

Données complémentaires  
pour une meilleure approche  
du chapitre

**APPROCHE TECHNICO-ECONOMIQUE**

Ch. 8 - Vocabulaire du métier  
de la fixation

**TECHNIQUE AVANCÉE**

Ch. 6 - Profil d'un élément  
fileté

**ENVIRONNEMENT & LEGISLATION**

Ch. 12 - Usages de la profession  
et préconisations générales

Ch. 13 - PPM et SPC

# 3

## Process de fabrication des fixations

# 3.0 Process de frappe à froid

## Principe

La frappe à froid est un process à haute vitesse où le fil machine (préalablement préparé par phosphatation) est découpé à longueur, puis déplacé à travers une succession d'outils et filières, déformant le lopin en diamètre et longueur / figure 3.0-1.

Durant les opérations, le métal est proche de sa limite élastique et conserve sa forme modifiée en sortie de filière. On ne s'approche pas de la résistance limite à la traction du métal pour éviter les ruptures.

Il existe de nombreux types de machines, adaptés aux pièces à produire :

- capacité de diamètre (2 mm à 48 mm),
- capacité de longueur (2 mm à 300 mm et plus),
- force de frappe (de 5 tonnes à 1600 tonnes),
- type de transfert : «universel», «parallèle» ou «prise-mouvement-place»,
- les machines de frappe peuvent être à 2, 3, 4, 5 voir 6 frappes simultanées, assorties à un nombre de filières variable (1 à 6).

### Quelques chiffres qui parlent ...

Une machine de frappe est une grosse presse horizontale qui coûte de 300 000 à 1 million d'euros.

La cadence de production est très élevée : elle peut frapper de 20 coups/minutes (vis en acier inoxydable de gros diamètre par exemple) jusqu'à 800 coups/minutes (vis pour matériaux tendres de diamètre 4 mm par exemple), et donc de fabriquer jusqu'à 800 fixations par minute.

La production d'une machine de frappe est de l'ordre de 1 à 10 tonnes de fixations par jour.



Source illustrations: National Machinery.



3.0-1 Déformation du lopin



3.0-2 Guidage du fil : introduction



3.0-3 Guidage du fil : transfert



3.0-6 6 filières et 6 frappes



3.0-4 6 filières et 6 frappes «Formax»



3.0-5 6 filières et 6 frappes

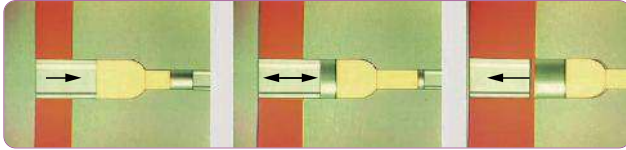


3.0-7 Bobine de fil

## Principales étapes

La frappe à froid d'un matériau donné est conditionnée par les propriétés mécaniques de celui-ci. Ces propriétés déterminent les «règles» pour former les pièces, toutes basées sur trois méthodes de base.

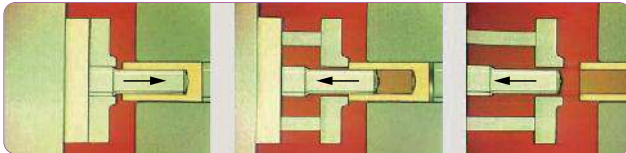
3.0-8



### Extrusion (filage) avant

Méthode pour réduire le diamètre, où le pourcentage de réduction est libre ou limité par la capacité du matériau à entrer dans une filière de diamètre plus faible.

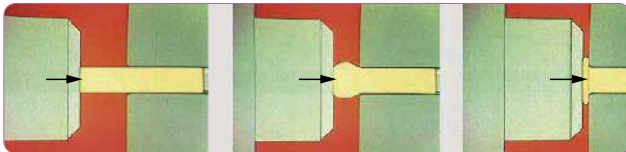
3.0-9



### Extrusion (filage) arrière

Méthode pour réaliser des trous, où le matériau est poussé en arrière autour d'un outil pénétrant (formation d'empreinte)

3.0-10



### Compression (refoulement)

Méthode pour former la tête des fixations : un volume de matière prédéfini sur lopin est compressé sur la face de la matrice, de forme plate ou spécifique en fonction de la forme de tête souhaitée.

## 3.0-11 Exemple de gamme de déformation à froid



Découpage du fil pour obtention d'un lopin

Opération de frappe pour formation du corps et fût de la vis

Ebauche de la tête de vis et marquage

Découpe du six pans et formation du pas de vis

## 3.1 Process de frappe à chaud (forge)

### Principe

La frappe à chaud est un process à faible cadence, où l'on déforme un lopin préalablement chauffé par induction électrique afin d'en faciliter sa transformation à la presse. C'est une sorte d'estampage pour lequel on utilise de grandes presses à vis qui ont l'avantage d'avoir un effet combiné de frappe et de pression.

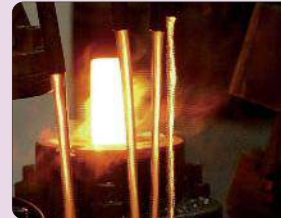
La première phase de l'opération de frappe provoque l'écoulement de la matière. La pression qui suit assure le remplissage complet du moule.

Cette technique est surtout utilisée pour des petites séries et des pièces de grandes dimensions. Elle est aussi utilisée quand on cherche à obtenir des pièces de grande résistance. En effet, la déformation ayant lieu à chaud, lorsque la matière est malléable, on diminue les risques de rupture de frappe.

Avantages de la forge à chaud :

- des tolérances serrées se rapprochant de la frappe à froid,
- un outillage souvent unique pour faire l'ébauche et la finition de la forme,
- des temps de montages courts pour des séries économiquement inférieures à 500 pièces et des délais très courts,
- la possibilité de travailler tous les types d'acier,
- la capacité de forger les vis de gros diamètre et les ébauches de pièces diverses pour les usineurs.

