

Données complémentaires
pour une meilleure approche
du chapitre

5. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

5.6 Défaillance d'assemblages
vissés : typologie et causes
principales

6. PROFIL D'UN ÉLÉMENT FILETÉ

8. SERRAGE, AUTO-FREINAGE, GRIPPAGE

8.0 Principes mécaniques
du serrage d'un assemblage vissé

12. QUALITÉ, CONTRÔLE ET NON-CONFORMITÉ

BIBLIOTHÈQUE ET OUTILS

24 Vocabulaire du métier
de la fixation

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 (figure 3.0-7) (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 (figures 3.0-4 et 3.0-5), 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) (figure 3.0-6).

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.



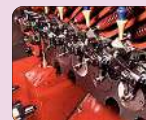
Source illustrations: National Machinery.



3.0-1
Déformation
du lopin



3.0-2
Guidage du fil :
introduction



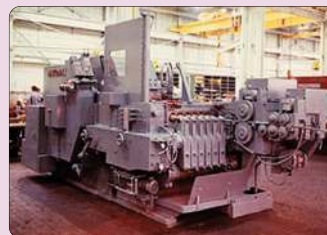
3.0-3
Guidage du fil :
transfert



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

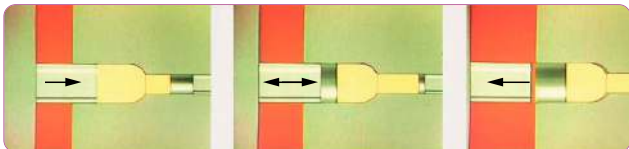


3.0-7 Bobine de fil

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.

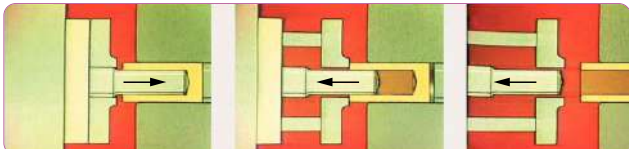
3.0-8



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.

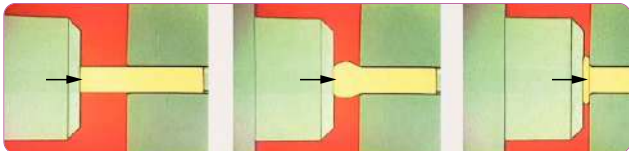
3.0-9



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 tasure 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.



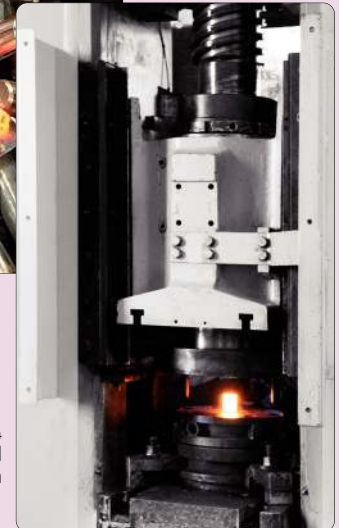
3.1-1 Chauffage du lopin



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...

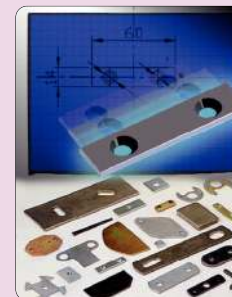
Découpe laser

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 CO₂). Actuellement, les lasers à source CO₂ 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 programmables. Les performances de la découpe laser sont en constante évolution : diversification des matériaux métalliques (aciers, puis alliages d'aluminium,...) et augmentation de l'épaisseur de la tôle découppable, jusqu'à plusieurs centimètres. Ces évolutions sont liées notamment aux progrès réalisés en matière de sources laser.



