



Université de Relizane
Faculté des Sciences et Technologie
Département de Génie Mécanique



-2021/2022-

Technologie de Base
2^{ème} Génie Mécanique
Cours 08

Chapitre II : Elaboration des matériaux
(Procédés de mise en forme sans enlèvement de la
matière)

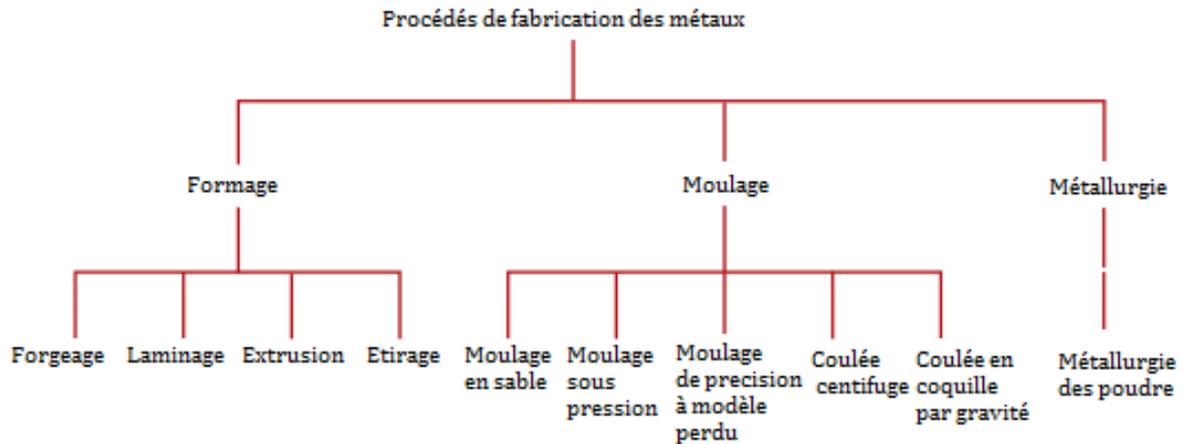
Pour un ingénieur, il est important de comprendre combien la fabrication et les utilisations des matériaux sont liées à leurs propriétés mécaniques et thermiques, telles que la rigidité, la ductilité, la dureté...

Par exemple, on sait que, en général, les techniques classiques de formage des métaux ne conviennent pas à la fabrication de pièces de céramique. Autrement dit, le choix du matériau pour un usage donné est souvent dicté par la facilité avec laquelle il prendra la forme désirée et par son coût.

Les procédés de fabrication comprennent divers méthodes (formage, moulage, métallurgie des poudres et l'usinage).

Les procédés d'élaboration des métaux

L'exécution d'une pièce métallique comporte généralement au moins deux des procédés cités. Le choix de ces procédés dépend de plusieurs facteurs, les plus importants étant les propriétés du métal, les dimensions et la forme de la pièce finie et, bien sûr, le coût.



1. Procédés de Mise en Forme des Métaux et Alliages

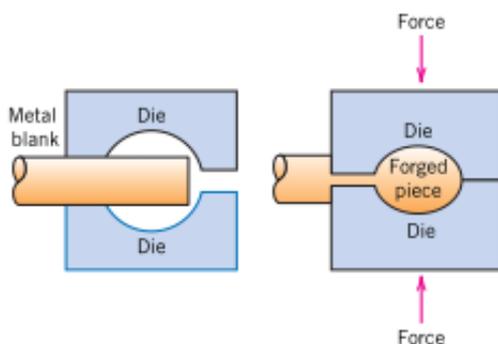
Le FORMAGE : consiste à déformer un matériau, à chaud ou à froid, sans rupture pour lui donner une forme désirée.

Les différentes techniques existantes mettent en œuvre un ou plusieurs des phénomènes suivants :

- 1- Ecrasement de la matière
- 2- Etirage de la matière
- 3- Pliage de la matière.

