

## Mise en forme par déformation plastique

### I.1 Introduction

La déformation consiste à déformer plastiquement le matériau jusqu'à obtention de la forme désirée. Une déformation plastique est une déformation permanente du matériau. Les procédés de fabrication par déformation regroupent toutes les techniques de mise en forme des matériaux à l'état solide par déformation plastique. On distingue plusieurs techniques que l'on peut classer dans deux catégories différentes.

- La première catégorie, regroupe les techniques qui s'effectuent à chaud, c'est-à-dire à une température inférieure à la température de fusion du matériau. Elles s'appliquent principalement à la mise en forme de pièces massives.
- La deuxième catégorie rassemble toutes les autres techniques opérant à température ambiante, on dit que le travail s'effectue à froid. On distingue deux genres de pièces, minces et massives.

Dans le cadre de la mise en forme à chaud, le chauffage du matériau a pour objectif d'abaisser la limite élastique pour que le matériau devient plus malléable avec des efforts moins intenses. Ce qui autorise des amplitudes de déformation plus importantes sans risque de rupture.

### I.2 Principe

#### Principe de base

Une force (traction, compression, flexion, torsion) est appliquée pour déformer le matériau au-delà de son point de déformation élastique, le rendant malléable.

### I.3 Techniques de mise en forme par déformation plastique

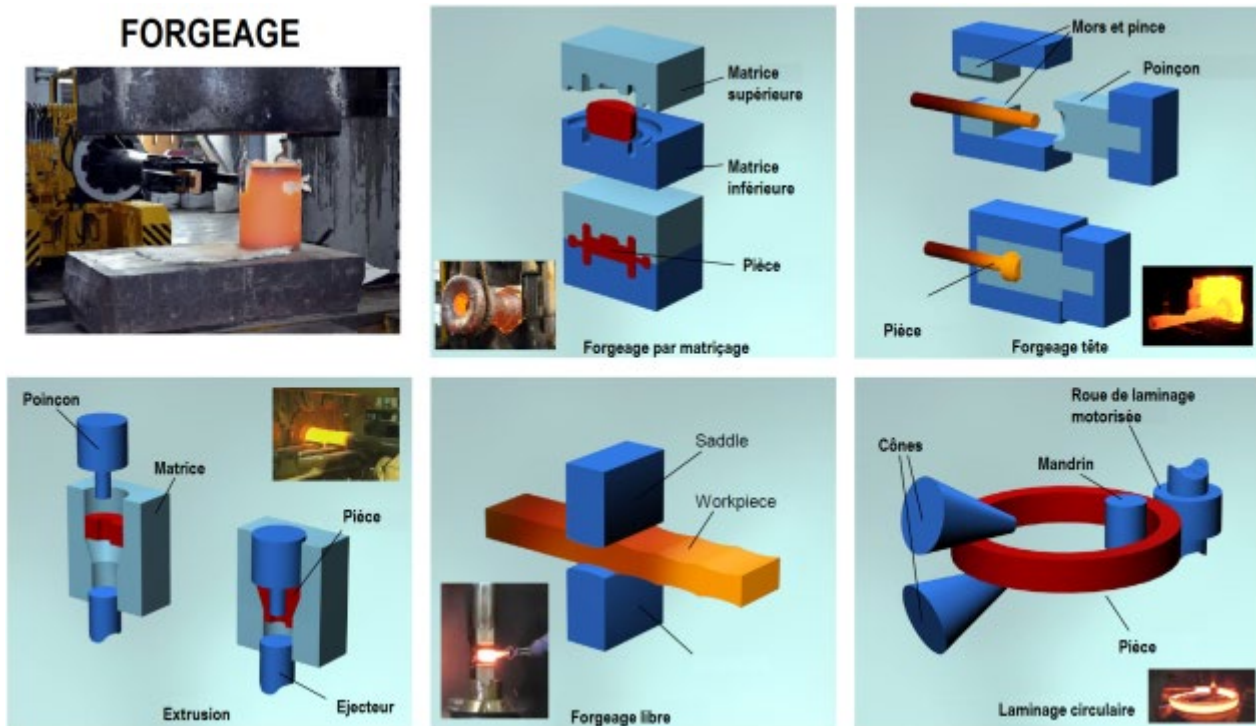
On distingue plusieurs techniques de mise en forme de pièces Fig. 1.

**I.3.1 Forgeage :** Façonnage de pièces comme des boulons et des écrous par martelage ou pressage. Le forgeage est utilisé pour fabriquer des pièces mécaniques résistantes, comme des outils, des pièces automobiles ou des pièces ferroviaires. 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.