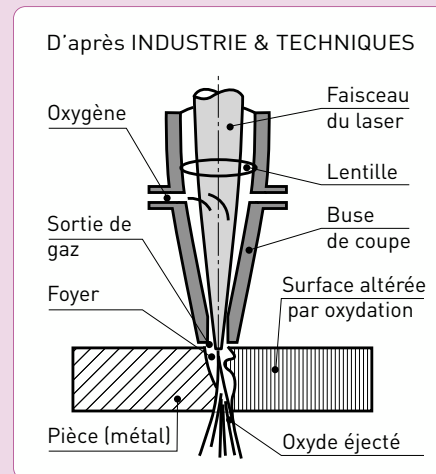
3.2-6 Equipement de découpe laser



3.2-4 Presse d'emboutissage



3.2-3 Pièces embouties



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

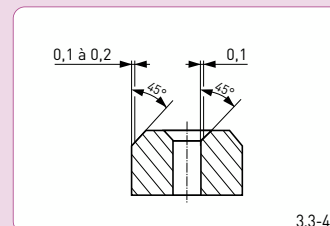
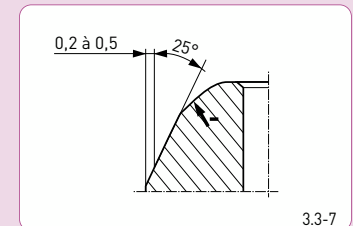
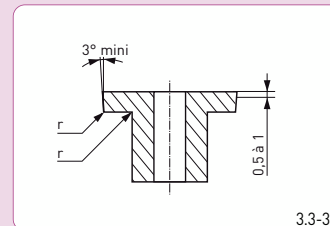
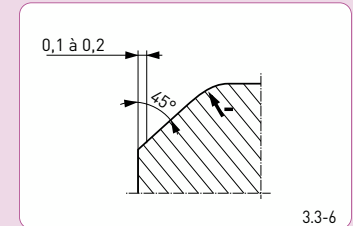
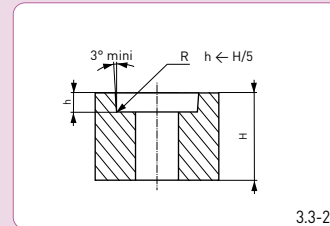
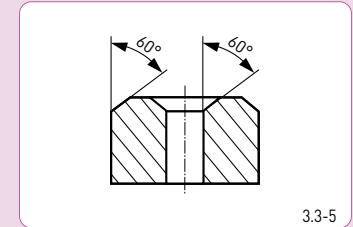
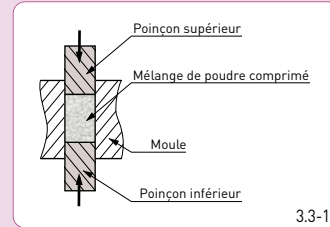
Pour les pièces non épaulées, la dépouille n'est pas nécessaire (les forces d'éjection sont supérieures aux forces de frottement) (figure 3.3-2). Pour les pièces épaulées ou comportant des embrèvements, des dépouilles minimales de 3° sont nécessaires (figure 3.3-3).

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).



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 ⁽¹⁾ | $D \times 0,013$ | $D \times 0,018$ ⁽²⁾ | $D \times 0,008$ | $D \times 0,011$ |
| R_2 minimum ⁽¹⁾ | $D \times 0,018$ | $D \times 0,025$ ⁽²⁾ | $D \times 0,011$ | $D \times 0,015$ |

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 | 8 | 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.

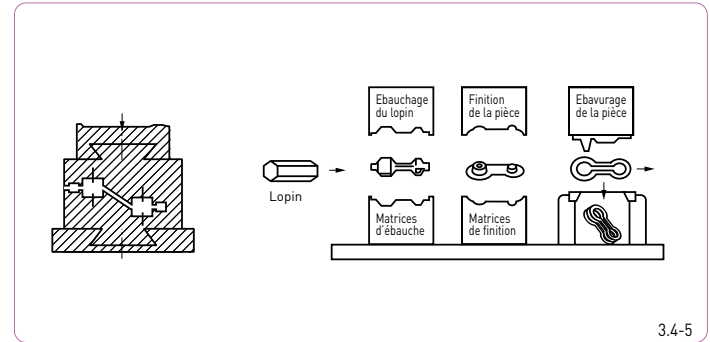
3.4-4

| 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



3.4-5

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.