Si la commande le précise, des essais réalisés par des organismes reconnus (CETIM, etc) valident les résultats obtenus.



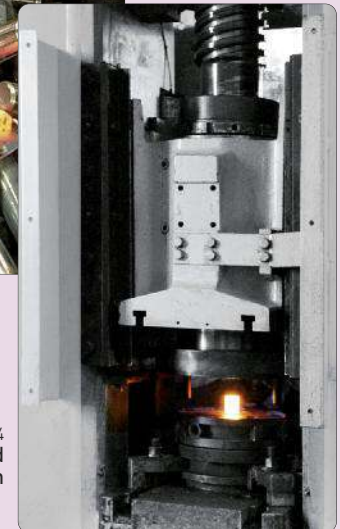
3.1-1 Chauffage du lopin



3.1-2 Formation d'une tête de vis



3.1-3 Lot en sortie de forge



3.1-4  
Forge à chaud  
en exploitation

## 3.2 Process de découpage / emboutissage

### Découpage

L'opération consiste à découper, en partant d'un métal en feuille (en flan ou en rouleau), des pièces comportant un contour déterminé (avec ajours et pliage éventuellement), au moyen d'une presse équipée d'outillages spéciaux. C'est le procédé le moins coûteux et le plus rapide pour obtenir un profil donné dans un produit plat.

Les progrès obtenus dans la technique du découpage permettent fréquemment de réaliser simultanément des opérations telles que cambrage, encochage, roulage, pliage, poinçonnage, en automatique.

Les cadences varient en fonction de la pièce à produire. Elles peuvent être de quelques dizaines à plus de 1000 coups/minute. A titre d'exemple, il est possible de citer en pièces types : les contacts électriques, les rotors et stators de moteurs électriques, les charnières, les rondelles plates...

### Emboutissage

L'emboutissage consiste à faire subir à une feuille ou un flan de métal, une déformation permanente et progressive par des moyens mécaniques, en vue d'obtenir une pièce à surface non développable.

L'opération est réalisée sur une presse mécanique ou hydraulique, équipée d'outillages spéciaux qui peuvent, dans certains cas, combiner plusieurs fonctions.

Parmi les exemples les plus caractéristiques, citons : la carrosserie automobile, la cocotte minute, les casques, les rondelles coniques...

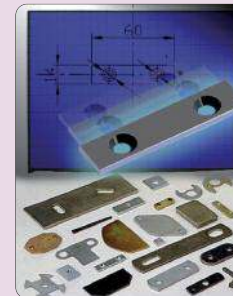
### Découpe laser

Le découpage laser est un procédé de fabrication qui utilise un laser pour découper la matière (métal, bois...) grâce à la grande quantité d'énergie concentrée sur une très faible surface.

En général, le laser est pulsé (source de type YAG) ou continu (source CO<sub>2</sub>). Actuellement, les lasers à source CO<sub>2</sub> sont largement majoritaires en France. Ils permettent en effet de découper beaucoup plus de matériaux et à une vitesse plus élevée que les lasers pulsés. Les lasers utilisés couramment ont une puissance de 1500 watts mais les sources peuvent varier de quelques watts à plus de 4 kW. La puissance doit être adaptée en fonction du matériau et de l'épaisseur à découper.



3.2-1. Presse de découpe



3.2-2 Pièces découpées

Ce procédé permet une découpe précise, nette et rapide de nombreux matériaux jusqu'à 20 mm. La découpe se fait sans effort sur la pièce et la zone affectée thermiquement (ZAT) est assez faible (de l'ordre de 5/10 de mm sur les métaux) ce qui permet d'avoir des pièces très peu déformées. La réalisation de trou est facile mais leur diamètre doit être au moins égal à l'épaisseur de la tôle. Dans certains cas, il est nécessaire d'utiliser un gaz additionnel dans la zone de découpage pour en améliorer l'efficacité. Certains matériaux, comme l'aluminium ou le cuivre, sont toutefois plus durs à découper au laser à cause de leur fort pouvoir réfléchissant. Souvent, il est aussi possible de graver (texte, etc.) avec la même machine.

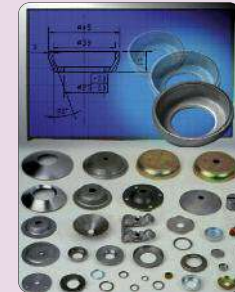
Le découpage laser a été utilisé dans l'industrie à partir des années 1980. Depuis il s'est répandu et banalisé. Dans le secteur de la transformation des métaux, il est complémentaire d'autres procédés comme le découpage par poinçonnage. Alors que celui-ci est tributaire de la forme de l'outil utilisé, le découpage laser permet de faire varier à volonté la forme découpée. A cette fin, les machines de découpe laser sont en constante évolution : diversification des matériaux métalliques (aciers, puis alliages d'aluminium,...) et augmentation de l'épaisseur de la tôle découpable, jusqu'à plusieurs centimètres. Ces évolutions sont liées notamment aux progrès réalisés en matière de sources laser.



3.2-6 Equipement de découpe laser

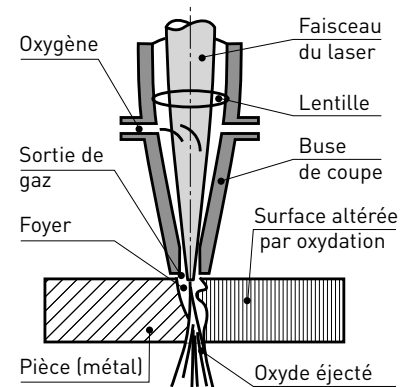


3.2-4 Presse d'emboutissage



3.2-3 Pièces embouties

D'après INDUSTRIE & TECHNIQUES



3.2-5 Schéma de principe de la découpe laser

# 3.3 Process par frittage

## Frittage

Le procédé consiste à :

- préparer une poudre ou un mélange de poudre généralement métallique,
- compresser cette poudre dans un moule (phase de compression / figure 3.3-1),
- chauffer dans un four sous vide ou à atmosphère contrôlée à une température inférieure à celle de l'élément principal (phase de frittage).