Le forgeage regroupe plusieurs techniques, telles que le forgeage libre, le forgeage à froid (ou par extrusion), le forgeage par estampage, le forgeage par matriçage, et enfin le forgeage par laminage.

1. **Forgeage libre sans matrice:** forgeage d'une pièce à l'aide d'outillages standards. La forme est donnée par le savoir-faire de l'opérateur.
2. **Forgeage par matriçage:** forgeage par écrasement entre des outillages (matrices) de forme spécifique.
3. **Frappe ou forgeage à froid :** mise en forme à température ambiante ou avec un léger préchauffage.

Parmi les autres procédés de déformation, citons le refoulement, qui consiste à comprimer les extrémités de fils machines au sein de cavités pour former, par exemple, un boulon, et l'extrusion pour la fabrication de produits cylindriques et de tuyaux.



### I.3.1.1 Forgeage libre

Le forgeage libre est la plus ancienne technique : il s'effectue à chaud soit manuellement, en frappant le métal posé sur une enclume avec un marteau ou un pilon, soit avec l'aide d'une presse hydraulique puissante. Ainsi, on obtient des ébauches ou des pièces mécaniques brutes, prêtes à être usinées, et dont la résistance est améliorée grâce au processus de forgeage. C'est une technique qui permet de produire des petites séries ou des pièces à l'unité, car elle requiert peu d'outils.

#### I.3.1.1.1 Caractéristiques du forgeage libre

La forme définitive de la pièce est obtenue par une succession de déformations progressives ne demandant qu'une faible dépense énergétique par unité de surface, à partir d'outils simples.

Deux Types de pièces réalisées :

- Petites séries de 1 à 10 pièces dont le coût des outillages d'estampage entraînerait un prix unitaire élevé.
- Grosses pièces (100kg à 500T) réalisables seulement par cette technique. Les formes obtenues sont moins complexes qu'en estampage.

#### Avantages du forgeage

- Peu de perte de matière.
- Pièces plus résistantes que les pièces moulées ou usinées.
- Réduction du temps d'usinage comparativement à une pièce entièrement usinée.

- Affinage du grain.
- Réalisation de pièces monoblocs.
- Amélioration des caractéristiques mécaniques (respect du fibrage).
- Pièces sous fortes sollicitations.

### Inconvénients du forgeage

- Le forgeage à chaud empêche le durcissement par écrouissage et augmente la difficulté d'effectuer des opérations d'usinage.
- Importantes quantités d'énergie sont mise en jeu.
- Faible productivité, un délai de la fabrication des moules qui peut être important dépendamment de la complexité.
- Tolérances et le fini de surface des pièces forgées ne sont pas meilleurs qu'en usinage en plus des coûts importants liés au procédé.

Exemples des pièces forgées pour différents matériaux :



Composants médicaux (articulations de la hanche) en titane



Carter en aluminium d'automobile



Pales de turbine résistantes à la chaleur en alliages de nickel



Bielles pour moteurs de camions en acier

### I.3.2 Procédé de Laminage

Le terme « laminage » fait généralement référence à un procédé de fabrication industriel où un matériau est passé entre des cylindres pour réduire son épaisseur et augmenter sa longueur. Pour les métaux, on distingue le laminage à chaud (déformation à haute température) et le laminage à froid (déformation à température ambiante).

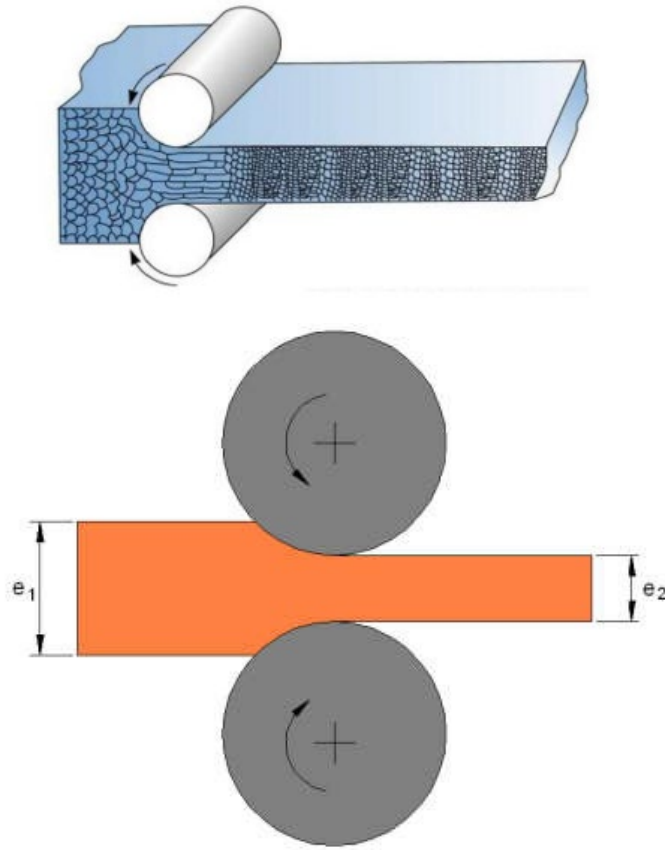


Fig.1 Procédé du laminage

### I.3.2.1 Caractéristiques du laminoir

Un laminoir est caractérisé par différents éléments :