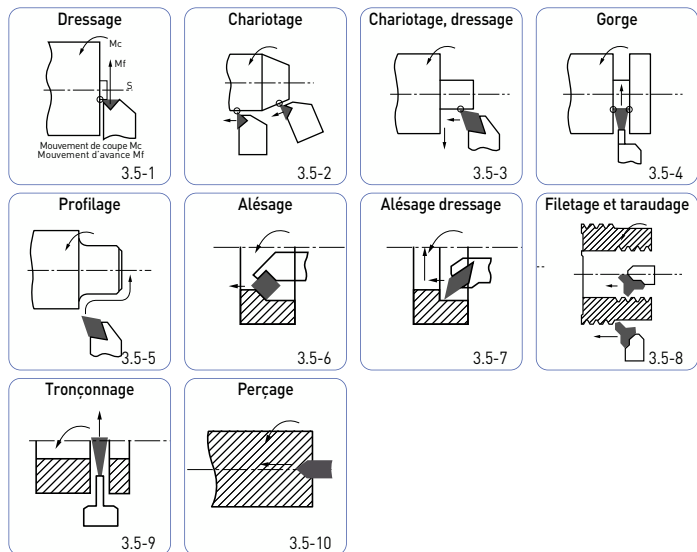
Il existe deux manières de générer la surface recherchée :

- 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.

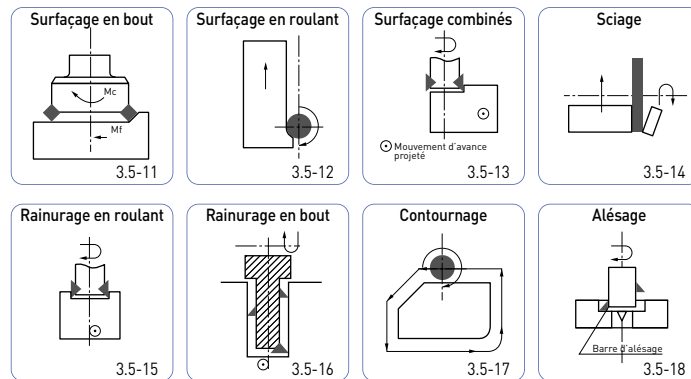


Tournage : principales opérations

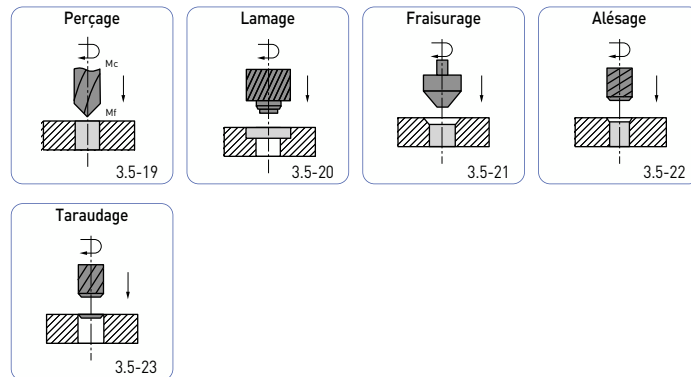


Le tournage permet d'obtenir des surfaces de révolution et le fraisage des surfaces planes. Le perçage permet l'assemblage ou le montage ultérieur des pièces obtenues ; la rectification est une opération complémentaire afin d'obtenir le niveau souhaité d'état de surface.

