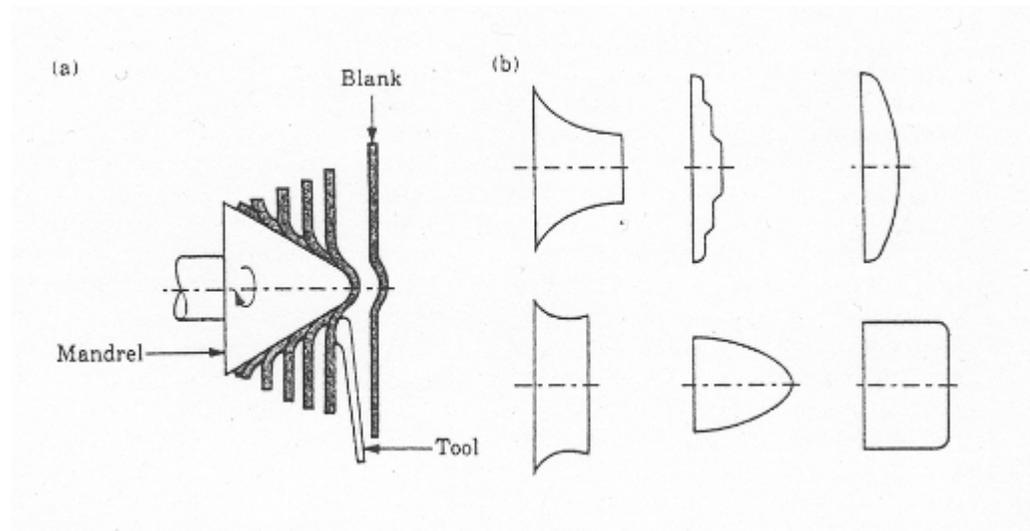


Procédés spéciaux d'emboutissage

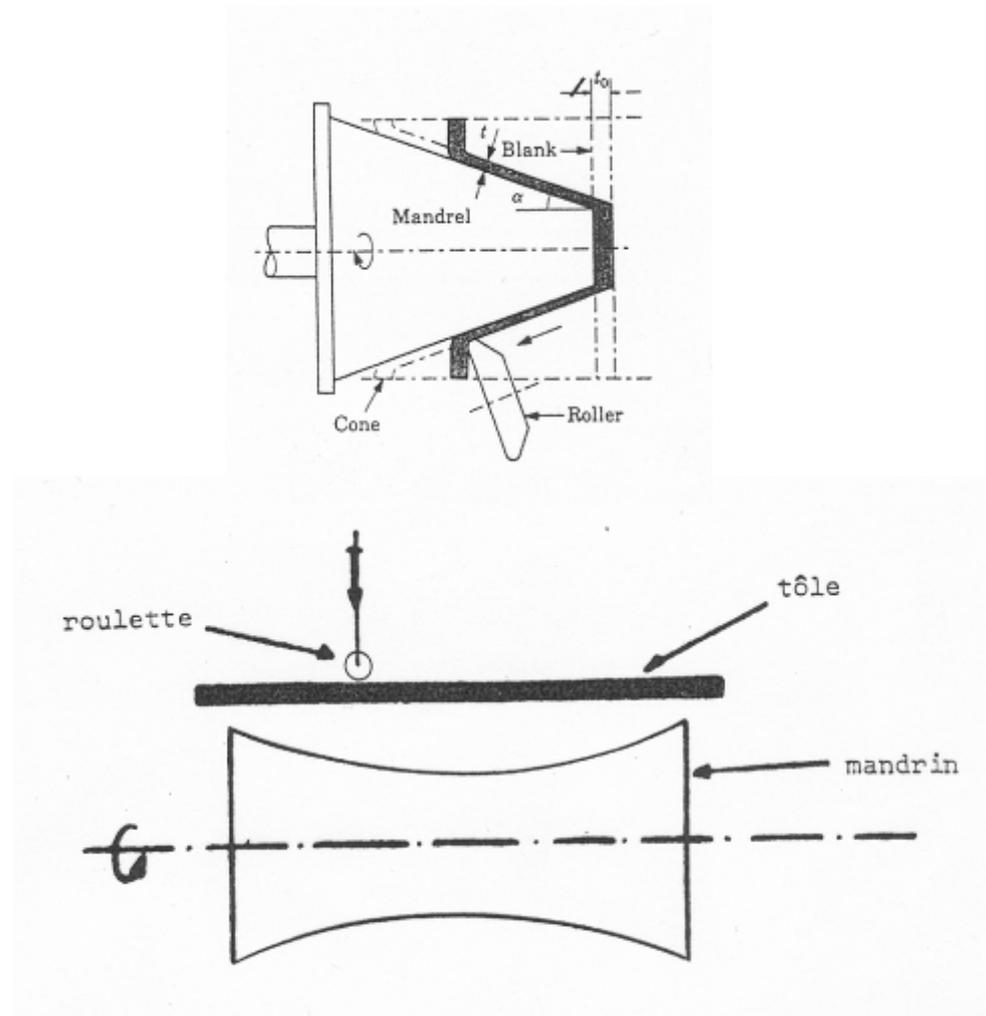
Procédés utilisés pour la petite série

Emboutissage à la main

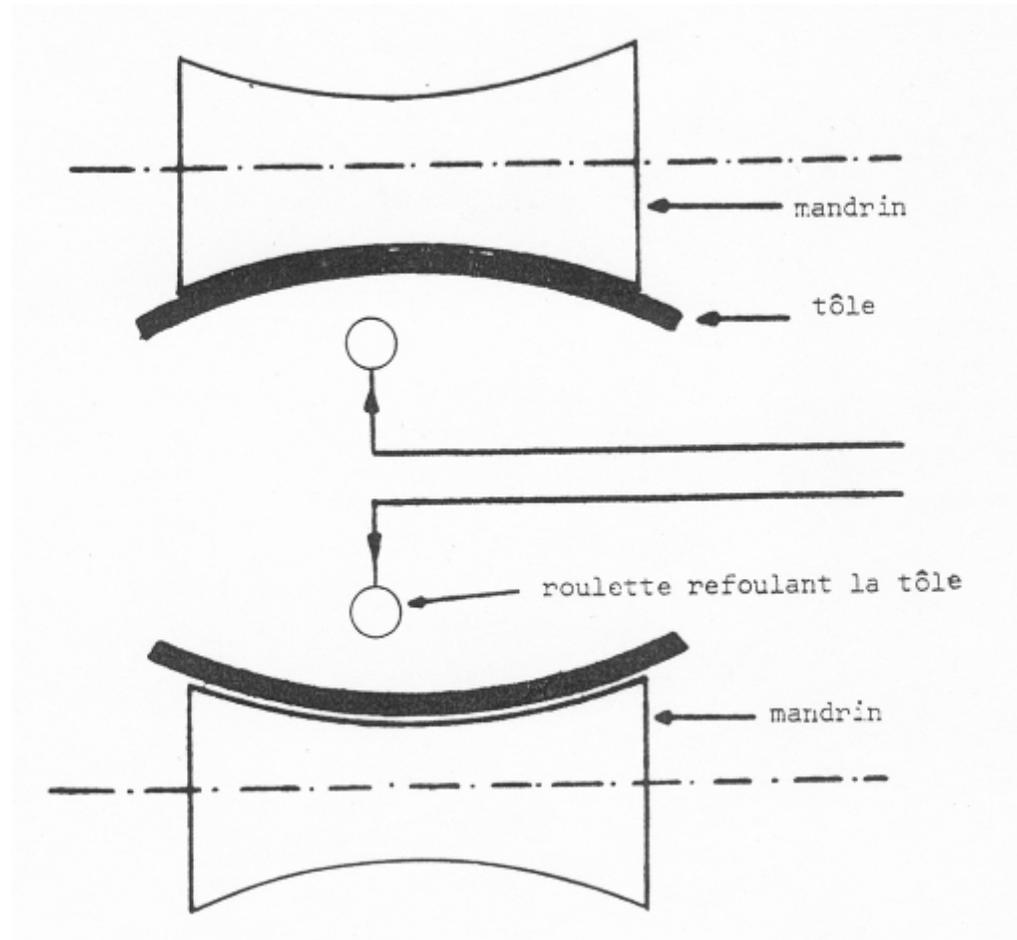
Repoussage (spinning)