## Epaulement et dépouilles

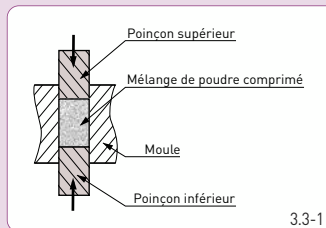
Pour les pièces non épaulées, la dépouille n'est pas nécessaire (les forces d'éjection sont supérieures aux forces de frottement) (figure 3.3-2). Pour les pièces épaulées ou comportant des embrèvements, des dépouilles minimales de 3° sont nécessaires (figure 3.3-3).

## Chanfreins

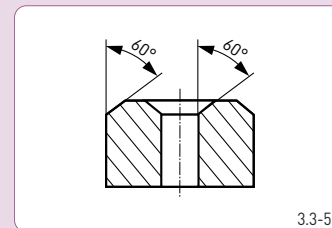
Casser l'angle vif par un méplat de 0,1 (la fragilité des poinçons est diminuée) (figure 3.3-4). De préférence choisir des chanfreins à 60° (figure 3.3-5).

## Rayons

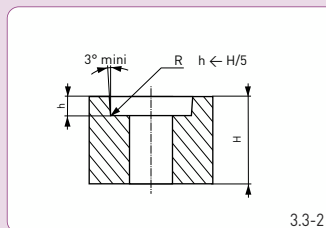
Comme pour les chanfreins, on réalise un méplat de 0,1 (figure 3.3-6). Le dessinateur peut exécuter des rayons tangents à la face et au cylindre en lieu et place des chanfreins (figure 3.3-7).



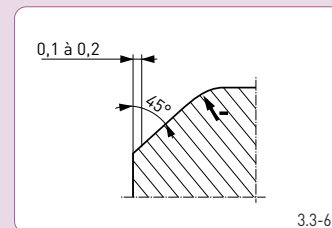
3.3-1



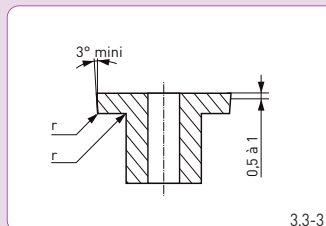
3.3-5



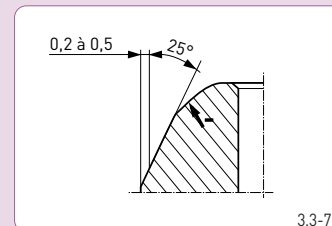
3.3-2



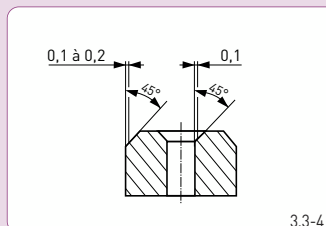
3.3-6



3.3-3



3.3-7



3.3-4

D'après la Fédération des Chambres Syndicales des Minerais et des Métaux non ferreux.

## 3.4 Process par estampage et matricage

Le terme d'estampage s'applique au forgeage mécanique des aciers. Le terme de matricage s'applique au forgeage mécanique des métaux non ferreux.

L'orientation du fibrage est la particularité du process d'estampage/matricage, ce qui améliore la tenue mécanique des pièces par rapport à un process de moulage. Cette amélioration nécessite d'orienter le fibrage en fonction des directions des contraintes auxquelles les pièces seront soumises.

Le procédé consiste à chauffer un lopin de métal à une température adaptée et à l'écraser entre deux matrices gravées conformément aux formes définitives à obtenir. Il nécessite de lourds investissements et des outillages onéreux (tableau 3.4-1).

La dépouille est l'angle que font les parois de la matrice avec la direction de son déplacement. Elle aide le métal à pénétrer au fond des gravures et facilite l'extraction de la pièce.

### Variation de section

Il convient de raccorder les différentes sections de la pièce par des congés.

Les variations brusques de sections voisines sont à éviter car elles sont la cause de difficultés de réalisation et de pertes de métal qui se transforment en bavures. Dans ce cas, l'ébauche ne peut épouser la forme de la matrice de finition. Une forme conçue avec des arrondis les plus grands possibles permet un bon écoulement du métal au moment du forgeage et assure une durée de vie optimisée aux outillages.

### Arrondi d'arêtes saillantes (tableau 3.4-2)

Plus les rayons sont faibles, plus il faut appliquer un effort de forgeage important et plus il existe un risque de dégrader les matrices.

### Rayon des noyaux (tableau 3.4-3)

La pénétration d'un noyau de matrice en forgeage provoque un mouvement de métal où celui-ci est gêné dans son expansion par une paroi latérale. Après remplissage, il peut se produire une crique ou une amorce de crique. C'est la

3.4-1

Engin	Dépouille intérieure			Dépouille extérieure		
	Pente	Angle	Domaine	Pente	Angle	Domaine
Pilon				16%	9°	Pour nervures de forte hauteur
	16%	9°	Valeur normale	10%	6°	Valeur normale
	10%	6°	Pour noyaux de faible hauteur	5%	3°	Pour pièces de révolution de faible hauteur
Presse à forger verticale	16%	9°	Pour des creux profonds	10%	6°	Pour pièces de révolution de faible hauteur
	10%	6°	Valeur normale	5%	3°	Valeur normale
	5%	3°	Avec éjecteur	2%	1°	Avec éjecteur
Machine à forger horizontale	2 à 5%	1 à 3°	Selon la profondeur du trou borgne ou du débouchage	5%	3°	Pour poinçons du coulisseau principal
				2%	1°	Valeur normale
				0%	0°	Pour outils du coulisseau secondaire

valeur du rayon du congé qui détermine le niveau risque et gravité du défaut. Ce rayon  $r$  se détermine en fonction de l'épaisseur de la toile  $e$ , de sa hauteur  $h$  et du diamètre du noyau (tableau 3.4-3).