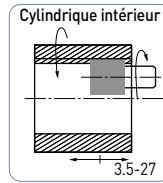
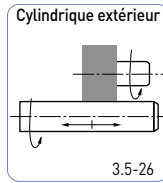
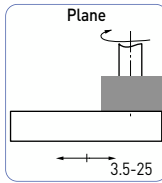
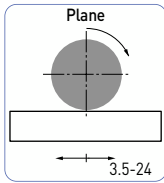
Fraisage : principales opérations



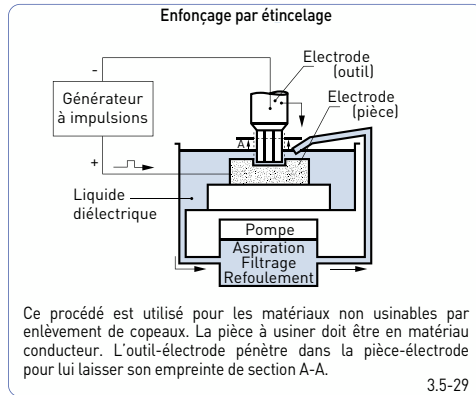
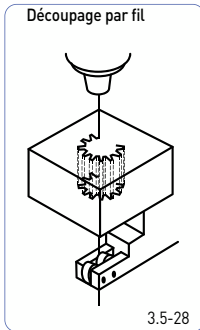
Perçage : principales opérations



Rectification : principaux types



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



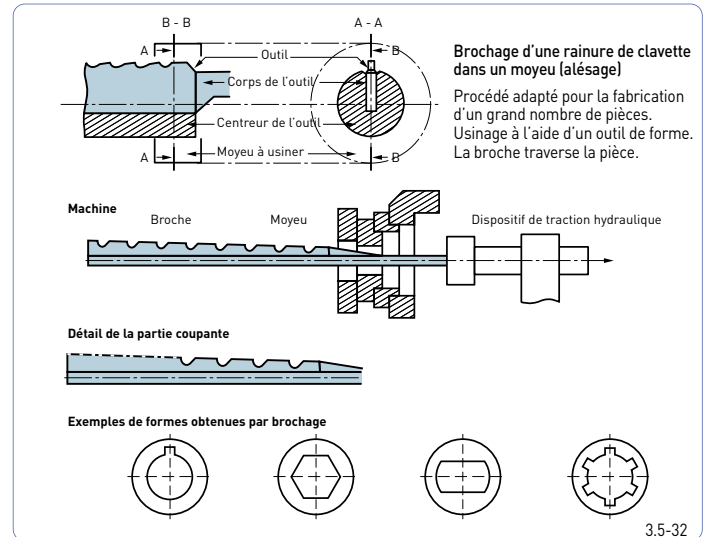
Fluoperçage

Procédé de perçage par l'intermédiaire d'un outil céramique type fluoperceur, par refolement de matière. Excellente qualité du diamètre fluoperçé. Absence totale de calamine. Outil réaffûtable. Aucune lubrification. Se réalise sur perceuse à colonne ou centre d'usinage et permet d'obtenir des fûts d'une certaine hauteur pouvant servir de taraudage.



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 avec un mouvement de rotation, jusqu'à ce que la quantité nécessaire de matière soit amenée 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).

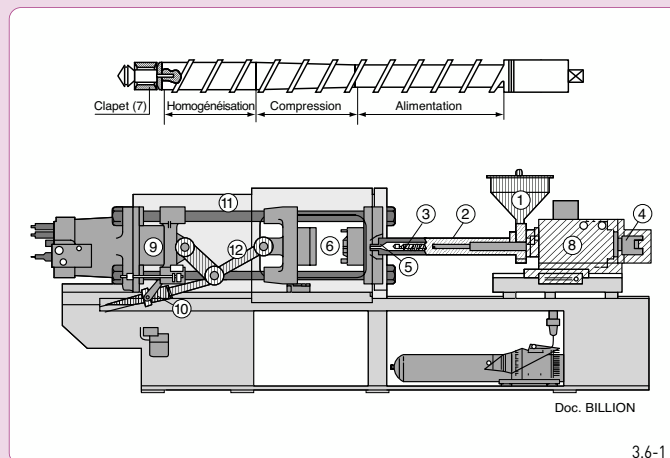
Pour ouvrir ou fermer le moule, un vérin de fermeture (10) est associé au vérin de verrouillage. La partie mobile du moule coulisse le long de colonnes (11). Il existe plusieurs systèmes de fermeture, notamment avec genouillère (12).

