
 - geometria del massello iniziale
 - geometria della cavità dello stampo
 - condizioni all'interfaccia materiale – stampo
 - temperatura degli stampi

40

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA INIZIALE DEL MASSELLO

- Massello di partenza con forma non opportuna \Rightarrow formazione di difetti nel riempimento dello stampo
- Esempio: stampaggio di una biella partendo da un massello con forma parallelepipedica
 - riempimento delle cavità con formazione di zone di ritorno del materiale
 - in tali zone raffreddamento del materiale \Rightarrow aumento di resistenza al procedere dell'operazione
 - corretto riempimento ottenuto utilizzando uno spezzone di partenza cilindrico con adeguato rapporto diametro/altezza (>1)



41

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Esempio di difetto nel pezzo dovuto a mancato riempimento ed a flusso plastico non ottimale



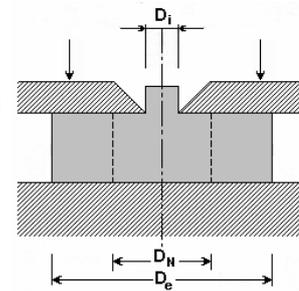
42

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA INIZIALE DEL MASSELLO

Moto del materiale:

- con generazione di una superficie neutra di diametro $D_N > D_i$
 - flusso centripeto internamente a D_N con afflusso dalla luce praticata nello stampo superiore \Rightarrow altezza tappo $>$ corsa stampo superiore
 - caso particolare: $D_N = D_i \Rightarrow$ altezza tappo = corsa dello stampo
- con generazione di una superficie neutra di diametro $D_N < D_i$
 - anche parte del materiale interno a D_i possiede flusso centrifugo \Rightarrow altezza tappo $<$ corsa stampo

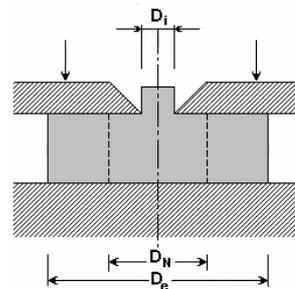


43

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA INIZIALE DEL MASSELLO

- Formazione della superficie neutra legata:
 - al rapporto D_i/D_e
 - bassi valori di tale rapporto ostacolano la formazione della superficie neutra
 - alla natura del contatto che si instaura tra pezzo e stampi
 - valori elevati del coefficiente di attrito favoriscono la nascita della superficie neutra

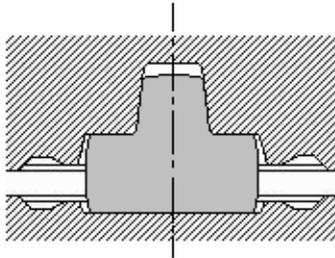


44

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA INIZIALE DEL MASSELLO

- Valore di D_N di notevole importanza nello stampaggio di mozzi flangiati (alla luce di diametro D_i si sostituisce la superficie conica dello stampo)



45

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA INIZIALE DEL MASSELLO

- Dimensioni ottimali del massello (di forma cilindrica) per garantire il corretto riempimento dello stampo ottenute variando, a diametro costante, l'altezza del cilindro partendo da un volume pari a quello del prodotto finale
- Esiste un valore minimo del volume del massello al di sotto del quale il metallo non riempie completamente lo stampo
- Un volume maggiore di quello minimo richiederebbe maggior dispendio di energia per lo stampaggio

46

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

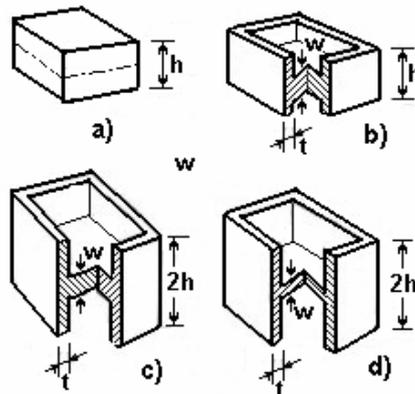
GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Difficoltà di stampaggio legata al rapporto volume/superficie del pezzo attraverso:
 - effetti di attrito
 - riduzione di T
- ↓
- Pezzi con pareti sottili (basso rapporto volume/superficie) più difficili da stampare

47

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO



- Grado di difficoltà di stampaggio crescente, in termini di forze e di numero di stadi richiesti, passando dalla forma *a* alla *d*

48

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

Classificazione delle forme prodotte per stampaggio

CLASSE I: Forme compatte $l \approx b \approx h$	Sotto-gruppo	101 Senza elementi sussidiari	102 Elementi sussidiari unilaterali	103 Elementi sussidiari rotazionali	104 Elementi sussidiari rotazionali e unilaterali	
CLASSE II: Forme discoidali $l \gg b \approx h$	Sotto-gruppo	Senza elementi sussidiari	Con mozzo	Con mozzo e foro	Con cerchietta	Con mozzo e cerchietta
Parti con costole circolari, quadrate e simili	21	211	212	213	214	215
Pezzi trasversali con bracci corti	22		222	223	224	225
Teste ricamate e forme allungate (flange, ecc.)						

CLASSE III: Forme rettangolari $l \gg b \gg h$	Sotto-gruppo	Senza elementi sussidiari	Elementi sussidiari paralleli all'asse della forma principale	Con elementi a forcella aperti o chiusi	Con elementi sussidiari asimmetrici rispetto all'asse della forma principale	Con due o più elementi sussidiari di dimensione simile	
Parti con assi longitudinali estesi	Gruppo di forme	31	311	312	313	314	315
1. Parti corte $l > 3b$	Elemento della forma principale ad asse rettilineo						
2. Di media lunghezza $l = (3 - 6)b$	Asse longit. dell'elemento della forma principale curvato su un piano	32	321	322	323	324	325
3. Parti lunghe $l = (8 - 16)b$							
4. Parti molto lunghe $l > 16b$							
Il numero della classe di lunghezza va aggiunto in coda separato da una barra Es. 322/3							
	33	331	332	333	334	335	
	Asse longit. dell'elemento della forma principale curvato su più ricalchi piani						

49

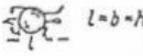
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Primo gruppo: forme compatte
 - le tre dimensioni (lunghezza, altezza ed ampiezza) pressoché uguali
 - numero di stampati appartenenti a questo gruppo limitato

50

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

CLASSE I: Forme compatte 	Sotto-gruppo	101 Senza elementi sussidiari 	102 Elementi sussidiari unilaterali 	103 Elementi sussidiari rotazionali 	104 Elementi sussidiari rotazionali e unilaterali 	
		CLASSE II: Forme discoidali 	Gruppo di forme	Senza elementi sussidiari	Con mozzo	Con mozzo e foro
Parti con contorni circolari, quadrati e simili Pezzi trasversali con bracci corti Teste ricalcate e forme allungate (flange, ecc.)	21 Forme discoidali con elementi unilaterali	211 	212 	213 	214 	215 
	22 Forme discoidali con elementi bilaterali		222 	223 	224 	225 

51

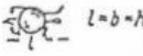
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Secondo gruppo: forme discoidi
 - due dimensioni pressoché uguali e maggiori della terza
 - comprende circa il 30% degli stampati più comuni

52

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

CLASSE I: Forme compatte 	Sotto-gruppo	101 Senza elementi sussidiari 	102 Elementi sussidiari unilaterali 	103 Elementi sussidiari rotazionali 	104 Elementi sussidiari rotazionali e unilaterali 	
		CLASSE II: Forme discoidali 	Gruppo di forme	Senza elementi sussidiari	Con mozzo	Con mozzo e foro
Parti con contorni circolari, quadrati e simili $l = b > h$	21 Forme discoidali con elementi unilaterali	211 	212 	213 	214 	215 
Pezzi trasversali con bracci corti Teste ricalcate e forme allungate (flange, ecc.)	22 Forme discoidali con elementi bilaterali		222 	223 	224 	225 

53

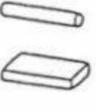
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Terzo gruppo: forme allungate
 - una dimensione significativamente più grande delle altre

54

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

CLASSE III: Forme rettangolari  Parti con assi longitudinali estesi 1. Parti corte $l > 3b$ 2. Di media lunghezza $l = (3 - 8)b$ 3. Parti lunghe $l = (8 - 16)b$ 4. Parti molto lunghe $l > 16b$ Il numero della classe di lunghezza va aggiunto in coda separato da una barra Es. 322/3	Sottogruppo	Senza elementi sussidiari	Elementi sussidiari paralleli all'asse della forma principale	Con elementi a forcella aperti o chiusi	Con elementi sussidiari asimmetrici rispetto all'asse della forma principale	Con due o più elementi sussidiari di dimensione simile
	Gruppo di forme					
	31 Elemento della forma principale ad asse rettilineo	311 	312 	313 	314 	315 
	32 Asse longit. dell'elemento della forma principale curvato su un piano	321 	322 	323 	324 	325 
	33 Asse longit. dell'elemento della forma principale curvato su parecchi piani	331 	332 	333 	334 	335 