### Toile (tableau 3.4-4)

Les toiles sont des parties de pièces résultant du rapprochement de deux noyaux l'un vers l'autre. Elles peuvent être de forme ronde, annulaire, carrée, rectangulaire mais sont toujours plates. Leur épaisseur minimale est déterminée par la résistance mécanique des noyaux de la matrice (et non par la puissance de l'engin de mise en forme).

Les valeurs ci-dessous, exprimées en mm, sont des minimaux, imposant l'utilisation de deux matrices de pour leur obtention. Les petites séries nécessitent un doublement de ces valeurs. Elles sont déterminées en fonction de la dimension horizontale la plus faible de la toile  $l$  et selon la matière.

3.4-2

Métal et température de forgeage	Acier au carbone 1050°C	Aciers légers 470°C	Laiton 670°C	Cupro-aluminium 850°C
$R_1$ minimum <sup>(1)</sup>	$D \times 0,013$	$D \times 0,018$ <sup>(2)</sup>	$D \times 0,008$	$D \times 0,011$
$R_2$ minimum <sup>(1)</sup>	$D \times 0,018$	$D \times 0,025$ <sup>(2)</sup>	$D \times 0,011$	$D \times 0,015$

1.  $R_1$  est le rayon de l'arête côté intérieur et  $R_2$  celui de l'arête côté extérieur.

2. Ces valeurs sont aussi à utiliser pour des aciers fortement alliés au tungstène et molybdène.



3.4-3

Diamètre ou largeur du noyau		12	18	22	30	36	45	58	70	90	110
h = 8	e = 3	4	4	4,5	5	6,5					
	e = 4		3,5	4	4,5	5,5	7,5	8			
	e = 5			4	4,5	6,5	7,5	7	9		
h = 11	e = 3	4	4,5	5	6	7					
	e = 4		3,5	4	5	6	8,5	9			
	e = 5					5	7,5	8	10		
h = 14	e = 3	5	5,5	6	7	8					
	e = 4		4,5	5	6	7	8	10			
	e = 5					6	7	9	11		
h = 18	e = 3		6	6	8	9	10				
	e = 4		4,5	5	7	8	10				
	e = 5			4	5,5	7	9	10	11	12,5	
h = 22	e = 3			6,5	9	10	11				
	e = 4			5,5	8	9	10	12			
	e = 5				7	8	9	11	12	14	17
h = 28	e = 4				10	12	13	14			
	e = 5				10	11	12	13	14	16	
	e = 6				8	9	10	11	12	14	18
h = 36	e = 5					13	14	15	16		
	e = 6					13	14	15	17	21	
	e = 7					12	13	14	15	19	
h = 45	e = 7					16	17	19	21		
	e = 8					15	16	18	19	22	
	e = 9					13	14	16	18	20	

Dimensions en mm.

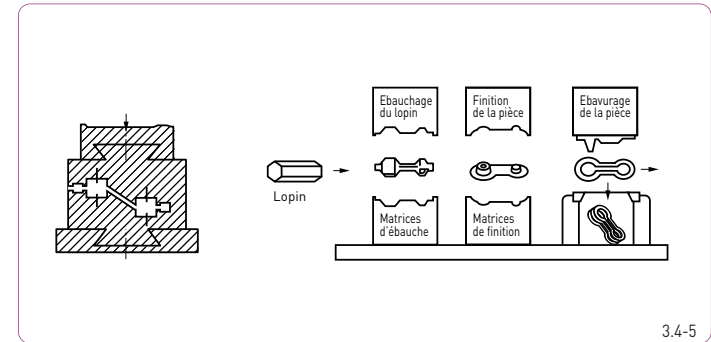
3.4-4

Valeur de l	0 à 40	41 à 65	66 à 100	101 à 140	141 à 190	191 à 235	235 à 300	301 à 360	361 à 455
Acier	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Duralumin	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	11	12
Laiton	1,4	2,1	2,8	3,6	4,3	5	5,7	6,4	7,2
Bronzes d'aluminium	1,7	2,5	3,4	4,2	5	6	6,8	7,6	8,5

### Surépaisseur d'usinage

Il convient de prévoir 1 à 2 mm sur chaque face usinée en sus de la dépouille (pour des pièces jusqu'à 120 mm de plus grande dimension, cette surépaisseur étant à majorer au-delà).

### Principes de déformation



# 3.5 Process par usinage

Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme voulue, dans un niveau de précision et d'état de surface correspondant aux spécifications, le tout au moyen de machines-outils. Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe et le mouvement d'avance.

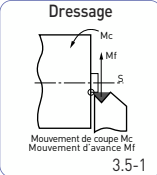
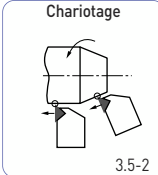
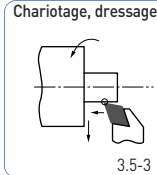
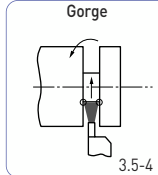
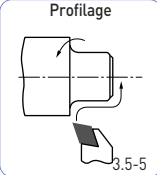
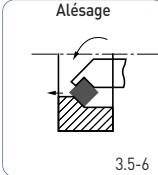
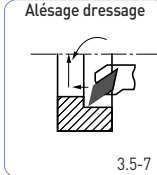
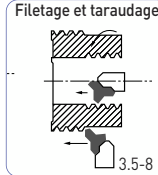
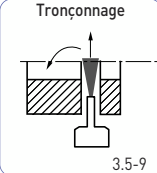
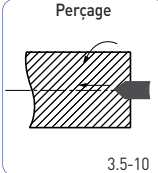
Il existe deux manières de générer la surface recherchée :

- par travail de forme : c'est la forme tranchante de l'outil qui conditionne la surface obtenue,
- et par travail d'enveloppe : c'est la conjonction des mouvements de coupe et d'avance qui définit la surface finale.