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.

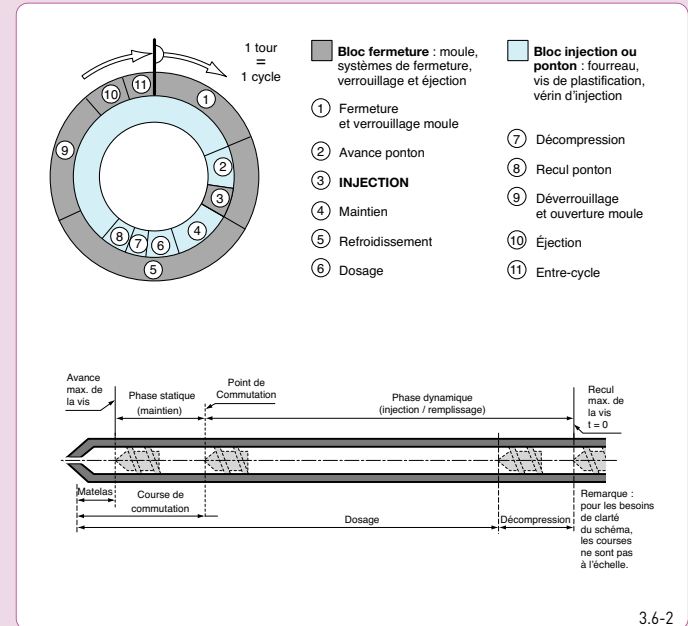
Ceux-ci permettent de compenser le retrait de la matière dans l'empreinte, jusqu'à la solidification totale. La vis avance très légèrement de façon à ce que l'apport de matière puisse conserver un volume constant de la pièce à réaliser. L'opération est délicate, car il s'agit d'éviter d'introduire des 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^e siècle. La mise en pratique, limitée à la fabrication de vis, boulons et rivets a commencé industriellement au début du 20^e 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.

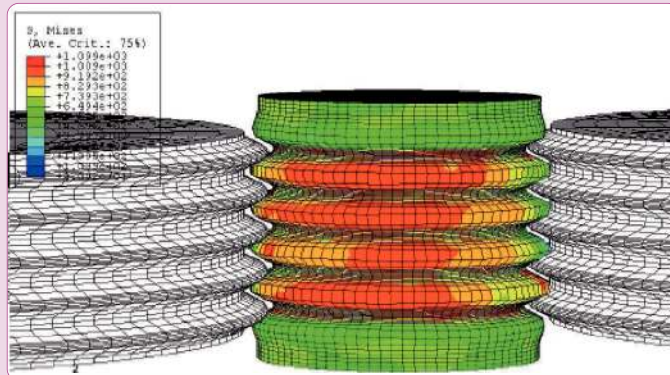
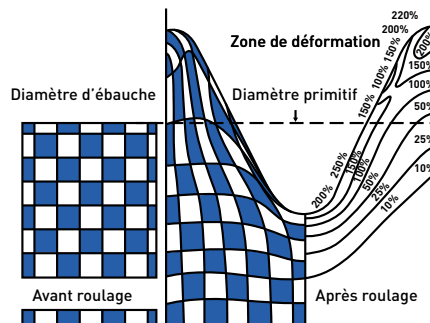
Par ce procédé, le diamètre hors tout de la pièce augmente, le creux du filet entraînant des excroissances de matière pour former la tête du filet (3.7-1).

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

- le **roulage en plongée** : la vis est fileté 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.