Fluotournage (shear spinning, flow turning)

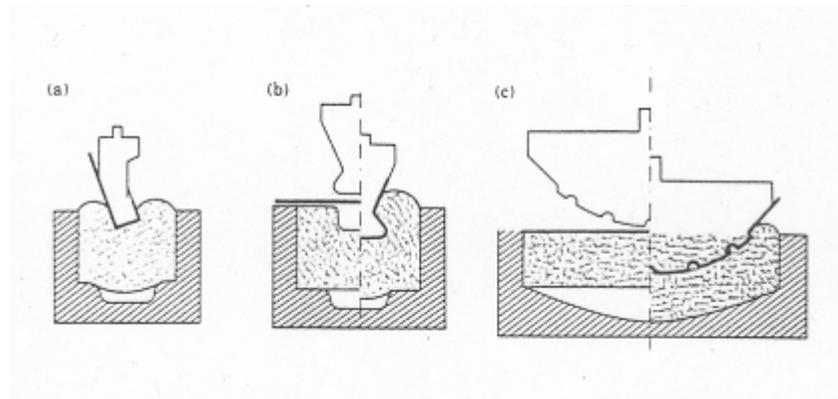


Obtention de pièces avec contre-dépouille



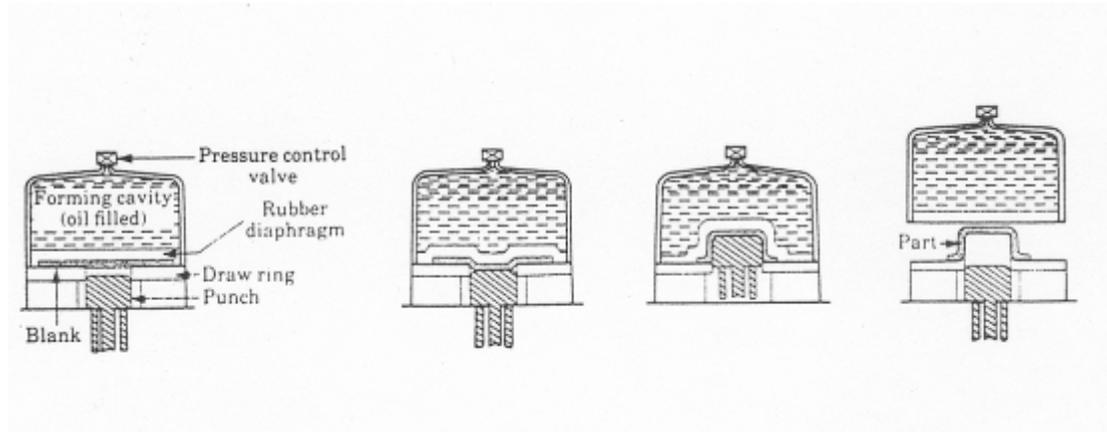
Procédés modernes d'emboutissage

Procédé Guérin ou emboutissage sur caoutchouc (rubber forming)

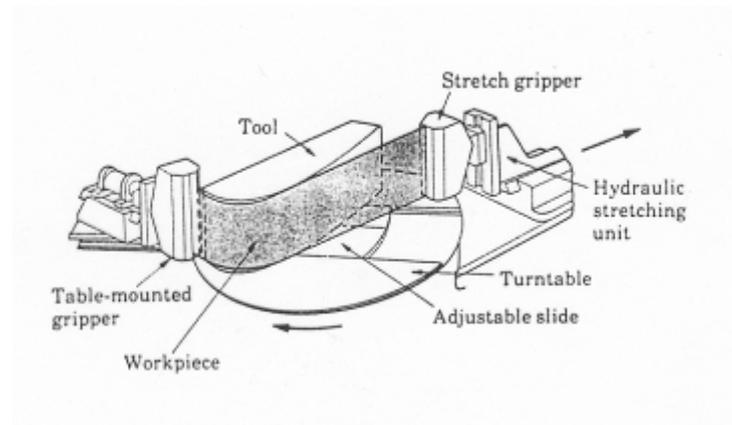


A l'aide de cette méthode, on ne peut effectuer que des emboutissages peu profonds dans des métaux légers, de faible épaisseur, tels que l'aluminium. On est limité par une épaisseur de tôle de 1,5 mm.

Procédé Hydroform

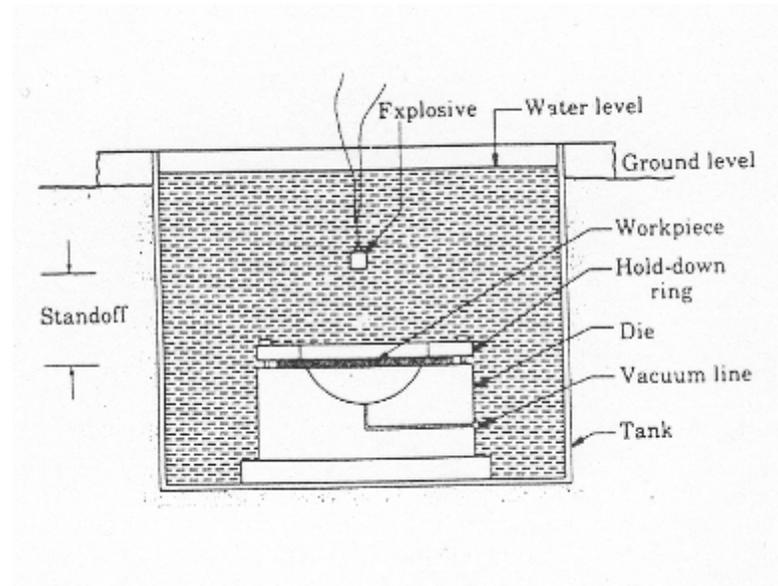


Procédé Stretch (procédé d'extension) ou Stretchforming



La machine dépend essentiellement de la forme de la pièce.

Formage par explosion



Pour des pièces de grandes dimensions, de formes pas trop compliquées et pas en grande série.

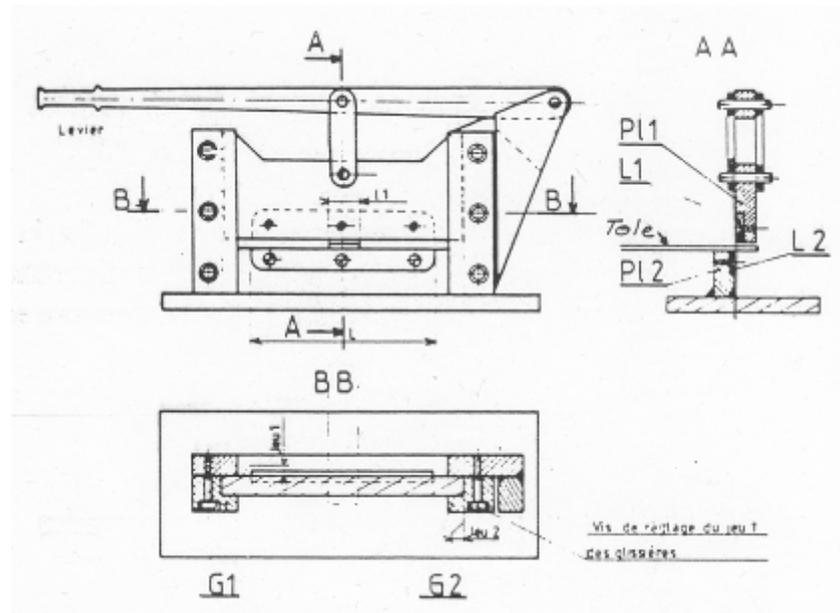
Exemple : fabrication d'un nez de fusée aux USA. La matrice est en fonte de qualité. On a un plateau parabolique d'un diamètre de 1,45 m. On effectue 6 explosions successives. On obtient une tolérance de 0,2 mm.