**reprise d'usinage** : les pièces préalablement frappées peuvent être reprises par des opérations de tournage, perçage, fraisage ou par rectification"

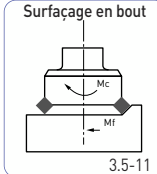
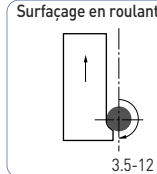
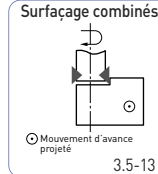
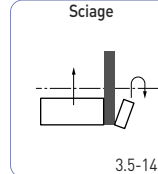
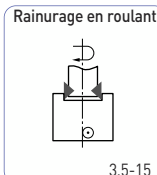
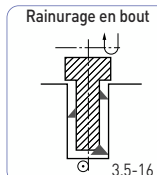
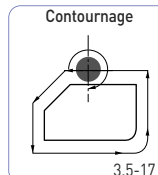
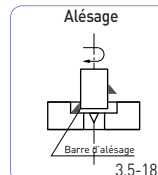


## Tournage : principales opérations

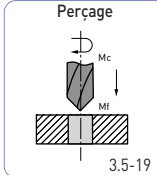
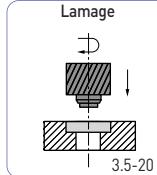
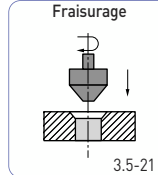
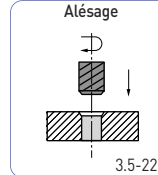
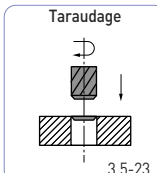
 <p>Dressage</p> <p>3.5-1</p>	 <p>Chariotage</p> <p>3.5-2</p>	 <p>Chariotage, dressage</p> <p>3.5-3</p>	 <p>Gorge</p> <p>3.5-4</p>
 <p>Profilage</p> <p>3.5-5</p>	 <p>Alésage</p> <p>3.5-6</p>	 <p>Alésage dressage</p> <p>3.5-7</p>	 <p>Filetage et taraudage</p> <p>3.5-8</p>
 <p>Tronçonnage</p> <p>3.5-9</p>	 <p>Perçage</p> <p>3.5-10</p>		

## Fraisage : principales opérations

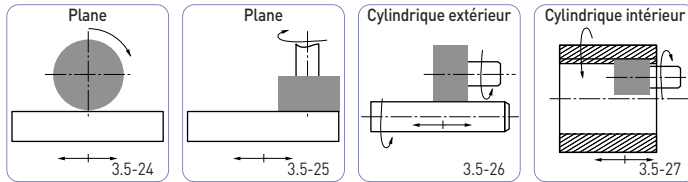
Le tournage permet d'obtenir des surfaces de révolution et le fraisage des surfaces planes. Le perçage permet l'assemblage ou le montage ultérieur des pièces obtenues ; la rectification est une opération complémentaire afin d'obtenir le niveau souhaité d'état de surface.

 <p>Surfaçage en bout</p> <p>3.5-11</p>	 <p>Surfaçage en roulant</p> <p>3.5-12</p>	 <p>Surfaçage combinés</p> <p>Mouvement d'avance projeté</p> <p>3.5-13</p>	 <p>Sciage</p> <p>3.5-14</p>
 <p>Rainurage en roulant</p> <p>3.5-15</p>	 <p>Rainurage en bout</p> <p>3.5-16</p>	 <p>Contournage</p> <p>3.5-17</p>	 <p>Alésage</p> <p>Barre d'alésage</p> <p>3.5-18</p>

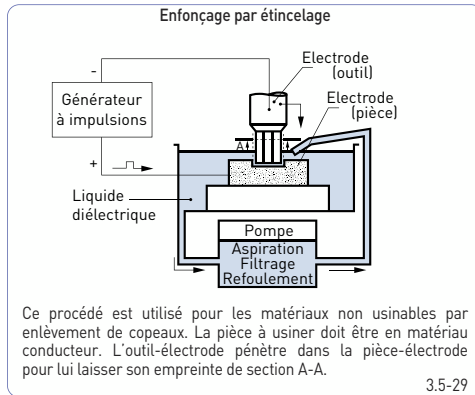
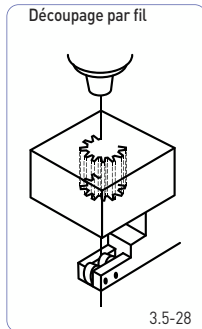
## Perçage : principales opérations

 <p>Perçage</p> <p>3.5-19</p>	 <p>Lamage</p> <p>3.5-20</p>	 <p>Fraisage</p> <p>3.5-21</p>	 <p>Alésage</p> <p>3.5-22</p>
 <p>Taraudage</p> <p>3.5-23</p>			