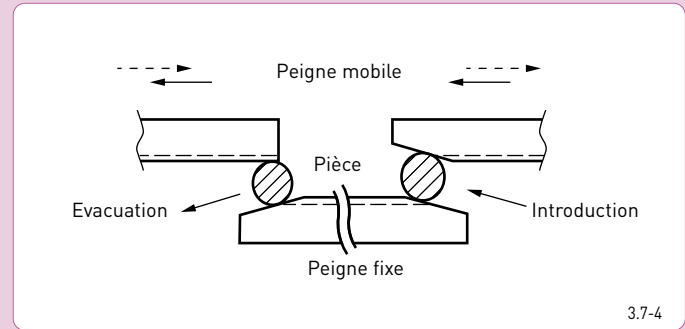
Entre l'alimenteur de la rouleuse et la rouleuse elle-même, une unité d'assemblage de rondelles peut être installée, permettant l'obtention de vis à rondelle imperdable.

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

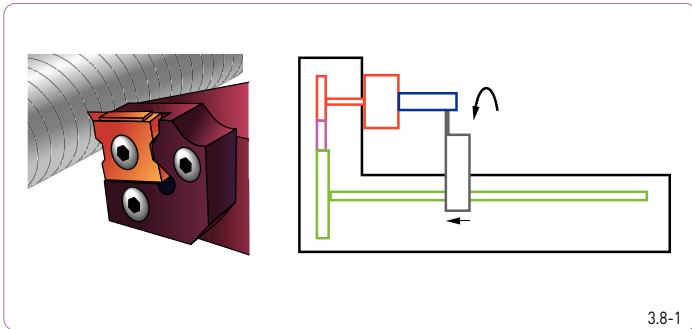
Roulage d'une vis à tête hexagonale par peignes rectiligne

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

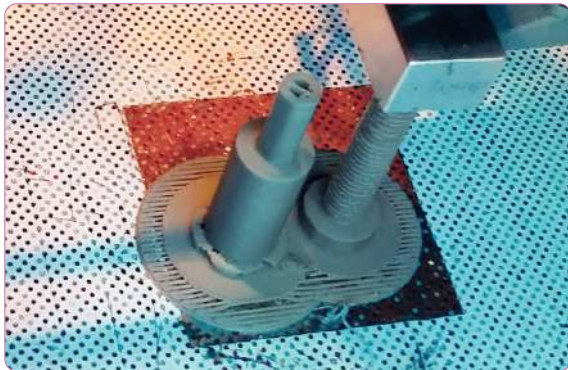
- Pas d'impuretés.
- Pas de limite de taille.
- Les fibres de matière sont rompues.
- Il y a production de copeaux.
- Le process est moins efficace économiquement que le roulage, sur les aspects de consommation de matière et de temps d'opération.

3.9 Fabrication additive

La **fabrication additive** désigne les procédés de fabrication par ajout de matière, la plupart du temps assistés par ordinateur. Elle est définie comme étant le procédé de mise en forme d'une pièce par ajout de matière, par empilement de couches successives, en opposition aux procédés par retrait de matière, tel que l'usinage.

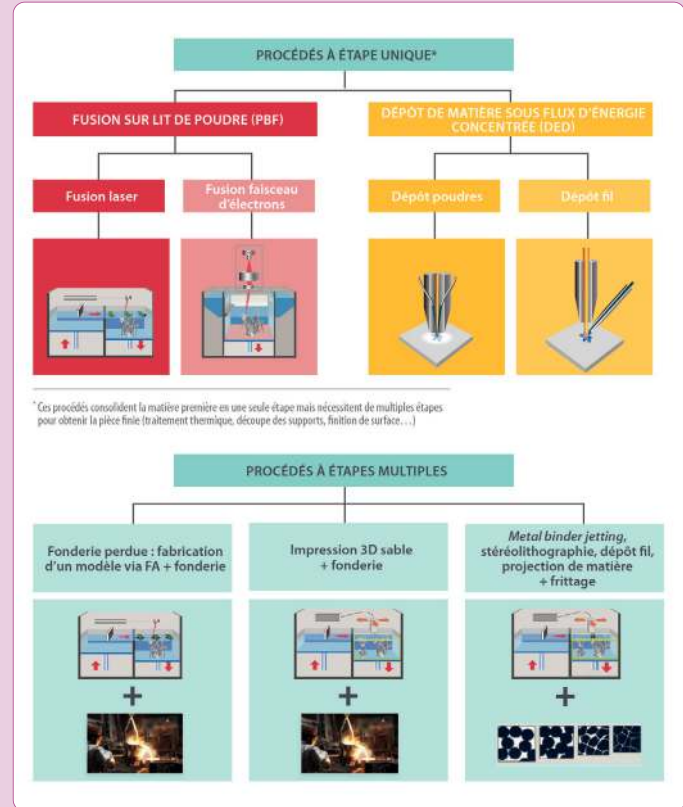
À ses débuts, l'impression 3D a principalement été utilisée pour le prototypage rapide, mais ce nouveau processus offre dorénavant un potentiel important en tant que processus de fabrication. Ce procédé est actuellement utilisé pour des pièces unitaires de haute technologie et complexe.