55

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Classificazione in base alla forma utile per scopi pratici (stima dei costi e previsione degli stadi di preformatura)
- Metodo non interamente quantitativo \Rightarrow richiede alcune valutazioni soggettive basate sull'esperienza

56

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Fattore di forma longitudinale (α): parametro esprime le difficoltà geometriche di stampati con asse di simmetria rotazionale

$$\alpha = \frac{X_f}{X_c} \qquad X_f = \frac{p^2}{F} \qquad X_c = \frac{p_c^2}{F_c}$$

p e F: perimetro e area della sezione assiale dello stampato
p_c e F_c: perimetro e area della sezione assiale del cilindro che circoscrive lo stampato

- α fornisce un confronto tra le forme di stampato e cilindro \implies all'aumentare della complessità della forma cresce α
- Numero di sbazzati intermedi legati qualitativamente al valore di α

57

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Protuberanze e orli, man mano che si allontanano dal centro in stampati rotondi, sempre più difficili da ottenere
- Fattore di forma laterale (β):

$$\beta = \frac{R_g}{R_c}$$

- R_g: distanza radiale dall'asse di simmetria al centro di gravità di metà della sezione trasversale
- R_c: massimo raggio dello stampato (cioè quello del cilindro circoscritto)

58

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

GEOMETRIA DELLO STAMPATO

- Fattore di complessità di forma:

$$S = \alpha \cdot \beta$$

- S esprime la complessità di una semisezione trasversale di uno stampato circolare rispetto a quella del cilindro circoscritto
- Nelle forme circolari il materiale si muove durante l'operazione di fucinatura lateralmente verso gli estremi del cilindro dal centro che è considerato un asse neutro
- Nello stampaggio non simmetrico il materiale si muove ancora verso l'esterno da una superficie neutra \Rightarrow una volta definita la superficie neutra si può calcolare un fattore di complessità di forma anche per forme asimmetriche

59

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

CONDIZIONI ALL'INTERFACCIA MATERIALE - STAMPO

- Tensioni tangenziali di attrito all'interfaccia causano:
 - azione di ostacolo del flusso radiale del materiale
 - aumento delle forze di stampaggio
 - aumento dell'usura degli stampi



- Lubrificazione
 - necessaria per ridurre le τ di attrito
 - tipo di lubrificante dipendente dalla temperatura di stampaggio

60

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

TEMPERATURA DEGLI STAMPI

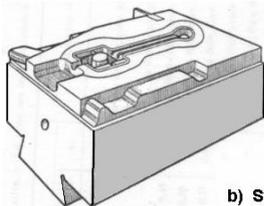
- Preriscaldamento degli stampi riduce la trasmissione del calore dal pezzo verso gli stampi:
 - rende la deformazione più omogenea
 - migliora il riempimento degli stampi
 - riduce la forza di stampaggio

61

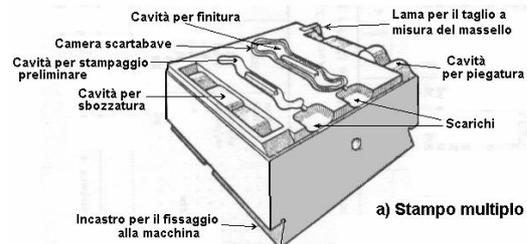
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

CAVITÀ DEGLI STAMPI

- Ricavate:
 - su blocchi singoli
 - su un unico blocco contenente anche cavità per altre operazioni (taglio dello spezzone di partenza, piegatura, sbozzatura, ecc.)



b) Stampo per biella



a) Stampo multiplo

62

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

REALIZZAZIONE DEGLI STAMPI

- Preparazione delle cavità degli stampi tenendo presente alcuni aspetti fondamentali:
 - bavatura
 - sformatura
 - ritiro

63

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

BAVATURA

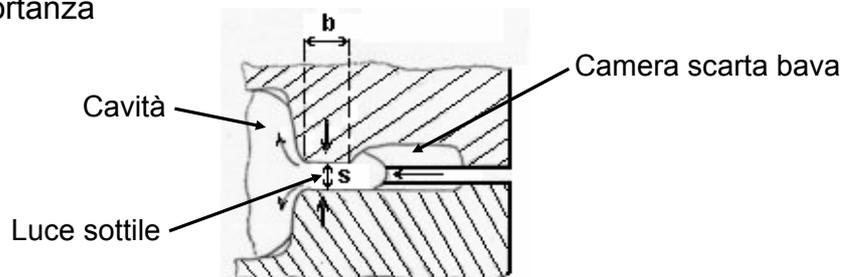
- Stampi non reciprocamente a contatto al termine della fase di riempimento della cavità



- Possibilità, per parte del materiale, di scorrere radialmente verso l'esterno della cavità ►► formazione della bava



- Progettazione del canale di bava aspetto di fondamentale importanza

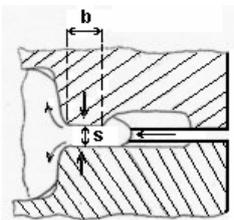


64

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

BAVATURA

- Funzioni della luce sottile e della camera scarta bava:
 - ostacolare il flusso radiale del materiale e favorire quello all'interno fino al completo riempimento della cavità
 - accogliere il materiale in eccedenza permettendo l'ottenimento di pezzi identici anche partendo da dimensioni diverse del massello

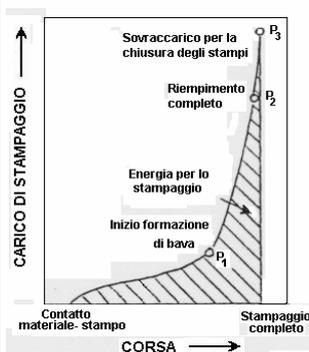


- Diminuzione di s e aumento di b \Rightarrow crescita della pressione di stampaggio causato:
 - dall'aumento delle forze di attrito
 - della diminuzione di T (a caldo) nella luce sottile

65

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

BAVATURA



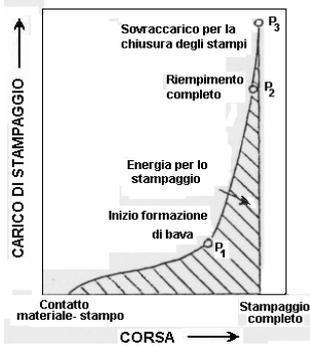
- Carichi bassi fino al parziale riempimento dei dettagli più complessi
- Al raggiungimento della luce di bava (P_1), per un corretto riempimento:
 - il volume di metallo, sufficiente a riempire le restanti porzioni delle cavità, rimanga intrappolato tra gli stampi
 - Il flusso di metallo nella luce di bava sia più difficoltoso del riempimento dei dettagli più complicati dello stampo
- Forte aumento della forza oltre P_1 fino al completo riempimento della cavità (P_2)

66

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

BAVATURA

- Carico aumentato fino a P_3 per garantire l'effettivo riempimento
- Da P_2 a P_3 flusso del metallo in prossimità della, o nella, luce di bava con riempimento della camera scartabave



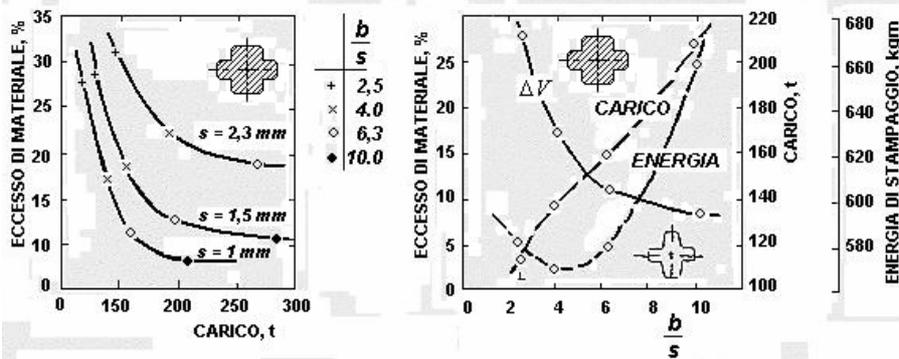
- Forza finale determinata dalla dimensione della bava
- Aumento della pressione media al crescere del rapporto tra l'ampiezza b e lo spessore s della luce di bava

$$p = \bar{\sigma} \left(1 + 0,92 \frac{b}{s}\right)$$

67 Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

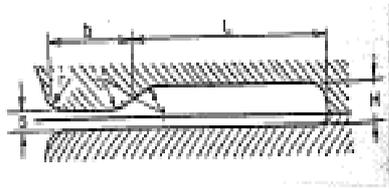
BAVATURA

- Correlazioni tra volume di materiale in eccesso, geometria della bava, carico ed energia di stampaggio



68 Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

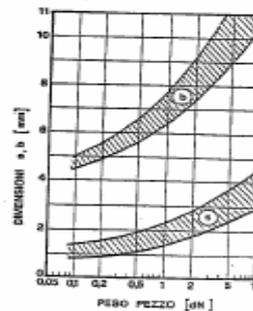
BAVATURA



$$s = 0.07S / p$$

Tabella 9.1 - Dimensioni della camera scartaboya (mm).