1 – A. Le forgeage : est une mise en forme à chaud ou à froid par des efforts de pression.

Le forgeage est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur une barre de métal, à froid ou à chaud, afin de la contraindre à épouser la forme voulue.



Forgeage par efforts de pression continus

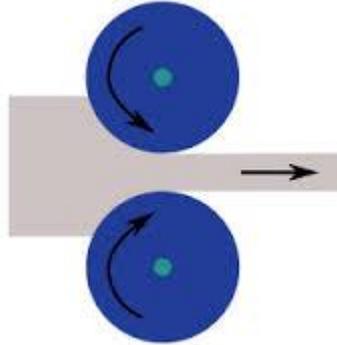


Forgeage par chocs successifs

1 –B. Le laminage

Mise en forme à chaud ou à froid.

Passage d'une pièce de métal entre deux cylindres, qui tourne dans des sens opposés. Les rouleaux tournent pour déformer la pièce en l'écrasant dans l'espace entre eux.



Le laminage est un des plus importants procédés de mise en forme des métaux. Pour l'acier par exemple, environ 35 % de la production laminée à chaud est relaminée à froid. Ces proportions peuvent bien sûr varier d'un métal à l'autre, ainsi que les débouchés : carrosserie automobile, tubes soudés ou emballage alimentaire pour les aciers au carbone (souvent revêtus), électroménager, industrie chimique ou bâtiment pour les aciers inoxydables, emballage alimentaire entre autres pour les alliages d'aluminium ; mais on lamine aussi à froid les cuivreux, le titane (aéronautique) ou le zirconium, les métaux précieux, ou des composites métalliques (placage par colaminage, ou laminage de produits revêtus).

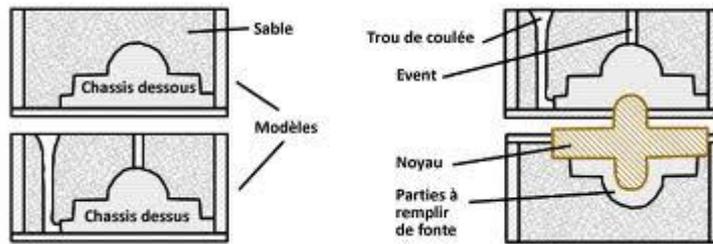
1-C. Moulage

Fusion de l'alliage → Etat liquide

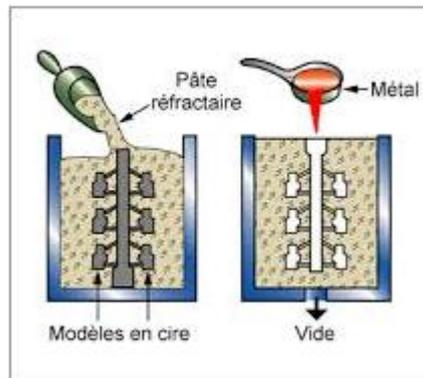
La fonderie a pour but de produire des pièces moulées ayant leur forme définitive et leurs côtés exactes ou presque.

Principaux procédés de moulage

a) **Moulage en sable** : Le métal se solidifie dans une cavité limitée par du sable comprimé, les parties creuses étant obtenues en disposant des noyaux. Le refroidissement des pièces est très lent. La microstructure consiste en une zone de peau colonnaire et une zone équiaxe très développée.



b) **Moulage à la cire perdue** : une grappe de modèles assemblés, est recouvert de plusieurs couches de réfractaire qui par cuisson forment un moule solide. La cire est évacuée par fusion, laissant un creux qui a exactement la forme de la pièce en cire où le métal fondu est coulé.