En termes de faisabilité, les applications de la fabrication additive semblent illimitées. Cette technologie offre un niveau élevé de complexité de conception. Le prix, selon le besoin, reste encore élevé au vue des coûts d'investissements et de fabrication nécessaires pour ce type de technologies.



3.9-1

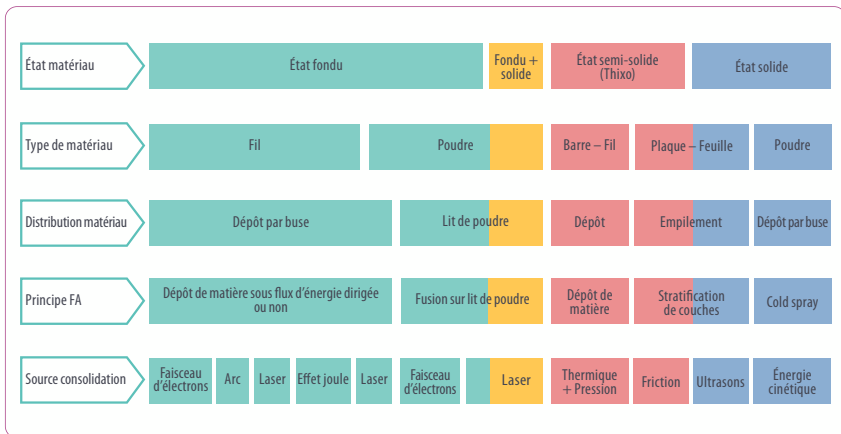
Panorama des procédés de fabrication




3.9-2 Source : document  « fabrication additive métallique »

Technologies de fabrication additive métallique

Les procédés de fabrication additive métallique sont nombreux. Les tableaux ci-après s'inspirent de la norme NF EN ISO/ASTM 52900 - 2017 qui concerne les principes généraux des procédés ainsi que leur terminologie. Ils ont été adaptés afin d'intégrer les nouveaux principes de fabrication développés récemment mais il faut garder à l'esprit que d'autres technologies émergent sans cesse.




3.9-3 Source : document  « fabrication additive métallique »



3.9-4 Ensemble vis/écrou réalisé en prototypage rapide pour un projet ferroviaire



3.9-5 © Photo 



3.9-6 © Photo 

3.10 Défauts de surfaces liés à la fabrication

La norme ISO 6157 donne les tolérances concernant divers types de défauts de surface :

- ISO 6157-1 Les vis et goujons d'usage général
- ISO 6157-2 Ecrans
- ISO 6157-3 Vis et goujons pour applications particulières (spéciales et 12.9).

A chaque étape de transformation de la matière, des défauts peuvent apparaître. Des limites acceptables ou non sont spécifiées tout en gardant à l'esprit que les valeurs données par l'ISO 898-1 doivent être conservées.

Vis et goujon d'usage général

Tapure de trempe

Apparaît généralement pendant la trempe suite à des contraintes excessives provoquées lors de l'opération. Trajectoire irrégulière et erratique en surface.

Fissure de forgeage

Provoquée par l'opération de cisaillement ou de forgeage. Se situe sur le dessus de la tête des vis et sur la face supérieure de la tête des vis à tête à cuvette.