Le travail des tôles

- Le pliage
- L'emboutissage
- Le cisailage
- Le poinçonnage

Le cisailage

Le cisailage est une opération mécanique de coupe de tôle et profilés par 2 lames guidées, ayant théoriquement, chacune, une face située dans le plan de séparation.



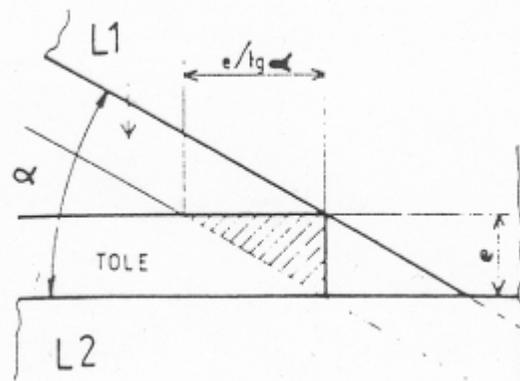
Le cisailage d'une tôle mince peut être exécuté manuellement ou, plus généralement, par voie mécanique.





Les paramètres importants dans l'opération de cisailage sont :

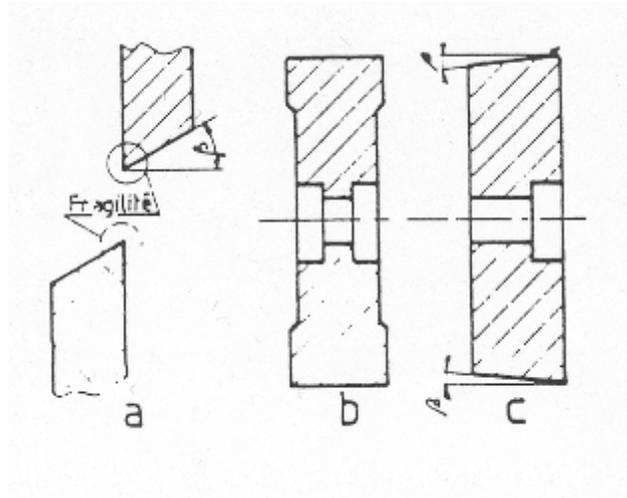
- pour la qualité et la précision de la coupe :
 - le jeu du guidage de la lame mobile, un jeu trop important provoquerait le pliage de la tôle qui tendrait à se glisser entre les lames. Il faut toujours ramener ce jeu à un strict minimum fonctionnel.
 - l'affûtage des lames, des lames détériorées réduisent la précision de coupe.
- pour la limitation des efforts requis :
 - l'angle d'attaque α , conditionnant la progressivité de la coupe. Cet angle se situe souvent dans la plage 2 à 6°.



L'effort de coupe est proportionnel à la résistance au cisaillement R_c du métal, et à la surface s à couper : $F = R_c \cdot s$

$$F = R_c \frac{e^2}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$

- l'angle d'affûtage β . Un angle trop faible accroît l'effort requis, et la zone de métal affectée. Un angle trop important affaiblirait l'arête tranchante.

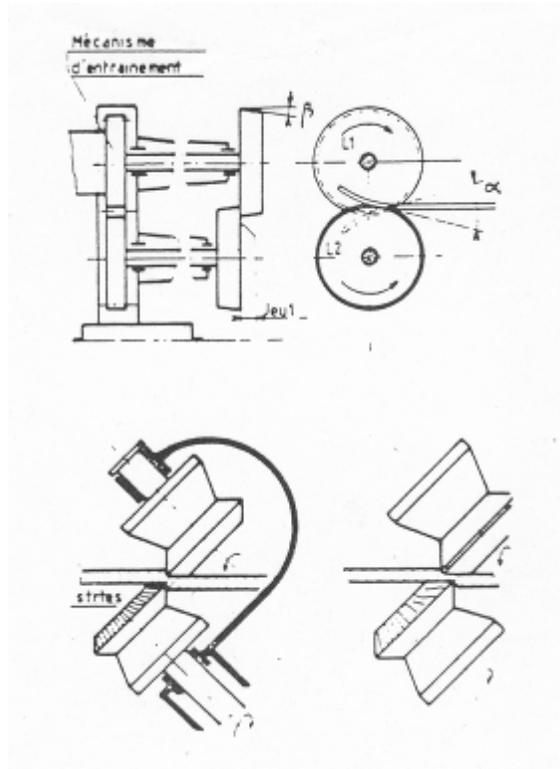


Modalités de cisailage

Sur les machines modernes, un dispositif permet le réglage de l'angle d'attaque en fonction de l'épaisseur à couper, ce qui permet d'adapter l'effort à la demande. Pour un même effort, quelle que soit l'épaisseur à couper, $\text{tg}\alpha$ doit être proportionnel à e^2 .

Des cisailles mécaniques à lames longues peuvent cisailer des tôles jusque 5 à 6 mètres de longueur et une épaisseur maximum de 40 mm.

Le mouvement de la lame supérieure est assuré par un système coulisseau-bielle ou par excentrique ou par système à vérin hydraulique.



Cisaille à lame circulaire

On y retrouve :

- l'angle d'attaque α
- l'angle d'affûtage β
- le jeu minimum nécessaire entre faces de lames.

Ces cisailles permettent notamment le "refendage" de rouleaux de tôles (coils) en rouleaux de moindre largeur.

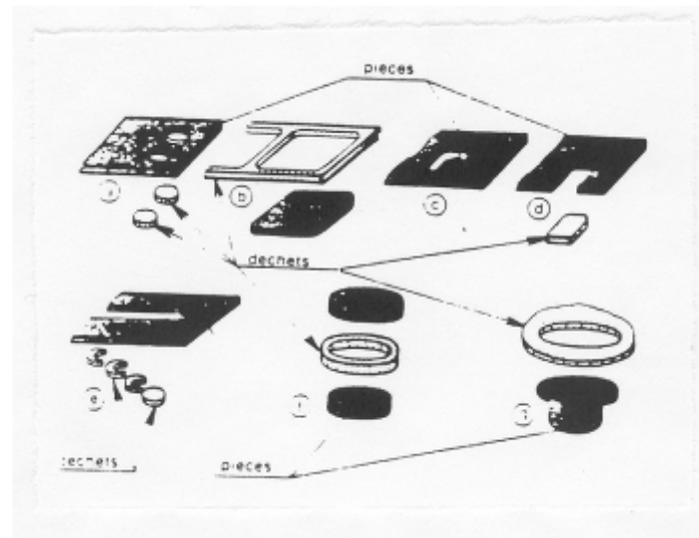
Le travail des tôles

- Le pliage
- L'emboutissage
- Le cisailage
- Le poinçonnage

Le poinçonnage

Le poinçonnage est une opération de découpe à la presse, dans une tôle plane, de sections ayant des formes imposées par les combinaisons poinçon-matrice. Ce type de découpage peut présenter une grande précision, avec une cadence élevée de découpes.

La force de découpage peut s'exprimer par la relation $F = L e R_t$ (L est le périmètre à découper, e l'épaisseur à découper, R_t la résistance à la traction).