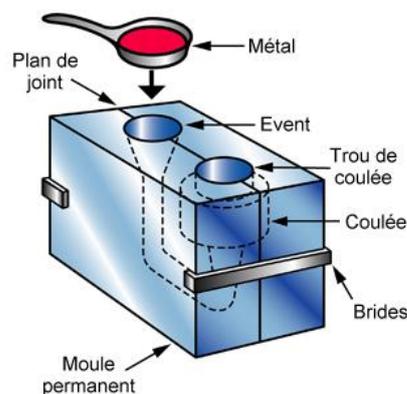
Avantage

- Formes complexes (ne nécessite pas d'existence de joint de moulage) ;
- Très bonne précision dimensionnelle (0.1mm) ;
- Etat de surface 3.2 μm .

Inconvénients

- Petite et moyenne série ;
- Cadence faible ;
- Procédé onéreux.

c) **Coulée en coquille par gravité** : La coquille est un moule métallique ayant la forme exacte de la pièce à obtenir. Le refroidissement est rapide.



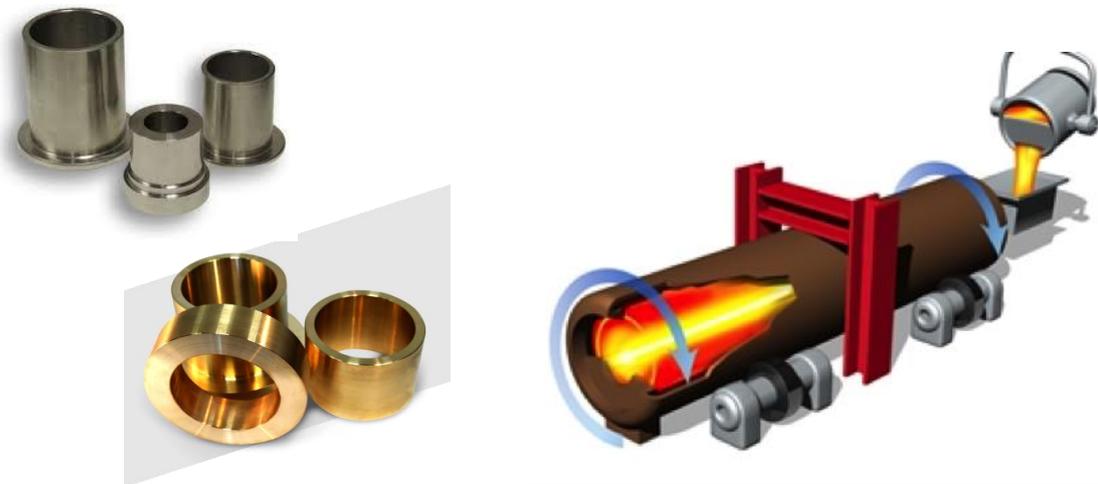
Avantages du procédé

- Excellentes propriétés du matériau ;
- Possibilité de représenter des géométries internes complexes (au moyen d'un noyau de sable) ;
- Faibles coûts d'outillage comparé à la coulée sous pression ;
- Degré élevé d'automatisation possible.

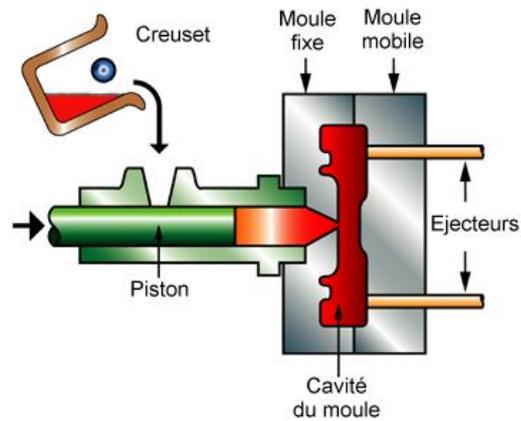
d) Coulée centrifuge : Le moulage par coulée centrifuge utilise la force centrifuge pour créer des formes cylindriques. Le procédé utilise un moule permanent auquel on imprime un mouvement rotatif sur son axe à des vitesses élevées (de 300 à 3 000 tours par minute) en même temps que le métal en fusion est versé. Le métal en fusion est projeté par la force centrifuge en direction de la paroi du moule. Le métal se solidifie sur la paroi après refroidissement. Pour la fabrication de tuyaux ou de pièces de formes de révolution complexes ;