a	b	r	H	L
0,8	5	1,0	2,3	19
0,9	6	1,0	2,4	20
1,0	7	1,0	2,5	22
1,6	8	1,0	4,3	22
2,0	9	1,5	6,0	25
3,0	10	1,5	6,9	28
4,0	11	2,0	8,0	33
5,0	12	2,5	9,5	32
6,0	13	2,6	11,0	39
8,0	14	3,0	14,0	38
10,0	16	3,0	17,0	40



69

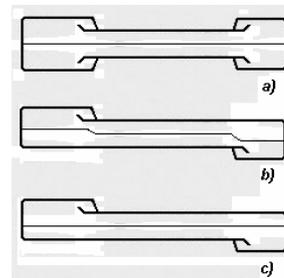
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

SFORMATURA: PIANO DI DIVISIONE

- Piano di separazione dei due semi stampi (piano di bava)
- Disposizione tale da consentire un'agevole sformatura del pezzo ed una disposizione delle fibre nella maniera più favorevole dal punto di vista della resistenza meccanica
- Generalmente è un piano di simmetria
- Eventualmente suddivisione su più piani

Esempi

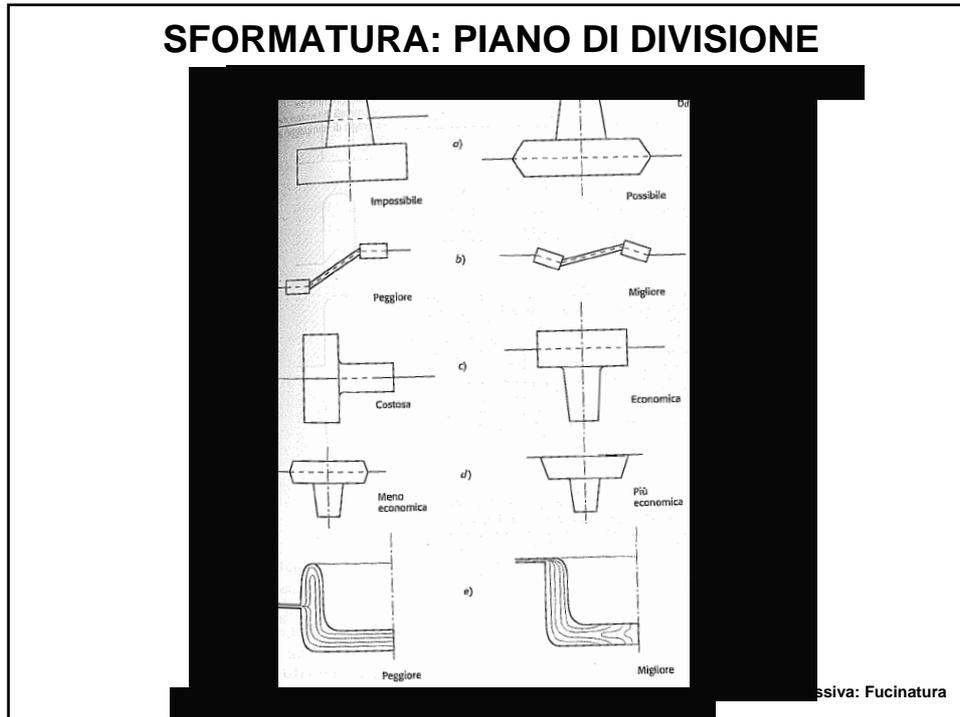
- biella (a): scelta facile per la presenza di un piano di simmetria
- casi b) e c): si consiglia la soluzione c) caratterizzata da uno stampo più semplice



70

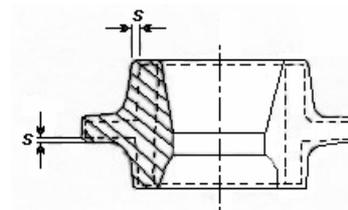
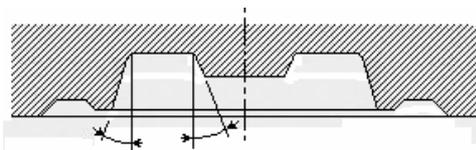
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

SFORMATURA: PIANO DI DIVISIONE



SFORMATURA: ANGOLI DI SFORMO

- Estrazione del pezzo agevolata dalla esistenza di angoli di sformo che evitano la presenza di pareti \perp al piano di bava
- Di norma assumono valori maggiori per superfici interne ($7\div 8^\circ$) e minori per superfici esterne ($5\div 7^\circ$)
- Vanno scelti ed assegnati in modo da garantire sovrametallo in ogni punto della superficie

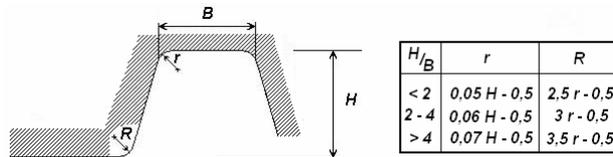


72

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

RACCORDI

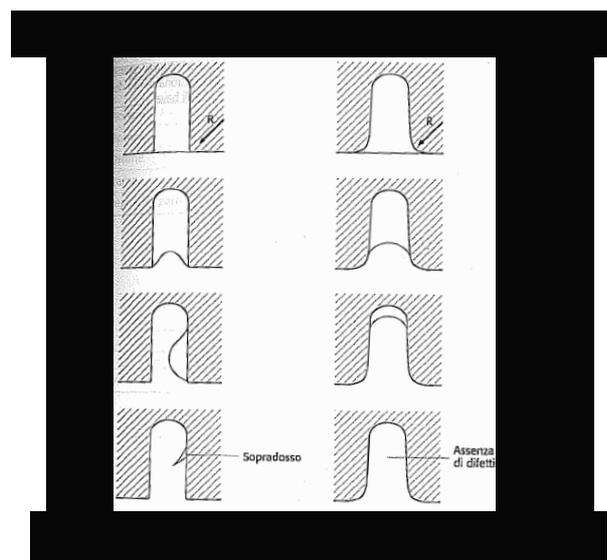
- Indispensabili per evitare la presenza nello stampo di spigoli vivi
- Duplice funzione:
 - ridurre il rischio di punti di elevata concentrazione di tensioni
 - facilitare il riempimento degli stampi:
 - difficoltà del materiale nel seguire brusche variazioni di direzione \Rightarrow scostamento dalla parete della forma e riempimento anomalo



73

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

RACCORDI



74

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

RITIRO

- Diminuzione delle dimensioni dello stampato conseguente alla riduzione di T da quella di stampaggio a quella dell'ambiente

Materiale	Ritiro medio %
acciaio	1% tra 1000 e 20°C
rame e bronzo	0.8% tra 500 e 20°C
ottone	0.9% tra 500 e 20°C
alluminio e sue leghe	0.9% tra 400 e 20°C



- Quote delle cavità degli stampi maggiorate se si desidera un prodotto finale nelle quote dimensionali prescritte

75

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

SOVRAMETALLO

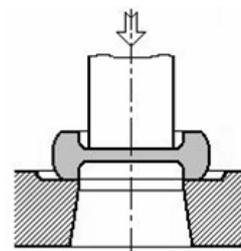
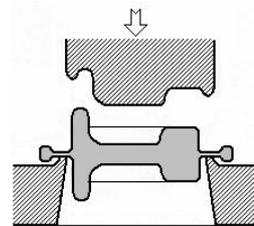
- Previsto sulle superfici da sottoporre a lavorazioni per asportazione di truciolo
- Deve tener conto dei fenomeni di ossidazione alle alte T
- Deve poter compensare:
 - i difetti superficiali
 - le irregolarità di riempimento degli stampi
 - le tolleranze dimensionali tipiche dello stampaggio
 - le difficoltà di valutazione esatta del ritiro in ogni punto del pezzo

76

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

ASPORTAZIONE DELLE BAVE

- Eseguita mediante tranciatura
- Bava esterna al pezzo:
 - azione con un punzone (di forma tale da adeguarsi esattamente allo stampato)
 - pezzo costretto ad entrare nella matrice
- Bava costituita da una membrana centrale:
 - azione con un punzone di forma semplice
 - membrana tranciata e spinta nella matrice



77

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PREFORMATURA

- Operazioni di stampaggio spesso finalizzate all'ottenimento di forme geometriche complesse o che presuppongono entità di deformazione elevate ➡ necessità di eseguire uno o più passaggi intermedi
- Principali obiettivi del prestampaggio: ottenere, mediante idonea distribuzione del flusso:
 - pezzi senza difetti ed un adeguato riempimento delle cavità
 - minimizzazione del materiale perso nella bava
 - minimizzazione dell'usura dello stampo finitore
 - struttura fibrosa desiderata e controllo delle proprietà meccaniche

78

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PREFORMATURA

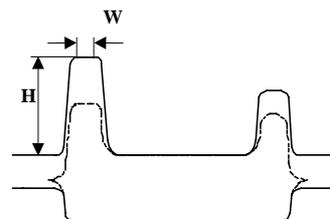
- Determinazione di numero e forma degli sbazzati intermedi
- Problema largamente analizzato
- Solo di recente si è passati da procedure basate sull'esperienza empirica a tecniche basate su modelli numerici e/o matematici

