

Chapitre 3 : Procédés de fabrication sans enlèvement de matière 3 semaines

Introduction, Procédés par Déformation, Principe, Différents modes (Laminage, Forgeage, Estampage et Matricage, Tréfilage, filage, Pliage, Extrusion, Emboutissage), Procédés par fusion, Généralités, Principe (Moulage et Fonderie), Différents modes de moulage.

Chapitre III. Procédés de fabrication sans enlèvement de matière

III.1. Introduction

Les lingots métalliques obtenus par coulée du métal liquide peuvent être déformés directement sans enlèvement de matière sous forme de produits dont les cotes sont bien définies. Les opérations de mise en forme se font par déformation plastique.

Les principales opérations sont le forgeage, le laminage, le filage, le tréfilage, l'emboutissage. Elles peuvent être faites à froid ou à chaud, suivant la nature du matériau utilisé. Elles ont pour effet de provoquer dans le métal la formation d'une texture dont les caractéristiques dépendent de la température de l'opération et qui peut s'accompagner de phénomènes de recristallisation quand la déformation a été conduite à une température suffisamment élevée.

III.2. Principe des procédés par déformation

Le principe de ce procédé est de déformer un matériau à l'aide d'un outillage spécifique.

Cette déformation peut se réaliser à chaud ou à froid sur des matériaux plastiques ou métalliques.

Les matériaux métalliques à mettre en forme peuvent se présenter sous la forme de tôle ou de lopin. Le principe du procédé est d'amener la déformation dans le domaine plastique à l'aide de matrice, de manière à donner à la matière la forme souhaitée.

Les procédés de mise en forme par déformation nécessitent la réalisation d'un outillage onéreux, ce qui les destine à la production en série. **Figure III.1**

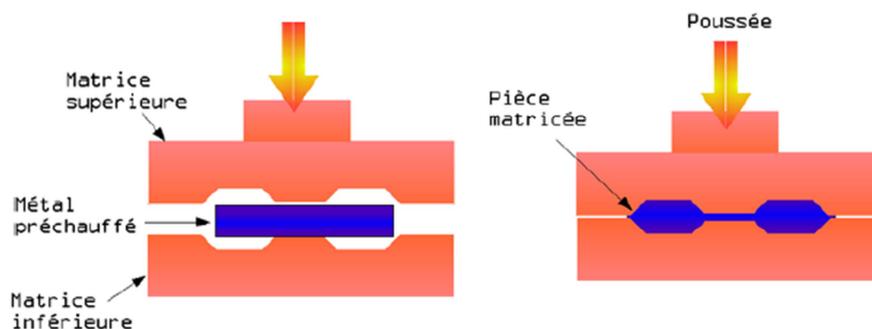


Figure III.1 Principe des procédés par déformation

III.2. 1. Le laminage

C'est l'opération qui consiste à déformer un métal en le faisant passer entre deux cylindres dont l'écartement est inférieur à l'épaisseur initiale. Elle peut être exécutée à froid ou à chaud. Les deux cylindres du laminoir tournent dans des sens opposés. Les frottements qui prennent naissance entre le lingot et les cylindres forcent celui-là à avancer (**figure III.2**). Pour préparer des produits plats, on utilise des cylindres à génératrice rectiligne. Pour obtenir des produits présentant des formes particulières, on emploie des cylindres à cannelures.

La réduction d'épaisseur du lingot s'obtient de façon discontinue par passes successives dans le même laminoir dont l'écartement des cylindres est progressivement diminué, en continu en utilisant des laminoirs placés en série. Le taux de réduction que l'on peut obtenir à chaque passe dépend de la nature du métal et de la température à laquelle l'opération est effectuée.