Avantages

- Résistance à l'usure ;
- Haute uniformité structurelle ;
- Bonnes propriétés mécaniques.



e) Moulage sous pression : (jusqu'à 1500 bars) par injection de métal liquide ou pâteux dans un moule métallique froid ou légèrement chauffé. Ce procédé est utilisé pour la fabrication de petites pièces en grande série. Elle est également utilisée pour produire de grosses plaques d'acier ;



Avantages du procédé

- Précision dimensionnelle ;
- Faible surépaisseur pour l'usinage ;
- Parois minces ;
- Grande solidité ;
- Bonne qualité des surfaces ;
- Grande productivité par automatisation élevée ;
- Densité dans la mesure où la membrane de coulée n'est pas usinée.

1-D. Emboutissage

L'emboutissage consiste à transformer une tôle plane en une forme creuse ou concave, comme par exemple un godet par l'expansion de la tôle dans une matrice. Un serre-flan est généralement utilisé pour supporter le flan quand le poinçon pousse le métal dans la matrice. Ce procédé, d'utilisation très générale, permet de fabriquer les pièces de carrosserie automobile, des appareils électroménagers ou des ustensiles de cuisine, des emballages métalliques, des pièces mécaniques...

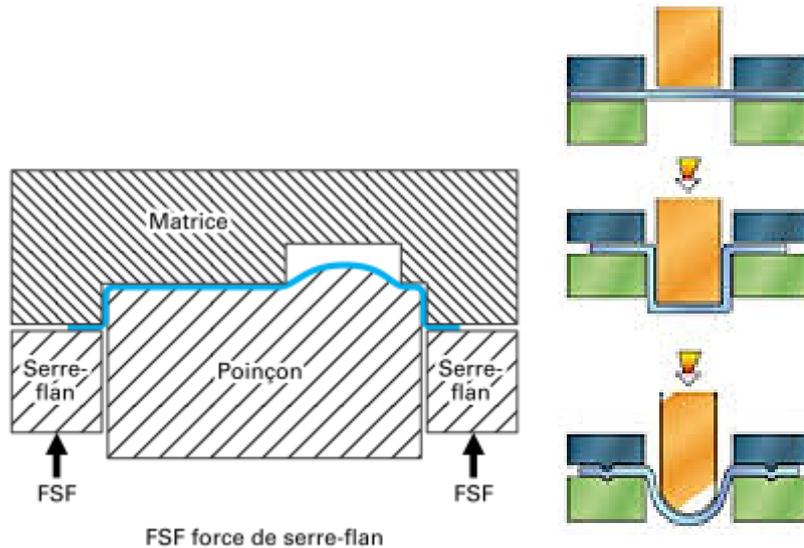


Figure : Outil d'emboutissage

Mise en forme à froid
 Métaux très ductiles
 Aluminium
 Laiton
 Cuivre

Mise en forme à chaud
 Métaux moins ductiles
 Titane : 300 – 500°C



1-E. Filage

Le filage (en anglais : extrusion) est un procédé de transformation à chaud des métaux et alliages. Son principe consiste à introduire un bloc de métal, porté à température de forgeabilité optimale, dans une enceinte fermée, et à le faire ressortir par un orifice de section plus petite que l'ouverture par laquelle il est entré, en exerçant sur lui une pression élevée.

L'interposition d'un lubrifiant efficace entre l'ébauche à déformer et les outillages, ainsi qu'une chauffe homogène, suffisent pour éviter la plupart des défauts de filage, en épargnant au métal des contraintes localement supérieures à sa résistance à la rupture.