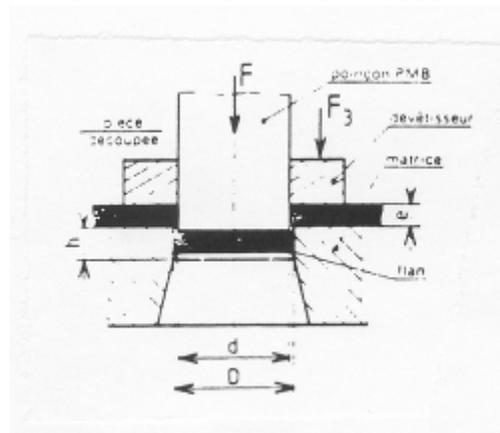
a : poinçonnage
b : découpage
c : crevage
d : encochage

e : grignotage
f : arasage
g : détournage

Modalités

Le métal dont il faut découper des morceaux se présente sous forme de :

- bandes de largeur constante (1 à 2 mètres) ou de bobines,
- tôles planes ou flans pour les pièces de grandes dimensions.



Poinçon – matrice

En plus de l'opération proprement dite, de poinçonnage, il faut assurer un certain nombre de conditions et de travaux, tels que :

- la séparation tôle-déchet,
- le guidage de la tôle ou de la bande de métal,
- la facilité de montage-démontage des outils, ainsi que leur affûtage,
- le fonctionnement en toute sécurité pour les opérateurs.

Découpe plasma

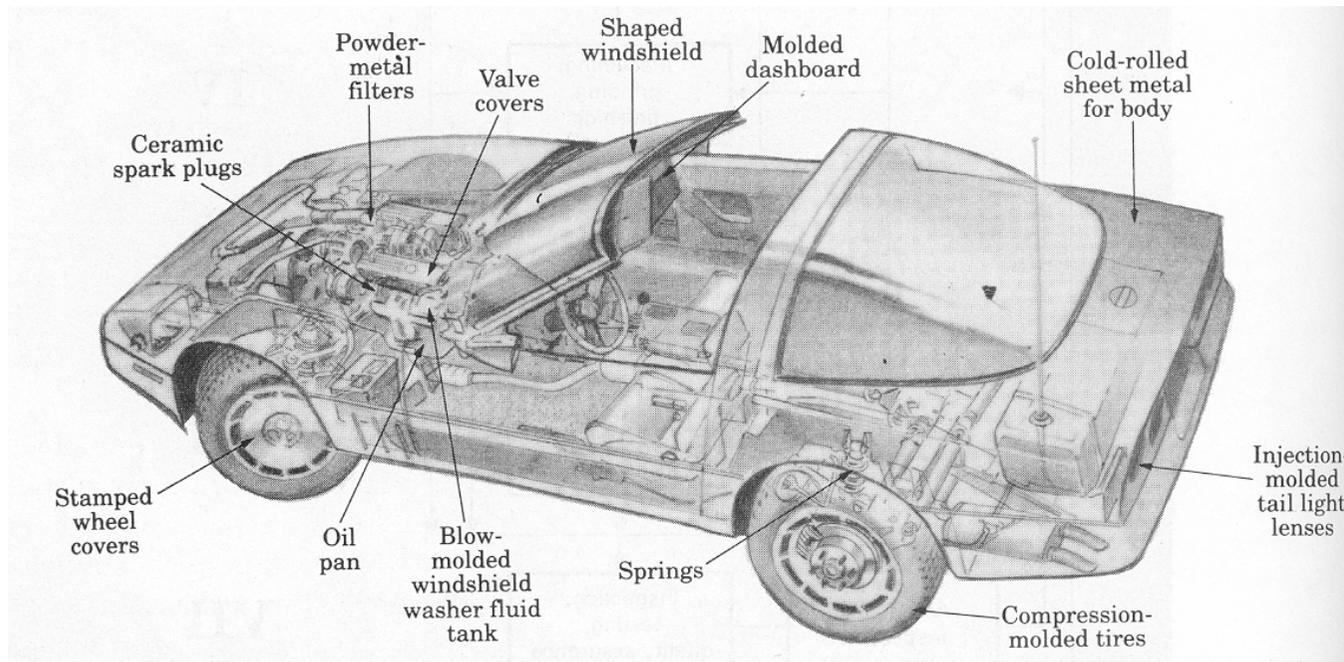


Découpe laser



Découpe par jet d'eau





- le laminage (*rolling*),
- le forgeage (*forging*),
- l'extrusion (*extrusion*),
- l'étirage (*drawing*),
- le travail de la tôle (*sheet-forming*),
- la métallurgie des poudres (*powder metallurgy*),
- la mise en forme des plastiques et des matériaux composites

Le frittage (sintering) ou métallurgie des poudres (powder metallurgy)

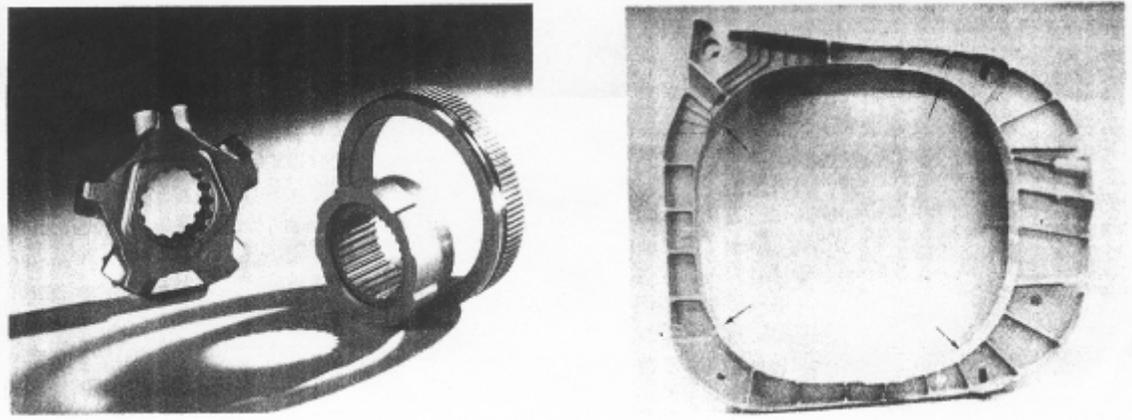
Des composants métalliques peuvent être obtenus par compactage de poudres métalliques et par frittage (chauffage sans atteindre le point de fusion).

Les matériaux les plus utilisés par ce procédé sont le fer, le cuivre, l'aluminium, l'étain, le nickel, le titane et les métaux réfractaires. Pour les pièces en laiton, bronze, acier et acier inoxydable, on utilise des poudres pré-alliées où chaque particule de poudre est constituée de l'alliage.

APPLICATION	METALS	USES
Abrasives	Fe, Sn, Zn	Cleaning, abrasive wheels
Aerospace	Al, Be, Nb	Jet engines, heat shields
Automotive	Cu, Fe, W	Valve inserts, bushings, gears
Electrical/electronic	Ag, Au, Mo	Contacts, diode heat sinks
Heat treating	Mo, Pt, W	Furnace elements, thermocouples
Joining	Cu, Fe, Sn	Solders, electrodes
Lubrication	Cu, Fe, Zn	Greases, abradable seals
Magnetic	Co, Fe, Ni	Relays, magnets
Manufacturing	Cu, Mn, W	Dies, tools, bearings
Medical/dental	Ag, Au, W	Implants, amalgams
Metallurgical	Al, Ce, Si	Metal recovery, alloying
Nuclear	Be, Ni, W	Shielding, filters, reflectors
Office equipment	Al, Fe, Ti	Electrostatic copiers, cams
Plastics	Al, Fe, Mg	Tools, dies, fillers, cements

La métallurgie des poudres est devenu un procédé compétitif vis-à-vis du moulage, du forgeage et de l'usinage et ce, tout particulièrement, pour les pièces relativement complexes constituées d'alliages durs et à haute résistance.