79

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PREFORMATURA: ESEMPIO

- Principi base che fungono da linee guida nella progettazione di sbazzati intermedi per componenti rib-web: **Rapporto tra altezza (H) e larghezza (W) della costola di rinforzo:**
- Valori elevati di H/W rendono più difficoltosa la realizzazione della costola ➤ aumento del numero di passaggi intermedi
 - se $H/W < 2$ ➤ non sono necessari passaggi intermedi
 - se $H/W = 2 \div 3$ ➤ necessità di un passaggio intermedio
 - se $H/W > 3$ ➤ numero minimo di passaggi pari a 2



80

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PREFORMATURA: ESEMPIO

			a) <i>massello</i>
			b) <i>ricalcatura</i>
			c) <i>prestampaggio</i>
			d) <i>stampaggio di finitura</i>

81

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PREFORMATURA: ESEMPIO

- **Raggi di raccordo degli stampi di preformatura:**
 - > di quelli dello stampo di finitura per favorire il flusso del materiale ed il riempimento finale
- **Flusso del materiale** durante l'operazione finale verso la cavità degli stampi con ridotto scorrimento ►► diminuzione dell'effetto dell'attrito ►► riduzione dell'usura dello stampo finitore e dell'energia totale richiesta

82

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PREFORMATURA: ESEMPIO

- Regole empiriche spesso insufficienti per definire compiutamente la migliore geometria degli sbazzati intermedi
- Procedure di progettazione efficaci messe a punto usando tecniche FEM

83

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- Valutazione molto complessa eseguita in generale mediante quattro approcci:
 - stima in base a precedenti lavorazioni del materiale in forme simili
 - valutazione empirica con la relazione:

$$F = C_s \bar{\sigma} A_t$$

- A_t : area della sezione trasversale (compresa la bava) in corrispondenza della linea di divisione degli stampi
- C_s : fattore di costrizione dipendente dalla complessità del prodotto
 - $C_s = 1.2 \div 2.5$ ricalcatura tra stampi piani
 - $C_s = 3 \div 8$ stampaggio di forme semplici
 - $C_s = 8 \div 12$ stampaggio di forme complesse

$$\bar{\sigma} = k \cdot \dot{\varepsilon}^m$$

84

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

Valutazione molto complessa

$$\sigma = k \cdot \dot{\epsilon}^m$$

$$\dot{\epsilon} = v / h$$

$$F_{\max} = \sigma_m \cdot S \cdot (1 + 2 \cdot f \cdot b / s) \cdot \eta$$

85

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

$$F_{\max} = \sigma_m \cdot S \cdot (1 + 2 \cdot f \cdot b / s) \cdot \eta$$

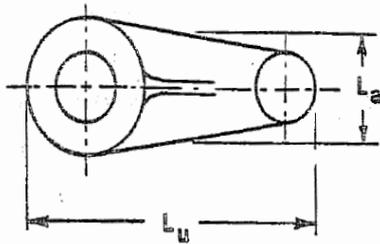


Tabella 8.8 - Valori di η

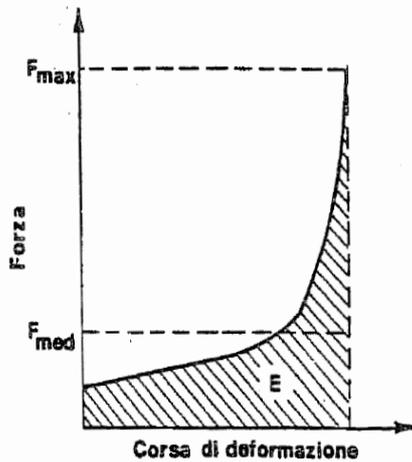
L_u/L_a	η
1	1,00
2	1,08
5	1,20
10	1,35

$$\sigma_m = (\sigma_p \cdot S_p + \sigma_b \cdot S_b) / S$$

86

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO



$$E = \int_0^C F \cdot dh$$

$$F_{med} = \lambda \cdot F_{max}$$

$$\lambda = 0.2 \div 0.5$$

$$E = F_{med} \cdot C$$

87

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

• Valutazione con il metodo dell'elemento sottile

- Divisione del pezzo da stampare in forme semplici (cavità dello stampo e anello relativo alla luce di bava) che possono essere trattate con il metodo dell'elemento sottile
- Forza di stampaggio ottenuta come somma delle forze che competono alle varie parti di suddivisione

Forza di fucinatura
dovuta alla
deformazione e
all'attrito nella cavità
dello stampo:

$$F_c = 2\pi \left[-2 \frac{L^3}{3} \frac{\tau}{t} + \left(2\tau \frac{L}{h} + p_b \right) \frac{L^2}{2} \right]$$

88

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- Forza di fucinatura nell'anello relativo alla luce di bava:

$$F_b = 2\pi \left[-2 \frac{\tau}{t} \frac{a^3 - L^3}{3} + \left(2\tau \frac{a}{t} + \bar{\sigma} \right) \frac{a^2 - L^2}{2} \right]$$

Forza di fucinatura totale fornita dalla somma delle forze relative a ciascuna parte in cui si è scomposto il fucinato:

$$F_T = F_b + F_c$$

89

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- Procedimento affinato:
 - considerando il diverso incrudimento che si ha nelle diverse zone radiali anche semplicemente considerando valori medi delle tensioni di flusso
 - differenziando le τ dovute agli attriti nella luce di bava e nella parte centrale del forgiato (τ_b e τ_c) che saranno legate rispettivamente alle tensioni di flusso plastico nelle due zone)

90

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- Valutazione con tecniche FEM:
- Metodo FEM basato sulla discretizzazione del sistema continuo da analizzare in una serie di piccoli elementi, interconnessi in punti nodali, che, in numero adeguato, sono in grado di descriverlo dettagliatamente
- Soluzione di problemi complessi con equazioni differenziali trasformata in soluzione di un problema algebrico in cui tutte le complesse equazioni degli elementi finiti sono risolte in virtù della semplicità delle forme (triangoli, quadrati, ...)
- Inizialmente si determinano, ad una ad una, le relazioni tra le variabili relative agli elementi

91

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- Si definisce quindi una matrice che rappresenta l'elemento, di dimensioni uguali al n° di incognite dell'elemento stesso \Rightarrow si ha a che fare con una relazione algebrica anziché con una differenziale
- L'intero problema si riassume in un'unica grande equazione algebrica assemblando le matrici degli elementi
- Nel caso di analisi delle lavorazioni plastiche, il problema è quello di determinare l'equilibrio della struttura, ossia valutare, sotto l'azione dei carichi esterni e con opportune condizioni al contorno, il campo degli spostamenti, delle deformazioni e delle tensioni che si manifestano all'interno del materiale in deformazione

92

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- Il corpo in esame viene suddiviso in una serie di elementi di dimensioni finite e di semplice geometria, il cui numero è dipendente dalla complessità del problema e dal grado di accuratezza che si vuole raggiungere.
- Essi sono connessi l'uno all'altro ed i punti di connessione che si trovano ai loro spigoli, o in opportune posizioni, sono detti nodi;
- per ciascun nodo sono definite le coordinate e gli spostamenti.
- La prima approssimazione fatta con il metodo FEM è che l'elemento viene considerato come un punto materiale, ovvero le coordinate, gli spostamenti ed i relativi incrementi e conseguentemente le tensioni e le deformazioni vengono considerate costanti all'interno di ogni elemento.

93

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- In particolare, le coordinate e gli spostamenti sono ottenuti interpolando quelli relativi a tutti i nodi che definiscono l'elemento stesso.
- Da questi si risale poi alle deformazioni con un'espressione in forma matriciale e conseguentemente alle tensioni che sono messe in relazione alle deformazioni tramite opportuni legami costitutivi del tipo:
- $\{\sigma\}=[D]\{\epsilon\}$
- dove $\{\sigma\}$ è il vettore delle tensioni, $\{\epsilon\}$ è il vettore delle deformazioni, e $[D]$ la matrice di rigidità.
- La matrice $[D]$ può essere semplice se ci si riferisce al solo caso elastico, ma piuttosto complicata se ottenuta nel caso elasto-plastico.

94

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- La valutazione classica delle tensioni e delle deformazioni è effettuata in maniera lagrangiana, nel senso che la maglia di elementi finiti ottenuti dalla discretizzazione si deforma con il corpo. In definitiva, le deformazioni sono relative sempre al medesimo elemento, definendone così la storia di carico. Ciò perché lo stato di tensione e di deformazione in regime plastico non dipende, come noto, solo dai valori iniziali e finali, ma anche dalla storia del carico.
- Il calcolo della soluzione relativa all'equilibrio dell'elemento e quindi dell'intera struttura viene condotto usando il metodo degli spostamenti in cui questi sono la principale incognita del problema da cui poi discendono le deformazioni e le tensioni.