- Géométriques : dimensions des cylindres, écartements maximums
- Mécaniques : force de laminage, vitesse
- Énergétiques : puissance d'entraînement, couple

La force ou pression de laminage  $F$  (N) que doit supporter le laminoir par réaction durant la déformation du métal, est donnée par la formule approchée :

$$F = kl\sqrt{D(E - e)/2}$$

$k$  : résistance à la déformation (N/mm<sup>2</sup>)

$l$  : largeur du produit (mm)

$E$  : épaisseur du produit à l'entrée,  $e$  : épaisseur à la sortie (mm)

$D$  : diamètre des cylindres de travail (mm)

La puissance du laminage peut se déduire comme ordre de grandeur à partir du couple  $C$  (N.m) de laminage par cylindre :

$$C = F \cdot a$$

$a$  (m) : distance du point d'application de la résultante des forces par rapport à l'axe du cylindre. La puissance totale  $P$  (W) pour deux cylindres, à partir de la vitesse de rotation  $N$  en (tr/min) est :

$$P = 4\pi a FN / 60$$

La puissance réelle est supérieure à cette approximation en particulier dans le laminage froid des produits minces. Les paliers peuvent absorber 10 à 20 % de la puissance totale. Les installations atteignent des puissances de 15 000 kW.

Le laminage à froid augmente la résistance et la dureté de l'acier et diminue sa ductilité (c'est-à-dire sa capacité à se déformer plastiquement de façon durable sans se casser), et il est donc nécessaire de le soumettre à un procédé appelé recuit.

### I.3.2.2 Laminage à chaud

Le laminage à chaud est un procédé de formage de métaux (principalement l'acier) à haute température, généralement supérieure à 926 °C, qui permet de les aplatir et de les modeler plus facilement.



**Fig.2** Laminage à chaud

Le laminage à chaud permet une grande variété de formes et de pièces, ainsi que la possibilité de fabriquer de grandes pièces sans se soucier de l'intégrité du matériau. C'est pourquoi l'acier laminé à chaud est souvent utilisé dans des projets structurels.

### I.3.2.3 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques de l'acier dépendent souvent de sa **composition chimique**. Pour cette raison, il n'est jamais fiable de faire des hypothèses sur les propriétés mécaniques du laminage à chaud par rapport au laminage à froid à moins que leur composition chimique ne soit la même.

Si nous partons de la **composition de l'acier au carbone 1018**, qui est l'une des plus courantes, nous pouvons voir qu'il existe des différences clés entre le laminage à froid et le laminage à chaud.

|                                 | Laminage à chaud | Laminage à froid |
|---------------------------------|------------------|------------------|
| <b>Résistance à la traction</b> | 67.000 psi       | 85.000 psi       |
| <b>Limite élastique</b>         | 45.000 psi       | 70.000 psi       |
| <b>Réduction volumétrique</b>   | 58               | 55               |
| <b>Éirement en 2"</b>           | 36               | 28               |
| <b>Dureté Brinell</b>           | 137              | 167              |

#### I.3.2.4 Apparence

Une **pièce d'acier laminé à chaud** a une surface rugueuse, sans toucher gras et bords arrondis.

Une **pièce d'acier laminé à froid** a une surface lisse, un toucher gras au toucher et des bords tranchants.

#### I.3.2.5 Avantages

L'acier laminé à chaud, ayant une tolérance plus élevée, permet une **plus grande malléabilité**, tandis que l'acier laminé à froid est limité à certaines formes limitées, telles que plate, carrée et ronde.

### I.3.3 Emboutissage

#### I.3.3.1 Définition

L'emboutissage de pièces métalliques consiste à donner une forme déterminée à une pièce métallique en l'appliquant à une matrice. Cette technique de **transformation** permet de réaliser des pièces de formes complexes à partir de bobines de métal.