Le laminage à froid a pour effet d'augmenter la limite élastique, la résistance à la rupture et la dureté, et diminuer l'allongement du métal. Lorsque l'on veut rendre au métal ses caractéristiques mécaniques, on le soumet à un recuit à une température qui dépend de la valeur des caractéristiques désirées. Au cours du laminage, la déformation du métal se fait essentiellement dans le sens du déplacement du lingot dont la longueur augmente à chaque passe. Cependant, il se produit également un léger élargissement du lingot. Cet élargissement dépend d'un certain nombre de facteurs comme l'épaisseur initiale du lingot, de la réduction d'épaisseur provoquée par chaque passe, du diamètre des cylindres, de la température et aussi de la nature du métal. [15]

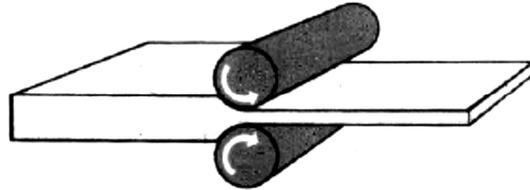


Figure III.2.: Principe du laminage

III.2. 2. Le forgeage

C'est l'opération qui consiste à déformer un lingot en exerçant sur le métal chaud des efforts de pression et de percussion. Le métal est dit corroyer. On utilise à cet effet des outils qui peuvent être le marteau, pour les pièces de petites dimensions, le marteau-pilon de plusieurs dizaines de tonnes, ou la presse de plusieurs milliers de tonnes pour les lingots pesant quelques tonnes ou dizaines de tonnes.

Les pièces mises en forme par forgeage présentent une texture bien définie, donc des caractéristiques mécaniques précises. Le forgeage des lingots provoque une homogénéisation par effet mécanique (écrasement de la structure dendritique) et par effet thermique (diffusion). Figure III.3.: [15]

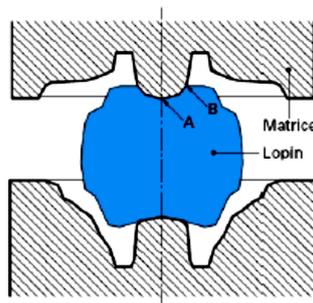


Figure III.3.: Principe du forgeage

III.2. 3. Matricage - Estampage

Le principe est de mettre en œuvre un matériau ferreux (estampage) ou non ferreux (matricage) à l'aide de matrices par choc ou pression. L'objectif de ce procédé n'est pas seulement de mettre en forme le matériau mais il est de renforcer les caractéristiques mécaniques. Figure III. 4

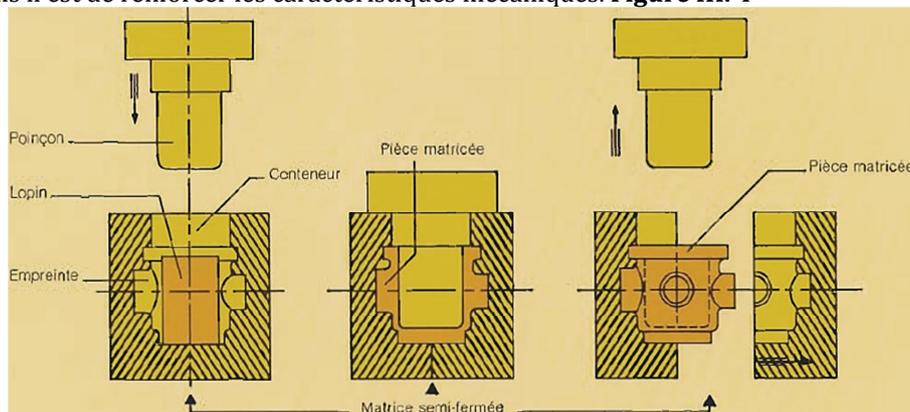
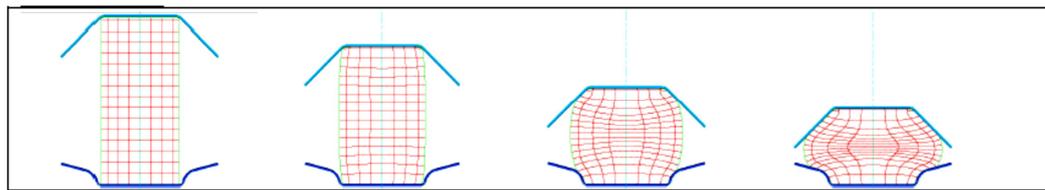
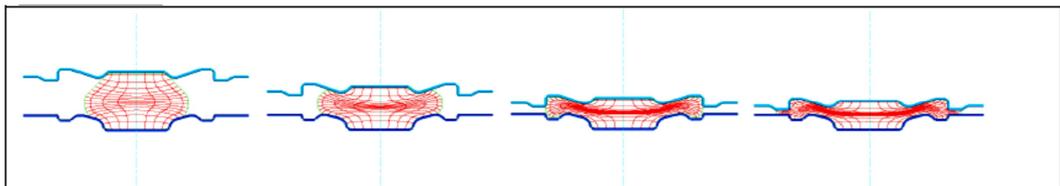


Figure III.4.: Exemple de principe du matriçage

La mise en forme se fait par opérations successives sur des outillages d'ébauche, de finition et d'ébavurage.