Pour exécuter l'opération de filage, on utilise une enceinte de forme cylindrique en acier résistant aux contraintes élevées de déformation (pression et température), appelée conteneur. Ce conteneur est fermé

à une extrémité par une filière dont l'orifice est usiné selon une section droite similaire à l'extérieur du produit que l'on désire fabriquer. La billette de forme cylindrique, chauffée à la température optimale de déformation, est introduite dans le conteneur puis poussée contre la filière par un piston appelé fouloir ou poinçon sur lequel on applique l'effort de la presse.

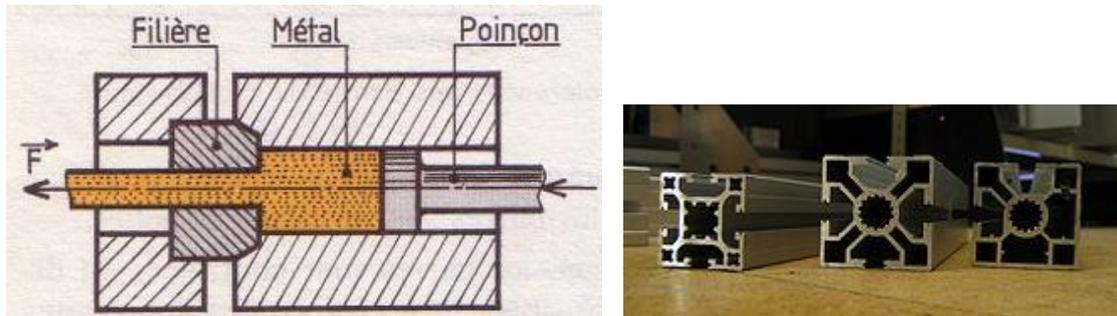


Figure : Schéma de filage d'un tube

Formes

Lorsque cet effort dépasse une valeur, liée aux caractéristiques du matériau et à sa température, la pression régnant dans le conteneur provoque l'écoulement plastique du métal à travers la filière. On obtient ainsi une barre de grande longueur dont la section transversale correspond à celle de la filière.

Le filage permet aussi d'obtenir des produits creux ou tubulaires. Pour cela l'ébauche est préalablement alésée à un diamètre permettant l'introduction d'un outillage appelée aiguille, généralement rétractable à l'intérieur du poinçon, dont la section droite est celle du profil intérieur désiré. Son extrémité avant vient se placer au-delà du plan de la filière, lors du démarrage de la phase de filage. Le métal s'écoule ensuite dans l'espace libre entre ces deux outillages, lesquels peuvent être non concentriques et de profils différents.

Les tubes sont obtenus à l'aide de filières et d'aiguilles de section circulaire, montées coaxialement dans l'axe de la presse.

Domaines d'application

- **Tubes en aciers inoxydables et en superalliages** (nickel, titane et zirconium).

Les diamètres extérieurs couramment réalisés par filage à chaud s'étendent de 25 à 300mm, les épaisseurs étant au moins égales à 3,5% du diamètre (limite inférieure en épaisseur : 3 mm). Les longueurs filées peuvent atteindre (ou, dans certains cas, dépasser) 30 m.

- **Profils (pleins et creux) en alliages de titane, aciers alliés, inoxydables et superalliages**

Les profils obtenus par filage peuvent être utilisés soit en l'état, soit comme ébauches en vue de rétirage à froid ou d'usinage ultérieur.

La figure présente quelques exemples de profils en acier obtenus par filage.

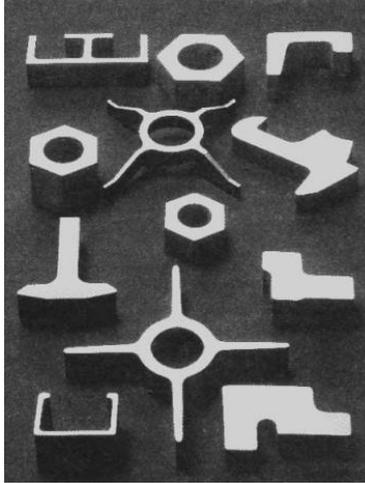


Figure : Profils en acier brut de filage

La précision dimensionnelle et la qualité de surface des produits bruts de filage permettent leur utilisation, en l'état, pour de nombreux usages : matériel ferroviaire, machines agricoles, bateaux...