Criques de forgeage

Apparaît au forgeage, sur un pan ou sur un angle de la tête de vis, sur le pourtour de l'embase, sur la partie cylindrique.

Fissure de cisaillement

Apparaît par exemple au forgeage, souvent sur le pourtour des éléments à tête ronde ou à embase. Généralement orienté à 45° par rapport à l'axe de l'élément.

Lignes, pailles ou repliures de laminage

Ligne droite ou légèrement incurvée qui se situe de manière longitudinale sur le filetage.

Trous (porosités)

Petites poches ou creux peu profonds formés à la surface par une insuffisance de garnissage du métal pendant le forgeage ou le refoulement.

Replis de forge

Doublement de l'épaisseur de métal apparaissant en surface de l'élément de fixation pendant le forgeage.

Marques d'outils

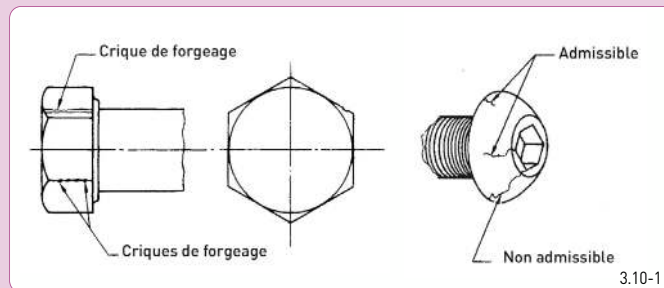
Stries longitudinales ou circonférentielles peu profondes.

Cas des chocs et chocs sur filets

Les chocs sont une déformation de la matière au niveau d'une surface quelconque de la vis. Quel que soit son type : bosselure, éraflure, encoche, il est provoqué par une action extérieure au cours de la fabrication ou de la manipulation des vis, par exemple le chargement. À moins qu'ils n'affectent la fonction ou l'aptitude à l'emploi, les chocs décrits ci-dessus ne peuvent pas entraîner le rejet.

Les bosselures, éraflures, encoches situées sur les trois premiers filets doivent permettre le vissage d'une bague filetée ENTRE à une valeur de couple correspondant à 0,001d3 max., en newton mètres.

Exemples :



Écrous

Crique de cisaillement et d'inclusion

Apparaît pendant l'opération de cisailage ou de forgeage. Se situe uniquement sur la surface supérieure ou inférieure des écrous ou à l'intersection d'une face et d'un plat.

Criques dans l'élément de freinage des écrous autofreinés tout métal

Apparaît pendant les opérations de cisailage, de forgeage ou de mise en forme sur un côté intérieur ou extérieur.

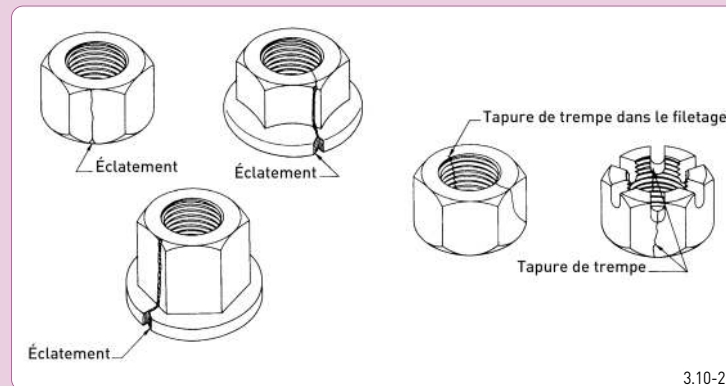
Criques dans l'élément de sertissage de la rondelle pour les écrous à rondelle incorporée

Apparaît dans la lèvre métallique qui assure le maintien de la rondelle sur l'écrou.

Éclatement

Apparaît lors des opérations de forgeage à la surface extérieure des écrous. Pour les écrous à embase, sur le pourtour. Généralement dû à un défaut de surface dans la matière première.

Exemples :



3.10-2