Les pièces produites par ce procédé présentent une bonne précision dimensionnelle et leur taille varie de celle d'une bille d'un stylo à bille à celle de pièces pesant jusqu'à 50 kg. Les pièces les plus courantes pèsent autour de 2.5 kg.



Une application importante des métaux frittés réside dans la mise à profit de leur porosité connue, par exemple dans :

- les filtres, avec poudre de bronze (60 % de porosité);
- les bagues auto-lubrifiantes, dans lesquelles la rotation de l'arbre provoque un effet de pompe créant un film d'huile, par suite de l'emprisonnement de lubrifiant dans les pores de la bague;
- les masses polaires de petites machines électriques et d'appareils de mesure, par suite de la constante de leurs propriétés magnétiques.

Le procédé

Le procédé de métallurgie des poudres se déroule en plusieurs étapes:

- la production des poudres
- le compactage
- le frittage
- les opérations de finition

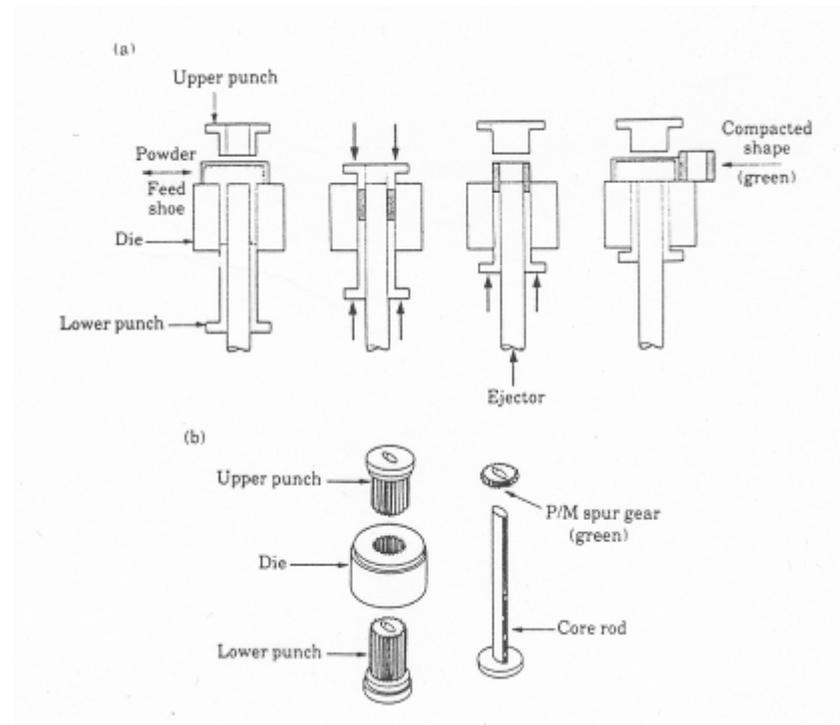
Production des poudres

- Broyage (*comminution*)
- Coulée sous l'eau
- Coulée dans un jet d'air
- Coulée sur des couteaux tournants
- Agitation
- Dépôts électrolytiques non adhérents

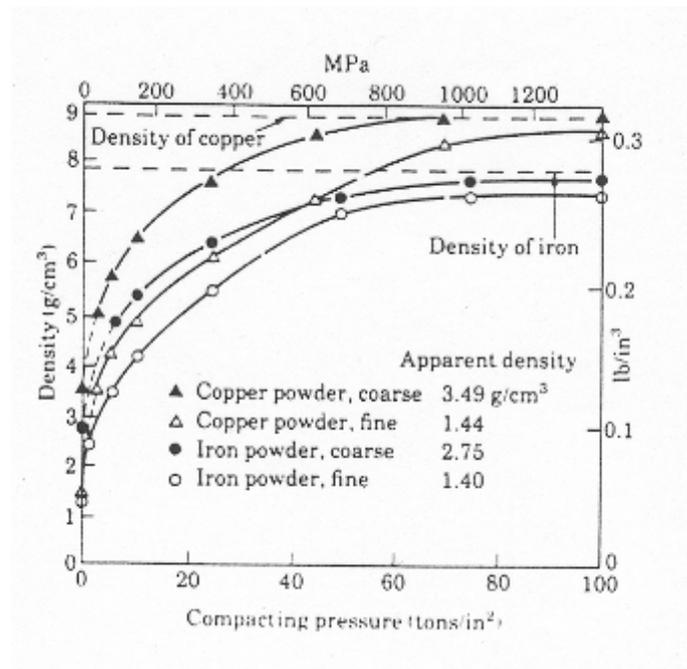
Le compactage

La poudre métallique est mise en forme par compression. On obtient alors un aggloméré fragile, mais également assez résistant pour être manipulé.

La compression est faite à froid, dans des matrices en acier, sous des pressions de 70 à 800 MPa.



Densité du comprimé de poudre en fonction de la charge de compression

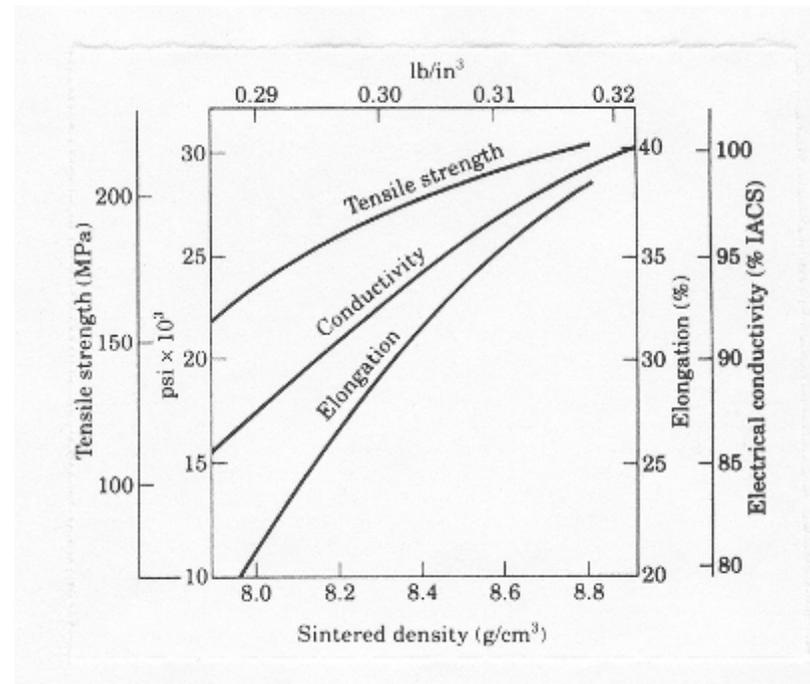


Le frittage

Le frittage permet de consolider l'aggloméré à température élevée, mais inférieure au point de fusion du matériau comprimé. Cette opération fournit par soudure des grains de poudre entre eux, une pièce ayant la forme donnée au cours de la compression et possédant des propriétés mécaniques intéressantes.

La cuisson du comprimé, se fait en atmosphère réductrice car les grains de poudre sont recouverts d'un fin film d'oxyde, devant être réduit pour que les molécules de grains voisins se soudent.