Grâce au coût relativement peu élevé des outillages, les quantités fabriquées peuvent être très faibles (possibilité de fabrication unitaire).

Tubes en aciers au carbone ou faiblement alliés

De nos jours, le procédé de filage n'est plus compétitif, pour la production de tubes en très grandes séries, par rapport à d'autres équipements industriels, à cadence de production élevée, mis en service depuis les années 80. Seules, restent les fabrications spéciales et les ébauches pour l'industrie mécanique, en petites séries.

1-F. Tréfilage

Mise en forme à chaud : Le tréfilage est la réduction de la section d'un fil en métal par traction mécanique.

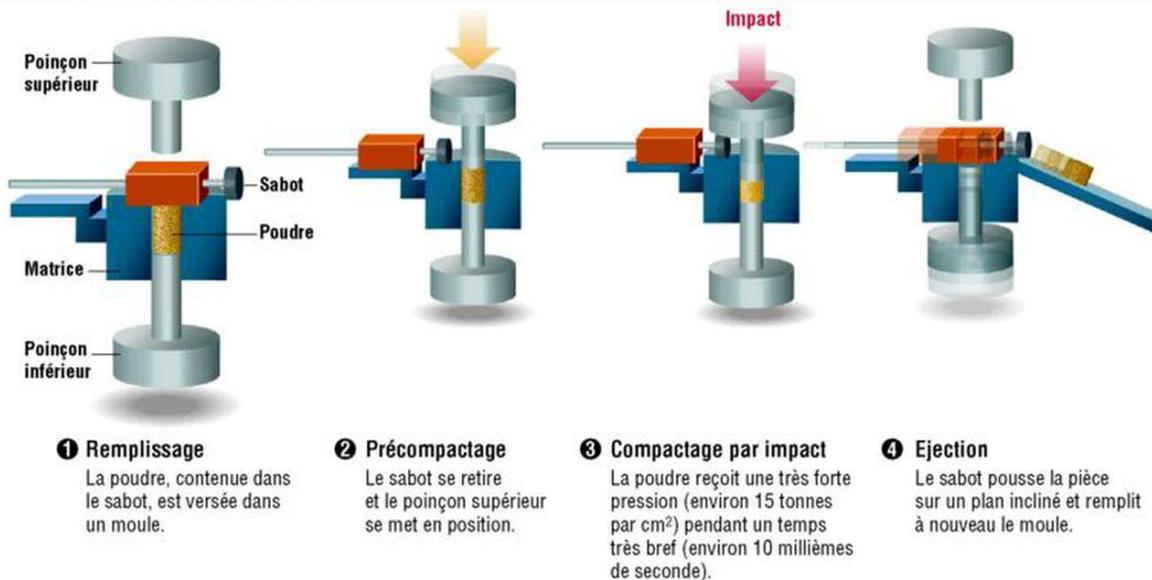


METALLURGIE

Métallurgie des poudres

Ce procédé consiste en une compaction de métal en poudre suivie d'un traitement thermique visant une densification de la pièce. Ce procédé donne une pièce pratiquement sans pores dont les propriétés sont presque identiques à celles du matériau d'origine. L'acquisition de ces propriétés résulte essentiellement de processus de diffusion se déroulant pendant le traitement thermique. Ce procédé convient particulièrement aux métaux faiblement ductiles, puisque les particules de poudre ne requièrent qu'une faible déformation plastique. Il est aussi utilisé avec les métaux à haute température de fusion, qui sont difficiles à faire fondre et à mouler. Il permet de plus d'obtenir à bas prix des pièces de faible tolérance dimensionnelle (par exemple : les coussinets et les engrenages).

Le compactage à grande vitesse



Idé / Source : Cetim

Procédé de compaction de métal en poudre



Pièces obtenues par la métallurgie de poudre