Outillage 1 : réalisation d'une ébauche



Outillage 2 : réalisation de la finition

III.2.4. Le tréfilage

Le tréfilage permet d'obtenir une pièce cylindrique en forçant son passage dans une filière (figure III.5). Le métal s'allonge et sa section se réduit : on dit qu'il file. La filière forme un cône de demi-angle au sommet appelé angle de filière. Du fait de la symétrie axiale du procédé, la déformation est dite axisymétrique.

Le taux de déformation par tréfilage est défini par la relation suivante :

$$\varepsilon \% = (S_i - S_f / S_i) \times 100$$

Où S_i et S_f sont respectivement les valeurs des sections initiales et finales du fil.

Le tréfilage en tant que procédé de mise en forme d'un matériau donné, est caractérisé par différents paramètres : le choix des paramètres de tréfilage garantissant un minimum d'énergie de déformation, c'est-à-dire quel angle de filière, taux de réduction, vitesse de tréfilage et lubrifiant sont choisis pour minimiser l'effort de traction et l'usure de la filière, et également par la structure et les propriétés du matériau qui déterminent sa capacité à subir une déformation élevée en tréfilage.

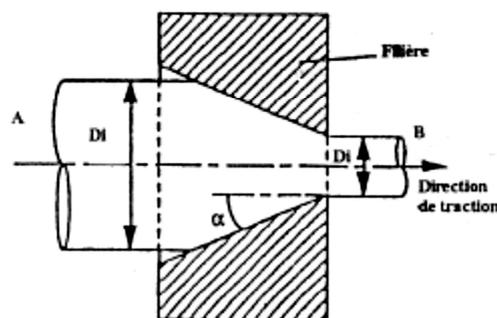


Figure III.5. Principe de tréfilage

III.2.5. Filage

Le filage (extrusion) est un procédé de transformation à chaud ou à froid des métaux et alliages (aluminium, cuivre, acier, plomb). Pour exécuter une opération de filage, on utilise une enceinte de forme cylindrique en acier résistant aux pressions élevées de déformation 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 filer. La billette de forme adéquate, éventuellement chauffée à la température optimale de déformation, est introduite dans le conteneur puis poussée par un piston appelé poinçon sur

lequel on applique l'effort de presse. Lorsque l'effort sur le piston 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 (menuiserie métallique : montants de portes ou de fenêtre en aluminium, refroidisseurs à ailettes, tubes de sections diverses, etc.). **Figure III.6. [15]**

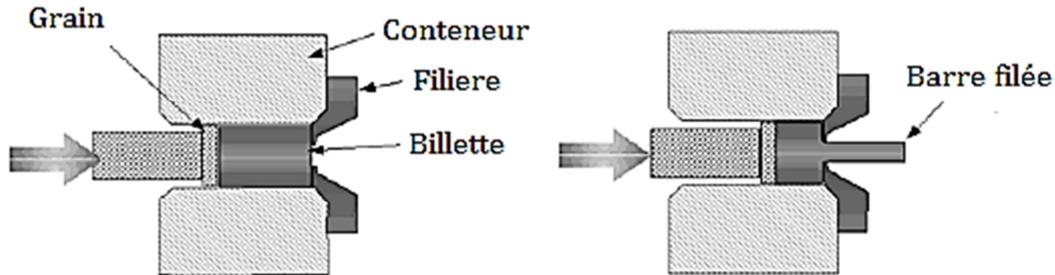


Figure III.6. Principe du filage.