Effet de la densité sur diverses propriétés du cuivre fritté

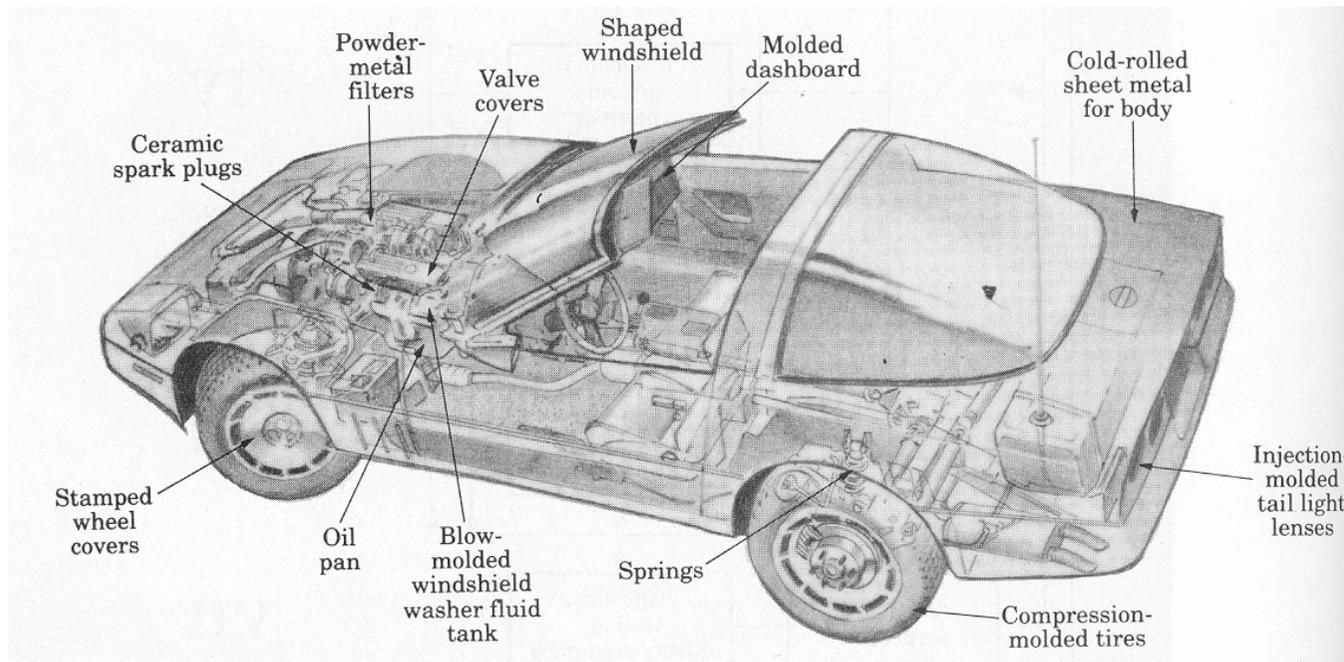


Les opérations de finition

L'objectif est d'obtenir par frittage, des pièces finies et mises à dimension, néanmoins, il est parfois nécessaire d'effectuer des reprises d'usinage sur pièces frittées, par exemple pour obtenir des formes particulières, impossibles à faire sur des presses.

FORGED AND P/M TITANIUM PARTS AND POTENTIAL COST SAVINGS

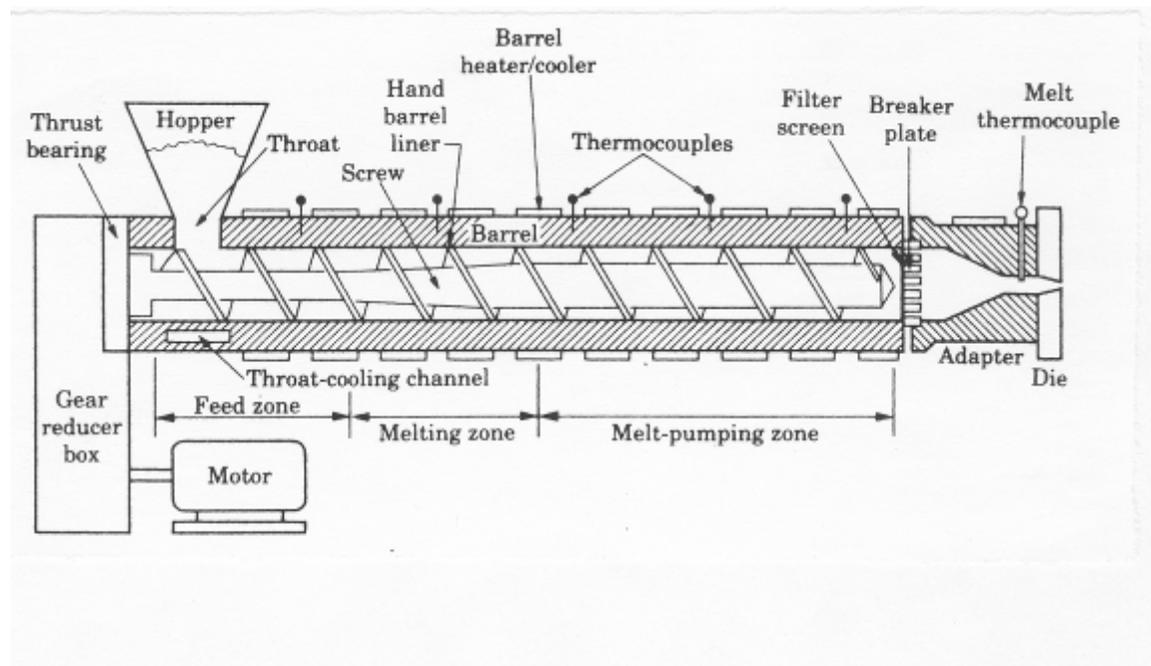
PART	WEIGHT (kg)			POTENTIAL COST SAVING (%)
	<i>FORGED BILLET</i>	<i>P/M</i>	<i>FINAL PART</i>	
F-14 Fuselage brace	2.8	1.1	0.8	50
F-18 Engine mount support	7.7	2.5	0.5	20
F-18 Arrestor hook support fitting	79.4	25.0	12.9	25
F-14 Nacelle frame	143	82	24.2	50



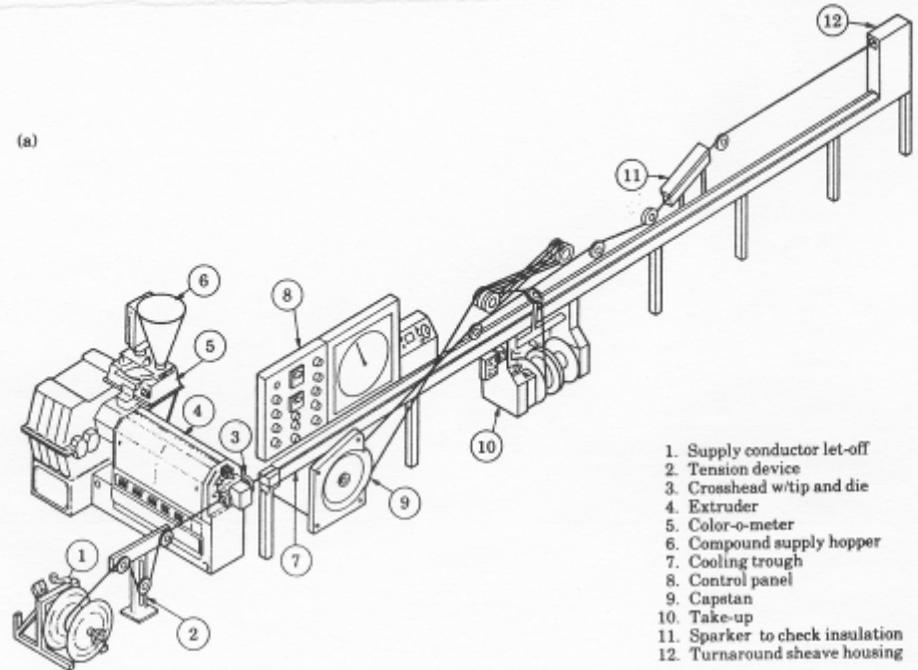
- le laminage (*rolling*),
- le forgeage (*forging*),
- l'extrusion (*extrusion*),
- l'étirage (*drawing*),
- le travail de la tôle (*sheet-forming*),
- la métallurgie des poudres (*powder metallurgy*),
- la mise en forme des plastiques et des matériaux composites

Mise en forme des plastiques

- t° de fusion entre 150 et 250 $^\circ\text{C}$
- Matière première : pastilles, poudres, feuilles, plaques, ronds, tubes,...