95

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FORZE DI STAMPAGGIO

- L'equazione di equilibrio è fornita dal principio dei lavori virtuali per il quale, se ad una struttura in equilibrio viene impartito un qualsiasi spostamento virtuale, purché congruente, il lavoro totale eseguito dalle forze esterne applicate alla struttura, in seguito a tale spostamento, uguaglia il lavoro totale delle tensioni interne in conseguenza del campo di deformazione indotto dallo spostamento virtuale imposto. In generale, è stabilita la dipendenza fra i carichi e gli spostamenti. Ne deriva che, assegnati i carichi esterni e fissate le opportune condizioni al contorno, si può risalire nell'ordine agli spostamenti, alle deformazioni e alle tensioni

96

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

DURATA DEGLI STAMPI

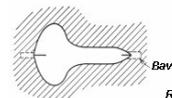
- Dipende fortemente dalla lubrificazione e dalla complessità degli stampati
- Per stampati complessi, cioè con pareti sottili, uno stampo può produrre 200 pezzi per esempio in lega di alluminio, mentre per pezzi semplici si possono produrre fino a 4000-5000 pezzi

97

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

DIFETTI DI STAMPAGGIO:

- Mancata frantumazione della struttura dendritica del lingotto:
 - provocata da una deformazione limitata alla superficie (magli troppo leggeri)
 - minimizzata utilizzando presse
- Formazione di cricche superficiali:
 - può essere causata dall'eccessivo lavoro di superficie ad una T troppo bassa
- Formazione di cricche sul piano di bava:
 - tendono a penetrare nel prodotto quando le bave vengono tagliate
 - diventa prevalente quanto più è sottile la bava in relazione all'altezza iniziale del massello
 - evitato aumentando lo spessore della bava, variandone la posizione nel pezzo, tagliando le bave a caldo o trattando il materiale prima di tagliarle a freddo



98

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

DIFETTI DI STAMPAGGIO

- Riprese di stampaggio:

- si formano quando due superfici piegano l'una verso l'altra senza saldarsi completamente
- si verificano quando il metallo si trova a fluire in parti delle cavità parzialmente riempite a causa di angoli acuti, eccessivo raffreddamento o attrito



- Scaglie libere o regioni di lubrificante:

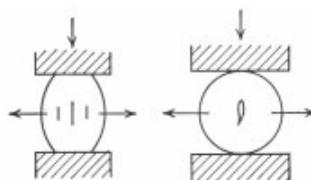
- si possono annidare nelle nicchie profonde dello stampo per formare delle sacche e provocare sottoriempimento

99

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

DIFETTI DI STAMPAGGIO

- Formazione di cricche interne:



- Tensioni residue nei pezzi stampati:

- sono generalmente trascurabili in quanto le deformazioni avvengono a caldo
- grandi componenti in acciaio lavorati a caldo devono essere raffreddati molto lentamente in quanto, a causa di tensioni residue, si possono sviluppare cricche interne

100

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MACCHINE PER FUCINATURA E STAMPAGGIO

- Le operazioni di stampaggio/fucinatura sono effettuate su macchine che prendono il nome di magli e presse.
 - Organo mobile: esercita sul pezzo la forza necessaria per deformato;
 - Parte fissa su cui è disposto il pezzo.
- Il maglio e la pressa hanno campi di applicazione ben definiti e distinti:

101

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MACCHINE PER FUCINATURA e STAMPAGGIO

• MAGLI

- agiscono velocemente, mediante azioni dinamiche successive che provocano una serie di urti istantanei ►►► schiacciamento superficiale progressivo del materiale che diminuisce dall'esterno verso il centro ►►► deformazione disomogenea
- utilizzati solo nella *fucinatura a caldo*, nella *coniatatura* ed in qualche operazione relativa alla *lavorazione delle lamiere*

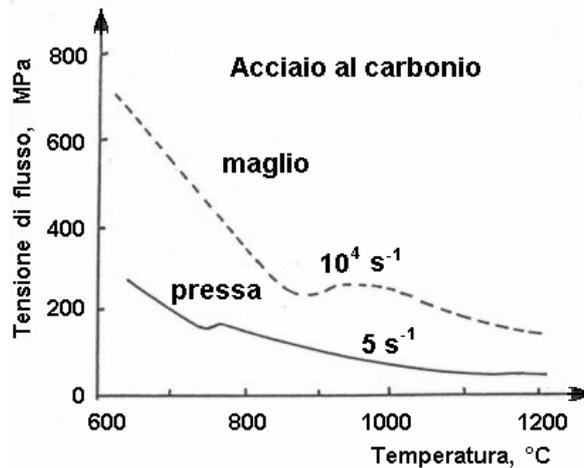
• PRESSE

- agiscono lentamente mediante un'azione (normalmente unica per ciascun pezzo) che si può considerare statica e che ha un effetto uniforme e profondo su tutto il pezzo ►►► deformazione più omogenea
- utilizzate anche nello stampaggio delle lamiere e nell'estrusione

102

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MACCHINE PER FUCINATURA e STAMPAGGIO



103

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Macchine per lo stampaggio

Macchine ad energia delimitata	Magli	<i>a semplice effetto</i>
		<i>a doppio effetto</i>
		<i>a contraccolpo</i>
	Presse a vite	<i>a vite traslante</i>
<i>a vite rotante</i>		
Macchine a corsa delimitata	Macchine ad alta velocità	
	Presse ad eccentrico	
	Presse a ginocchiera	
	Fucinatrici e martellatrici	
	Laminatoi sbozzatori	
Macchine a forza delimitata	Presse idrauliche	<i>azione di spinta</i>
		<i>azione di tiro</i>
	Elettrocalcatrici	

104

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Principali caratteristiche dei magli

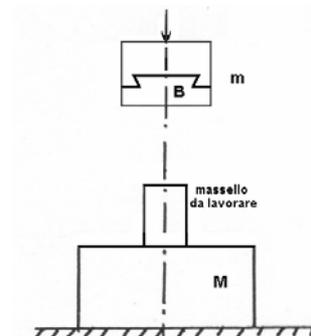
- Sono le macchine più versatili e più economiche per generare carichi ed energie per un processo di formatura
- Sono le macchine di forgiatura più comunemente usate specialmente per lavorare acciaio in lotti di produzione medio-piccoli
- E' una macchina ad energia delimitata

105

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MAGLI

- Costituiti essenzialmente da:
 - un'incudine su cui poggia il massello da lavorare (M)
 - un'incastellatura che ha la funzione di reggere la mazza (m), sollevarla con organi motori conferendole l'energia per deformare il massello e farla cadere sul massello
- Sono di tre tipi:
 - a semplice effetto
 - a doppio effetto
 - a contraccolpo



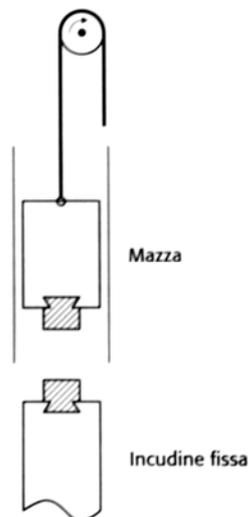
106

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MAGLI A SEMPLICE EFFETTO

Magli a semplice effetto (gravità)

- L'energia potenziale della mazza definisce la forza massima ottenibile



107

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MAGLI A SEMPLICE EFFETTO

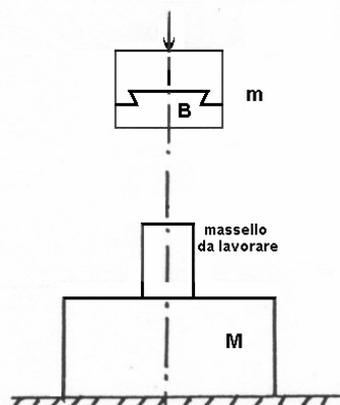
- Sfruttano l'energia cinetica che una mazza acquista rispetto ad un piano di riferimento se lasciata cadere da una data altezza
- Energia persa dal sistema e trasformata in lavoro di deformazione del massello

E_m : energia della mazza (di massa m)

E_M : energia dell'incudine (di massa M)

v_1 : velocità di caduta della mazza

v_2 : velocità con cui mazza e incudine si muovono dopo l'urto



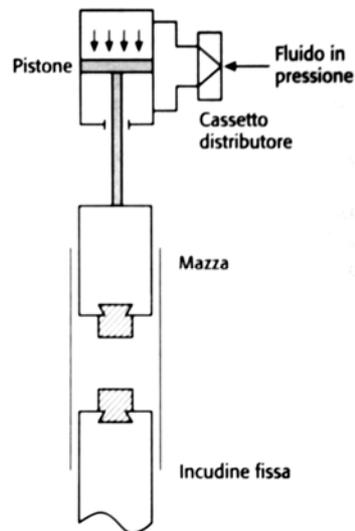
108

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MAGLI A DOPPIO EFFETTO

Magli a doppio effetto (gravità più fluido sotto pressione):

- La gravità in questo caso agisce insieme a elementi ausiliari come ad esempio un fluido in pressione