## Rectification : principaux types

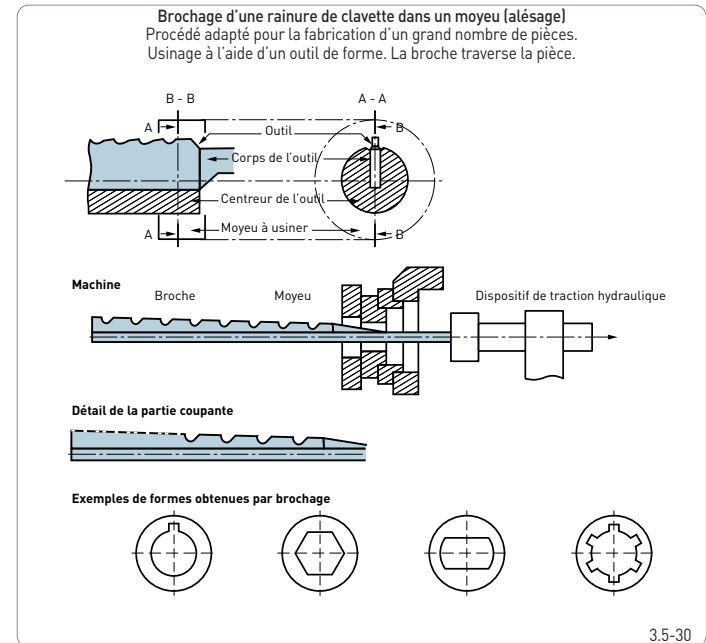


## Electro-érosion (rectification par électro-érosion, usinage de précision)



## Brochage

Exemples de formes obtenues par brochage.



## 3.6 Process par injection

### Principe du moulage des matières plastiques par injection (figure 3.6-1)

L'injection est le principal process de mise en œuvre des matières thermo-plastiques, notamment parmi les procédés discontinus.

Son avantage principal réside dans une mise en œuvre économique, des cadences et tailles de série très importantes et très peu ou pas d'opération de finition.

Le process permet l'obtention de pièces de grande complexité en combinant plusieurs fonctionnalités.

Sous forme de granulés, la matière est introduite dans l'extrudeuse à travers la trémie (1) puis est plastifiée dans le fourreau (2) à l'aide de résistances chauffantes et d'une vis de plastification (3).

Contrairement à l'extrusion, cette vis peut se déplacer en translation et en rotation. Le mouvement de cette «vis piston» est assuré par un moteur hydraulique (4). Il permet deux phases distinctes :

- une phase de dosage : la vis recule au maximum, de façon à stocker en bout de vis la quantité nécessaire de matière et «stockée» en bout de vis ;
- une phase d'injection : la vis avance avec un mouvement de translation, de façon à injecter la matière stockée à travers la buse d'injection (5), jusque dans le moule (6). Un clapet anti-retour (7) sur la vis empêche le reflux de matière vers l'arrière.

Une vis d'injection est généralement polyvalente et capable de produire des pièces avec une grande variété de matière. En effet la capacité de plastification a une importance minime, le temps de dosage étant négligeable par rapport au temps de cycle. Lors de l'injection, les pressions en bout de vis sont très élevées, typiquement de 500 à 1000 bars. Le fourreau est généralement dimensionné pour supporter 1500 bars. Compte tenu des pertes de charges, les pressions dans le moule sont plus faibles, mais encore très élevées de l'ordre de 300 à 700 bars.

Dans le cycle du procédé, il est intégré un aller-retour de l'ensemble fourreau-trémie-moteur pour que la buse soit accolée au moule juste au moment de l'injection, évitant ainsi la formation de bouchons de matière solidifiée et le chauffage inutile du moule. L'ensemble est appelé le ponton (8).

Au moment de l'injection, il faut éviter que le moule ne s'ouvre sous l'effet de la pression dans celui-ci. Il faut donc appliquer au moule une force au moins supérieure à la force d'ouverture, à l'aide d'un vérin hydraulique de

verrouillage (9).

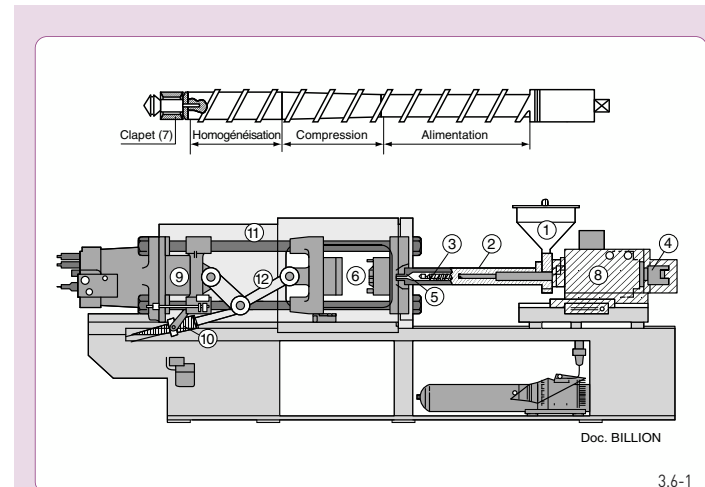
Pour ouvrir ou fermer le moule, un vérin de fermeture (10) est associé au vérin de verrouillage. La partie mobile du moule coulisse le long de colonnes (11). Il existe plusieurs systèmes de fermeture, notamment avec genouillère (12).

Après refroidissement des pièces (phase de solidification) et l'ouverture du moule, les pièces sont éjectées

### Détail du cycle d'injection (figure 3.6-2)

Aux étapes 3, 4, 6 et 7, au niveau du bloc d'injection correspondent des positions différentes de la vis :

- en début de cycle, la vis est reculée au maximum, de façon à stocker en bout de vis la quantité de matière d'œuvre nécessaire,
- lors de l'étape 3, l'injection, la vis avance en translation de façon à évacuer cette matière vers le moule. Cette étape est contrôlée par la programmation de vitesses hydrauliques d'injection. On dit qu'il s'agit d'une phase dynamique.



3.6-1

Selon les possibilités de la presse et en fonction de la pièce à réaliser, il existe habituellement au moins trois paliers, selon le profil «lent/rapide/lent». Le meilleur compromis permet d'obtenir un remplissage aussi rapide que possible tout en évitant la dégradation de la matière (début de remplissage, passage du seuil), et en obtenant des pressions dans l'empreinte pas trop élevées (fin de remplissage).