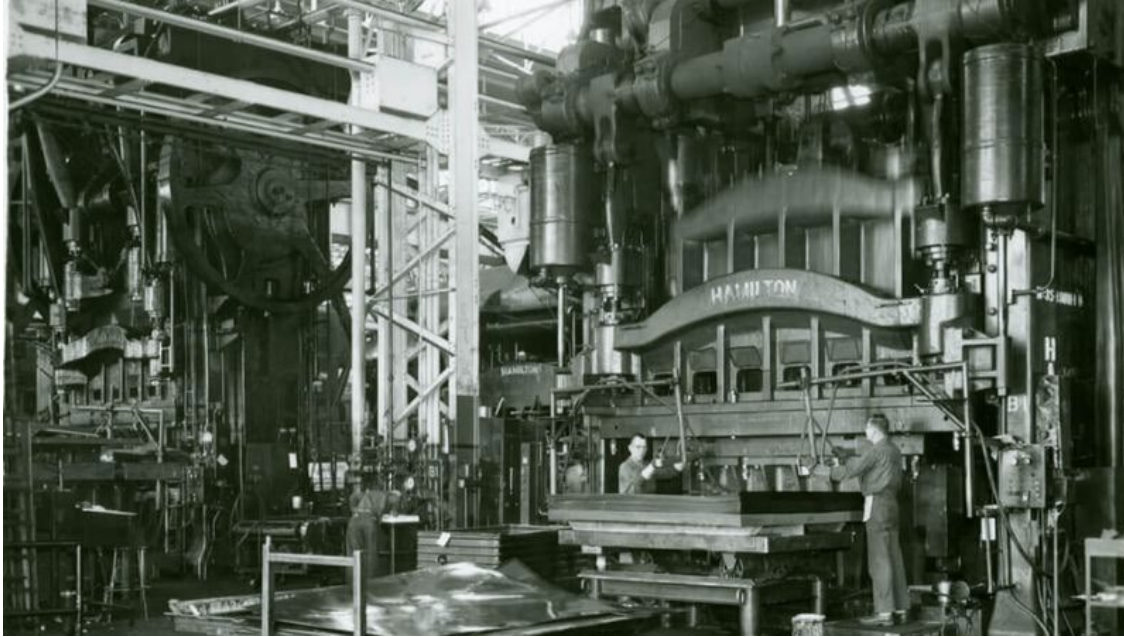


Fig. 1 L'emboutissage des métaux autrefois

L'objectif de ce procédé est de produire des pièces métalliques aux formes, designs et dimensions spécifiques.

Les produits sont fabriqués avec précision et avec une faible tolérance. De plus, est rentable et la production en masse est possible dans un délai plus court.

### I.3.3.2 Opération d'emboutissage

L'opération comprend cinq étapes principales.

- Conception de l'outil : Le processus d'emboutissage commence par la conception de l'outil ou du moule métallique. Un logiciel de CAO permet de réaliser des conceptions précises et complexes. L'étape suivante est la fabrication. **Matrice d'emboutissage en métal** avec une machine CNC et découpe laser.
- Préparation du matériau : Une tôle adaptée à l'application et à la méthode de fabrication est sélectionnée. Elle est ensuite découpée en longueurs plus courtes pour faciliter la manipulation. Une bobine métallique est utilisée pour l'emboutissage progressif.
- Alimentation : Les machines et les paramètres sont réglés. La tôle est ensuite introduite dans le poste de travail automatisé.
- Opération d'emboutissage : Cette opération consiste à appliquer une pression importante sur la tôle pour la déformer. Plusieurs opérations d'emboutissage peuvent être réalisées sur la tôle selon la demande.
- Finition et post-traitement : La dernière étape est consacrée au traitement thermique ou au traitement de surface de la **pièce estampée**, si nécessaire.