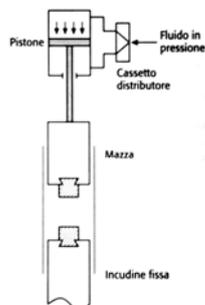


109

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MAGLI A DOPPIO EFFETTO

- Assommano all'energia cinetica di caduta della mazza dall'altezza prefissata (H) quella proveniente da una spinta generata dall'apparato motore nel verso della discesa \Rightarrow aumento della velocità della mazza \Rightarrow aumento del numero di colpi al minuto
- Velocità della mazza funzione, oltre che del peso, anche della forza impressa dal fluido che trasmette una pressione p su uno stantuffo di superficie S :



V_t : velocità della mazza

110

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

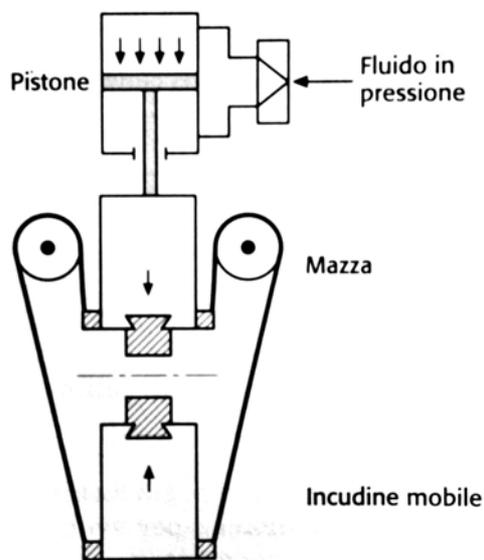
MAGLI A CONTRACCOLPO

- Nel maglio a contraccolpo l'incudine si muove in direzione opposta alla mazza.
- Mazza e incudine hanno circa la stessa massa (l'incudine pesa circa il 5% in più della mazza)
- Il sincronismo è ottenuto mediante cinghie in acciaio o attraverso un sistema idraulico
- Queste macchine possono assumere anche una configurazione orizzontale

111

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MAGLI A CONTRACCOLPO



Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MAGLI A CONTRACCOLPO

- Presenza di una seconda mazza controbattente (in luogo dell'incudine fissa) agente in senso contrario alla prima e dotata della stessa velocità
- Non c'è trasmissione del colpo sulle fondazioni ➡ operazioni di stampaggio pesante senza trasmissione di vibrazioni sensibili ad altre apparecchiature e macchine

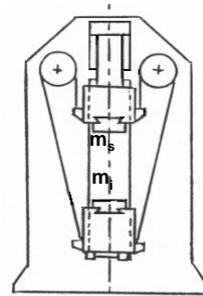
F: forza applicata dalla mazza superiore

Q_i e Q_s : pesi delle mazze

E_s : energia della mazza

E_i : energia dell'incudine

v: velocità della mazza



113

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE

- Azione continua e progressiva che si esplica fino al cuore del pezzo
- Scarsa rumorosità
- Assenza di vibrazioni
- Fondazioni non grandi
- Durate elevate degli stampi

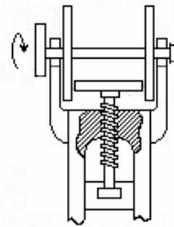
- Le più diffuse sono tre tipi:
 - meccaniche a vite
 - meccaniche ad eccentrico
 - oleodinamiche

114

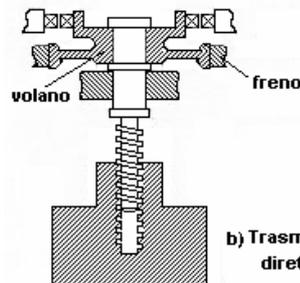
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE A VITE

- Conversione dell'energia cinetica angolare del volano in energia lineare della slitta mediante vite
- Trasmissione del moto alla vite:
 - mediante ruote di frizione
 - diretta



a) Trasmissione con ruote di frizione



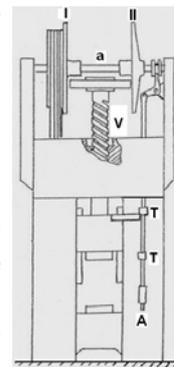
b) Trasmissione diretta

115

PRESSE MECCANICHE A VITE

Schema di funzionamento di una pressa a frizione:

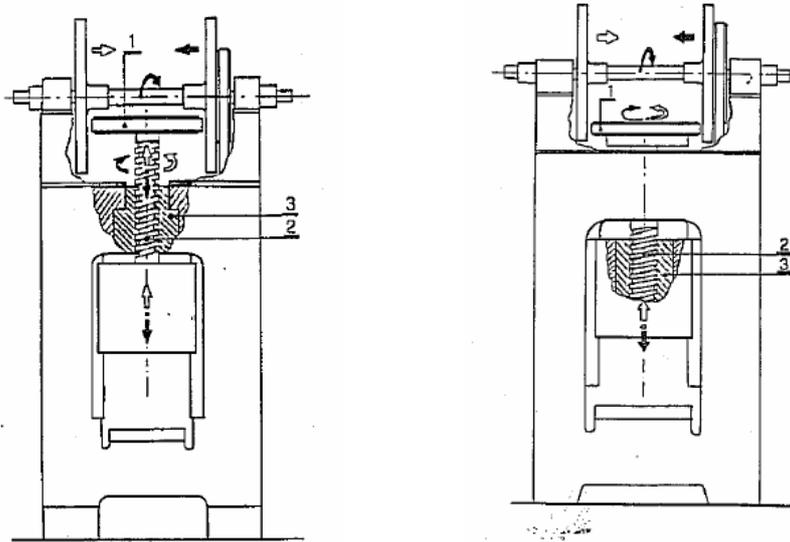
- movimento rotatorio dell'albero *a*, sul quale sono montati due dischi (I e II), ottenuto mediante cinghie
- movimento di andata (discesa) della vite (*v*) ottenuto per attrito tra volano e disco di discesa
- aumento della velocità e quindi dell'energia del volano durante il movimento della vite verso il basso poiché in questa direzione aumenta la sua velocità periferica
- quando tutta l'energia del volano viene utilizzata per la lavorazione (deformazione del pezzo e deflessione della pressa) ►►► arresto di volano e vite ►►► attivazione dell'albero orizzontale e spostamento del disco di sollevamento verso il volano ►►► rotazione di volano e vite in senso inverso ►►► ritorno della slitta nella posizione iniziale
- corsa della slitta è regolata dalla posizione dei tasselli *T* sull'asta verticale *A*



116

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE A VITE



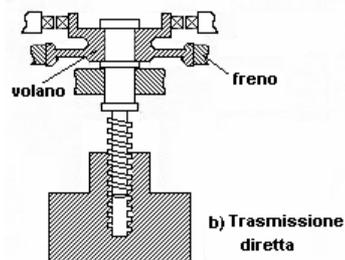
117

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE A VITE

Schema di funzionamento di una pressa a trasmissione diretta:

- motore elettrico reversibile collegato direttamente alla vite e fissato sul telaio al di sopra del volano
- vite è filettata entro la slitta e non si muove verticalmente
- inversione della direzione del moto ottenuta invertendo la rotazione del motore elettrico



118

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE A VITE

$$E_n = \left[\frac{J \cdot \omega^2}{2} + \frac{m \cdot v^2}{2} \right] \cdot \eta$$

E_n : energia teorica o nominale disponibile alla mazza

J : momento d'inerzia delle masse in rotazione

ω : velocità angolare

m : massa totale degli organi traslanti

v : velocità di discesa

η : rendimento del sistema vite-madrevite e dei vari organi in movimento relativo (attrito)

$\eta = 0.65 - 0.85$

$v = 600 \text{ mm/s}$ ($\phi 400 - 500 \text{ mm}$) – 900 mm/s ($\phi 100 - 150 \text{ mm}$)

119

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE A VITE

• Energia totale del volano:

$$E_V = E_D + E_A + E_{EI}$$

E_D : energia per la deformazione del metallo

E_A : energia persa per vincere gli attriti della macchina

E_{EI} : energia per la deflessione elastica degli elementi (basamento, colonne a vite) della pressa (eccesso di energia che sollecita inutilmente le strutture della pressa)

FORZA LIMITE: forza per la quale tutta l'energia disponibile alla mazza si trasforma in lavoro di deformazione della pressa (pezzo infinitamente rigido)

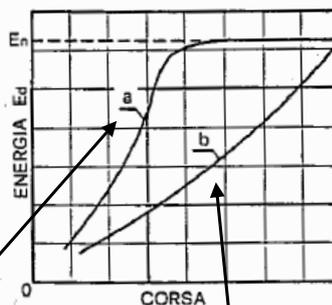
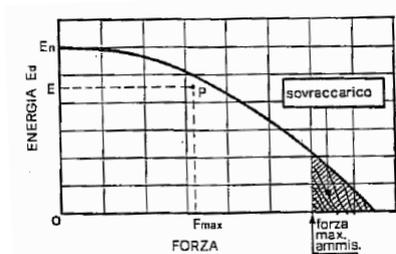
120