III.2.6. Emboutissage

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique d'une surface de métal entraînée par un poinçon dans une matrice. Cette déformation est difficilement réversible; de ce fait, on considère que la pièce obtenue n'est pas développable. **Figure III.7.**

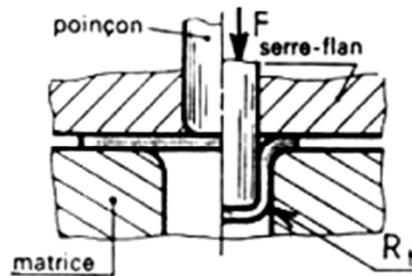


Figure III.7. Principe d'emboutissage

Il existe deux procédés d'emboutissage suivant la forme de pièce à obtenir.

- **Emboutissage en expansion**

Si la pièce a une forme complexe mais de faible profondeur on peut bloquer le flanc entre serre flanc et matrice, si besoin est avec des joncs. La tôle ne se déforme alors que sur le poinçon en s'allongeant dans une ou plusieurs directions et en s'amincissant, nous disons que nous travaillons en expansion.

- **Emboutissage en rétreint**

Si la pièce a une forme cylindrique droite (base circulaire ou quelconque) de forte profondeur on laisse glisser le flanc entre serre flanc et matrice, la déformation sur le poinçon est limitée aux rayons de poinçon, la majeure partie de la déformation se fait par rétrécissement sur la matrice, c'est l'emboutissage en rétreint.

III.2.7. Pliage

Le pliage permet l'obtention de pièces développables dont les plis sont obligatoirement rectilignes (**Figure III.8A**).

Deux techniques sont utilisées :

- Pliage en l'air (**Figure III.8B**)

Poinçon et matrice en V dont l'angle est inférieur à celui du pli à réaliser. Ce dernier est donné par la profondeur de pénétration du poinçon dans la matrice.

- Pliage en frappe

Poinçon et matrice en Vé dont l'angle est sensiblement égal à celui du pli à réaliser. L'épaisseur de la tôle est réduite à l'endroit du pli. Cette réduction est fonction du rayon R de pliage et de l'épaisseur e du matériau.

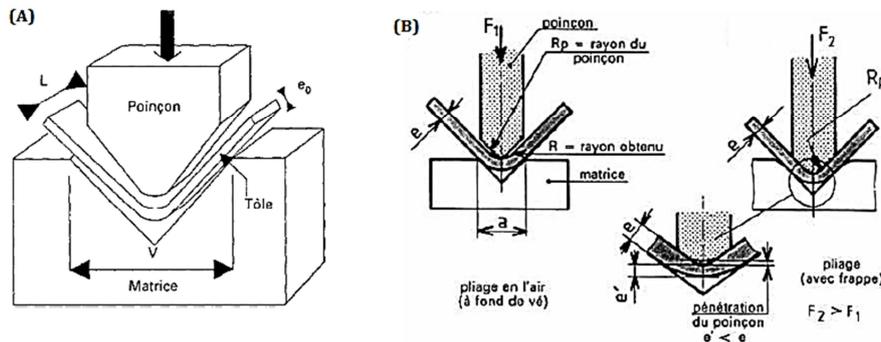


Figure III.8. (A) Principe de pliage, (B) Pliage en l'air

III.3. Procédés par fusion

III.3.1. Généralités

Sous le terme "**Fonderie**", on englobe généralement l'ensemble des techniques de mise en oeuvre pour obtention d'un objet par coulée d'un métal en fusion dans une empreinte appelée "**moule**" qui peut être en sable ou métallique [16]. **Figure. III.9.**

La réalisation d'une pièce de fonderie nécessite diverses opérations qui doivent se suivre :

- Le modelage : confection des modèles,
- Le moulage : confection des empreintes,
- La fusion : obtention du métal liquide à partir de minerais et de lingots dans des fours,
- La coulée : remplissage des moules à l'aide du métal liquide recueilli dans des poches de coulée,
- Le décochage : extraction de la pièce par destruction du moule par vibrations,
- Le dessablage : nettoyage des pièces par brosse métallique, par jets de sable ou de grenailles, etc...,
- L'ébarbage : enlèvement des parties supplémentaires de métal : bavures, jets de coulée, etc... à l'aide de burin manuel, pneumatique, de meule à découper, etc...