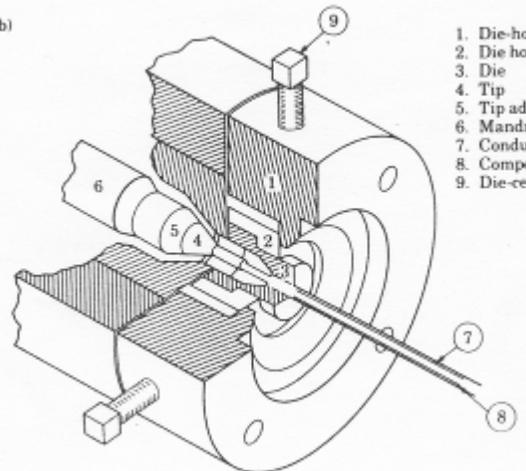


(a)



- 1. Supply conductor let-off
- 2. Tension device
- 3. Crosshead w/tip and die
- 4. Extruder
- 5. Color-o-meter
- 6. Compound supply hopper
- 7. Cooling trough
- 8. Control panel
- 9. Capstan
- 10. Take-up
- 11. Sparker to check insulation
- 12. Turnaround sheave housing

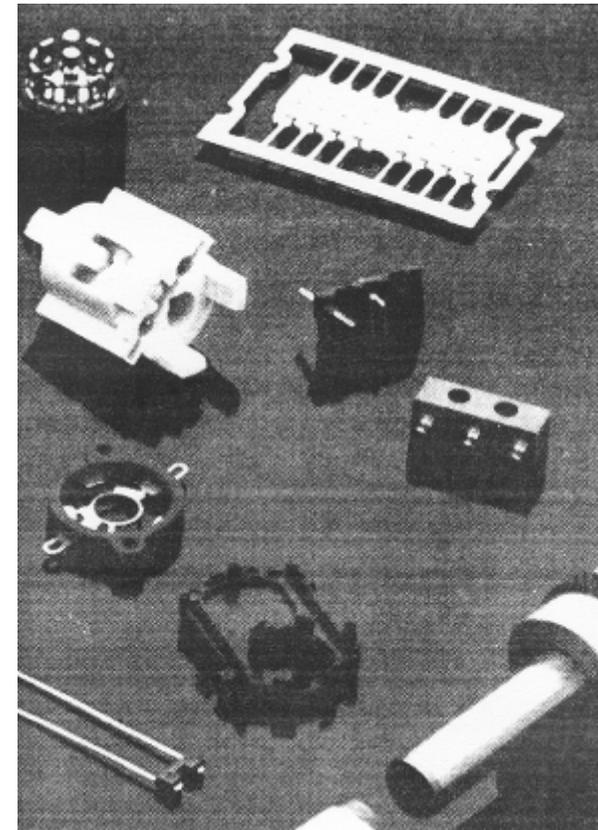
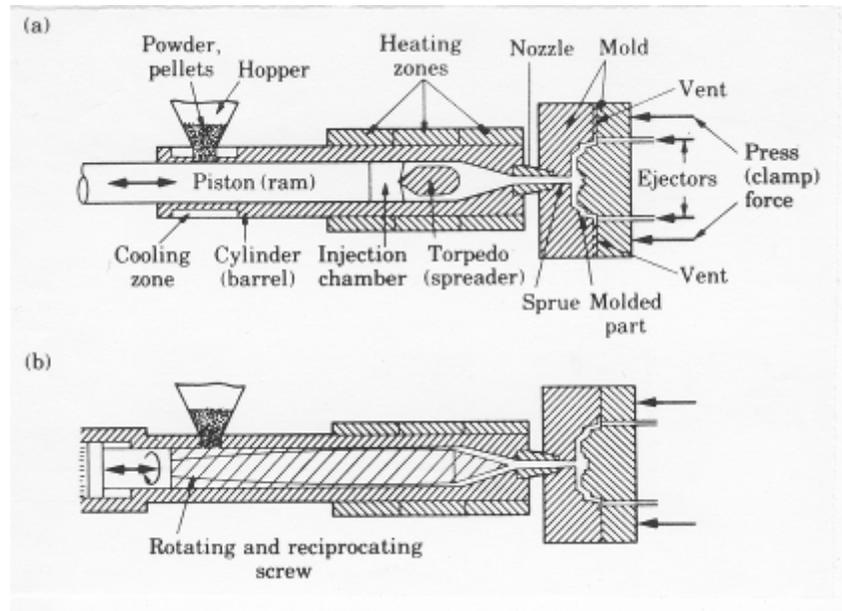
(b)

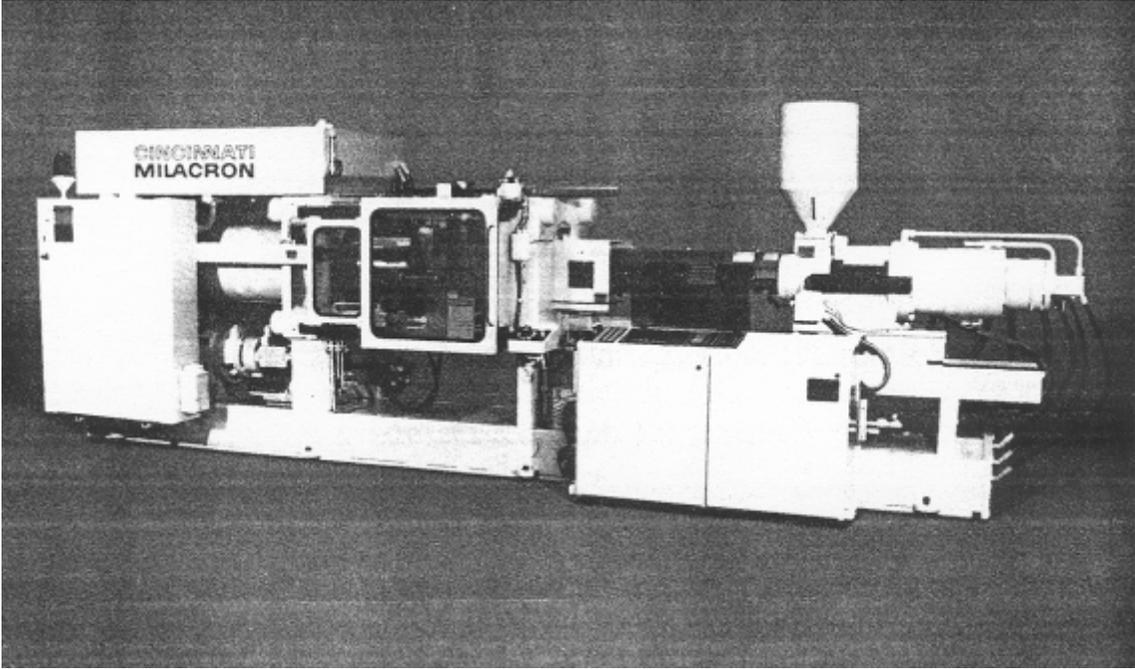


- 1. Die-holder retainer
- 2. Die holder
- 3. Die
- 4. Tip
- 5. Tip adapter
- 6. Mandrel
- 7. Conductor
- 8. Compound
- 9. Die-centering bolts