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE A VITE

$$E_D = E_{nom} - E_{El}$$

$$E_{El} = \frac{F^2}{2R}$$

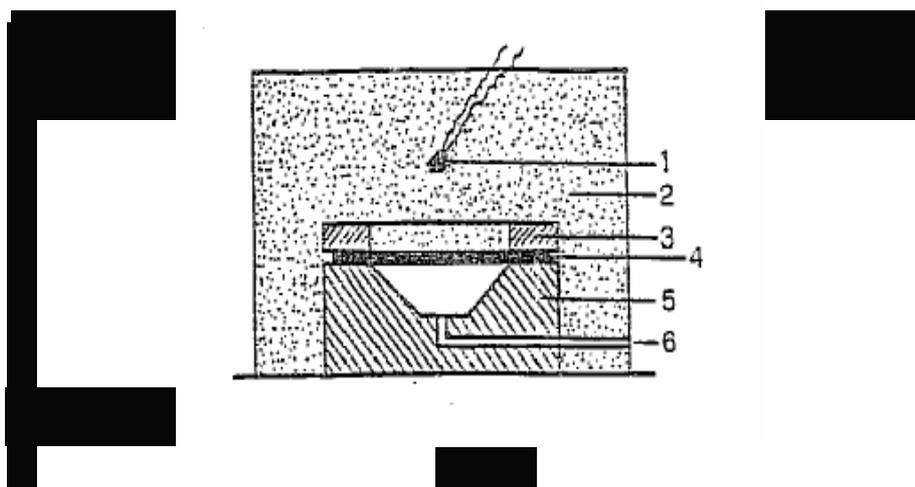


Pressa a vite rotante

Pressa a vite traslante

Processi di for... cinatura

MACCHINE AD ALTA VELOCITA'



Macchine per lo stampaggio

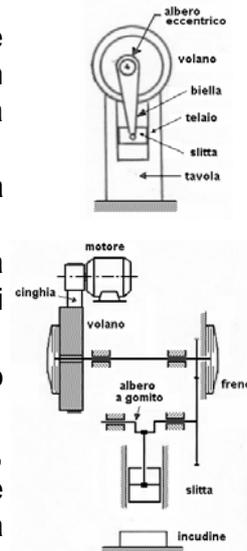
Macchine ad energia delimitata	Magli	<i>a semplice effetto</i>
		<i>a doppio effetto</i>
		<i>a contraccolpo</i>
	Presse a vite	<i>a vite traslante</i>
		<i>a vite rotante</i>
Macchine ad alta velocità		
Macchine a corsa delimitata	Presse ad eccentrico	
	Presse a ginocchiera	
	Fucinatrici e martellatrici	
	Laminatoi sbozzatori	
Macchine a forza delimitata	Presse idrauliche	<i>azione di spinta</i>
		<i>azione di tiro</i>
	Elettrocalcatrici	

123

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE AD ECCENTRICO

- Trasformano il moto rotatorio di un albero che reca l'eccentrico (o di un albero a gomito) in un moto rettilineo alternativo della slitta che porta la matrice superiore
- Macchina costituita da una robusta incastellatura che porta l'albero di comando con l'eccentrico
- Da questo il moto passa ad una biella collegata alla slitta che scorre sui due montanti dell'incastellatura
- Albero di comando collegato ad un volano azionato attraverso cinghie dal motore
- Il volano immagazzina energia e la restituisce, durante una piccola porzione di giro, cioè durante la deformazione del materiale, alla slitta portastampo



124

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE AD ECCENTRICO

- Energia richiesta dall'operazione di formatura in ogni corsa fornita dal volano che rallenta di una percentuale ammissibile (10÷20%) la sua velocità a vuoto
- Energia totale immagazzinata da un volano:

$$E_v = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} J \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \right)^2$$

$J=GR^2/g$ è il momento di inerzia del volano, G è il peso, R è il raggio d'inerzia, ω è la velocità angolare e n è il numero di giri al minuto

- Lavoro utile espresso come differenza fra l'energia del volano all'inizio del ciclo e alla fine del ciclo di lavoro:

$$L_n = \frac{1}{2} J \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) = \frac{G \cdot R^2 \cdot (n_1^2 - n_2^2)}{1790}$$

125

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE AD ECCENTRICO

- Massimo rallentamento del volano ammesso: 10% per presse ad esercizio continuo, 20%, per presse ad esercizio intermittente ➡ lavoro utile disponibile:

$$L_{n10\%} = \frac{G \cdot R^2 \cdot n_1^2 (1 - 0.9^2)}{1790} \quad L_{n20\%} = \frac{G \cdot R^2 \cdot n_1^2 (1 - 0.8^2)}{1790}$$

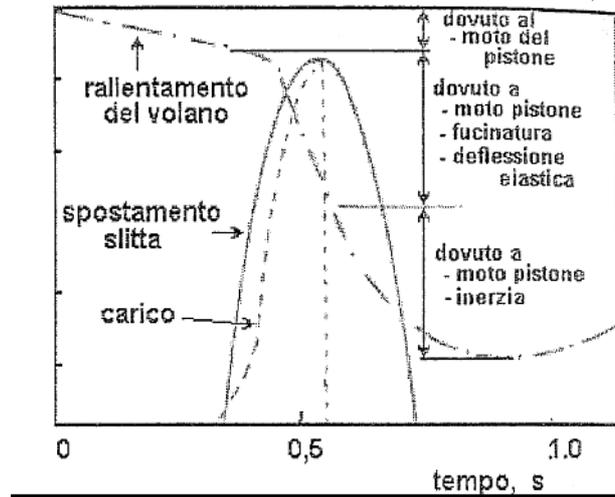
- Energia relativa ceduta dal volano:

$$\frac{L_n}{E_v} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}$$

126

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

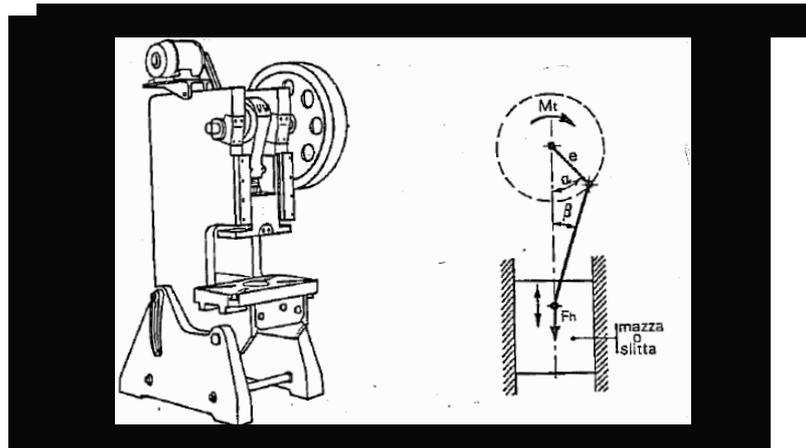
PRESSE MECCANICHE AD ECCENTRICO



127

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE AD ECCENTRICO



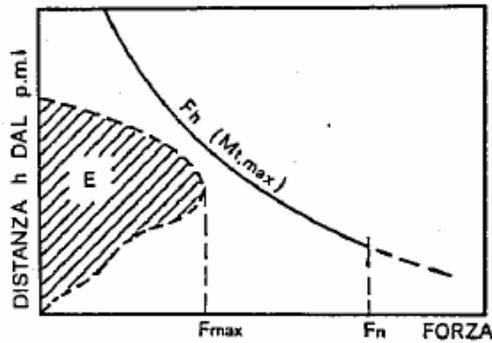
$$F_h = \frac{M_t \cdot \cos \beta}{e \cdot \sin(\alpha + \beta)}$$

128

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE AD ECCENTRICO

Curve di prestazione



Verifica:

$$F_{\max} < F_n$$

Forza istante per istante minore di quella disponibile

$$E_{\text{lav}} < E_d$$

129

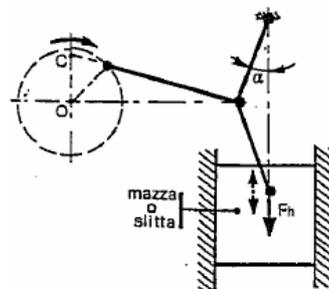
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE A GINOCCHIERA

Allo scopo di disporre di forze elevate con forze di azionamento relativamente basse e con leggi di moto della mazza che meglio soddisfano determinati processi di deformazione, sono stati sviluppati tipi di azionamento più complessi di quelli ad eccentrico

$$F_h = M_t / 2 OC \operatorname{tg} \alpha$$

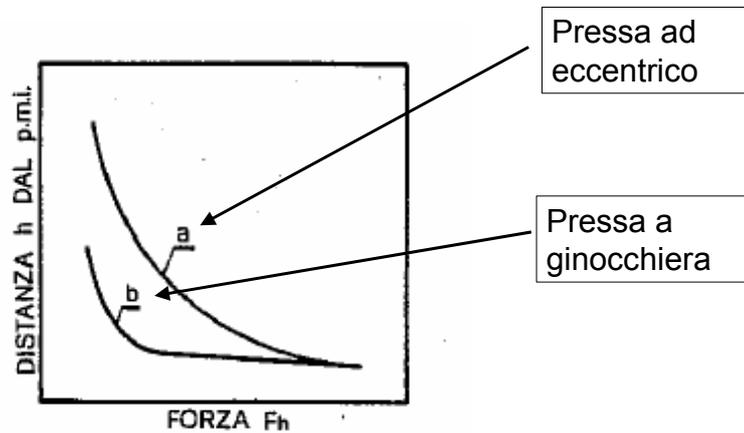
Alta capacità di carico con una corsa estremamente ridotta



130

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE MECCANICHE AD ECCENTRICO



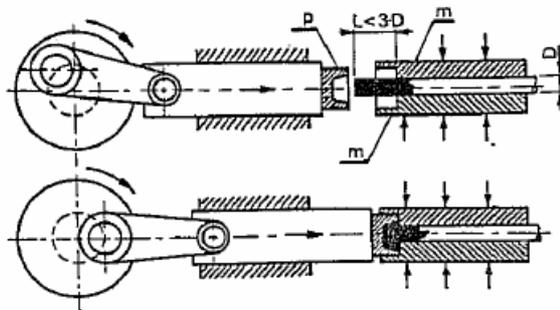
131

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATRICI ORIZZONTALI

Le fucinatrici orizzontali sono in sostanza delle presse meccaniche che producono esclusivamente ricalcamento in un tratto di una barra.