Figure. III.9. Principe de moulage

III.3.2. Propriétés des métaux en de fonderie

Les métaux utilisés en fonderie doivent être fluides à la température de fusion afin de pouvoir remplir convenablement les moules. Pour cela, pendant le processus d'élaboration d'une pièce, il faut prendre en considération deux propriétés essentielles à savoir :

- Coulabilité
- Retrait

III.3.2. 1. Coulabilité

C'est l'aptitude du métal liquide (fondu) de bien remplir le moule et de reproduire fidèlement son empreinte. Si le métal a une bonne coulabilité, le métal forme sans difficulté tous les éléments de la pièce, et le remplissage du moule sera assuré. Dans le cas contraire (mauvaise coulabilité), le remplissage du moule sera défectueux et la pièce est généralement rebutée.

Une bonne coulabilité des métaux peut être assurée avec l'élévation de la température.

III.3.2. 2. Retrait

On sait que tous les matériaux métalliques s'allongent sous l'effet de l'élévation de la température, et rétrécissent sous la diminution de cette dernière. A cet effet, et après une série d'essais effectués par des technologues spécialistes en fonderie, ils ont remarqués que les dimensions des pièces moulées sont inférieures à celle du modèle ; et que cette différence dans les dimensions provient principalement du phénomène physique de retrait du métal au refroidissement.

Ajouté à cela, ils ont aussi constatés que le retrait se manifeste dans toutes les directions et varie avec la nature du métal et le volume de la pièce.

III.3.3. Modelage

La confection du modèle qui servira à réaliser le moule, d'où sortira la pièce coulée (fondue) est appelée "**modelage**". Le modèle est fabriqué à partir du dessin de définition de pièce à exécuter avec des dimensions légèrement accrues afin de compenser le phénomène de retrait du métal au refroidissement ; et doit être solide, précis et conservé cette précision d'origine malgré les manipulations répétées.

Les modèles peuvent être monoblocs ou être en deux ou plusieurs parties, dans ce cas chaque partie doit être pourvue d'une cheville et d'un trou, qui se correspondent pour assurer un alignement précis lors de l'assemblage.

On attribue aussi généralement une légère pente appelée "**dépouille**" aux modèles afin de pouvoir les extraire sans abîmer le moule. Cette dépouille a souvent une valeur de 2 % sur la cote considérée.

Lorsque les pièces présentent des évidements, le moulage avec noyau s'impose. Les noyaux sont façonnés dans des boîtes à noyaux cloisonnées. Après façonnage, ils sont cuits dans un four jusqu'à ce qu'ils soient assez résistants pour être manipulés.

III.3.4. Sable de fonderie

Le sable utilisé en fonderie contient suffisamment d'argile pour qu'une légère humidification avant usage lui donne de la cohésion. Pour cela, les qualités exigées d'un sable de fonderie sont les suivantes :

- **Infusibilité**

Le sable de fonderie doit avoir une résistance aux températures élevées. Cette qualité est obtenue grâce à l'utilisation d'une forte proportion de silice de 75 à 90 %.

- **Plasticité**

C'est l'aptitude à épouser les formes du modèle. L'utilisation d'une faible proportion de résine avec le sable lui donne cette condition.

- **Cohésion**

C'est l'aptitude à la conservation des formes, elle s'obtient. Elle s'obtient en incorporant au sable de 5 à 15 % d'argile et environ 8 % d'eau.

- **Perméabilité**

Afin de permettre aux gaz formés durant la coulée d'être évacués sans difficulté, le sable formant le moule doit être perméable pour qu'ils puissent sortir. Cette perméabilité dépend de la grosseur des grains, et de l'intensité avec laquelle le sable a été comprimé (pressé). Pour améliorer la perméabilité, on ajoute de la houille (charbon) en poudre pulvérisée dans le sable. Les petites particules brûleront lors de la coulée du métal liquide, ce qui laissera des vides (infiniment petits) qui permettront aux gaz de s'évacuer.

III.3.5. Méthodes modernes de fonderie

- Moulage en coquille.
- Moulage par gravité.
- Moulage sous pression.
- Moulage par centrifugation.
- Moulage par enrobage ou à la cire perdue.