Moulage par injection

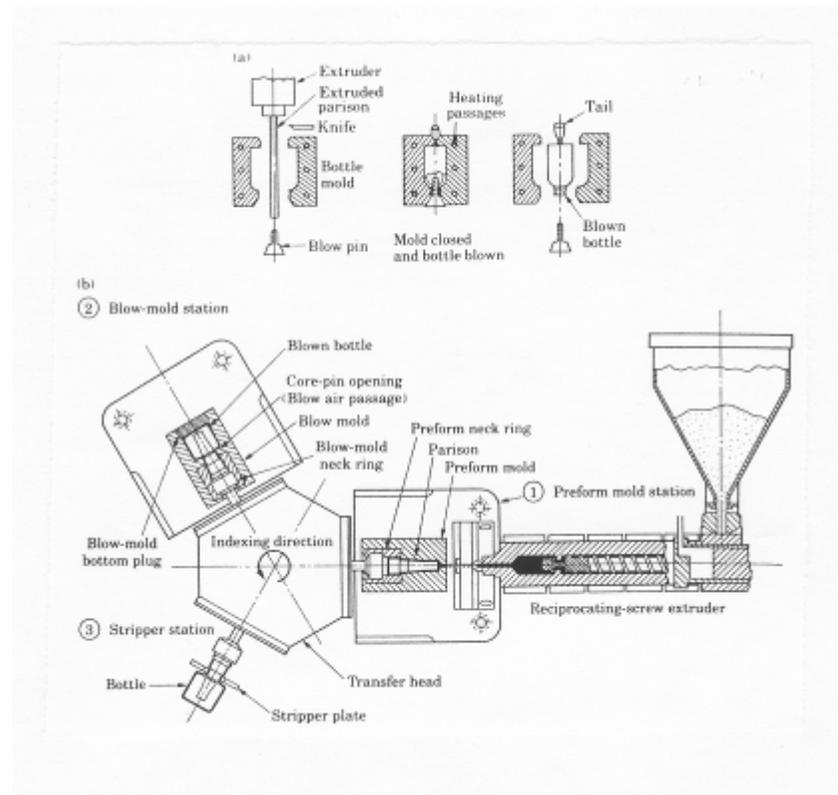
- Pressions d'injection : 70 à 200 MPa



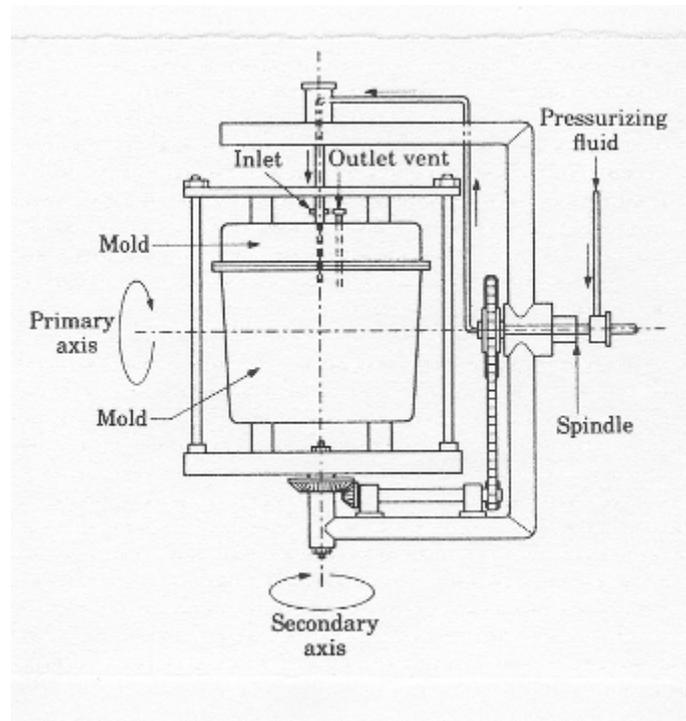


Soufflage

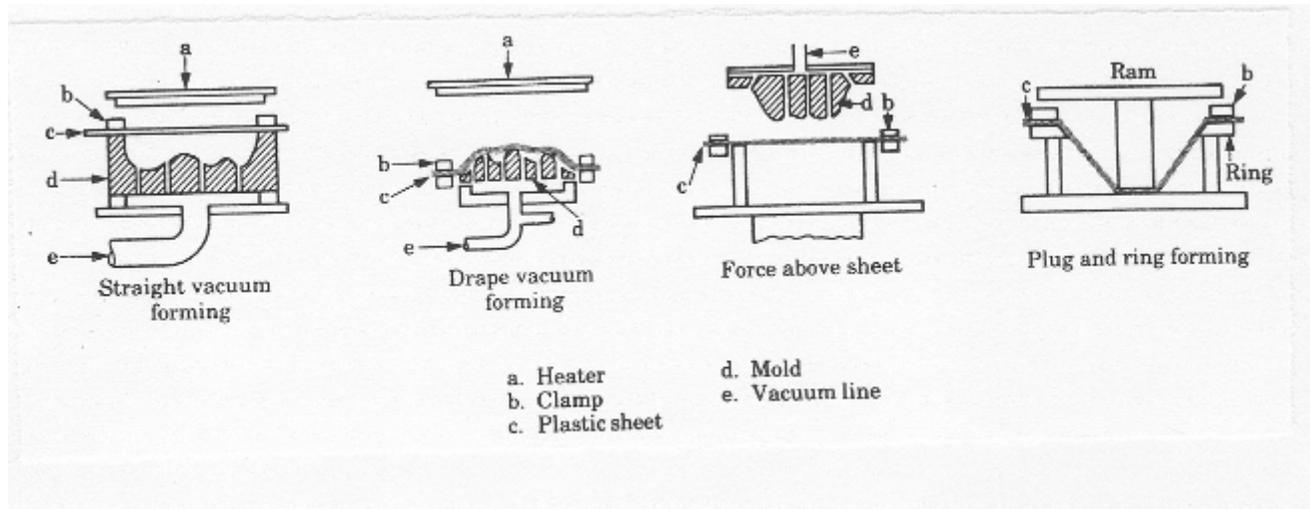
- Pression d'air : 350 à 700 kPa



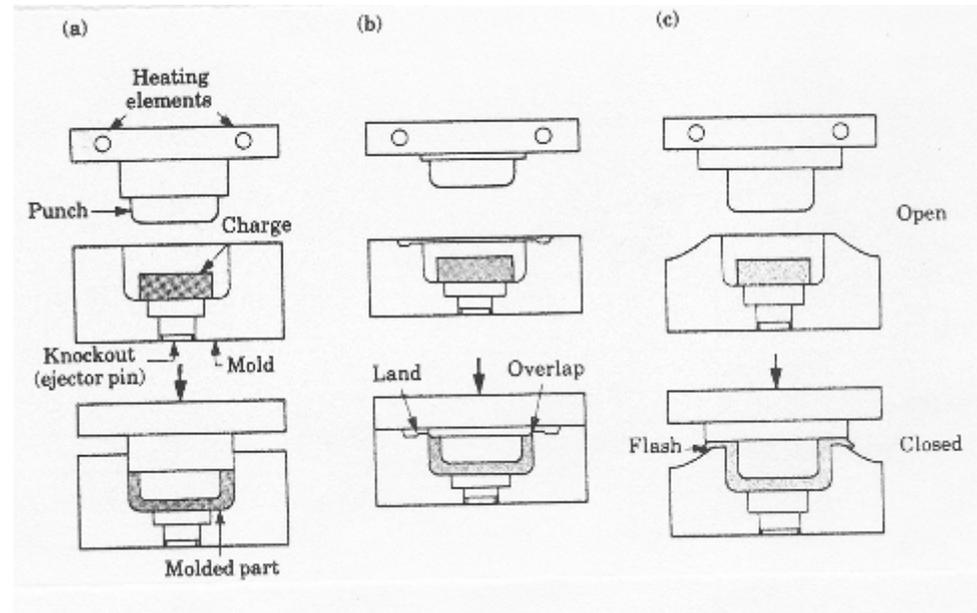
Rotomouldage



Thermoformage



Moulage par compression



Production des structures en nid d'abeilles