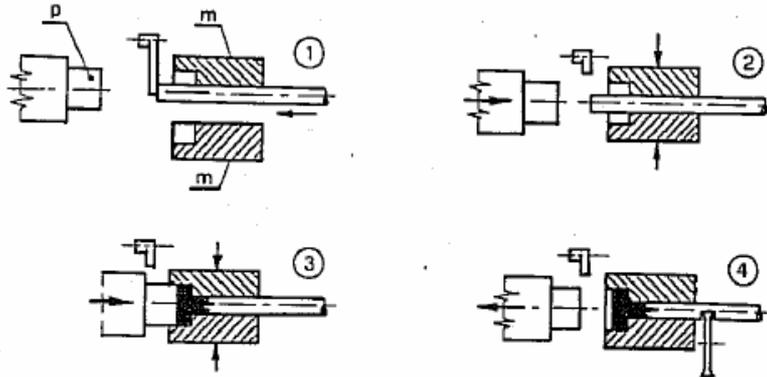
Le parti fondamentali sono le matrici (per il bloccaggio della barra) ed il punzone (azionato da un sistema biella – manovella)



132

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

FUCINATRICI ORIZZONTALI

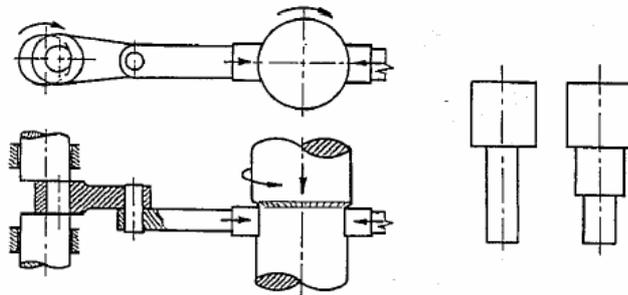


133

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MARTELLATRICI

Servono a produrre una riduzione di diametro su tutta la lunghezza o solo su alcuni tratti di una barra inizialmente cilindrica



134

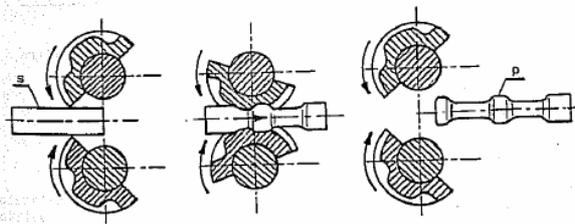
Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

LAMINATOIO SBOZZATORE

Serve per produrre grezzi che dovranno successivamente subire un'operazione di stampaggio

Viene utilizzato per produrre grezzi in cui il materiale non è distribuito con sezione costante nel senso della lunghezza

Il pezzo viene fatto passare attraverso una coppia di calibri opportunamente sagomati



135

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

Macchine per lo stampaggio

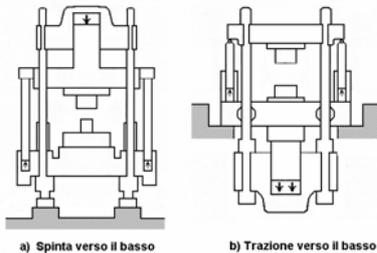
<u>Macchine ad energia delimitata</u>	Magli	a semplice effetto
	Presse a vite	a doppio effetto
		a contraccolpo
<u>Macchine a corsa delimitata</u>	Macchine ad alta velocità	a vite traslante e vite rotante
		Presse ad eccentrico
	Presse a ginocchiera	
	Fucinatori e martellatrici	
	Laminatoi sbizzatori	
<u>Macchine a forza delimitata</u>	Presse idrauliche	azione di spinta
	Elettrocalcatrici	azione di tiro

136

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE OLEODINAMICHE

- Modo di operare basato sul moto di un pistone entro un cilindro sotto l'azione esercitata da olio idraulico in pressione
- L'applicazione della pressione al pistone può avvenire in maniera diretta da una pompa o attraverso accumulatori
- Movimento della slitta mobile con spinta o con trazione verso il basso

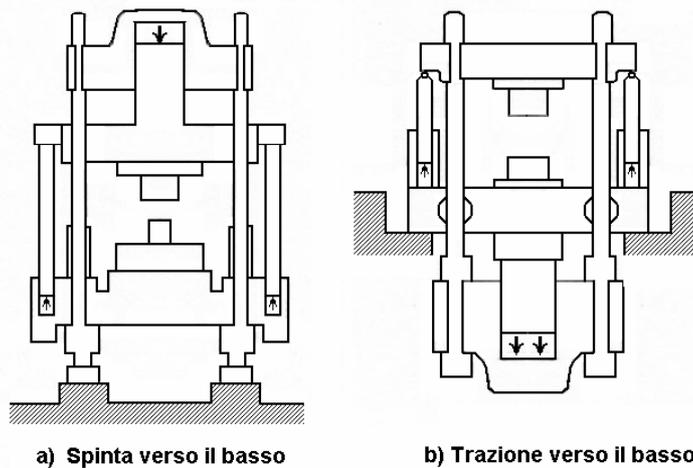


- Forza totale di compressione:
 $F = p \cdot S$
p: pressione dell'olio
S: area della superficie dello stantuffo

137

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

PRESSE OLEODINAMICHE

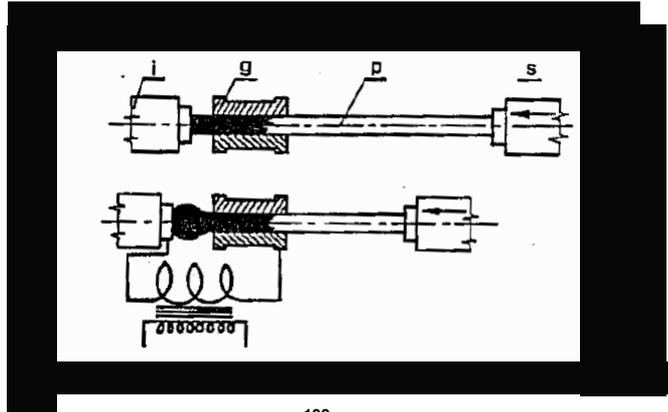


138

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

ELETTORICALCATRICI

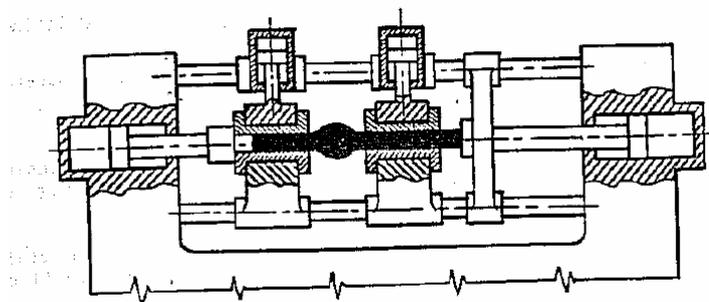
Eseguono le operazioni di ricalcatura delle fucinatrici orizzontali per ottenere ingrossamenti alle estremità o in punti intermedi dello spezzone, provvedono però a riscaldare il tratto da deformare sulla macchina stessa



139

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

ELETTORICALCATRICI



Il diametro delle barre ricalcabili può variare da pochi millimetri a circa 100 mm

140

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura

MACCHINE PER FUCINATURA E STAMPAGGIO

Macchina	Energia disponibile (kN · m)	Forza disponibile (t)	Velocità media (m/s)
Maglio a semplice effetto	40-100		4-5
Maglio a doppio effetto	50-250		5-8
Maglio a contraccolpo	200-2000		4-10
Pressa a vite		50-2000	0,5-1
Pressa oleodinamica		300-30 000	0,05-0,30
Pressa a eccentrico		1000-10 000	0,05-1,5

141

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura



142

Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura



143 Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura



144 Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura



145 Processi di formatura plastica massiva: Fucinatura