La **pression dans le vérin d'injection** est donc une valeur lue (non programmée) qui découle de ces vitesses et de la viscosité de la matière.

- En fin de phase 3, la vis est stoppée lorsqu'elle atteint le **point de commutation**, auquel est associée la course de commutation. Celle-ci est habituellement de l'ordre de 10 à 15% de la course de dosage.

Le point de commutation définit le passage de la phase d'injection à la phase de maintien. Un remplissage de 100% de l'empreinte est obtenu, tout en évitant le surcompactage (ou surdosage).

- A l'**étape 4**, débute la phase de maintien (ou phase statique), contrôlée par des paliers de **pression de maintien**, plutôt que par des vitesses hydrauliques.

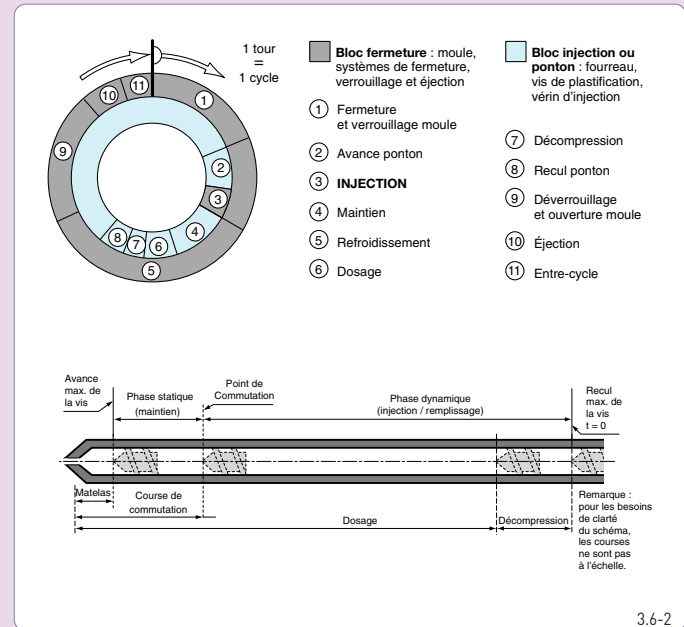
Ceux-ci permettent de compenser le retrait de la matière dans l'empreinte, jusqu'à la solidification totale. La vis avance très légèrement de façon à ce que l'apport de matière puisse conserver un volume constant de la pièce à réaliser. L'opération est délicate, car il s'agit d'éviter d'introduire des contraintes internes au sein du matériau.

En fin de course, la position la plus avancée de la vis durant le cycle permet d'obtenir le **matelas**. C'est une réserve de matière permettant de rendre effective la pression de maintien.

- En phase 6, le **dosage** est effectué de façon à stocker à nouveau en bout de vis la quantité de matière nécessaire au cycle suivant. La vis de plastification recule avec rotation. Les paramètres contrôlant cette phase sont d'une part la **vitesse de rotation** de la vis, et d'autre part la **contrepression**. Cette dernière

permet de freiner le recul de la vis, ce qui favorise le stockage d'une matière de meilleure qualité en bout de vis (meilleure plastification, pas d'entraînement d'air,...).

- En phase 7, la décompression consiste à faire reculer la vis sans rotation, une fois le dosage effectué. La matière plastifiée en bout de vis est décompressée, car il n'y a pas d'apport supplémentaire, ce qui évite de la faire sortir de la buse. Cela permet le recul du ponton et évite la formation de «bouchons».



3.6-2

## 3.7 Process de filetage roulé

### Historique

Les premiers essais de roulage des filets datent du début du 19<sup>e</sup> siècle. La mise en pratique, limitée à la fabrication de vis, boulons et rivets a commencé industriellement au début du 20<sup>e</sup> siècle. Mais avec des résultats médiocres du fait d'un défaut de maîtrise de la matière première, de l'usinage et de la précision de l'outillage. Les améliorations apportées ont permis une adoption de ce process dans les années 30, puis une généralisation durant la seconde guerre mondiale.

### Principe du roulage

Le roulage consiste à former une pièce de révolution sans copeaux, par déformation. Un outillage spécifique constitué de deux cylindres, appelés molettes, comportant le même profil que la pièce à réaliser, est placé dans une machine comparable à une presse. Les molettes se rapprochent de la pièce en tournant et pénètrent la matière, entraînant la rotation de la pièce, jusqu'à la déformer et reproduire leur profil sur celle-ci. Au cours du roulage, une lubrification abondante est nécessaire.

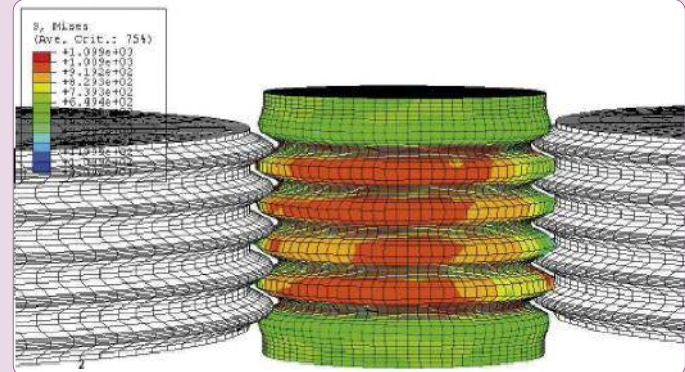
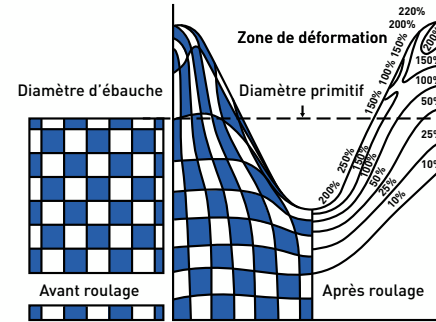
Par ce procédé, le diamètre hors tout de la pièce augmente, le creux du filet entraînant des excroissances de matière pour former la tête du filet (3.7-1).