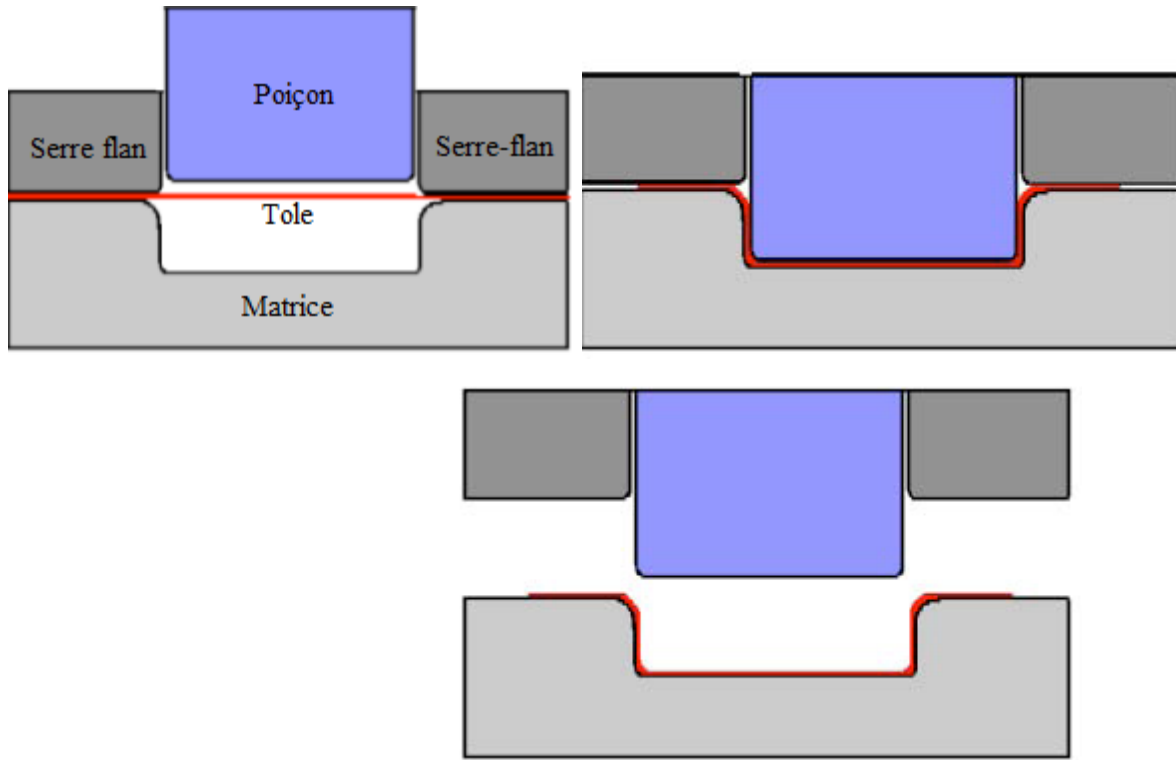


Fig.2 Phases (03) de l'opération de l'emboutissage

### I.3.4 Extrusion, filage

L'extrusion est un procédé de fabrication qui consiste à pousser une matière (plastique, métal, aliments, etc.) sous pression à travers une filière pour lui donner une forme continue. Ce processus, souvent effectué à chaud, permet de produire des produits semi-finis de formes variées et est utilisé dans de nombreux secteurs industriels.

Cette méthode de mise en forme, permet d'obtenir des produits longs, tels que les barres et les tubes **Fig. 1**, ou plus des pièces de formes complexes (profilé pour l'aéronautique, par exemple).

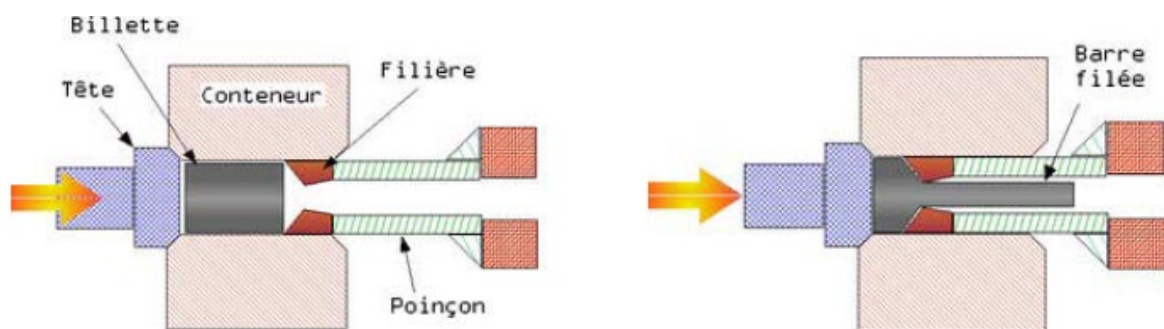


Fig. 1 procédé de filage

#### I.3.4.1 Étapes générales du processus

##### 1. Alimentation de la machine

La matière première, souvent sous forme de granulés, de poudre ou de pâte, est introduite dans une trémie.

##### 2. Mise en forme

La matière descend par gravité dans un fourreau où une vis sans fin la transporte, la chauffe et la malaxe. Cela la transforme en une masse homogène et malléable.

### 3. **Passage sous pression**

La vis pousse la matière à travers une tête d'extrusion munie d'une filière (un moule) qui lui donne la forme souhaitée.

### 4. **Conditionnement**

Après l'extrusion, le produit peut être refroidi, calibré, étiré, coupé et marqué au laser, selon l'application.