Il existe deux variantes de cette technique de roulage à deux molettes :

- le **roulage en plongée** : la vis est filetée sans se déplacer et la longueur du filetage dépend de la largeur des molettes. L'angle d'hélice des molettes est égal à l'angle d'hélice de la vis et le diamètre des molettes est un multiple exact du diamètre de la vis. Cette technique est utilisée pour le filetage des vis, notamment celles issues de la frappe à chaud (3.7-2 et 3.7-3).
- le **roulage en enfilade**, une barre se déplaçant entre les molettes, ce qui permet la réalisation de grandes longueurs de filetage. Cette technique est utilisée pour la réalisation des tiges filetées.

Pour la visserie en grandes séries, issues de la frappe à froid, on privilégie le roulage par la technique des peignes rectilignes, taillés sur une face, selon le même principe que les molettes (3.7-5).

3.7-1 Représentation de la déformation de matière avant et après roulage (taux de déformation)



3.7-2 Simulation du roulage à cinq filets



3.7-3 Roulage en plongée d'une vis à six pans creux

Un peigne est fixe, l'autre mobile. L'ébauche de la vis est introduite entre les peignes et à la fin du déplacement du peigne mobile, le filetage est terminé et la pièce éjectée. (3.7-4)

En complément d'opération sur la même machine, des couteaux peuvent être installés afin de réaliser des pointes.

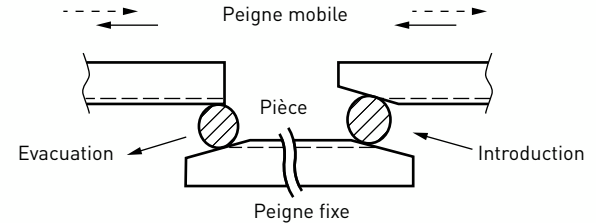
Entre l'alimenteur de la rouleuse et la rouleuse elle-même, une unité d'assemblage de rondelles peut être installée, permettant l'obtention de vis à rondelle imperdable.

Cette technologie est cependant généralement limitée aux pièces de diamètre inférieur ou égal à 24 mm, et par la longueur des pièces (jusqu'à 260 mm) et la longueur du filetage (jusqu'à 100 mm).

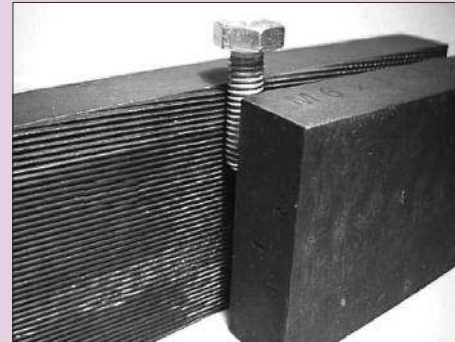
### Avantages et limites du roulage

- Les fibres de matière ne sont ni rompues ni coupées mais déformées, contrairement au process de taillage.
- Il n'y a pas de production de copeaux.
- Le process est plus efficace économiquement que le taillage, sur les aspects de consommation de matière et de temps d'opération.
- Le roulage améliore les caractéristiques mécaniques par écrouissage de la matière.
- Les taux de déformation peuvent atteindre 200% en fond de filet et de 100 à 200% sur les flancs, entraînant une forte augmentation de la dureté superficielle (jusqu'à 30%) et générant un état de compression s'opposant à l'amorçage des fissures et à leur propagation, ce qui améliore la tenue en fatigue.
- Le roulage glace la surface, ce qui améliore la résistance à l'oxydation, diminue les frottements mécaniques et supprime les amorces de rupture.

Le procédé par roulage est susceptible de générer l'inclusion d'impuretés qui peuvent être incompatibles avec certaines technologies, telles que l'ultra-propreté ou les technologies du vide.



3.7-4



3.7-5

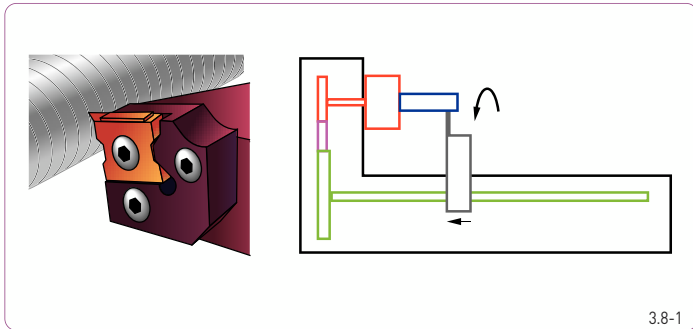
Roulage d'une vis à tête hexagonale par peignes rectiligne

## 3.8 Process de filetage taillé

### Principe du taillage

Le taillage de filet est une opération d'usinage par enlèvement de copeaux. C'est la méthode «historique» de production de filetage, méthode détrônée par le filetage roulé (voir chapitre précédent).

Le métal est coupé, en plusieurs passes successives, par un outil de dureté supérieure (acier rapide ou plaquette carbure). Le profil du filetage est donné par la forme de l'outil de coupe. Le pas du filetage est obtenu en synchronisant l'avance du porte-outil sur la rotation de la pièce usinée (sur un tour, rapport d'engrenage entre vis mère et rotation du mandrin).



### Avantages et limites du taillage

- Pas d'impuretés.
- Pas de limite de taille.
- Les fibres de matière sont rompues.
- Il y a production de copeaux.
- Le process est moins efficace économiquement que le roulage, sur les aspects de consommation de matière et de temps d'opération.